



# 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

# NÁVRH NOVÝCH TECHNOLOGIÍ RUBOVÉ INJEKTÁŽE ZDĚNÝCH KANALIZAČNÍCH STOK

DESIGN OF NEW TECHNOLOGIES FOR INVERT GROUTING OF MASONRY SEWER

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Dolák

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc.,  
MBA

BRNO 2019



# 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>	Martin Dolák
<b>Název</b>	Návrh nových technologií rubové injektáže zděných kanalizačních stok
<b>Vedoucí práce</b>	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

- [1] Underground Structures – Design and Construction. Edited by Raghupati S. Sinha, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam – Oxford – New York – Tokyo, 2008 (Chapter 8 – J. P. Welsh: Grouting)
- [2] Atkinson, J. H.: An assessment of the long-term durability of Engineered Barrier Materials McGraw-Hill, London, Uk. 2007
- [3] Směrnice WTA – Merkblatt - Abdichten von Bauwerken durch Injektion
- [4] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – Kapitola 29 - Zvláštní zakládání, Část A Injektování hornin a zemin a injektování v tunelech
- [5] ČSN EN 1504-5 - Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 5: Injektáž betonu
- [6] ČSN EN 480-1-15 - Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - Části 1-15
- [7] Další vědecké a odborné publikace, normy a předpisy zabývající se technologií výroby taveného čediče a příslušnými správkovými hmotami.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je návrh receptury injektážní směsi na silikátové bázi, výhodně i ve variantě s příměsí druhotných surovin. Nezbytnou součástí řešení je také návrh metodiky experimentálního vývoje injektážní směsi a návrh technologie provádění. Tato práce je součástí projektu vědy a výzkumu. Základem práce je studium poznatků získaných z odborné zahraniční i tuzemské literatury, z nichž bude navržena nová vysoce odolná injektážní směs pro rubové injektáže, určená k sanaci zděných kanalizačních stok. Tento materiál musí po aplikaci plnit požadavky na utěsnění a statické zajištění prostor za ostěním stoky.

1. Přehledně zpracujte rešerši poznatků týkajících problematiky zděných kanalizačních stok a technologie rubové injektáže.
2. Pomocí souhrnné studie dostupné odborné literatury stanovte požadavky na vlastnosti injektážní směsi pro tuto technologii provádění.
3. Připravte metodiku experimentálního výzkumu a vývoje injektážní směsi, se zaměřením na metody hodnocení její vhodnosti.
4. Na základě dostupných podkladů sestavte základní materiálové složení směsi a soubor variant pro experimentální ověření.
5. Proveďte experimentální ověření základního souboru receptur.
6. Vyhodnotte dosažené výsledky, navrhnete optimální recepturu a další směřování výzkumu.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP zpracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

## **ABSTRAKT**

Předmětem této práce je navržení optimální injektážní směsi pro provádění oprav stávajících zděných kanalizačních stok s důrazem na ekonomickou nenáročnost. Budou zhodnoceny parametry druhotných surovin a odpadních látek jako částečné náhrady kvalitních běžně používaných materiálů. Odpadní látky z výroby, pro které je po potřebné úpravě nalezeno využití v jiném odvětví výroby, se nazývají druhotnými surovinami. Na závěr bude proveden výběr vhodných druhotných surovin pro návrh nové technologie rubové injektáže určené pro opravy stávajících zděných kanalizačních stok.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Bakalářská práce, bentonit, cement, druhotné suroviny, injektáž, kanalizační stoky, křemičitý písek, popílek, rubová injektáž, sanace, slévárenský písek pojený bentonitem

## **ABSTRACT**

The subject of this work is to find optimal grouting mixture for repairing existing brick sewer with insistence on ecological modesty. Secondary raw and waste materials will be evaluated as a partial replacement of good-quality materials, that are commonly used. Production wastes for which is after necessary adjustment found usage in another sphere of production are named secondary raw materials. In the end will be made a selection of appropriate secondary raw materials for a project of new technology of back grouting identified for repairing currently used brick sewers.

## **KEYWORDS**

Bachelor thesis, bentonite, cement, secondary raw materials ,grouting, sewers, silica sand, fly ash, back grouting, redevelopment, foundry sand combined with bentonite

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Martin Dolák *Návrh nových technologií rubové injektáže zděných kanalizačních stok*. Brno, 2019. 97 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh nových technologií rubové injektáže zděných kanalizačních stok* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2019

---

Martin Dolák  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh nových technologií rubové injektáže zděných kanalizačních stok* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2019

---

Martin Dolák  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji panu prof. Ing. Rostislavu Drochytkovi, CSc., MBA, vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho odborné vedení. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vítu Černému, Ph.D. za cenné rady a poskytnutý čas a v neposlední řadě bych chtěl velice poděkovat Ing. Petru Figalovi za odborné vedení, rady a čas strávený při provádění praktických zkoušek, nutných pro vypracování bakalářské práce. Zároveň bych chtěl poděkovat své rodině za veškerou podporu.

# Obsah

I. ÚVOD.....	10
II. TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1. INJEKTÁŽE.....	11
1.1. HISTORIE INJEKTÁŽNÍ TECHNOLOGIE.....	11
1.2. INJEKTÁŽNÍ TECHNOLOGIE.....	12
1.3. INJEKTÁŽNÍ SYSTÉMY.....	13
1.3.1. Rozdělení injektážních směsí dle materiálu.....	13
1.3.2. Rozdělení injektážních směsí dle technologie provádění.....	16
1.3.3. Rozdělení injektážních systémů dle typu injektážní sanace.....	17
2. VSTUPNÍ SLOŽKY PRO VÝROBU INJEKTÁŽNÍ HMOTY – POJIVA.....	21
2.1. CEMENT.....	21
2.1.1. Portlandský cement.....	21
2.1.2. Vysokopeční cement síranovzdorný.....	22
2.1.3. Hlinitanový cement.....	22
2.1.4. Producenti cementu v ČR.....	23
2.1.5. Vlastnosti vybraných cementů.....	24
2.2. VODNÍ SKLO.....	25
2.2.1. Výroba z pevného křemičitanu sodného, pevného křemičitanu draselného (dále PKS/D).....	25
2.2.2. Výroba hydrotermální reakcí.....	25
2.2.3. Vlastnosti vodního skla.....	25
2.2.4. Vytvrzování vodního skla.....	26
2.2.5. Použití vodního skla.....	26
2.2.6. Dezalkalizované vodní sklo.....	26
2.3. BENTONIT.....	27
2.3.1. Neaktivované bentonity.....	28
2.3.2. Aktivované bentonity.....	28
2.3.3. Sorpční schopnost.....	28
2.3.4. Rekultivační schopnost.....	28
2.3.5. Těsnící schopnost.....	29
3. SOUBOR DRUHOTNÝCH SUROVIN A ODPADŮ.....	30
3.1. POPÍLEK.....	30
3.1.1. Seznam producentů popílku.....	31
3.1.2. Latentní hydraulická.....	31
3.1.3. Pucolanita.....	31
3.1.4. Vysokoteplotní popílek.....	32
3.2. VYSOKOTEPLTNÍ UHELNÁ ŠKVÁRA.....	35
3.3. MIKROSFÉRY.....	35
3.4. VYSOKOPECNÍ STRUSKA.....	36
3.4.1. Silikátový rozpad strusky.....	36
3.5. ODPADNÍ SKLO.....	38
3.6. PĚNOVÉ SKLO.....	38

3.7. ODKAPY Z VÝROBY TAVENÉHO ČEDIČE.....	39
3.8. SLÉVÁRENSKÉ PÍSKY.....	39
3.9. ODPADNÍ PÍSKY .....	40
3.10. ODPADNÍ VYPÍRKA DRCENÉHO KAMENIVA .....	40
3.11. KAMENNÉ ODPRAŠKY .....	41
3.11.1. Živce.....	42
3.11.2. Vápence .....	42
3.12. ODPADNÍ SLÍDA.....	43
3.13. ODPADNÍ LUPEK .....	43
3.14. ODPADY Z TĚŽBY A ÚPRAVY KAOLÍNU.....	44
3.15. ENERGOŠÁDROVEC .....	44
3.16. CIHELNÝ RECYKLÁT .....	45
3.17. BETONOVÝ RECYKLÁT .....	46
3.18. ASFALTOVÝ RECYKLÁT .....	46
3.19. ODPADY Z TĚŽBY UHLÍ.....	47
3.20. ODPADNÍ KŘEMELINA .....	47
3.21. ODPAD Z VLÁKNOCEMENTOVÝCH VÝROBKŮ.....	48
4. DEFINICE POŽADAVKŮ NA VLASTNOSTI INJEKTÁŽNÍ SMĚSI .....	49
5. STOKY .....	50
5.1.1. Nejčastější poruchy ve stokové síti .....	50
5.1.2. Metody sanace stokových sítí .....	50
5.1.3. Betonové stoky.....	51
5.1.4. Zděné stoky.....	51
5.2. ODPADNÍ VODY.....	52
5.2.1. Druhy odpadních vod .....	52
6. CHEMICKÁ ODOLNOST .....	53
6.1. CHEMICKÉ LÁTKY PŮSOBÍCÍ NA CEMENTOVOU MATRICI .....	53
6.1.1. Uhličitanová koroze .....	53
6.1.2. Koroze chloridovými ionty .....	54
6.1.3. Síranová koroze .....	54
6.1.4. Mikrobiologická degradace.....	54
6.2. DEGRADACE STOK ODPADNÍMI LÁTKAMI .....	55
6.2.1. Tvorba sulfanu.....	55
III. CÍL PRÁCE.....	57
IV. PRAKTICKÁ ČÁST .....	58
7. METODIKA PRÁCE .....	58
7.1. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍHO TESTOVÁNÍ .....	61
7.1.1. Zkoušky prováděné v čerstvém stavu .....	61
7.1.2. Zkoušky prováděné ve vyzrálém stavu .....	62
V. VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH ETAP.....	63
8. ETAPA I – VOLBA A ANALÝZA VSTUPNÍCH SUROVIN .....	63
8.1. OPTIMALIZACE ALTERNATIVNÍCH SUROVIN.....	67

8.2. SHRNU TÍ ŘEŠENÍ A VÝSLEDKŮ ETAPY I .....	72
9. ETAPA II – OVĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH RECEPTUR .....	73
9.1. PRAKTICKÉ ZKOUŠENÍ NAVRŽENÝCH RECEPTUR.....	74
9.1.1. Zkoušky prováděné v čerstvém stavu .....	74
9.1.2. Zkoušky prováděné ve vyzrálém stavu .....	75
9.2. SHRNU TÍ ŘEŠENÍ A VÝSLEDKŮ ETAPY II .....	79
10. ETAPA III – OVĚŘENÍ VYUŽITELNOSTI DRUHOTNÝCH SUROVIN .....	80
10.1. PRAKTICKÉ ZKOUŠENÍ NAVRŽENÝCH RECEPTUR.....	80
10.1.1. Zkoušky prováděné v čerstvém stavu .....	80
10.1.2. Zkoušky prováděné ve vyzrálém stavu .....	82
10.2. SHRNU TÍ ŘEŠENÍ A VÝSLEDKŮ ETAPY III .....	87
VI. ZÁVĚR.....	89
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	91
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	96
SEZNAM TABULEK .....	97

## I. Úvod

Velká část obcí na našem území má dnes stokové systémy vybudované a navržené v době, kdy zcela vyhovovaly tehdejším potřebám a požadavkům. Nicméně vlivem využívání a vývojem kanalizačních stok, na které jsou v dnešní době kladeny vyšší nároky, dochází k potřebě rekonstrukce, dostavby či optimalizace funkce stávajících systémů. [1]

V místě odpadních stok jsou možnosti oprav a údržby značně omezené. Jednou z možností sanace stávajícího odpadního systému je injektáž konstrukce. Objemy prováděných rekonstrukčních prací jsou značné a vzhledem k jejich charakteru není kladen důraz na použití špičkových materiálů. Naopak je dnes prosazována myšlenka recyklace odpadních látek v co největší míře. [2]

Evropské země i Česká republika mají dlouholetou tradici v průmyslu a i přesto, že se v dnešní době velká část výroby a průmyslu přesouvá do jiných zemí (většinou asijských) nerostné suroviny jsou základním předpokladem rozvoje naší země. Nicméně tyto zdroje nejsou nevyčerpatelné, a proto postupně dochází ke změnám ve smýšlení a politice hospodaření s důrazem na recyklaci primárních surovin a co nejvyšší využívání druhotných surovin.

Produkce stavebních hmot byla dlouhodobě závislá na využívání klasických nerostných surovin. V dnešní době je však snaha využívat odpadní látky, jako druhotné suroviny. Pojem druhotné suroviny jsou myšleny upravené odpady, které jsou dále využitelné k dalšímu zpracování.

Stavební odpad představuje značný podíl všech odpadů. Proto jsou prováděny výzkumy o využití co největšího množství odpadu s možností dalšího zpracování.

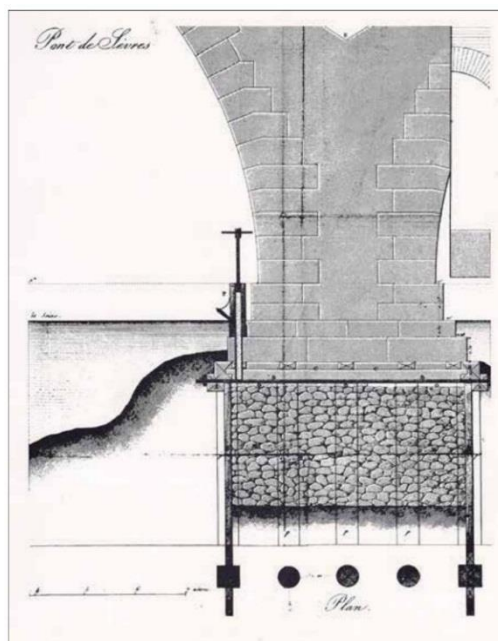
## II. Teoretická část

### 1. Injektáže

Technologie injektování má za úkol zlepšit vlastnosti okolní základové půdy. Cílem injektování hornin a zemin je zvýšit jejich fyzikálně mechanické vlastnosti, jako jsou pevnosti v tlaku, modul deformace a zároveň se snižuje jejich propustnost. Při injektování nesoudržných hornin dochází k vyplňování pórů injektovanou směsí a k vytváření tzv. geopolymery. [3]

#### 1.1. Historie injektážní technologie

Počátky injektážní technologie spadají do raných let 19. století. Konkrétně roku 1802 Francouz Charles Bérigny vymyslel rekonstrukci jezu na řece Arques pomocí injektování jílové suspenze nebo vápenné malty pro zajištění kompaktnosti podloží. V této době byla Francie významným hybatelem stavebních technologií. Nicméně díky historickým událostem se do popředí vývoje nových stavebních technologií dostala Velká Británie. Od roku 1856 začal inženýr W. R. Kinipple testovat cementovou suspenzi pro využití v injektážních technologiích. Z jeho výzkumu vyplynula dodnes používaná metoda injektování cementové matrice zvaná Colcrete. U nás je spíše známá pod mladším pojmem Prepakt. [3]



Obrázek 1: Návrh injektáže mostu v Sévres Charlese Berignyho [3]

Dalším významným bodem ve vývoji injektážních technologií byl vynález tzv. manžetové trubky, která má dodnes využití při zakládání staveb na nesoudržných horninách.

Postupem času došlo k vývinu nové injektážní metody. Trysková injektáž slouží k zakládání nesoudržných zemin. Paprsek cementové matrice je vháněn pod tlakem do zeminy. Zemina je tak rozrušena a zároveň dochází k obalení zrn cementovým tmelem. Společně pak směs původní zeminy a injektované hmoty vytváří kompaktní strukturu. Značnou výhodou této metody injektování je široká škála jejího použití. Pomocí trykové injektáže lze zpevnit velmi jemné, jílové zeminy, ale i hrubé balvanité štěrky. Trysková injektáž byla poprvé uplatněna v Pákistánu na počátku 60. let, dále v Japonsku, Evropě a v roce 1988 v USA. V České republice byla tato metoda poprvé využita v polovině 90. let 20. století.

V dnešní době je injektování nepostradatelnou součástí stavebního průmyslu. Stěžejní úlohu hraje při zakládání staveb na nesoudržných podložích. Postupnou modernizací dochází ke zlepšování efektivity a hospodárnosti injektážních technologií. [3]

## 1.2. Injektážní technologie

Obecné rozdělení injektážních technologií lze rozdělit na základě místa jejich použití:

- **beton** – mechanicky únosné vyplnění trhlin a dutin, elastické vyplnění, vyplnění schopné nabobtnání,
- **zdivo** – hydroizolační funkce (uzavření a utěsnění trhlin a dutin),
- **podloží** – výplňová funkce, zvýšení statické únosnosti.

Nezbytnou součástí injektážních prací je průzkum konstrukce a geologického podloží, provedení statických výpočtů a ověření použitelnosti dané technologie praktickými laboratorními zkouškami. Průzkum by měl odhalit příčinu poškození stavebního díla a na jeho základě se provádí návrh optimálního řešení daného problému. Veškeré přípravné práce pak mají za následek použití vhodné sanační (injektážní) hmoty a technologie, čímž zvyšujeme efektivitu a hospodárnost celého procesu. [4]

Schopnost pronikat do pórovitého systému sanovaného objektu je základním parametrem pro určení vhodnosti injektážní látky či technologie. Tento parametr je závislý především na tvaru a velikosti zrn injektážní hmoty a její viskozitě. [5]

Kvalitu injektážních hmot stanovujeme laboratorními zkouškami. Jedná se zejména o pevnost v prostém tlaku, stabilita směsi, těsnící schopnost a odolnost proti erozi. Před provedením injektáže se provádějí také zkoušky in situ, které ověřují vlastnosti suspenze – viskozitu, objemovou hmotnost a odlučování vody. Kvalita injektážní hmoty je z velké části určena viskozitou směsi. [5]

#### **Sledované parametry injektážních směsí:**

- zpracovatelnost,
- objemová stálost,
- viskozita,
- stabilita,
- objemové změny,
- přídržnost hmoty k matrici,
- pevnost. [5]

### **1.3. Injektážní systémy**

Prvkem, který rozhoduje o technologii provádění a použití druhu materiálu, je charakter poruchy stavebního díla. Druh poruchy konstrukce bývá nejčastěji trhlina nebo dutina. Dutiny dále dělíme na vnitřní a povrchové. Trhliny rozlišujeme na povrchové nebo dělicí. Po určení typu poruchy jsme schopni navrhnout správné řešení sanace objektu. [6]

#### **1.3.1. Rozdělení injektážních směsí dle materiálu**

Na základě použití injektovaného materiálu můžeme injektážní směsi rozdělit do následujících skupin:

- cementová injektážní směs,
- cementová injektážní směs s příměsí bentonitu,
- jílocementová injektážní směs,
- jílová suspenze,
- epoxidové pryskyřice,
- organické pryskyřice,

- polyestery,
- polyuretany,
- polyakrylátové hmoty,
- akrylátové injektážní hmoty,
- polyvinylacetátové směsi,
- organicko-minerální pojiva,
- vodní sklo. [6]

### **Cementová injektážní směs**

Cementová injektážní směs je vlivem vysokého vodního součinitele značně nestabilní suspenze. Vysoký poměr záměsové vody a vody potřebné pro hydrataci cementu způsobuje sedimentaci cementových zrn. Na povrchu směsi dochází k odlučování vody.

Vhodnost použití cementové injektážní směsi za účelem těsnící nebo zpevňovací funkce je určena podmínkami:

- Maximální velikost zrna cementu musí být nižší než průměr trhliny (porušení),
- V místě použití se nesmí nacházet chemicky agresivní látky způsobující degradaci cementového tmele.

Pakliže není splněna druhá podmínka, je třeba použít jiný druh cementu (vůči dané vlastnosti rezistentní) nebo vhodnější materiál. Jemněji mleté cementy zvyšují možnost využití. Jejich výsledné pevnosti jsou vyšší, také však výrazně zlepšují zpracovatelnost a čerpatelnost směsi. [6]

### **Cementová injektážní směs s příměsí bentonitu**

Příměs bentonitu do cementové injektážní směsi se používá pro zamezení sedimentace cementových zrn v suspenzi. Množství příměsi se odvíjí od míry dekantace vody. Ty by neměla být vyšší nežli 3 % po dobu, kdy je injektáž prováděna (obvykle 2 až 5 hodin). Vysoká jemnost částic zajištěná plavením a rozemíláním jílu v mlýnech, má příznivý efekt na fyzikální vlastnosti pouze tehdy, pokud je jejich jemnosti vyšší nežli jemnost částic cementu.

Množství příměsi bentonitu se odvíjí od vodního součinitele a jemnosti mletí cementových zrn. [6]

### **Jílocementová injektážní směs**

Jíly použité jako příměs do jílocementových směsí mají daleko menší sorpční vlastnosti než bentonit. Spolu s cementem vytvářejí po smíchání s vodou stabilní suspenzi, která má oproti cementovým suspenzím další výhody. Krom zvýšení stability je to lepší pronikací schopnost, jednoduchá výroba a další. Jílovité injektážní směsi nemají potřebnou pevnost, proto je v praxi často využívána jílocementová směs. Využívá se zejména na injektování větších pórů nebo puklin, kde je zásadní vyplňovací funkce. Jílocementové směsi jsou vhodné pro vzestupnou injektáž, kdy je suspenze tlačena maximálním tlakem. Poměr cementu, jílu a vody značně ovlivňuje viskozitu a hmotnost směsi. Liší se tak pronikací schopnost suspenze. Pronikací schopnost směsi lze do značné míry zlepšit optimalizací křivky zrnitosti. [7]

### **Jílová suspenze**

Chování jílových suspenzí se svým charakterem přibližuje koloidním roztokům, a to zejména díky pomalu se vyvíjející tuhosti benotonitu, která je navíc velice nízká. Typickým příkladem je suspenze vytvořená z upravovaného bentonitu se ztužujícími a deflokuačními přísadami.

Jílové suspenze nedosahují vysokých pevností. Používají se však jako primární injektáž, kdy zrna jílu proniknou do jemných trhlin. V další fázi injektáže je využívána jílocementová suspenze, která vykazuje lepší pevnosti, avšak nepronikne do jemnějších zrn. [8]

### **Suspenze vodního skla**

Reakcí ku příkladu kyseliny křemičité a směsi vodního skla, dochází ke tvorbě gelu a následného tuhnutí suspenze. Rychlost reakce se odvíjí od použití reaktiva. Pakliže je reaktivum organického původu je reakce značně rychlejší než s přísadkou anorganického reaktiva.

Hygienická závadnost a ekologický dopad na životní prostředí jsou mnohdy zásadními nevýhodami při použití vodního skla.

Suspenze vodního skla se používá jako příměs do betonu, za účelem aplikace protipožárního nátěru, popř. jako prostředek pro opravy vyzdívek kamen a krbů, k ochraně dřeva proti hnilobě, termitům, jako impregnace přírodních materiálů. Při použití vodního skla jako příměsi do betonu, plní vodní sklo funkci

urychlovače tuhnutí, dále zlepšuje voděodolnost, mrazuvzdornost a tím zvyšuje jeho trvanlivost. Příměs vodního skla se používá především v podzemních stavbách, jako jsou tunely, dráha metra nebo základy objektů. [9]

### 1.3.2. Rozdělení injektážních směsí dle technologie provádění

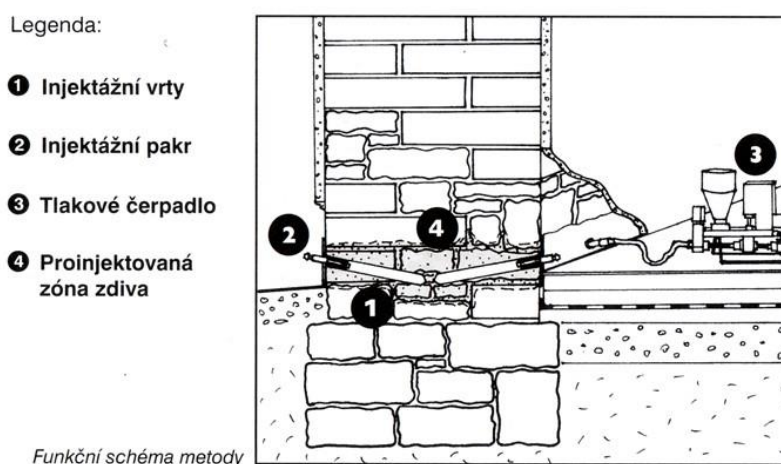
Na základě technologie plnění injektážních systémů rozdělujeme:

- tlakové injektáže,
- beztlakové injektáže
- podtlakové.

#### Tlakové injektáže

Nejčastější využití tlakové injektáže je zamezení průsaku vzlínající nebo tlakové vodě. Injektáž je prováděna do vrtů pomocí tlakového čerpadla. Vývrty o průměru 12 až 14 mm v osové vzdálenosti 100 až 150 mm dle daného materiálu a stavu zdiva jsou osazeny tzv. pakry. Injektážní tlak se přizpůsobuje opět materiálu a jeho pevnosti. U běžného zdiva se tlak injektování pohybuje v rozmezí 3,5 až 5 MPa, u betonových konstrukcí je tlak vyšší. [10]

Nejčastěji používaným materiálem je polyuretanová pryskyřice, která po reakci s vodou obsaženou ve zdivu několikanásobně zvětší svůj objem a tím utěsní požadované místo v konstrukci.



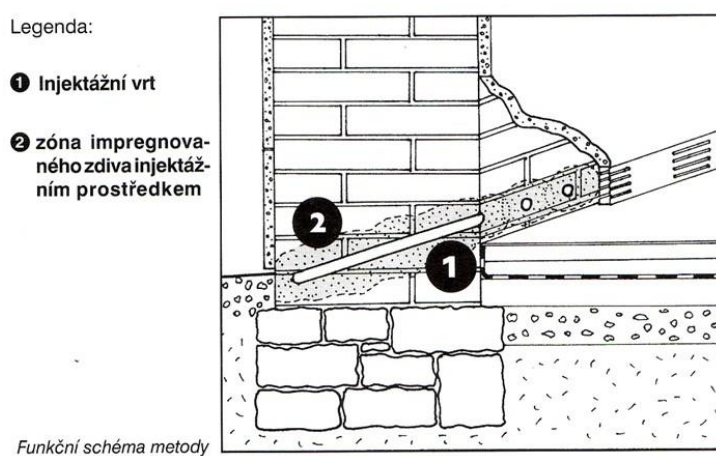
Obrázek 2: Funkční schéma tlakové injektáže [11]

#### Beztlakové injektáže

Při beztlakové injektáži je nejprve nutné injektovanou zónu uzavřít sanační maltou, aby injektovaná směs neunikala ze zdiva. V závislosti na materiálu a jeho stavu

se provedou injektážní vrty ve vzdálenosti 10 až 12 cm od sebe. Průměr vrtů bývá nejčastěji 25 až 38 mm. Při provádění jednosměrného vývrtu se volí hloubka vrtání o 5 mm nižší, nežli je tloušťka zdiva. Obousměrné vrtání je doporučeno provádět při tloušťce zdiva vyšší než 70 mm. V takovém případě je délka vrtu přibližně polovina mocnosti zdiva. Plnění zdiva injektážní hmotou je prováděno elektrickým čerpadlem nebo samospádem.

Ve většině případů beztlakovou injektáž nelze použít pro sanaci trhlin betonových konstrukcí. [10]



Obrázek 3: Funkční schéma beztlakové injektáže [11]

### 1.3.3. Rozdělení injektážních systémů dle typu injektážní sanace

- stabilizace jemnozrnných půd,
- injektování trhlin,
- injektování těsnících stěn,
- injektování těsnící clony ve zdivu,
- rubová injektáž (podzemní a dopravní konstrukce),
- zemní kotvení,
- injektování základových půd – trysková a jednosměrná injektáž.

#### Nízkotlaká injektáž

Nízkotlaká injektáž je využívána k vyplňování dutin v horninovém prostředí, přirozených nebo člověkem vytvořených podzemních prostor nebo na stabilizaci určitých typů skládek. Používá se cementová, jílocementová injekční směs nebo směs popílku s cementem. Injektáž je vedena vrty s pomocí tzv. obturátorů.

V případě použití nízkotlaké injektáže na stabilizaci zemin se vrty osazují manžetovými trubkami. [11]

### **Kompenzační injektáž**

Tato metoda je využívána zejména při nadměrném, či nerovnoměrném sedání objektů nebo při jejich vyzdvihování do správné pozice. Za pomoci vysokého tlaku injekční směsi dochází k rozšiřování a rozvětřování systému trhlin a puklin v podloží okolo místa vývrtu. Síť nových i původních trhlin je okamžitě zaplněna samotuhnoucí injektážní směsí. Dochází tak ke zvětšování objemu celého systému, což vede ke zdvihnutí podloží. Tento postup lze aplikovat i při sedání nadloží, např. nad vytěženým prostorem nebo jim lze preventivně zajistit nadloží ještě před ražbou vytvořením tzv. ochranných deštníků. [11]

### **Trysková injektáž**

Trysková injektáž je vysoce efektivní, rychlá metoda nejčastěji využívána k vytváření a zpevnění základových prvků v zeminách či poloskalních horninách. Injektáž je prováděna pod vysokým tlakem (30 až 55 MPa). Paprsek cementové suspenze pomocí manžetové trubky rotuje uvnitř injektážního vrtu, čímž rozrušuje zeminu a směs obaluje jednotlivé úlomky. Dochází tak k promíchání původní zeminy a injektovaného materiálu. Po zatuhnutí je vytvořen požadovaný stabilizační prvek (sloup, lamela). Obvykle používanými injektážními hmotami jsou cementová nebo jílocementová směs. [12]

Existují dvě metody tryskání cementového paprsku. První metoda tzv. jednofázová využívá průchodu tryskou pouze injektážní směs. Funkční rádius promíchávání je 40 až 140 cm. Ten lze zvýšit až na 220 cm za použití druhé metody tzv. dvoufázové, kdy je paprsek usměrněn proudem stlačeného vzduchu.

Pokud se při vytahování vrtné soustavy manžetová trubka otáčí, je vytvořen nový opěrný prvek kruhového profilu – sloup. Pokud k rotaci injektážního mechanismu nedochází, je vytvořen rovinný prvek – stěna.

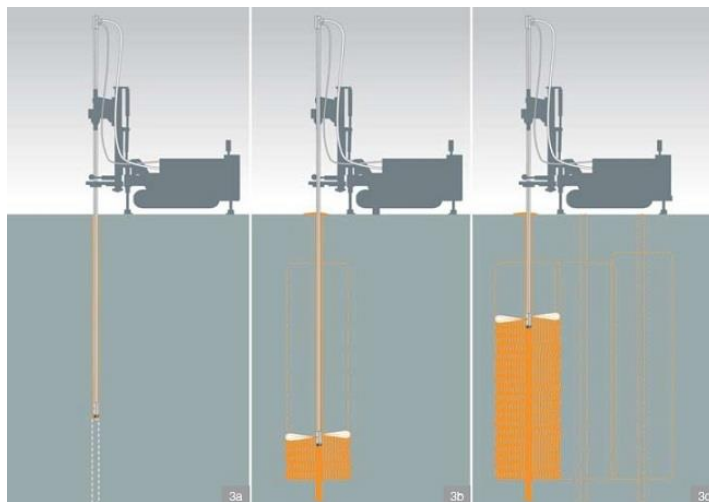
Pevnosti nově vzniklých podzemních těles mohou v závislosti na typu zeminy dosahovat 0,5 až 15 MPa. [13]

Využití trykové injektáže:

- podchycení základů stávajícího objektu,
- zapažení výkopu stavební jámy,

- zajištění ražby podzemního díla,
- vytváření těsnící clony ze sloupců,
- vytváření obálky pro zajištění následného výrubu štoly,
- těsnění hrází,
- lamelové podzemní stěny (komunikace – křížení inženýrských sítí).

Využití tryskové injektáže je v moderním stavitelství velice rozsáhlé, zejména díky možnosti využití v různých typech zemin. Vykazuje výbornou zpevňovací i těsnící funkci. Trysková metoda injektování je díky těmto výhodám hojně využívána. [11][13]



Obrázek 4: Princip technologie tryskové injektáže [14]

### **Rubová injektáž**

Rubová injektáž zdiva je nejčastěji využívána pro zajištění správné hydroizolace na stavebních objektech, kde nelze vnější stěnu zdiva obnažit a provést hydroizolační nátěr přímo na vnější povrch. Z pravidla tomu bývá u inženýrských sítí nebo v místech s okolní zástavbou. V drtivé většině případů se zdivo injektuje pro potřebu obnovení hydroizolace a zamezení průsaku vody. K vytvoření nepropustné clony se využívá tlakové injektáže většinou polymerních látek. Pro zajištění bezproblémového transportu injektované směsi je nutné použít tzv. pakr o vhodné délce. Injektáž je prováděna z interiérové strany. Směs je pomocí vývrtů tlačena do okolní zeminy, kde vytváří kompaktní izolační clonu. Dochází také ke konsolidaci okolní zeminy.

Rubovou injektáží se vytváří nové svislé izolace nebo se jimi sanují lokální poruchy stávající nefunkční izolace. [14]

## 2. Vstupní složky pro výrobu injektážní hmoty – pojiva

Ve stavebnictví jsou výrazem pojiva označovány látky organického či anorganického původu, jejichž funkcí je sdružovat složku tzv. plniva do větších celků, přičemž současně dochází ke změně chemického složení. Injektážní hmoty pro tyto účely využívají zejména cement portlandského typu. Jedná se o hydraulickou maltovinu, tj. pojivo, které je schopno tuhnout i tvrdnout ve vodou nasyceném prostředí. Pro využití injektážní hmoty v kanalizačních stokách je hydraulická vlastnost pojiva nepostradatelná.

### 2.1. Cement

Cement zařazujeme do skupiny hydraulických pojiv. Jedná se o jemně mletý anorganický materiál, který po smíchání s vodou vytváří kaši, která v důsledku chemické hydraulické reakce tuhne a tvrdne. Po předchozím zatuhnutí na vzduchu dále tuhne a tvrdne i pod vodou, při zachování pevnosti a stability. [15]

Podle výroby a příměsí rozdělujeme a značíme cement následovně:

CEM I – Portlandský cement

CEM II – Portlandský cement směsný

CEM III – Vysokopeční cement

CEM IV – Pucolánový cement (v současnosti se v ČR nevyrábí)

CEM V – Směsný cement [15]

#### 2.1.1. Portlandský cement

Portlandský cement se vyrábí pomletím již zmiňovaného slínku spolu s menším množstvím síranu vápenatého – sádrovce. Slínek je vytvářen výpalem vhodných jílových hlín. Reakcí čtyřech základních oxidů – oxid vápenatý, oxid křemičitý, oxid hlinitý a oxid železitý, vznikají minerály, jež tvoří kostru sklínku. Jedná se zejména o alit ( $C_3S$ ), belit ( $C_2S$ ), trikalciium aluminát ( $C_3A$ ) a tetrakalciium aluminátferit ( $C_4AF$ ). Tyto minerály jsou se základními parametry uvedené v tabulce níže. [15][16]

Tabulka 1: Složky portlandského cementu [16]

Název	Vzorec	Procentuální zastoupení	Hydratační teplo [kJ/kg]	Rychlost hydratace
<b>Alit/Trikalciumsilikát</b>	C <sub>3</sub> S	35 až 75	500	rychlá
<b>Belit/Dikalciumsilikát</b>	C <sub>2</sub> S	5 až 40	250	střední
<b>Trikalciumaluminát</b>	C <sub>3</sub> A	3 až 15	910	rychlá
<b>Brownmillerit/Tetrakalciumaluminát-ferit</b>	C <sub>4</sub> AF	9 až 14	42	rychlá
<b>Oxid vápenatý</b>	CaO	<4	1160	pomalá
<b>Oxid hořečnatý</b>	MgO	<6	840	pomalá

### 2.1.2. Vysokopecní cement síranovzdorný

Síranovzdorný cement (CEM III) se vyrábí semletím portlandského slínku, vysokopecní strusky a vápence. Obsah vysokopecní strusky je v rozmezí 65-80 % hmotnosti. Oproti jiným cementům vykazuje nižší nárůst počátečních pevností, proto je využíván zejména pro výstavbu základů nebo na stavbu přehrad a jiných objemově větších konstrukcích, kde by vývinem vysokého hydratačního tepla, mohlo dojít k popraskání cementového kamene. Je odolný vůči chemicky agresivním vlivům. [17]

### 2.1.3. Hlinitanový cement

Hlinitanový cement se vyrábí ze speciálního hlinitanového slínku. Při výrobě surovinové směsi je využíván vápenec s bauxitem ve zhruba stejném poměru. Výpal probíhá tavením v elektrických obloukových pecích při teplotách 1800-2000 °C nebo slinováním v rotačních pecích při teplotách 1150-1250 °C. [18] Hlinitanový cement byl v minulosti hojně využíván zejména pro vysoký nárůst počátečních pevností. Společně s pevnostmi docházelo k vyššímu vývinu hydratačního tepla, což bylo taktéž využíváno. Další významnou výhodou hlinitanového cementu je zvýšená chemická odolnost v chemicky agresivním prostředí. Zejména zvýšená odolnost vůči SO<sup>4-</sup> a Cl<sup>-</sup>. [15][20]

Nevýhodou hlinitanového cementu, která jeho použití znemožňuje pro použití v konstrukčních betonech, je značná nestabilita hydratovaných minerálů. Dochází k výrazným objemovým změnám při rekrytalizaci původních hydratovaných minerálů na nově vzniklé minerály. Vzniká tak pórovitá struktura a pevnost cementového kamene je zcela nedostačující. Hlinitanový cement tak

nachází využití pouze při výrobě žárovzdorných betonů a vysokopevnostních podlah. [16]

#### 2.1.4. Producenti cementu v ČR

Tabulka 2: Seznam producentů cementu v ČR [21][22][23][24]

Producenti cementu v ČR	Produkované typy volně loženého cementu
<b>Českomoravský cement, a.s., závod – Mokrá</b>	CEM I 42,5 R
	CEM I 52,5 R
	CEM I 52,5 N
	CEM II/B-S 32,5 R
	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R
	CEM II/A-S 42,5 N
	CEM III/B 32,5 N - LH/SR
<b>Českomoravský cement, a.s., závod – Radotín</b>	CEM I 42,5 R
	CEM II/A-LL 52,5 N
	CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R
	CEM II/B-S 32,5 R
<b>Cement Hranice, a.s., závod Hranice</b>	CEM I 42,5 R
	CEM I 42,5 R (na)
	CEM I 42,5 R (sc)
	CEM I 52,5 R
	CEM II/A-LL 42,5 R
	CEM III/A 42,5 N
<b>CEMEX Czech republic, s.r.o., závod Prachovice</b>	CEM I 42,5 R
	CEM I 42,5 R (na)
	CEM I 42,5 R (sc)
	CEM II/B-S 32,5 R
	CEM III/B 32,5 N-LH/SR
	CEM II/A-LL 42,5 R
<b>Lafarge cement, a.s., závod Čížkovice</b>	CEM I 42,5 R
	CEM I 42,5 R (ra)
	CEM I 52,5 R
	CEM I 52,5 R (ra)
	CEM II/A-LL 52,5 R
	CEM II/A-M (S-LL) 42,5 R
	CEM II/A-S 42,5 R

## 2.1.5. Vlastnosti vybraných cementů

### CEM I 42,5 R

Vlastnosti Portlandského cementu:

- rychlý nárůst počátečních pevností, vysoké konečné pevnosti,
- vysoký vývin hydratačního tepla – betonáž při nižších teplotách,
- nevhodný pro velké objemy betonování.

Portlandský cement 42,5 R se využívá pro výrobu betonů vyšších tříd, výrobu železobetonu a předpínaných betonů, mostních prvků, pórobetonu, dlažby a střešních tašek. [21]

Tabulka 3: Technické parametry CEM I 42,5 R [25]

CEM I 42,5 R	
Obsah SO <sub>3</sub>	max. 4 %
Obsah Cl <sup>-</sup>	max. 0,1 %
Objemová stálost	max. 10 mm
Počátek tuhnutí	min. 60 min
Pevnost v tlaku po 2 dnech	min. 20,0 MPa
Pevnost v tlaku po 28 dnech	min. 42,5 MPa

### CEM III/B 32,5 N-LH/SR

Vysokopecní síranovzdorný cement obsahuje 66 až 80 % hmotnosti vysokopecní strusku. Vlastnosti vysokopecního cementu:

- vysoké konečné pevnosti,
- nízký vývin hydratačního tepla.

Vysokopecní síranovzdorný cement není vhodný pro betonáž při nižších teplotách, kvůli nižšímu vyvinu hydratačního tepla. Zároveň je ze stejného důvodu vhodný pro velkoobjemové betonáže. Je taktéž využíván pro výrobu vyztužených betonů, zdících cementových malt, základových betonů. Dále je vhodný pro použití v prostředí, kde dochází k působení chemicky agresivních vod. Tedy pro stavbu průmyslových objektů a pro hloubkové konstrukce. [21]

Tabulka 4: Technické parametry CEM III/B 32,5 N-LH/SR [25]

CEM III/B 32,5 N-LH/SR	
Obsah SO <sub>3</sub>	max. 4 %
Obsah Cl-	max. 0,1 %
Objemová stálost	max. 10 mm
Počátek tuhnutí	min. 75 min
Pevnost v tlaku po 2 dnech	min. 16,0 MPa
Pevnost v tlaku po 28 dnech	min. 32,5 MPa

## 2.2. Vodní sklo

Jako vodní sklo označujeme vodný roztok křemičitanu sodného. V současné době existují dvě metody výroby vodního skla:

### 2.2.1. Výroba z pevného křemičitanu sodného, pevného křemičitanu draselného (dále PKS/D)

PKS/D se vyrábí ze sklářského písku s obsahem 70-75 % oxidu křemičitého. Písek se taví ve vanové sklářské peci při teplotách v rozmezí 1400-1600 °C. Pro zvýšení efektivity tavení jsou do směsi přidávány alkalická tavidla (zejména uhličitan sodný, potaš – uhličitan draselný). Tavenina o vysoké teplotě se následně prudce chladí, což má za následek rozpraskání skloviny na menší částičky, což má za následek jednodušší rozpouštění. Takto připravený vstupní materiál se pomocí hydroxidu sodného/draselného, vody, vysoké teplotě a tlaku rozpouští v autoklávu. Tímto způsobem lze vyrábět všechny typy vodního skla. [9]

### 2.2.2. Výroba hydrotermální reakcí

V autoklávu se za pomoci hydroxidu sodného/draselného, teploty a tlaku rozpouští přímo křemičitý písek. Touto metodou lze vyrábět pouze určité typy vodních sodných skel. Parametry a výsledné vlastnosti vodních skel lze upravovat přidáváním organických či anorganických aditiv do procesu výroby – autoklávování. [9]

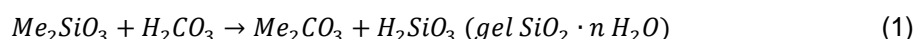
### 2.2.3. Vlastnosti vodního skla

Složení vodního skla charakterizujeme tzv. křemičítým modulem. Křemičítý poměr  $M$  vyjadřuje molární poměr  $SiO_2/Me_2O$ . U běžně vyráběných křemičitých vodních skel se tento poměr pohybuje mezi hodnotami 2,0-3,7. Další charakteristickou vlastností vodního skla je jeho hustota. Pomocí hustoty lze určit koncentraci roztoku i složení skla, jeho viskozitu i hodnotu pH. Viskozita je závislá na

koncentraci vodní suspenze. Při určování viskozity je třeba vzít v potaz newtonovský charakter vodního skla. Viskozita se tedy liší dle způsobu měření. Vodní sklo je roztokem solí silné zásady a slabé kyseliny, z toho důvodu je pH vždy zásaditého charakteru. [25]

#### 2.2.4. Vytvrzování vodního skla

Vytvrzování vodního skla je způsobeno tvorbou gelu kyseliny křemičité, nejčastěji v důsledku reakce alkalického křemičitanu s oxidem uhličitým, resp. Kyselinou uhličitou, podle následujícího schématu:



Vedlejším produktem vytvrzovací reakce je tedy podle typu vodního skla buď soda nebo potaš. [25]

#### 2.2.5. Použití vodního skla

Vodní sklo se používá jako lepidlo, jako přísada do odmašťovacích, pracích a čistících prostředků, a jako pojivo při výrobě pískových forem ve slévárnách. Pro tyto účely se používá především sodné vodní sklo. Pro výrobu nátěrových hmot a tmelů ve stavebnictví se používá draselné vodní sklo. [25]

#### 2.2.6. Dezalkalizované vodní sklo

Tento název se ve stavební praxi používá pro označení koloidní disperze oxidu křemičitého ve vodě, která se vyrábí iontovou výměnou ze zředěného vodního skla. Dispergované částice oxidu křemičitého mají velikost 10-20  $\mu\text{m}$ , jsou amorfní, kompaktní a nemají tedy žádný vnitřní povrch. Specifický povrch v závislosti na velikosti částic leží v rozmezí 200-400  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ . Obsah oxidu křemičitého bývá 30-40 %. Disperze mívají hodnotu pH  $\approx$  8,5-10, ve kterém jsou nejstabilnější. Obsah alkálií vyjádřený jako hmotnostní procenta  $\text{Na}_2\text{O}$  je nízký a leží v rozmezí 0,1-0,6 %. [25]

Hlavní použití dezalkalizovaného vodního skla jsou injektážní směsi pro vytváření hydroizolačních clon. Prakticky všechny aplikace koloidní disperze  $\text{SiO}_2$  jsou, podobně jako u vodního skla, založeny na její přeměně v gel, ke které dochází:

- odpařením vody,
- změnou pH na hodnotu 5-6,
- přidávkem elektrolytů, organických, s vodou mísitelných rozpouštědel, kvartérních bází apod. [25]

### **2.3. Bentonit**

Jedná se o sedimentační horninu vzniklou zvětráváním čediče. Je charakteristická svým vysokým obsahem jílových minerálů, vynikajícími sorpčními vlastnostmi a vysokou schopností výměny kationtů. Plastické vlastnosti bentonitu umožňují díky vysokému obsahu montmorillonitu bobtnání (zvyšovat svůj objem při kontaktu s vodou) až o 300 % svého objemu. Chemické i mineralogické složení je značně závislé na místě těžby, ložiska. Bentonit byl objeven v USA v roce 1881 u města Fort Benton, odkud také pochází název horniny. V dnešní době jsou největší naleziště v Americe a Evropě. [26]

Bentonit se těží také v České republice v severních Čechách již od roku 1941. V roce 1969 byl uveden do provozu závod v Obrnicích u Mostu, který ve své době zabezpečoval těžbu, úpravu a distribuci bentonitu do celé tehdejší ČSSR. Tehdejší produkce byla spotřebována zejména ve slévárenské výrobě. V dnešní době tento bývalý závod známe pod názvem akciové společnosti Keramost, která je významným evropským producentem upravovaných bentonitů. Dříve byl bentonit využíván zejména ve slévárenství. Dalším vývojem však našel využití vyjma stavebnictví také v oblasti vysoušedel, rekultivačních materiálech pro důlní výsypky, čištění odpadních vod, ale i chovatelských potřebách. Pravděpodobně největší využití však bentonit našel při budování skládek odpadů, kde byl aplikován, jako těsnicí vrstva zabraňující úniku škodlivin do přírody. [27]

Na základě výroby a vlastností rozdělujeme dva druhy bentonitu:

### **2.3.1. Neaktivované bentonity**

Přírodní vápenohřečnaté neaktivované bentonity jsou při procesu výroby pouze vysoušené a mleté na jemnější frakce.

Využití neaktivovaného bentonitu nalezneme v přípravě formovacích směsí pro odlitky s krátkou dobou lití. Dále se využívá, jako flokulační zatěžkávadlo (čištění odpadních vod), pufr pro zvýšení nepropustnosti zemin, práškové hasivo, zahušřovadlo zemědělských odpadů, plastifikační přísada do malt, omítek a keramických hmot. [27]

### **2.3.2. Aktivované bentonity**

Selektivně těžená hornina pro výrobu aktivovaných bentonitů je dále homogenizována, šetrně vysoušena a následně mleta. Do přirozeně vlhkého bentonitu se při výrobě přidává uhličitan sodný.

Aktivované bentonity jsou rovněž využívány ve slévárenství pro výrobu formovacích a modelových směsí. Ve stavebnictví opět jako plastifikační přísada do malt, omítek i keramických hmot nebo jako těsnící složka injektážní hmoty.

Bentonity jsou využívány pro stavební účely pro své výjimečné geologické vlastnosti. Jak již bylo řečeno výše, využívá se zejména jejich vysoké bobtnací schopnosti, nepropustnosti mixovaných a zhutněných vrstev a zejména těsnící účinky při výstavbě i sanaci vodních děl, nádrží apod. Dále jsou využívány bentonitové suspenze pro zpevnění nestabilních podloží při vrtných pracích (hlubinné zakládání atd.). Bentonit je pro své specifické vlastnosti přidáván jako plastifikační přísada do pastových hmot, omítek, malt či betonů. [28]

Využití bentonitu dle specifických schopností:

#### **2.3.3. Sorpční schopnost**

- zachycení pachů, par, vzdušné vlhkosti,
- olejové skvrny (jiné tekutiny),
- podestýlky hospodářských zvířat.

#### **2.3.4. Rekultivační schopnost**

- zúrodnování půdy (zadržení vlhkosti a živin),
- přísada do minerálních hnojiv.

### **2.3.5. Těsnicí schopnost**

- těsnění staveb, vodních nádrží,
- těsnění hrází (drobných průsakových trhlin),
- zajištění nepropustnosti podloží u staveb s možným nebezpečím úniku škodlivin. [28]

### **Použití bentonitu v injektážních hmotách**

Dle práce [29] je ideální množství použití bentonitu v rozmezí 2-3 %. Při použití bentonitu v injektážních hmotách dochází ke snižování pevnosti v tahu za ohybu i pevnosti v tlaku vyztužené hmoty. Bentonit je však často používán pro svoji schopnost omezovat bleeding a segregaci čerstvé směsi injektážní hmoty. Bleeding je vzhledem k vysoké viskozitě injektážních směsí často zkoumaným jevem. Použití bentonitu v dávce 2-10 % bleeding směsi snižuje, nicméně jej zcela nepotlačuje. Vyšší dávky bentonitu 10-18 % zajišťují směs proti bleedingu a zároveň zvyšuje viskozitu čerstvé směsi. Taková dávka bentonitu má však vysoce nepříznivé dopady na pevnosti. Pro směsi určené k zajištění vyšších pevností injektované vrstvy, je tedy vyšší množství bentonitu nevhodné. Nicméně pokud je kladen důraz na těsnicí schopnost směsi, a zároveň nejsou kladeny vyšší nároky na pevnosti, lze dávku bentonitu zvýšit. Je třeba brát v potaz, že použití bentonitu v injektážní směsi prodlužuje dobu tuhnutí a zároveň oddaluje počátek doby tuhnutí. [29]

### **3. Soubor druhotných surovin a odpadů**

Při výrobě cementu vzniká enormní množství oxidu uhličitého. Téměř 7 % skleníkového plynu je vytvořeno právě při jeho výrobě. Proto je dnes často využíváno přidavku či náhrady do cementových materiálů druhotnými surovinami. Do této skupiny látek patří právě vysokoteplotní popílek, kamenná moučka, struska, škvára a mikrosilika. [30]

#### **3.1. Popílek**

Popílek používaný při výrobě betonu či cementu je anorganická zplodina vznikající při spalování pevných, zpravidla jemně mletých, paliv v uhelných elektrárnách. Zachycuje se z kouřových plynů v mechanických nebo elektrostatických odlučovačích. Při výrobě betonu se jedná o latentně hydraulickou příměs. Latentně hydraulickou vlastností popílku rozumíme skrytou schopnost zúčastnit se hydratace, za nutnosti přítomnosti cementu coby aktivátoru. [31][32]

Při využití popílku v betonu (injektažní hmotě) je třeba brát v potaz vysokou variabilitu jeho vlastností, chemického složení. Závisí na teplotě výpalu, druhu paliva, typu spalování a mnoha dalších faktorech. Vhodně použitý popílek výrazně zlepšuje čerpatelnost a odolnost vůči tzv. bleedingu (krvácení) čerstvé suspenze. V pevném stavu zvyšuje odolnost vůči průsaku tlakové vody, výsledné pevnosti v tlaku a kvalitu povrchu výrobků. [31]

### 3.1.1. Seznam producentů popílku

Tabulka 5: Producenti popílku

Provozovatel	Produkce	Pracoviště	Typ paliva
ČEZ	Elektrárna	Prunéřov	hnědé uhlí
Elektrárna Počerady	Elektrárna	Počerady	hnědé uhlí
Sev.en EC	Elektrárna	Chvaletice	hnědé uhlí
Elektrárna Dětmarovice	Elektrárna	Dětmarovice	černé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Tušimice	hnědé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Mělník	hnědé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Prunéřov	hnědé uhlí
Elektrárna Opatovice	Elektrárna	Opatovice	hnědé uhlí
Energotrans	Elektrárna	Mělník I	hnědé uhlí
Alpiq Generation	Elektrárna	Kladno-Dubská elektrárna	hnědé uhlí, černé uhlí
Tameh Czech	Elektrárna	Ostrava – Kunčice	černé uhlí
United energy	Elektrárna	Komořany	hnědé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Mělník II	hnědé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Ledvice	hnědé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Tisová	hnědé uhlí
Veolia energie ČR	Elektrárna	Třebovice	černé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Poříčí	hnědé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Tisová II	hnědé uhlí
ČEZ	Elektrárna	Hodonín	hnědé uhlí
Sokolovská uhelná, právní nástupce	Teplárna	Vřesová	hnědé uhlí
Pražská teplárenská	Teplárna	Praha – Malešice	černé uhlí
Plzeňská teplárenská	Teplárna	Plzeň	hnědé uhlí

### 3.1.2. Latentní hydraulická

Látky schopné tuhnout a tvrdnou i ve vodním prostředí za normálních teplot označujeme jako hydraulicky aktivní. Tyto látky jsou charakteristické obsahem čtyřech oxidů:  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Latentně hydraulické látky potřebují tzv. budič, aby byly schopny nabýt hydraulických vlastností. Rozdělujeme síranové budiče (anhydrit) a častěji používané budiče alkalické (cement). [33]

### 3.1.3. Pucolanita

Pucolánové látky jsou charakteristické vysokým obsahem  $\text{SiO}_2$ . Tyto látky však nejsou hydraulicky aktivní ani při použití budiče. Nicméně díky vysokému obsahu oxidu křemičitého jsou schopny reagovat s  $\text{Ca(OH)}_2$ , přičemž vznikají CSH fáze. Typickými příklady pucolánů jsou druhotné suroviny z průmyslové výroby, tedy popílky, či křemičité úlety. Jsou však také uměle vyráběny (cihelný prach, skelný prach). Pucolány se vyskytují také v přírodě (tufy, tufity, trasy, křemelina atd.).

Jsou to látky obsahující sopečné sklo, které vzniká při rychlém ochlazení magmatu. Látky s pucolánovými vlastnostmi byly známi již starověkým Římanům, kteří je využívali jako pojivo do malt. Na úpatí Vesuvu se nachází městečko Pozuoli, od kterého vznikl samotný název pucolánů. [15]

#### **3.1.4. Vysokoteplotní popílek**

Vysokoteplotní elektrárenské popílky vznikají při spalování práškového uhelného paliva za vysokých teplot – 1200 až 1700 °C. Jedná se o nespalitelné zbytky, které jsou pomocí elektrostatických odlučovačů získané z kouřových plynů. Produkce popílku je v celosvětovém měřítku značná a jeho produkce se bude pravděpodobně zvyšovat. Popílek je jako druhotná surovina dobře využitelný pro své pucolánové nebo latentně hydraulické vlastnosti. Tyto vlastnosti budou blíže rozvedeny v následující kapitole.

Zásadním rozdílem popílku oproti cementům je nižší obsah CaO, což je důvodem, proč zařazujeme popílek do látek s pucolánovými vlastnostmi a ne, jako hydraulicky působící pojivo.

Jak již bylo řečeno výše, vlastnosti popílků se významně liší. Obecně platí, že při spalování hnědouhelného paliva se vlastnosti popílku liší více než u popílků vzniklých spalováním paliva černouhelného. Jako příměs do betonů jsou tak lépe využitelné černouhelné popílky. V ČR je však v tepelných elektrárnách více využíváno hnědé uhlí. Dalšími faktory, ovlivňující výsledné vlastnosti popílků jsou:

- teplota spalování,
- technologie spalování,
- jemnost mletí,
- způsob odlučování z kouřových plynů. [15]

Pro reaktivitu popílku je zásadní jeho amorfní fáze, která je tvořená především látkami svým složením podobnými světlé slíďe, mullitu. Tyto látky tvoří většinou část všech popílků. Krystalické fáze obsažené v popílku tvoří zejména  $\beta$ -křemen.

Jemné skelné částičky popílku jsou kulovitěho tvaru s dutinou uvnitř. Takové tvary nazýváme cenosféry. Pokud se v dutině cenosféry nachází další částice stejného tvaru, jedná se o plerosféru. Dále mohou částice tvořit tzv.

ferrosféry nebo pyrosféry. Častým jevem je shlukování částic a tvorba aglomerátů. [17]

### **Hydratace vysokoteplotních popílků**

Vysokoteplotní popílků patří k nejvýznamněji využívaným druhotným surovinám ve stavebnictví. Dnes je částečná náhrada cementu jako pojivové složky popílkem běžnou praxí. Podle některých studií je více než polovina elektrárenského popílku využita v cementářském průmyslu.

Obecně nelze porovnávat hydrataci cementů a cementů s příměsí popílků, a to právě proto, že se vlastnosti a složení popílků značně odlišují. Některé studie poukazují na nižší míru vývinu hydratačního tepla popílkových cementů. Avšak za použití jiných popílků může být vývin hydratačního tepla naopak pomalejší.

Hydratace popílkových cementů je pomalejší než hydratace cementů portlandského typu. K započnutí reakce je nutné zvýšení pH na potřebnou hodnotu. Míra zpoždění nástupu reakce je ovlivněna rozpustností amorfni fáze popílku spolu se zásaditostí směsi. Popílek reaguje s hydroxidem vápenatým a vytváří produkty podobné produktům hydratace portlandského cementu. [16][17]

### **Využití vysokoteplotních popílků**

- výroba popílkových portlandských cementů,
- příměs do betonové směsi,
- výroba lehčeného kameniva,
- výroba popílkových hydraulických vápen,
- při výrobě hrubé keramiky (ostřiva, lehčiva),
- zpevňování silničních násypů. [34]

Se zvyšováním náhrady cementu popílkem nedochází ke stejně rychlému nárůstu pevností. Nicméně díky pucolánovému charakteru popílku dochází ke zvyšování pevností později během zrání směsi. Přídavek popílku do značné míry zamezuje bleedingu a zlepšuje zpracovatelnost směsi. Dalším pozitivním účinkem popílku je menší smrštění výrobků. Dle práce [35] je nahrazením 50 % cementu popílkem sníženo smrštění betonu o 30 %. Smrštění betonu při nedostatečném ošetřování má za následek tvorbu trhlin, což beton značně znehodnocuje. Dle

práce [36] nahrazením 40 % cementu dosáhneme lepších těsnících vlastností povrchu betonových konstrukcí o 6 až 11 %. Bohužel nahrazením cementu popílkem o 60 % se jeho nepropustnost naopak značně zhoršuje. Popílek ve směsi zlepšuje těsnící schopnost, je však nutné tyto konstrukce řádně ošetřovat. Dle Wangu [37] použitím vysokoteplotního popílku snížíme propustnost povrchu betonu vůči chloridům.

### Fyzikální vlastnosti vysokoteplotních popílků

- měrná hmotnost: v rozmezí 2100 až 2650 kg/m<sup>3</sup>,
- sypná hmotnost: volně sypaná 500 až 900 kg/m<sup>3</sup>,  
setřesená 750 až 1300 kg/m<sup>3</sup>,
- měrný povrch: v rozmezí 170 až 800 m<sup>2</sup>/kg. [34]

### Chemické složení vysokoteplotních popílků

Rozlišujeme:

- zásadité popílků s vysokým obsahem CaO – 30 %,
- kyselé popílků: SiO<sub>2</sub> > 50 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <10 %,
- hlinito-křemičité popílků: SiO<sub>2</sub> - 50 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -10 %.

Tabulka 6: Chemické složení běžného popílku [34]

Chemické složení popílku	
CaO	5-15 %
SiO <sub>2</sub>	40-45 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15-30 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-18 %
SO <sub>4</sub>	<2,0 %

### Použití popílku v injektážních hmotách

Dle [39] je doporučená dávka náhrady cementu popílkem 15-40 %. Popílek vylepšuje reologické vlastnosti čerstvé směsi, ale zároveň snižuje její stabilitu. Pro zlepšení stability čerstvé suspenze je do směsi přidáván bentonit. Zároveň má náhrada cementu popílkem za následek zvyšování doby tuhnutí a tvrdnutí hmoty. Tento efekt je důsledkem zpomaleného vývoje hydratace popílku. Při zkoumání vlastností v práci [39] nabývaly pevnosti v tahu za ohybu podobných hodnot, jako receptura bez nahrazení pojiva. Dále bylo taktéž řečeno, že se pevnosti výrazněji zvyšovaly při dlouhodobějším testování. Avšak pevnosti v tlaku byly náhradou pojiva sníženy.

### 3.2. Vysokoteplotní uhelná škvára

Vysokoteplotní uhelná škvára je vedlejším produktem výroby surového železa, vyráběného ve vysoké peci. Podmínkou jejího dalšího využití je obsah minimálně dvou třetin amorfní fáze. Při vhodné aktivaci se chová jako hydraulické pojivo. Nevýhodou uhelné škváry je, že při výrobním procesu surového železa, přecházejí do škváry veškeré nečistoty přítomné v koksu a v železné rudě. Tyto nečistoty mohou zvyšovat teplotu tavení směsi. Z tohoto důvodu jsou přidávány příměsi, korigující tuto vlastnost. [40]

Použitelnost škváry jako druhotné suroviny závisí na obsahu oxidu vápenatého – CaO, oxidu křemičitého – SiO<sub>2</sub> a oxidu hořečnatého – MgO. Tyto základní tři složky musí tvořit minimálně dvě třetiny hmotnosti škváry. Zbytek tvoří oxid hlinitý a malé množství jiných sloučenin. Zároveň je třeba brát zřetel na obsah síranů a zejména sulfidů.[40]

Tabulka 7: Přibližné složení některých vysokoteplotních škvár [40]

Chemické složení vysokoteplotní uhelné škváry	
CaO	26-45 %
SiO <sub>2</sub>	25-45 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4-15 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<1,5 %
MgO	4-15 %
S <sup>-</sup>	<3,0 %

Modifikace vlastností směsi vlivem použití vysokoteplotní uhelné škváry jako příměsi, závisí na vícero faktorech. Závisí především na jejím složení, jemnosti mletí nebo míře přidaného množství. Možné ovlivnění vlastností materiálu při použití škváry jako příměsi:

- snížení počátečních pevností při nižších teplotách,
- snížení vývinu hydratačního tepla,
- zvýšení poměru pevnosti v tahu vůči pevnosti v prostém tlaku,
- zvýšení odolnosti vůči chemicky agresivnímu prostředí (chloridům a sulfátům). [41]

### 3.3. Mikrosféry

Mikrosféry tvoří část elektrárenských popílků. Jedná se o duté částice o průměru do 500 μm, které jsou takřka dokonale kulovité. Vznikají za vysokých teplot při spalování zejména uhelného paliva. Na základě typu spalování, jeho teplotě

a dalších podmínek vzniká určité množství mikrosfér. Poměr zastoupení mikrosfér v popílku tvoří přibližně 1 až 2 %. Důležitou vlastností pro oddělení mikrosfér od popílku je jejich hustota, která je nižší nežli hustota vody. Proto je lze v nádržích získat z hladiny vody.

Díky svému tvaru mají mikrosféry nízkou měrnou hmotnost, což zapříčiňuje jejich dobré zvukoizolační a termoizolační vlastnosti. Jsou inertní a odolné vůči vysokým teplotám až do 1200 °C.

Mikrosféry jsou využívány zejména pro své tepelně izolační a zvukoizolační vlastnosti. Používají se jako výplně plastových rámců oken, plnivo obkladových dlaždic se zvýšenou tepelnou a zvukovou izolací, plnivo fasádních prvků nátěrů a nástřiků. [42]

### **3.4. Vysokopecní struska**

„Strusky jsou pevné nekovové doprovodní výrobky hutní výroby, které vznikly roztavením hlušiny rudy, přísadových struskotvorných látek a minerálních podílů z pevných paliv. V širším smyslu jsou potom strusky všechny přetavené zpravidla silikátové odpady vznikající v průmyslových pecích, resp. v topeništích.“ [34] Rychlost chlazení značně ovlivňuje reaktivitu strusky. Čím rychleji je struska chlazená, tím je reaktivnější. Reaktivitu zvyšuje přítomnost amorfni fáze strusky.

Právě poměr zastoupení amorfni a krystalické fáze spolu s chemickým a mineralogickým složením charakterizuje strusku.

Strusky se používají jako příměs s latentně hydraulickými vlastnostmi při výrobě cementu, jako kamenivo do lehčených i běžných betonů, pro výrobu hydraulického vápna atd. [34]

#### **3.4.1. Silikátový rozpad strusky**

U zásaditých strusek, které obsahují více než 46 % CaO, můžeme pozorovat samovolný rozpad strusky, který je doprovázen objemovými změnami. Konkrétně se jedná o nárůst objemu až o 10 %. Objemové změny jsou způsobeny modifikační přeměnou  $\beta$ -C<sub>2</sub>S na  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S při chlazení strusky. Kritická teplota, při které k této přeměně dochází je 675 °C. K této modifikační přeměně strusky však může docházet i dlouho po jejím ochlazení (roky). Silikátovému rozpadu předejdeme přidáním některým z oxidů Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nebo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do tekuté strusky. [34]

## Hydratační reakce strusky s cementem

Během chemických reakcí strusky, cementu a vody lze sledovat hydrataci minerálů s vodou, ale zároveň dochází k nárůstu latentně hydraulických vlastností strusky. První reaguje s vodou alit za vzniku CSH gelu a portlanditu ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Množství vzniklého portlanditu je však regulováno jeho reakcí se struskou, což má za následek vznik méně alkalických CSH I a CSH II gely. Tato reakce zvyšuje odolnost tmelu vůči kyselinám. [34]

## Využití vysokopecních strusek

- příměs při výrobě cementů,
- násypová tělesa – komunikace,
- výroba hydraulických vápen,
- pórovité kamenivo pro lehčený beton, hutné pro obyčejný beton,
- tepelně izolační násypy – zpěněná struska.

## Chemické složení vysokopecní strusky

Tabulka 8: Chemické složení strusky [34]

Chemické složení vysokopecní strusky	
CaO	30-50 %
SiO <sub>2</sub>	30-43 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-18 %
MgO	1-15 %
MnO	0,2-2 %

## Mineralogické složení vysokopecní strusky

Zastoupení minerálů v zásaditých struskách:

- gehlenit  $\text{C}_2\text{AS}$ ,
- akermanit  $\text{C}_2\text{MS}_2$ ,
- melilit, merwinit a wollastonit.

Zastoupení minerálů v kyselých struskách:

- anortit  $\text{CAS}_2$ ,
- diopsid  $\text{CMS}_2$ .

Ve struskách se nachází větší množství minerálů. Uvedené minerály tvoří většinou část složení strusek a jsou zásadní pro její technologické vlastnosti.

Vhodné chemické složení a kvalita strusek je vyhodnocována pomocí tzv. Modulu bazicity a indexem F. Modul bazicity udává poměr mezi zásaditými a kyselými oxidy obsaženými ve struskách.

$$Mz = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (2)$$

$Mz > 1$  – zásadité strusky

$Mz < 1$  – kyselé strusky [34]

### 3.5. Odpadní sklo

V České republice je téměř 75 % odpadního skla recyklováno. Jako odpadní sklo označujeme obalové sklo, sklo z automobilového průmyslu, sklo z vyřazených solárních panelů, sklo recyklované z CRT obrazovek, skleněná moučka, využívaná pro výrobu pěnového skla. Životnost solárních panelů je 15, lze tedy předpokládat, že bude docházet k nárůstu odpadního skla z tohoto odvětví. [43]

Tabulka 9: Obecné složení obalového skla [43]

Chemické složení obalového skla	
SiO <sub>2</sub>	70-74 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,40 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04 %
CaO	5,11 %
MgO	1,30 %
TiO <sub>2</sub>	0,01 %
SO <sub>3</sub>	0,20 %
Na <sub>2</sub> O	12,16 %
K <sub>2</sub> O	0,30 %

### 3.6. Pěnové sklo

Pěnové sklo je z 90 % vytvářeno z odpadního skla. Jedná se tedy o vysoce ekologický a čistý produkt. Jedná se o vysoce porézní materiál a v moderním stavebnictví je pěnové sklo používáno, jako lehké kamenivo do tepelně izolačních prvků.

Zásadní výhody pěnového skla jsou lehkost, tvarová stálost, odolnost proti stárnutí, vysoká porozita – vhodné pro tepelnou izolaci základových desek, možnost využití jako drenáž. Pěnové sklo má uzavřenou porézní strukturu, což zabraňuje průchodu vlhkosti objektem. Materiál je vysoce únosný, nenasákavý a nenamrzavý a nehořlavý. Granulát, který je vytvářen při výrobě pěnového skla je zcela recyklovatelný. [44]

Tabulka 10: Příklad složení skleněné moučky pro výrobu pěnového skla

<b>Chemické složení skleněné moučky</b>	
<b>SiO<sub>2</sub></b>	71 %
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	1,7 -2 %
<b>CaO</b>	9-11 %
<b>MgO</b>	0,5-1,5 %
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	14-15 %
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,50 %

### 3.7. Odkapy z výroby taveného čediče

Při výrobě taveného čediče dochází k odkapu části materiálu. Čedič je při výrobě taven a odléván do forem. Odkapy jsou odváděny bokem od výroby, kde jsou prudce ochlazený vodou. Jelikož není směs nijak dávkována při chlazení, dochází k tvorbě velkých zrn materiálu. Vlastnosti materiálu se podobají vlastnostem taveného čediče. [45]

### 3.8. Slévárenské písky

Slévárenské písky jsou světlé jemnozrnné horniny, které jsou vhodné pro výrobu slévárenských forem a jader. Základními požadavky na vlastnosti slévárenských písků jsou dostatečné pevnost, žárovzdornost a vhodná zrnitost. Slévárenské písky těžené z přírody jsou v současné době nahrazovány uměle vyrobenými směsi. Jsou to směsi křemičitých písků, které tvoří 98 % objemu, pojených nejčastěji bentonitem nebo vodním sklem. Po průchodu žárovým pásmem výroby se vlastnosti písků natolik změní, že nejsou opakovaně použitelné. Použití slévárenských písků jako druhotné suroviny je aplikováno při výrobě betonů a malt jako plnivo. [46]

#### Složení slévárenských písků pojených bentonitem

Po přechodu žárem obsahují slévárenské písky okolo 90 % krystalického oxidu křemičitého a 5 % bentonitu. Zbytek je tvořen ostatními jíly, grafitem, který se přidává zejména při výrobě litiny za účelem zkvalitnění povrchu a uhelným prachem. [47]

Tabulka 11: Chemické složení křemenných písků [47]

<b>Chemické složení křemenných písků</b>	
<b>SiO<sub>2</sub></b>	98,30 %
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,15 %
<b>Uhličitany</b>	max. 0,15 %
<b>Vyplavitelné látky</b>	max. 0,20 %

#### **Fyzikální vlastnosti křemenných písků:**

- spékavost min. 1550 °C
- vlhkost max. 0,2 % [47]

### **3.9. Odpadní písky**

Písek oddělený v čističkách odpadních vod je označován jako odpadní písek. Do čističky je z kanalizace přiváděna odpadní voda, která je nejprve zbavena větších nečistot na lapači hrubého šterku. Na odtoku jsou dále umístěny hrubé česle, které zachycují nečistoty plovoucí na hladině vody. Dále jsou odstraněny jemnější plovoucí nečistoty. Dalším stanovištěm je lapák jemného šterku a písku. Lapák je kruhová nádrž se středovým potrubím, kterým je přiváděna odpadní voda. V lapáku dochází k usazování odpadního písku, který je dále přemístěn do další nádrže, kde dochází k propírání písku a odstraňování organických nečistot. Takto vypraný písek nemá využití další využití a je skládkován. [48]

Odpadní písky z výroby vodního skla jsou po mechanickém vytřídění využívány jako jemné kamenivo při výrobě betonu a betonových výrobků. [48] Tyto písky mají výhodnou granulometrii. Obsahují frakce, které běžné písky postrádají, což zlepšuje zpracovatelnost a provzdušnění betonu. Provzdušnění betonu zvyšuje jeho mrazuvzdornost.

Použití odpadního písku z výroby vodního skla však sebou nese i nevýhody. Tyto písky obsahují velké množství alkálií. Při použití v běžných betonech je riziko vzniku alkalicko-křemičité reakce, která zapříčiňuje objemové změny. Pozitivním účinkem obsahu alkálií je možnost urychlení tuhnutí a tvrdnutí betonu. [48]

### **3.10. Odpadní vypírka drceného kameniva**

Promýváním drceného kameniva získáváme odpadní materiál, který je svými vlastnostmi značně různorodý. Jeho vlastnosti, mineralogické i chemické složení se odvíjí od místa těžby kameniva, granulometrie, způsobu těžení a úpravy

(drcení) kameniva. Chemické a mineralogické vlastnosti záleží na nalezišti. Granulometrie závisí na způsobu úpravy a druhu těžného nerostu.

Tabulka 12: Příklady Mineralogického složení kamenné vypírky/kalu [49]

Kaly	Mineralogické složení
Bílý Kámen	křemen, živce, slída, kaolinit
Luleč	křemen, živce, slída, kaolinit, montmorillonit
Olbramovice	křemen, živce, slída
Výkleky	křemen, živce, slída, kaolinit, montmorillonit

### 3.11. Kamenné odprašky

Kamenné odprašky vznikají při procesu drcení přírodního kameniva. Typicky využívanými drtiči, které plní tuto funkci jsou drtiče čelistové, kuželové a odrazové. Po procesu drcení postupuje materiál na třídící linku, kde jsou zrna roztříděna do jednotlivých frakcí. Během drcení jsou nejjemnější částice – odprašky, odsávány a zachycovány na filtrech. Poté jsou ukládány na skládkách nebo se přimíchávají do nejjemnějších frakcí kameniva. Tato příměs však značně ovlivňuje vlastnosti drobné frakce kameniva.

Kamenné odprašky se ve stavebnictví využívají pro výrobu asfaltových směsí, v betonářském odvětví jako jemné podíly a v keramické technologii jako ostřívo při výrobě neplastická složka – ostřívo. Běžně jsou v keramice jako ostřívo využívány křemenné písky a zastoupení použití kamenných odprašků je minimální. [50]

Dle [51] je křemičitý úlet používán jako příměs do injektážních hmot pro urychlení tvrdnutí a zrychlení nárůstu počátečních pevností. Pro tento účel se doporučuje použít dávku 5-15 %. Nicméně díky koagulačnímu efektu zrn snižuje tekutost čerstvé směsi. Na základě testování prováděném v [51] byla určena optimální náhrada cementu křemičitým úletem na 6 %.

Tabulka 13: Příklad fyzikálních vlastností kamenných odprašků [51]

Fyzikální vlastnost	Odprašky	
	Předklášteří	Lomnička
Měrný povrch [m <sup>2</sup> /kg]	789	936
Měrná hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	2740	2760
Vlhkost [%]	0,46	0,76

### 3.11.1. Živce

Živce spadají do skupiny horninotvorných minerálů. Rozlišujeme živce draselné, sodné a vápenaté. [53] V přírodě se však živce vyskytují, jako živce směsné (sodno-draselné nebo draselno-sodné) s podílem dalších složek, minerálů, zejména křemene. [50] Jedná se o tektosilikáty, soustavy jednoklonné nebo trojklonné. Krystaly jsou destičkové, či prizmatické. Dále lze živce rozdělit na dvě skupiny. Skupinu alkalických živců a plagioklasů, které mohou být kyselé i bazické. [53]

### 3.11.2. Vápence

V přírodě se vápence vyskytují ve dvou formách jako kalcit nebo aragonit. Jejich chemický vzorec je  $\text{CaCO}_3$ . Jedná se o sedimentární přeměněné horniny, které mohou v závislosti na obsahu příměsí nabývat tmavé až černé barvy nebo velice světlé až bílé barvy, kdy je obsah dalších příměsí takřka nulový.

Vápence jsou významnou surovinou při výrobě stavebních hmot. Využívají se při výrobě páleného vápna, jako příměs při výrobě cementu a jiných maltovin, jako kamenivo v betonářském odvětví nebo jako stavební kámen pro dekorační účely. Vápenec je také využíván pro úpravu chemického složení základní surovinové směsi pro výpal slínku.

Dle normy ČSN EN 206 je jemně mletý vápenec považován za inertní příměsí. Nepodílí se tedy na hydrataci cementu. Slouží jako jemnozrné plnivo, které vyplňuje mezery mezi zrny cementu. Z praxe však vyplývá, že má jemnozrný vápenec dopad na počáteční vývinu pevností, jelikož zastává funkci nukleačních center pro tvorbu krystalů portlanditu. Doporučená dávka jemně mletého vápence se pohybuje do 20 % hmotnosti cementu.

Dle obsahu  $\text{CaCO}_3$  rozlišujeme:

- **Vápence vysokoprocentní** s obsahem min. 96 % karbonátové složky (jako karbonátovou složku ve vápencích označujeme  $\text{CaCO}_3$  a  $\text{MgCO}_3$ ), které jsou využívány pro výrobu velmi čistého páleného vápna,
- **Vápence ostatní** s obsahem karbonátů min. 80 %, kam spadají i dolomity, a které jsou využívány v cementářském průmyslu, k výrobě vápna a k odsiřování uhelných spalin,

- **Vápence jílovité** s obsahem  $\text{CaCO}_3$  okolo 70 % a zároveň vyšším obsahem  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , s využitím v cementářském průmyslu a při výrobě vápna,
  - **Vápence pro zemědělské účely** s obsahem  $\text{CaCO}_3$  v rozmezí 70-75 %.
- [55]

Tabulka 14: Příklad mineralogického složení kamenných odprašků [51]

Odprašky	Mineralogické složení
Luleč	křemen, živce, slída, kaolinit
Zárubka	křemen, živce, slída, kaolinit, indialith
Želešice	amfibol, cummingtonit, glaukofan, kaolinit

### 3.12. Odpadní slída

Slída je odolná vůči vysokým teplotám a má vynikající elektrické izolační vlastnosti. Rozdělujeme tmavou slídu – flogopit a světlou slídu muskovit. Materiály na bázi slídy označujeme jako mikanit. Mikanit zahrnuje např. drcenou slídu nebo odpad po štípní slídy. Tento materiál se vyrábí lisováním drcené slídy pod vysokým tlakem spolu s pryskyřičným pojivem. Mikanitové destičky se využívají především v elektrotechnice, jako nosiče topných spirál nebo jako izolace mezi vinutími elektrických strojů. [56]

### 3.13. Odpadní lupek

Lupek je zpevněná sedimentární hornina, která je tvořena převážně z jílového minerálu kaolinitu. Jedná se o vrstevnatý jílovec. Odpadní lupek je prach zbylý po třídění využitelných frakcí páleného lupku.

Typickou vlastností lupku je žáruvzdornost. Využívá se pro výrobu žáruvzdorných cihel, žárobetonů, forem ve slévárenském průmyslu, sanitární keramiky, elektro porcelánu a ve velmi jemné formě pro výrobu glazur. Lupky vykazují nízkou ztrátu žíháním, vysokou objemovou hmotnost a nízkou nasákavost. [57]

Tabulka 15: Chemické složení lupku [57]

Chemické složení lupku	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41,20 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,54 %
TiO <sub>2</sub>	11,42 %
K <sub>2</sub> O	0,78 %
ZŽ	8,99 %

### 3.14. Odpady z těžby a úpravy kaolínu

Kaolín je bílá měkká hornina, která vznikla přeměnou původních živičných hornin, jako jsou např. žula, pískovce, granulity, ruly. Po natěžení suroviny dochází k její úpravě. Plavení kaolínu odstraňuje nečistoty, většinou zbytky původní horniny a odděluje čistý kaolinit, tedy vlastní produkt. [58]

Odpady oddělené při plavení kaolínu (ale i jiných jílových minerálů) jsou využitelné při metodě aglomerace chemickou syntézou (ACHS). Tímto způsobem lze vytvářet nové materiály vhodné pro keramický průmysl, stavebnictví a protipožární výrobky. Princip metody ACHS je vytvoření polymerní sítě vazbou Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a SiO<sub>2</sub>. Jednou z výhod této metody je absence tepelného procesu při vytváření vazeb. Vznik nových vazeb probíhá za studena.

Po aktivaci je směs snadno opracovatelná a při laboratorní teplotě dochází k úplnému vytvrzení látky přibližně za 15 hodin. Takto vzniklý materiál má výborné mechanické vlastnosti, je nehořlavý a do vysoké míry snáší tepelné šoky. Pakliže je v použitých odpadních látkách obsažen i vápník, jsou směsi odolné kyselinovzdorné.

Průběh reakcí a výsledné vlastnosti materiálů vzniklých aglomerováním chemickou syntézou je závislý na typu a struktuře jílového minerálu, době a způsobu aktivace, poměru SiO<sub>2</sub> a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, homogenizací vstupních surovin a dalších podmínkách. Reakční čas lze ovlivnit teplotou, při které reakce probíhá. [59]

### 3.15. Energosádrovec

Energosádrovec se vyznačuje vysokou čistotou (97-98 %), nízkým obsahem znečišťujících látek, kterou je například hlína, živce, písky nebo uhličitany. Zároveň obsahuje malý podíl látek z výrobního procesu. Z pravidla je to často kalciumsulfid, chloridy, a především létavý popílek. Energosádrovec se od přírodního sádrovce odlišuje svými fyzikálními vlastnostmi – sypaná hmotnost,

druhy krystalů, velikost zrn atd. Vlastnosti energosádrovce se liší v závislosti na typu a místě provozu.

Energosádrovec je výsledný produkt, který vzniká při odsiřování spalin. Suspenzí jemně mletého vápence a vody prochází kouřové plyny. Suspenze na sebe naváže oxidy síry a dochází ke vzniku sádrovce. Tomuto procesu se říká tzv. mokrá vápenná vypírka. Před dalším zpracováním je tedy nutné sádrovec nejprve vysoušet.

Tento materiál má ve stavebnictví mnohé využití. Zejména při výrobě sádrokartonů a sádry. Dále při výrobě cementu, jako regulátor tuhnutí, k úpravě síranového modulu, výrobě omítkových směsí. [60]

Tabulka 16: Chemické složení energosádrovce – elektrárna Počerady [60]

<b>Chemické složení energosádrovce</b>	
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	97,70 %
CaCO <sub>3</sub> + MgCO <sub>3</sub>	0,90 %
SiO <sub>2</sub> + NZ	1,10 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13 %
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,01 %
Cl <sup>-</sup>	5,3 ppm

### 3.16. Cihelný recyklát

Výroba cihelného recyklátu je rozdělena do třech zásadních kroků, kterými jsou předtřídění, drcení a třídění. V prvním kroku je nutné z již zpracované suti vyloučit cizorodé materiály, či předměty (dřevo, železo atd.). Dále dochází k drcení cihelné suti, kde se zároveň odstraňuje výztuž. Drcení je prováděno na odrazivých nebo čelistových drtičích. Posledním krokem je opět třídění, kde se cihelný recyklát roztřídí do frakcí 0 – 8 mm, 8 – 32 mm a 32 – 85 mm. Větší kusy putují zpět do recyklačního procesu, dokud jejich velikost nevyhovuje jedné z frakcí. Výroba cihelného recyklátu je prováděna na mobilních linkách, které je možno přiblížit místu surovinového zdroje.

Vlastnosti cihelného recyklovaného kameniva závisí na vstupních surovinách, tedy na suti, která je zpracovávána a na kvalitě výroby. Rozhodujícím parametrem pro určení využitelnosti cihelného recyklátu je tzv. zkouška Los Angeles, která určuje odolnost proti otlukovosti. Výsledky běžně dosahují hodnot 70 až 80 %, z čehož vyplývá, že použití cihelného recyklátu do konstrukčních vrstev je naprosto nevhodné.

Cihelný recyklát vykazuje vysokou nasákavost, která se běžně pohybuje i přes 10 %. Z tohoto důvodu je odolnost cihelného kameniva proti mrazu nedostatečná. [61]

Cihelná drť má ve stavebnictví široké pásmo využití. Používá se při stavbě pozemních komunikací ke zlepšení jakosti zemin podloží a ke zlepšení zrnitosti podloží či náspů. Dalším využitím je výroba cihlobetonu. Cihlobeton je využíván pro stavbu výplňového zdiva monolitických konstrukcí. Dále pro výrobu vibrolisovaných tvárnic, jako plnivo do zdících malt, které vykazují lepší tepelně izolační vlastnosti nežli malty s přírodní kamenivem. Pevnosti malt se pohybují v rozmezí 1-10 MPa. [61]

### **3.17. Betonový recyklát**

Výroba betonového recyklátu probíhá obdobně jako výroba cihelného recyklátu. Je tedy nutno materiál předtřídit, rozdrtit a následně opět roztřídit dle jednotlivých frakcí.

Betonový recyklát se využívá ve stavebnictví především jako plnivo do nově vytvářených betonů. Z praxe vyplývají tyto vlastnosti betonu při použití betonového recyklátu:

- nepříznivý vliv na konzistenci čerstvé směsi – zvýšení množství záměsové vody,
- snížení objemové hmotnosti,
- snížení pevnosti v tlaku o 10 až 15 %,
- snížení modulu pružnosti o 15 až 20 %,
- zvýšení součinitele dotvarování až o 50 %,
- zvýšení smršťování betonu o 20 až 40 %.

Dalším využitím betonového recyklátu je vytváření podkladních vrstev vozovek, které jsou stmelovány cementem, jako mechanicky zpevněná zemina. Dále a zejména pro nahrazení přírodního kameniva v konstrukčních betonech nižších tříd. [61]

### **3.18. Asfaltový recyklát**

Asfaltový recyklát se využívá zejména v kombinaci jemnější a hrubší frakce při výstavbách obslužných či polních komunikací tam, kde je třeba využít

kvalitnějšího materiálu, než je směsný nebo betonový recyklát. Výhodou je zejména ne příliš náročná mechanizace.

Dále je možné využívat asfaltový recyklát pro provedení nové stmelené podkladní vrstvy za použití hydraulického pojiva, kterým může být cement, hydraulické vápno či struska. Technologie je prováděna za studena. Po přidání emulze k asfaltovému recyklátu jej lze využít na starších asfaltech obsahující dehtové pojivo. Kombinace přídavku cementu i emulze k recyklovanému asfaltu vykazuje vlastnosti podobné vlastnostem obalovaného kameniva, které je za tepla zpracováváno. [62]

### **3.19. Odpady z těžby uhlí**

Při dobývání uhlí bývají v místě těžení vrstveny nepotřebné vrstvy hornin, tzv. haldy. Haldy tvoří hlušina, tedy část horniny, která je dále nevyužitelná. Haldované odpady tohoto typu jsou nebezpečím nejen pro krajinný ráz, ale i pro kvalitu ovzduší a kvalitu zásoby vod. V hlušině taktéž zbývá určitý podíl uhlí, které se při dostatečném množství vzduchu může samovolně vznítit. Samovznícení takového materiálu dochází poměrně často a nejedná se o neobvyklý jev. [63]

Odpadní kaly získané při praní uhlí jsou využívány zejména v keramickém průmyslu. Jsou využívány jako ostřiva v surovinové směsi pro výrobu keramických výrobků. Dále jako vyhořívající přísada, vytvářející porézní strukturu cihelného střepu. [64]

### **3.20. Odpadní křemelina**

Křemelina je využívána v pivovarnictví. Je použita v rámci závěrečné úpravy jakosti piva, při filtraci. Filtrace je prováděna přes samotnou křemelinu nebo skrze křemelinu smíchanou s jinou filtrační látkou. Tento typ filtrace je oproti klasické regenerovatelné hmotě značným vylepšením, avšak současně nastává otázka, jak co nejšetrněji odstranit velké množství odpadní křemeliny.

Dříve se odpadní křemelina vypouštěla do kanalizačního systému, čímž přešel problém řešení odpadní křemeliny z pivovarů na čističky odpadních vod. Tento způsob je dnes zcela nepřijatelný. Proto je dnes křemelina vypírána od organických zbytků nebo je kompostována a následně využívána jako hnojivo. Posledním způsobem naložení s odpadní křemelínou je její skládkování. [65]

Ve stavebnictví je křemelina využívána jako lehké plnivo. [65]

### 3.21. Odpad z vláknocementových výrobků

Z vláknocementu jsou vyráběné fasádní desky, skládaná střešní krytina, vlnitá střešní krytina a tvarovky. Zásadními výhodami vláknocementového materiálu jsou pevnosti, požární odolnost a chemická nezávadnost. Při výrobě nebo po překročení životnosti výrobků vzniká odpad.[66]

Tabulka 17: Příklad složení vláknocementu – vláknocementová krytina Eternit

<b>Složení vláknocementové krytiny Eternit</b>	
Portlandský cement	81 %
Vápenec	9 %
Barvivo	4 %
Celulóza	3 %
Organická vlákna PVA (polyvinylalkohol)	3 %
Záměsová voda do čerstvé směsi	0,24 m <sup>3</sup> /t suché směsi

## **4. Definice požadavků na vlastnosti injektážní směsi**

### **Vzorové složení injektážní směsi**

Pro definici požadovaných vlastností byl vybrán jako vzor technický list komerčně vyráběné injektážní směsi. Jedná se o jílocementovou injektážní směs určenou pro zpevňující injektáž. Směs obsahuje složky kompenzující objemové změny, zajišťuje požadované zpevnění proinjektované vrstvy a vykazuje odolnost vůči podzemním síranovým vodám.

Minimální pevnosti komerční hmoty po 28 dnech jsou 10 MPa v tlaku a 3,0 MPa v tahu za ohybu. Injektážní směs je odolná vůči síranovým vodám. Doba zpracovatelnosti je 50-60 minut. Viskozita komerční směsi určovala viskozitu navrhovaných směsí. Obdobně bylo snahou dosáhnout stejných objemových změn navrhovaných receptur, jako vykazovala zvolená komerční hmota.

## 5. Stoky

V současné době jsou téměř ve všech obcích v ČR vybudované stokové systémy, které splňovaly svůj účel v době jejich realizace. V současnosti jsou tyto systémy často rozšiřovány, ale také dochází k potřebě jejich rekonstrukce.

### 5.1.1. Nejčastější poruchy ve stokové síti

Zdaleka nejčastější poruchou je zborcení části kanalizační stoky. Při takovém porušení často dochází k omezení dopravy v místě poruchy při odstraňování závad. Komunikace, pod kterou se nachází kanalizační stoka, musí být ve většině případů uzavřena. Proto je stále častěji využíván monitoring stok pomocí kamer, robotů nebo přímo fyzickými osobami. Monitoringem se zajišťují opravy stokových sítí ještě před kolapsem.

Dle původu zatížení, které na těleso kanalizační stoky působí, rozdělujeme zatížení na mechanické, chemické a biochemické. Tyto druhy zatížení mají za následek:

- úniky sirných plynů poškozující beton a malty,
- korozi kovových prvků šachty (agresivní prostředí),
- průsaky a následné sedání okolí vlivem netěsnosti,
- tvorba ledu a rozrušení betonové struktury vlivem teploty,
- poruchy konstrukce vlivem dynamického zatížení od automobilů,
- poruchy konstrukce vlivem nedostatečného založení.

### 5.1.2. Metody sanace stokových sítí

- Vyvložkování nastříkaným nebo jinak nanášeným materiálem na bázi polymerů (epoxidové, polyuretanové nástřiky).
- Vyvložkování nastříkaným nebo jinak nanášeným cementovým materiálem.
- Sanace prefabrikovanými panely (montáž).
- Sanace bedněním a betonováním (segmentové bednění).
- Správkové malty (lokální poruchy, ručně).
- Oprava injektáží pomocí utěšňovacího materiálu.
- Zátopová injektáž.
- Geopolymery.

V místech potřeby použití vyšších profilů, jsou z pravidla využívány zděné nebo betonové stoky. Podle průřezu je dále dělíme na kruhové, vejčité, tlamové nebo hruškové.

### **5.1.3. Betonové stoky**

Svislé prvky betonových stok jsou zpravidla navrhované z vodostavebního betonu ozn. C 25/30 třída expozičního prostředí XC2. Vodorovné prvky jsou navrhovány z betonu ozn. C 20/25, XC2. Na vnitřním povrchu betonové stoky musí být vždy nanesena ochranná vrstva (nebo jinak zajištěný povrch) proti chemicky agresivnímu prostředí. Častým využívaným systémem ochrany proti chemicky agresivnímu prostředí bývá tzv. jednopásová obezdívka. Pro tento účel se využívají kyselinovzdorné cihly, keramické tvárnice nebo jiné schválené obkladové prvky z čediče, sklolaminátu či plastů. Ochrana může být prováděna i vnějším pláštěm v případě realizace stoky takovém (agresivním) prostředí.

### **5.1.4. Zděné stoky**

Nejčastější použití zděných stok je u případů, kdy se jedná o vejčitý profil stoky s větším průměrem. Ke stavbě jsou využívány kanalizační cihly s předepsanými vlastnostmi nebo keramické segmenty. Dále se využívají čedičové cihly a další prvky z čediče vyrobené (žlaby, bočnice atd.). Zdící malta musí taktéž splňovat předepsané vlastnosti.

Zásady pro realizaci zděných stok

- Dolní polovina stoky musí být vždy vyplněna betonem třídy C 12/15, XC2. Minimální výška betonové konstrukce pode dnem až nad podkladní betonovou desku je 200 mm.
- Tloušťka spár při zdění z cihelného zdiva je 7-9 mm. Při použití keramických dutinových tvarovek 7-15 mm, při použití čedičových tvarovek min. 5 mm.
- Klenby musejí být sezděny z klínů a rovnoběžek, které jsou sestavovány tak, aby se nezvětšovala šířka ložných spár. Takto provedená klenba nevykazuje snížení pevnosti ve smyku.

## **5.2. Odpadní vody**

Za odpadní vody označujeme všechny vody, které jsou jakýmkoliv způsobem použité, jinak řečeno jedna, či více vlastností, těchto vod, byla změněna. Řešíme zejména změnu složení.

### **5.2.1. Druhy odpadních vod**

Odpadní vody dělíme na:

- splaškové,
- průmyslové,
- ze zemědělství,
- infekční,
- srážkové.

Ostatní vody:

- srážkové neznečištěné,
- balastní: podzemní, pramenní, potoční, srážkové, užitkové, pitné, důlní, zvláštní. [1][2][64]

## 6. Chemická odolnost

Látky obsahující cementovou matici nelze z podstaty věci považovat za chemicky odolné. Cementový kámen je silně zásaditý materiál, který při styku s kyselinou neutralizuje, a tím ztrácí svoje původní vlastnosti. Pokud zaručíme kompaktní strukturu a tím i nepropustnost styčné, resp. smáčené plochy, chemicky agresivní látky degradují pouze povrch konstrukce. Pravým problémem jsou tedy kapiláry, které se přirozeně v cementovém kameni nacházejí. Prostupem agresivních kapalin, ale i plynů, kapilární soustavou, dochází k největšímu snížení chemické odolnosti. Z tohoto důvodu, zajišťujeme odolnost vůči chemicky agresivnímu prostředí, zejména kompaktním povrchem konstrukce, který je nepropustný. V praxi tak zkoušíme zejména hloubku průsaku tlakovou vodou, ale i odolnost vůči prostupu plynů. [68]

### 6.1. Chemické látky působící na cementovou matici

Vyjma speciálních případů, jsou betonové nebo typologicky podobné konstrukce nejčastěji vystavovány působení chemicky agresivních látek, které se přirozeně vyskytují v našem okolí. Jedná se zejména o kyseliny obsažené ve srážkových vodách nebo půdních prostorách. Konkrétně jsou to kyselina uhličitá, huminové kyseliny a zejména kyselina sírová. Hodnota pH těchto kyselin nepřekračuje 3,0, vyjma kyseliny sírové, která se často pohybuje okolo hodnoty 2,0. Narušování cementového kamene oslabuje konstrukci, avšak sekundární účinek chemicky agresivních látek, kterým bývají chemické reakce doprovázené objemovými změnami, má daleko fatálnější následky pro celou konstrukci. [68]

#### 6.1.1. Uhličitánová koroze

Degradaci cementové matrice na bázi portlandského cementu vlivem  $\text{CO}_2^-$  nazýváme karbonatace. Jedná se o chemickou reakci volného  $\text{CO}_2^-$  s portlanditem  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , který je nositelem zásaditého charakteru cementového tmele. Hodnota pH běžného betonu je 12,4. Reakcí portlanditu a aniontů oxidu uhličitého se pH betonu snižuje. U vyztužených betonů, kde funguje tzv. přirozená alkalická pasivace výztuže zásaditým charakterem betonu, způsobuje karbonatace postupné snižování pH až na hodnotu 9,6, kdy začíná výztuž korodovat. Koroze výztuže je oxidačně redukční proces, při kterém dochází k objemovým změnám, což má za následek odtrhnutí krycí vrstvy betonu a obnažení výztuže.

U nevyztužených betonů reaguje oxid uhličitý (g) nebo kyselina uhličitá (l) s cementovým kamenem, ale i s jakýmkoliv kamenivem vápenatého charakteru. Reakcí vzniká dihydrogenuhličitan vápenatý ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ). Zbylá, nezreagovaná část oxidu uhličitého, kterou nazýváme agresivním oxidem uhličitým, pak degraduje beton. [68]

Zásadní vliv na karbonataci betonu má vlhkost obsažená v konstrukci. Zdaleka nejrychleji probíhá karbonatace při obsahu vlhkosti v rozmezí 50-90 %. [34]

### **6.1.2. Koroze chloridovými ionty**

U nevyztužených betonů není koroze chloridovými ionty zásadním problémem. Dochází k tvorbě tzv. výkvětů. Degradace je tak spíše estetického charakteru. K výkvětům dochází při nasycení betonu vlhkostí s obsahem chloridových iontů a následnému vysušení povrchu betonu (vítr). Na suché konstrukci pak pozorujeme bílé „mapy“, resp. skvrny vysrážených chloridů.

Daleko zásadnějším problémem je koroze vyztuženého betonu vlivem chloridových iontů. Pomocí kapilárních soustav se plynné nebo v kapalině unášené volné ionty chloridů mohou dostat k výztuži, což má za následek okamžitou oxidačně redukční reakci – rezivění. Při rezivění výztuže dochází ke značným objemovým změnám. Vlivem expanzních tlaků dochází ke tvorbě trhlin na povrchu betonu nebo odtržení krycí vrstvy betonu od výztuže. [68]

### **6.1.3. Síranová koroze**

Degradaci betonu, resp. cementové matrice způsobují síranové volné ionty za přítomnosti vlhkosti. V praxi se téměř vždy jedná ionty obsažené ve vodě v kapalně či plynné formě. Jelikož je tato práce zaměřená na vývoj injektážní hmoty aplikované v chemicky agresivním prostředí (stoky), kde lze předpokládat výskyt síranů, rozebereme tuto problematiku podrobněji níže. [70]

### **6.1.4. Mikrobiologická degradace**

Mikrobiologická degradace je zvlášť pro stokové systémy typická. Ve stokových vodách je vyšší obsah síranů, kterými se živí konkrétní druhy bakterií. Tyto bakterie následně produkují kyselinu sírovou. Dochází tak ke změně expozičního prostředí a významné degradaci stěn stok. [71]

## 6.2. Degradace stok odpadními látkami

Obecně je za největší problém stok (zejména betonových) považována přítomnost sulfanu  $H_2S$ . Sulfan je typický svým zápachem, který tak přirozeně varuje organismy před jeho nebezpečnými účinky. Sulfan patří do skupiny nervových plynů a jeho přílišná inhalace může mít fatální následky na zdraví člověka.

Ze stavebního hlediska sulfan značně degraduje především betonové dílce. Ve výjimečných případech, kdy je koncentrace sulfanu vysoká, se betonové stoky navrhují pouze na 10 let životnosti, resp. provozu. Degradací betonových částí stok však paradoxně dochází ke zlepšení prostředí, co se inhalace týče. Reakcí s betonem sirovodík neutralizuje, a tak je nebezpečí při pravidelných revizích kanalizací do značné míry omezeno. [69]

### 6.2.1. Tvorba sulfanu

Sulfan/sirovodík vytvářejí bakterie, pocházející z prvotního vývoje naší planety, kdy se zde nenacházela dnes běžná atmosféra, pro většinu organismů dýchatelná. Tehdejší bakterie se živily sirnými výpary, většinou tektonického původu u dna oceánů. Tyto bakterie se nejčastěji nacházejí u dna stok, jež využívají gravitační síly na odvod splašků, a kde tudíž není tak velký proud odpadní tekutiny. Zároveň zde nedochází k vyššímu provzdušnění splašků vlivem proudění.

Ke snižování obsahu sulfanu ve stokách přispívají kovy, které se v kanalizacích vyskytují. Jedná se zejména o hliník, železo a zinek.

Riziko koroze vlivem sulfanu se zvyšuje v místech, kde se rychlost odpadní tekutiny zvyšuje (záhyby, přepady atd.). Vyšší rychlostí proudění dochází k čeření hladiny splašků a snadnějšímu uvolňování sulfanu do ovzduší.

Jak již bylo zmíněno u koroze výztuže betonových dílců, hodnota pH betonu je cca 12. Hodnota pH agresivních, kyselých plynů je vždy nižší než 6. V případě vzniku kyseliny sírové je pH daleko nižší. Jejich reakcí tak logicky dochází k neutralizaci obou reaktantů. Plynný sulfan se drží v nejvyšších částech kanalizace, kde za přítomnosti vzduchu (kyslíku) oxiduje. Nachází se zde taktéž plynný oxid uhličitý, který oxidací vytváří kyselinu uhličitou. Oxidací sulfanu vzniká právě kyselina sírová, schopná značně degradovat betonové stoky.

Proces oxidace sulfanu však neprobíhá pouze chemickou cestou, ale i biotickou. V první fázi je však zásaditý charakter betonového povrchu příliš nehostinný pro veškeré bakterie. Jakmile však vznikne dostatečné množství kyselin na povrchu stěn (kyseliny vytvářejí na povrchu betonu tenký film), kdy pH stěn klesne na hodnoty přijatelné pro mikroorganismy (cca 8, 9) dochází k tvorbě kyselin i biologickou cestou. Když hodnota pH klesne pod 2, dochází k nejintenzivnější degradaci, kdy se ke tvorbě kyselin přidávají anaerobní bakterie.

Nositelem zásaditého charakteru je při použití portlandského cementu portlandit ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Reakcí cementového tmele, siřičitanů a síranů dochází k neutralizaci portlanditu za vzniku jiných minerálů. Tyto nově vzniklé minerály mají často nižší pevnosti, a především větší objemy. Neutralizací cementového kamene běžně dochází ke tvorbě sádrovce a ettringitu. [68]

### **III. Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je návrh receptury injektážní směsi na silikátové bázi i následné náhrady primárních vstupních surovin, surovinami druhotnými. Jedná se o injektážní hmotu aplikovatelnou do prostředí zděných kanalizačních stok. Aplikace hmoty za ostění proběhne pomocí rubové injektáže. Tato hmota musí splňovat těsnící funkci a funkci statického zajištění zeminy za ostěním kanalizační stoky.

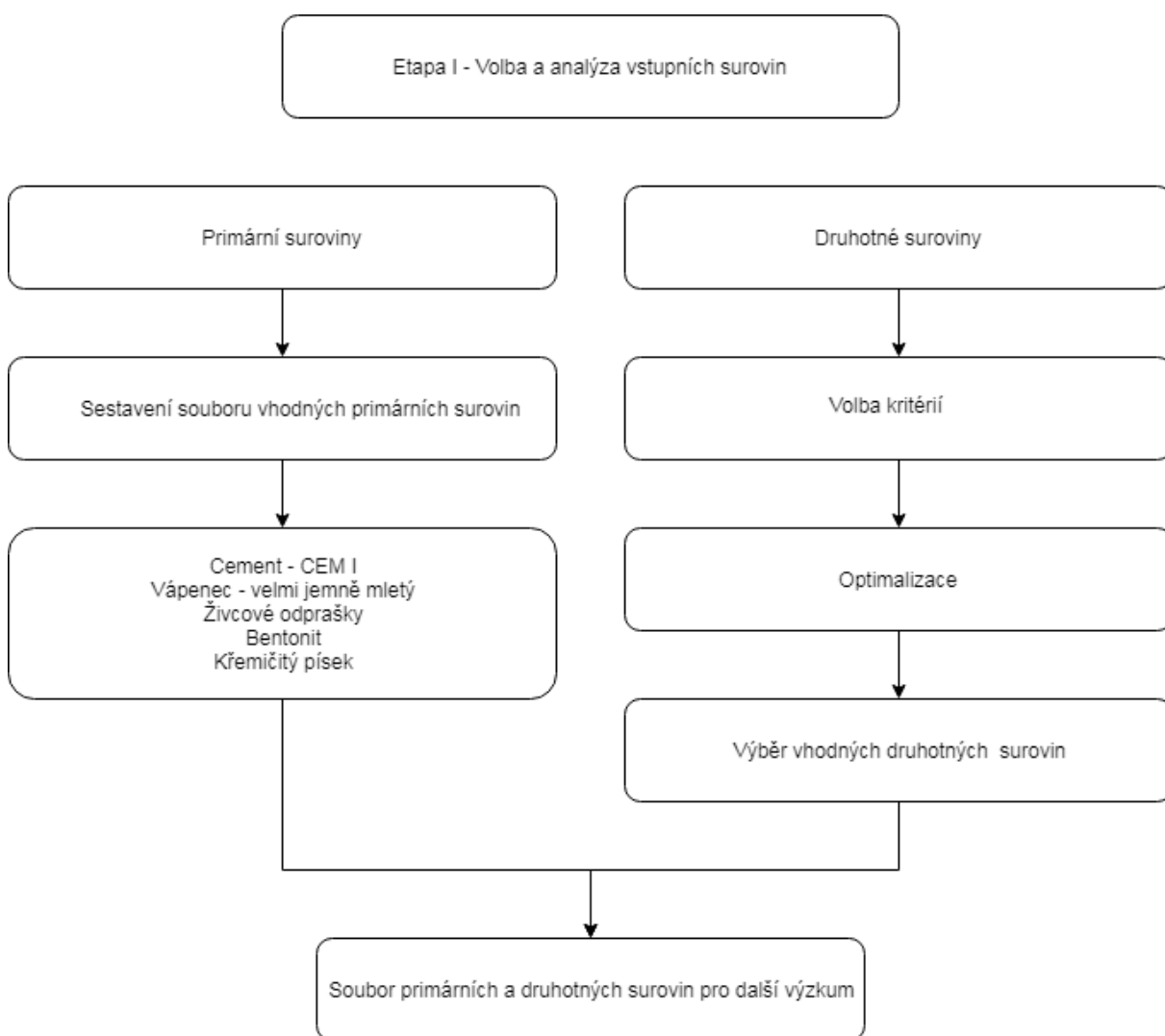
Záměrem této práce je na základě provedeného výzkumu zahraniční i tuzemské literatury provést návrh nové receptury injektážní hmoty. Po ověření vlastností nově navržené směsi proběhne návrh injektážní hmoty s použitím druhotných surovin s požadavkem na obdobné materiálové vlastnosti.

## IV. Praktická část

### 7. Metodika práce

#### Etapa I – Volba a analýza vstupních surovin

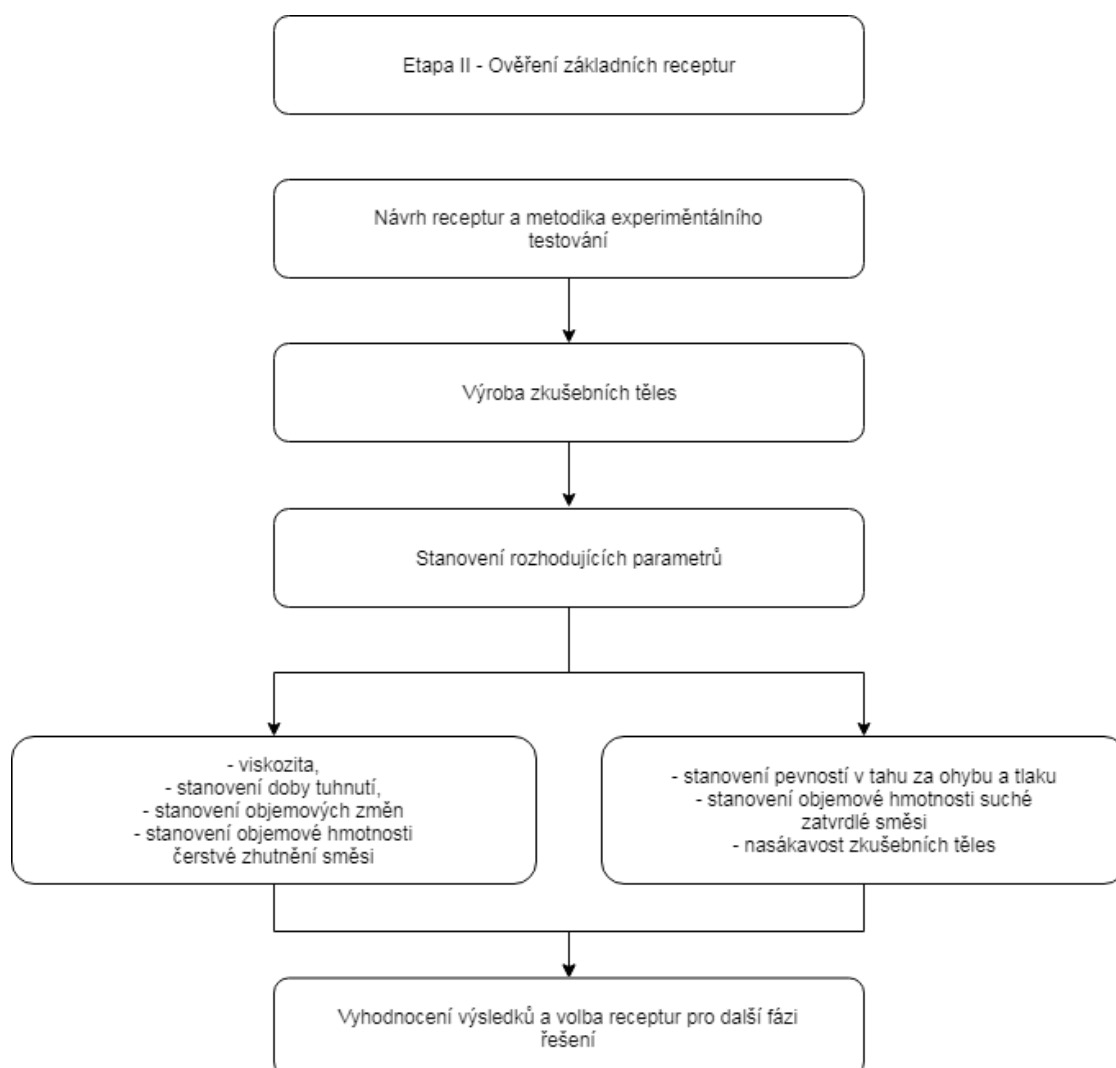
V první etapě bude využito znalostí nabytých v předešlé teoretické části. Bude provedena analýza možných vstupních složek do navrhované injektážní směsi, přičemž se bude jednat o suroviny primární a druhotné. U druhotných surovin budou určeny základní rozhodující parametry, které dále určí míru použitelnosti druhotné suroviny v navrhované směsi. Bude proveden optimalizační výběr užšího okruhu druhotných surovin, na jejímž základě budou vybrány vhodné druhotné suroviny pro nahrazení primárních látek v navrhované směsi. Výstupem Etapy I bude soubor primárních a druhotných surovin, určený pro další výzkum.



Obrázek 5: Schéma etapy I metodiky práce

## Etapa II – Ověření základních receptur

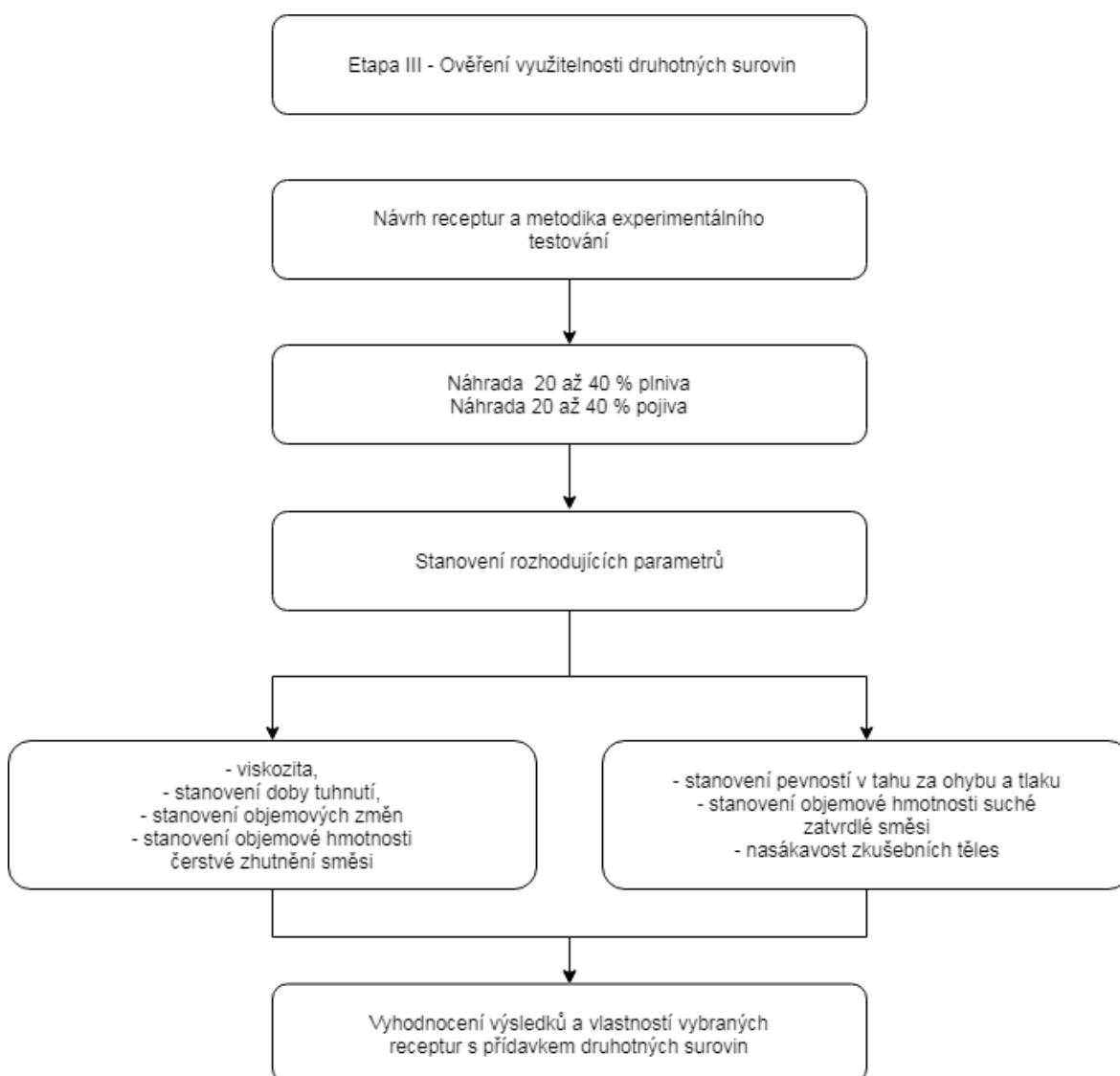
V rámci druhé etapy proběhne ověření vlastností základních receptur. Budou navrženy tři konkrétní receptury, pro které bude vytvořena metodika experimentálního testování. Budou zhotovena zkušební tělesa, na kterých se stanoví vybrané rozhodující parametry. Požadované vlastnosti budou ověřeny praktickými zkouškami v čerstvém i vyzrálém stavu hmoty: stanovení pevnosti v tahu za ohybu a stanovení pevnosti v tlaku, stanovení soudržnosti a objemové hmotnosti ve zralém stavu navrhované směsi. V čerstvém stavu bude rozhodujícím parametrem tekutost směsi, doba tuhnutí a objemová hmotnost. Na základě vyhodnocených výsledků bude výstupem Etapy II výběr receptur pro další fázi řešení.



Obrázek 6: Schéma etapy II metodiky práce

### Etapa III – Ověření využitelnosti druhotných surovin

Ve třetí etapě praktické části bakalářské práce proběhne ověření využitelnosti druhotných surovin. Na základě výstupu Etapy II budou navrženy receptury s podílem druhotných surovin. Míra nahrazení primárních složek byla na základě znalostí z teoretické části určena na 20 až 40 % dle typu druhotné suroviny. Budou stanoveny rozhodující parametry vyvíjené injektážní směsi. Výstupem třetí etapy bude vyhodnocení výsledků a vlastností vybraných receptur s přidavkem druhotných surovin.



Obrázek 7: Schéma etapy III metodiky práce

## **7.1. Metodika experimentálního testování**

### **7.1.1. Zkoušky prováděné v čerstvém stavu**

#### **Homogenizace suchých hmot**

Při provádění praktické části bakalářské práce bude prováděna homogenizace pomocí vertikálního šnekového homogenizátoru od firmy Pharmix.

#### **Viskozita**

Viskozita bude určována v souladu s normou ČSN EN 12 715 Provádění geotechnických prací. Pro určování viskozity jsou často využívány viskozimetry, složité přístroje, kterých lze jen stěží využívat přímo na staveništi. I z tohoto důvodu bude viskozita určována pomocí průtoku viskozimetrem, tzv. Marshovým kuželem.

Zkušební aparatura bude sestávat ze stojanu, Marshova kužele, kádinky s ověřenou mírou hodnoty množství 0,5 litru a dalších pomůcek nutných pro nalévání směsi do kužele. Do kužele se bude nalévat 1,5 l čerstvé hmoty. Po naplnění tohoto objemu se uvolní spodní otvor kužele a měří se doba průtoku suspenze o objemu 0,5 litru. Množství bude ověřováno pomocí kádinky opatřené měrkou, do které bude suspenze vytékat. Vhodná doba průtoku je v rozmezí 40-100 s. Při průtoku by se směs neměla „trhat“, ale vytékat rovnoměrně.

Po ověření vhodné a zároveň maximálně obdobné viskozity každé suspenze, budou zhotovena zkušební tělesa.

#### **Výroba zkušebních těles**

Pro zkoušení vlastností hmoty v pevném stavu budou vyráběny zkušební tělesa o rozměrech 40x40x160 mm, na kterých budou zjišťovány objemové hmotnosti jak v čerstvém, tak vyzrálém stavu, pevnosti v prostém tlaku, pevnosti v tahu za ohybu a na fragmentech poškozených zkušebních těles bude testována nasákavost hmot.

#### **Stanovení počátku doby tuhnutí čerstvé hmoty**

Zkouška bude prováděna v souladu s normou ČSN EN 196-3 Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti.

Počátek doby tuhnutí a tvrdnutí je doba, která uplyne od chvíle kontaktu suché směsi s vodou do chvíle, kdy se jehla zkušebního zařízení zastaví v určené hloubce vzorku ode dna nádoby.

### **Objemová hmotnost čerstvé hmoty**

Objemová hmotnost čerstvé hmoty bude provedena v souladu s normou ČSN EN 12 350-6. Zhutněná čerstvá hmota je zvážena ve zkušebních formách, přičemž objem forem je dán a hmotnost prázdných forem je změřena před jejich naplněním.

### **Stanovení objemových změn**

Způsob stanovení objemových změn bude prováděn kontinuálním hydrostatickým vážením hmoty.

## **7.1.2. Zkoušky prováděné ve vyzrálém stavu**

### **Objemová hmotnost vyzrálé hmoty**

Objemová hmotnost vyzrálé hmoty bude stanovena v souladu s normou ČSN EN 12 350-6. Objemová hmotnost hmoty ve vyzrálém stavu se určuje jako podíl naměřené hmotnosti zkušební vzorku a stanoveného objemu vzorku měřením pomocí posuvného měřítka.

### **Pevnost v tlaku, v tahu za ohybu**

Pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu budou stanovovány v souladu s normou ČSN EN 13 892-2. Pevnosti jsou určeny přepočtem z maximálního zatížení, při kterém dojde k porušení vzorku. Maximální velikost zatížení při porušení je odečtena ze zkušební lisu.

### **Nasákavost**

Nasákavost zkoušených hmot bude stanovena v souladu s normou ČSN EN 73 1216 Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlínivosti betonu. Míru nasákavosti materiálu určuje rozdíl hmotností zkušební vzorku v nasyceném a vysušeném stavu.

## V. Výsledky jednotlivých etap

### 8. Etapa I – Volba a analýza vstupních surovin

Prvním krokem experimentální části byla volba vstupních surovin, která je založena na studiu a zpracování teoretické části bakalářské práce. Pro technologii rubové injektáže se v praxi nejčastěji využívají materiály na bázi polymerních látek (akrylátových gelů). [14] Cílem této práce je však návrh injektážní hmoty na bázi silikátů. Vzhledem k místu použití této hmoty a charakteru její funkce je kladen důraz na co nejlepší těsnicí schopnost a statické zajištění prostor za ostěním kanalizační stoky. Dále byla při návrhu uvažována vysoká pravděpodobnost přítomnosti chemicky agresivních látek zejména síranů. Nezbytnou součástí použitelnosti injektážní hmoty je taktéž vhodná doba zpracovatelnosti a počátek doby tuhnutí směsi. Při návrhu byla rozhodující maximální velikost zrna. Dle práce [72] je maximální velikost zrna z praxe stanovena na maximálně třetinu velikosti póru tak, aby směs vyplnila veškerý volný prostor.

Na základě stanovených rozhodujících vlastností byly sestaveny soubory vhodných primárních i druhotných surovin.

Z rozdělení injektážních směsí podle použité injektážní hmoty a na základě vzorového technického listu komerční hmoty byla jako vhodná určena jílocementová směs. Tuto směs tvoří suspenze cementu, jílu a vody. Často využívaným cementem je CEM I, cement Portlandského typu. Jako jílová příměs bývá nejčastěji využíván bentonit, zejména pro svoji vysokou schopnost bobtnat a s tím spojenou vysokou těsnicí schopností.

Jelikož se jedná o jemnozrnné směsi, jako plnivo byl zvolen křemičitý jemnozrnný písek, velmi jemný vápenec a živcové odprašky.

Ze zpracovaných druhotných surovin a odpadních látek byl vytvořen užší katalog vhodných surovin.

Tabulka 18: Katalog alternativních surovin: část I

Odpad	Základní materiálové vlastnosti vybraných alternativních surovin	Potřebné úpravy odpadu
<b>Popílek Tušimice</b>	Měrná hmotnost: 2410 kg·m <sup>-3</sup> Složení: SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, K <sub>2</sub> O, MgO Měrný povrch: 490 m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup>	-
<b>Popílek Chvaletice</b>	Roční produkce odpadní látky: 300 000 t/rok Měrná hmotnost: 2040 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen, mullit, hematit Měrný povrch: 243 m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup>	-
<b>Popílek Hodonín (filtr)</b>	Roční produkce odpadní látky: 75 000 t/rok Měrná hmotnost: 2310 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen, hematit, kalcit, anhydrit, volné vápno, ortoklas	-
<b>Popílek Hodonín (lože)</b>	Roční produkce odpadní látky: 150 000 t/rok Měrná hmotnost: 2300 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen, kalcit, anhydrit, volné vápno	-
<b>Popílek Dětmarovice</b>	Roční produkce odpadní látky: 250 000 t/rok Měrná hmotnost: 2015 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen, mullit, hematit Měrný povrch: 205 m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup>	-
<b>Ocelářská struska mletá</b>	Ocelářská struska Roční produkce odpadní látky: 150 000 t/rok Měrná hmotnost: 2920 kg·m <sup>-3</sup> Složení: SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO, MgO, CaO, MnO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Měrný povrch: 368 m <sup>2</sup> ·kg <sup>-1</sup>	-
<b>Odpadní sklo</b>	Recyklované obalové sklo Roční produkce odpadní látky: 10 000 t/rok Měrná hmotnost: 2560 kg·m <sup>-3</sup> Složení: SiO <sub>2</sub> , CaO, MgO, Na <sub>2</sub> O, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mletí, třídění (barva)
<b>Odpadní sklo</b>	Skleněná moučka Složení: SiO <sub>2</sub> , CaO, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, K <sub>2</sub> O	-

Tabulka 19: Katalog alternativních surovin: část II

Odpad	Základní materiálové vlastnosti vybraných alternativních surovin	Potřebné úpravy odpadu
<b>Recyklované obrazovkové sklo</b>	Drť z kónusů obrazovkového skla Roční produkce odpadní látky: 10 000 t/rok Měrná hmotnost: 2970 kg·m <sup>-3</sup> Složení: SiO <sub>2</sub> , PbO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Odstranění nečistot, třídění, drcení, mletí
<b>Recyklované obrazovkové sklo</b>	Recyklované CRT obrazovky Roční produkce odpadní látky: 10 000 t/rok Měrná hmotnost: 2580 kg·m <sup>-3</sup> Složení: SiO <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Odstranění luminiscenční vrstvy, třídění, drcení, mletí
<b>Odpadní písek Wojcice</b>	Odpadní písek Roční produkce odpadní látky: 5 000 t/rok Měrná hmotnost: 2575 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen	Sušení, třídění
<b>Odpadní písek</b>	Odpad z třídění písku Roční produkce odpadní látky: 11 t/rok Měrná hmotnost: 3000 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen	-
<b>Slévárenský písek pojený bentonitem</b>	Odpadní písek z výroby oceli Roční produkce odpadní látky: 1000 t/rok Měrná hmotnost: 2580 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen, bentonit	Třídění aglomerovaných částic
<b>Slévárenský písek pojený vodním sklem</b>	Odpadní písek z výroby oceli Měrná hmotnost: 3090 kg·m <sup>-3</sup> Složení: SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Chloridy-54 mg/kg suché směsi	Třídění aglomerovaných částic
<b>Slévárenský písek furanový</b>	Odpadní písek z výroby oceli Měrná hmotnost: 2650 kg·m <sup>-3</sup> Složení: SiO <sub>2</sub> , Chloridy-do 40 mg/kg suché směsi	Třídění aglomerovaných částic
<b>Vypírka drceného kameniva</b>	Odpadní propírka Želešice Roční produkce odpadní látky: 10 000 t/rok Měrná hmotnost: 2810 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: amfibol	Sušení, mletí, třídění

Tabulka 20: Katalog alternativních surovin: část III

Odpad	Základní materiálové vlastnosti vybraných alternativních surovin	Potřebné úpravy odpadu
<b>Vypírka drceného kameniva</b>	Odpadní propírka Olbramovice Roční produkce odpadní látky: 10 000 t/rok Měrná hmotnost: 2170 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen, živce, kaolinit, biotit, muskovit, dolomit	Sušení, mletí, třídění
<b>Vypírka drceného kameniva</b>	Odpad z praní drceného vápence Roční produkce odpadní látky: 10 000 t/rok Měrná hmotnost: 2690 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: kalcit	Sušení, mletí, třídění
<b>Odpadní kaly</b>	Odpad z výroby dlažby (brusné, řezné kaly) Roční produkce odpadní látky: 2 000 t/rok Měrná hmotnost: 2890 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: kalcit, ettringit, portlandit	Sušení, mletí, třídění
<b>Odpadní kaly</b>	Odpad z výroby vláknocementových materiálů Roční produkce odpadní látky: 1 000 t/rok Měrná hmotnost: 1630 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: portlandit	Sušení, mletí, třídění
<b>Betonový recyklát</b>	Betonová drť Roční produkce odpadní látky: 50 000 t/rok Měrná hmotnost: 2640 kg·m <sup>-3</sup>	Mletí, třídění
<b>Odpadní křemelina</b>	Odpadní křemelina typu S Roční produkce odpadní látky: 50 t/rok Měrná hmotnost: 1981 kg·m <sup>-3</sup> Složení: SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sušení, mletí
<b>Odpadní slída</b>	Odpad z výroby slídových izolantů Roční produkce odpadní látky: 1 000 t/rok Měrná hmotnost: 2210 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: muskovit, tainiolit	Mletí, třídění
<b>Energosádrovec Chvaletice</b>	Odpad z odsíření spalin Roční produkce odpadní látky: 50 000 t/rok Měrná hmotnost: 2250 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: sádrovec	Sušení, mletí, třídění

Tabulka 21: Katalog alternativních surovin: část IV

Odpad	Základní materiálové vlastnosti vybraných alternativních surovin	Potřebné úpravy odpadu
Cihelná drť	Odpad z drcení cihel	-
	Roční produkce odpadní látky: 5 000 t/rok	
	Měrná hmotnost: 2140 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen, živce	
Odpadní lupek	Odpadní lupek z cyklónů a filtrů	-
	Roční produkce odpadní látky: 3 000 t/rok	
	Měrná hmotnost: 2520 kg·m <sup>-3</sup> Mineralogické složení: β-křemen, kaolinit, mullit	

### 8.1. Optimalizace alternativních surovin

V první etapě této práce byl vytvořen katalog potenciálně vhodných druhotných surovin a odpadních látek. Dalším krokem první etapy bude výběr nejvhodnějších surovin pro návrh a výrobu injektážní hmoty. Pro posouzení tohoto výběru bude použit optimalizační výpočet. Rozhodující kritéria jsou uvedena v Tabulka 22. Výpočtem budou získány číselné hodnoty jednotlivých kritérií. Stanovení vah kritérií je provedeno pomocí číselné stupnice, kdy vyšší číslo v řádku znamená nižší důležitost kritérií.

Tabulka 22: Kritéria optimalizace

Vlastnost	Obsah SiO <sub>2</sub>	Obsah CaO	Obsah Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	Obsah síranů	Měrná hmotnost	Max. velikost zrna	Zbytek na síť 0,063 mm	Sušení	Třídění	Mletí
Obsah SiO <sub>2</sub>	1,00	3,00	5,00	2,00	8,00	4,00	7,00	4,00	4,00	4,00
Obsah CaO	0,33	1,00	2,00	1,00	4,00	7,00	5,00	3,00	3,00	3,00
Obsah Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,20	0,50	1,00	1,00	4,00	5,00	3,00	4,00	4,00	4,00
Obsah síranů	0,50	1,00	1,00	1,00	6,00	4,00	5,00	4,00	4,00	4,00
Měrná hmotnost	0,13	0,25	0,25	0,17	1,00	2,00	2,00	0,50	0,50	0,50
Max. velikost zrna	0,25	0,14	0,20	0,25	0,50	1,00	7,00	3,00	3,00	3,00
Zbytek na síť 0,063 mm	0,14	0,20	0,33	0,20	0,50	0,14	1,00	0,25	0,25	0,25
Sušení	0,25	0,33	0,25	0,25	2,00	0,33	4,00	1,00	1,00	1,00
Třídění	0,33	0,25	0,25	2,00	4,00	0,33	4,00	1,00	1,00	1,00
Mletí	0,25	0,25	2,00	4,00	2,00	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabulka 23: Vlastnosti druhotných surovin část I

Druhotná surovina	Producent	SiO <sub>2</sub> [%]	CaO [%]	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O [%]	Sírany [%]	Měrná hm. [kg.m <sup>-3</sup> ]	Max zrno [mm]	<0,063 [mm]	Sušení	Třídění	Mletí
Popílek Hodonín - filtr	ČEZ a.s.	32,5	24,5	1,8	10,6	2310	0,5	9,3	ne	ano	ne
Popílek Hodonín - lože	ČEZ a.s.	43,2	17,2	2,1	7,2	2300	0,5	1,1	ne	ano	ne
Popílek Chvaletice	Sev.en a.s.	51,0	2,2	2,0	0,5	2040	1	2,2	ne	ne	ne
Popílek Dětmorovice	ČEZ a.s.	52,4	4,0	3,1	0,8	2015	0,5	16,4	ne	ne	ne
Popílek Tušimice	ČEZ a.s.	56,0	1,5	2,2	0,4	2410	0,5	3,0	ne	ne	ne
Vysokoteplotní struska	ArcelorMittal a.s.	32,4	35,7	1,9	1,2	2350	2	24,2	ne	ne	ne
Vysokoteplotní struska	Třinecké železářny a.s.	14,4	41,9	1,9	0,9	3310	2	1,5	ne	ne	ne
Skelný recyklát (0-4)	Vetropack a.s.	69,7	10,0	13,1	0,1	2560	4	0,5	ne	ano	ano
Skelný recyklát (0-8)	Vetropack a.s.	69,7	9,9	13,2	0,1	2560	8	0,2	ne	ano	ano
Skelný recyklát-moučka	Recifa a.s.	71,0	10,0	14,5	2,1	1800	0,5	14,0	ne	ne	ne
Recyklát z CRT monitorů	MKF TONY s. r. o.	66,6	0,2	14,5	0,1	2580	4	1,5	ne	ano	ano
Odpadní písek	GóraždzeKruszywa a.s.	79,4	1,2	0,2	1,8	2575	2	0,0	ano	ano	ne
Odpadní písek	STOMIX, spol. s r.o.	99,0	0,2	0,1	1,8	3000	2,0	0,3	ano	ano	ne
Bentonit. Písek	Třinecké železářny a.s.	93,0	0,3	0,5	0,1	2 740	125	0,1	ne	ano	ne

Tabulka 24: Vlastnosti druhotných surovin část II

Druhotná surovina	Producent	SiO <sub>2</sub> [%]	CaO [%]	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O [%]	Síraný [%]	Měrná hm. [kg.m <sup>-3</sup> ]	Max zrno [mm]	<0,063 [mm]	Sušení	Třídění	Mletí
Písek s vodním sklem	ArcelorMittal a.s.	83,0	0,3	0,7	1,3	2 860	250	0,5	ne	ne	ne
Písek s vodním sklem	Třinecké železářny a.s.	61,0	0,4	1,0	1,3	3 090	125	0,3	ne	ne	ne
Furanové písky	ArcelorMittal a.s.	89,6	0,2	0,1	1,3	2 650	64	0,0	ano	ano	ne
Kamen. prop. Želešice	KÁMEN Zbraslav, a.s.	77,5	1,2	0,1	0,1	2 810	2	8,6	ne	ano	ne
Kamen. prop. Olbramovice	Českomoravské štěrkovny, a.s. Mokrý Kamenolom Olbramovice	23,0	0,8	3,0	0,2	2170	1,0	3,0	ne	ano	ne
Vápenná propírka	Omya s.r.o.	0,0	54,5	0,0	0,9	2 690	2	19,4	ano	ano	ano
Odpadní kaly (dlažby)	TopTeramo s.r.o.	4,7	51,0	0,1	1,3	2 890	2	4,8	ano	ano	ano
Odpadní kaly (teraco)	Cidemat Hranice, s.r.o.	4,6	52,7	0,1	1,3	2 430	2	39,6	ano	ano	ano
Betonový recyklát	Prefa Brno a.s.	39,6	0,4	0,2	0,1	2 640	2	56,8	ne	ano	ano
Odpadní křemelina	LB MINERALS, s.r.o.	99	0,1	2,1	0,1	1981	1	5,6	ano	ano	ano
Odpadní slída	EIT, a.s.	41,5	0,3	2,5	0,1	2210	1	39,4	ne	ano	ano
Energosádrovec Chvaletice	Sev.en a.s.	0,3	0,1	0,14	2,1	2250	8	14,2	ano	ano	ano
Cihelná drť	František Maška	45	23	0,15	0,2	2140	4	13,2	ne	ne	ne
Odpadní lupek	České lupkové závody a.s.	23	30	0,78	0,15	2510	0,5	97,57	ne	ne	ne

Na základě vložených parametrů byly pomocí rozhodovací matice určeny preference jednotlivých surovin. Preference surovin určují míru vhodnosti suroviny pro použití do navrhované hmoty.

Tabulka 25: Preference druhotných surovin

Pořadí	Vlastnost		Preference [%]
	Druhotná surovina	Producent	
1	Slévárenský písek pojený bentonitem	Třinecké železářny a.s.	98,87
2	Odpadní písek	STOMIX, spol. s r.o.	98,29
3	Slévárenský písek pojený vodním sklem	ArcelorMittal a.s.	95,85
4	Kamen. prop. Želešice	KÁMEN Zbraslav, a.s.	95,61
5	Furanové písky	ArcelorMittal a.s.	93,47
6	Odpadní křemelina	LB MINERALS, s.r.o.	91,84
7	Písek s vodním sklem	Třinecké železářny a.s.	89,85
8	Popílek Tušimice	ČEZ a.s.	89,60
9	Odpadní písek	Góraždze Kruszywa a.s.	89,37
10	Popílek Chvaletice	Sev.en a.s.	86,58
11	Popílek Dětmárovice	ČEZ a.s.	85,31
12	Cihelná drť	František Maška	79,56
13	Skelný recyklát-moučka	Recifa a.s.	78,43
14	Betonový recyklát	Prefa Brno a.s.	75,07
15	Odpadní slída	EIT, a.s.	72,97
16	Recyklát z CRT monitorů	MKF TONY s. r. o.	72,95
17	Skelný recyklát (0-4)	Vetropack a.s.	72,02
18	Skelný recyklát (0-8)	Vetropack a.s.	71,86
19	Kamen. propírka Olbramovice	Českomoravské štěrkovny, a.s. Mokrá Kamenolom Olbramovice	70,27
20	Odpadní lupek	České lupkové závody a.s.	69,84
21	Vysokoteplotní struska	ArcelorMittal a.s.	67,60
22	Popílek Hodonín-lože	ČEZ a.s.	61,83
23	Vysokoteplotní struska	Třinecké železářny a.s.	60,28
24	Energosádovec Chvaletice	Sev.en a.s.	51,30
25	Popílek Hodonín-filtr	ČEZ a.s.	49,69
26	Odpadní kaly (dlažby)	TopTeramo s.r.o.	38,40
27	Odpadní kaly (teraco)	Cidemat Hranice, s.r.o.	37,47
28	Vápenná propírka	Omya s.r.o.	35,93

Tabulka 25 je složena ze surovin nahrazující pojivové složky původní směsi a ze složek nahrazující plniva původní směsi. Při výběru druhotných surovin hrálo roli pořadí v tabulce se současným zohledněním, zdali se jedná o složky s využitím nahrazení pojiva nebo plniva. Na základě těchto faktorů byl pro náhradu primární pojivové složky vybrán popílek elektrárny Tušimice. Pro náhradu plniva byl vybrán křemičitý slévárenský písek pojený bentonitem produkovaný Třineckými železárnami.

Základní materiálové složení a soubor variant pro experimentální ověření jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 26: Soubor vstupních primárních surovin pro další výzkum

Primární suroviny			
Složka	Množství [kg·m <sup>-3</sup> ]		
Cement CEM I 42,5 R	600		
Vápenec velmi jemně mletý	150		
Živcové odprašky	150		
Bentonit	170		
Křemičitý písek 0-1 mm	1070		
Přísady	Krystalizační [%]	0,0	Rec. 3
		0,5	Rec. 9
		1,0	Rec. 7
	Plastifikační [%]	1,0	Všechny receptury

Tabulka 27: Soubor vstupních surovin pro výrobu

Primární suroviny		Druhotné suroviny		
Složka	Množství [kg·m <sup>-3</sup> ]	Složka	Množství [kg·m <sup>-3</sup> ]	Míra náhrady [%]
Cement CEM I 42,5 R	600		120	20
Vápenec velmi jemně mletý	150	Popílek Tušimice	240	40
Živcové odprašky	150	Slévárenský písek	308	20
Bentonit	170	pojený bentonitem	616	40
Křemičitý písek 0-1 mm	1070			

## Definice požadavků na vlastnosti injektážní směsi

Tabulka 28: Definice požadavků na vlastnosti injektážní směsi

Požadavky na vlastnosti injektážní směsi		
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	7 dní	>1,5
	28 dní	>3,0
Pevnost v tlaku [MPa]	7 dní	>5,0
	28 dní	>10,0
Odolnost vůči síranovým vodám		trvale odolný prostředí do 2000 mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l
Viskozita [s]		40-100

### 8.2. Shrnutí řešení a výsledků etapy I

V rámci etapy I byly definovány rozhodující parametry pro určení vhodnosti použití vstupních primárních surovin. Navrhovaná hmota musí plnit těsnící funkci, být schopna staticky zajistit prostory za ostěním kanalizačních stok a být odolná vůči chemicky agresivním látkám. Dále byl kladen důraz na vhodnou dobu zpracovatelnosti, počátek doby tuhnutí a dobu tuhnutí.

Pro zajištění těchto funkcí byla na základě předchozího studia vybrána jílocementová směs. Zrna jílocementové směsi musejí spadat do frakce 0-1 mm, aby byl splněn požadavek na co nejlepší průnik a zaplnění pórů prostor za ostěním. Aby byla zajištěna těsnící schopnost hmoty, byl jako jílová složka hmoty vybrán bentonit, který vykazuje vynikající těsnící schopnost. Jako pojivo byl použit cement portlandského typu CEM I 42,5 R. Při výběru plniv byl kladen důraz především na splnění požadavku frakce 0-1 mm. Proto byl zvolen křemičitý písek, velmi jemně mletý vápenec a živcové odprašky.

Optimalizací byl jako náhradní alternativní surovina vybrán elektrárenský popílek z elektrárny Tušimice a slévárenský písek pojený bentonitem z Třineckých sléváren.

## 9. Etapa II – Ověření základních receptur

V rámci druhé etapy proběhne ověření vhodnosti vlastností základních receptur, které byly navrženy v předešlé etapě I. Bude provedeno praktické zkoušení navržených receptur. Výsledky praktického zkoušení budou vyhodnoceny a výstupem druhé etapy bude výběr optimální receptury ze třech navrhovaných směsí.

### Označení receptur

V následující kapitole budou zkoumány vlastnosti navržených receptur. Označení původních receptur např. CRI rec. 3 je pracovní název receptury bez přidání druhotné suroviny a krystalizační přísady. Pro lepší přehlednost jsou receptury vypsány v Tabulka 29.

Tabulka 29: Označení všech navrhovaných receptur

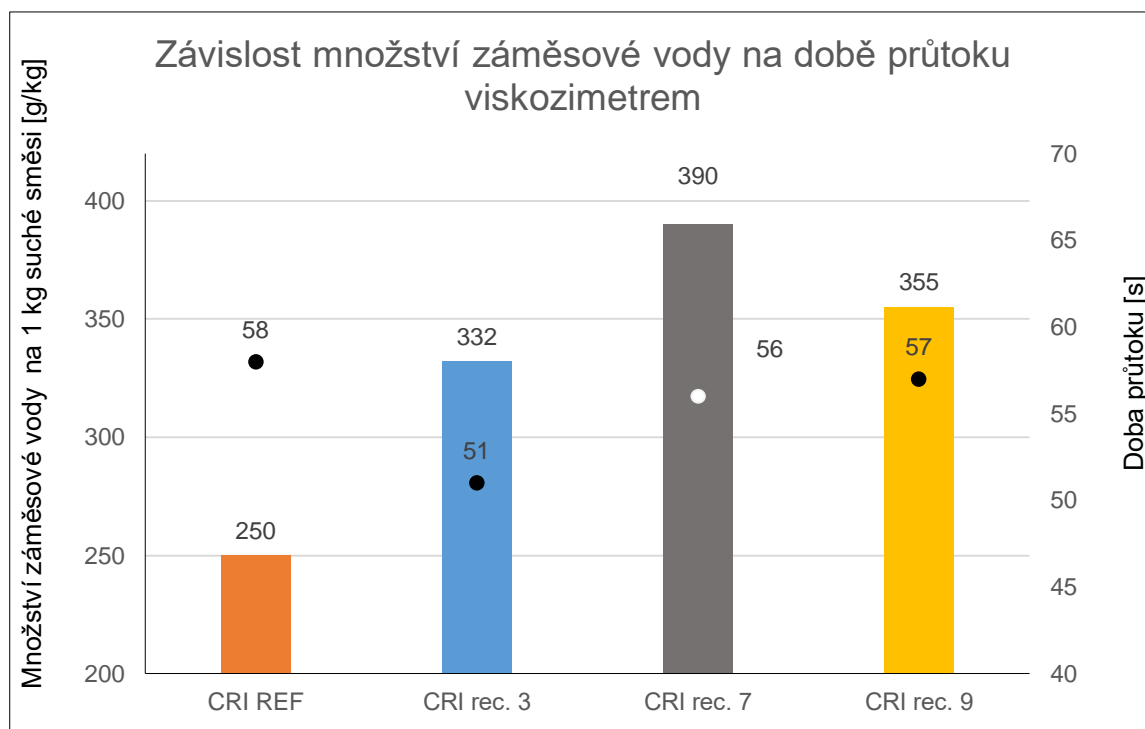
Označení receptury	Množství krystalizační přísady [% z mc]	Použitá druhotná surovina	Náhrada pojiva [%]	Náhrada plniva [%]
CRI REF	0	-	0	0
CRI rec. 3	0	-	0	0
CRI rec. 7	0,5	-	0	0
CRI rec. 9	1	-	0	0
CRI rec. 3 + 20 % popílku	0	Popílek	20	0
CRI rec. 3 + 40 % popílku	0	Tušimice	40	0
CRI rec. 3 + 20 % písku	0	Slévárenský písek pojený bentonitem	0	20
CRI rec. 3 + 40 % písku	0		0	40

## 9.1. Praktické zkoušení navržených receptur

### 9.1.1. Zkoušky prováděné v čerstvém stavu

#### Viskozita

Viskozita byla stanovena měřením doby průtoku suspenze Marshovým kuželem.



Obrázek 8: Graf závislosti záměsové vody na době průtoku Marshovým kuželem

Pro zajištění co možná nejvhodnější konzistence zkoušených směsí byla zvolena metoda průtoku Marshovým kuželem. Nutno konstatovat, že při rozdílu naměřených dob průtoku v rámci 10 s se rozdíl konzistencí nejevil významný. Možná odchylka v naměřených časech se tedy pohybovala v rámci 10 až 15 sekund.

Referenční receptura vyžadovala při stejné viskozitě nejmenší množství vody, což mělo za následek daleko vyšší objemové hmotnosti a pevnosti. Receptura CRI rec. 3 měla z navrhovaných směsí nejmenší vodní součinitel, a taktéž vykazovala nejvyšší pevnosti. Receptury 7 a 9 měly naprosto odlišné vodní součinitele, ale výsledné pevnosti po 28 dnech byly velice podobné.

## Stanovení počátku doby tuhnutí čerstvé hmoty

Počátek doby tuhnutí a doba tuhnutí jsou parametry směsi, které jsou do značné míry rozhodující pro vyhodnocení vhodnosti použití navrhované injektážní směsi. Naměřené časy byly stanoveny pomocí plně automatických přístrojů. Hodnoty jsou uvedeny v Tabulka 30.

Tabulka 30: Počátek a doba tuhnutí

Počátek a doba tuhnutí				
Ozn. vzorku	Počátek tuhnutí [hh:mm]	Konec tuhnutí [hh:mm]	Doba tuhnutí [hh:mm]	Doba tuhnutí vzhledem k REF [hh:mm]
CRI REF	25:30	36:40	11:10	0:00
CRI rec. 3	17:30	20:30	3:00	- 8:10
CRI rec. 7	17:20	32:50	15:30	4:20
CRI rec. 9	18:30	21:30	3:00	- 8:10

Počátek doby tuhnutí referenční hmoty nastal 25 hodin a 30 minut po smíchání suchých složek směsi s vodou. Doba tuhnutí této směsi byla 11 hodin a 10 minut. Nejblíže těmto hodnotám byla receptura č. 7. Nicméně receptury CRI rec. 3 a 9 vykazovaly podobné počátky tuhnutí, avšak následná doba tuhnutí byla daleko kratší. Počátek doby tuhnutí receptury CRI rec. 3 byl podobný počátku doby tuhnutí receptury CRI rec. 7. Avšak samotná doba tuhnutí receptury CRI rec. 3 byla znatelně kratší a pro účely navrhovaného využití vhodnější.

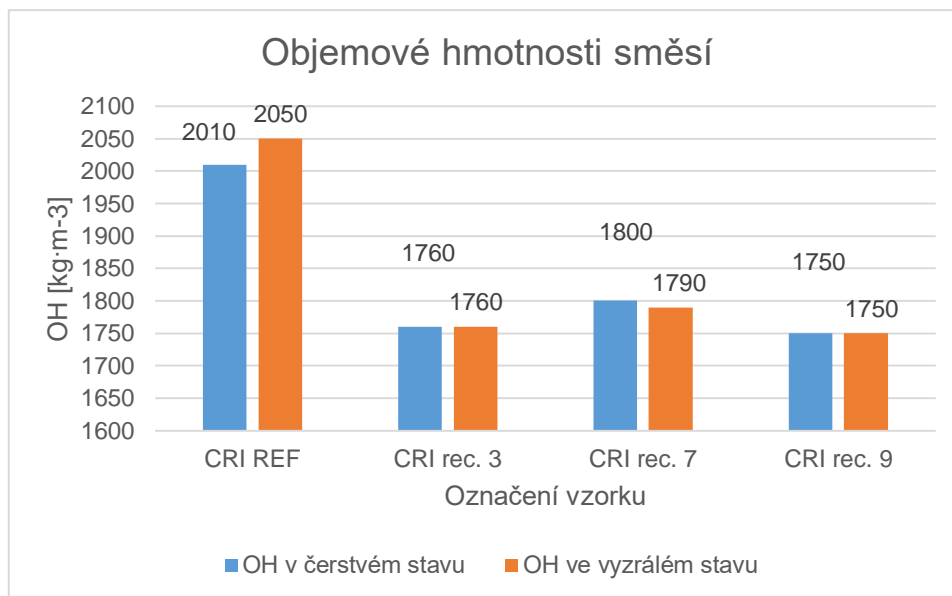
## Objemová hmotnost v čerstvém a vyzrálém stavu

Objemové hmotnosti čerstvých směsí byly vyhodnoceny společně s objemovými hmotnostmi hmot ve vyzrálém stavu.

### 9.1.2. Zkoušky prováděné ve vyzrálém stavu

#### Objemová hmotnost ve vyzrálém stavu

Objemové hmotnosti zkušebních těles ve vyzrálém stavu jsou uvedeny v následujícím grafu.

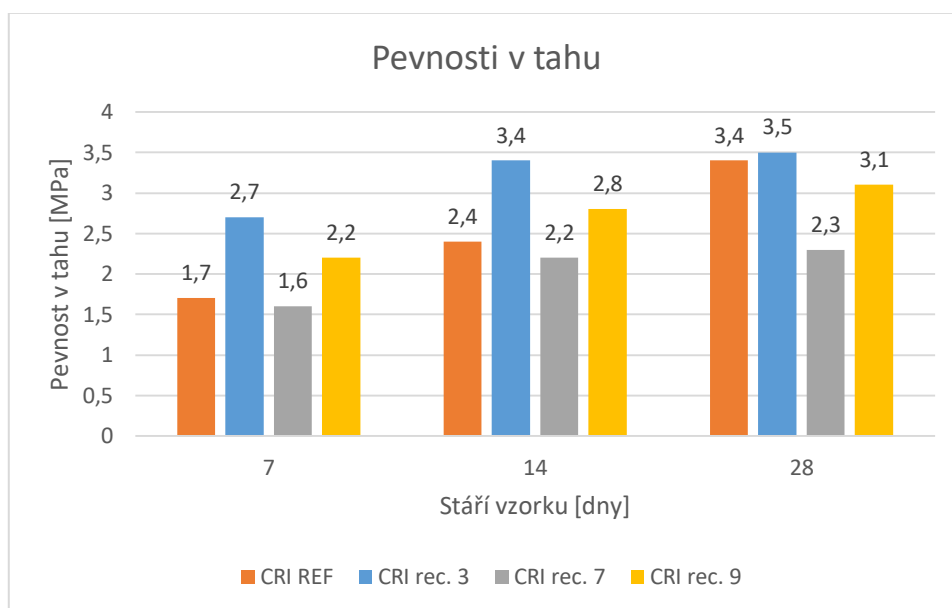


Obrázek 9: Graf objemových hmotností v čerstvém a ve vyzrálém stavu

Objemové hmotnosti receptur 3, 7 a 9 byly obdobné, nicméně byly nižší nežli objemová hmotnost v čerstvém i vyzrálém stavu referenční hmoty. Z navrhovaných receptur vykazovala nejvyšší objemové hmotnosti receptura č. 7. Receptury 3 a 9 dosahovaly obdobných hodnot.

### Pevnost v tahu

Pro určení pevností hmot v tahu za ohybu byl použit tříbodový ohyb. Pevnosti jsou uvedeny v následujícím grafu.



Obrázek 10: Pevnost v tahu ztvrdlých směsí

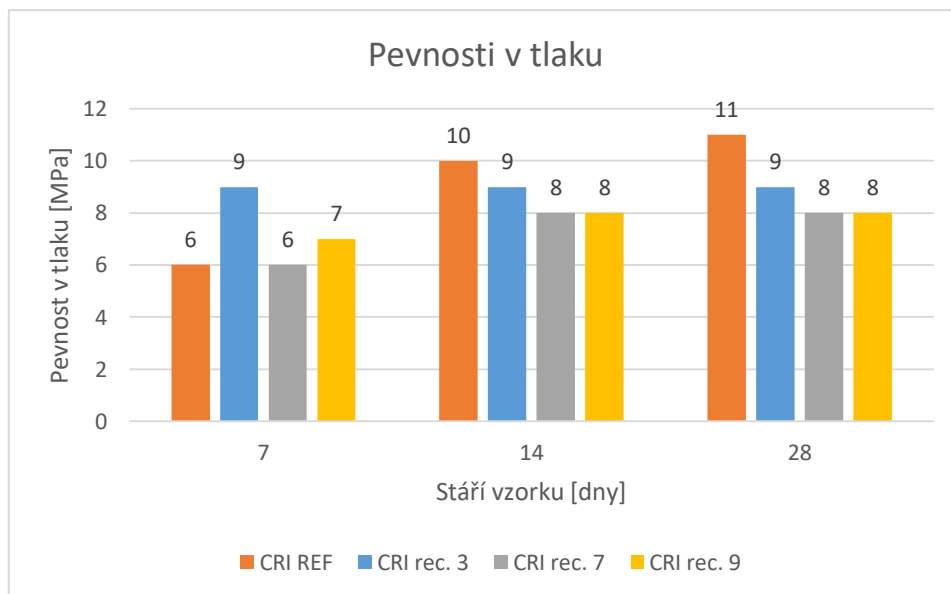
Rozdíl v množství záměsové vody reflektuje v pevnostech zkušebních těles. Nejvyšší pevnosti v tahu po 7 dnech vykazovala receptura CRI rec. 3. Nicméně veškeré navrhované směsi splnily požadavek na minimální pevnosti po 7 dnech. Nejlepší pevnosti v tahu po 28 dnech vykazovala receptura CRI rec. 3. Z grafu lze vyčíst, že se nárůst pevností zpomalil a rozdíl mezi referenční hmotou a navrhovanou hmotou CRI rec. 3 se snížil. Požadavkům na pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech vyhověly receptury CRI rec. 3 a 9.



Obrázek 11: Porušení zkušebního tělesa při zkoušení pevnosti v tahu za ohybu

### **Pevnost v tlaku**

Pevnosti v tlaku navrhovaných směsí byly určovány na fragmentech zkušebních těles použitých při stanovování pevnosti v tahu za ohybu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následujícím grafu.

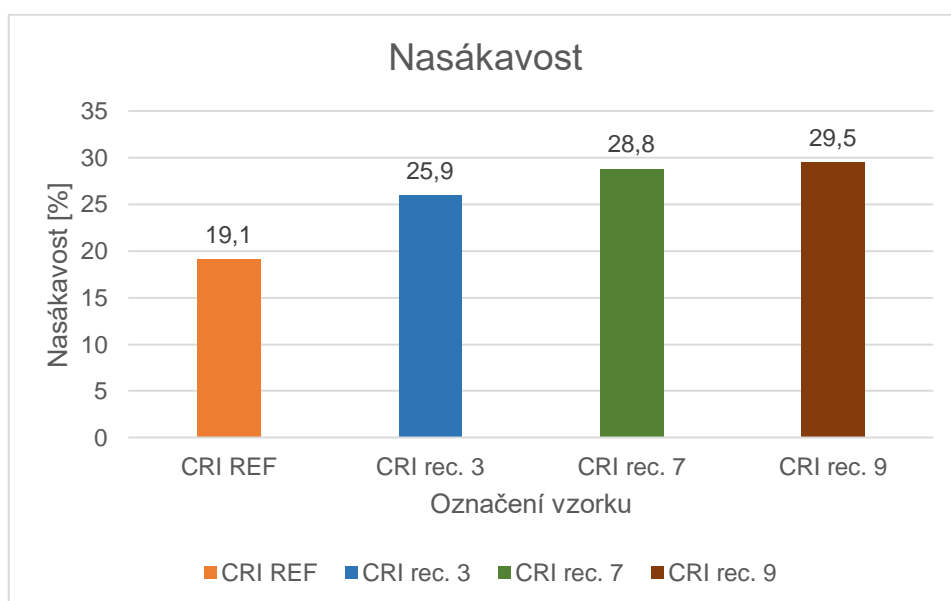


Obrázek 12: Pevnost v tlaku zatvrdlých směsí

Pevnosti v tlaku jsou pro dané využití navrhované hmoty významné. Nejvyšší naměřená hodnota figuruje u receptury CRI rec. 3. Všechny navrhované receptury vyhověly určenému požadavku na pevnost v tlaku po 7 dnech. Nejvyšší pevnosti po 28 dnech vykazovala komerční hmota. Z navrhovaných receptur byla obdobná pevnost v tlaku po 28 dnech u receptury CRI rec. 3. V grafu lze sledovat rychlý nárůst počátečních pevností.

### Nasákavost

Naměřené hodnoty nasákavostí navrhovaných receptur jsou uvedeny v následujícím grafu Obrázek 13.



Obrázek 13: Nasákavost zatvrdlých směsí

Nejnižší nasákavost vykazovala referenční hmota. Pravděpodobně z důvodu méně porézní struktury, která se tvořila více u receptur s vyšším obsahem záměsové vody.

## **9.2. Shrnutí řešení a výsledků etapy II**

V rámci druhé etapy praktické části bakalářské práce byly ověřovány vlastnosti navrhovaných směsí a porovnávány s referenční recepturou. Z navrhovaných hmot vykazovala nejlepší vlastnosti receptura CRI rec. 3 (receptura bez použití krystalizační přísady). Byl sledován vysoký nárůst počátečních pevností. Kritérium minimálních pevností po 7 dnech bylo určeno dle technického listu komerční hmoty na 1,5 MPa v tahu za ohybu a 5,0 MPa v tlaku. Těmto určeným kritériím vyhověly všechny navrhované směsi. Nejvyšší naměřené pevnosti po 28 dnech z navrhovaných receptur byly naměřeny opět u receptury CRI rec. 3. Tato receptura měla obdobné výsledky, jako zvolená referenční hmota. Požadavek na počátek a dobu tuhnutí byl definován referenční směsí. Výsledky těchto parametrů byly obdobné u navrhovaných receptur. Požadavek na viskozitu směsi pro lepší manipulaci s hmotou v místě provádění byl uvažován v rozmezí, které stanovuje norma ČSN EN 12 715. Rozmezí je dáno dobou průtoku směsi na 40 až 100 s. Zde byla snaha být v bezpečné části rozmezí a zároveň se přiblížit 40 sekundám, aby byly následné fyzikálně mechanické vlastnosti co nejlepší.

Svémi vlastnostmi se referenční hmotě a zároveň požadavkům nejvíce přibližuje receptura CRI rec. 3. Vlastnosti receptury CRI rec. 3, zejména pevnosti po 28 dnech, nejsou optimální, a proto bude v návazném testování receptur brán zřetel na vylepšení fyzikálně mechanických vlastností změnou vstupních surovin nebo jejich rozdílným zastoupením v surovinové směsi.

## 10. Etapa III – Ověření využitelnosti druhotných surovin

Ve třetí etapě budou nahrazeny pojivové a plnivové složky základní receptury CRI rec. 3. Na základě předchozího studia byla míra nahrazení zvolena na 20 a 40 %. Byly tak navrženy čtyři další receptury:

- Rec. 3 s náhradou 20 % cementu popílkem,
- Rec. 3 s náhradou 40 % cementu popílkem,
- Rec. 3 s náhradou 20 % plniva slévárenským pískem pojeným bentonitem,
- Rec. 3 s náhradou 40 % plniva slévárenským pískem pojeným bentonitem.

Na těchto nově navržených recepturách budou zkoumány stejné vlastnosti a parametry, jako u původních receptur, za pomoci stejných zkoušek.

### 10.1. Praktické zkoušení navržených receptur

V následující kapitole bude zkoumán vliv typu a množství náhrad na fyzikálně mechanické vlastnosti čerstvé a vyzrálé směsi.

#### 10.1.1. Zkoušky prováděné v čerstvém stavu

##### Vliv substituce pojiv a plniv na počátek a dobu tuhnutí

Počátek a doba tuhnutí čerstvých hmot se substitucí pojivové i plnivové složky jsou uvedené v následující Tabulka 31.

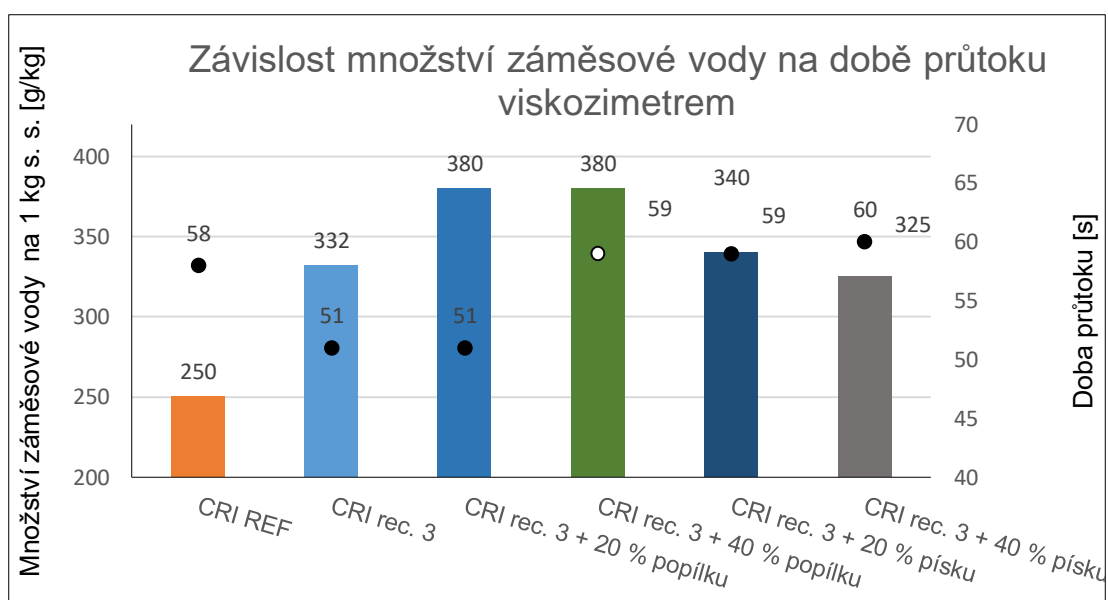
Tabulka 31: Vliv substituce pojiv a plniv na počátek a dobu tuhnutí

Počátek a doba tuhnutí				
Ozn. vzorku	Počátek tuhnutí [hh:mm]	Konec tuhnutí [hh:mm]	Doba tuhnutí [hh:mm]	Konec tuhnutí vzhledem k REF [hh:mm]
CRI REF	25:30	12:40	11:10	0:00
CRI rec. 3	17:30	20:30	3:00	- 8:10
CRI rec. 3 + 20 % popílku	16:00	5:00	13:00	1:50
CRI rec. 3 + 40 % popílku	19:00	9:30	14:30	3:20
CRI rec. 3 + 20 % písku	14:40	23:50	9:10	- 2:00
CRI rec. 3 + 40 % písku	13:40	15:40	2:00	- 9:10

Z Tabulka 31 vyplývá, že při použití druhotných surovin byly až na jeden případ doby tuhnutí přiblíženy k době tuhnutí referenční receptury. Zároveň ve třech případech použití druhotných surovin přiblížilo počátek doby tuhnutí. Při uvážení těchto faktorů se nejlépe jeví receptura s náhradou 20 % pojiva popílkem. Avšak receptury s náhradou 40 % pojiva a 20 % plniva vykazovaly taktéž hodnoty bližší hodnotám referenční hmoty. Pouze receptura s náhradou 40 % plniva vykazovala kratší dobu tuhnutí.

### Vliv substituce pojiv a plniv na množství záměsové vody a viskozitu čerstvé směsi

Množství záměsové vody a viskozita hmot se substitucí pojivové nebo plnivové složky jsou uvedené v následujícím grafu oObrázek 14.



Obrázek 14: Vliv substituce pojiv a plniv na množství záměsové vody a viskozitu čerstvé směsi



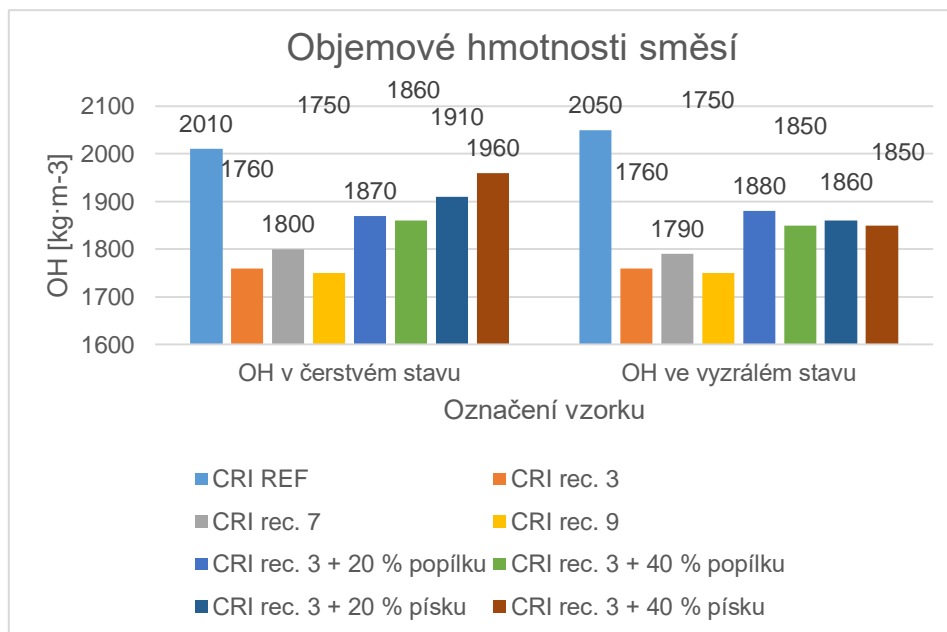
Obrázek 15: Měření doby průtoku Marshovým kuzelem

Ve všech případech náhrady primárních surovin surovinami druhotnými došlo ke snížení množství záměsové vody při prakticky totožné viskozitě receptur. Vyšší vodní součinitel původních receptur byl hlavním důvodem horších mechanických vlastností. Z tohoto hlediska je tedy náhrada původních složek pokrokem. Nejvyšší snížení záměsové vody vykazovala směs s náhradou 40 % pojiva. V plnivové složce původní směsi byl obsažen bentonit, který patrně zásadně zvyšoval vodní součinitel, ale zároveň byl nositelem těsnící funkce směsi. Zároveň se snížením původních plnicích složek o 40 % patrně značně snížila pojivová funkce směsi. Předpoklad byl tedy takový, že tato směs nebude vykazovat nejvyšší pevnosti.

#### **10.1.2. Zkoušky prováděné ve vyzrálém stavu**

##### **Vliv substituce pojiv a plniv na objemovou hmotnost směsi v čerstvém i zatvrdlém stavu**

Objemové hmotnosti hmot v čerstvém stavu se substitucí pojivové i plnivové složky jsou uvedené v následujícím grafu.



Obrázek 16: Vliv substituce pojiv a plniv na objemové hmotnosti v čerstvém a vyzrálém stavu

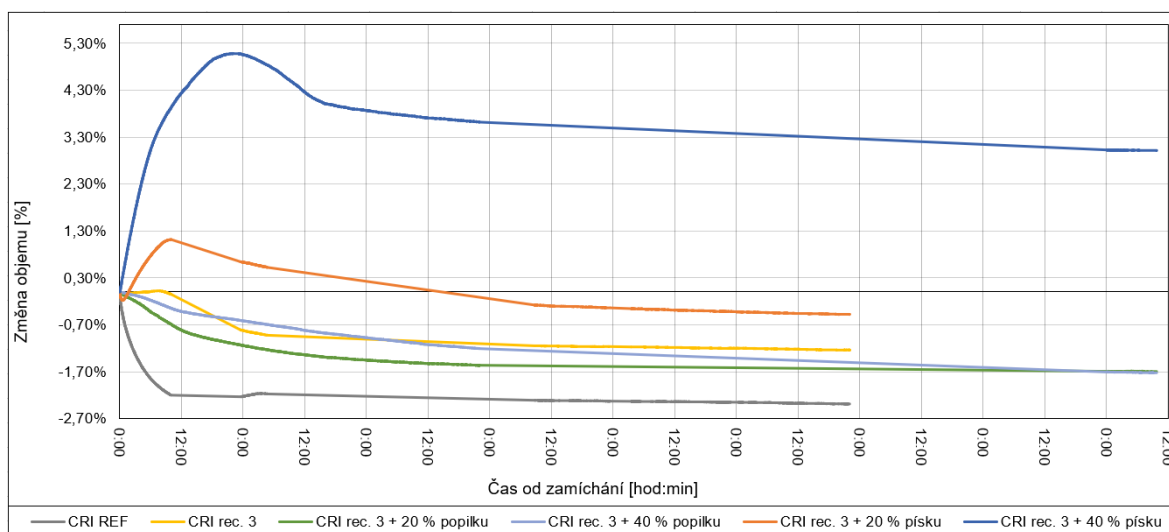
Z uvedeného grafu Obrázek 16 objemových hmotností hmot v čerstvém i vyzrálém stavu po 7 dnech lze odečíst, že směs s vyšší náhradou plniva vykazovala největší snížení objemové hmotnosti, což mělo pravděpodobně za následek potrhání struktury zkušebních těles a následné nižší pevnosti. Naopak receptury s obsahem popílku tato snížení nevykazovala. Náhrada pojiva popílkem dále zvýšila objemové hmotnosti.



Obrázek 17: Naplněné formy čerstvou směsí

## Vliv substituce pojiv a plniv na objemové změny hmot

Naměřené hodnoty objemových změn jsou uvedeny v následujícím grafu Obrázek 18.

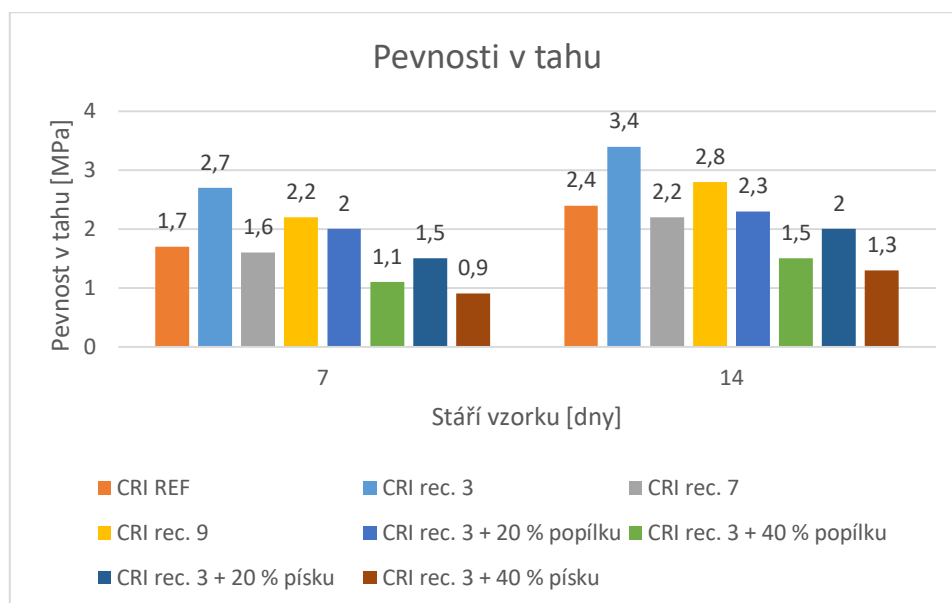


Obrázek 18: Vliv substituce pojiv a plniv na objemové změny hmot

Směs CRI rec. 3 vykazovala nižší smršťování než komerční porovnávaná hmota. Obdobné vlastnosti vykazovaly receptury s náhradou cementu popílkem. Největší zvětšování objemu v průběhu zrání hmoty vykazovala receptura s náhradou 40 % plniva. Receptura s náhradou 20 % plniva vykazovala během prvních 12 hodin podobnou tendenci. Po této době se však její objem v průběhu zrání zmenšoval. Na základě naměřených hodnot v Obrázek 18 lze tvrdit, že náhrada plniva slévárenským pískem pojeným bentonitem má za následek zvětšování objemu během zrání směsi. Receptury modifikované náhradou pojivové složky popílkem vykazovaly obdobné vlastnosti jako hmoty bez substituce druhotnými surovinami.

## Vliv substituce pojiv a plniv na pevnost v tahu za ohybu ztvrdlých hmot

Pevnosti vyzrálých hmot v tahu za ohybu jsou uvedené v následujícím grafu.

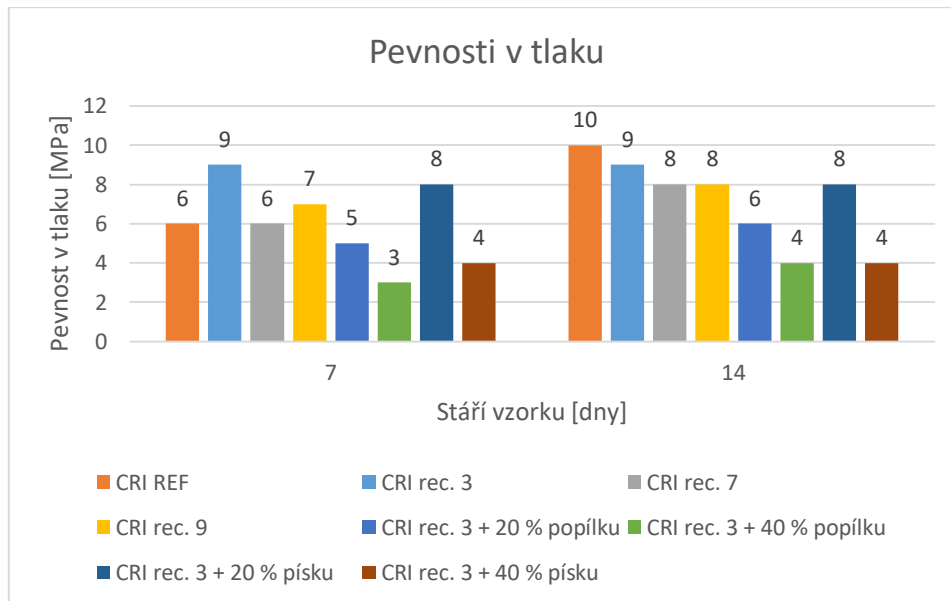


Obrázek 19: Vliv substituce pojiv a plniv na pevnost v tahu za ohybu ztvrdlých hmot

Původní receptura CRI rec. 3 dosahovala po 7 dnech pevnosti 2,7 MPa v tahu za ohybu. Ve všech případech se pevnost v tahu za ohybu vlivem modifikace receptur snížila. Při náhradě 20 % cementu popílkem se pevnost v tahu testované hmoty snížila nejméně. Zároveň receptura s náhradou 20 % cementu popílkem vyhověla určeným kritériím pro pevnosti v tahu za ohybu po 7 dnech. Tato receptura vykazovala z modifikovaných hmot nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu i po 14 dnech zrání hmoty.

## Vliv substituce pojiv a plniv na pevnost v tlaku ztvrdlých hmot

Pevnosti ztvrdlých hmot v tlaku jsou uvedené v následujícím grafu Obrázek 20.



Obrázek 20: Vliv substituce pojiv a plniv na pevnost v tlaku ztvrdlých hmot

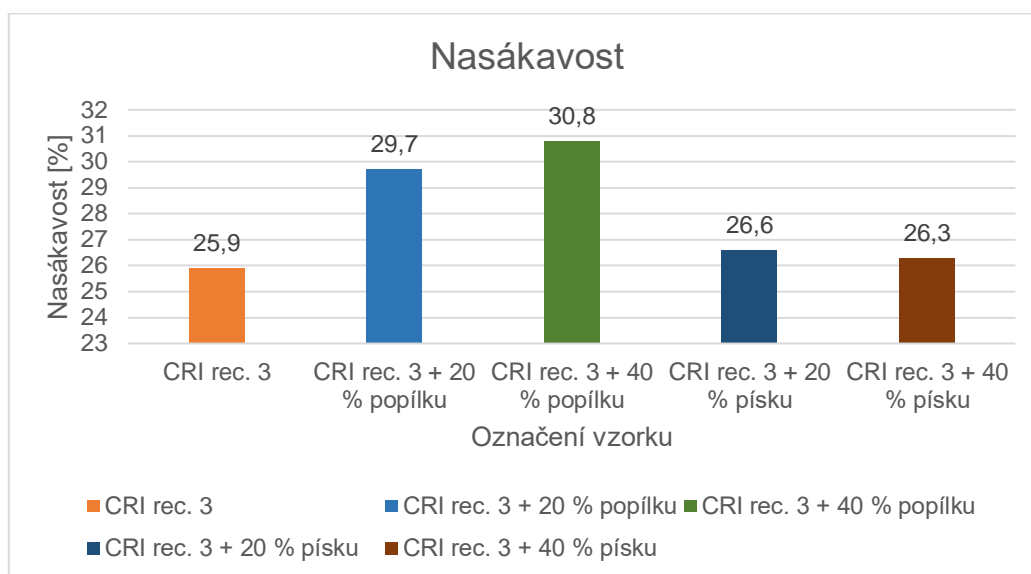
Pevnosti v tlaku se obdobně jako pevnosti v tahu za ohybu vlivem modifikace receptur ve třech případech znatelně snížily. Nicméně ve dvou případech receptury stále vyhovovaly požadavkům na minimální pevnosti po 7 dnech, tedy minimální pevnosti 5 MPa. Při nahrazení 20 % cementu popínkem byla pevnost v tlaku 5 MPa. Při nahrazení 20 % plniva dosáhla směs pevnosti v tlaku 8 MPa.



Obrázek 21: Přípravek pro zajištění tlačné plochy 40x40 mm při zkoušení pevnosti v tlaku

## Vliv substituce pojiv a plniv na nasákavost ztvrdlých hmot

Naměřené hodnoty nasákavostí navrhovaných receptur jsou uvedeny v následujícím grafu Obrázek 22.



Obrázek 22: Vliv substituce pojiv a plniv na nasákavost ztvrdlých hmot

Nasákavost navrhovaných směsí s náhradou pojivové složky nebo plniva se ve všech případech zvýšila. Receptury s náhradou pojivové složky, tedy náhradou cementu popílkem zvýšily svoji nasákavost. Receptury s nahrazením plniva slévárenským pískem pojeným bentonitem vykazovaly obdobné nasákavosti jako původní receptura CRI rec. 3.

### 10.2. Shrnutí řešení a výsledků etapy III

V rámci třetí etapy praktické části bakalářské práce byla původní navržená receptura CRI rec. 3 modifikována náhradou 20 a 40 % pojivové složky nebo plniva. Na takto modifikovaných recepturách byly stanovovány vlastnosti, které byly z hlediska použití hmoty zásadní. Tyto parametry byly pro přehlednost testovány a vyhodnoceny stejným způsobem jako původně navržené receptury. Na základě zjištěných poznatků lze říci, že provedenými modifikacemi se snížil vodní součinitel směsí, který byl hlavním záporným parametrem původních receptur. Nicméně snížením vodního součinitele nedošlo vždy ke zvýšení mechanických vlastností. Zejména u náhrady 40 % plniva slévárenským pískem pojeným bentonitem byly vlastnosti ve většině případů degradovány. Receptura vykazovala nižší pevnosti a zároveň došlo k výrazným porušením struktury. Tato receptura byla tedy pro další zkoušení zavrhnuta.

Jako potenciálně výhodné užití druhotných surovin byla vyhodnocena modifikace původních receptur náhradou 20 % cementu popílkem a náhradou 20 % plniva slévárenským pískem pojeným bentonitem. Tyto receptury ve všech případech vykazovaly poměrně srovnatelné vlastnosti jako primární receptury. V některých případech byly vlastnosti modifikovaných receptur dokonce vylepšeny.

Pro další zkoumání byly vybrány a navrženy:

- **Receptura CRI rec. 3 s náhradou 20 % pojivové složky popílkem elektrárny Tušimice,**
- **Receptura CRI rec. 3 s náhradou 20 % plnivové složky slévárenským pískem pojeným bentonitem.**

## VI. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout novou injektážní hmotu pro rubovou injektáž zděných kanalizačních stok. V teoretické části byly shromážděny dostupné informace o problematice injektáží, kanalizačních systémů, druhotných surovin a odpadních látek. Tyto informace byly využity při posouzení vstupních surovin a návrhu tří receptur, jejichž vlastnosti byly porovnávány s komerčně dostupnou hmotou.

Nejprve byl proveden rozbor možných vstupních surovin. Dále byly nabyté informace o druhotných surovinách shromážděny do přehledného katalogu. V katalogu byly vypsány základní vlastnosti alternativních látek a nutné úpravy pro jejich další využití.

Po sestavení souboru vhodných vstupních složek byly na základě určených rozhodujících parametrů navrženy základní receptury. Tyto receptury vykazovaly při srovnání s referenční hmotou obdobné mechanické vlastnosti. Na základě vyhodnocení stanovených vlastností receptur se receptura CRI rec. 3, tedy receptura bez přídavku krystalizační přísady nejvíce blížila vlastnostem referenční hmoty po 28 dnech, a zároveň splňovala stanovené minimální požadavky, a proto byla vybrána pro další zkoumání.

V další části testování receptury CRI rec. 3 byly vstupní složky této receptury nahrazovány druhotnými surovinami. Volba typu nejvhodnějších druhotných surovin byla provedena pomocí optimalizačního výběru. Dle optimalizačního výběru byl jako náhrada pojiva zvolen popílek z tepelné elektrárny Tušimice společnosti ČEZ a.s., a jako náhrada plniva byl zvolen slévárenský písek pojený bentonitem z provozu Třineckých sléváren.

Modifikované receptury vykazovaly mírně horší vlastnosti než receptury s použitím primárních složek. Ve všech případech použití daných druhotných surovin snížilo vodní součinitel při stejné viskozitě směsi. V některých případech bylo docíleno obdobných pevností a obdobných dob tuhnutí při snížení počátku doby tuhnutí.

Výsledným výstupem této práce jsou dvě vhodné modifikované směsi pro další vývoj rubové injektážní hmoty zděných kanalizačních stok. Tyto receptury jsou uvedeny ve shrnutí etapy III. Dalším krokem praktické části navazujícího výzkumu by bylo vhodné stanovit řešení nízkých pevností základních

receptur po 28 dnech. Měl by být kladen vyšší důraz na zkoumání dlouhodobých vlastností. a odolnost vůči chemicky agresivnímu prostředí, se zvláštním zaměřením na působení síranové koroze.

Navazující výzkum by měl být zaměřen na substituci pojivových složek zároveň se substitucí plniv. Dále by měly být zkoumány ostatní druhotné suroviny, které byly dle optimalizačního výběru taktéž potenciálně využitelné.

## Seznam použité literatury

- [1] Městské standardy. *Pražská vodohospodářská společnost* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <http://www.pvs.cz/pro-zakazniky/mestske-standardy/>
- [2] Městské standardy. *Brno - oficiální web statutárního města Brna* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.brno.cz/sprava-mesta/dokumenty-mesta/mestske-standardy/>
- [3] Historie speciálního zakládání staveb – 13. část. *Časopis ZAKLÁDÁNÍ* [online]. 2016 [cit. 2019-04-16]. DOI: 10. 11. 2016. ISSN 1212 – 1711. Dostupné z: [https://zakladani.cz/casopis/pdf/ZS\\_03\\_2016\\_web.pdf](https://zakladani.cz/casopis/pdf/ZS_03_2016_web.pdf)
- [4] Sanace betonu. *Mc-bauchemie* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.mc-bauchemie.cz/cs-CZ/Solutions/Building-Restoration.aspx>
- [5] *Abdichten von Bauwerken durch Injektion*. Vyd. 3. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2005.
- [6] VERFEL, Jaroslav. *Injektování hornin a výstavba podzemních stěn*. Vyd. 2. Bratislava : MÚS BRADLO, 1992. ISBN 80-7127-043-1.
- [7] ZÁRUBA, J. Popisné charakteristiky puklinového prostředí: cementová injektážní směs, injektážní systémy. Praha, 2004. Geotechnika.
- [8] ENRESA. Empresa Nacional de Residuos Radiactivos: Full-scale engineered barriers experiment in crystalline host rock. *FEBEX*. Madrid, 1998, (Publicación tecnica num. 01/98).
- [9] DIXON, D. A., J. GRAHAM a M.N. GRAY. Hydraulic conductivity of clays in confined tests under low hydraulic gradients. Canada, 1999.
- [10] ZÁKLADNÍ INFORMACE O VODNÍM SKLE. In: *Vodní sklo a.s.* [online]. 2014 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.vodnisklo.cz/cz/clanky/zakladni-informace-o-vodnim-skle>
- [11] Tlaková injektáž. *Sanace staveb* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.sanace-staveb.cz/cs/Sanaceni-technologie/tlakova-injektaz/>
- [12] Injektáže - Keller. *Kellergrundbau* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.kellergrundbau.cz/technologicka-rodina/injektaze/>
- [13] Trysková injektáž. *SOLETANCHE Česká republika s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: [http://www.soletanche.cz/technologie\\_tryskova\\_injektaz/](http://www.soletanche.cz/technologie_tryskova_injektaz/)
- [14] Tlaková injektáž. *Zakládání staveb, a.s.* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.zakladani.cz/cs/vyrobni-program/technologie/tryskova-injektaz>
- [15] Rubová injektáž. *Remmers a Schomburg shop* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.rs-shop.cz/n/rubova-injektaz-zdiva>
- [16] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. Vyd. 2. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1647-5.
- [17] DE SCHUTTER, Geert, Peter J. M. BARTOS, Peter DOMONE, John GIBBS a Rudolf HELA. *Samozhutnitelný beton*. Praha: ČBS, Česká betonářská společnost, 2008. ISBN 978-808-7158-128.
- [18] Vysokopeční cement. *MůjBeton* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.mujbeton.cz/vysokopecni-cement>

- [19] ŠČUČKA, Jiří a Petr MARTINEC. *Stavební hmoty 1: Beton* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: [http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/wpcontent/uploads/2014/07/Scucka\\_Martinec-SH1-Betony.pdf](http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/wpcontent/uploads/2014/07/Scucka_Martinec-SH1-Betony.pdf). Skripta. FAST VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.
- [20] ČSN EN 14647. *Hlinitanový cement: Složení, specifikace a kritéria shody*. Praha: ČNI, 2006
- [21] Výrobní závody. *Heidelbergcement Česká republika* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/kontakty/cmc/vyrobnizavody>
- [22] Cemex. *CEMEX* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.cemex.cz/beton-lite-smesi-podlahy-kamenivo-cement>
- [23] *Cement Hranice* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.cement.cz/online/cz/Domcstrnka.html>
- [24] *LaFargeHolcim* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.lafarge.cz/2-Cement-a-dalsi-produkty>
- [25] ČSN EN 197 - 1 ed. 2: *Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. 2012.
- [26] *Stavební materiály historických objektů: materiály, koruze, sanace* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1999, s. 1-66 [cit. 2019-04-15]. ISBN 80-7080-347-9. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_isbn-80-7080-347-9/pdf/032.pdf](http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-347-9/pdf/032.pdf)
- [27] Bentonit. *Medium internacional* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.bentonit.cz/mediuminternacional>
- [28] *Bentonity pro stavebnictví* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.keramost.cz/cz/produkty/bentonity/bentonity-pro-stavebnictvi>
- [29] MOHAMMAD, Reza Azadi. Optimization of cement-based grouts using chemical additives. *Science direct* [online]. srpen 2017, , 623 - 637 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1016. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775516300956?via%3Dihub>
- [30] SAHA, Ashish Kumer. *Effect of class F fly ash on the durability properties of concrete* [online]. 2018 [cit. 2019-04-15]. DOI: 10.1016/j.serj.2017.09.001. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468203917301334?via%3Dihub>
- [31] GOLEWSKI, Grzegorz Ludwik. Improvement of fracture toughness of green concrete as a result of addition of coal fly ash. Characterization of fly ash microstructure [online]. [cit. 2019-04-15]. DOI: 10.1016/j.matchar.2017.11.008. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580317315905?via%3Dihub>
- [32] ČSN EN 450-1: *Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody*. 2013.

- [33] HELA, Rudolf. *PŘÍMĚSI DO BETONU* [online]. Beton TSK [cit. 2019-04-15]. DOI: 2015-2-04. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-2-04.pdf>
- [34] DROCHYTKA, Rostislav a Pavla MATULOVÁ. *Lehké stavební látky: Modul M01* [online]. 2006. Brno [cit. 2019-04-16].
- [35] ATIŞ, C.D. *High-volume fly ash concrete with high strength and low drying shrinkage* [online]. 2013 [cit. 2019-04-15]. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:2(153). ISSN 08991561. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0037368261&origin=inward&txGid=d7ed2d5901cd093bfa71eefa9f2c2eb9>
- [36] SUPIT, S.W.M. a F.U.A. SHAIKH. *Durability properties of high volume fly ash concrete containing nano-silica* [online]. 2015 [cit. 2019-04-15]. DOI: 10.1617/s11527-014-0329-0. ISSN 13595997. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84938967773&origin=inward&txGid=c31c9a4ea8edf2fd436f22959adbfe29>
- [37] WANG, S., E. LLAMAZOS, L. BAXTER a F. FONSECA. *Durability of biomass fly ash concrete: Freezing and thawing and rapid chloride permeability tests* [online]. 2008 [cit. 2019-04-15]. DOI: 10.1016/j.fuel.2007.05.027. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-36349008039&origin=inward&txGid=dab4d1ca30db1601cbf080e51c7f68ef>
- [38] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2009.
- [39] SHA, Fei, Shucan LI a Rentai LIU. Experimental study on performance of cement-based grouts admixed with fly ash, bentonite, superplasticizer and water glass. *Science direct* [online]. 10. února 2018, , 282-291 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1016. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181732247X?via%3Dihub>
- [40] AITCIN, Pierre-Claude a český překlad Vlastimil Bílek, Josef Krátký, Ivan Smolík. *Vysokohodnotný beton*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 80-867-6939-9.
- [41] PIERRE-CLAUDE, Aitcin. *Binders for durable and sustainable concrete*. Velká Británie: Taylor and Francis, 2008.
- [42] Mikrosféry - od odpadu k perspektivní surovině. *MM - Průmyslové spektrum* [online]. 10. 10. 2001, , 44 [cit. 2019-05-08]. DOI: 011030. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/mikrosfery-od-odpadu-k-perspektivni-surovine.html>
- [43] *Odpady/trídění odpadu* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/odpady>
- [44] *Pěnové sklo A-GLASS* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.a-glass.cz/>
- [45] Černý, Pavel. *Vývoj kompozitu s vysokým podílem druhotných surovin a taveného čediče*. Brno, 2017. Bakalářská práce.

- [46] PÍSKY SLÉVÁRENSKÉ. *Geofond.cz* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: [http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur\\_rocenky/rocenkanerudy99/html/sle\\_pisky.html](http://www.geofond.cz/dokumenty/nersur_rocenky/rocenkanerudy99/html/sle_pisky.html)
- [47] *Sandteam: Slévárenské písky* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.sandteam.cz/nase-sluzby/suroviny/slevarenske-pisky/>
- [48] Uplatnění různorodých surovin. *Odpady online* [online]. 21. 3. 2001 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/uplatneni-ruznorodych-surovin/>
- [49] *Možnosti využití odpadních písků z výroby vodního skla ve stavebnictví*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická.
- [50] *Vliv lomových odprašků a kalů na slínavost keramického střepu* [online]. Keramický zpravodaj, 2012, (28) [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.silis.cz/online/keramicky-zpravodaj-02-2012/files/assets/basic-html/page6.html>
- [51] SOKOLÁŘ, Radomír. Posouzení lomových odprašků jako taviva pro keramickou technologii. *Stavební obzor*. Brno, (9/2011), 283-287.
- [52] ZHANG, J.P., L.M. LIU, Q.H. LI a H. WANG. Development of cement-based self-stress composite grouting material for reinforcing rock mass and engineering application. *Science direct: Elsevier* [online]. 20.5.2019 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1016. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818331325?via%3Dihub>
- [53] HLAVINKOVÁ, Eva. *Potenciální náhrada vysokopecní strusky ve směsných portlandských cementech*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [54] SOKOLÁŘ, Radomír. Alternativní živcové tavivo pro keramickou technologii. *TZB - info* [online]. Brno, 2018 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/17133-alternativni-zivcove-tavivo-pro-keramickou-technologie>
- [55] ŠTRAMBERSKÁ, Kateřina. *Těžba vápenců v České republice*. Olomouc, 2007. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci.
- [56] TKOTZ, K., U. WINTER, O. SPIELVOGEL, J. MANDERLE a kol. *Příručka pro elektrotechniku*. 2. doplněné vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2010. ISBN 80- 86706-13-3.
- [57] PÁLENÉ LUPKY - OBECNÉ INFORMACE. *České lupkové závody a.s.* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.cluz.cz/cz/palene-lupky-obecne-informace>
- [58] PETRÁNEK, Jan. Kaolín. *On-line Geologická encyklopedie* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?kaolin>

- [59] Laboratoře hledají nová řešení. *Odpady online* [online]. 19. 9. 2001 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/laboratore-hledaji-nova-reseni/>
- [60] WEIGLOVÁ, J. *Možnosti využití energosádrovců a druhotných surovin obsahujících siřičitany pro přípravu kompozitů*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická. Vedoucí práce Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.
- [61] Cihelný recyklát. *Cihlovyrecyklat.cz* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: [http://cihlovyrecyklat.cz/cihelny\\_recyklat.html](http://cihlovyrecyklat.cz/cihelny_recyklat.html)
- [62] ZÁKLADNÍ DRUHY RECYKLÁTŮ A MOŽNOSTI JEJICH VYUŽITÍ + JAKOSTNÍ NORMY. *Beton server* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.betonserver.cz/aktuality/zakladni-druhy-recyklatu-a-moznosti-jejich-vyuziti-jakostni-normy>
- [63] *Dufonev R.C.* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: [http://www.dufonev.cz/popis\\_recyklatu.php](http://www.dufonev.cz/popis_recyklatu.php)
- [64] Odpady z těžby a výroby energie. *Vítejte na Zemi* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: [http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=odpady\\_z\\_tezby\\_a\\_vyroby\\_energie&site=energie](http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=odpady_z_tezby_a_vyroby_energie&site=energie)
- [65] CUŘÍN, Jiří. *Regenerace odpadní křemeliny* [online]. 1995, , 206-208 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: [file:///C:/Users/NTB/Downloads/1995\\_7\\_206\\_583.pdf](file:///C:/Users/NTB/Downloads/1995_7_206_583.pdf)
- [66] *Cembrit, a.s.* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.cembrit.cz/technick%C3%A9-informace/vl%C3%A1knocement-slo%C5%BEen%C3%AD/> Dostupné z: [file:///C:/Users/NTB/Downloads/1995\\_7\\_206\\_583.pdf](file:///C:/Users/NTB/Downloads/1995_7_206_583.pdf)
- [67] Městské standardy. *Vodovody a kanalizace Hradec Králové a.s.* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.vakhk.cz/Uvodni-strana.html>
- [68] HERMANN, Radek. *Vývoj chemicky odolné stříkané směsi*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
- [69] BRE Construction division. *Concrete in aggressive ground*. 3. ed. Garston, Watford: BRE, 2005. ISBN 18-608-1754-8.
- [70] SKALNY, Jan., J. MARCHAND a Ivan ODLER. *Sulfate attack on concrete*. New York: Spon Press, 2002. 10. ISBN 04-192-4550-2.
- [71] LEDEREROVÁ, Jaroslava a kol. *Biokorozní vlivy na stavební díla*. Praha: Silikátový svaz, 2009. ISBN 978-80-86821-50-4.
- [72] KOCIÁNOVÁ, Magdaléna. *Vývoj injektážních směsí pro dodatečné těsnění sypaných hrází*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců.

## Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: NÁVRH INJEKTÁŽE MOSTU V SÉVRES CHARLESE BERIGNYHO [3] .....	11
OBRÁZEK 2: FUNKČNÍ SCHÉMA TLAKOVÉ INJEKTÁŽE [11] .....	16
OBRÁZEK 3: FUNKČNÍ SCHÉMA BEZTLAKOVÉ INJEKTÁŽE [11] .....	17
OBRÁZEK 4: PRINCIP TECHNOLOGIE TRYSKOVÉ INJEKTÁŽE [14] .....	19
OBRÁZEK 5: SCHÉMA ETAPY I METODIKY PRÁCE .....	58
OBRÁZEK 6: SCHÉMA ETAPY II METODIKY PRÁCE .....	59
OBRÁZEK 7: SCHÉMA ETAPY III METODIKY PRÁCE .....	60
OBRÁZEK 8: GRAF ZÁVISLOSTI ZÁMĚSOVÉ VODY NA DOBĚ PRŮTOKU MARSHOVÝM VISKOZIMETREM .....	74
OBRÁZEK 9: GRAF OBJEMOVÝCH HMOTNOSTÍ V ČERSTVÉM A VE VYZRÁLÉM STAVU .....	76
OBRÁZEK 10: PEVNOST V TAHU ZTVRDILÝCH SMĚSÍ .....	76
OBRÁZEK 11: PORUŠENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA PŘI ZKOUŠENÍ PEVNOSTI V TAHU ZA OHYBU .....	77
OBRÁZEK 12: PEVNOST V TLAKU ZATVRDLÝCH SMĚSÍ .....	78
OBRÁZEK 13: NASÁKAVOST ZATVRDLÝCH SMĚSÍ .....	78
OBRÁZEK 14: VLIV SUBSTITUCE POJIV A PLNIV NA MNOŽSTVÍ ZÁMĚSOVÉ VODY A VSKOZITU ČERSTVÉ SMĚSI .....	81
OBRÁZEK 15: MĚŘENÍ DOBY PRŮTOKU MARSHOVÝM KUŽELEM .....	82
OBRÁZEK 16: VLIV SUBSTITUCE POJIV A PLNIV NA OBJEMOVÉ HMOTNOSTI V ČERSTVÉM A VYZRÁLÉM STAVU .....	83
OBRÁZEK 17: NAPLNĚNÉ FORMY ČERSTVOU SMĚSÍ .....	83
OBRÁZEK 18: VLIV SUBSTITUCE POJIV A PLNIV NA OBJEMOVÉ ZMĚNY HMOT .....	84
OBRÁZEK 19: VLIV SUBSTITUCE POJIV A PLNIV NA PEVNOST V TAHU ZA OHYBU ZTVRDILÝCH HMOT .....	85
OBRÁZEK 20: VLIV SUBSTITUCE POJIV A PLNIV NA PEVNOST V TLAKU ZTVRDILÝCH HMOT	86
OBRÁZEK 21: PŘÍPRAVEK PRO ZAJIŠTĚNÍ TLAČNÉ PLOCHY 40X40 MM PŘI ZKOUŠENÍ PEVNOSTI V TLAKU .....	86
OBRÁZEK 22: VLIV SUBSTITUCE POJIV A PLNIV NA NASÁKAVOST ZTVRDILÝCH HMOT .....	87

## Seznam tabulek

TABULKA 1: SLOŽKY PORTLANDSKÉHO CEMENTU [16] .....	22
TABULKA 2: SEZNAM PRODUCENTŮ CEMENTU V ČR [21][22][23][24] .....	23
TABULKA 3: TECHNICKÉ PARAMETRY CEM I 42,5 R [25] .....	24
TABULKA 4: TECHNICKÉ PARAMETRY CEM III/B 32,5 N-LH/SR [25] .....	25
TABULKA 5: PRODUCENTI POPÍLKU .....	31
TABULKA 6: CHEMICKÉ SLOŽENÍ BĚŽNÉHO POPÍLKU [34] .....	34
TABULKA 7: PŘIBLIŽNÉ SLOŽENÍ NĚKTERÝCH VYSOKOTEPLŮNÍCH ŠKVÁR [40] .....	35
TABULKA 8: CHEMICKÉ SLOŽENÍ STRUSKY [34] .....	37
TABULKA 9: OBECNÉ SLOŽENÍ OBALOVÉHO SKLA [43] .....	38
TABULKA 10: PŘÍKLAD SLOŽENÍ SKLENĚNÉ MOUČKY PRO VÝROBU PĚNOVÉHO SKLA .....	39
TABULKA 11: CHEMICKÉ SLOŽENÍ KŘEMENNÝCH PÍSKŮ [47] .....	40
TABULKA 12: PŘÍKLADY MINERALOGICKÉHO SLOŽENÍ KAMENNÉ VYPÍRKY/KALU [49] .....	41
TABULKA 13: PŘÍKLAD FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ KAMENNÝCH ODPRAŠKŮ [52] .....	41
TABULKA 14: PŘÍKLAD MINERALOGICKÉHO SLOŽENÍ KAMENNÝCH ODPRAŠKŮ [49] .....	43
TABULKA 15: CHEMICKÉ SLOŽENÍ LUPKU .....	44
TABULKA 16: CHEMICKÉ SLOŽENÍ ENERGOSÁDROVCE – ELEKTRÁRNA POČERADY [59] ..	45
TABULKA 17: PŘÍKLAD SLOŽENÍ VLÁKNOCEMENTU – VLÁKNOCEMENTOVÁ KRYTINA ETERNIT .....	48
TABULKA 18: KATALOG ALTERNATIVNÍCH SUROVIN: ČÁST I .....	64
TABULKA 19: KATALOG ALTERNATIVNÍCH SUROVIN: ČÁST II .....	65
TABULKA 20: KATALOG ALTERNATIVNÍCH SUROVIN: ČÁST III .....	66
TABULKA 21: KATALOG ALTERNATIVNÍCH SUROVIN: ČÁST IV .....	67
TABULKA 22: KRITÉRIA OPTIMALIZACE .....	67
TABULKA 23: VLASTNOSTI DRUHOTNÝCH SUROVIN ČÁST I .....	68
TABULKA 24: VLASTNOSTI DRUHOTNÝCH SUROVIN ČÁST II .....	69
TABULKA 25: PREFERENCE DRUHOTNÝCH SUROVIN .....	70
TABULKA 26: SOUBOR VSTUPNÍCH PRIMÁRNÍCH SUROVIN PRO DALŠÍ VÝZKUM .....	71
TABULKA 27: SOUBOR VSTUPNÍCH SUROVIN PRO VÝROBU .....	71
TABULKA 28: DEFINICE POŽADAVKŮ NA VLASTNOSTI INJEKTÁŽNÍ SMĚSI .....	72
TABULKA 29: OZNAČENÍ VŠECH NAVRHOVANÝCH RECEPTUR .....	73
TABULKA 30: POČÁTEK A DOBA TUHnutí .....	75
TABULKA 31: VLIV SUBSTITUCE POJIV A PLNIV NA POČÁTEK A DOBU TUHnutí .....	80