



# 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 HMOT PRO SANACI INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ METODOU CIPP

DESIGN OF NEW MATERIALS FOR REHABILITATION OF UTILITY NETWORKS USING CIPP METHOD

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karolína Jakubíková

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA CSc., MBA, dr. h. c.

BRNO 2020



# 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>	Karolína Jakubíková
<b>Název</b>	Návrh nových hmot pro sanaci inženýrských sítí metodou CIPP
<b>Vedoucí práce</b>	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2019
<b>Datum odevzdání</b>	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

---

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

---

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



## PODKLADY A LITERATURA

[1] ČSN EN ISO 11296-4 – Plastové potrubní systémy pro renovace beztlakových kanalizačních přípojek a stokových sítí uložených v zemi – Část 4: Vyvložkování trubkami vytvrzovanými na místě, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

[2] DVIR, Heim. Polymer – Filler and Filler – Filler Interactions in Polymeric Composite Materials [online]. Ben-Gurion University of the Negev, 2006

[3] Donaldson, Bridget. (2009). Environmental Implications of Cured-in-Place Pipe Rehabilitation Technology. Transportation Research Record, vol. 2123, pp. 172-179. 10.3141/2123-19.

[4] Další vědecké a odborné publikace, normy a předpisy zabývající se hmotami pro sanaci inženýrských sítí metodou CIPP.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na základě teoretických poznatků získaných z odborné literatury budou navrženy a experimentálně ověřeny nové hmoty na polymerní bázi pro sanaci inženýrských sítí bezvýkopovou technologií CIPP vykazující vysokou chemickou odolnost. Jedná se o speciální polymerní matici, kterou se sytí vhodná textilie ve formě rukávů, přičemž budou použita plniva na bázi druhotných surovin. Tato práce se zabývá aktuální problematikou ve stavební praxi a je součástí vědecko-výzkumného projektu. Rozsah práce bude přibližně 50 stran.

1. V teoretické části práce přehledně zpracujte dostupné poznatky z oblasti bezvýkopové technologie inženýrských sítí. Zaměřte se především na technologie CIPP (cured-in-place pipe), používané hlavně pro sanaci kanalizačních řádů. Popište pryskyřice používané pro sycení sanačních rukávů. Definujte typy expozičního prostředí, kde se plánují nové sanační hmoty využívat.

2. Porovnejte sanační technologie CIPP v současnosti dostupné na trhu z materiálového hlediska. Zaměřte se na vlastnosti používaných polymerních pryskyřic a plniv, ale taky věnujte pozornost možnosti využití druhotných surovin jako plniv. Proveďte optimalizaci navržených plniv na bázi druhotných surovin a vyberte ty nejvhodnější do polymerního sanačního systému. Na základě zamýšleného použití sanačního systému vyberte vhodné polymerní pojivo.

3. Definujte normové a jiné požadavky na sanační materiály (trubky CIPP) s ohledem na jejich aplikace v chemicky agresivním prostředí. Navrhněte metodiku zkoušení nových hmot pro sanaci inženýrských sítí, přičemž se zaměřte také na zkoušky týkající se vstupních surovin (pojiva, plniva).

4. Navrhněte alespoň čtyři receptury polymerních hmot s ohledem na vybrané vstupní suroviny, které budou využitelné zejména v chemicky namáhaných prostředích – primárním projektovaným místem využití budou kanalizační řady. Důraz je kladen na využití druhotných surovin, v podobě mikroplniv, které by měly zlepšovat vlastnosti hmot pro sanaci inženýrských sítí (trubky CIPP). Zamyslete se nad použitím navržených receptur i v rámci sanace ostatních inženýrských sítí, jako jsou např. vodovodní řady.

5. Proveďte jednoduché experimentální ověření vybraných navržených receptur v rámci výroby vzorků nových hmot pro sanaci inženýrských sítí, a proveďte stanovení základních fyzikálních a mechanických vlastností vytvrzených hmot. Určete, která receptura se jeví jako optimální.

Předpokládaný rozsah bakalářské práce 40-50 stran.

## **STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá návrhem nových hmot pro sanaci inženýrských sítí metodou bezvýkopové technologie (CIPP). Jedná se o plněnou speciální polymerní pryskyřici, kterou se sytí vhodná textilie ve formě rukávců. V této práci je věnována pozornost především využití druhotných surovin ve formě plniv do polymerní matrice a zlepšení tak mechanických včetně snížení finanční náročnosti této sanační hmoty. Použití druhotných plniv je v této práci zkoumáno jak z pohledu zpracovatelnosti hmoty, tak i z pohledu výsledných mechanických vlastností.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Metoda CIPP, sanace kanalizačních řádů, druhotné suroviny, sanace, polymerní pryskyřice, mechanická odolnost, chemická odolnost.

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the design of new materials for the rehabilitation of utility networks using the method of trenchless technology (CIPP). It is a special polymer resin containing filler which saturates a suitable fabric in the form of sleeves. In this thesis, the attention is focused mainly to the use of secondary raw materials in the form of fillers and the improvement of mechanical properties of CIPP, including reducing the financial demands of this remediation material. The use of by-products as the fillers is in this thesis investigated both from the point of view of the processability of the material and from the point of view of the resulting mechanical properties.

## **KEYWORDS**

CIPP method, rehabilitation of sewages, secondary raw materials, rehabilitation, polymer resin, mechanical resistance, chemical resistance

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

JAKUBÍKOVÁ, Karolína. *Návrh nových hmot pro sanaci inženýrských sítí metodou CIPP*, Brno, 2020. 88 s. Bakalářské práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka CSc., MBA, dr. h. c.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem Návrh nových hmot pro sanaci inženýrských sítí metodou CIPP je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2020

---

Karolína Jakubíková  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2020

---

Karolína Jakubíková  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych velice ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Rostislavovi Drochytzkovi, CSc., MBA, za jeho cenné rady a odborné vedení. Zároveň bych velice ráda poděkovala Ing. Jakobovi Hodulovi, Ph.D. za čas, který mi věnoval během konzultací, za odborné a cenné rady a za trpělivý, vstřícný přístup. Mé poděkování patří také mým nejbližším, a hlavně mému tátovi, za jeho podporu nejen ve studiu.

*Práce byla vypracována v rámci řešení vědecko-výzkumného projektu č. FW01010197 s názvem Vývoj a výzkum nových progresivních materiálů pro sanaci inženýrských sítí s využitím druhotných surovin.*

# OBSAH

<b>OBSAH .....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>13</b>
<b>1 POJIVA.....</b>	<b>14</b>
1.1 <b>Pojiva pro sanační hmoty.....</b>	<b>14</b>
1.2 <b>Definice Polymerů.....</b>	<b>14</b>
1.3 <b>Kategorie polymerů .....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Termoplasty.....	15
1.3.2 Reaktoplasty .....	15
1.4 <b>Vybraná polymerní pojiva .....</b>	<b>15</b>
1.4.1 Epoxidová pryskyřice (EP) .....	15
1.4.2 Nenasycené polyesterová pryskyřice (UP) .....	17
1.4.3 Vinylesterové pryskyřice (VE).....	18
1.4.4 Epoxyvinylesterové pryskyřice .....	19
<b>2 PLNIVA.....</b>	<b>20</b>
2.1 <b>Požadavky na vlastnosti plniv .....</b>	<b>20</b>
2.2 <b>Rozdělení plniv .....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Základní rozdělení plniv .....	20
2.2.1 Vliv tvaru plniva .....	21
2.3 <b>Vlastnosti plniv pro polymerní kompozity .....</b>	<b>22</b>
2.3.1 Tvar a velikost.....	22
2.3.2 Smáčivost .....	22
2.3.3 Životnost .....	22
2.3.4 Chemická odolnost .....	22
2.3.5 Specifická hmotnost .....	22
2.4 <b>plniva na bázi druhotných surovin .....</b>	<b>22</b>
2.4.1 Obecné požadavky .....	23
2.4.2 Odpady z energetického průmyslu .....	23
2.5 <b>Používaná plniva pro METODU CIPP.....</b>	<b>23</b>
2.5.1 Vápenec.....	24
2.5.2 Silikátová plniva.....	24
2.5.3 Sklo.....	25
2.5.4 Mastek .....	25
2.5.5 Nanoplňniva.....	25
2.6 <b>Vlivy prostředí .....</b>	<b>26</b>



2.6.1	Chemické namáhání.....	26
2.6.2	Mechanické a fyzikální namáhání.....	26
<b>2.7</b>	<b>Specifické prostředí kanalizace .....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>SANACE INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Definice sanace .....</b>	<b>28</b>
3.1.1	Členění jednotlivých typů sanace .....	28
3.1.2	Specifické poruchy kanalizačních stok.....	29
<b>4</b>	<b>SANACE INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>Bezvýkopové technologie.....</b>	<b>31</b>
4.1.1	Metoda CIPP .....	31
4.1.2	Rukávec pro metodu CIPP .....	32
4.1.3	Vytvrzení sanačního rukávce.....	33
<b>5</b>	<b>CÍL PRÁCE .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>METODIKA PRÁCE .....</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>Etapa I – Vlastnosti současně vhodných polymerních materiálů vhodných pro metodu cipp.....</b>	<b>36</b>
<b>6.2</b>	<b>Etapa II – Požadavky na navrhovanou sanační hmotu pro metodu cipp.....</b>	<b>37</b>
<b>6.3</b>	<b>Etapa III – Návrh receptury Na hmotu pro metodu cipp .....</b>	<b>38</b>
<b>6.4</b>	<b>Etapa IV – Experimentální ověření navržených receptur.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>40</b>
<b>7.1</b>	<b>Etapa I – Vlastnosti současně dostupných polymerních materiálů vhodných pro metodu cipp na trhu .....</b>	<b>40</b>
7.1.1	Jednotlivé firmy provádějící metodu CIPP na českém trhu.....	40
7.1.2	Dostupné firmy provádějící metodu CIPP na zahraničním trhu.....	40
7.1.3	Požadavky na vhodná pojiva .....	41
7.1.4	Požadavky na vhodná plniva .....	41
7.1.5	Vybraná primární plniva .....	41
7.1.6	Vybraná druhotná plniva .....	44
7.1.7	Optimalizační výpočet pro výběr vhodných plniv.....	48
7.1.8	Vyhodnocení optimalizace.....	52
<b>7.2</b>	<b>Etapa II – Požadavky na navrhovanou sanační hmotu pro sanaci metodou cipp</b>	<b>52</b>
7.2.1	Základní nenormované požadavky na vstupní suroviny pro sanaci metodou CIPP	52
	Používaná plniva .....	52

Používání pojiva .....	53
7.2.2 Definice základních normových požadavků na CIPP .....	54
Klasifikace částí vložky.....	54
Materiálové vlastnosti .....	54
Mechanické vlastnosti CIPP potrubí.....	55
7.2.3 Definice základních normových požadavků dle ASTM F1216-09 .....	56
Chemická odolnost.....	57
Základní parametry pro volbu tloušťky stěny CIPP .....	58
7.2.4 Vyhodnocení II Etapy .....	59
<b>7.3 Etapa III - Návrh receptury Na hmotu pro metodu cipp .....</b>	<b>61</b>
7.3.1 Návrh receptur .....	61
Návrh receptury Glasstech .....	61
Návrh receptury Ashtech .....	62
7.3.2 Závěr III etapy návrhu receptury na hmotu pro metodu CIPP .....	63
<b>7.4 Etapa IV - Experimentální ověření navržených receptur.....</b>	<b>63</b>
7.4.1 Výroba vzorku pro experimentální ověření.....	64
7.4.2 Zkoušení vlastností v čerstvém stavu.....	68
Viskozita navrhované polymerní hmoty .....	68
Hustota v čerstvém stavu .....	69
Sledování zpracovatelnosti a prosycení vystýlky.....	69
Aplikační test .....	70
7.4.3 Zkoušení ohybových vlastností .....	71
Geometrické vlastnosti .....	71
Vizuální posouzení vzorků .....	72
Ohybové vlastnosti dle normy ČSN EN ISO 178 - Plasty - Stanovení ohybových vlastností.....	74
7.4.4 Závěr IV etapy .....	76
<b>8 ZÁVĚR.....</b>	<b>78</b>
<b>9 POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>80</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>85</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>86</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....</b>	<b>88</b>

## ÚVOD

Sanace pomocí bezvýkopové metody CIPP je v posledních letech velmi oblíbená, díky využívání moderních hmot, je možné sanovat potrubí ve velmi krátkém čase, a to i bez větších nutností zasahování do městské infrastruktury. Zatažení polymerního rukávce do sanovaného potrubí, a jeho následné vytvrzení horkou vodnou či parou je poměrně nová metoda. A s vývinem, polymerních hmot a se stoupající poptávkou po více ekologické a zároveň ekonomické dostupnosti jsou tyto hmoty pro sycení textilního rukávce a následného zatažení do potrubí stále více vyhledávány.

Tato práce se snaží najít optimální využití druhotných surovin, jakožto druhotného plniva pro hmotu na sycení rukávce. Cílem je tedy nejen zlepšení mechanických vlastností samotného sanovaného potrubí, ale i začlenění jinak nevyužitých odpadních surovin. Tato hmota je primárně projektována do kanalizačního prostředí, které je náročné na dostatečnou chemickou odolnost, ale i na mechanické zatížení. Cílem je dosáhnout sanační hmoty, která bude odpovídat dostatečným mechanickým vlastnostem, vhodnou zpracovatelností a zároveň bude mít ekologický přínos.

Pro účely této práce byla vybrána vhodná odborná literatura podrobně se zabývající danou problematikou. V rámci teoretické části byla provedena rešerše a byly využity zejména následující tituly:

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. Pardubice: Code Creator, s.r.o. 2; distribuce publi.cz, 2015, s. 20 [cit. 2019-11-14]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [2] MLEZIVA, Josef, ŠŇUPÁREK Jaromír. Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7.
- [3] ALLOUCHE E., ALAM S., SIMICEVIC J, and STERLING R. A Retrospective Evaluation of Cured-in-Place Pipe (CIPP) Used in Municipal Gravity Sewers., Trenchless Technology Center at Louisiana Tech University [online]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/269336320\\_A\\_Retrospective\\_Evaluation\\_of\\_Cured-in-Place\\_Pipe\\_CIPP\\_Used\\_in\\_Municipal\\_Gravity\\_Sewers](https://www.researchgate.net/publication/269336320_A_Retrospective_Evaluation_of_Cured-in-Place_Pipe_CIPP_Used_in_Municipal_Gravity_Sewers)
- [4] WYPYCH, G. Fillers in commercial polymers. Handbook of Fillers, 2016, pp.665–761 doi:10.1016/b978-1-895198-91-1.50017

# 1 POJIVA

## 1.1 POJIVA PRO SANAČNÍ HMOTY

Pojivem označujeme látky nebo směsi látek, které se povětšinou upravují do tekuté nebo kašovitě formy a následně snadno přecházejí z této formy do formy pevné. Tato vlastnost umožňuje plnit základní pojivovou funkci, kterou lze spatřovat ve schopnosti spojovat původně nesoudržné heterogenní systémy v soudržnou hmotu. Tato práce je zaměřena na polymerní sanační hmotu, z toho důvodu se v následující části zaměříme na definice polymerů a pojiv určených do polymerních sanačních hmot.

## 1.2 DEFINICE POLYMERŮ

Polymery jsou makromolekulární chemické látky, které jsou tvořeny dlouhými řetězci opakujících se monomolekul (monomerů).

Za makromolekulární látku se považuje sloučenina s vyšší molární hmotností než 103 g/mol. V případě polymerů přesahuje hmotnost hodnotu 104 g/mol, zatímco molární hmotnost nízkomolekulárních látek může být nižší než 100 g/mol (např. voda má molární hmotnost ~ 18 g/mol). Polymery představují tedy jakousi chemickou stavebnici, která umožňuje neobyčejnou proměnlivost struktur i vlastností látky.[1]

Polymery mají na základě své molekulární stavby různorodé vlastnosti, díky kterým nalézají značné využití nejen ve stavebnictví. V rámci chemického složení obsahují zejména atomy kyslíku, dusíku, uhlíku a vodíku. Základním a nejpřirozenějším zavedeným rozlišením je rozdělení na přírodní či syntetické látky. Největší rozvoj polymerních látek nastal na konci dvacátých let minulého století. Tehdy zcela nový a revoluční materiál, který vynikal především výbornými chemickými, fyzikálními a mechanickými vlastnostmi, začal postupně nahrazovat ostatní zavedené materiály. Dnes synteticky připravené polymery nacházejí využití napříč všemi odvětvími. Mezi zásadní materiály se polymery řadí zejména v oblasti strojírenství, elektrotechniky, dopravy, textilního spotřebního průmyslu, potravinářského a gumárenského průmyslu, zemědělství a samozřejmě také ve stavebnictví.

## 1.3 KATEGORIE POLYMERŮ

Polymery lze rozdělit podle několika hledisek, mezi základní dělení patří rozdělení polymerů na elastomery a plasty.

Elastomer vyniká zejména vysokou elasticitou, lze ho za běžných podmínek snadno a značně deformovat, a to bez porušení. Tato deformace je vratná. Mezi hlavní představitele elastomeru patří kaučuky.

Naopak plasty patří mezi tvrdé, často i křehké polymerní materiály. Při vyšších teplotách se stávají plastickými a tvarovatelnými. Plasty pak dělíme dle toho, zda je změna z plastického do tuhého stavu opakovaně vratná, nebo ne. V prvním případě, opakovaně změny, tuto skupinu nazýváme termoplasty. Probíhají-li však za zvýšené

teploty v materiálu chemické reakce, jedná se o změnu nevratnou a pak hovoříme o tzv. reaktoplastech (termosety, pryskyřice).

Polymery můžeme dále dělit i podle dalších kritérií, například podle původu, chemické reakce vedoucí k jejich přípravě, chemické příbuznosti, složení, molekulární struktury nebo podle uspořádání makromolekul apod.

### 1.3.1 Termoplasty

Termoplasty jsou definovány jako polymery, které se při zvýšené teplotě stávají plastickými a následně kapalnými, a tak je lze za zvýšených teplot přetvářet. Tento proces lze opakovat. Termoplasty mají jednoduchou molekulární strukturu zahrnující chemicky nezávislé makromolekuly, což má za následek absenci chemických reakcí při zahřívání a neměnnost jejich chemické struktury v průběhu zpracování. Po zahřátí změknou, při dosažení limitní teploty jsou roztaveny a následně tvarovány nebo formovány.

Značnou nevýhodou termoplastů je jejich náchylnost nízkým teplotám. Po zamrznutí se stávají sklovitými a podléhají lomu. Tyto vlastnosti, které propůjčují materiálu jeho název, jsou reverzibilní, takže materiál lze opakovaně ohřívat, tvarovat a zmrazovat, bez ztráty původních vlastností. Díky tomu jsou termoplasty mechanicky recyklovatelné. Mezi nejčastější typy termoplastů patří polypropylen, polyethylen, polyvinylchlorid, polystyren, polyethylenethereftalát a polykarbonát.[2][1]

### 1.3.2 Reaktoplasty

Pro použití jako polymerní pojivo ve stavebních hmotách využíváme nejčastěji reaktoplasty. Reaktoplasty jsou polymery tvořené nevratnou chemickou reakcí. Při této reakci se původní molekuly sesítují – jedná se o tzv. sesíťovaný stav. U těchto plastů po zahřátí, nebo po přidání vytvrzujícího prostředku dochází k chemické reakci a látky přecházejí do nerozpustného a netavitelného stavu. Reaktoplast je amorfním polymerem. Výrobky z reaktoplastů se vyznačují vysokou chemickou a tepelnou odolností, tvrdostí a tuhostí. U reaktoplastů se produkt v nevytvrzeném stavu obvykle nazývá pryskyřice, např. fenol formaldehydová pryskyřice (PF), epoxidová pryskyřice (EP), nenasycená polyesterová pryskyřice (UP) apod. [1]

## 1.4 VYBRANÁ POLYMERNÍ POJIVA

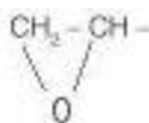
Pro účely této práce se bude dále pracovat zejména s následujícími kategoriemi reaktoplastů:

### 1.4.1 Epoxidová pryskyřice (EP)

Epoxidové pryskyřice (EP) jsou sloučeniny, které obsahují v molekule více než jednu epoxidovou skupinu. Tato skupina je velmi reaktivní, a právě díky její reaktivitě s velkým počtem látek vedoucí k zesíťování makromolekulárních produktů je nejvíce využívána ve stavebním průmyslu. Jednou z nejvýhodnějších vlastností EP je jejich nízké smrštění

během vytvrzování, které minimalizuje „protlačení“ textilie a vnitřní napětí. Mimo vysokou přilnavost a výborné mechanické vlastnosti je pozitivní vlastností epoxidů také schopnost izolovat elektrické napětí a dobrá chemická odolnost. EP nacházejí uplatnění jako lepidla, těsnící hmoty, odlévací hmoty, tmely, laky a barvy, stejně jako laminovací pryskyřice pro různé průmyslové aplikace. [2]

Termín „epoxy“ označuje chemickou skupinu sestávající z atomu kyslíku vázaného ke dvěma atomům uhlíku, které jsou již nějakým způsobem vázány. Nejjednodušší epoxid je tříčlenná prstencová struktura známá pod názvem „alfa-epoxy“ nebo „2,3-epoxypropylové“. Idealizovaná chemická struktura je připravená reakcí epichlorhydrinu a vhodnými sloučeninami.

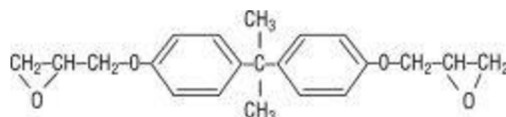


Obr. 1 Chemická struktura epoxidové skupiny [2]

Epoxidové pryskyřice obvykle vykazují charakteristické jantarové nebo hnědé zbarvení a mají řadu užitečných vlastností. Jak kapalná pryskyřice, tak vytvrzovací činidla tvoří snadno zpracovatelné systémy s nízkou viskozitou. Epoxidové pryskyřice se snadno a rychle vytvrzují při jakékoli teplotě od 5 ° C do 100 ° C, v závislosti na volbě vytvrzovacího činidla.

Epoxidové pryskyřice jsou tvořeny molekulární strukturou s dlouhým řetězcem podobnou vinylesteru s reaktivními místy na obou koncích. V epoxidové pryskyřici jsou však tato reaktivní místa tvořena epoxidovými skupinami místo esterovými skupinami. Nepřítomnost esterových skupin znamená, že epoxidová pryskyřice má zvláště dobrou odolnost vůči vodě. Epoxidová molekula také obsahuje ve svém středu dvě kruhové skupiny, které jsou schopny absorbovat mechanické i tepelné namáhání lépe než lineární skupiny, a proto dávají epoxidové pryskyřici velmi dobré tuhost, houževnatost a odolnost proti teplu.

Obrázek níže ukazuje idealizovanou chemickou strukturu typické epoxidové pryskyřice. Nejběžnějším typem epoxidových pryskyřic jsou produkty alkalické kondenzace dianu s epichlorhydrinem. Podle molárního poměru dianu k epichlorhydrinu se získávají pryskyřice s různou molekulovou hmotností. Při poměru 1:1 by teoreticky měla vzniknout jediná molekula, při poměru 1:2 nejmenší jednotka epoxidových pryskyřic, dian-bis.(glycidylether). Střední molární hmotnost vyráběných pryskyřic se pohybuje v rozmezí od 0,3 do 4 kg/mol<sup>1</sup>. [5]



Obr. 2 Chemická struktura Epoxidové skupiny [2]

Epoxidy se liší od polyesterových pryskyřic tím, že jsou vytvrzovány spíše „tvrdidlem“ než katalyzátorem. Tvrdidlo, často amin, se používá k vytvrzování epoxidů

„adičních reakcí“, kdy se oba materiály vyskytují při chemické reakci. Chemicky tato reakce znamená, že na každé aminové místo se obvykle vážou dvě oxidované skupiny. To vytváří komplexní trojrozměrnou molekulární strukturu.

Protože molekuly aminů „spolu reagují“ s epoxidovými molekulami ve stálém poměru, je nezbytné zajistit správný poměr směsi mezi pryskyřicí a tvrdidlem, aby bylo zajištěno, že proběhne úplná reakce. Pokud se tvrdidlo (amin) a základní pryskyřice (epoxid) nemísí ve správných poměrech, nezreagovaná pryskyřice nebo tvrdidlo zůstane v matrici, což po vytvrzení ovlivní konečné vlastnosti. Aby se napomohlo přesnému promíchání pryskyřice a tvrdidla, výrobci obvykle formulují složky tak, aby poskytovali jednoduchý poměr směřování, kterého lze snadno dosáhnout měřením podle hmotnosti nebo objemu. [4] [6] EP patří mezi nejpoužívanější polymer ve stavebnictví.

Vytvrzování epoxidových pryskyřic lze uskutečnit pomocí tří reakcí:

**Polyadice epoxidových skupin** zde jsou vhodné v podstatě všechny sloučeniny s pohyblivými vodíkovými atomy. Pro vznik zesíťovaného produktu je potřeba, aby měl použitý polyamin alespoň 3 aktivní atomy vodíku v molekule.

**Polykondenzace hydroxylových skupin.** Polymaniny jsou jednou z nejčastějších skupin tvrdidel EP. Pro reakci EP s anhydridy se na 1 epoxidovou skupinu počítá max. 1 molekula anhydritu dikarboxylátové kyseliny. Pro vytvrzování se používají anhydridy za normální teploty tuhé i kapalné, lze použít při různých teplotách a relativních vlhkostech.

**Polymerace epoxidových skupin.** Jako katalyzátory polymerační reakce na epoxidových skupinách přicházejí v úvahu terciární aminy. Spojení molekul epoxidové pryskyřice je přitom výhradně etheovýmimmůstky. Jako tvrdidla lze použít např. Benzykimethylamin ale s krátkou životností. Pro nátěrové hmoty je významné vytvrzování EP s jinými pryskyřicemi, obsahující zejména reaktivní alkomymethylové skupiny, jako jsou fenolformaldehydové, močovinoformaldehydové a melaimnformaldehydové pryskyřice. [2] [4]

## 1.4.2 Nenasycené polyesterová pryskyřice (UP)

Jeden typ zahrnuje polyesterové pryskyřice na bázi kyseliny tereftalové. Tyto pryskyřice mají větší pevnost v tahu a vyšší tepelnou vodivost. Teplotní deformace je nižší než u standardní polyesterové pryskyřice, ale vyžadují vyšší teploty zpracování, tlaky a doby cyklu, které zvyšují náklady. Další polyesterová pryskyřice je na bázi ortoftalové anhydrid a byla používána v Evropě. Tento typ pryskyřice se v současné době v aplikacích CIPP od roku 2007 nepoužívá.

Polyesterové pryskyřice na bázi bisfenol fumarátu nabízejí vynikající odolnost vůči žíravým a oxidačním prostředím, což z nich činí vynikající volbu pro kanalizační potrubí vyžadující vysoký stupeň chemické a teplotní odolnosti. Tento typ pryskyřice je však vysoce reaktivní a může trpět puchýřky v povlacích vložky nebo změnou barvy v vložce, která je vytváří nežádoucí vzhled. [5]

Polyester se připravuje reakcí diethylglykolu,  $\text{HO} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$  a nenasycené alifatické kyseliny, jako je kyselina maleinová,  $\text{HOOC} - \text{CH} = \text{CH} - \text{COOH}$ . Ještě nenasycená

polyesterová pryskyřice se pak rozpustí v nenasyceném reaktivním rozpouštědle, jako je styren nebo *a*-methylstyren.

Přidání styrenu v množství až 50 % pomáhá usnadnit manipulaci s pryskyřicí, a to snížením její viskozity. Styren také plní životně důležitou funkci umožňující pryskyřici vytvrzovat z kapaliny na pevnou látku „zasíťováním“ molekulárních řetězců polyesteru, aniž by došlo k vývoji jakýchkoli vedlejších produktů. Tyto pryskyřice lze proto formovat bez použití tlaku a nazývají se „kontaktní“ nebo „nízkotlaké“ pryskyřice. Polyesterové pryskyřice mají omezenou životnost, protože se usazují nebo „gelují“ samy po dlouhou dobu. Během výroby pryskyřice se často přidává malá množství inhibitoru, aby se tento gelující účinek zpomalil. [7]

Polyesterové pryskyřice mají velkou afinitu k plnidlům a vyztužením, přičemž náplň plniva je možná až 70 % (hm.). Plniva zahrnují uhličitán vápenatý a talek a organickou dřevní mouku. Polyesterové pryskyřice mohou být navíc natřeny a obarveny a mají vynikající odolnost proti povětrnostním vlivům. [8]

Nenasycené polyesterové pryskyřice mají největší využití při výrobě polymerbetonu, zde toto pojivo vykazuje vysoké mechanické pevnosti a zajišťuje tuhost a tvrdost konečné hmoty. Tato pryskyřice by se neměla používat při výrobě tlustostěnných prvků, mohou se zde po vytvrzení ukázat trhliny, a to z důvodu vyššího smršťování. [9] [10]

### 1.4.3 Vinylesterové pryskyřice (VE)

Vinylesterové pryskyřice se obvykle používají v místech, kde je potřebná dostatečná chemická a teplotní odolnost. Poskytují také lepší počáteční a strukturální vlastnosti, vyšší chemickou a teplotní odolnost než standardní polyesterové pryskyřice, používané pro metodu CIPP. Pryskyřice jsou styrenované, bisfenol A – rozšířené epoxidové polymery obsahující reaktivní methakrylátové koncové skupiny. Vinylesterové pryskyřice jsou podstatně dražší než standardní polyester pryskyřice. Méně používanou variantou vinylesterové pryskyřice je urethanem modifikovaná vinylesterová pryskyřice. [11]

Vinylestery mají podobné mechanické vlastnosti jako epoxidové pryskyřice a ekvivalentní techniky zpracování jako u nenasycených polyesterů. Vinylestery jsou odolné vůči silným kyselinám a zásadám, ačkoliv samotné esterové skupiny jsou náchylné na bazické prostředí. Vinylester pohlcuje UV záření a podléhá UV degradaci.

Vinylestery vznikají esterifikací epoxidové skupiny kyselinou akrylovou. Při této reakci je kladen zvláštní důraz na dodržování reakční teploty směsi z důvodu nutnosti esterifikace pouze konců epoxidových oligomerů čili oxiranových kruhů. Při nedodržení této teploty může dojít k esterifikaci vnitřních hydroxylových skupin. To by vedlo k vyššímu obsahu nenasycených vazeb a tím i k vyššímu zesíťování vytvrzené matrice. Toto zesíťování by vedlo k znehodnocení mechanických vlastností. Při boční reakci by VE obsahoval, kromě dvojných vazeb, také více esterových skupin, což by vedlo k úpadku chemické odolnosti. [11] [12]



#### 1.4.4 Epoxyvinylesterové pryskyřice

Tento typ pryskyřic byl vyvinut v 60. letech 20. století. Tyto pryskyřice, které jsou obvykle označovány jako „vinylester“, kombinují část houževnatosti a chemické odolnosti epoxidů se snadnější zpracovatelností styrenových termosetových pryskyřic, jako jsou nenasycené polyestery.

Tento typ pryskyřic se vyrábí reakcí epoxidové pryskyřice s kyselinou metakrylovou. Při reakci dojde k ukončení jejich molekul reaktivní nenasycené esterové skupiny a poté je rozpustí ve styrenu. Právě díky tomuto lze vytvrzenou pryskyřici považovat za epoxidovou pryskyřici sesíťovanou polystyrenovými sekvencemi. Tímto je proces vytvrzování změněn z dvoustupňového epoxidového procesu na jednostupňovou polymeraci volných radikálů, podobnou, která se používá u polyesterů. To znamená, že vedle každé esterové vazby je velká methylová skupina. Tato skupina zabírá hodně prostoru a stericky brání každému molekuly přístup k esterové skupině tím, že brání jejich přístupu. Právě díky spojení pevnému spojení molekul jsou chemicky odolnější než polyestery.

Přidání styrenu umožňuje snížení viskozity na 100–500 mPa při pokojové teplotě. Protože pryskyřice nevyžaduje významné množství aminu (tvrdidla), je jeho chemická odolnost výrazně lepší.

Vinylestery jsou tvrdší a chemicky odolnější než nenasycené polyestery (UP), jsou však také ekonomicky méně přívětivé. Existuje několik variant vinylesteru, například halogenovaná pryskyřice, která vykazuje lepší odolnost proti ohni, anebo epoxidové novolaky, které mají jednu z nejvyšších chemických odolností pro aplikace vyžadující vysokou teplotní odolnost. [13]

## 2 PLNIVA

Funkční plniva rozšiřují spektrum vlastností, a především snižují ekonomickou náročnost výsledného kompozitu. Snadno se začleňují do plastů a nabízejí nesčetné možnosti vylepšení a diferenciací produktů. Plniva hrají zásadní roli při optimalizaci zpracovatelnosti, jakož i při mechanických, tepelných, optických, elektrických a dalších vlastnostech. Plniva jsou extrémně různorodá skupina zahrnující minerály, kovy, keramiku, biologickou bázi (např. rostlinné hmoty), plyny, kapaliny a další polymery. Jakýkoli částicový materiál přidaný do plastu se bude chovat jako plnivo a mění vlastnosti výsledného produktu. [8]

Vlastnosti kompozitu tedy významně ovlivňuje výběr plniva. Například k přípravě vodivých materiálů musí být pro dosažení požadovaných vlastností použity speciální plniva. Také způsob zpracování kompozitu ukládá určitá omezení pro výběr a úpravu plniva před jeho použitím. Například polymery zpracovávané při vysoké teplotě vyžadují plniva, která neobsahují vlhkost. To platí také pro polymery, které reagují s vlhkostí (např. metakryláty, polyuretany apod.). [1]

### 2.1 POŽADAVKY NA VLASTNOSTI PLNIV

Důležité vlastnosti plniv je jejich chemické složení a jejich vliv na následnou viskozitu směsi. První z jmenovaných určuje sílu interakce s neošetřeným plnivem, zatímco druhý ovlivňuje zpracování během homogenizace. Rozsah agregace a také nejmenší velikost částic, které mohou být použity v polymeru, jsou určující pro adhezi a následné působení smykových sil v materiálu během homogenizace.

Mechanické vlastnosti matrice polymeru silně ovlivňují mikromechanické deformační procesy probíhající pod vlivem vnějšího zatížení. Velká napětí, která vznikají v tuhé matici, převádějí napětí a sílu do plniva.

V měkčím polymeru (např. polyethylenu s nízkou hustotou) má zavedení stejného plniva za následek skutečné vyztužení. Mez kluzu a pevnost se zvyšuje s nárůstem množstvím plniva.

Charakteristika kompozitů je zásadně ovlivněna užitým plnivem. Chemické složení a čistota ovlivňuje barvu a barevnou stálost. Mechanické vlastnosti a zpracovatelnost jsou určovány hlavně velikostí, distribucí, specifickým měrným povrchem a tvarem částic.

Měrná povrchová plocha určuje kontaktní povrch mezi plnivem a polymerem, a tedy množstvím vytvořené mezifáze. [14]

### 2.2 ROZDĚLENÍ PLNIV

#### 2.2.1 Základní rozdělení plniv

Plniva můžeme rozdělit dle několika parametrů, obecně na organická a anorganická. Dále pak, u anorganických plniv, dle jejich původu na přírodní a umělá.

Přírodní plniva jsou nejčastěji získána těžbou a následně opracována. Jako přírodní anorganické plnivo se používají převážně minerální materiály – žula, křemenec, živec, čedič, křemičitý písek, mastek, azbest, kaolin, křída, křemen, kalcit apod.

Využití přírodních organických materiálů vyvolává obavy, ale vzhledem ke skutečnosti, že dřevěná moučka byla jedním z prvních plniv používaných v moderních polymerech nejsou tyto obavy validní. Dnes se používají zejména dřevěné recykláty, které mají schopnost stejně jako anorganické materiály zlepšit vlastnosti kompozitu.

Primární plniva, která spadají do kategorie uměle vytvořených, jsou obvykle vyráběna průmyslovými procesy. Existují četné příklady povrchových úprav, které mění vlastnosti těchto plniv. Moderní technologie dávají v současnosti možnosti sofistikované výroby nanovláken, která stejně jako ostatní plniva umožňují modulovat výsledné vlastnosti navrženého materiálu za jeho současné hranice.

Druhotná plniva jsou zbytkové suroviny z různých provozů, nejčastěji z průmyslové nebo energetické výroby, zemědělství apod. Poté co projdou tyto materiály čištěním a další nebytnou úpravou, lze je považovat za plnohodnotná plniva, která mají navíc ekonomický i ekologický benefit. [7]

### **2.2.1 Vliv tvaru plniva**

Samotný tvar plniva je velmi důležitý, můžeme ho tedy rozdělit na částicové plnivo – to je v podobě prášku nebo částic malých rozměrů (kuličky), anebo jako vlákna různé délky. Vzhledem k účinkům na mechanické vlastnosti polymeru mají buď vyztužující, nebo nevyztužující charakter. [15]

Částice jsou nejvíce používaná plniva právě v polymerním průmyslu, protože jejich obsah v matici může být až 70 %. Částicové plnivo slouží také jako zesílení ve smyslu zvýšení modulu a v některých případech také pevnosti polymerní matrice, ke které je přidáno. Mezi běžně užívané materiály zejména za účelem snížení ceny finálního produktu jsou zejména moučka ze skla, kaolínu, břidlice, křída a další levné materiály.

Částicová plniva mají různorodé geometrické uspořádání – některé mají velmi nepravidelné tvary, zatímco u jiných převládá plošný či podélný rozměr. Průměrná velikost částic se pohybuje od 5 do 100 nm.

Jiný typ částicově zesílených polymerních kompozitů využívá jako výztuž nanočástice. Tyto částice mají vrstvenou strukturu o tloušťce blízké 1 nm, boční rozměry mohou být vyšší než 200 nm. Přidání malého procenta těchto nanočástic může způsobit velmi významné zvýšení modulu a pevnosti polymerní matrice. [15]

## **2.3 VLASTNOSTI PLNIV PRO POLYMERNÍ KOMPOZITY**

### **2.3.1 Tvar a velikost**

Tvar a velikost částic jsou základní parametry, které určují, jak jsou částice zakomponované v matrici. Rozptyl velikostí je důležitý pro celkové vlastnosti kompozitu, jelikož výrazně ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti. Kromě velikosti je určující i tvar. Například plniva kulového tvaru dávají materiálu nejvyšší hustotu, rovnoměrné rozložení napětí a nižší viskozitu nežli materiály jiných tvarů. [16]

### **2.3.2 Smáčivost**

Pro snížení lepivosti se používá mastek a křída. Tyto zajišťují také hladký povrch vytlačovaného profilu. Podobně jako mastek se při vstřikování používá hydroxid hlinitý. Grafit a jiná plniva snižují součinitel tření materiálu. PTFE a grafit zajišťují samomazní účinky. [17]

### **2.3.3 Životnost**

Trvanlivost polymerního materiálu můžeme ovlivnit mimo jiné volbou plniva. Především tepelná degradace může být omezena nebo umocněna přítomností určitých plniv. Proti účinkům biokoroze chrání kompozit jako plnivo například boritany a montmorillonit. [16]

### **2.3.4 Chemická odolnost**

Chemicky odolná pojiva přispívají ke zlepšení chemické odolnosti celého kompozitu. Plniva se mohou využít i k ovlivnění chemických reakcí. Totéž platí pro rychlost vulkanizace. Některá plniva jsou také schopna modifikovat hořlavost materiálu.

### **2.3.5 Specifická hmotnost**

Specifická hmotnost plniva musí být vyšší než specifická hmotnost pojivové báze a zároveň nesmí být významně vyšší. Specifická hmotnost pojivových bází, do kterých je plnivo určeno je cca 1,0–1,2 g/cm<sup>3</sup>. Je tedy nezbytné, aby plnivo nemělo specifickou hmotnost nižší než 1,3 g/cm<sup>3</sup>. V případě, že by specifická hmotnost plniva klesla pod 1,3 g/cm<sup>3</sup>, došlo by k vyplavování plniva na hladinu pojivové báze, což je nežádoucí. Specifická hmotnost by neměla překročit hodnotu 4,0 g/cm<sup>3</sup>. V případě plnění pojivové báze epoxidového systému korundem, který má specifickou hmotnost 4,0–4,1 g/cm<sup>3</sup> můžeme pozorovat zvýšenou tendenci sedimentace, která výrazně zkracuje skladovatelnost výsledného produktu. [18]

## **2.4 PLNIVA NA BÁZI DRUHOTNÝCH SUROVIN**

Ve své práci se budu zabývat také využitím druhotných surovin z energetického průmyslu a vedlejšími produkty průmyslové výroby.

### 2.4.1 Obecné požadavky

Obecné požadavky na druhotná plniva lze obecně shrnout do několika bodů. Je třeba vybírat plniva tak, aby jejich následná úprava nebyla ekonomicky náročná. Naším cílem je co nejmenší potřeba úpravy (čištění, třídění a podobně). Dalším rozhodujícím kritériem je adheze epoxidového systému na povrchu částice plniva (adheze limituje následné vlastnosti výsledného kompozitu). Výběr plniva nám následně ovlivní i mechanické a fyzikální parametry kompozitu s čímž je nutné při výběru plniva počítat.

Při volbě druhotných surovin je kladen důraz na dostupnost a využitelnost plniva. Také je nutno z ekonomického hlediska zohlednit výhledovou dostupnost zvolené suroviny. Kvalita plniva je jedním ze základních kritérií výběru. Kvalitou je myšlen zejména poměr příměsí vůči hlavní složce plniva, jeho vlhkost, obsažené toxické látky, těžké kovy atd. Velmi důležitá je také chemická stabilita, plnivo musí být inertní vůči matrici polymeru. S měnící se kvalitou surovin přímo souvisí i kvalita výsledné polymerní hmoty. [19]

### 2.4.2 Odpady z energetického průmyslu

Spalováním energetických surovin – nerostů, jako je rašelina, lignit, hnědé uhlí, černé uhlí a antracit, za účelem získávání energií (tepelné, elektrické), vzniká značné množství odpadů. Průmysl energetiky je jedním z největších producentů odpadů. Tepelné elektrárny, teplárny a kotelny produkují tuhé odpady, které přímo souvisejí s tepelným procesem nebo s čištěním spalin. Jedná se o: popílek z elektrostatických odlučovačů, škváru a strusku ze spalování uhlí, které spolu s popílkem tvoří popel, energosádrovec, což je produkt mokré vápencové vypírky spalin, produkt spalování uhlí ve fluidních kotlích s odsířením, produkt polosuché metody odsíření kouřových spalin a produkt suché aditivní metody odsíření.

## 2.5 POUŽÍVANÁ PLNIVA PRO METODU CIPP

Plniva mohou být použita v pryskyřici (zejména ve vložkách s větším průměrem) ke zvýšení modulu pružnosti v ohybu vytvrzené vložky, která zase snižuje požadovanou tloušťku vložky – šetří materiál a náklady. Plniva také zlepšují vlastnosti přenosu tepla pryskyřice. Plnivem je obvykle trihydrát aluminu (ATH) nebo také mastek.



Obr. 3 a) detail trihydrátu hliníku [21]



b) detail mastku [20]

Obecně je přídavek plniva výhodný i pro následnou aplikaci, vhodné složení zajišťuje dostatečnou adhezi rukávce k povrchu. Mezi další aditiva, která se ukázala jako prospěšná, patří povrchově aktivní látky, které dělají pryskyřici kluzkou a usnadňují tak zvlhčení rukávce. Mezi další oblíbená plniva patří například mastek nebo jiná levnější plniva, ale po vytvrzení si zachovávají většinu fyzikálních vlastností materiálu. Ve specifickém kanalizačním prostředí je potřeba vybírat plniva obzvláště pečlivě. V závislosti na tom, co je vypuštěno do kanalizace, mají některé naplněné pryskyřice krátkou živostnost. Obecně je nutné pro tuto CIPP metodu veškerá plniva mít do 800  $\mu\text{m}$ , z důvodu vhodného nasáknutí do textilního rukávce. [22]

### 2.5.1 Vápenec

Použitelnost vápence převyšuje použití jakéhokoli jiného plniva do CIPP. Tento minerál existuje ve třech krystalických modifikacích (kalcit, aragonit, vaterit), ale pouze kalcit má praktický význam. Najdete ho ve velkém množství po celém světě, ačkoliv se minerály těžené a různých místech výrazně liší v čistotě, velikosti krystalů a původu. Právě tyto vlastnosti jsou rozhodujícím faktorem pro kvalitu plniva.  $\text{CaCO}_3$  se také připravuje syntetickými cestami, avšak cena vysráženého  $\text{CaCO}_3$  je výrazně vyšší než cena mletého minerálu, takže jej lze použít pouze ve specifických aplikacích.

Vápenecem se označují takové horniny, které obsahují nad 50 % uhličitanu vápenatého v modifikaci kalcitu a v menší míře aragonitu. Pokud je hornina složená z více složek, tak vápenecem je hornina obsahující nad 50 % kalcitu a dolomitu, ve které kalcit s aragonitem převažuje nad dolomitem. [23]

### 2.5.2 Silikátová plniva

Silikáty jsou sloučeniny oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ). Mezi nejčastější přírodní silikáty patří živce, slídy, granáty, amfiboly a pyroxeny. V přírodě je nalezneme jako součásti hornin. Křemičitany jsou charakteristické složitostí své skladby a struktury. Z optického hlediska mají nekovový vzhled, jsou zbarvené, v tenkých lupíncích průhledné. Přírodní silikáty pochází z magmatu, z horkých roztoků nebo zvětráváním jiných křemičitanů například kaolinitu.

Křemičitany mají nízký koeficient tepelné roztažnosti a vysokou tuhost (zvyšuje modul pružnosti). Většinou jsou lehké, tvrdé a těžko tavitelné. V kyselinách se rozkládají málo nebo vůbec. Jejich chemická odolnost a životnost jsou pravděpodobně hlavní důvody jejich používání. V polymerních systémech se používají nejen přírodní, ale i syntetické částice oxidu křemičitého. Posilují mechanické vlastnosti a zvyšují odolnost proti opotřebení kompozitních materiálů. Urychlují krystalizační rychlost a snižují aktivační energii krystalizace. [24]

Křemenná moučka tedy pomletý křemenný písek patří mezi používaná plniva, hned po vápenci, pro metodu bezvýkopové technologie CIPP.

### 2.5.3 Sklo

Sklo je homogenní, amorfní a izotropní látka. Patří k významným silikátovým a stavebním hmotám, jehož používání se stále rozšiřuje. Sklo je anorganický produkt tavení, který je z taveniny ochlazen na pevnou hmotu bez krystalizace. Můžeme jím označit všechny látky, které jsou v amorfním stavu, mají vysokou viskozitu, tuhost, tvrdost, pevnost a propouští světlo v části viditelného spektra. Mezi další vlastností skla řadíme voděodolnost, nepropustnost, výbornou odolnost proti chemickým látkám a povětrnostním vlivům, malou tepelnou a elektrickou vodivost. Struktura skla je neuspořádaná, resp. uspořádaná jen na velmi krátkou vzdálenost, protože při skleném přechodu se struktura nestačí uspořádat a „zamrzne“ ve stavu přechlazené kapaliny. Při stejných množstvích zaujímá sklo větší objem než krystalická látka, protože neuspořádaná struktura větší objem než uspořádaná. [5] [1]

Další modifikací skleněného plniva jsou duté skleněné kuličky, které zpevňují polymerní matici a zejména podstatně snižují hustotu kompozitu. Hustota se pohybuje okolo  $0,6 \text{ g/cm}^3$ , je tedy mnohem nižší než při užití standardních plniv. Optimální množství plniva v polymeru je cca. 30 % výsledného objemu, což má za následek nižší hustotu než při využití jiných materiálů při relativním zachování vlastností. Obvykle se v polymerních kompozitech používá velikost částic kolem 16–30  $\mu\text{m}$  v průměru.

Kromě skleněných kuliček se sklo používá také ve formě malého podílu částicového plniva, a to pro zajištění užitečných vlastností a zlepšení ekonomické dostupnosti. Skleněná moučka je relativně levná, ekologicky šetrné plnivo vyrobené z drceného recyklovaného skla. Kvůli nepravidelnému poměr stran částic skla je ovlivněna kvalita a konzistence recyklovaného výchozího. [25]

### 2.5.4 Mastek

Dalším běžně používaným (a stále důležitějším) plnivem je mastkem. Přírodně se vyskytuje jako hydratovaný křemičitan hořečnatý ( $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ). Mastek je relativně měkký a kluzký, má podobné vlastnosti jako uhličitan vápenatý a v polymerní matici snižuje rázovou houževnatost. Jeho mechanické účinky jsou umocněny jeho vysokým poměrem stran talířových částic. Mastek se obvykle používá až do 50 % plnění s velikostí částic až 1100  $\mu\text{m}$ . Obecně hrubé mastky používané např. v kompozitech ze dřeva a plastu mají velikost částic větší než 5  $\mu\text{m}$ , zatímco „jemné“ mastky mají průměrnou velikost částic mezi 2 a 4 mikrony. [4]

### 2.5.5 Nanopliva

Plniva o velikostech  $10^{-9}$  m a méně jsou částice volně seskupené pod pojmem nanopliva, která jsou rozptýlena do polymerní matrice. Tyto materiály v průběhu let upoutaly velkou pozornost a rozmohlo se jejich použití. Nanofillery byly zpočátku jen kapitolou pro polymerní plniva. Vzhledem k úplně novým kombinacím vlastností, které poskytují v nanokompozitech, jsou nanovlákná odlišná, a proto důležitá kategorie materiálů sama o sobě. Nanovlákná jsou funkční zesílení, které zlepšuje vlastnosti i při nízkém zatížení. Optimálním výsledkem jejich vývoje by mohly být nanokompozitní pryskyřičné systémy

snadno zpracovatelné pomocí běžných míchacích, vytlačovacích a formovacích zařízení. [26]

## 2.6 VLIVY PROSTŘEDÍ

Jedním ze základních nároků, který je kladen na sanační materiály je jejich soudržnost s původním materiálem podkladu a jejich odolnost, která by měla být stejná, či obvykle také vyšší, než je tomu u materiálu původního. Na sanační materiál pro metodu CIPP působí stejně jako na opravovaný materiál nejrůznější okolní vlivy. Jedná o vlivy korozivní, obecně agresivní činitele.

### 2.6.1 Chemické namáhání

- **Sírany**

Vyskytují se ve vzduchu, často v místech, kde je chemický nebo papírenský průmysl. Poté se dostanou, díky kyselým dešťům i do podzemní vody. Dochází tak ke vzniku síranu vápenatého nebo i síranu hořečnatého, který se během reakce uvolní do vody a vznikají tak vody obohacené o agresivní sírany. Běžná koncentrace  $\text{SO}_2$  v přírodním prostředí nepřesahuje 0,01 mg  $\text{SO}_2$  v 1 m<sup>3</sup>.

- **Chloridy**

Chloridy se mohou vyskytovat v přírodních vodách, ale i ve vodách průmyslových. Největším zdrojem chloridů v přírodních vodách jsou vody mořské. Ve vnitrozemských státech se chloridy vyskytují především ve vodách zasažených průmyslovou činností. [27]

- **Oxidy uhlíku**

Koncentrace oxidu uhličitého se běžně pohybuje průměrně okolo 0,042 % v zemské atmosféře. V ovzduší kolísá v závislosti na místních podmínkách a na výšce nad povrchem a relativní vlhkosti vzduchu v ovzduší. Koncentrace během posledních let stále roste, a to zejména kvůli značnému rozvoji průmyslového odvětví. Lokálně velmi vysoká koncentrace je v místech jeho výronu ze země ve vulkanicky aktivních oblastech a v některých přírodních minerálních vodách. Působení  $\text{CO}_2$  způsobuje například karbonataci betonu. [27]

### 2.6.2 Mechanické a fyzikální namáhání

Mechanickým namáháním, myslíme odolnost materiálu vůči vnějším mechanickým vlivům. Patří k nim jak zatížení od vlastní konstrukce, užité zatížení, nebo zatížení nahodilé. Ale i zatížení klimatická, vznikající například cyklickými změnami teplot.

Mechanické zatížení má vliv například na pevnost, pružnost, trvanlivost, ale také například odolnost vůči obrusu. Obrusnost je definována jako trvanlivost materiálu proti dlouhodobému působení tangenciálních sil na povrchu, které vytváří třecí média.

Cyklické změny teplot mohou mít vliv zejména na roztažnost materiálu, rozhodující vlastností materiálu je součinitel teplotní roztažnosti. Objemové změny způsobené

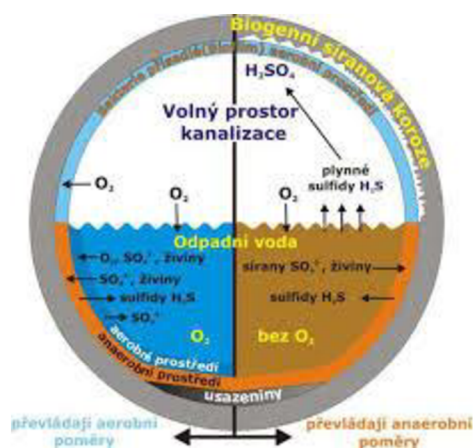


přílišným mrazem, nebo naopak vysokými teplotami mohou být příčinou vzniku trhlin, případně mohou být generována napětí ve styku správkové hmoty s podkladem.

Působení UV záření, především na sluncem exponovaných místech může způsobit jak změny ve struktuře materiálu, tak i změny v barevnosti. Vůči působení UV záření mohou být citlivé hlavně některé polymerní materiály.

## 2.7 SPECIFICKÉ PROSTŘEDÍ KANALIZACE

Specifickou kategorií je zatížení v prostředí kanalizačních objektů, kterým se chci ve své práci věnovat.



Obr. 4 Biogenní síranová koroze v betonové kanalizaci [29]

zvýšených průtocích dochází k erozi těchto sedimentů.

V komunální odpadní vodě se přeměňují sírany, pomocí bakterií a jejich látkové výměny na sulfan. Tento proces se děje převážně v biofilmech a sedimentech za anaerobních podmínek v ponořené části kanalizace. Sulfan z vody snadno uniká, převážně v místech turbulentního proudění, kde dochází k rozstříkávání vody do okolního vzduchu. Těkavý sulfan je těžší než vzduch a akumuluje se ve volném prostoru kanalizace, kde je pomalu unášen proudem odpadní vody v gravitačních stokách. Sulfan se kvůli rozdílu hustot akumuluje v prostorech, kde neproudí vzduch. Sedimenty se v potrubí usazují při snížených průtocích v bezdeštných obdobích na místech, kde dochází ke změně směru nebo sklonu potrubí. Při

Sloučeniny síry v odpadní vodě s malým přístupem kyslíku nedostatečně rychle oxidují. Sulfan v plynném stavu difunduje do filmu, který se vyskytuje na vlhké a neomočené části stěny kanalizačního profilu. Na povrchu poté dochází k biochemické oxidaci chemotrofními bakteriemi rodu Thiobacillus a Thiobacterium na kyselinu sírovou. Koroze probíhá reakcí kyseliny sírové s cementovým materiálem. V první fázi dochází k tvorbě sádky, která dále udržuje vlhkost v profilu. Dalším produktem reakce kyseliny sírové a betonu je ettringit, který proniká dále do betonu a expanduje, čímž vytváří praskliny. To zajistí větší plochu pro chemickou reakci a další pronikání kyseliny do betonu. Kvůli přeměně betonu na zmíněný sádrovec a ettringit se zhoršují mechanické vlastnosti betonu a tím může dojít k destrukci profilu kanalizace. Za ideálních podmínek pro vznik kyseliny sírové může být její koncentrace až 23 %. Při běžných podmínkách s teplotou, která se pohybuje od 10 °C do 20 °C s koncentrací kyseliny sírové kolem 8 %.[28]

## **3 SANACE INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ**

Tato část práce obsahuje obecné informace týkající se samotného provádění sanací.

### **3.1 DEFINICE SANACE**

Pojem sanace lze přeložit z latiny jako sanare = uzdravit, napravit. Sanaci můžeme obecně definovat jako činnost, která znamená přijetí opatření k nápravě škod způsobených lidskou (v širším chápání i přirozenou) činností na krajině nebo majetku. Sanace stavebních konstrukcí, konkrétně konstrukcí betonových, je chápána jako obecný proces ochrany a opravy konstrukčního prvku či uceleného stavebního řešení. Za zcela zásadní cíle procesu sanace je nutno pokládat především zpomalení degradace betonu a zamezení koroze ocelové výztuže v betonových konstrukcích. Neméně důležitými aspekty renovace konstrukcí je obnova projektovaných rozměrů, mechanických a estetických vlastností. Důsledkem snahy dodržet všechna výše uvedená kritéria může být lepší ekonomické řešení než v případě staveb zcela nových. Nutno také uvažovat a konzultovat s odborníky z praxe možnosti provádění navrženého postupu v daných podmínkách prostředí a přizpůsobit tomu návrh celého procesu. Důraz je kladen na hospodárnost procesu sanace a ekonomickou dostupnost sanačních hmot.

#### **3.1.1 Členení jednotlivých typů sanace**

Samotná sanace podléhá řadě faktorů, ať už různým fázím nebo daným podmínkám, díky nimž může být oprava více či méně úspěšná. Obecně platí, že proces ovlivňuje mnoho faktorů, mezi které zohledňujeme faktory mechanické, ekonomické, funkční, environmentální, politické, sociální a kulturní.

Sanace betonových konstrukcí dělíme do čtyř základních skupin, každá z nich vykazuje jiné požadavky a jiné postupy, které budou následně kladeny na opravu.

Každou betonovou konstrukci, je potřeba pravidelně kontrolovat a preventivně ošetřovat i v případě že je konstrukce zatím vyhovující, a není korozně poškozená. Chceme v předstihu zamezit možným opravám a snížit tak co nejméně náklady. Cílem je realkalizace okolí vyztužených prutů nebo jejich katodickou ochrana. K pravidelným zásahům patří například obnova barevného řešení, kdy nám nově aplikovaný nátěr zajišťuje nejen estetický vzhled, ale především nám obnovuje a prodlužuje životnost konstrukce.

Jestliže se konstrukce nachází již v korozním stavu, ale koroze ještě neovlivňuje její statiku, tak je našim primárním cílem zastavení pokračování koroze. Následně můžeme obnovit i estetický vzhled, který je ale v tomto případě vedlejší. Obecně lze použít přímou antikorozi ochranu vyztužených prutů, vytvořením dostatečně účinné bariéry mezi prutem a povrchem konstrukce.

Jestliže nám konstrukce nevyhovuje staticky, většinou v důsledku korozních procesů je nutné tento objekt nejprve staticky zabezpečit. Můžeme přidat novou výztuž. Přidání nové výztuže je poslední kategorie sanace a připadá v úvahu, jestliže daný objekt změní užité parametry – zvětšení užitého zatížení apod.

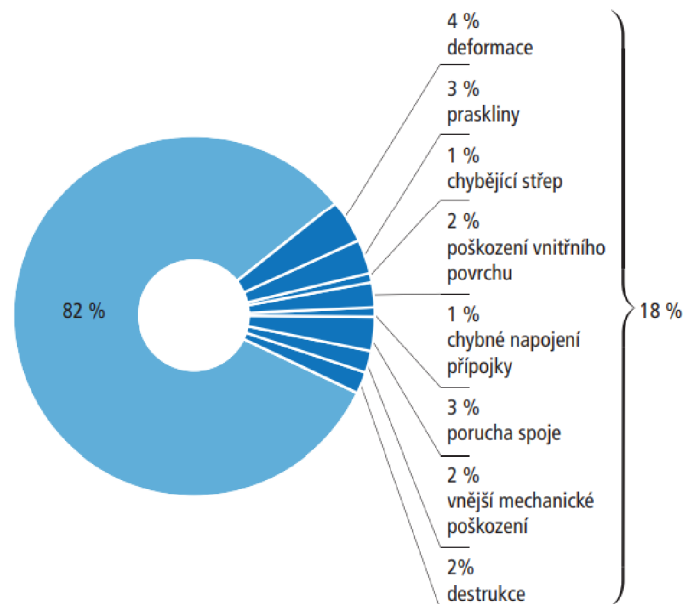
K zajištění maximální trvanlivosti sanačního zásahu je potřeba zaměřit se na mrazuvzdornost, vodotěsnost, stálost, pevnost, pružnost a chemickou odolnost sanačního systému. Prioritním cílem sanace betonové konstrukce je zpomalit korozní procesy probíhající na povrchu výztuže nebo vzniku těchto procesů předem zabránit. [30]

### 3.1.2 Specifické poruchy kanalizačních stok

Prostředí kanalizačních stok je vystaveno nejen chemicky agresivnímu prostředí, ale zejména působí mechanických a dalších vnějších vlivů. V řadě případů je chemické namáhání způsobeno právě mechanickým poškozením, průtočného profilu. A to jak lokálně, tak i v delším úseku.

Tyto poruchy lze rozdělit do několika základních skupin dle TNV 75 6925 (756925). Obsluha a údržba stok a ČSN EN 13508-2 [32] [33].

- netěsnost,
- překážky průtoku,
- odchylky polohy,
- mechanické opotřebení,
- koroze,
- trhliny,
- prolomení trouby,
- zřícení, zborcení trouby.



Obr. 5 Koláčový graf příčin poruch [31]

Mezi časté příčiny patří tvoření překážek průtoku a totálních ucpávek na stokových sítích. Například špatným navrtáním přípojky může dojít k jejímu zásahu do průtočného profilu potrubí a následně k akumulaci nečistot. Velký vliv lidského faktoru při pokládce poddajných trub, zejména při pokládce trub nižších kruhových tuhostí, je v současnosti hlavním rizikem vzniku nepřipustných deformací. Logickým důsledkem této skutečnosti jsou tendence používat trouby vyšších kruhových tuhostí a předepisovat poměrně nízké přípustné hodnoty trvalé deformace. [31]

## 4 SANACE INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ

Jestliže máme podezření na poruchu stokové sítě, je potřeba provést vyčistění potrubí a následně jej prozkoumat speciální kamerou. Kamerová zkouška patří mezi nejjednodušší metody detekce závady, protože může včas odhalit počínající poruchu. Metoda hodnocení stavu stokové sítě se řídí ČSN EN 13508-2 a zakládá se na metodě FMEA (Failure Modes Effects and Analysis). [31] [32]

Postup sanace závisí především na rozsahu závad a na hloubce založení poškozeného profilu. Obecně můžeme tvrdit, že jestli se jedná o poruchu lokální a nejedná se o místo zatížené infrastrukturou, lze využít výkopové metody. V případě, že výkopová metoda není ekonomicky či provozně reálná, zvolíme sanaci s využitím moderních bezvýkopových metod, jenž z pravidla využívají součinnost robota.

Kanalizační robot KAWO (Bezvýkopová inverzní technologie pro sanaci kanalizačních sběračů od firmy Wombat) je používán pro odstranění poruch v trubní síti a to např. při odstranění přesazených přípojek, odfrézování betonových nálitků či ztvrdlých sedimentů, vrstlých kořenů, zatěsnění trhlin a prasklin, a vyplnění vypadlých střepeů v potrubí. Po osazení vystýlky KAWO se kanalizační robot používá na zprůchodnění zaslepené kanalizační přípojky. Kanalizační robot pracuje s nástavci pro frézování vyčnívajících částí v potrubí, špachtlování a vyplňování porušených míst v potrubí.

Tab. 1 Výhody, nevýhody a situace vhodné k použití jednotlivých metod [34]

Výhody	Nevýhody	Použití
Vyložkování jednotlivými trubami		
Není potřeba žádné speciální vybavení. Sanace použití chemikálií. Zmenšení profilu.	Zmenšení vnitřního průměru. Potřeba stavebních jam. Delší doba provádění. Finanční náročnost. Nelze sanovat složitá potrubí (ostré změny směru).	Přípojky o velkém DN. Rovná potrubí. Potřeba zmenšení kapacity.
CIPP trubky		
Bezvýkopová metoda (potřeba čistících kusů). Dlouhodobé účinky sanace. Strukturální sanace. Sanace napojení na hlavní řad. Vylepšení průtokových charakteristik potrubí.	Je potřeba přístup na soukromé pozemky. Lze obtížně sanovat složitá potrubí (mnoho ohybů, změn DN).	Dlouhé přípojky. Hluboké přípojky. Potřeba strukturální sanace. Potřeba dlouhodobého účinku.
Oprava injektáží utěšňovacím materiálem		
Není potřeba stavebních jam. Sanuje jen v místě potřeby. Minimální vliv průběhu stavby na okolí. Není potřeba přístup na soukromé pozemky. Finanční nenáročnost.	Žádné zesílení struktury šachty. Někdy nelze realizovat (nadměrné množství tmelů). Použité chemikálie vyžadují bezpečnostní opatření.	Průsaky na potrubích s vyhovující strukturální pevností. Hladina podzemní vody v okolí potrubí je v průběhu roku stabilní. V případě potřeby rychlé a levné sanace.

Mnohem častěji využíváme sanaci bezvýkopovou (například CIPP), a to právě proto že není tolik invazivní, tedy při rozsáhlé sanaci nedochází k omezení infrastruktury. Z tohoto důvodu se zejména v posledních letech začíná značně rozvíjet obor bezvýkopových metod. Těmito metodami lze odstranit prakticky veškeré výše uvedené závady, a to i v případech, že je poškozena statika jednotlivých trub.

## 4.1 BEZVÝKOPOVÉ TECHNOLOGIE

Některé z těchto bezvýkopových technologií sanace se výrazně liší použitelností na základě různých aspektů stavu sanovaných potrubí. Typ bezvýkopové metody volíme na základě:

- potřebného rozsahu čištění (např. vysoká úroveň čištění vyžadovaná pro nástřikové nátěry a systémy s těsnícím obložím; nízká úroveň potřebná pro prasknutí potrubí.),
- citlivost metody na změny vnitřního průměru potrubí.

Technologie se také zásadně volí dle požadavků na potřebnou dobu provádění, a tedy možné době odstávky sanovaného profilu z běžné funkce stokové sítě. Toto je předmětem výpočtů možností akumulace odpadních vod ve stokové síti nad sanovaným profilem, či přemostění daného úseku.

Význam tohoto požadavku se zvyšuje se zvětšujícím se průměrem sanovaného profilu potrubí, které s sebou nese také větší průtoky odpadních vod a nutnost pro jejich plynulejší převádění. CIPP se řadí mezi další bezvýkopové technologie jako jsou například, navíjené pásy, injektážní malty, zatahovaná potrubí, panelové sanace, nástřiky a chemická injektáž. [35] [34]

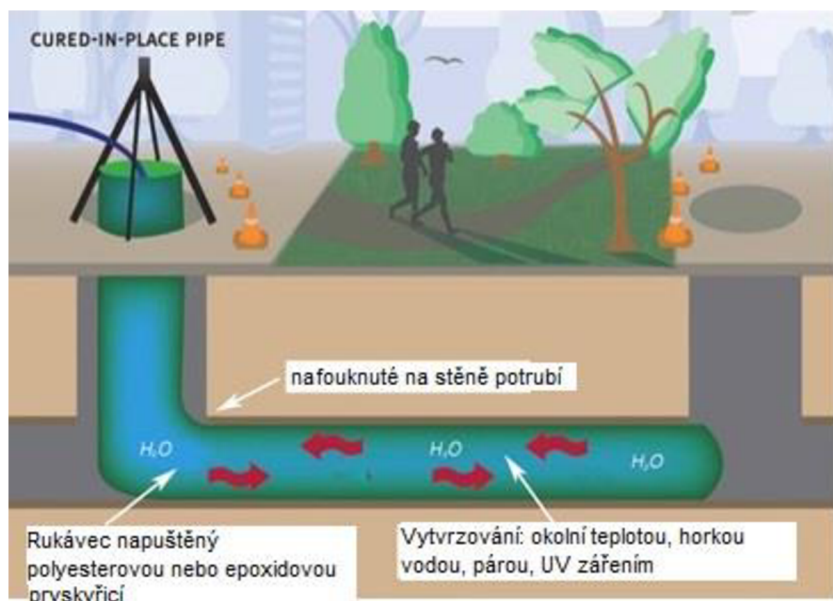
Při volbě vhodné technologické metody ochrany a opravy kanalizačních sítí je, je nutno respektovat základní zásady, které vycházejí se stavebně technického průzkumu. Při volbě bezvýkopových metod je nutné brát v ohledu časový a finanční limit. Jestliže jsme omezení časem je vhodnější použít vytvrzování pomocí UV, tento typ je sice nákladnější, ale umožní nám rychlejší obnovu sítě. Je nutné vybrat i vhodný typ rukávce, a to dle rozsahu a typu sanovaného potrubí.

### 4.1.1 Metoda CIPP

Technologie CIPP (Cured-In-Place-Pipe) je jedna z možností bezvýkopových sanačních metod, která umožňuje sanaci bez úplného vykopání trubky z povrchu země. Takovéto sanační metody aplikujeme především na hlavní kanalizační potrubí.

Metoda CIPP obecně zahrnuje následující kroky: Nejprve proběhne kamerová prohlídka potrubí, zajistí se rozsah poškození a provede se vhodný výběr metody sanace. Následně je potrubí vyčištěno a je připravena revizní šachta – vstupní místo pro instalaci rukávce. Poté je rukávec nasycen daným polymerním kompozitem. Tento krok se provádí





Obr. 6 Metoda CIPP [37]

podtlakem a případně mechanickými pohyby pod kontrolovanými podmínkami buď na saturační lince ve výrobní hale, nebo přímo v zařízení na místě instalace. Nejčastěji se jedná o provádění založeném na vytvoření přetlaku, obvykle pomocí vodní páry, na základě, jehož proběhne samotná instalace rukávce takzvanou inverzní metodou do sanovaného potrubí. Další metodou je

zatažení (vtažení) obložení, nebo kombinace těchto metod. Rukávec je tedy zatahován do sanovaného potrubí buďto mechanicky, nebo s přispěním přetlaku. Následně dojde k vytvrzování rukávce, a to zavedením horké vody/páry do potrubí, nebo v případě epoxidových pryskyřic působením ultrafialového záření. Takto provedená vystýlka je následně ochlazena. Poté je nutné do potrubí zavést robota, který musí vyřezat otvory pro kanalizační přípojky a zajistit tak původní účel sanovaného potrubí. Tloušťka stěny vytvořené rukávцем je nejčastěji od 6 do 21 mm. [34] [35] [36]

#### 4.1.2 Rukávec pro metodu CIPP

Hotový výrobek se skládá ze dvou částí: nosné části (rukávce) a termosetu polymeru (pryskyřičný systém). Nosná složka je vyrobena z jedné nebo více vrstev tkané nebo netkané textilie nebo kombinace obou.

Rukávce z netkané textilie jsou z polymerního vlákna, konkrétně: polyamidu, polyakrylonitrilu, polyethennaftalátu, polyetyenu, tereftalátu, polypropylenu, polyester. Rukávce z netkaných textilií jsou vhodné díky jejich význačné odolnosti proti otěru a vnitřnímu tlaku. Naopak tkaniny jsou vyráběny převážně ze skelných a uhlíkových vláken, ty jsou také dostatečně odolné, ale jejich ohebnost je podstatně menší. Je také možné použít kombinaci výše uvedených materiálů. Pouzdro musí být dostatečně porézní a odolné, aby bylo schopno pojmout požadované množství pryskyřice při zachování dostatečné odolnosti a vydrželo celý proces instalace potrubí. Pouzdro může být opatřeno membránami často ve formě povlaku na povrchu, který bude v kontaktu s operačním médiem v potrubí. Funkcí membránového povlaku/pouzdra je ochrana textilní části rukávu. Mezi další funkce patří ochrana materiálů před agresivním prostředím v potrubí, ochrana proti oděru a ochrana proti úniku pryskyřice do potrubí. Nejčastěji používané membrány jsou z polyuretanu a polypropylenu. Polyuretanové fólie se vyznačují dobrou elasticitou, vysokou pevností proti roztržení a odolnost proti oděru. Polyuretanové fólie mají podobné vlastnosti a také odolávají vodní páře, takže je lze použít v případech, kdy se používá vodní pára. [36]

Uhlíková vlákna lze teoreticky využít pro tvorbu textilií, nosné části rukávce. Konkrétně vlákna na bázi PAN – uhlíková vlákna vyráběná z polyakrylonitrilu (PAN) jsou v dnešní době nejrozšířenější. Jako prekurzor se používá akrylové vlákno (ORLON). Tato vlákna mají vysoký modul pružnosti (230–930 GPa) a vyznačují se vysokou odolností v tahu z ohybu (3,5–7 GPa). Charakteristickým znakem vláken s vynikajícími parametry je značná anizotropie. Při porovnávání uhlíkových vláken s parametry pro ostatní materiály zjistíme, že mají dvaapůlkrát vyšší pevnost oproti nejlepším ocelím a pětkrát vyšší pevnost než lehké slitiny. Zároveň jsou mnohem odolnější než sklo a lehké slitiny. Další výhodou spočívá v nízké hustotě. [38]

Pro metodu CIPP se využívají skleněná vlákna, která se přidávají do nosné části rukávce. Vlákna se vyrábějí tažením taveny směsi oxidů Si (s příměsí oxidů Al, Ca, Mg, Pb a B) a většinou s malým podílem oxidů alkalických kovů Na a K. Potřebného průměru vláken se dosáhne dlouhým proudem skla tekoucího platinorhodiiovými tryskami (průměr trysky je 1 mm) ve dnu zvlákňovací hlavy. Konečný průměr vlákna je dán rozdílem mezi rychlostí vytékání skloviny a rychlostí odtahování vlákna. Jednotlivá vlákna se po povrchové úpravě sdružují do pramene a navíjejí se na cívku. Skleněná vlákna lze v tkaninách kombinovat i s jinými druhy vyztužujících vláken. Zvláště u tkanin z dražších, například aramidových nebo uhlíkových vláken, lze vlákna ve směru menšího namáhání nahradit levnějšími skleněnými vlákny vznikající hybridní tkaniny. [39]

### 4.1.3 Vytvrzení sanačního rukávce

Proces vytvrzování patří ke konečným etapám metody CIPP. Vytvrzování lze rozdělit dle způsobu, a to na tepelné, nebo pomocí UV záření. Tepelné vytvrzování vložek CIPP je nejrozšířenější vytvrzovací metoda. Tepelné vytvrzování zahrnuje dodávku tepla kontaktem s horkou vodou, párou nebo horkým vzduchem, další možností je umožnění vytvrzování vložky působením okolních teplot.

Okolní vytvrzování se obvykle používá pouze pro trubky s malým průměrem a je citlivé na klimatické podmínky. Pomalá rychlost vytvrzování snižuje produktivitu a prodlužuje dobu neschopnosti zařízení provozu, což má za následek neekonomičnost a často nemožnost využití této metody provádění. Vytvrzování horkou vodou je původní způsob vytvrzování pro CIPP a může být použito pro jakýkoliv doporučený průměrů hostitelských potrubí. Vytvrzování parou poskytuje rychlejší polymerizaci než horká voda, a tím zvyšuje efektivitu celého procesu. Zahrnuje méně procesní vody, ale zvyšuje rizikovitost nesprávného provedení. Používá se pouze v rozsahu malých až středních průměrů, protože rovnoměrnost tvrdění je obtížnější regulovat v profilech s velkým průměrem a na dlouhých instalačních délkách.

V obou případech je nutné sledovat teplotu vytvrzovacího média, aby došlo k nastartování exotermické reakce a k následnému plnému vytvrzení pryskyřice.

Druhou možností je vytvrzení pomocí ultrafialového (UV) záření. Tento způsob byl vyvinut a používán v Evropě společností Inpipe od roku 1986. Pro tuto technologii je ale nutné mít speciální rukávce a pryskyřici. Nejčastěji se jedná o bezešvou spirálovitě vinutou

trubici ze skleněných vláken impregnovanou polyesterovou nebo vinylesterovou pryskyřicí. Po vytvrzení se vnitřní film odstraní. Rukávec je navíjen do existujícího potrubí a následně nahuštěný tlakem vzduchu, tím pádem se dostane do potřebného tvaru a poté probíhá vytvrzení pomocí UV světelné soustavy. Velkou výhodou vytvrzování UV zářením je především jeho rychlost, která je několikanásobně rychlejší než při použití termální metody, na druhou stranu je mnohem nákladnější.

Záleží také na způsobu impregnace rukávce danou polymerní hmotou, menší vložky CIPP jsou obvykle připraveny podle potřebného průměru a impregnované pryskyřicí v továrně. Poté jsou přepraveny v chladírenském nákladním vozidle na místo, zde jsou aplikovány do potrubí a následně vytvrzeny. Obecně má tato technologie až desetinásobně vyšší ohybové vlastnosti než běžné rukávce KAWO.

Větší průměry jsou často impregnovány ručně až na místě, pomocí speciálních zařízení pro navíjení. [35]



*Obr. 7 Vytvrzování pomocí UV záření, metoda CIPP [40]*



## 5 CÍL PRÁCE

Cílem práce je návrh nových hmot pro sanaci inženýrských sítí metodou CIPP.

Na základě těchto poznatků byla navržena metodika zkoušení nových hmot pro sanaci inženýrských sítí. Zároveň bylo v této metodice zohledněno i zkoušení samotných vstupních surovin (pojiva, plniva).

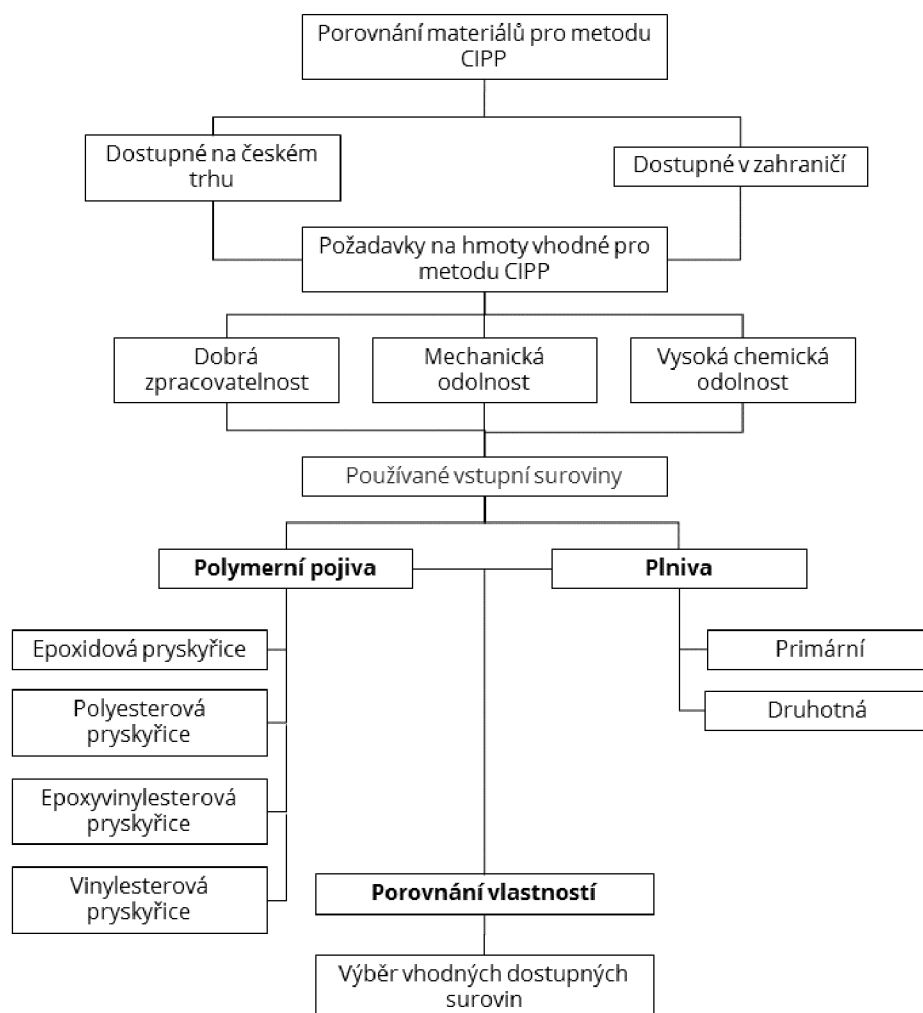
V praktické části byly ověřeny poznatky a navrženo několik receptur polymerních hmot pro sanaci vybraných inženýrských sítí. Vstupní suroviny byly vybrány na základě plánovaného prostředí, důraz byl kladen na využití druhotných surovin, v podobě mikroplniv. Z těchto návrhu byly vybrány pouze dva návrhy receptur, které se následně experimentálně ověřily. V rámci základního experimentální ověření byly ověřovány vlastnosti hmot jak ve čerstvém stavu, tak ve zpolymerizovaném. Konečným cílem bylo navrhnout recepturu, která se jeví jako optimální k dalšímu zkoušení. Toto bylo realizováno v ověřovací experimentální části této práce.

## 6 METODIKA PRÁCE

V rámci zpracování mé bakalářské práce byla navržena tato metodika, která rozděluje práci do čtyř na sebe navazujících etap:

### 6.1 ETAPA I – VLASTNOSTI SOUČASNĚ VHODNÝCH POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ VHODNÝCH PRO METODU CIPP

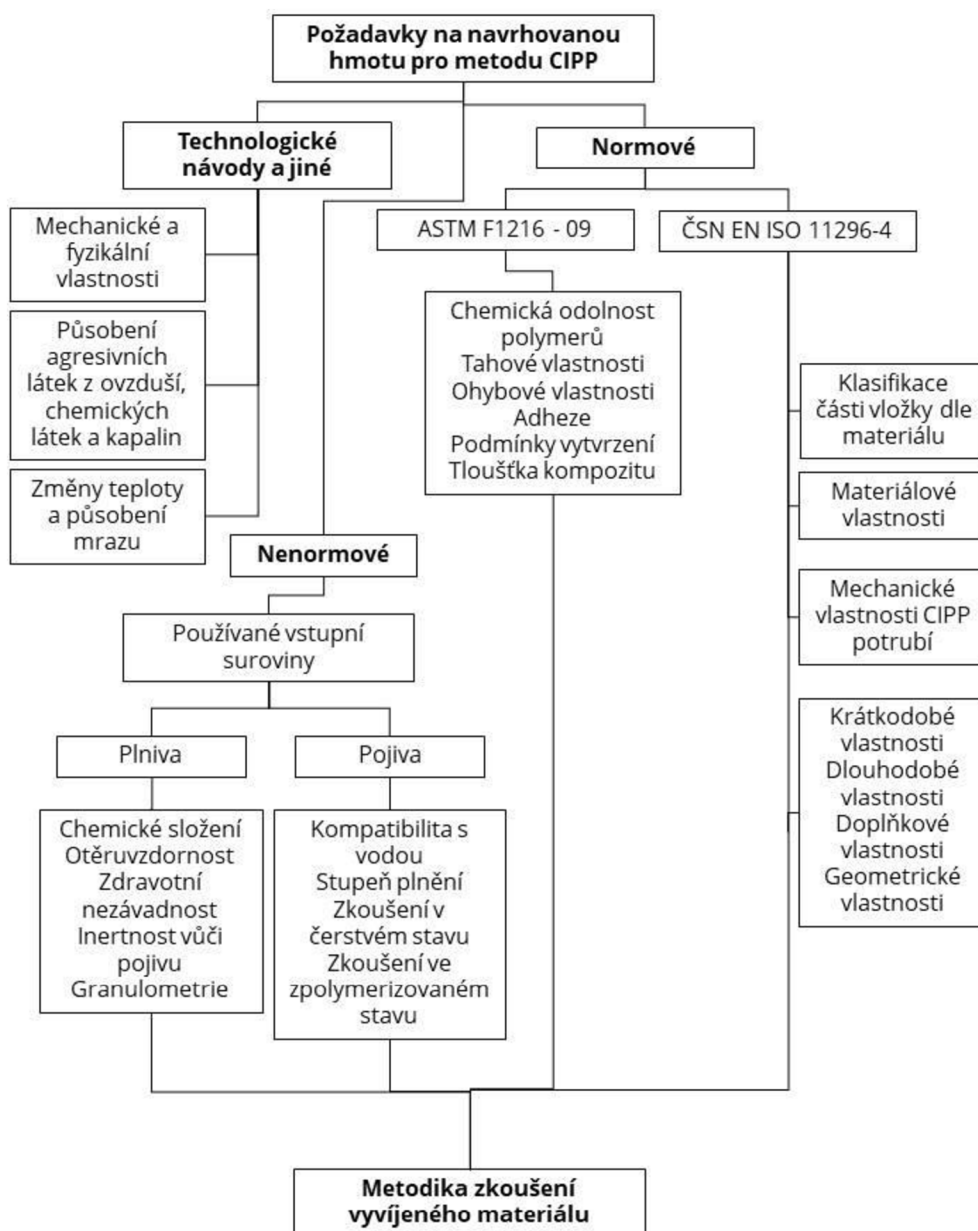
Cílem první etapy je zhodnocení aktuálních vhodných polymerních materiálů, a to zejména těch, jež jsou určeny pro užití v chemicky zatížených provozech (energetika, průmysl, odpadové hospodářství, ...). Jsou porovnány vlastnosti vybraných polymerních hmot, kterými je následně sycen rukávec. Je provedeno porovnání polymerních bází a v současnosti využívaných plniv. Zároveň jsou hodnoceny zejména ty hmoty, které vynikají lepší chemickou odolností. Tato etapa se zaměřuje také na možnosti využití nových vhodných plniv na bázi druhotných surovin pro metodu CIPP. Vzhledem k zaměření této práce je vytvořeno závěrečné shrnutí parametrů zkoumaných polymerních hmot a plniv.



Obr. 8 Schéma I. etapy

## 6.2 ETAPA II – POŽADAVKY NA NAVRHOVANOU SANAČNÍ HMOTU PRO METODU CIPP

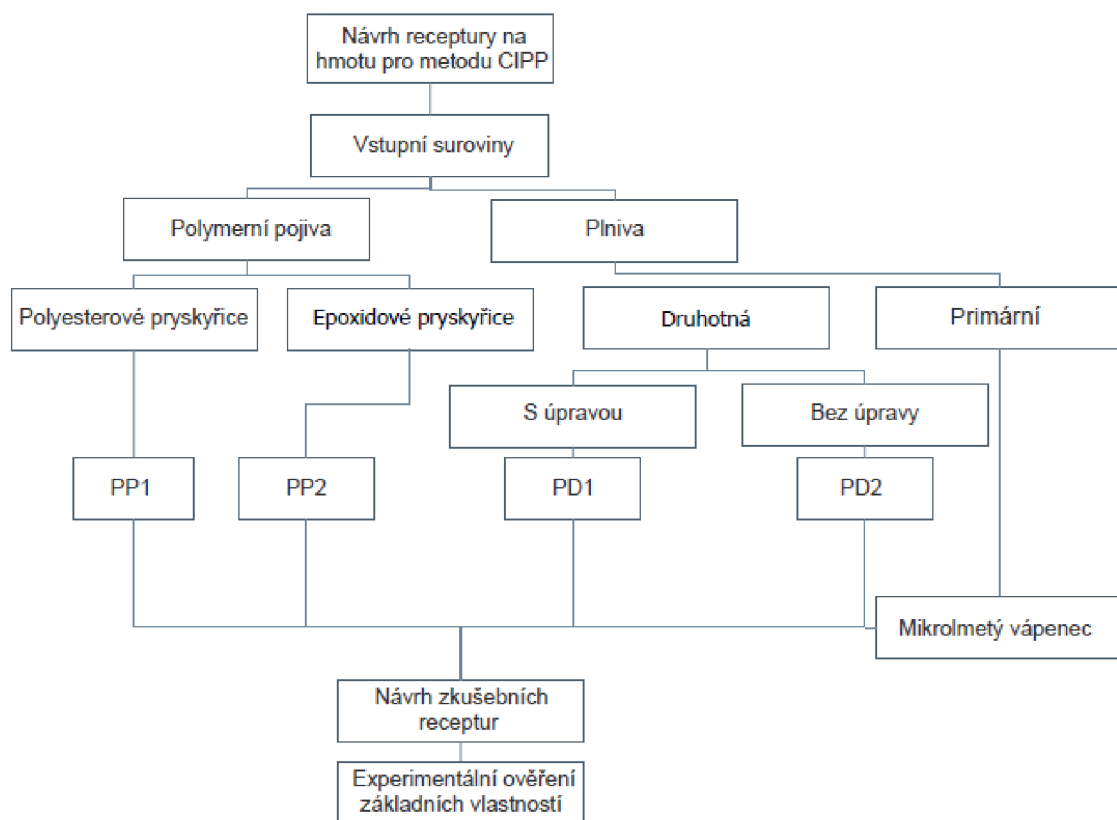
Druhá etapa se zabývá studiem vlastností a požadavků vhodných polymerních sanačních hmot a kompozitů s vysokou chemickou odolností pro metodu CIPP. V této etapě jsou popsány a definovány požadavky, které jsou kladeny na nově vyvíjenou hmotu. Součástí této etapy je konkretizování postupů v souladu s platnými normami a jsou zde popsány také metody dle jiných/interních zkušebních postupů a předpisů. Výstupem této etapy je optimální zkušební postup pro vyvíjený polymerní kompozit, kterým lze jasně definovat jeho vlastnosti a který nejlépe stanovuje vhodnost použitých vstupních poživ, primárních a druhotných plniv.



Obr. 9 Schéma II. etapy

### 6.3 ETAPA III – NÁVRH RECEPTURY NA HMOTU PRO METODU CIPP

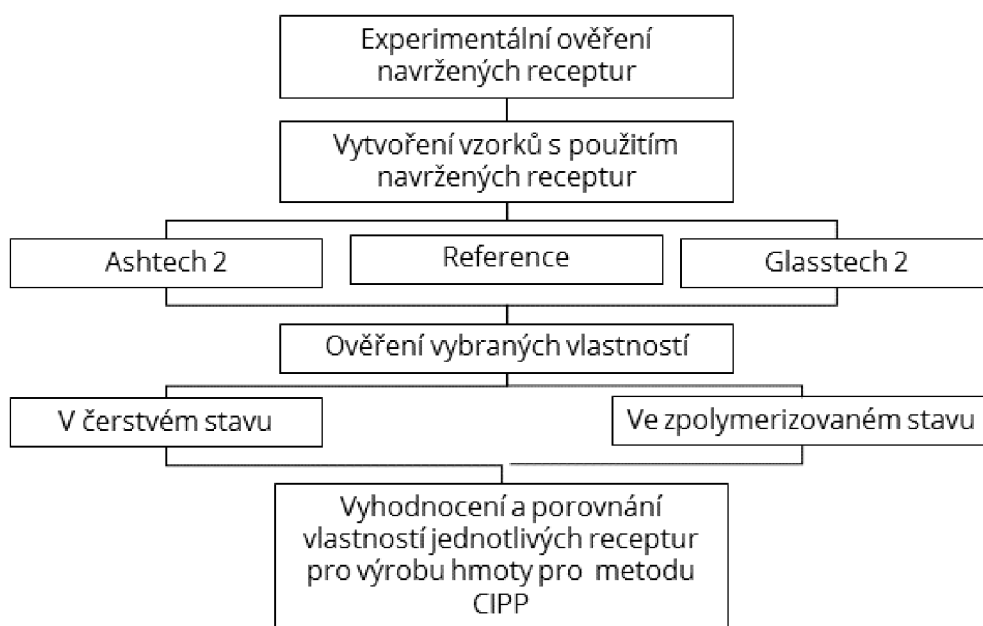
Cílem III. etapy je návrh receptury sanačního polymerního kompozitu, který bude vhodný pro bezvýkopovou technologii CIPP, a to zejména v chemicky namáhaných provozech (odpadové hospodářství, ...). Primárním projektovaným místem využití jsou betonové, či kameninové kanalizační stoky a trubky. Nově vyvinutý materiál bude ve fázi přípravy k užití hydrofobní, ale aplikovatelný na vlhké až mokré povrchy. Zde je kladen důraz zejména na vysokou odolnost vůči biokorozi, ošřuvzdornost, odolnost silným kyselinám a agresivním plynům. Vzhledem ke specifickým podmínkám v kanalizačním potrubí je materiál připravován s ohledem na aplikaci na pouze částečně očištěný a vlhký povrch. Tato aplikace je plánována bezvýkopovou technologií, tedy zatažením rukávce, který bude nasycený polymerní hmotou a je následně vytvrzen pomocí horké vody přímo v sanované trubce/stoce. Další cílenou vlastností vyvíjené hmoty je rychlý počáteční nárůst fyzikálně-mechanických vlastností a chemické odolnosti při zachování adekvátní doby zpracovatelnosti. Důraz je kladen na zvýšení procentuálního podílu druhotných surovin ve vyvíjené sanační hmotě určenou pro bezvýkopovou technologii za účelem snížení jeho ekonomické náročnosti.



Obr. 10 Schéma III. etapy

## 6.4 ETAPA IV – EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÝCH RECEPTUR

Závěrečnou etapou bakalářské práce je experimentální ověření základních vlastností navržených receptur sytících směsí pro metodu CIPP. Ověřeny jsou vybrané vlastnosti navržené sanační hmoty, a to jak v čerstvém, tak ve zpolymerizovaném stavu. Výsledky testů jsou popsány a vyhodnoceny porovnány budou výsledky nových hmot s referenční hmotou.



Obr. 11 Schéma IV. etapy

## 7 PRAKTICKÁ ČÁST

### 7.1 ETAPA I – VLASTNOSTI SOUČASNĚ DOSTUPNÝCH POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ VHODNÝCH PRO METODU CIPP NA TRHU

V této etapě jsou sestaveny klíčové vlastnosti současně dostupných polymerních materiálů vhodných pro metodu CIPP na trhu.

#### 7.1.1 Jednotlivé firmy provádějící metodu CIPP na českém trhu

V následující tabulce jsou uvedeny vybrané dostupné technologie provádění metody CIPP na českém trhu a jejich základní charakteristiky.

Tab. 2 Firmy provádějící metodu CIPP na českém trhu

Výrobce	Název technologie	Používané pojivo	Používané plnivo	Způsob vytvrzení	Možnosti používané vložky
Wombat	KAWO	Pojiva na epoxidové a polyesterové bázi: <b>IN-CHEMIE – TDS</b> (EP)*IN-EPOX 9060/AB (EP)*IN-EPOX 9010/AB (PE)*IN-EST1001 <b>NORDITUBE</b> (PE)*NORDIPOX D (PE)*NORDIPOX TX <b>SANNICOM</b> (PE)*CIPP INVERSION LINER SX4)	Vápenec  Křemičitá moučka  Hydroxid hlinitý	Pára	Vložky jsou nejčastěji dodávány od firmy Norditube, ta nabízí: - Bezešvou textilní tlaková vložka pro CIPP - třída C * <b>(TUBETEX)</b> - Silnou a nezávislou tlakovou fólii pro CIPP - třída A a B <b>(NORDIPIPE)</b> -Robustní gravitační vložku pro CIPP <b>(NORDIWALL NORDIWALL FLEX a UNILINER)</b> *Třída podle ISO 11295
	KAWO UV			UV záření	
Trelleborg epros GmbH	EPROS			Vzduch – tlak	
				UV záření	
BMH	UV liner			Pára	
	INSAK®				
GVOŽDÍK S.R.O.	GVOŽDÍK		Horká voda		

#### 7.1.2 Dostupné firmy provádějící metodu CIPP na zahraničním trhu

V následující tabulce jsou uvedeny vybrané dostupné technologie provádění metody CIPP na zahraničním trhu a jejich základní charakteristiky.

Tab. 3 Firmy provádějící metodu CIPP na zahraničním trhu

Výrobce	Název technologie	Používané pojivo	Používané plnivo	Způsob vytvrzení	Další informace
BKP BEROLINA POLYESTER GmbH & Co KG	BKP Liner	Používaná pojiva jsou na	Vápenec	UV záření	Vložka z textilního materiálu a skelných vláken

APPLIED FELTS Ltd.	AQUACURE RP®	epoxidové bázi a polyesterové bázi	Křemičitá moučka Hydroxid hlinitý	Horká voda	Vložka kombinuje textilní materiál z polypropylenových vláken a vyztužení ze skelných vláken.
BRANDENBURGER LINER	HEAT LINER	Například (.tec 582-25 OF NORDIPOX D)		Horká voda	Speciální vložka využívá tepelné energie z odpadních vod
Granite Inliner	Inliner® CIPP			UV záření	Vložka vyztužená skelnými vlákny
NORDITUBE	NORDIPIPE *			Horká voda	Vložka vyztužená skelnými vlákny

### 7.1.3 Požadavky na vhodná pojiva

Mezi nepoužívanější pojiva pro metodu CIPP patří především epoxidové pryskyřice, dále se mohou využít polyesterové pryskyřice, vinylesterové nebo epoxyvinyl esterové. Z výzkumu trhu bylo potvrzeno, že je nejčastěji využívána polyesterová pryskyřice, a to zejména díky dobré chemické odolnosti, která je vhodná do kanalizačního prostředí a díky dobré finanční dostupnosti. Detailní popis jednotlivých pojiv je popsán v teoretické části 1.4 Vybraná polymerní pojiva. Mezi nejdůležitější, sledované parametry používaných pojiv patří chemická odolnost, odolnost proti mechanickému ohrusu, adhezni vlastnosti a schopnost penetrace do struktury použitého rukávce.

### 7.1.4 Požadavky na vhodná plniva

Plniva se využívají především pro větší průměry sanovaných kanalizačních potrubí, protože po jejich přidání zvětšujeme modul pružnosti z ohybu a díky tomu si můžeme dovolit zmenšit tloušťku rukávce. Obecně je nutné sledovat zejména maximální zrna druhotných i primárních plniv, které by nemělo přesáhnout 800 µm, a to z důvodu ideálního napuštění polymerního kompozitu do textilního rukávce. Plniva jsou přidávána k polymerní bázi a poté jsou tímto kompozitem napouštěny připravené rukávce. Plniva můžeme rozdělit na přírodní a umělá, tato práce se zaměřuje především na substituci plniva přírodního, primárního surovinami druhotnými, umělými, a to z důvodu snížení ekonomické a ekologické náročnosti současné produkce rukávců využívaných při metodě CIPP. Další požadavky na vhodná plniva jsou popsány v teoretické části kapitola 2.3 Vlastnosti plniv pro polymerní kompozity.

### 7.1.5 Vybraná primární plniva

Po vyhodnocení dosavadních používaných primárních plniv byl vybrán pro následnou substituci druhotnými surovinami mikromletý vápenec a mastek.

## Mikromletý vápenec



Obr. 12 Mikromletý vápenec

Pro výrobu polymerního kompozitu se využívá vápenec I. a II. třídy. Tyto třídy definují čistotu materiálu. Vápenec má měrný povrch  $12\,500\text{ cm}^2/\text{g}$  s měrnou hmotností  $2,92\text{ g/cm}^3$ .

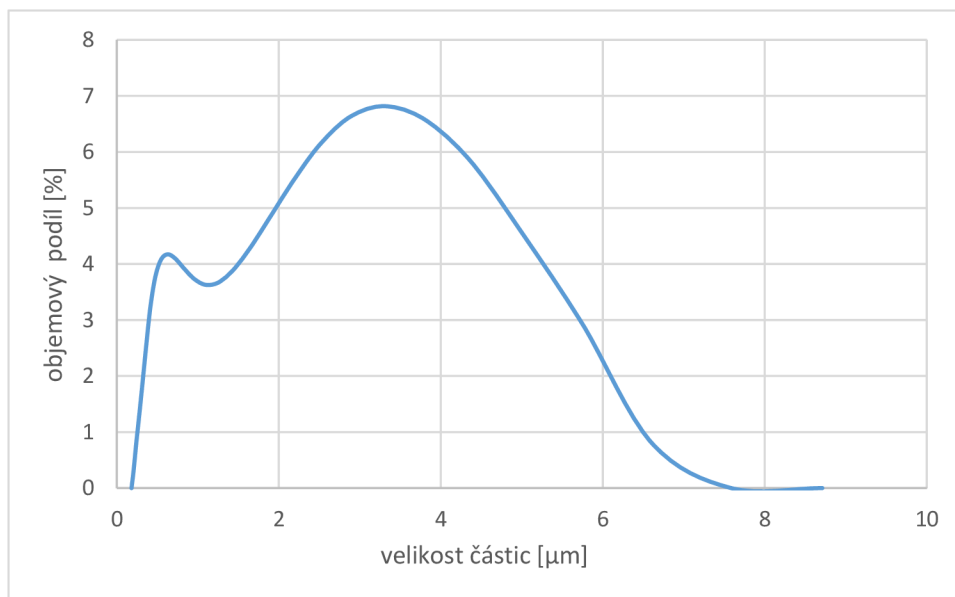
Hlavní požadavky na mikronizovanou plnivou jsou vyjádřeny jejich chemickou čistotou, ovlivněnou jak použitým vápencem, ale i oteřou při úpravářenském procesu. Granulometrie se dělí do dvou tříd:

mikronizace – oblast od  $10\text{--}40\ \mu\text{m}$

supermikronizace – oblast  $0,1\text{--}4\ \mu\text{m}$

Dalším požadavkem je obsah vlhkosti. Voda je chemicky vázána na nečistoty (hydroxidy) velmi silnou vazbou, odstraňuje se ohřevem až na  $300\text{ °C}$ . Vliv vlhkosti v plnivě je nežádoucí vzhledem k následným defektům způsobeným únikem páry při teplotním zpracování plastů. [42]

V grafu na následujícím obrázku 13 je vyobrazena distribuce velikosti částic používaného mikromletého vápence.



Obr. 13 Distribuce velikosti částic mikromletého vápence pro metod CIPP



## Mastek

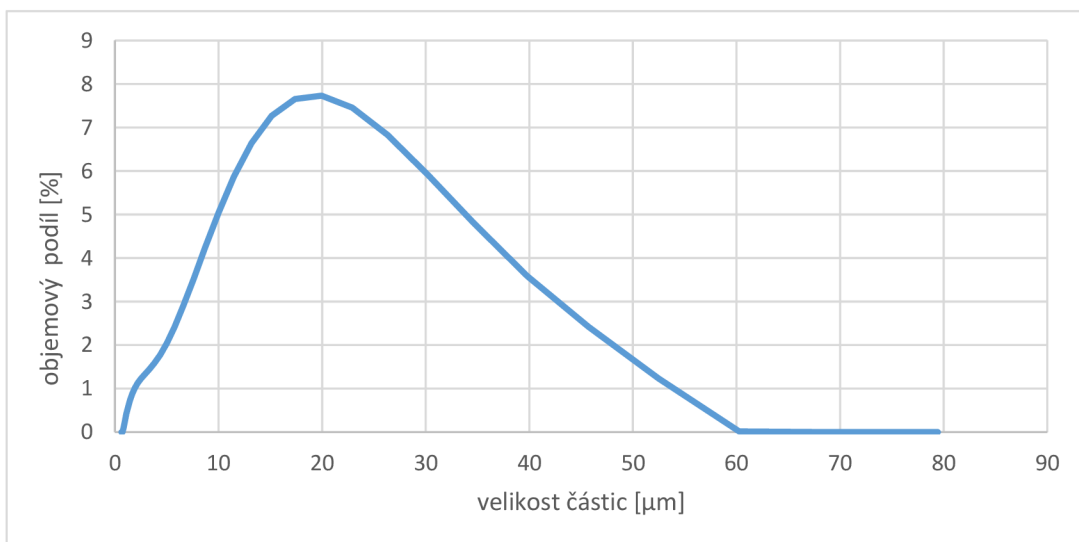


Obr. 14 Mastek

Mastek je dalším primárním pojivem, případně i druhotným pojivem pro metodu CIPP. Používáme jemně mletý s velikostí zrna 0,5  $\mu\text{m}$ . Další informace jsou vypsány v teoretické části. V následující Tab. 4 jsou uvedeny materiálové vlastnosti používaného mastku včetně chemického složení.

Tab. 4 Materiálové vlastnosti používaného mastku

Chemické složení					
SiO <sub>2</sub>	41,00 %	MgO	30,00 %	CaO	5,00 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,00 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 3,00 %		
Další vlastnosti Plniva					
Tvrdost:	1 (Mohsova stupnice)				
Maximální velikost částic:	0,5 $\mu\text{m}$				
Ztráta žíháním /1100 °C/	17 %				
Specifická hmotnost:	cca 2,8 g/cm <sup>3</sup>				
Měrná hmotnost:	cca 1,2–1,8 g/cm <sup>3</sup>				
Měrný povrch	6 390 cm <sup>2</sup> /g				



Obr. 15 Distribuce velikosti částic mastku

## 7.1.6 Vybraná druhotná plniva

V této podkapitole budou popsána jednotlivá druhotná plniva, vhodná pro metodu CIPP.

### Popílky

#### Vysokoteplotní popílek



Obr. 16 Vysokoteplotní popílek Tušimice [43]

Zrna popílku vzniklá utužením taveniny, obsahují amorfni  $\text{SiO}_2$  a krystalickou fázi, kterou tvoří mullit ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), křemen ( $\text{SiO}_2$ ), minerály železa, zbytky nespáleného uhlí a další. Zrna vzniklá tímto vysokoteplotním spalováním tuhých paliv, jsou složené převážně z malých kulovitých zrn o velikosti 0,001 až 0,1 mm, měrný povrch se pohybuje okolo  $300 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ . Popílky z vysokoteplotního spalování jsou specifické zejména svým tvarem, jejich částice jsou sférické a oválné. Tento tvar je dán vyšší vypalovací teplotou, během které se zrno snaží zaujmout co nejmenší prostor. Na povrchu sférických částic

se můžou vyskytovat jemnozrné povlaky mikročástic o rozměrech 0,1 až 0,5  $\mu\text{m}$ . [44]

Tab. 5 Chemické složení vysokoteplotního popílku Tušimice

Chemické složení					
$\text{SiO}_2$	55,60 %	$\text{MgO}$	1,05 %	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5,90 %
$\text{Na}_2\text{O}$	0,29 %	$\text{Al}_2\text{O}_3$	26,40 %	$\text{MnO}$	0,06 %
$\text{CaO}$	1,50 %	$\text{K}_2\text{O}$	1,90 %	$\text{Cl}$	< 40 %

#### Fluidní popílek



Obr. 17 Fluidní popílek Ledvice [43]

Fluidní popílek, konkrétně fluidní filtrový popílek, je tvořen malými lehkými částicemi, které jsou při procesu spalování unášeny se spalinami do komínové části, kde jsou na elektrických odlučovačích oddělovány od plynných spalin. Fluidní popílky jsou charakteristické vyšším obsahem volného  $\text{CaO}$ , kvůli přidavku jemně pomletého vápence při spalování v rámci odsíření. Krystalickou fází tvoří následující mineralogické novotvary: anhydrit  $\text{CaSO}_4$ , portlandit  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sádrovec  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , kalcit  $\text{CaCO}_3$ , křemen  $\text{SiO}_2$  a další. Zrna

mají morfologii původního uhelného zrna, jen výjimečně se vyskytují částice, které mají zaoblený tvar. [44]

Tab. 6 Chemické složení fluidního popílku Ledvice

Chemické složení					
SiO <sub>2</sub>	32,10 %	MgO	0,38 %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,00 %
Na <sub>2</sub> O	0,47 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,90 %	MnO	0,06 %
CaO	21,20 %	K <sub>2</sub> O	0,90 %	SO <sub>3</sub>	6,70 %

### Vysokopecní struska,



Obr. 18 Vysokopecní struska výrobní závod Dětmorovice společnosti CEMEX [43]

Mletá granulovaná vysokopecní struska (MGVS) je práškové latentně hydraulické pojivo bílé barvy. Primární použití tohoto materiálu je jako příměs II. typu. Strusku je potřeba před použitím domlít na potřebnou granulometrii. Její měrný povrch je okolo 380 m<sup>2</sup> /kg a měrná hmotnost 2800 kg/m<sup>3</sup>.

Struska musí být nejméně ze dvou třetin hmotnosti sklovitá a při vhodném buzení vykazovat hydraulické vlastnosti. Dále musí obsahovat nejméně 2/3 hmotnosti sumy oxidu vápenatého (CaO), oxidu hořečnatého (MgO) a oxidu křemičitého (SiO<sub>2</sub>), přičemž hmotnostní podíl (CaO + MgO) /SiO<sub>2</sub> musí přesahovat hodnotu 1. Zbytek pak obsahuje Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a malá množství dalších látek. [45]

Tab. 7 Chemické složení vysokopecní strusky Dětmorovice

Chemické složení					
SiO <sub>2</sub>	45,20 %	MgO	1,07 %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,00 %
Na <sub>2</sub> O	0,27 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,20 %	MnO	0,05 %
CaO	1,80 %	K <sub>2</sub> O	1,30 %	Cl	< 40 %

### Plastový práškový regranulát

Mezi nejčastěji zpracovávané materiály patří polypropylen (PP), nízko-hustotní polyethylen (LDPE), polyoxymethylen (POM), akrylonitrilbutadienstyren (ABS) a další odpadní plasty. Po drcení a mletí, dojde také k práškování různých druhů plastů. Mlecí linky zpracovávají materiál do maximálního rozměru 800 mm. Poté je granulát umletý na talířovém mlýnu NeueHerbold s prosévacím zařízením Agaier. Frakce výsledného prášku je volitelná zákazníkem v rozmezí 300 až 1000 µm. Pro použití plniva v rámci metody CIPP,

syčení rukávce kompozitem, je potřebná další předúprava, a to mletí na jemnější frakci. [46]

## Pěnové odpadní sklo

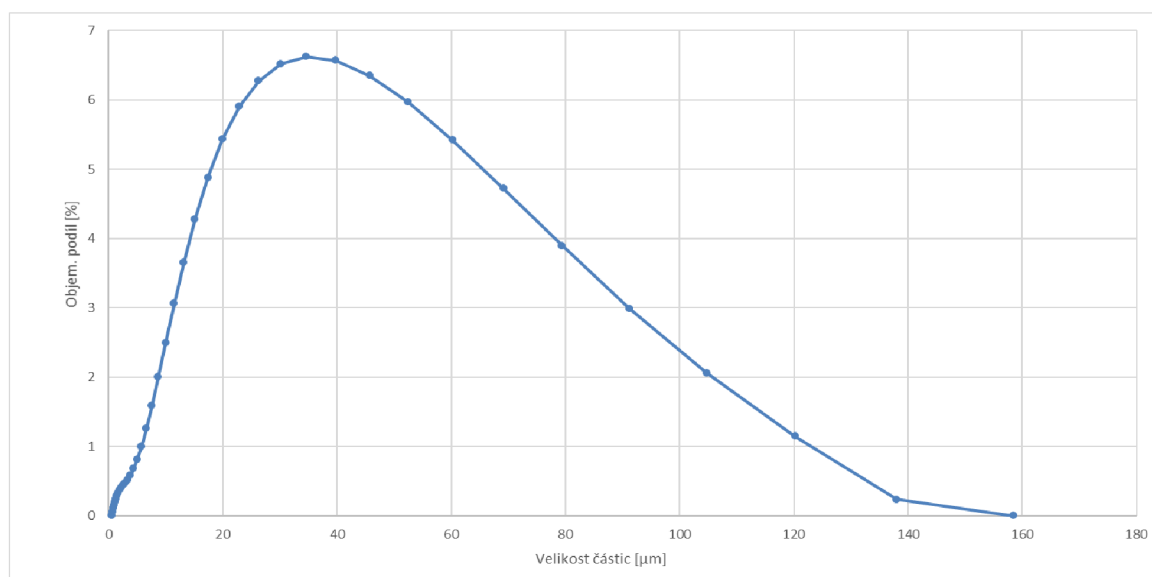


Obr. 19 Odpadní pěnové sklo

Pěnové odpadní sklo vzniká jako vedlejší produkt ve výrobním závodě na pěnové sklo firmy Refaglass s.r.o. ve Vintířově. Pěnové sklo vzniká v momentě, kdy se rozžhavený materiál, co vyjede z tunelové pece rychle ochladí a tím popraská, díky tomu vzniká kamenivo neurčité frakce. Takto vyrobené pěnové sklo se poté drtí na frakce 0-63; 16-32 a 4-16 za komerčními účely. Ale veškeré jemnější frakce pod 4 mm, se stávají dále nevyužitelným vedlejším produktem – takto vzniká odpadním pěnové sklo. Odpadní pěnové sklo má obsah  $\text{SiO}_2$  okolo 90 %, díky tomu je výrazně chemicky odolné. [47]

Tab. 8 Materiálové vlastnosti odpadního pěnového skla

Vlastnosti Plniva	
Maximální velikost částic:	4 mm
Tvar zrna:	Kulatý
Nasákavost:	98 %
Specifická hmotnost:	cca 3,1,5 g/cm <sup>3</sup>



Obr. 20 Distribuce velikosti částic pomletého odpadního pěnového skla

## Čedičový filler



Obr. 21 Drcené čedičové odkapy

Druhotná surovina, která vzniká nadrcením odkapů čediče při odlívání čedičových dlaždic. Při samotném odlevu do forem jsou tyto odkapy korigovány do odtokových kanálků, kde jsou následně rychle ochlazeny vodou. Díky tomu je tvar částic nesterodný a je potřeba tuto druhotnou surovinu dále domílat. Maximální velikost těchto odkapů je přibližně 4 mm. Zá účelem využití v podobě plniva do pryskyřice, kterou se sytí rukávec CIPP, je potřeba domílat na maximální velikost částic přibližně 80  $\mu\text{m}$ .

Tab. 9 Materiálové vlastnosti používaného čedičového filleru

Chemické složení					
SiO <sub>2</sub>	50,00 %	MgO	10,00 %	CaO	10,00 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,00 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,00 %		
Další vlastnosti Plniva					
Tvrdost:		> 8 (Mohsova stupnice)			
Maximální velikost částic:		4 mm			
Nasákavost		0 %			
Specifická hmotnost:		cca 2,8 g/cm <sup>3</sup>			
Měrná hmotnost:		cca 1,2–1,8 g/cm <sup>3</sup>			

## Pryžový prach EPDM



Obr. 22 Pryžový prach [49]

Pryžovým granulátem je označována odpadní pryž (například ojeté pneumatiky) zbavené příměsí kordu. Následně je toto plnivo upraveno mechanicky, drcením a mletím, popř. kalandrováním. Toto plnivo vnáší do materiálu pružnost, zároveň je odolné vůči vysokým a nízkým teplotám a také proti únavě.[48]

Pryžový granulát je dostupný od maximální velikosti částic od 400–1000  $\mu\text{m}$ , pro metodu CIPP je případně potřeba tento granulát domílat a to pod maximální velikost částic 80  $\mu\text{m}$ .



## Uhelná škvára

Druhotná surovina, která vzniká v tepelných elektrárnách, nebo na spáleništích při spalování uhlí. Jsou to nespalitelně zbytky, které jsou značně nehomogenní a jejich chemické složení je nestálé. Tato surovina se poté halduje a nechává se odležet zpravidla 6 měsíců. Během haldování dojde k odplavení škodlivin a k vyluhování solí. Pro metodu CIPP je nutné škváru výrazně podrtit a rozemlít. Sypná hmotnost škváry je od 400–850 kg/m<sup>3</sup>, při specifické hmotnosti 2600 kg/m<sup>3</sup>. Haldovaná škvára by neměla obsahovat žádné, volné CaO a MgO a obsah volného SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> by měl být pod 4 %. V použití tohoto plniva může být nežádoucím pigment škváry, škvára může výrazně zabarvit výsledný kompozit do černé barvy. V rámci manipulace se samotným plnivem musí být zvýšená opatrnost, je nutné zajišťovat systematické měření a hodnocení obsahu radia ve vyráběných materiálech.

## Cihelný recyklát

Cihelný recyklát je získáván drcením cihelné suti na požadovanou frakci. Pro využití cihelného recyklátu jako plniva pro metodu CIPP je potřeba cihelnou drť namlít na velmi jemnou frakci, která bude menší než 80 μm. Samotné mletí je však velmi ekonomicky náročné. Cihelný recyklát se vyznačuje poměrně vysokou nasákavostí, a to okolo 12 %.

Pro použití cihelné drti jako plniva do stavebních směsí je třeba zajistit, aby neobsahovala příliš velká množství nežádoucích příměsí. Základním požadavkem při jejím použití jako plniva do výrobních směsí je to, aby její vlastnosti nenarušovaly procesy nabývání pevnosti pojiva a byl tak umožněn vznik pevné hmoty jistých žádoucích fyzikálně-chemických vlastností, nezávadných i ve vztahu ke zdraví člověka. [50]

## Betonový recyklát

Jedná se o zbytkový materiál, který se získává recyklací starého, dále nepoužitelného betonu, například při vymývání auto-domíchávačů na betonárnách. Zároveň se tento recyklát získává také mechanickou úpravou stavební betonové suti. Tento materiál se vyznačuje obsahem velmi rozptýlené frakce kameniva, zároveň je tento materiál velice heterogenní s různými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi, jakožto také např. velmi rozdílnou nasákavostí.

### 7.1.7 Optimalizační výpočet pro výběr vhodných plniv

Pro výběr nejvhodnějšího druhotného plniva byl použit optimalizační výpočet metodou kvantitativního párového srovnání. Tento postup zohledňuje výběr druhotné suroviny na základě stanoveného váhy vybraných vlastností za účelem efektivního využití jako plniva do CIPP trubek. Vlastnosti druhotného plniva, by měly být co nejvíce podobné plnivu primárnímu, konkrétně mastku, nebo mikromletému vápenci. Vybrané druhotné suroviny jsou vypsané v následující tabulce č. 10.

Tab. 10 Vybrané druhotné suroviny pro optimalizační výpočet

	Druhotné plnivo
A	Vysokoteplotní popílek
B	Fluidní popílek
C	Vysokopeční struska
D	Plastový práškový regranulát
E	Pěnové odpadní sklo
F	Čedičový filler
G	Pryžový prach
H	Uhelná škvára
I	Cihelný recyklát
J	Betonový recyklát

Pro výběr nejvhodnějšího plniva je vytvořena tabulka kritérií, podle kterých se budou druhotné suroviny vybírat. Při výběru plniva pro metodu CIPP je nejpodstatnější frakce plniva a cena druhotné suroviny. Cenu můžeme určit z celkových hrubých nákladů na zakoupení. Dalšími důležitými vlastnostmi jsou chemická odolnost a mechanická odolnost, které následně zlepšují vlastnosti daného kompozitu.

V následující tabulce č. 11 jsou popsána jednotlivá kritéria pro vybraná druhotná plniva a následně jsou seřazena dle důležitosti pro metodu CIPP.

Tab. 11 Vybraná hodnotící kritéria pro vybraná plniva

Číslo	Kritérium	Jednotka	Hodnocení
1	Max. velikost částic	[ $\mu\text{m}$ ]	[-]
2	Cena	[Kč/t]	[-]
3	Náročnost předúpravy plniva	[-]	[1-3] <sup>1</sup>
4	Stálost složení	[-]	[1-3] <sup>2</sup>
5	Chemická inertnost	[-]	[1-3] <sup>3</sup>
6	Dostupnost	[-]	[1-3] <sup>4</sup>
7	Měrná hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	[-]

Upřesnění jednotlivých hodnocení:

- <sup>1</sup> 1 – nejméně náročná předúprava, 3 – velice složitá předúprava suroviny
- <sup>2</sup> 1 – složení je v čase nestejnorodé, 3 – složení je konstantní
- <sup>3</sup> 1 – chemicky reaktivní odpadní suroviny, 3 – chemicky inertní ve většině prostředích
- <sup>4</sup> 1 – nejméně dostupné druhotné suroviny, 3 – nejvíce dostupné druhotné suroviny

Stanovené hodnoty pro jednotlivá kritéria jsou uvedeny v další tabulce 12, kde je také uvedena optimální maximální nebo minimální hodnota pro dané kritérium.

Tab. 12 Rozhodovací matice

číslo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Min	Max
1	130	90	100	80	63	500	1000	1400	500	800	130	90
2	800	400	190	10425	600	1200	5450	266	30	180	800	400
3	2	2	3	2	2	3	3	3	2	3	2	2
4	2	3	2	2	3	3	2	2	2	3	2	3
5	2	2	1	3	3	3	2	3	2	2	2	2
6	1	1	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1
7	2400	2690	2800	2650	1600	1700	2200	2600	1900	2800	2400	2690

Tab. 13 Výpočet váhy (Sattihó matice):

číslo	1	2	3	4	5	6	7	S <sub>i</sub>	R <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	
1	1	1/2	1/5	1/5	1/3	1/4	1/3	0,00055556	0,00007937	0,00000062	
2	2	1	1/6	1/6	1/3	1/3	1/3	0,00205761	0,00029394	0,00000230	
3	5	6	1	1/2	1/2	4	4	120,00000000	17,14285714	0,13404974	
4	5	6	2	1	2	2	3	720,00000000	102,85714286	0,80429843	
5	3	3	2	1/2	1	3	2	54,00000000	7,71428571	0,06032238	
6	4	3	1/4	1/2	1/3	1	2	1,00000000	0,14285714	0,00111708	
7	3	3	1/4	1/3	1/2	1/2	1	0,18750000	0,02678571	0,00020945	
	<b>SUMA</b>								895,1901132	127,8843019	1

Pro optimalizační výpočet byly použity následující vzorce:

$$S_i = \prod_{j=1}^n s_{ij} \quad R_i = (S_i)^{\frac{1}{n}} \quad F_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

$$MAX \longrightarrow b_{ij} = \frac{a_{ij} - MIN(a_i)}{MAX(a_i) - MIN(a_i)}$$

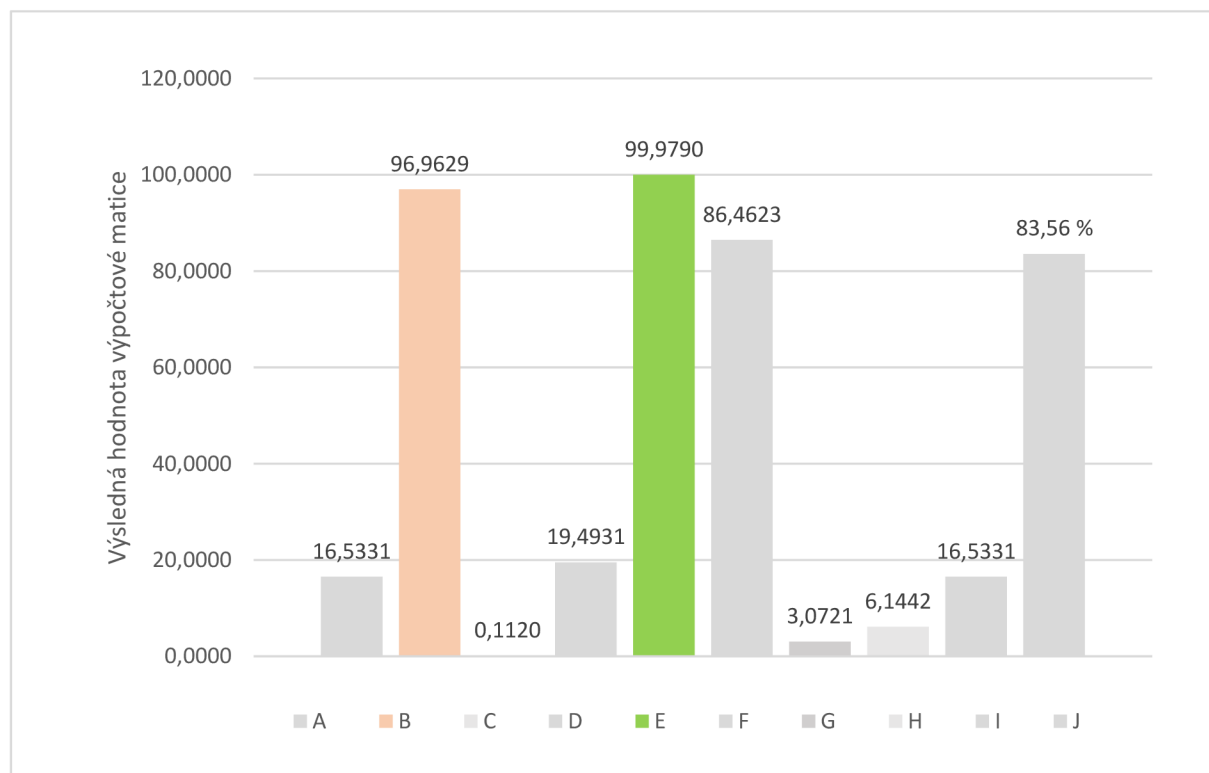
$$MIN \longrightarrow b_{ij} = \frac{MAX(a_i) - a_{ij}}{MAX(a_i) - MIN(a_i)}$$



Tab. 14 Výpočtová matice (metoda kvant. pár.srovnání):

číslo	Fi	optimum	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,0000006	min	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000023	min	0,0002	0,0002	0,0002	0,0000	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002
3	0,1340497	min	13,4050	13,4050	0,0000	13,4050	13,4050	0,0000	0,0000	0,0000	13,4050	0,0000
4	0,8042984	max	0,0000	80,4298	0,0000	0,0000	80,4298	80,4298	0,0000	0,0000	0,0000	80,4298
5	0,0603224	max	3,0161	3,0161	0,0000	6,0322	6,0322	6,0322	3,0161	6,0322	3,0161	3,0161
6	0,0011171	min	0,1117	0,1117	0,1117	0,0559	0,1117	0,0000	0,0559	0,1117	0,1117	0,1117
7	0,0002095	min	0,0070	0,0019	0,0000	0,0026	0,0209	0,0192	0,0105	0,0035	0,0157	0,0000
SUMA			16,5331	96,9629	0,1120	19,4931	99,9790	86,4623	3,0721	6,1442	16,5331	83,5579

Výsledkem výpočtové matice je procentuální zhodnocení pro jednotlivá plniva, nejvhodnějším plnivem je tedy to, které se nejvíce přibližuje 100 %.



Obr. 22 Výsledné zhodnocení vhodnosti plniv na základě optimalizačního výpočtu

Tab. 15 Výsledné pořadí druhotných surovin:

	Pořadí druhotných plniv
<b>E</b>	Pěnové odpadní sklo
<b>B</b>	Fluidní popílek

F	Čedičový filler
J	Betonový recyklát
D	Plastový práškový regranulát
A	Vysokoteplotní popílek
I	Cihelný recyklát
G	Pryžový prach
H	Uhelná škvára
C	Vysokopeční struska
J	Vysokoteplotní popílek

### 7.1.8 Vyhodnocení optimalizace

Dle metody kvantitativního párového srovnání, v postupu optimalizačního výpočtu, bylo vybráno ideální druhotné plnivo vhodné pro metodu CIPP. Nejoptimálnějším plnivem se jeví odpadní pěnové sklo s výsledkem 99,97, dále je vhodné použít například fluidní popílek s hodnotou 96,96. Pro návrh nové receptury bude použito odpadní pěnové sklo a fluidní popílek, jakožto druhotná plniva.

## 7.2 ETAPA II – POŽADAVKY NA NAVRHOVANOU SANAČNÍ HMOTU PRO SANACI METODOU CIPP

V následující etapě budou upřesněny požadavky na navrhovanou sanační hmotu pro metodu CIPP.

### 7.2.1 Základní nenormované požadavky na vstupní suroviny pro sanaci metodou CIPP

#### Používaná plniva

##### Chemické složení

Významná vlastnost pro celkový charakter kompozitu. Chemicky odolná plniva přispívají ke zlepšení chemické odolnosti celého kompozitu. Plnivo by mělo být v zásadě inertní vůči pojivu, aby nedocházelo k nežádoucím reakcím a výsledná hmota byla dobře vytvrzená. Avšak některá plniva se mohou s výhodou využít i k ovlivnění chemických reakcí. Stejně jako jsou také schopna modifikovat hořlavost materiálu. Ukazatelem chemické odolnosti pro nás může být s výhodou například obsah  $\text{SiO}_2$ , tedy čím vyšší obsah tím více bude plnivo a celý kompozit odolné.

### Vliv plniv na viskozitu výsledné hmoty

Povrchový profil částic má vliv na viskozitu kompozitních polymerních směsí v čerstvém stavu. Obecně bylo prokázáno, že systémy plněné nepravidelnými částicemi mají vyšší viskozitu než systémy plněné sférickými částicemi. Protože u kulaté částice vykazují menší povrch a působí tedy nižší odpor při obtékání pryskyřicí. Praktické studie ukazují, že suspenze plněné částicemi s ostrými výběžky dosahují vyšší viskozity než suspenze se zaoblenými hranami. Zvýšení viskozity je zapříčiněno zvýšením tření mezi maticí a plnivem a mezi plnivem vzájemně. Nepravidelný povrch také snižuje smáčivost částic taveninou matrice. [51]

### Zdravotní nezávadnost plniva

Cílem je, aby výsledný zpolymerizovaný kompozit byl zdravotně nezávadný. Pokud použijeme plnivo obsahující nějaké škodliviny (např. těžké kovy v malém množství atd) tak musíme zajistit, aby toto plnivo bylo řádně zainkorporováno do polymerní matrice CIPP a nedocházelo k žádnému vyluhování polutantů.

### Granulometrie

Pro metodu CIPP musí být velikost zrna maximálně 80  $\mu\text{m}$ , a to kvůli správnému napuštění polymerního kompozitu do textilní vložky, která bude následně inverzně zatáhnuta do sanovaného potrubí.

### Zbytková vlhkost

Vyžaduje se maximální zbytkovou vlhkost plniva do 2 %, jestliže toto plnivo nesplňuje je nutné jej vysušit. Z důvodu správného spojení plniva s polymerním pojivem.

## **Používání pojiva**

Pro používaná pojiva pro návrh hmoty, která budou vhodná pro metodu CIPP, je nutné zohlednit i následující zkušební metody. A to zejména z důvodu dodržení potřebné kvality polymerní sanační hmoty.

### Přilnavost pojiva k plnivu, možnosti stupně naplnění

Ke správné interakci plniva a polymeru přispívá přilnavost těchto dvou látek. Uchycení polymerního řetězce na povrchu plniva je dosaženo prostřednictvím procesu smáčení. Kompatibilita, smáčivost a vazba mezi polymerem a plnivem jsou důležité faktory podílející se na zlepšení kompozitních vlastností. [41]

### Doba zpracovatelnosti, konzistence, viskozita směsi v čerstvém stavu

Zkoušky polymerního pojiva v čerstvém stavu by měly definovat především dobu zpracovatelnosti (ČSN EN 1289), konzistenci pojiva (ČSN EN 12706), hustotu materiálu (ČSN EN 13813) a hustotu podle normy ČSN EN ISO 1675 a viskozitu daného polymeru (ČSN EN ISO 1628-3). [41]

### Pevnosti, odolnosti a modul pružnosti vytvrzeného kompozitu

Ve vytvrzeném stavu je doporučeno u používaných polymerních pryskyřic zkoušet pevnost v tlaku dle ČSN EN ISO 604, dále pevnost v tahu za ohybu podle normy ČSN EN

ISO 178. Další zkouškou je Rázová houževnatost dle normy ČSN EN ISO 180 a modul pružnosti pojiva podle ČSN EN ISO 604. Dále pak odolnost proti chemickému vlivu dle ČSN EN ISO 175. [41]

## 7.2.2 Definice základních normových požadavků na CIPP

Požadavky na hmoty pro sanaci inženýrských sítí metodou CIPP definuje norma EN 11296-4 plastové potrubní systémy pro renovace beztlakových kanalizačních přípojek a stokových sítí uložených v zemi – Část 4: Vyrožkování trubkami vytvrzovanými na místě.

### Klasifikace částí vložky

Vystýlka dle normy musí obsahovat:

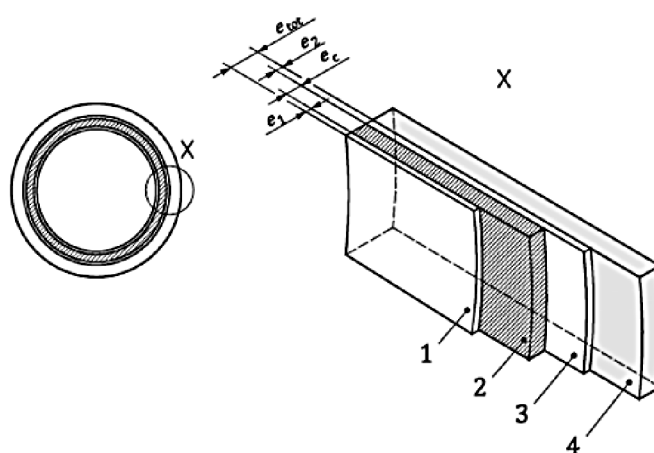
- pryskyřičný systém (2)
- nosný materiál (2)

Kromě toho může obsahovat:

- vnitřní membránu (1)
- vnější membránu (3)

\*čísllice značí umístění na obrázku

4 – stávající potrubí



Obr. 23 Typická konstrukce stěny rukávce [52]

### Materiálové vlastnosti

#### Požadavky na pryskyřičný systém

Pryskyřičný systém se zakládá z pojiva a plniva zkoumané vlastnosti jsou popsány v příslušné normě ČSN EN 11296-4. Při volbě vhodného systému, se musí přihlídnout ke způsobu vytvrzování (sytém iniciovaný teplem/světlem). [52]

#### Požadavky na nosný/vyztužující materiál

Při návrhu nové sanační hmoty, se doporučuje použít jednu až tři kombinované textilie z polyesterových vláken a s vnitřní membránou s vnitřní membránou z polypropylenu/ Etylen-propylen-dienového kaučuku tloušťky 0,5 mm. Vložka, svými parametry vyhovuje požadavkům normy ČSN EN 11296-4. [52]

#### Požadavky na membránu

Protože neexistují žádné požadavky pro membránu, neexistují ani žádná omezení pro výběr materiálů z termo plastů používaných pro membrány. Vnitřní membrány jsou v současnosti především na bázi PP nebo PUR, přičemž membrány na PUR bázi vykazují nižší teplotní odolnost.

Cílem je navrhnout sanační hmotu pro realizaci metodou CIPP, tak aby splňovala všechny parametry pro úspěšnou sanaci poškozeného hostitelského potrubí. Požaduje se zejména rychlé vytvrzení, možnost vytvrzování různými způsoby, vysokou přilnavost sanačního systému k většině stavebních materiálů (především beton, kamenina, kov) ze kterých se vyráběly, a ještě stále vyrábí různá potrubí, a to především kanalizační. [52]

### **Mechanické vlastnosti CIPP potrubí**

Výsledné deformace trub jak po položení, tak po následné konsolidaci zeminy závisí na několika vlastnostech daného potrubí. Tyto vlastnosti jsou v této kapitole definovány a jsou zde stanoveny i jejich minimální hodnoty.

Při zkoušení jednotlivých vlastností, které jsou uvedeny v následujících podkapitolách musí být tyto deklarované hodnoty zvedené v návodu na instalaci pro každý CIPP výrobek s příslušnými zkušebními daty, nebo s odkazem na ně. Tabulka 16 uvádí požadavky na krátkodobé mechanické vlastnosti CIPP trubek.

Tab. 16 Krátkodobé mechanické vlastnosti CIPP trubek [52]

<b>Vlastnost</b>	<b>Požadavek</b>
Počáteční kruhová tuhost	Nejčastěji v rozmezí 6–7 kPa, tato hodnota nesmí být menší než 0,25 kPa.
Krátkodobý modul pružnosti v ohybu	Deklarované hodnoty by měly být v rozmezí cca 1 500–4 000 MPa. Minimální požadovaná hodnota bývá 1500 MPa.
Deformace při prvním porušení	Tato hodnota se často pohybuje okolo 1,5 %, minimální požadovaná hodnota nesmí být menší než 0,75 %.
Napětí v ohybu při prvním porušení	Minimální hodnota je stanovena pomocí statického výpočtu a závisí i na způsobu vytvrzení. Tyto hodnoty bývají obvykle pro trubky vytvrzené pomocí UV okolo 200 MPa, u tepelného vytvrzení 30–50MPa.

Vyvíjený materiál musí dosáhnout minimálních hodnot a nejlépe odpovídat standartním deklarovaným hodnotám. Musí být dosaženy takové parametry, aby byly splněny požadované parametry vyplývající především ze statického výpočtu, přičemž po provedení sanace potrubí (vytvrzení CIPP trubky) se odeberou vzorky pro další zkoušení a také je úspěšnost provedené sanace potrubí kontrolována kamerou. [52]

### **Dlouhodobé mechanické vlastnosti trubek**

Krípový faktor za sucha, musí dosahovat minimální hodnoty  $0,125/S_0$ , kdy  $S_0$  vyjadřuje počáteční kruhovou tuhost.

Dále je důležité definovat dlouhodobý modul pružnosti, který bere v úvahu dimenzaci trubky na 50 let životnosti. V takovém případě by měl být modul pružnosti alespoň 70 MPa.

Tyto hodnoty se zakládají na požadavku dostatečné odolnosti materiálu vůči prolomení nebo deformaci trouby po celou dobu její projektované životnosti. [52]

### **Doplňkové vlastnosti**

Mezi doplňkové vlastnosti zařadíme i odolnost proti chemikáliím při deformaci. Tato vlastnost se bude sledovat především kvůli zamýšlenému prostředí realizace stavebního záměru – kanalizace.

Tato hodnota bude zkoušena pomocí 5% zředěné kyseliny sírové, materiál by měl odolávat takovým způsobem, aby deformace ohybem potrubí nebyla menší než 0,45%. A to i v případě deformace extrapolované na 50 let. [52]

### **Geometrické vlastnosti**

Tloušťky stěn a relativní poloha každé vrstvy stěny CIPP včetně tolerancí se musí stanovit jako deklarované hodnoty. Konstrukce stěny se musí vizuálně ověřit – na okraji ořezané části trubky se zvětšením, pokud je potřebné, a s použitím měřky nebo posuvného měřidla.

Požaduje se, aby byla nejmenší tloušťka stěny 3mm. [52]

## **7.2.3 Definice základních normových požadavků dle ASTM F1216-09**

### **Mechanické vlastnosti**

Požadavky na mechanické vlastnosti (viz. tabulka 17) se v zahraniční formě dost liší, budeme se řídit hodnotami z normy české v kombinaci s normou ASTM F1216-09, zejména z důvodu přísnějšího definování, například pevnosti v tahu za ohybu.

Tab.17 Požadavky na počáteční konstrukční vlastnosti CIPP [53]

<b>Parametr</b>	<b>Minimální hodnota</b>
Pevnost v ohybu	30 MPa
Modul pružnosti	1 724 MPa
Pevnost v tahu (pouze pro tlakové potrubí)	21 MPa

## Podmínky vytvrzení

Pryskyřice musí být schopna se vytvrzovat v přítomnosti vody a zahajovací teplota pro počátek vytvrzování by měla být nižší než 82,2 °C. Lze očekávat, že systém CIPP bude mít minimálně počáteční konstrukční vlastnosti uvedené v tabulce č. 16.

K polymeraci lze použít cirkulující ohřátou vodu. Zařízení by mělo být schopné dodávat horkou vodu v celé sekci rovnoměrně, a zvyšovat teplotu vody na teplotu potřebnou k vytvrzení pryskyřice.

Zdroj tepla by měl být vybaven vhodným měřicím přístrojem pro měření příchozí a odchozí teploty vody. K počátku vytvrzování dojde při zahřátí na definovanou teplotu a proces je dokončen, až když jsou odkryty části nové trubky.

Teplota pro vytvrzení by měla být udržována po celou výrobcem doporučenou dobu. Během této doby recirkuluje voda a díky tomu dochází k udržení stanovené teploty. Při ošetřování pomocí metody CIPP se musí brát v úvahu existující materiál potrubí, pryskyřičný systém a podmínky zeminy (teplota, vlhkost a tepelná vodivost půdy).

Pro distribuci páry je zapotřebí zařízení na výrobu páry, které páru rovněž prohání skrz potrubí. Zařízení by mělo být schopné dodávat páru skrz sekce pro rovnoměrné zvýšení teploty v potrubí na teplotou požadovanou k vytvrzení pryskyřice. [54]

## Chemická odolnost

Expozice pro testování chemické odolnosti by měla být při teplotě 23 °C, a to po dobu minimálně jednoho měsíce. Během tohoto období by neměly zkušební vzorky CIPP přijít o více než 20% počáteční pevnost v ohybu a modul pružnosti o pevnost v tahu souladu s minimálními mechanickými požadavky (viz tab. 17).

Tabulka 18 uvádí seznam chemických roztoků, které slouží jako doporučený minimální požadavek pro vlastnosti chemické odolnosti CIPP ve standardních domácnostech pro sanitární kanalizační aplikace. Pro jiné než standardní domácí aplikace kanalizace, se doporučuje provést testy chemické odolnosti se skutečnými vzorky tekutiny proudící v potrubí. Tyto testy lze také provést uložením testu přímo do aktivního potrubí sanovaného metodou CIPP.

Pro určení chemické odolnosti bude vzorek zkoušen zředěnou 5 % kyselinou sírovou, dále pak kyselinou dusičnou. Hmota musí odolávat i běžným formám znečištění, pro účely výzkumu byl vybrán rostlinný olej a mýdlo. [55]

Tab. 18 Minimální požadavky na chemickou odolnost [54]

Minimální požadavky na chemickou odolnost pro domácí aplikaci sanitární kanalizace:	
Koncentrace chemického roztoku	%
Pitná voda (pH 6–8)	100
Kyselina dusičná	5
Kyselina fosforečná	10
Kyselina sírová	10

Benzín	100
Rostlinný olej	100
Prací prostředek	0,1
Mýdlo	0,1

### Základní parametry pro volbu tloušťky stěny CIPP

Tloušťka stěny CIPP se zakládá zejména na níže uvedených parametrech:

- Charakteristika odpadní vody (pH, teplota, tlak)
- Hloubka založení
- Charakteristika zeminy
  - Tlak zeminy
  - Úroveň hladiny podzemní vody
- Návrhová životnost prováděné sanace

Při volbě tloušťky je doporučeno dbát také na znalosti hydraulických procesů podzemních vod v místě sanovaného potrubí. Tloušťku potrubí mimo vypsané charakteristiky ovlivňuje také rozkolísanost podzemních vod.

Minimální tloušťka vrstvy vychází ze statického výpočtu, který zahrnuje výpočet vnějšího tlaku působícího na potrubí:

$$P = \frac{2KE_L}{(1 - \nu^2)} \cdot \frac{1}{(SDR - 1)^3} \cdot \frac{C}{N}$$

kde:

P = zatížení podzemní vody, psi (MPa),

K = faktor charakterizující vztah mezi potrubím a zeminou (minimální hodnota 7,0),

EL = dlouhodobý modul pružnosti pro CIPP,

n = Poissonův poměr (průměr 0,3),

SDR = standardní poměr rozměrů CIPP,

C = faktor redukce zakřivení (pouze v případě oválného potrubí),

N = součinitel bezpečnosti.

Na základě tohoto vzorce a průměru původního potrubí odvodíme pomocí tabulky minimální požadovanou tloušťku CIPP. [53]

Tab. 19 Maximální zatížení podzemní vodou pro podmínky gravitačního potrubí [53]

Vnitřní průměr původního potrubí [mm]	Minimální tloušťka CIPP [mm]	Maximální přípustný tlak podzemní vody [m]
203	6	12,2
254	6	6,1



305	6	3,5
381	9	6,1
457	9	3,5
457	12	8,5
610	12	3,5
610	15	6,9
762	15	3,5
762	18	6,1

## 7.2.4 Vyhodnocení II Etapy

Cílem druhé etapy je návrh metodiky zkoušení nových hmot pro sanaci vybraných inženýrských sítí, a to zejména se zaměřením na zkoušky vstupních surovin.

V navržené metodice se nejprve ověřují vlastnosti jednotlivých vstupních surovin, které musí odpovídat předem definovaným požadovaným parametrům. Po výběru vhodných surovin následuje aplikační test. Aplikační test slouží k ověření zpracovatelnosti a aplikačních možností. Zejména hodnotíme prosycení vložky danou hmotou, viskozitu směsi, homogenitu a pórovitost. Na základě výsledku těchto testů se vyberou vhodné hmoty a ty se zkouší podrobněji dále.

V navazující části, pokročilého testování bude následovat zkoušení materiálových vlastností, geometrické vlastnosti vložky, přilnavost výstelky k potrubí a rychlost vytvrzení. Dále jsou zkoušeny mechanické vlastnosti, jako pevnost v ohybu, modul pružnosti, kruhovou tuhost a počáteční deformaci.

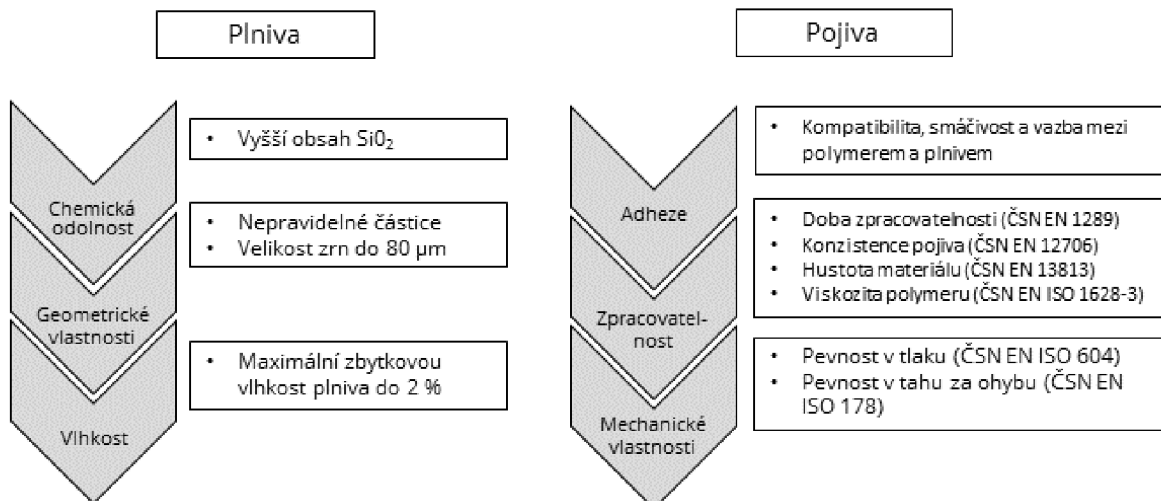
Dále bude zkoušena chemická odolnost, tzn. vystavení působení kyselin, organickým látkám, rozpouštědlům a saponátům. Bude následovat studium mikrostruktury navržené hmoty, která prošla výše uvedeným chemickým zatěžováním. Jejím cílem je pomocí optického mikroskopu ověřit pórovitost, prosycení a míru penetrace agresivních látek do zkoumaného vzorku.

Po provedení výše uvedených pokročilých testů bude následovat opětovné ověření základních mechanických vlastností ohybové vlastnosti, pórovitost a deformace.

Celý tento postup je graficky znázorněn na následujícím diagramu.

## Návrh metodiky zkoušení nových hmot pro sanaci inženýrských sítí

### Zkoušení vstupních surovin

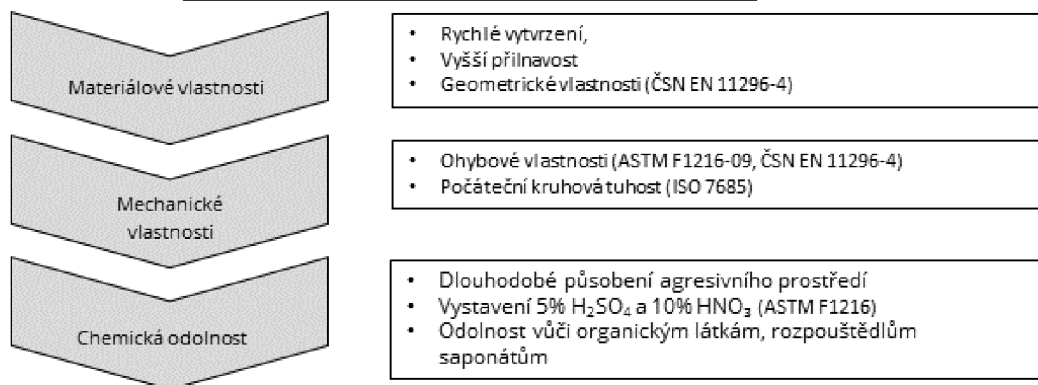


Výběr vhodného plniva a pojiva

### Aplikační test

- Prosycení vystýlky, viskozita s plnivem,
- homogenita, pórovitost

### Výběr vhodných receptur pro další zkoušení



### Studium mikrostruktury - optickým digitálním mikroskopem, (pórovitost, prosycení, penetrace agresivních látek)

Mechanické vlastnosti po chemickém namáhání

- Maximálně 20 % snížení ohybových vlastností (ASTM F1216-09)
- Pórovitost materiálu, vizuální posouzení
- Deformace materiálu, snížení přilnavosti

Obr. 25 Shrnutí II. etapy

## 7.3 ETAPA III – NÁVRH RECEPTURY NA HMOTU PRO METODU CIPP

V této etapě je cílem návrh receptur polymerního kompozitu, který bude vhodný pro bezvýkopovou technologii CIPP. Navržené receptury jsou vhodné především do chemicky namáhaných prostředí z důvodu projektovaného využití přednostně v kanalizačních potrubích. V recepturách bude využito vhodných druhotných surovin za účelem snížení ekonomické a ekologické náročnosti výroby.

Nové receptury musí splnit veškeré požadované vlastnosti, jež jsou popsány v kapitole 6.2 Požadavky na navrhovanou sanační hmotu pro metodu CIPP, pro toto byla již navržena metodika zkoušení, podle které se postupovalo.

### 7.3.1 Návrh receptur

#### Vstupní suroviny

Jako pojivo byla vybrána polyesterová pryskyřice. Z posuzovaných pryskyřic nejlépe splňuje požadavky na nízkou viskozitu a ekonomickou výhodnost. Použití tohoto typu pryskyřice je zároveň používanou technologií CIPP dlouhodobě ověřeno.

Primárním plnivem bude mikromletý vápenec, který je v současné době standardním plnivem pro danou technologii, ten bude v navržených recepturách částečně nahrazován druhotným plnivem.

Sekundární druhotná plniva budou tvořit vybrané druhotné suroviny. Na základě optimalizačního výpočtu byly stanoveny vysokoteplotní popílek, jako představitel vstupní suroviny bez nutnosti předúpravy a odpadní pěnové sklo jako představitel suroviny s předúpravou.

Návrh receptur musí být tvořen tak, aby došlo k požadovanému dokonalému prosycení rukávce bez vzniku vzduchových bublin, proto musí být veškeré použité plnivo namleté na maximální velikost částic 80  $\mu\text{m}$ .

Dalším parametrem pro vytvoření receptury je vhodná viskozita směsi. Viskozita bude řízena pomocí míry naplnění pojiva plnivem. Z tohoto důvodu bude v návrhu několik možností plnění, které budou dále podrobeny experimentálnímu ověření.

Pro prvotní experimenty byly navrženy dvě výchozí receptury, jedna využívající jako druhotnou surovinu vysokoteplotní popílek s názvem Ashtech, druhá využívající jako druhotnou surovinu odpadní pěnové sklo s názvem Glasstech. Tyto navržené receptury bude doplňovat třetí referenční receptura, kterou bude tvořit směs pouze s primárním plnivem, bez použití druhotných surovin. Referenční receptura se bude sestávat z 20 % primárního plniva (mikromletý vápenec) a 80% pojiva (polyesterová pryskyřice).

#### **Návrh receptury Glasstech**

Jako pojivo je zde použita chemicky odolná modifikovaná nenasycená polyesterová pryskyřice pro termoreaktivní CIPP systémy, která vyhovuje svými vlastnostmi a je vhodná do instalačního prostředí [55]. Primárním plnivem je zde mikromletý vápenec, který je doplňován v receptuře druhotným plnivem. Druhotné plnivo bude pro tuto hmotu

odpadní pěnové sklo. Odpadní pěnové sklo musí být před aplikací domíláno na velikost pod 80 µm. Poměry mezi primárním a druhotným plnivem byly navrženy pro dosažení co možná nejlepší viskozity směsi, možnosti lepšího prosycení výstelky a dosažení sledovaných vlastností hmoty, zejména pevností a vyšší chemické odolnosti.

Návrh vychází ze základního poměru mezi pojivem a plnivem 80:20, který je znám z praxe. Primární plnivo je pak nahrazováno druhotným plnivem v poměru 25 %, 50 % a 75 %. V daných recepturách je primární plnivo, částečně zachováno proto aby se co nejvíce přiblížilo vlastnostem původní (referenční) hmoty. Zejména zpracovatelnost a viskozita.

	Plnivo		
	Pojivo	Primární	Druhotné plnivo
Glasstech 1	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 15%	Pěnové odpadní sklo 5%
Glasstech 2	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 10%	Pěnové odpadní sklo 10%
Glasstech 3	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 5%	Pěnové odpadní sklo 15%

Obr.26 Návrh receptury Glasstech, složení je vyjádřeno v hmotnostních %

### Návrh receptury Ashtech

I zde je jako pojivo použita chemicky odolná modifikovaná nenasycená polyesterová pryskyřice pro termoreaktivní CIPP systémy, která vyhovuje svými vlastnostmi a je vhodná do instalačního prostředí [55]. Primárním plnivem je zde mikromletý vápenec, který je doplňován v receptuře druhotným plnivem. Druhotné plnivo bude pro tuto hmotu fluidní popílek z Kladna. Narozdíl od odpadního pěnového skla nemusí být vysokoteplotní popílek předupravován domíláním. Poměry mezi primárním a druhotným plnivem byly navrženy pro dosažení co možná nejlepší viskozity směsi, možnosti lepšího prosycení výstelky a dosažení sledovaných vlastností hmoty, zejména pevností a vyšší chemické odolnosti.

Návrh vychází ze základního poměru mezi pojivem a plnivem 80:20. Primární plnivo je pak nahrazováno druhotným plnivem v poměru 25 %, 50 % a 75 %.

V daných recepturách je primární plnivo částečně zachováno proto, aby se jejich vlastnosti co nejvíce přiblížily vlastnostem původní (referenční) hmoty.

	Plnivo		
	Pojivo	Primární	Druhotné plnivo
Ashtech 1	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 15%	Fluidní popílek 5%
Ashtech 2	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 10%	Fluidní popílek 10%
Ashtech 3	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 5%	Fluidní popílek 15%

Obr.27 Návrh receptury Ashtech, složení je vyjádřeno v hmotnostních %

### 7.3.2 Závěr III etapy návrhu receptury na hmotu pro metodu CIPP

Tato etapa je zaměřena na návrh receptur vyvíjených hmot pro syčení rukávců metodu CIPP, dále jen „Hmoty“. Jako jednotné pojivo je zvolena polyesterová pryskyřice a navržené Hmoty se liší druhem druhotného plniva, které je buď s předúpravou nebo bez ní. Jako plnivo primární je pro obě receptury zvolen mikromletý vápenec, díky dobrým mechanickým vlastnostem a také díky vysoké chemické odolnosti.

Na základě vizuálního sledování viskozity a zpracovatelnosti navržených receptur bylo zvoleno:

První receptura s názvem Glasstech bude obsahovat odpadní pěnové sklo, které se v rámci optimalizačního výpočtu ukázalo jako nejlepší. Tato receptura bude zkoušena s 10% naplnění odpadního pěnového skla a 10 % naplněním mikromletým vápenecem, kvůli dosažení optimálního poměru mezi aplikačními vlastnostmi a vlastnostmi ve zpolymerizovaném stavu.

Druhá receptura s názvem Ashtech má jako druhotné plnivo navržený fluidní popílek, ten byl vybrán z důvodu nulové předúpravy před použitím do polymerní matrice. I tato receptura je navržena ve stejném poměru plnění primární a druhotné suroviny (10:10), ze stejného důvodu jako u receptury Glasstech.

Referenční receptura, bude obsahovat pouze primární plnivo, s hmotnostním plněním 20 % a 80 % polyesterové pryskyřice.

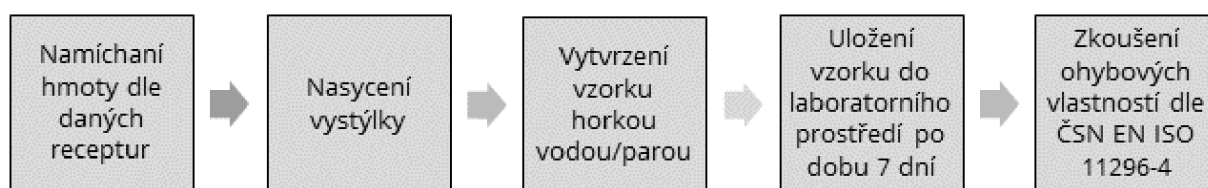
## 7.4 ETAPA IV – EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÝCH RECEPTUR

V této etapě byly experimentálně ověřeny vybrané vlastnosti navržených receptur sytících směsí pro metodu CIPP. Ověřeny byly vlastnosti jak v čerstvém, tak i ve zpolymerizovaném stavu. K experimentálnímu ověření byly zvoleny tři receptury, a reference, Ashtech 2 a Glasstech 2. Jejich složení je popsáno v následující tabulce.

	Plnivo		
	Pojivo	Primární	Druhotné plnivo
Reference	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 20%	
Ashtech 2	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 10%	Fluidní popílek 10%
Glasstech 2	Polyesterová pryskyřice 80%	Mikromletý vápenec 10%	Pěnové odpadní sklo 10%

Obr. 28 Složení receptur pro experimentální ověření, složení je vyjádřeno v hmotnostních %

Navržené receptury směsí byly experimentálně zpracovány a ověřovány dle následujícího diagramu (obr. 29). Zvolený postup vychází z návrhu metodiky popsané v kapitole Požadavky na navrhovanou sanační hmotu pro metodu CIPP. Vybrány byly typické ověřovací zkoušky zkoumající zpracovatelnost, viskozitu a mechanické vlastnosti (ohybové).



Obr. 29 Navržený postup pro experimentální ověření navržených receptur

#### 7.4.1 Výroba vzorku pro experimentální ověření

Pro experimentální ověření Hmoty bylo nutné vyrobit vzorky, které odpovídají reálnému nasycení rukávce a jeho následnému vytvrzení. Pro podmínky této práce, byla vybrána laboratorní upravená metoda, při které je nasycen a následně vytvrzen speciální testovací vzorek, přesných rozměrů odpovídající použitému zařízení.

V první fázi přípravy vzorků bylo nutné připravit vzorek rukávce, který je standardně používán pro vyvločkování metodou CIPP. Tento rukávec se skládá ze dvou částí, které se díky řádnému prosycení a následnému vytvrzení spojí do jedné pevné a neoddělitelné vrstvy. Byl tedy připraven vzorek o průměru 18 cm, kde první vrstvu tvoří výstřižek rukávce ozn. A-s tloušťkou 7 mm a druhou vrstvu tvoří výstřižek rukávce stejného složení o tloušťce 4 mm, který je navíc opatřen odolnou měkčenou polyvinylchloridovou folií.

Následovala příprava plniv. Předupraveno muselo být plnivo receptury Glasstech. Po namletí bylo proseto sítím o velikosti ok 0,063 mm, aby byla zajištěna správná křivka zrnitosti. V další kroku byly Hmoty naváženy a namíchaný dle předepsaných receptur.



Obr. 30 Prosetí pěnového odpadního skla sítím 0,063 mm



Obr. 31 Textilní polyesterové vystýlka a textilní polyesterová vystýlka s měkčenou polyvinylchloridovou vnitřní membránou pro nasycení vzorků

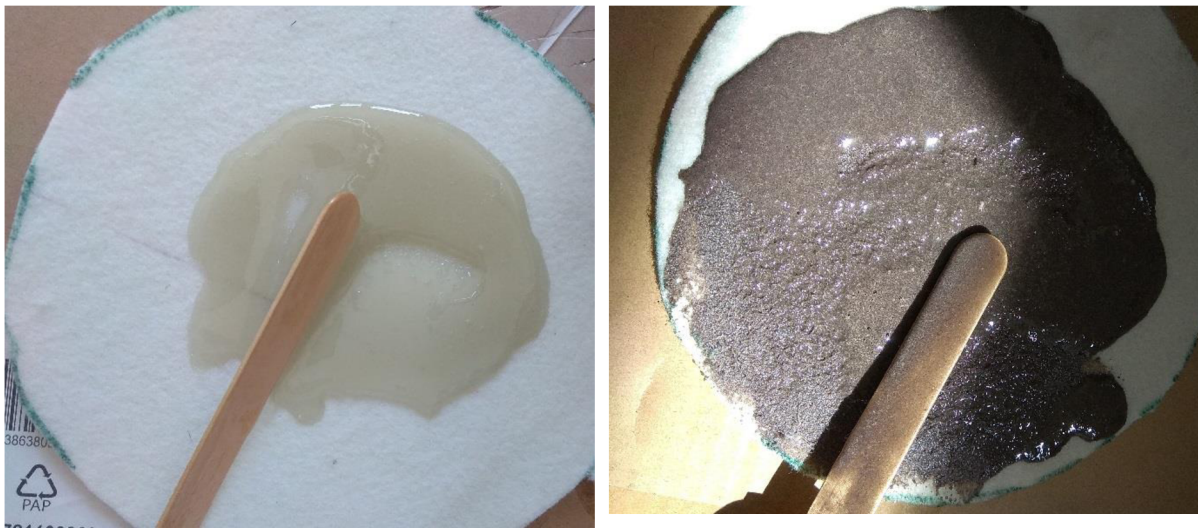
Pro každou směs byla nejprve odvážena modifikovaná polyesterová pryskyřice skládající se ze dvou složek a dále iniciátor Perkadox 16 (Di(4-terc-butylcyklohexyl)



peroxydikarbonát) v hmotnostním poměru 99:1. Po zhomogenizování byly vždy přidávány odvážená plniva pro příslušnou konkrétní Hmotu. Po dokonalém promíchání bylo možné přistoupit k sycení připravených rukávců. [55]

Sycení probíhalo v laboratorních podmínkách tak, aby se co nejvíce přiblížilo sycení rukávců v praxi.

Směs byla nanášena na všechny tři plochy rukávce dřevěnou špachtlí, konstantním tlakem a během sycení rukávce byla vizuálně kontrolována viskozita hmoty, a to i stupeň prosycení ve všech jeho částech.



Obr. 32 Manuální sycení vystýlky navrhovanými recepturami (vlevo sycení referencí, vpravo sycení polymerní hmotou Ashtech)



Obr. 33 Prostup sytící hmoty vzorkem (polymerní hmota Glasstech)

Obě nasycené části vzorku rukávce byly přiloženy k sobě a byly uloženy do speciálního laboratorního hrnce s nastavitelnou hodnotou tlaku a času. V hrnci byly



zatíženy závažím a byly vystaveny přetlaku o hodnotě 60 KPa, teplotě okolo  $\sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$  a to po dobu 40 minut. Poté byly vyjmuty a uloženy v laboratorním prostředí po dobu 7 dní.



Obr. 34 Vytvrzování vzorků horkou parou v tlakovém hrnci

Po 7 dnech byly vzorky nařezány, pomocí stolní pily s diamantovým pilovým listem, na formát pro zkoušení ohybových vlastností vyrobených sanačních hmot CIPP.



Obr. 35 Vytvrzené vzorky: (A) Ashtech, (B) referenční směs, (C) Glasstech

## 7.4.2 Zkoušení vlastností v čerstvém stavu

V testu byly vyhodnoceny základní vlastnosti připravovaných směsí v čerstvém stavu. Měřeny byly hodnoty viskozity, objemové hmotnosti v čerstvém stavu, byla posuzována homogenita směsi, i schopnost prosycení výstelky.

Nasycení výstelky bylo posuzováno tak, že vzorek rukávce byl nasycen mechanicky připravovanou směsí, za kontrolovaných laboratorních podmínek tak, aby byly vyplněny všechny dutiny a výstelka byla zcela nasycena. Měřeno bylo množství použitého materiálu. Vizualně byla při tom kontrolována zpracovatelnost hmoty, a to, zda nedochází ke shlukování plniva apod. Vizualní pozorování bylo dokumentováno fotograficky.

### Viskozita navrhované polymerní hmoty

Viskozita směsí byla měřena pomocí Fordova výtokového pohárku (Obr. 36) v čase 5 minut po zamíchání směsi, dle normy ČSN EN ISO 2431. Aby bylo možné optimálně změřit vytékání hmoty, byl použit Fordův kelímek s průměrem výtokové trysky 12 mm. V uvedené normě není popsán přesný kalibrační vztah pro tento typ Fordova výtokového pohárku, byla viskozita zkoušených hmot porovnávána na základě výtokového času pro hmotu referenční.



Obr. 36 Měření času výtoku hmoty z Fordova pohárku o průměru výtokového otvoru 12 mm – referenční směs

Fordův výtokový pohárek má přesně definovány rozměry včetně jejich povolených tolerancí mezinárodní normou ČSN EN ISO 2431. Byl nejprve naplněn ve vodorovné poloze zkoušenou hmotou, až po okraj – ryska. Poté byl spuštěn čas, a byla uvolněná spodní část pohárku – tryska o průměru 12 mm. Poté co vytekla veškerá hmota a bylo vidět skrz pohárek bylo měření času ukončeno.

Tab. 20 : Zaznamenané hodnoty doby výtoku

Doba výtoku	
Označení receptury	Doba výtoku [s]
REFERENČNÍ SMĚS	13,48
GLASSTECH 2	12,54
ASHTECH 2	13,43

### Hustota v čerstvém stavu

Tato zkouška vychází z normy ČSN EN ISO 2811-1 „Nátěrové hmoty – Stanovení hustoty – Část 1: Pyknometrická metoda“ [56]. V rámci určení hustoty v čerstvém stavu byla stanovena hmotnost hmoty o předem známém objemu, konkrétně 0,04 l. Tyto hodnoty byly následně přepočítány na hustotu v čerstvém stavu – viz Tab. 21. Nejvyšší hustota byla zaznamenána u referenční hmoty, a to z toho důvodu, že křemenná moučka vykazuje z použitých plniv nejvyšší měrnou hmotnost.

Tab. 21 : Zaznamenané hodnoty objemové hmotnosti

Hustota	
Označení směsi	[kg/m <sup>3</sup> ]
REFERENČNÍ SMĚS	1240
GLASSTECH 2	1210
ASHTECH 2	1230

### Sledování zpracovatelnosti a prosycení vystýlky

Tab. 22 : Posouzení zpracovatelnosti navržených receptur

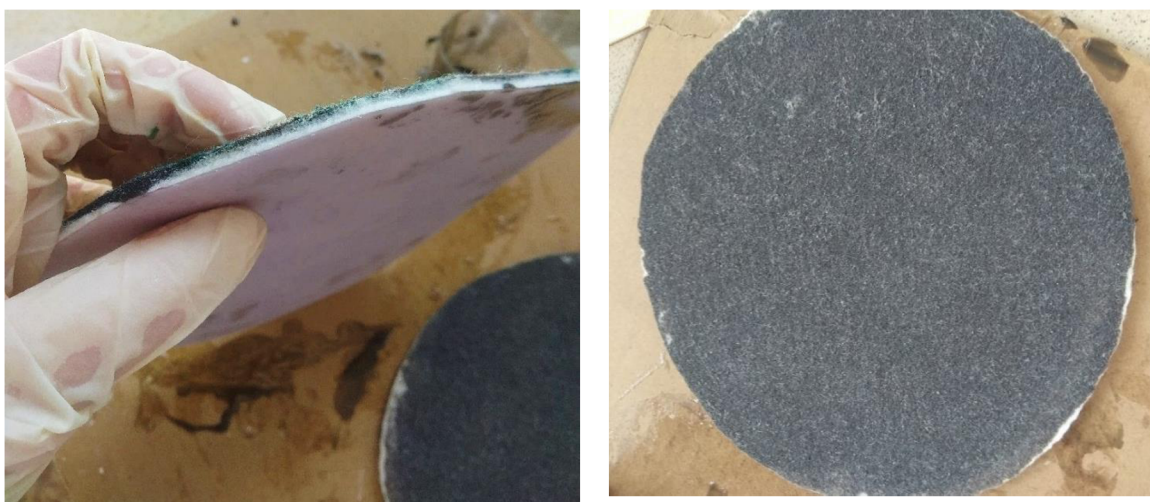
Posouzení zpracovatelnosti a výpočet spotřeby hmoty na 1 m <sup>3</sup>		
Označení směsi	Spotřeba směsi [kg/m <sup>2</sup> ]	Zpracovatelnost
REFERENČNÍ SMĚS	3,9	Tato zpracovatelnost je pro další posuzování vybrána jako optimální. Příprava jednotlivých složek také. Použité látky byly kompatibilní, příprava byla časově nenáročná. Sycení rukávce bylo standartní, hmota bez problému zaplnila póry rukávce a prosákla na druhou stranu. Nedošlo k segregaci plniva na povrchu rukávce.
GLASSTECH 2	4,11	Ve srovnání s referenční směsí byla příprava plniva náročná. Zajistit dostatečně jemnou frakci odpadního pěnového skla, tedy plniva, bylo časově i energeticky náročné. Výsledná směs byla, ale dobře zpracovatelná. Jednotlivé složky jsou kompatibilní. Sycení rukávce bylo mírně



		náročnější, bylo potřeba většího mechanického přitlaku, aby se rukávec řádně prosytil. Nedošlo k segregaci plniva na povrchu rukávce. Výsledné zbarvení rukávce, resp. sytící hmoty bylo zapříčiněno barvou jemně mletého druhotného plniva – černé zbarvení.
ASHTECH 2	3,77	Ve srovnání s referenční směsí byla zpracovatelnost směsi obdobná, časová i mechanická příprava jednotlivých složek nebyla náročná. Ale k syčení rukávce bylo potřeba většího mechanického přitlaku, plnivo mělo lehkou tendenci segregovat na povrchu rukávce a prosycení trvalo déle než u směsi referenční. Jednotlivé složky byly kompatibilní. Výsledné zbarvení rukávce, resp. sytící hmoty, bylo zapříčiněno barvou druhotného plniva – šedé zbarvení.

### Aplikační test

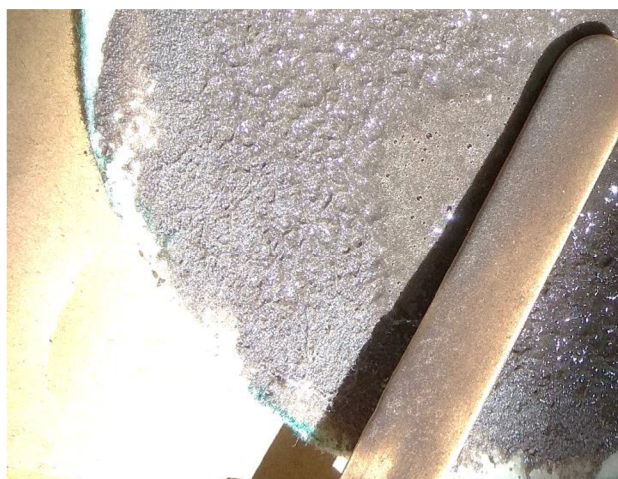
V rámci aplikačního testu. bylo vizuálně posuzováno zbarvení a prosycení textilního rukávce zkoušenými hmotami. Na Obr. 37 lze pozorovat postupné syčení rukávce hmotou Glasstech, rukávec se díky syčení zbarvil do černé barvy. Na Obr. 38 došlo k plnému nasycení referenční směsí, můžeme pozorovat prosáknutí hmoty na rub rukávce, vlivem aplikace směsi nedošlo k žádnému zbarvení. Na Obr. 39 lze pozorovat nasycení rukávce hmotou Ashtech, během syčení došlo vlivem hmoty ke změně zbarvení a na šedou barvu.



Obr. 37 Zbarvení a prosycení rukávce Glasstech v čerstvém stavu



Obr. 38 Zbarvení a nasycení rukávce referenční směsi – rub a líc vzorku



Obr. 39 Zbarvení a nasycení rukávce hmota Ashtech

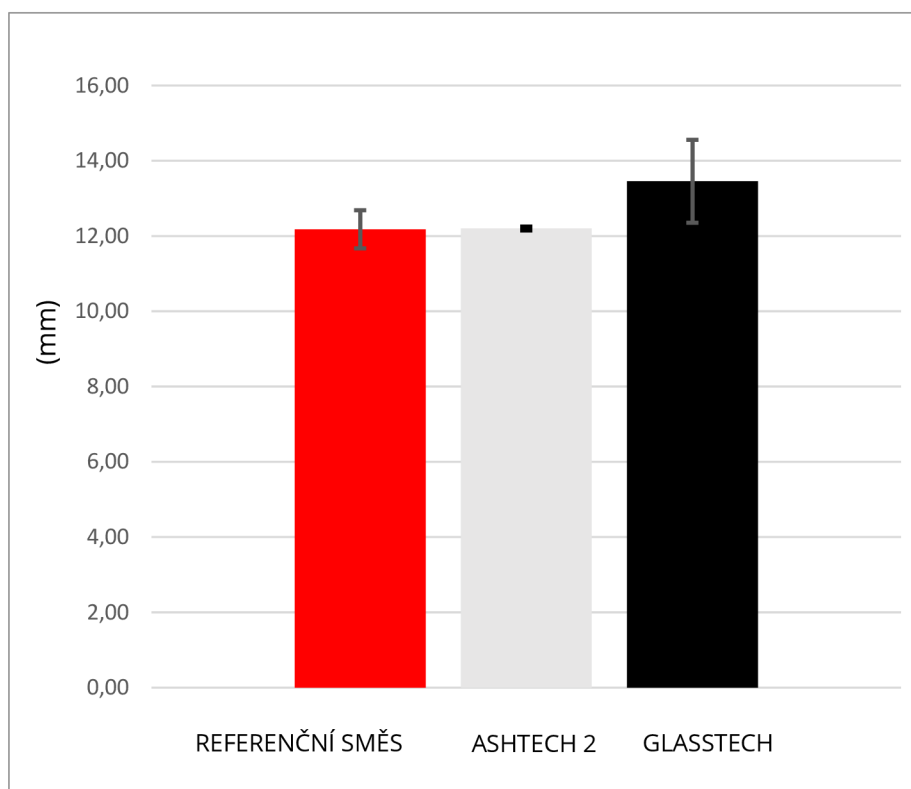
### 7.4.3 Zkoušení ohybových vlastností

Po vytvrzení vzorku v tlakovém hranici, byly tyto uloženy po dobu 7 dní v laboratorním prostředí, poté byly nařezány, pomocí stolní pily s diamantovým pilovým listem, na požadované rozměry. Rozměry vzorků vychází z normy ČSN EN ISO 11296-4 a byly připraveny jako výřezy o šířce 50 mm a jejich délka musí být minimálně šestnáctinásobek tloušťky. Ve sledovaném konkrétním příkladě byly vzorky délky 180 mm. Připravené vzorky byly uloženy v laboratorním prostředí při laboratorní teplotě, při relativní vlhkosti 55 %. Byly posuzovány jejich geometrické a ohybové vlastnosti.

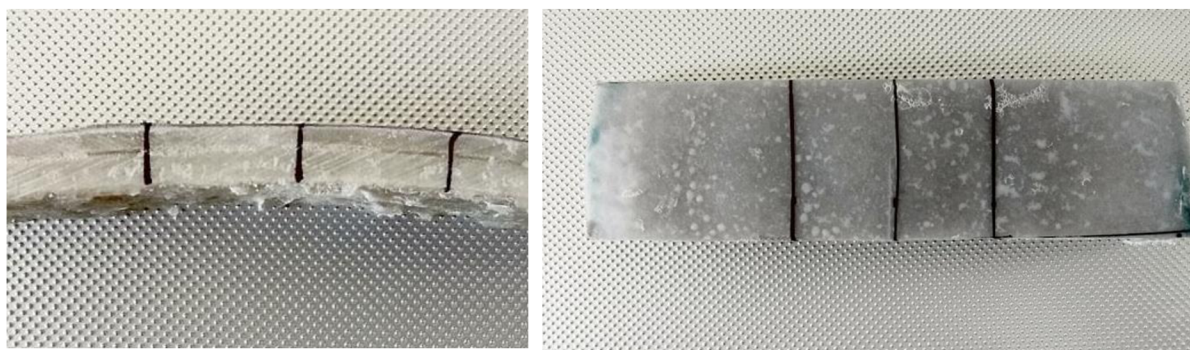
#### Geometrické vlastnosti

Geometrické vlastnosti jsou nejprve posuzovány vizuálně, sleduje se: správné prosycení sanační vložky, zda není vložka svaštělá a je po celém obvodu vzorku přilnutá.

Tloušťka vzorku je ověřována digitálním posuvným měřidlem na vnější zápich, zápich 0,9 mm, čelisti 60 mm. Zkušební těleso je měřeno na šesti bodech střední třetiny jeho rozpětí, podle obrázku 41.



Obr. 40: Grafické porovnání tlouštěk jednotlivých vzorků



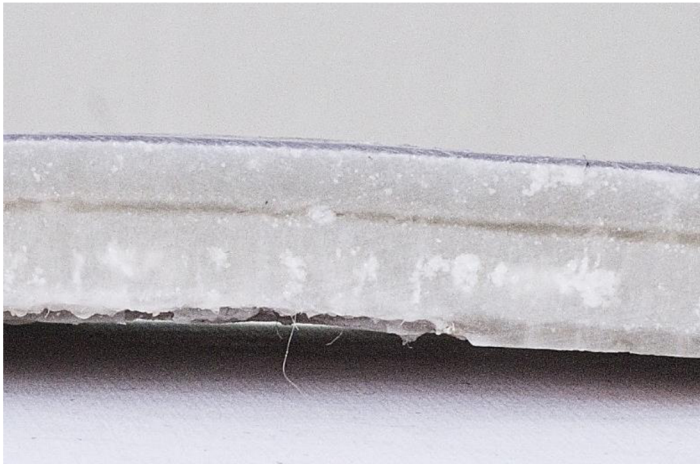


Obr. 41 Tvar příčného průřezu zkušebního tělesa s vyznačenými body měření tloušťky [52]

### Vizuální posouzení vzorků

Po nařezání vzorků pro ohybovou zkoušku, bylo vizuálně posouzené prosycení obou částí vložek. Dále pak vhodné slinutí obou částí kompozitu, případná segregace plniva v polymerní matrici.



Tab. 23: Grafické posouzení vytvrzených vzorků

Referenční vzorek – plnění 20 % mikromletý vápenec [hmotnostní %]	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vytvrzení vložky po celém obvodu</li> <li>- Barva stálá</li> <li>- Neobsahuje póry, nebo dutiny</li> </ul>
Ashtech – plnění 10 % fluidní popílek a 10 % mikromletý vápenec [hmotnostní %]	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vytvrzení po celém obvodu vzorku</li> <li>- Barva šedá, způsobeno barvou druhotného plniva</li> <li>- Neobsahuje póry, nebo dutiny</li> <li>- Obě části vložky jsou slinuté</li> </ul>
Glasstech – plnění 10 % pěnové odpadní sklo a 10 % mikromletý vápenec [hmotnostní %]	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vytvrzení po celém obvodu vzorku</li> <li>- Barva černá, způsobeno barvou druhotného plniva</li> <li>- Neobsahuje póry, nebo dutiny</li> <li>- Obě části vložky jsou slinuté</li> </ul>

### **Ohybové vlastnosti dle normy ČSN EN ISO 178 - Plasty - Stanovení ohybových vlastností**

Modul v pružnosti v ohybu byl zkoušen na třech vzorcích, od každé receptury jeden, které mají požadované rozměry. Výpočet ohybových vlastností byl proveden dle norem ČSN EN ISO 11296-4 a ČSN EN ISO 178. Zkušební tělesa byla před zkoušením uložena do laboratorního prostředí po dobu 24 hodin před zkoušením. Takto připravené vzorky se vložily do hydraulického lisu, symetricky podle jejich podélné osy kolmo k podpěrám tak, aby se vnitřní povrch CIPP působením zatížení protahoval (obr. 42).

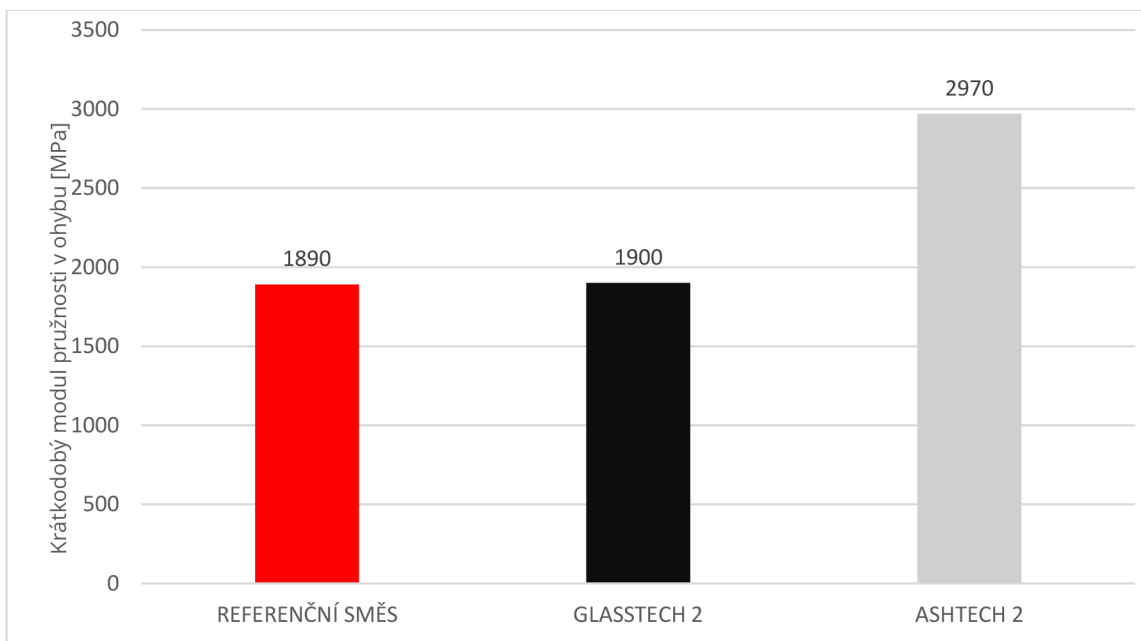
Zkušební těleso se vystaví tříbodovému ohybovému namáhání při konstantním zatížení. Z napětí a deformace zkušební tělesa uprostřed mezi opěrami se vypočítá krátkodobý modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu při prvním porušení.



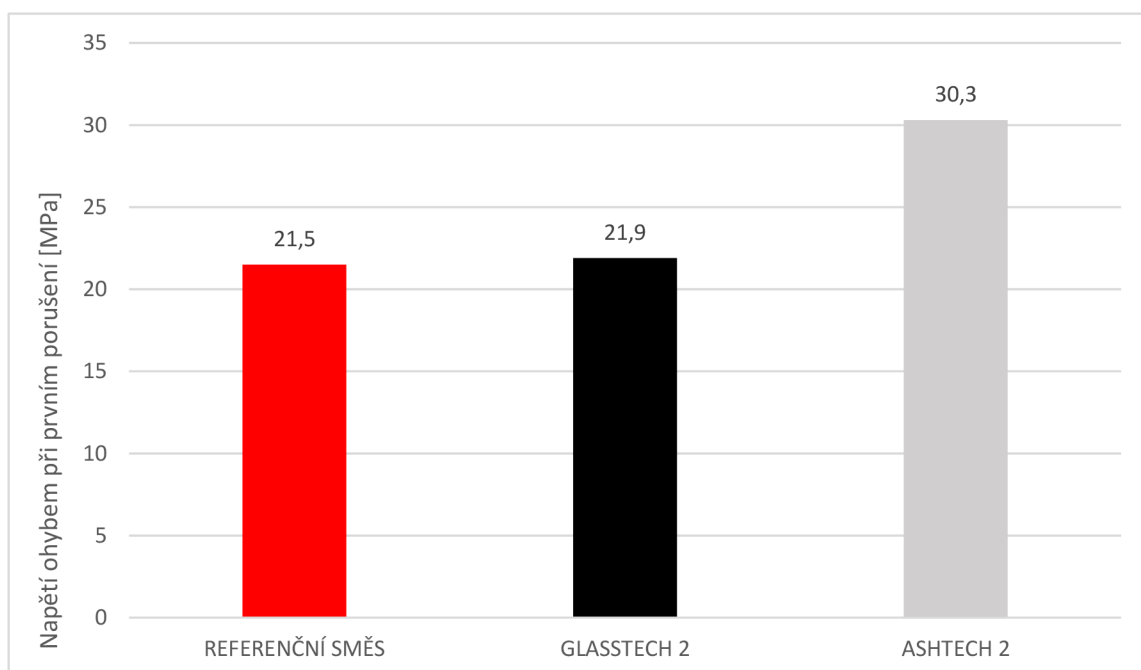
Obr. 42 Tříbodové ohybové namáhání

Těleso je namáháno tak, aby ohybové namáhání probíhalo na polyethylenové straně, vzorek je tedy upnut touto stranou dolů. Rychlost předzatížení byla : 2 mm/min a rychlost v průběhu ohybového namáhání byla: 10mm/min.

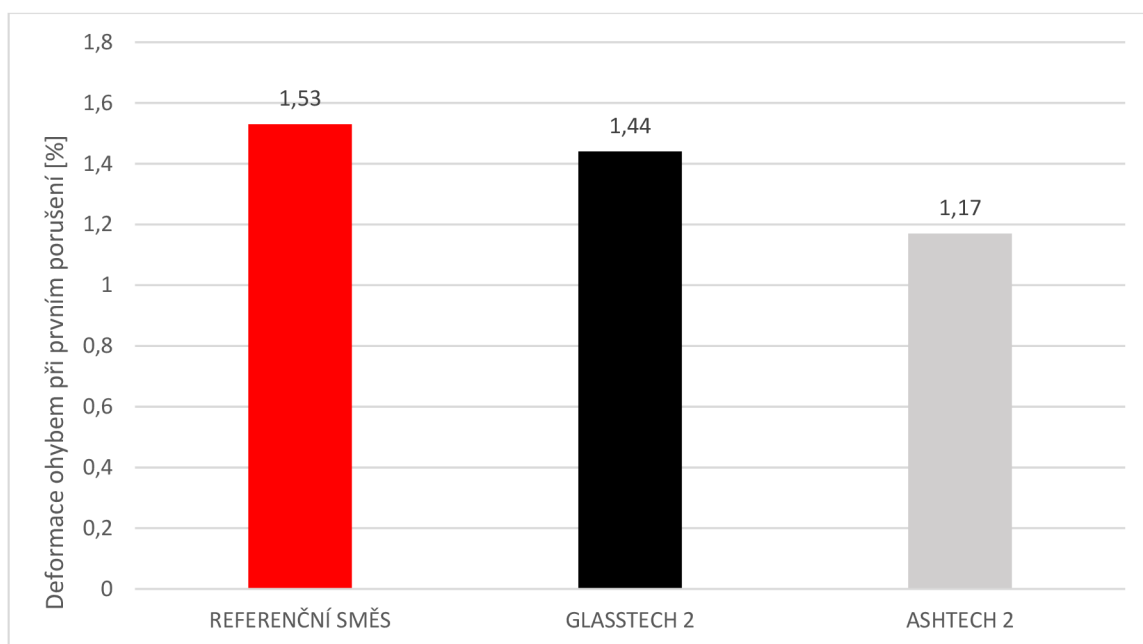




Obr. 43 Graf vyjadřující krátkodobý modul pružnosti v ohybu v závislosti na typu receptury



Obr. 44 Graf vyjadřující napětí v ohybu při prvním porušení v závislosti na typu receptury



Obr. 45 Graf vyjadřující deformace ohybem při prvním porušení v závislosti na typu receptury

#### 7.4.4 Závěr IV etapy

V závěrečné, IV. etapě – experimentální ověření vybraných vlastností, byly v laboratorních podmínkách odzkoušeny vybrané vlastnosti nově navržených základních receptur a porovnány s referenční hmotou, která představuje v současnosti standard používaný při technologii CIPP. Připraveny byly tak dvě nové receptury, z nichž každá je reprezentantem samostatné vývojové větve a pro porovnání i referenční směs.

Referenční směs obsahuje pouze mikromletý vápenec jako plnivo a polyesterovou pryskyřici jako pojivo. Prvním vývojovým testovaným vzorkem byla hmota Ashtech, ve které bylo plnivo připraveno z 10 % fluidního popílku (druhotná surovina) a doplněno 10% primárního plniva – mikromletým vápencem, přičemž jako pojivo byla použita totožná polyesterová směs.

Druhým vývojovým testovaným vzorkem byly hmota Glasstech s 10 % odpadního pěnového skla, představující sekundární plnivo – druhotný materiál, doplněný 10 % primárním plnivem – mikromletým vápencem. Jako pojivo byla použita opět totožná polyesterová směs. Výběr konkrétních základních vývojových receptur a jejich složení bylo řešeno ve II. a III. etapě. Z prvotních vybraných ověřovacích zkoušek vyplývá že, nově navržené hmoty Ashtech a Glasstech se dokáží již v této fázi vývoje přiblížit limitně stávající referenci.

Za dobrý výsledek je považováno, že při vzájemném vyhodnocení parametru zpracovatelnosti se všechny tři posuzované hmoty výrazně neliší. Nezanedbatelnou nevýhodou receptury Glasstech při přípravě směsi ale stále zůstává nutnost předúpravy plniva (mletí), která je časově i energeticky náročná.

Rozdílných hodnot bylo dosaženo při sycení rukávce navrženou polymerní hmotou. Zde bylo patrné, že sycení novými hmotami je časově i mechanicky náročnější, a to zejména z důvodu rozdílné křivky zrnitosti plniva. Při vyhodnocování mechanických vlastností zpolymerizovaných hmot se dospělo k následujícím výsledkům.

Hmota založená na receptuře Glasstech vykazuje lepší hodnoty v parametrech ohybových pevností, dosahuje nejlepších výsledků pevnosti v ohybu a disponuje výrazně vyšším krátkodobým modulem pružnosti. Má i nejnižší hodnotou deformace při porušení 1,17 %.

Hmota Asstech vykazuje nejnižší objemovou hmotnost při lepších hodnotách ohybových vlastností než směs referenční. Viskozita směsi je v porovnání se směsí referenční podobná. Výhodou je, že zde není stejně jako pro směs referenční nutná výrazná předúprava druhotného plniva.

Všechny hmoty vyhověly vizuálnímu posouzení při zkoumání kvality prosycení vzorku rukávce. Obě vrstvy rukávce byly vždy slinuté a po celém profilu nasycené, použití druhotných plniv mělo vliv pouze na zbarvení. Vzhledem k projektovanému využití sanační hmoty (především v kanalizacích), není její zbarvení rozhodujícím faktorem.

Z výše uvedených zjištění a výsledků lze vyvodit následující závěry:

Z posuzovaných vybraných vlastností byly nejlepší výsledky pozorovány u nově vyvíjené hmoty řady Glasstech. Pro obě nové hmoty – vývojové větve by bylo v dalších etapách vhodné zaměřit se na řízení viskozity směsi (hmoty), zejména prostřednictvím vhodného plniva, jeho tvaru, velikosti a následného zpracování do hmoty. Zde je stále velký prostor pro zdokonalení. Zkoušením vyššího stupně naplnění a využitím např. pouze druhotných plniv, nebo i kombinací dalších druhů druhotných plniv lze docílit dalšího snížení nákladů na výrobu těchto nových materiálů. Dále tak bude možné zpracovat vyšší množství stále vznikajících odpadů, což bude mít příznivý dopad na životní prostředí a materiály se tak stanou ekologičtější než jejich konkurence. V rámci dalšího zdokonalování, bude nutné vylepšit i způsob získávání a předúpravy druhotných plniv, s cílem minimalizovat množství operací (mletí, prosévání, mísení) při přípravě plniva. Experimentální ověření navržených vývojových řad hmot Asstech a Glasstech bude podrobněji zpracováno v rámci diplomové práce, která bude na bakalářskou práci navazovat.

## 8 ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout nové hmoty pro sanaci inženýrských sítí metodou CIPP tak, aby vyhověly projektovanému prostředí. Zároveň musí odpovídat požadovaným mechanickým vlastnostem se zohledněním požadavků na dobrou zpracovatelnost.

V navržených recepturách bylo využito druhotné plnivo, které by z části nahrazovalo plnivo primární a zlepšilo by tak celkové ekonomické a ekologické postavení hmoty. Proces vývoje polymerní sanační hmoty byl rozdělen do čtyř etap.

V I. etapě byly vybrány jednotlivé složky polymerní hmoty. Z průzkumu trhu byla jako nejvhodnější pojivo určena polyesterová pryskyřice. Při výběru primárního plniva byla rozhodujícím faktorem velikost částic, aby se rukávec co nejvhodněji nasytil. Při výběru druhotných surovin byl použit optimalizační výpočet. Při tomto výběru byl kladen důraz především na velikost částic, chemickou odolnost a na předúpravu i dostupnost druhotných plniv. Pro návrh nové receptury byly vybrány odpadní pěnové sklo a fluidní popílek, jakožto druhotná plniva.

Ve II. etapě byly upřesněny požadavky na navrhovanou sanační hmotu pro metodu CIPP a na základě poznatků byla navržena metodika pro postup zkoušení těchto hmot. V navržené metodice se nejprve ověřují vlastnosti jednotlivých vstupních surovin, které musí odpovídat předem definovaným požadovaným parametrům. Po výběru vhodných surovin bude následovat aplikační test. Aplikační test slouží k ověření zpracovatelnosti a aplikačních možností. Zejména hodnotíme prosycení vložky danou hmotou, viskozitu směsi, homogenitu a pórovitost. Na základě výsledku těchto testů se vyberou vhodné hmoty a ty se zkouší podrobněji dále. V navazující části pokročilého testování bude následovat zkoušení materiálových vlastností, geometrické vlastnosti vložky, přilnavost výstelky k potrubí a rychlost vytvrzení. Dále jsou zkoušeny mechanické vlastnosti, jako pevnost v ohybu, modul pružnosti, kruhovou tuhost a počáteční deformace. Dále bude zkoušena chemická odolnost – vystavení působení kyselin, organickým látkám, rozpouštědům a saponátům. Bude následovat studium mikrostruktury navržené hmoty, která prošla výše uvedeným zatěžováním. Cílem tohoto kroku je pomocí optického mikroskopu ověřit pórovitost, prosycení a míru penetrace agresivních látek do zkoumaného vzorku. Po provedení výše uvedených pokročilých testů bude následovat opětovné ověření základních mechanických vlastností – ohybové vlastnosti, pórovitost a deformace.

III. etapa byla zaměřena na návrh receptur vyvíjených hmot pro sycení rukávců metodou CIPP (dále jen „sanační hmoty“). Jako jednotné pojivo byla zvolena polyesterová pryskyřice a navržené sanační hmoty se lišily druhem druhotného plniva, které bylo buď s předúpravou nebo bez ní. Jako plnivo primární byl pro receptury zvolen mikromletý vápenec. První receptura s názvem Glasstech obsahuje odpadní pěnové sklo, které se v rámci optimalizačního výpočtu ukázalo jako nejlepší. Tato receptura byla zkoušena s 10% naplněním odpadního pěnového skla a 10% naplněním mikromletým vápencem, kvůli dosažení optimálního poměru mezi aplikačními vlastnostmi a vlastnostmi ve zpolymerizovaném stavu. Druhá receptura s názvem Asstech obsahovala jakožto druhotné plnivo fluidní popílek, ten byl vybrán z důvodu nulové předúpravy před použitím

do polymerní matrice. I tato receptura byla navržena ve stejném poměru plnění primární a druhotné suroviny, ze stejného důvodu jako u receptury Glasstech. Pro porovnání vlastností byla vytvořena i referenční receptura, která obsahovala pouze primární plnivo, s hmotnostním plněním 20 % plniva a 80 % nenasycené polyesterové pryskyřice.

V závěrečné IV. etapě, při experimentálním ověření vybraných vlastností, byly v laboratorních podmínkách odzkoušeny vybrané vlastnosti nově navržených základních receptur a porovnány s referenční hmotou, která představuje v současnosti standard používaný při technologii CIPP. Připraveny byly dvě nové receptury, z nichž každá je reprezentantem samostatné vývojové větve a pro porovnání i referenční směs. Z prvotních vybraných ověřovacích zkoušek vyplývá, že nově navržené hmoty Ashtech a Glasstech se dokáží již v této fázi vývoje limitně přiblížit stávající referenci.

Za dobrý výsledek je považováno, že při vzájemném vyhodnocení parametru zpracovatelnosti se všechny tři posuzované hmoty výrazně neliší. Nezanedbatelnou nevýhodou receptury Glasstech při přípravě směsi stále zůstává nutnost předúpravy plniva (mletí, třídění), která je časově i energeticky náročná.

Rozdílných hodnot bylo dosaženo při sycení rukávce navrženou polymerní hmotou. Zde bylo patrné, že sycení hmotami Ashtech 2 a Glasstech 2 je časově i mechanicky náročnější, a to zejména z důvodu rozdílné křivky zrnitosti plniva. Při vyhodnocování mechanických vlastností zpolymerizovaných hmot se dospělo k následujícím výsledkům.

Experimentálně bylo zjištěno, že nově navržené hmoty Glasstech 2 a Ashtech 2 vykazují lepší mechanické odolnosti než hmota referenční. Všechny hmoty vyhovely vizuálnímu posouzení prosycení vzorku rukávce, přičemž se zásadně lišily pouze ve výsledném zbarvení. Tento parametr je však v případě projektovaného využití v kanalizačním potrubí irelevantní.

Práce jako celek potvrdila projektované výsledky, při lepších mechanických vlastnostech se podařilo snížit ekonomickou náročnost. Díky přidání druhotných surovin a výsledným pevnostem lze zmenšit tloušťku kompozitu, lze předpokládat snížení celkových nákladů až o 5 %.

Obě navržené hmoty, Ashtech 2 a Glasstech 2, splnily předpoklady a mohou tak s úspěchem tvořit základ pro další pokročilý vývoj. V další fázi vývoje by bylo vhodné věnovat se lepší viskozitě směsi (hmoty) zejména prostřednictvím dosažení vhodnějších charakteristik plniva, jeho tvaru, velikosti a následného zpracování do hmoty. Experimentální ověření navržených vývojových řad sanačních hmot Ashtech a Glasstech bude podrobněji zpracováno v rámci diplomové práce, která bude na bakalářskou práci navazovat.

## 9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery [online]. Pardubice: Code Creator, s.r.o. 2; distribuce publi.cz, 2015, s. 20 [cit. 2019-11-14]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [2] MLEZIVA, Josef, ŠŇUPÁREK Jaromír. Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7.
- [3] MLEZIVA Josef, KÁLAL Jaroslav. Základy makromolekulární chemie. 1. vyd. SNTL Praha, 1986. ISBN 04-621-86.
- [4] WYPYCH, G. Fillers in commercial polymers. Handbook of Fillers, 2016, pp.665–761 doi:10.1016/b978-1-895198-91-1.50017-8.
- [5] NOORT VAN R. Introduction to Dental Materials. Cambridge, third edition 2007 ISBN: 9780723434047
- [6] CRIPPS D., GURIT. Epoxy Resins [online]. 2019, s. 1-2 [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://netcomposites.com/guide/resin-systems/epoxy-resins/>.
- [7] DEARMITT C., Functional Fillers for Plastics. Applied Plastics Engineering Handbook. 2017, pp.517–532., doi:10.1016/b978-0-323-39040-8.00023-7
- [8] DA SILVA FREITAS, D., CESTARI & MENDES, L. C., Natural and synthetic fillers for reaching high performance and sustainable hybrid polymer composites. Hybrid Polymer Composite Materials, 2017, pp.157–171., doi:10.1016/b978-0-08-100789-1.00007-1
- [9] ORAK, S., Investigation of vibration damping on polymer concrete with polyester resin. Cement and Concrete Research, 2000, pp.171–174 doi:10.1016/s0008-8846(99)00225-2
- [10] KOMÁREK S, NOVÁK L. Estetická výplň v záchovné stomatologii. Praha, ČR: East Dent, 2003.
- [11] OSTREZI, J. Optimalizace parametrů pultruze kompozitu na bázi epoxidových matric. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2015. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Radek Přikryl, Ph.D.
- [12] ALLOUCHE E., ALAM S., SIMICEVIC J, and STERLING R. A Retrospective Evaluation of Cured-in-Place Pipe (CIPP) Used in Municipal Gravity Sewers., Trenchless Technology Center at Louisiana Tech University [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/269336320\\_A\\_Retrospective\\_Evaluation\\_of\\_Cured-in-Place\\_Pipe\\_CIPP\\_Used\\_in\\_Municipal\\_Gravity\\_Sewers](https://www.researchgate.net/publication/269336320_A_Retrospective_Evaluation_of_Cured-in-Place_Pipe_CIPP_Used_in_Municipal_Gravity_Sewers)
- [13] GIBSON, G., Epoxy Resins. Brydson's Plastics Materials, 2017, pp.773–797. doi:10.1016/b978-0-323-35824-8.00027x
- [14] PUKÁNSZKY, B., Mineral-filled Polymers. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2001, pp.5680–5683. doi:10.1016/b0-08-043152-6/00989x

- [15] MALLICK, P., 2.18 Particulate Filled and Short Fiber Reinforced Polymer Composites. *Comprehensive Composite Materials II*, 2018, pp.360–400. doi:10.1016/b978-0-12-803581-8.03837-6
- [16] WYPYCH, George. *Handbook of fillers*. 3rd ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2010, 774 s. ISBN 978-1-895198-41-6
- [17] XANTHOS, Marino (ed.). *Functional fillers for plastics*. 2nd updated and enl. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2009. ISBN 978-352-7323-616
- [18] TESÁŘ, Filip. *Vývoj polymerních vícevrstevných podlahových systémů*. Brno, 2011. 80 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Vít Petránek, Ph.D
- [19] KRENÍKOVÁ, Věra. *Odpady a druhotné suroviny II*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-871-2
- [20] Minerál mastek. In: *Oko* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <http://oko.yin.cz/98/mineral-mastek/>
- [21] Výrobci práškových hliníkových trihydrátů (ATH). In: *Zibo Yinghe Chemical* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <http://cz.activatedaluminaball.net/alumina-ball/aluminium-trihydrate-ath-powder-manufacturers.html>
- [22] Resin Formulations – What’s Added To Enhance The Resin & What’s Added to Cut Supplier Costs [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://pipeliningsupply.com/resin-formulations-whats-added-to-enhance-the-resin-whats-added-to-cut-supplier-costs/>
- [23] PAVLÍK, T. *Vliv mletí na vlastnosti vápence*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2018. 58 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Šiler, Ph.D.
- [24] CHOVANEC, Tomáš. *Srovnání aktivního a neaktivního plniva a jeho vliv na výsledné vlastnosti isotaktického polybutenu-1* [online]. [cit. 2019-11-19]. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24175/chovanec\\_2013\\_dp.pdf?sequence=1](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/24175/chovanec_2013_dp.pdf?sequence=1).
- [25] TOLINSKI, Michael. *Additives for polyolefins: getting the most out of polypropylene, polyethylene and TPO*. Second edition. Kidlington, Oxford, UK: Elsevier, William Andrew is an imprint of Elsevier, 2015. ISBN 978032335884
- [26] SMRČKOVÁ, M. *Hybridní kompozity kombinující krátká houževnatá vlákna a částicové plnivo v polymerní matrici*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 72 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Poláček, Ph.D.
- [27] DROCHYTKA, Rostislav. *Trvanlivost stavebních materiálů*. Vyd. 1. Brno: VUT, 2007, 156 s.

- [28] NOVOTNÝ, Jiří. Eliminace zápachu na stokové síti. Brno, 2017. 92 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
- [29] MALANÍK, S.: Stoková síť poškozená síranovou korozí betonu. NO-DIG, Ročník11 2/2005. str. 14–19.
- [30] DROCHYTKA, Rostislav. Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012. ISBN 978-80-260-2210-7.
- [31] ŠEJNOHA, Jiří. Poruchovost stokových sítí volba stavebních materiálů, městské standardy. SOVAK. 2011, 20(2), 5.
- [32] ČSN EN 13508-2 (756901) Posuzování stavu venkovních systémů stokových sítí a kanalizačních přípojek – Část 2: Kódovací systém pro vizuální prohlídku. 2012.
- [33] TNV 75 6925 Obsluha a údržba stok: Odvětvová technická norma vodního hospodářství. 2008.
- [34] HOLEŠ, Petr. Sanace kanalizačních přípojek a šachet na stokové síti. Brno, 2012. 53 s., 76 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.
- [35] ALLOUCHE E., ALAM S., SIMICEVIC J, and STERLING R. A Retrospective Evaluation of Cured-in-Place Pipe (CIPP) Used in Municipal Gravity Sewers., Trenchless Technology Center at Louisiana Tech University [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/269336320\\_A\\_Retrospective\\_Evaluation\\_of\\_Cured-in-Place\\_Pipe\\_CIPP\\_Used\\_in\\_Municipal\\_Gravity\\_Sewers](https://www.researchgate.net/publication/269336320_A_Retrospective_Evaluation_of_Cured-in-Place_Pipe_CIPP_Used_in_Municipal_Gravity_Sewers)
- [36] MAJEROVÁ J., HODUL J., DROCHYTKA R. Trenchless Sewer Rehabilitation Methods and Solving Diversity of Cured Sleeves thickness [online]. 1Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Veveří 331/95, Brno, Czech Republic, 6 [cit. 2020-02-10].
- [37] Cured-in-place pipe (CIPP) Lining Method. In: <https://www.pub.gov.sg/usedwater/sewerrehabilitation> [online]. [cit. 2020-02-21].
- [38] MIKULA, Martin. Kompozitní materiály na bázi uhlíkových vláken. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 63 s. Vedoucí práce Ing. Karel Němec, Ph.D.
- [39] ZITEK, Adam. Kompozity s uhlíkovými vlákny. Brno 2012. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav materiálového inženýrství, 38 s. Vedoucí práce prof. RNDr. Petr Špatenka CSc.
- [40] UV Cure. In: <https://www.aegion.com/capabilities/cured-in-place-pipe/uv-cure-glass> [online]. [cit. 2020-05-23].



- [41] JUŘIČKA, Viktor. Vývoj polymerního reprofilačního materiálu. Brno, 2016. 74 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
- [42] TĚHNÍK Vladimír, NEČAS Radovan. Uplatnění vápencové suroviny z hlediska kvality v různých průmyslových odvětvích: č. 1M06005 [online]. Výzkumný ústav stavebních hmot, a. s [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.vumo.cz/wp-content/uploads/2015/05/22-uplatneni-vapencove-suroviny-z-hlediska-kvality-v-ruznych-prumyslovych-odvetvych.pdf>
- [43] STODOLOVSKÁ Š., Návrh chemicky odolných nátěrových hmot s využitím druhotných surovin i nebezpečných odpadů. Brno, 2019. 87 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA.
- [44] BAYER, P. Vliv popílku na vlastnosti cementových malt. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2012. 70 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Šiler, Ph. D
- [45] HLAVINKOVÁ, Eva. Potenciální náhrada vysokopecní strusky ve směsných portlandských cementech. Brno, 2012. 64 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc
- [46] MLETÍ & PRÁŠKOVÁNÍ. [Http://www.renoplactic.com/cs/co-delame/](http://www.renoplactic.com/cs/co-delame/) [online]. [cit. 2020-03-29].
- [47] Pěnové sklo Refaglass: REFAGLASS s.r.o. [Https://www.refaglass.cz](https://www.refaglass.cz) [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.refaglass.cz/vlastnosti/>
- [48] HORÁČEK Daniel, Návrh asfaltové směsi s použitím 30 % asfaltového recyklátu a její posouzení funkčními zkouškami. Brno, 2018. 60 s., 15 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc
- [49] GUMOVÝ PRACH; ACTIVE RUBBER POWDER. In: Arpbohemia [online]. 2016 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.arpbohemia.com/media.html>
- [50] KIZLINK, Juraj. Nakládání s odpady. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2007. s. 215. ISBN 978-80-214-3348-9. Dostupné také z: <https://kramerius-vs.mzk.cz/uuid/uuid:982c41bb-cd29-4abe-9f0e-51b3624415c3>
- [51] SEIDL M., Příprava a analýza vlastností plniva a kompozitů, Liberec 2015. Disertační práce. Fakulta strojní Výzkum vlivů technologie přípravy a složek třífázových kompozitů na jejich zpracovatelnost. Katedra strojírenské technologie

- [52] ČSN EN ISO 11296-4 plastové potrubní systémy pro renovace beztlakových kanalizačních přípojek a stokových sítí uložených v zemi – Část 4: Vyvložkování trubkami vytvrzovanými na místě.
- [53] ASTM F1216-16. Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube
- [54] ASTM F1216-09 Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube
- [55] MODIFIKOVANÁ POLYESTEROVÁ PRYSKYŘICE PRO TERMOREAKTIVNÍ CIPP SYSTÉMY: TECHNICKÁ DATA. In: IN-CHEMIE Technology, Verze R0A4, IN-EST 1001 V6.
- [56] ČSN EN ISO 2811-1 „Nátěrové hmoty – Stanovení hustoty – Část 1: Pyknometrická metoda“. 2016.

## SEZNAM TABULEK

- Tab. 1 Výhody, nevýhody a situace vhodné k použití jednotlivých metod [34]
- Tab. 2 Firmy provádějící metodu CIPP na českém trhu
- Tab. 3 Firmy provádějící metodu CIPP na zahraničním trhu
- Tab. 4 Materiálové vlastnosti používaného mastku
- Tab. 5 Chemické složení vysokoteplotního popílku Tušimice
- Tab. 6 Chemické složení fluidního popílku Ledvice
- Tab. 7 Chemické složení vysokopecní strusky Dětmárovce
- Tab. 8 Materiálové vlastnosti odpadního pěnového skla
- Tab. 9 Materiálové vlastnosti používaného čedičového filleru
- Tab. 10 Vybrané druhotné suroviny pro optimalizační výpočet
- Tab. 11 Vybraná hodnotící kritéria pro vybraná plniva
- Tab. 12 Rozhodovací matice
- Tab. 13 Výpočet váhy (Sattihovo matice)
- Tab. 14 Výpočtová matice (metoda kvant. pár.srovnání)
- Tab. 15 Výsledné pořadí druhotných surovin:
- Tab. 26 Krátkodobé mechanické vlastnosti CIPP trubek [52]
- Tab. 17 Požadavky na počáteční konstrukční vlastnosti CIPP [52]
- Tab. 18 Minimální požadavky na chemickou odolnost [53]
- Tab. 19 Maximální zatížení podzemní vodou pro podmínky gravitačního potrubí [53]
- Tab. 20 Zaznamenané hodnoty doby výtoku
- Tab. 21 Zaznamenané hodnoty objemové hmotnosti
- Tab. 22 Posouzení zpracovatelnosti navržených receptur
- Tab. 23 Grafické posouzení vytvrzených vzorků

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Chemická struktura epoxidové skupiny [2]
- Obr. 2 Chemická struktura Epoxidové skupiny[2]
- Obr. 3 Detail trihydrátu hliníku a detail mastku [20]
- Obr. 4 Biogenní síranová koroze v betonové kanalizaci [29]
- Obr. 5 Koláčový graf příčin poruch [31]
- Obr. 6 Metoda CIPP [37]
- Obr. 7 Vytvrzování pomocí UV záření, metoda CIPP [40]
- Obr. 8 Schéma I. etapy
- Obr. 9 Schéma II. etapy
- Obr. 10 Schéma III. etapy
- Obr. 11 Schéma IV. Etapy
- Obr. 12 Mikromletý vápenec
- Obr. 13 Distribuce velikosti částic mikromletého vápence pro metod CIPP
- Obr. 14 Mastek
- Obr. 15 Distribuce velikosti částic mastku pro metod CIPP
- Obr. 16 Vysokoteplotní popílek Tušimice [43]
- Obr. 17 Fluidní popílek Ledvice [43]
- Obr. 18 Vysokopeční struska výrobní závod Dětmorovice společnosti CEMEX [43]
- Obr. 19 Odpadní pěnové odpadní sklo
- Obr. 20 Distribuce velikosti částic pomletého odpadního pěnového skla
- Obr. 21 Drcené čedičové odkapy
- Obr. 22 Pryžový prach [49]
- Obr. 23 Výsledné zhodnocení vhodnosti plniv na základě optimalizačního výpočtu
- Obr. 24 Typická konstrukce stěny rukávce [52]
- Obr. 25 Shrnutí II. etapy
- Obr. 26 Návrh receptury Glasstech, složení je vyjádřeno v hmotnostních %
- Obr. 27 Návrh receptury Ashtech, složení je vyjádřeno v hmotnostních %
- Obr. 28 Složení receptur pro experimentální ověření, složení je vyjádřeno v hmotnostních %
- Obr. 29 Navržený postup pro experimentální ověření navržených receptur
- Obr. 30 Prosetí pěnového odpadního skla sítem 0,063 mm

- Obr. 31 Textilní polyesterové vystýlka a textilní polyesterová vystýlka s měkčenou polyvinylchloridovou fólií pro nasycení vzorků
- Obr. 32 Manuální syčení vystýlky navrhovanými recepturami, vlevo syčení referencí, vpravo syčení polymerní hmotou Ashtech
- Obr. 33 Prostup syčící hmoty vzorkem (polymerní hmota Glasstech)
- Obr. 34 Vytvrzování vzorků horkou parou v tlakovém hrnci
- Obr. 35 Vytvrzené vzorky: (A) Ashtech, (B) referenční směs, (C) Glasstech
- Obr. 36 Měření času výtoku hmoty z Fordovho pohárku o průměru výtokového otvoru 12 mm – referenční směs
- Obr. 37 Zbarvení a prosycení rukávce Glasstech v čerstvém stavu
- Obr. 38 Zbarvení a nasycení rukávce referenční směsi – rub a líc
- Obr. 39 Zbarvení a nasycení rukávce hmota Ashtech
- Obr. 40: Grafické porovnání tlouštěk jednotlivých vzorků
- Obr. 41 Tvar příčného průřezu zkušebního tělesa s vyznačenými body měření tloušťky
- Obr. 42 Tříbodové ohybové namáhání
- Obr. 43 Graf vyjadřující krátkodobý modul pružnosti v ohybu v závislosti na typu receptury
- Obr. 44 Graf vyjadřující napětí v ohybu při prvním porušení v závislosti na typu receptury
- Obr. 45 Graf vyjadřující deformace ohybem při prvním porušení v závislosti na typu receptury

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CIPP	...	Cured-in-Place Pipe – trubky vytvrzované na místě
EP	...	epoxidová pryskyřice
UP	...	nenasyčená polyesterová pryskyřice
VE	...	vinylesterová pryskyřice
FMEA	...	Failure Modes Effects and Analysis – analytická metoda
PE	...	Polyethylen
EPDM	...	směs Etylen-propylen-dienového kaučuku
PP	...	polypropylen
LDPE	...	nízko-hustotní polyethylen
ABS	...	akrylonitrilbutadienstyren
POM	...	polyoxymethylen