



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

VÝVOJ KOMPOZITU S VYSOKÝM PODÍLEM DRUHOTNÝCH SUROVIN A TAVENÉHO ČEDIČE

COMPOSITE WITH A HIGH PROPORTION SECONDARY RAW MATERIALS AND ČÁST BASALT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL ČERNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA,
CSc., MBA

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Pavel Černý
Název	Kompozit s vysokým podílem druhotných surovin a taveného čediče
Vedoucí práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

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

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

KHOSTRABI, H.; ESLEAMI-FARSANI, R. Enhanced mechanical properties of unidirectional basalt fiber/epoxy composites using silane-modified Na⁺-montmorillonite nanoclay, *Polymer Testing*, Volume 55, P. 135-142, ISSN 0142-9418

BRANSTON, J.; DAS, S.; KENNO, S. Y.; TAYLOR, C. Mechanical behavior of basalt fiber reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 124, P. 878-886, ISSN 0950-0618,

ČSN EN 1504 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody.

ČSN EN 12808-1 - Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 1: Stanovení chemické odolnosti malt na bázi reaktivních pryskyřic

ČSN EN 13529 - Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Zkušební metody - Stanovení odolnosti vůči silnému chemickému napadení

Výzkumné zprávy a protokoly ústavu THD, příspěvky ze sborníků konferencí, odborné články, časopisy, normy.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci řešení bakalářské práce bude na základě řešerše odborné literatury vyvinuta receptura kompozitu s vysokým podílem druhotných surovin a taveného čediče. Materiál bude na bázi cementových a polymerních pojiv, jež umožní výrobu mechanicky a chemicky vysoce odolného prvku. Ten bude posléze možné aplikovat nejen do kanalizací a chemických provozů. Výsledky práce umožní nejen prodloužit životnost prvků, začleněním druhotných surovin do nových hmot také dojde k pozitivnímu dopadu výroby na životní prostředí.

1. Zhodnoťte současný stav poznání v oblasti technologie výroby a aplikace prvků z taveného čediče. Porovnejte je s dalšími v praxi používanými materiály určenými do chemicky namáhaných prostředí.
2. Formulujte požadavky na mechanicko-fyzikální parametry, které budou nově vyvinuté kompozitní materiály muset v různých aplikacích splňovat.
3. Navrhněte vhodné silikátové a polymerní báze pro výrobu kompozitních materiálů, vhodných pro výrobu mechanicky a chemicky odolných prvků.
4. Zhodnoťte široké portfolio plniv, a to zejména s ohledem na využití druhotných surovin v nových hmotách, navrhněte vhodné typy a experimentálně ověřte.
5. Navrhněte recepturu vysoce odolného kompozitního materiálu s podílem druhotných surovin a taveného čediče, vhodného k aplikaci do kanalizací a chemických provozů a částečně experimentálně ověřte.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na vývoj nového kompozitu do kanalizačních stok na bázi vhodných kombinací pojiv a plniv, zejména s využitím druhotných surovin. Kompozit by měl nahradit svými vlastnostmi odlévané čedičové výrobky, které se do výstelek stok používají. Navržený kompozit bude unikátní svými vlastnostmi, a to především chemickou a tepelnou odolností, stejně jako odolností proti obrusu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zpracovatelnost čediče, výrobky z taveného čediče, technologie výstavby stok, řešení materiálu pro výstavbu stoky

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the development of new composite into sewage sewers based on suitable combinations of binders and fillers, especially with the use of secondary raw materials. The composite should replace the cast basalt products with its properties, which are used in the linings. The proposed composite will be unique by his properties, primarily chemical and heat resistance as well as abrasion resistance.

KEYWORDS

Workability of basalt, melted basalt products, sewer construction technology, material search for sewer construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Pavel Černý *Kompozit s vysokým podílem druhotných surovin a taveného čediče*. Brno, 2017. 103 s., 103 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 23. 5. 2017

Pavel Černý
autor práce

Poděkování

Děkuji panu prof. Ing. Rostislavu Drochytzkovi, CSc., MBA za odborné rady a připomínky, které mi poskytl při zpracování bakalářské práce. Mé poděkování patří také panu Ing. Jindřichu Melicharovi a Ing. Vítu Černému, Ph.D. za odbornou pomoc a poskytnutí materiálů a informací potřebných pro vypracování této závěrečné práce.

Předložená práce byla zpracována v rámci řešení projektu **CZ.01.1.02/0.0/0.0/15_019/0004734** - Výzkum a vývoj mechanicky a chemicky odolných kompozitů na bázi cementových a necementových pojiv a druhotných surovin.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I. TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TAVENÝ ČEDIČ	12
1.1 Obecné vlastnosti.....	12
1.2 Zpracovatelnost čediče	12
1.2.1 Suroviny	12
1.2.2 Výrobní zařízení	14
1.2.3 Výroba.....	14
1.3 Produkty z taveného čediče	16
1.3.1 Dlaždice.....	17
1.3.2 Trouby	19
1.3.3 Žlaby.....	21
1.3.4 Ostatní výrobky – tvarové odlitky	24
1.4 Odolnost výrobků z taveného čediče	25
2 Technologie provádění kanalizací	27
2.1 Stavba stok v otevřeném výkopu (rýhách)	27
2.2 Technologie výstavby v otevřeném výkopu	29
2.3 Výstavba a sanace stok bezvýkopovými technologiemi	30
2.4 Rušení stok a přípojek	31
3 Rešerše materiálů používaných při realizaci staveb pro stokové sítě.....	32
3.1 Kameninové trouby	32
3.2 Železobetonové trouby	33
3.3 Čedičové potrubí.....	34
3.4 Polymerbetonové potrubí	34
3.5 Kovová potrubí	35
3.6 Sklolaminátové potrubí (GRP)	35
3.7 Potrubí z termoplastů.....	36
3.8 Zděné konstrukce.....	37
3.8.1 Kámen	37
3.8.2 Keramické kanalizační cihly	38
3.8.3 Čedičové cihly	38
3.8.4 Keramické tvárnice.....	39
3.9 Malty pro zdění stok a stokových objektů.....	39
3.10 Betonové zdivo	40

3.11	Betonové prefabrikáty	40
3.12	Doplňkové prvky kovové a kompozitové.....	41
3.12.1	Poklopy vstupních šachet na stokové síti	41
3.12.2	Stupadla a žebříky	42
3.12.3	Vtokové mříže	43
3.13	Armatury.....	43
3.14	Vstupní šachty s uzavíracími armaturami	44
3.15	Provizorní hrazení v objektech stokové sítě	44
II.	PRAKTICKÁ ČÁST	45
4	CÍL PRÁCE	45
5	METODIKA ŘEŠENÍ	46
6	ETAPA 1 - Specifikace parametrů prostředí a využití nových kompozitů ..	49
6.1	Stanovení zrnitosti – síťový rozbor (ČSN EN 933-1).....	49
6.2	Stanovení pevnosti (ČSN EN 196-1).....	49
6.3	Stanovení tvrdosti povrchu (ČSN EN 13892-6).....	50
6.4	Stanovení odolnosti proti kyselině sírové (ČSN EN 993-16).....	51
6.5	Odolnost proti teplotním šokům (DIN 52313)	51
6.6	Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme (ČSN EN 13892-3)	52
7	ETAPA 2 - Charakteristika možných vstupních surovin pro výrobu vysoce odolného kompozitu	54
7.1	Pojiva	54
7.1.1	Cementová pojiva.....	54
7.1.2	Polymerní pojiva	56
7.2	Plniva	59
7.2.1	Primární suroviny	59
7.2.2	Druhotné suroviny	63
7.3	Volba vhodných vstupních surovin pro výrobu nových vysoce odolných kompozitních materiálů	68
7.3.1	Výběr vhodných pojiv	68
7.3.2	Optimalizace druhotných surovin.....	68
8	ETAPA 3 – Volba materiálového složení nových kompozitů do extrémních podmínek a návrhy receptur	71
8.1	Zastoupení jednotlivých vstupních surovin, náhrada druhotnými surovinami.....	71
8.2	Návrh receptur nových vysoce odolných kompozitů	71
8.3	Optimalizace receptur	73
8.4	Charakteristika odkapů z výroby taveného čediče	75

9	ETAPA 4 – Experimentální ověření kompozitů a porovnání jejich vlastností s čedičovými výrobky	79
9.1	Výroba nových kompozitů dle navržených receptur	79
9.2	Stanovení materiálových vlastností nově vyvinutých kompozitů	82
9.3	Porovnání vlastností nově vyvinutých materiálů s čedičovými výrobky	92
10	Shrnutí výsledků experimentálního ověření kompozitů	93
11	Závěr	96
	Seznam použité literatury	98
	Seznam tabulek.....	101
	Seznam obrázků	102

ÚVOD

Ve stavebnictví se vyvíjí stále nové kompozity, které dosahují lepších a lepších vlastností. Tento progres je realizován díky vývoji nových receptur a optimalizaci jejich složení. Jednou z nejdůležitějších vlastností u stavebních prvků je jejich životnost. Prodlužováním životnosti různých druhů stavebních prvků lze docílit úsporu nákladů na novou výstavbu.

Mezi materiály s vysokou životností mají významné místo především čedičové výrobky, které se vyznačují skvělými fyzikálně mechanickými i fyzikálně chemickými vlastnostmi. U čedičových výrobků je vyzdvihována hlavně pevnost, odolnost proti obrusu a také chemická odolnost. Především nejdůležitější vlastností u kanalizačních rozvodů představuje chemická odolnost vůči kyselinám. Čedičové průmyslově odlévané výrobky jsou ve velké míře používány do stokových sítí, ale zde mají i určitá omezení. Jejich odlitky se vyrábí pouze v jistých rozměrech, a proto je nutno vyvinout „univerzální“ materiál, který bude možné aplikovat do atypických rozměrů stokových sítí.

Cílem této bakalářské práce je proto vývoj kompozitního materiálu, který by se svými finálními vlastnostmi co nejvíce přibližoval vlastnostem výrobků z taveného čediče.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TAVENÝ ČEDIČ

1.1 Obecné vlastnosti

Čedič neboli bazalt má největší význam v technologii tavených hornin. Můžeme jej zařadit do neovulkanických bazických výlevných hornin, které tvoří dva základní horninotvorné minerály. Tyto minerály jsou: bazický plagioklas (labradorit, bytownit, anortit) a monoklinický pyroxen (augit, titanový augit). Může se zde také vyskytovat olivín, rombický pyroxen, amfibol nebo biotit. Hojně zastoupení mají i rudné minerály, zejména magnetit (10 – 15 %), titanomagnetit nebo ilmenit. Čediče mohou obsahovat i vulkanické sklo a to v závislosti na rychlosti tuhnutí lávy. [1]

Tavený čedič z chemického hlediska obsahuje: 43,5 – 47 % SiO_2 , 0,5 – 1 % P_2O_5 , 11 – 13 % Al_2O_3 , 4 – 7 % Fe_2O_3 , 0,2 – 0,3 % MnO , 5 – 8 % FeO , 2 – 3,5 % TiO_2 , 10 – 12 % CaO , 8 – 11 % MgO , 2 – 3,5 % Na_2O , 1 – 2 % K_2O . [2]

Velmi významným charakteristickým znakem bývá u čedičů sloupcová odlučnost. Čediče jsou jedna z nejběžnějších výlevných hornin na našem povrchu. Teplota tavení čedičů je zhruba 1250 – 1350 °C. Je závislá na mineralogickém složení. [1]



Obrázek 1: Sloupcová odlučnost čediče [2]

1.2 Zpracovatelnost čediče

1.2.1 Suroviny

Jednou ze surovin pro výrobu odlitků z taveného čediče je čedičová drť. Kámen nesmí obsahovat žádné příměšeniny – zatvrdlé kusy hlíny, křemenné oblázky, zvětralé

kusy čediče a další. Měl by být jadrný. Ani při skladování by nemělo dojít k jeho znečištění. Pro pravidelný chod tavicího agregátu a správné využití paliva je důležitá stejnoměrnost zrnitosti. Tavení čediče probíhá v elektrické obloukové peci při teplotách přesahujících 2000 °C.

Mezi další důležité suroviny lze řadit formovací, jádrové minerály a také formovací písek. Hlavní složkou formovacích písků jsou křemičité zrna, které jsou obalené malým množstvím hlinitého pojiva. Toto pojivo dává písku potřebnou tvárnost.

Rozlišujeme 3 druhy písku v technologii výroby čedičových výrobků. Toto rozdělení je závislé na obsahu hlinitého pojiva. Mohou to být buď mastné písky, středně mastné písky, chudé písky, nebo křemičité písky. Mastné písky obsahují na 15 % hlíny, středně mastné obsahují 8 – 15 % hlíny a chudé písky obsahují 5 – 8 % hlíny. Křemičité písky neobsahují žádnou hlínu. [3]

Mastné, středně mastné a chudé písky jsou přírodní písky, které lze využít bez přísad a to díky obsahu vlastního pojiva. Křemičitý písek je složkou pro výrobu syntetických písků. Syntetický písek je takový, který je obohacen o umělé pojivo.

Dle velikosti zrn rozeznáváme 3 skupiny písků:

- hrubozrný písek – velikost zrn nad 0,2 mm;
- středně zrnitý písek – velikost zrn 0,1 – 0,2 mm;
- jemnozrný písek – velikost zrn menších než 0,1 mm.

Písek musí být prodyšný. Dobrá prodyšnost je zajištěna stejnoměrností ve velikosti zrn. Prodyšnost může být také ovlivněna množstvím hlinitého pojiva. Čím více pojiva je, tím nižší je prodyšnost. Další snížení prodyšnosti způsobuje zmenšení velikosti zrna. Pro výrobu čedičových odlitků s jemným povrchem je využit jemnozrný písek.

Součtem průduchů a mezer je dána pórovitost písku. Pórovitost písku je nutno odlišovat od prodyšnosti. U písků s ostrohrannými zrny je menší prodyšnost než u písků se zakulacenými zrny. Tahle podmínka platí při stejné pórovitosti obou písků.

Písek, který má větší pórovitost, vede méně teplo. Důležitá je i pevnost písku při odlévání, která je závislá na množství hlinitého pojiva a také na vlhkosti písku. Nadbytek či nedostatek vlhkosti působí nepříznivě. Nadbytek vlhkosti může způsobit pokles pevnosti i prodyšnosti. Je vyžadováno, aby byl písek dostatečně prodyšný a pórovitý. [3]

1.2.2 Výrobní zařízení

Tavící vana se podobala ocelářské Siemens-Martinově peci. Fyzikální a mechanické vlastnosti výsledného výrobku závisí na průběhu tepelného zpracování čediče. Proto hlavním požadavkem na funkci pece je možnost jednoduché regulace tavících poměrů. Pec musela tím pádem být vybavena dostatkem měřících přístrojů. Vyzdívka byla udělána z basického chrommagnesitového materiálu. Ze šamotového zdiva byl vybudován spodek a také stěny. Dinasové zdivo bylo použito na klenby. Do pece samozřejmě byly vybudovány hořákové otvory, které se nacházely na obou čelních stranách. Vzduch a plyn byl dopravován z regenerativních komor. Lepšího spalování a využití tepla spalných plynů se dosahovalo tím, že vzduch a plyn byl před vstupem do vany mísen. Spálené plyny byly vedeny do přeřazovacího zařízení systém Knoblauch.

V poslední době byla vyvinuta pec vanošachtová, která se skládala ze šachty a vany, která měla menší rozměry. Šachta sloužila jako zásobník suroviny a byla přehřívána žhavými kouřovými plyny. Tato pec měla své výhody. Odstranila dřívější ruční nakládání a vytvořila stabilní a trvalý přísun materiálu. Využívala kouřové plyny k přehřátí čediče v šachtě. Oproti Siemens-Martinově peci byla menší, jelikož se u ní nevyskytovaly regenerativní přehřívací komory.

K rekrystalizaci slouží chladicí agregát, ale také pro chlazení výrobků. Chladicí pec se vyznačuje dvěma chladicími pásmy – pásmo rekrystalizační a pásmo chladicí. Teploty se v rekrystalizačním páse se pohybují v rozmezí 800 – 850 °C, tudíž k ochlazení čedičových odlitků nejsou využity chladicí pásové pece, proto se pro rekrystalizaci a chlazení zavedla roštová posunovací tunelová pec. Délka této pece je 40 metrů a obsahuje zhruba dvakrát 96 ks roštů. [3]

1.2.3 Výroba

Surovina se v první řadě promíchala s hnědým uhlím, poté se nakládala u původního zařízení v malých dávkách na tavící plochy upravené Siemens-Martinovy pece. Nová surovina byla vždy vložena na zbytek ještě neprotavené suroviny z předešlého nákladu. Tímto krokem bylo zabráněno ochlazení chrommagnesitové vyzdívky. Prudké ochlazení nepříznivě ovlivňovalo životnost vyzdívky. V novém zařízení se přírodní čedič dopravoval do šachty pece pomocí korečkového výtahu. Důležité bylo, aby byla šachta rovnoměrně plněna. Surovina musela být řádně protavená a tekutá, proto bylo nutné volit ideálně teplotu. Pro spontánní rekrystalizaci výrobků během zpracování bylo důležité, aby byl uchován dostatek

zárodečných krystalů. Při vysoké tavicí teplotě jsou výrobky po odlití z velké části skelné. Naopak při nízké teplotě tavenina obsahuje shluky primárních krystalů, protože není dobře zhomogenizována. Shluky nepříznivě ovlivňují mechanické i fyzikální vlastnosti čedičového výrobku.

Stejně jako teplota tavení je důležitá i doba tavení, tímto je ovlivněna kvalita čediče. Vysoká teplota a dlouhá doba tavení má za příčinu rozpuštění zárodečných krystalů. Tyto krystaly jsou potřebné pro rychlou rekrystalizaci. Hrozí nebezpečí skelného tuhnutí odlitků, ale také hrozí chemické změny složení taveniny.

Naopak dobrý vliv má prodloužení doby, kdy je roztavená sklovina udržována při nižších teplotách. Tímto krokem vznikají zárodečné krystaly, které mají dobrý vliv na další výrobu. Poměr mezi dvojmocným a trojmocným a případně metalurgickým železem je ovlivněn atmosférou pece. Atmosféra pece může dále ovlivnit poměr množství výskytu železa v tavenině, viskozitu, ale i druh krystalizace.

Chceme-li získat stejnoměrné výsledky o shodných vlastnostech, je nutné dbát na tyto uvedené faktory. Hlavním faktorem dobrých výsledků je pravidelný nepřerušovaný provoz. Nesmí dojít k přestávkám a nepravidelnosti v odběru čediče. Při nepřerušovaném třísměnném provozu je dosaženo reprodukovatelných a konstantních vlastností čedičových odlitků.

Teplota roztaveného čediče při výrobě odlitků po průchodu homogenizačním bubnem musí být ustálená na ideální nalévací teplotu. Roztavený čedič se nalévá do železných licích nádob o obsahu 20 – 60 kg pomocí naklápění bubnu. Z těchto forem je odléván do rotující kokily nebo pískové formy za pomoci jeřábu nebo také ručně. Tavenina chladne a vytváří krystalickou fázi během tuhnutí. Krystalická fáze tvoří kostru výrobku. K porušení struktury odlitku drobnými mikrotrhlinami může dojít při fázi, kdy je odlitek ponechán ve formě nebo kokile delší dobu.

Krystalizace během zpracování je neúplná, jelikož zbývá zbytková skelná fáze vedle krystalů. Tato skelná fáze je složením rozdílná oproti původnímu složení taveniny. [3]

Po ukončení vlastního lití je nutné tepelné zpracování čedičových výrobků dělit na 3 základní operace:

- dokončení rekrystalizace;
- rychlé snížení teploty;
- chlazení zbytkové skelné fáze.

Během první fáze chladnutí při zahřívání čedičového odlitku na vysoké teploty probíhá dokončení rekrystalizace. Hlavním účelem je dosažení stejnoměrné krystalické struktury

odlitku. Rozdílné i zbytkové skelné fáze mohou zůstat při nestejněm krystalizaci, z toho vyplývá rozdílná tepelná roztažnost.

V případě změny z původní vysoké rekrystalizační teploty na vhodnou teplotu dochází k rychlému snížení teploty pro vychlazení zbytkové skelné fáze.

Poslední etapa je chlazení zbytkové skelné fáze, která již probíhá podle zásad pro chlazení skla. V prvním kroku je potřeba vyrovnat teploty. Jako vyrovnání teploty bereme odstranění gradientu a pnutí. Vzniku trvalého pnutí ve výrobku zamezíme pokračováním v chladícím postupu vychlazením zbytkové skelné fáze. Nelze zabránit za podmínek zvolené technologie lokálnímu pnutí mezi krystaly a skelnou fází, ke kterému může dojít rozdílem tepelné roztažnosti krystalů a zbytkové skelné fáze.

Normální čedičové odlitky mají celkovou chladicí dobu cca 24 hodin. Zhruba 3 hodiny jsou vyhřívány v rekrystalizačním pásmu na teploty nad 800 °C, po zbytek času jsou chlazeny. Při výstupu z pece mají odlitky teplotu pouhých 50 °C.

Řádný chod tunelové pece kontrolují zabudované termočlánky, musí se dávat pozor ale i na další věci. Výrobky se nesmí vyrábět rychleji než je nařízená rychlost posunu pece. Při rychlém posunu roštů se výrobky dostatečně neprohřejí – dochází k praskání odlitků. Jakmile jsou vloženy odlitky do pece, dojde k uzavření vkladacího otvoru. V případě, že tomu tak není, může do pece vniknout studený vzduch a odlitky mohou být poškozeny. Výrobky jsou po průchodu pecí očištěny a tříděny.

Správně vyrobené odlitky mají jasný kovový zvuk, naopak špatně vyrobené odlitky tohoto zvuku nedosahují. Výrobky jsou zkoušeny poklepem malého kovového kladívka. Po roztržení jsou určitou dobu skladovány, poté dojde k nové zkoušce kladívkem a následně transportovány. Neprovádí se opracování čedičových odlitků, protože vysoká tvrdost a obrusuvzdornost rekrystalizovaného čediče nedovoluje toto opracování. Čedič je dobře opracovatelný diamantovou frézou a lze ho řezat diamantovou pilou. Dále se dá řezat i karborundovými pilami. Mezi poslední úpravy čedičových odlitků patří zabrušování nerovných a drsných ploch. [3]

1.3 Produkty z taveného čediče

Výsledné produkty z taveného čediče lze dělit do 3 skupin:

- staticky lité odlitky do kovových kokil;
- odstředivé lité trouby;
- ostatní odlitky lité do pískových forem.

Samotné produkty můžeme rozdělit na:

- 1) dlaždice,
- 2) trouby,
- 3) žlaby,
- 4) tvarové odlitky.

1.3.1 Dlaždice

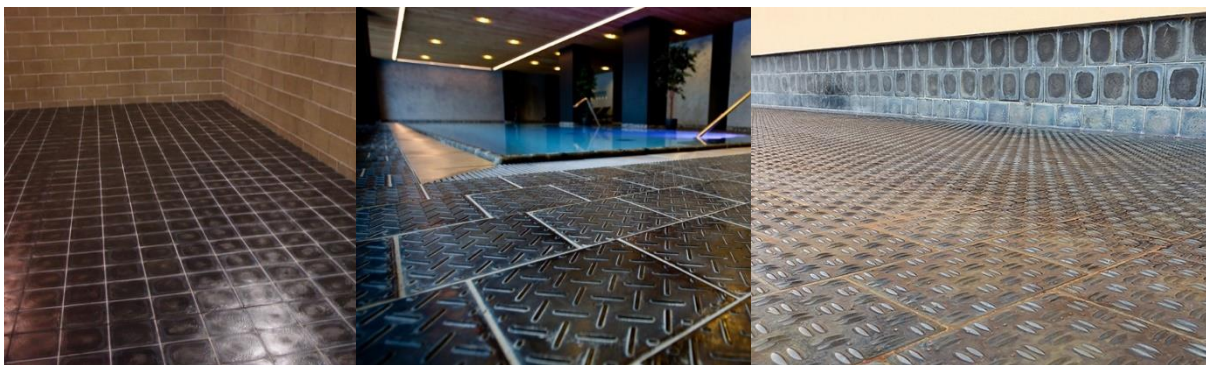
Dlaždice patří mezi nejjednodušší odlitek, který je vyráběn litím čedičové taveniny do otevřených pískových forem nebo kovových kokil. Středně vazné slévárenské písky se používají pro zhotovování pískových forem, přidává se zhruba 15 % čerstvého písku. Důležitá je také co nejmenší vlhkost. V případě vysoké vlhkosti formy může hrozit u povrchu dlaždic zvrásnění. Je-li dodržena minimální vlhkost písku, formy není nutné sušit. Teplota čedičové taveniny dosahuje 1160 až 1190 °C. Lití této taveniny by mělo být maximálně 400 mm nad formou. Jakmile je tavenina vylitá do formy, dojde k zasypání vrchní strany odlitku suchým pískem. Vyjmutá dlaždice se poté hned dává do rekrystalizačního pásma tunelové pece. [3]

Hotové čedičové dlaždice by neměly vykazovat následující vady:

- trhliny;
- skelnou vrstvu na pracovní ploše;
- cizí tělesa o průměru větším než 5 mm;
- lunkry (dutiny ve stěně dlaždice) nad 5 mm;
- mapovitost zasahující do hloubky větší než 1 mm;
- prolákliny a nálitky přesahující dovolené úchytky.

Dlaždice lze dělit podle tvaru na 2 skupiny:

- pravoúhlé dlaždice – čtvercové nebo obdélníkové;
- tvarové dlaždice.



Obrázek 2: Vlevo - čedičové pravouhlé dlaždice; uprostřed - čedičová protiskluzová dlažba; vpravo - expediční rampa [4]

Dlaždice se odlévají v rozměrech od 100 x 100 mm do 500 x 500 mm. Tloušťky dlaždic jsou od 20 až do 80 mm. Tloušťka se většinou odvíjí od velikosti výrobků. Při namáhání dlaždice otěrem, používají se menší tloušťky stěny. Dlaždice s menší tloušťkou stěny se také používají tam, kde je obložení vystaveno náhlým teplotním změnám. Kde jsou dlaždice namáhané nárazy, používají se dlaždice s tlustou stěnou. [3]

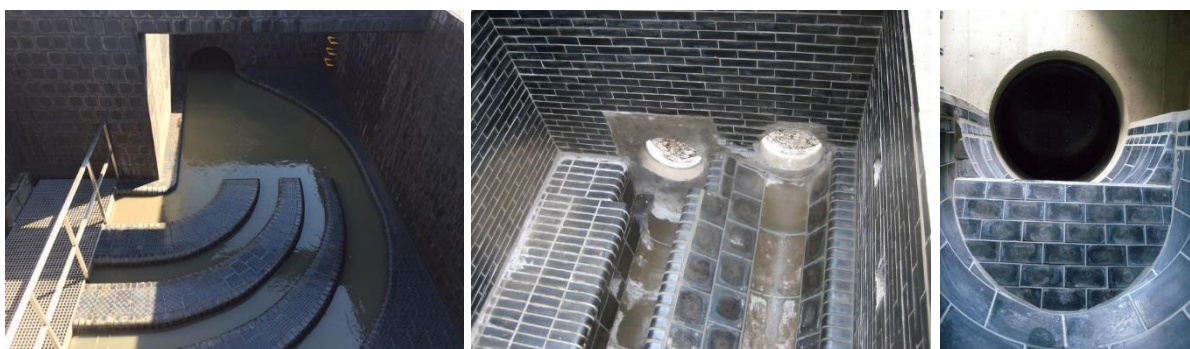


Obrázek 3: Vlevo - cihelná klenba a obklad stoky DN800; uprostřed - násypka na kámen; vpravo - odlehčovací komora [4]

Využití čedičových dlaždic může být:

- podlahy provozoven namáhaných otěrem a chemickou agresí, podlahy v provozovnách, kde se manipuluje s těžkými předměty, podlahy kovodělných a slévárenských provozoven, podlahy v kotelnách a spalovnách odpadků, podlahy v mořárnách kovů, podlahy v galvanizovnách, podlahy v chemických provozovnách, v barvárnách, čistírnách a prádelnách, podlahy v koželužnách, podlahy v interiéru hotelů, restaurací a dalších
- dopravní cesty pro pojízdné vozíky, obložení zásobníků v úpravnách uhlí a koksu

- vyložení žlabů, skluzů a výsypek v třídírnách a prádlech uhlí, vyložení zásobníků na uhlí a uhelný prach a koks, vyložení zásobníků na rudy a štěrk, vyložení žlabů, skluzů a výsypek na rudy, štěrk a koks, vyložení zásobníků na strusku, vyložení skluzů odstruskovačů, vyložení žlabových skluzů a struskových zásobníků, vyložení stěn a dna odstruskovacích redlerů, vyložení bagrovacích jímek na škváru a vyložení mořících van v hutních a ostatních provozech
- dlaždice pro obklady stok, obklady silážových jam v zemědělství, obklady podlah v mísírnách krmiva, obklady nádrží čistících stanic a obklady veškerých přesypů pro koks na trase koksovna – vysoké pece [3]



Obrázek 4: Vlevo - vyložení stoky čedičovými dlaždicemi; uprostřed - kombinace čedičových výrobků v obložení; vpravo - obložení přepadové hrany [4]

1.3.2 Trouby

Pro pneumatickou a hydraulickou dopravu je určena výroba krátkých čedičových trub. Odstředivě litý odlitek je oproti staticky vyráběnému odlitku hutnější, homogenní a také bez pórů a bublinek. Odstředivě lité trouby se vyznačují třemi vlastnostmi – jednolitá struktura, větší pevnost proti přetlaku a jsou lité normálním statickým způsobem.

Výroba těchto trub začíná tím, že jeřáb do rolny stroje usadí kokilu, přitlačené rameno je sklopené a jsou upevněny licí kroužky kokily na obou koncích. Rolny se uvedou do pohybu. Kokila má zhruba 2 – 6 mm silnou pískovou vrstvu a nalévacím žlábkem je do rotující kokily nalito potřebné množství taveniny. Rozprostřená tavenina je během rotace chlazená na rekrystalizační teplotu. Postupem času se trouba dostává do stavu tuhého. Jakmile je rotace dokončena, licí kroužky jsou odstraněny a kokila je opět jeřábem přenesena na vyrážku, kde je vytlačena trouba z kokily ven. Poté dochází k očištění kokily a proces může začít znovu. [3]



Obrázek 5: Vlevo - potrubí z čediče JS 700; uprostřed - čedičové trouby pro ražení; vpravo - čedičový obklad dna betonového prefabrikovaného dílu [4]

Hotové čedičové trouby by neměly vykazovat následující vady:

- trhliny;
- skelnou vrstvu tloušťky přes 1,5 mm na povrchu trouby a přes 3 mm na čelní ploše;
- lunkry zjistitelné okem či poklepem;
- zalitá cizí tělíska zjistitelné okem či poklepem;
- nerovnost vnitřního povrchu.



Obrázek 6: Vlevo - čedičové T kusy po vyrobení; uprostřed - vyrobené čedičové trouby; vpravo - T kus s čedičovým vnitřkem [4]

Nejčastěji vyráběné trouby mají délku půl metru. Vnitřní průměr se také nazývá jmenovitá světlost. Hodnota průměru se obvykle pohybuje od 75 do 700 mm. Povrch trub bývá obvykle hladký jak na vnější, tak i na vnitřní straně. [5]

Roztřídné trouby jsou podle velikosti vnitřního průměru označené na čelní ploše:

- červenou barvou – trouby vnitřních průměrů, odpovídajících tloušťce stěny 19 mm;
- zelenou barvou - trouby vnitřních průměrů, odpovídajících tloušťce stěny 20 mm;
- modrou barvou - trouby vnitřních průměrů, odpovídajících tloušťce stěny 21 mm (pelikán).

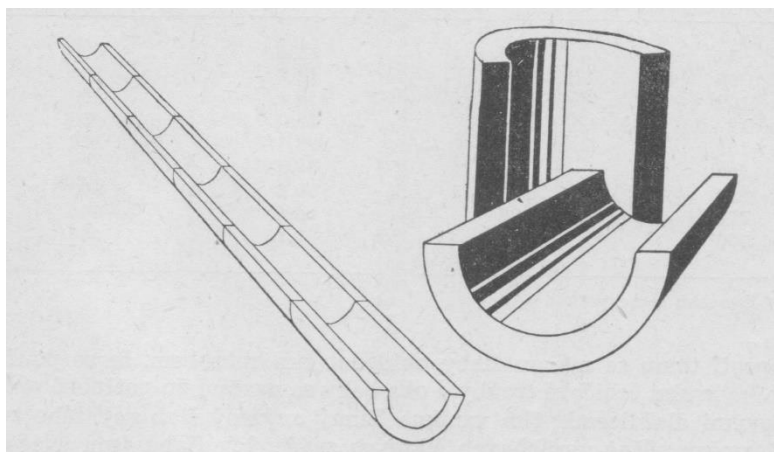
Čedičové potrubí lze využít na:

- foukaná základka v dolech, plavená základka v dolech;
- spádová doprava drceného kamene a hlušiny, pneumatická doprava práškového uhlí z mlýnic do kotlů, pneumatická doprava uhlí, koksu, popela, strusky, kyzů, rud a cementu, pneumatické odpopílkovací zařízení, pneumatické a hydraulické odstruskovací zařízení, předdrcení uhlí před kulovým mlýnem, pneumatické vracení propadu, pneumatická doprava sklářské vsázky a různých surovin, spádová doprava surovin, odpadové kanály vystavěné otěru a chemické agresí ve všech sektorech, pneumatická doprava sypkých hmot (cement, vápenec, písek atd.);
- odsávací zařízení v kamenolomech, odsávací zařízení – potrubí na škváru a popel;
- potrubí pro odvádění prachu, potrubí pro dopravu rmutu a pro agresivní prostředí ve všech sektorech;
- ochranné potrubí proti elektrickým bludným proudům podél železničních tratí při ukládání kabelů. [3,4]

1.3.3 Žlaby

Výroba rovných žlabů probíhá statickým litím do pískových do pískových forem – žlaby ploché a bočnicové. Druhá možnost výroby je elektrickým pukáním čedičových trub – žlaby půlkulaté a třetinové.

Ploché a bočnicové žlaby se vyrábějí litím do otevřených forem. Dává se přednost půlkruhovým nebo třetinovým žlabům oproti plochým a bočnicovým žlabům. [3]



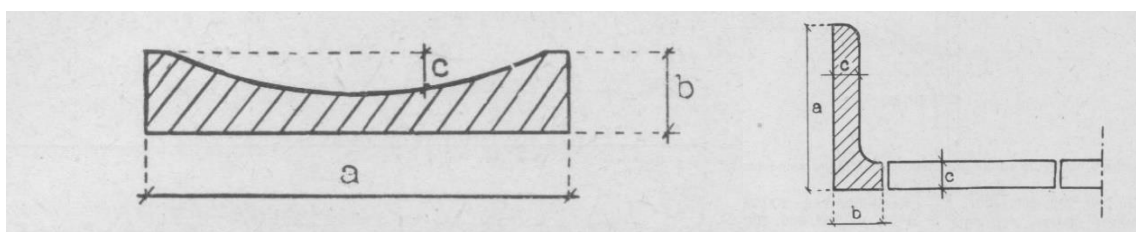
Obrázek 7: Půlkulatý žlab [3]

Tabulka 1: Rozměry plochých žlabů [3]

a	b	c	Délka
250	55	25	200
200	40	15	200

Tabulka 2: Rozměry bočnicových žlabů [3]

a	b	c	Délka
200	60	30	200
150	60	30	200



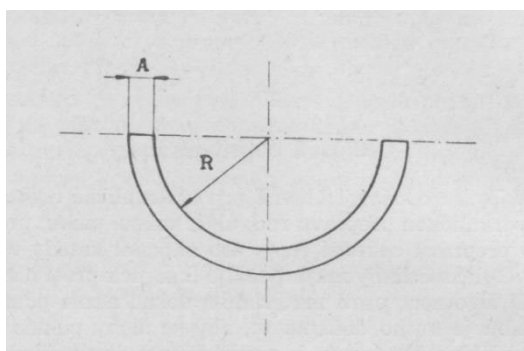
Obrázek 8: Vlevo – ploché žlaby; vpravo - bočnicové žlaby [3]

Půlkulaté a třetinové žlaby se vyrábějí z čedičových trub. Způsob výroby je elektrickým pukáním na poloviny nebo třetiny. Obvykle se používaly vadné trouby, ze kterých bylo možno vyrobit v optimálním případě dva žlaby, ve většině případů to byl pouze jeden žlab.

Výroba spočívá v tom, že se trouba musí lokálně přehřát odporovým topným drátem na vnějším i vnitřním povrchu. Tímto přehřátím se vyvolá pnutí ve stěně, z čehož vylpne prasknutí trouby. Pro správné dosednutí drátu je důležité správné očištění trouby. Obvyklá tloušťka žlabu činí 20 mm. Na konci výroby těch žlabů je výsledný výrobek zabroušen. Poté se zkontroluje správný zvuk a rozměry a následuje expedice. [3]

Tabulka 3: Rozměry běžně vyráběných žlabů [3]

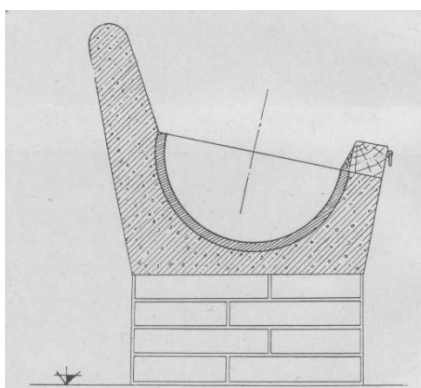
R [mm]	A [mm]	Délka [mm]
75	20	500
90	20	500
102	20	500
127	20	500
151,5	20	500
200	20	500



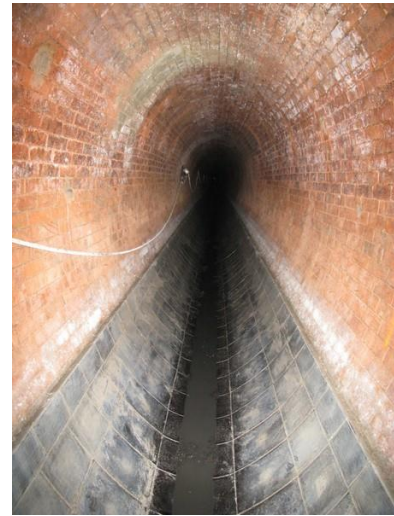
Obrázek 9: Běžně vyráběné žlaby [3]

Použití žlabů z čediče:

- odpadní žlaby, žlaby pro spádovou přepravu rmutu a odpadů spalováním, žlaby pro hydraulické odstruskování včetně oblouků a přípojek, žlaby pro obklady stok a také krmné žlaby v zemědělství;
- vyložení aglomeračních žlabů, vyložení granulačních žlabů, vyložení žlabů pro odvedení materiálu získaného hydromechanizačním těžením, vyložení dopravních žlabů v cukrovarnictví. [3]



Obrázek 10: Vyložení krmných žlabů čedičovými půlkruhovými žlaby [3]



Obrázek 11: Vlevo - čedičový žlab ve šnekovém dopravníku; vpravo - dnový čedičový žlab a tvarovky v kanalizační vejčité stoce [4]

1.3.4 Ostatní výrobky – tvarové odlitky

Mezi tyto výrobky můžeme zařadit například oblouky, přechody, odbočky, T-kusy a Y-kusy. Tyto výrobky byly lité do uzavřených forem nebo případně kokil. Mezi hlavní podmínky pro možnost odlévání do uzavřených forem patří: dodržení minimální síly stěny úměrné tvaru, velikosti a dráze zatékání čedičové taveniny. Tloušťka stěn se pohybuje v rozmezí 25 – 35 mm. Tloušťky stěn by měly být neměnné, aby bylo dosaženo dobré konstrukce čedičových odlitků.

Oblouky se jinak také nazývají kolena a bývají podstatnou součástí potrubí. [3]



Obrázek 12: Čedičová tvarovka pro spadiště [4]

Použití tvarovek a speciálních odlitků:

- vyložení odlučovačů, cyklonů, násypných trychtýřů a exhaustorů, vyložení stěn statorů sacích ventilátorů, vyložení stěn ventilátorů a kouřových kanálů, vyložení odstruskovačů, vyložení hydrocyklonů;
- roštové válce pro třídače koksu, vložky do difusorů pro odstruskování, obklady stěn šnekových dopravníků, pancěře trubnatých mlýnů na cement, spodové pancěře kolových mísiček na míšení šamotového materiálu, spodové pancěře pro dna flotátorů;
- podávací válce, šneky a ústí do cihlářských pásových lisů, kladky a drátotahy pro tažírny a mořírny drátu, rozpěrovací sloupky – rozpěrky při lisování umělých hmot;
- čedičové šneky plné pro šnekové dopravníky, tlakové šnekové obklady, nárazové desky pro dopravu chemických kanálů, vrtule k flotátorů. [3]



Obrázek 13: Vlevo - speciální čedičové odlitky; uprostřed - testovací dráha pro automobily ze speciálních dlažeb SKID PAN; vpravo - násypka s čedičovým vyložení [4, 5]

1.4 Odolnost výrobků z taveného čediče

Čedič prokazuje opravdu vysokou chemickou odolnost, má prakticky nulovou nasákavost, tudíž je to materiál, který se běžně využívá v zemědělství a také v potravinářské výrobě.

Mezi další přednosti čediče patří mrazuvzdornost. I po padesáti zmrazovacích cyklech při teplotním rozmezí -15 °C a $+15\text{ °C}$ nedochází k porušení dlaždic (odlitků). Lze ho tedy srovnat s mrazuvzdornými keramickými obkladovými prvky.

Čedič disponuje také vysokou otěruvzdorností, tvrdostí, pevností v tlaku a také vysokou chemickou odolností. Tavený čedič je svojí chemickou odolností kvalitnější než kovové a cementové materiály. O něco lepší svojí chemickou odolností jsou pouze korundové materiály, chemicky odolné sklo a karbid křemíku.

Ovšem v alkalických roztocích má čedič lepší charakteristiky, proto ho lze s korundovými materiály při působení těchto roztoků srovnávat. [5]

Tabulka 4: Vlastnosti přírodního a taveného čediče [5]

Vlastnost	Jednotka	Přírodní čedič	Tavený čedič
Nasákavost	% hmot.	-	0
Pevnost v tlaku	MPa	162 – 318	450
Pevnost v ohybu	MPa	16,5 – 35,1	40
Chemická odolnost $\frac{70\% H_2SO_4}{1\% NaOH}$	% obj.	$\frac{24}{2}$	$\frac{9}{1,5}$
Tvrdość dle Mohse		-	8
Obrusnost DIN 52108	cm ³ /50 cm ²	5,6 – 6,6	max. 5
Odolnost proti opotřebení EN 102	mm ³	139 - 177	max. 110

Čedič ve výsledcích chemické odolnosti ukazuje, že je za studena relativně stálý. Za studena odolává slabým anorganickým a organickým kyselinám, solím, roztokům a zásadám. S rostoucí teplotou se snižuje odolnost taveného čediče. Za zvýšených teplot se nedoporučuje jej používat v prostředí anorganických kyselin. Naopak v zásaditém prostředí nebo v roztocích solí ho lze použít i za zvýšených teplot. Před použitím čediče je nutno vykonat provozní zkoušku při užití v chemických prostředích, kde působí řada činitelů. [2]

2 Technologie provádění kanalizací

Při výstavbě stok musí být dodrženy všechny podmínky, při projektování a realizaci je zodpovědný projektant za uznávání všech norem a předpisů.

Výstavba stok se dělí do 3 možných způsobů:

- stavba stok v otevřeném výkopu (rýhách);
- technologie výstavby v otevřeném výkopu;
- výstavba a sanace stok bezvýkopovými technologiemi. [6]

2.1 Stavba stok v otevřeném výkopu (rýhách)

Při realizaci trubních a zděných stok dochází k úpravě základové spáry a podkladních konstrukcí. Můžeme rozlišit tyto základní úpravy:

- trubní stoka z tuhých trubek nebo zděná stoka v rýze bez výskytu podzemní vody;
- trubní stoka z poddajných trub bez výskytu podzemní vody;
- trubní stoka z tuhých trub nebo zděná stoka s výskytem podzemní vody ve výkopu;
- trubní stoka z poddajných trub s výskytem podzemní vody ve výkopu.

První jmenovaná možnost trubní stoka z tuhých trubek nebo zděná stoka v rýze bez výskytu podzemní vody se provádí tak, že ze dna výkopu je odstraněn zbytek výkopu. Po odstranění zbytku výkopu dojde k vyrovnání štěrkopískem. Na vrstvu podkladního betonu nebo na podkladní betonovou desku, která musí mít minimálně 150 mm, se položí tuhé trouby (kameninové potrubí). Minimální třída betonu je C12/15. U sedla je nutností středový úhel minimálně 120°. Další možností pokládky je na tuhé nedeformovatelné pražce nebo také betonové podkladky, které jsou položeny na betonovou desku. U betonové podkladky dojde k následnému podbetonování, kdy betonová směs má měkkou konzistenci. Betonové podkladky vyrábí více výrobců, jejichž minimální výška je 80 mm pro trouby DN 300 – 500 mm a 110 mm pro trouby DN 600 – 800 mm.

U trubní stoky z poddajných trub bez výskytu podzemní vody se také v první řadě odstraní zbytky výkopu ze dna a dojde k vytvoření hutněné štěrkopískové lože o dvou možných tloušťkách. Při normálních podmínkách podloží a zemin je tato tloušťka 100 mm. Pro skalnaté horniny je to 150 mm. Také pro zeminy, které mají tuhou konzistenci, je to 150 mm.

U třetí možnosti se dno výkopu vyspádúje na jednu stranu a dojde k odstranění zbytků výkopu. Ve výkopu se po odstranění zbytků vytvoří drenážní štěrková vrstva, která má

tloušťku v rozmezí 100 – 150 mm. V hlubší straně je umístěno drenážní potrubí. Je-li šířka základové spáry větší jak 2 metry, drenáž je umístěna na obě strany výkopu.

Trubní stoka z poddajných trub s výskytem podzemní vody ve výkopu má zpočátku stejný postup jako trubní stoka z tuhých trub nebo zděná stoka s výskytem podzemní vody ve výkopu. Po umístění drenážního potrubí se provede betonáž základové desky, která má tloušťku

100 mm.

Projektová dokumentace určuje způsob uložení poddajných a polopoddajných trub, míru zhutnění lože, bočního obsypu, krycího obsypu a také hlavního zásypu. Poddajné a polopoddajné trouby nesmí být uloženy na tvrdé podloží. Drenáž musí odvádět podzemní vodu během stavby. Poté je vytvořena čerpací jámka. Samotná drenáž je po výstavbě stoky zrušena a čerpací jámka zabetonována. Drenáž je zrušena zaslepením v místě šachet.

Když dojde k založení nad hladinou podzemní vody, je základová spára upravena vrstvou písčité zeminy, která má minimální tloušťku 50 – 100 mm. Podkladová betonová deska z betonu C12/15 se založí u stlačitelných, rozbrídavých nebo méně únosných zemin. Minimální tloušťka podkladové desky je 100 mm a ve výkopu se nesmí vyskytovat podzemní voda. [6]

Konstrukce stok lze z hlediska provádění rozdělit na:

- prefabrikované (trubní);
- stoky zděné a betonované na místě.

Prefabrikované neboli trubní stoky lze budovat z trub těchto materiálů:

- kameninové trouby;
- sklolaminátové trouby;
- plastové trouby – PVC, PP a PEHD;
- trouby z tvárné litiny;
- trouby železobetonové s vnitřní výstelkou čedičovými nebo keramickými tvarovkami;
- polymerbetonové trouby;
- potrubí z termoplastů;
- trouby z jiných materiálů.

Materiály, ze kterých jsou trouby vyrobené a jejich spojovací materiály, budou popsány v další části bakalářské práce – rešerše materiálů. [6]



Obrázek 14: Vlevo - výstavba definitivní konstrukce stoky; uprostřed - zajištěné rozvolněné bloky za ostěním stoky; vpravo - uložení bubnu a vyzdění zbývající části stoky [7]

2.2 Technologie výstavby v otevřeném výkopu

Hloubka zakládání při výstavbě v otevřeném výkopu je do cca 6 (8) m (ekonomické hledisko) a zakládání rozlišujeme na:

- výkop nepažený,
- výkop pažený.

Šířka rýh pro zřízení konstrukce stoky se rozlišuje podle dvou kritérií. Může to být dle hloubky rýhy nebo dle velikosti profilu. [6]

Tabulka 5: Šířka rýhy dle hloubky rýhy [6]

Hloubka rýhy	Zapažená rýha
$1,00 \text{ m} \leq H \leq 1,75 \text{ m}$	0,8 m
$1,75 \text{ m} < H \leq 4,00 \text{ m}$	0,9 m
$H > 4,00 \text{ m}$	1,0 m

Tabulka 6: Šířka rýhy dle velikosti profilu [6]

DN potrubí	Zapažená rýha
≤ 225	$d + 0,40 \text{ m}$
$> 225 \text{ až } \leq 350$	$d + 0,50 \text{ m}$
$> 350 \text{ až } \leq 700$	$d + 0,70 \text{ m}$
$> 700 \text{ až } \leq 1200$	$d + 0,85 \text{ m}$
> 1200	$d + 1,00 \text{ m}$

2.3 Výstavba a sanace stok bezvýkopovými technologiemi

Při výstavbě bezvýkopovými technologiemi nebo jejich sanací nedojde k narušení povrchu. Pokládka nevyvolá omezení a může být v místech těžce přístupných a nepřístupných terénů. Při výstavbě nových stok bezvýkopovými technologiemi rozlišujeme 2 technologie:

- s osádkou,
- bez osádky.

V případě větších dimenzí se užívá technologie s osádkou, při menších profilech je využita technologie bez osádek. Technologie s osádkou zahrnuje štítování a protlaky větších profilů, druhá technologie bez osádky zahrnuje mikrotunelování s odlišným způsobem odebrání zeminy, dále protlaky s vodící troubou a směrové vrtání.

Opravy narušených míst se provádí použitím vložkových rukávů ze syntetických vláken, která jsou sycené vhodnou pryskyřicí.

Po výstavbě nebo opravě bezvýkopovou technologií se musí provést zkouška těsnosti a také zhotovení dokumentace o skutečném provedení stavby. [6]

Výstavba stok může být také provedena hornickým způsobem v podzemí, kdy se jako činnost výstavby bere:

- ražení štol,
- hloubení šachet,
- provádění protlaků.



Obrázek 15: Vlevo - nátoková čedičová tvarovka spadiště; uprostřed - pohled ze spadišťového prostoru; vpravo - pohled do těžní šachty [7]

2.4 Rušení stok a přípojek

Při rušení stok dochází k jejich vytěžení. Mohou být také zafoukány inertním materiálem. Spojené, rozdělovací nebo oddělovací komory jsou zrušeny rozbitím nebo taktéž vytěžením. Vstupní šachty jsou vyplněny hodícím se materiálem. Do hloubky minimálně 3 m pod úroveň terénu jsou rozebrány a zbytek prostoru je zabetonován, poté zasypán a zhutněn. Přípojky jsou rušené zaslepením. Je-li možné je vykopat, budou vytěženy a odvezeny na skládku. Naopak v případě, že povrch nelze otevřít, přípojky jsou vyplněny inertním materiálem. [6]

3 Rešerše materiálů používaných při realizaci staveb pro stokové sítě

Základní používané výrobky při realizaci odpadních staveb lze rozdělit na:

- kameninové trouby,
- železobetonové trouby,
- čedičové potrubí,
- polymerbetonové potrubí,
- kovová potrubí,
- sklolaminátové potrubí,
- potrubí z termoplastů,
- zděné konstrukce,
- malty pro zdění stok a stokových objektů,
- betonové zdivo,
- betonové prefabrikáty,
- doplňkové prvky kovové a kompozitové,
- poklopy vstupních šachet na stokové síti,
- armatury,
- vstupní šachty s uzavíracími armaturami,
- provizorní hrazení v objektech stokové sítě. [6]

3.1 Kameninové trouby

Tento druh potrubí je nejčastěji používaný při výstavbě stok, hlavně díky své dobré provozní zkušenosti. Kameninové trouby se dají rozdělit dle druhů hrdlových spojů na spojovací systém C (spoj S), spojovací systém C (spoj K), bezhrdlové spoje trub typu CreaDig a spojovací systém F (spoj L). Většina těchto spojů má pryžové těsnění.

Musí splňovat určité základní požadavky na trubní stoky:

- celková tloušťka podkladní konstrukce musí být minimálně 150 mm;
- obsyp trub až do výšky 0,3 m nad vrchol potrubí;
- obsyp musí být proveden písčitou zeminou s max. zrnitostí kameniva do 11 mm pro trouby $DN \leq 900$ a pro $DN 1000 - 1400$ zeminou se zrnitostí kameniva do 22 mm;

- obsyp musí být dobře zhutněn a zaktivován do okolní zeminy;
- v některých případech se potrubí obetonuje betonem minimálně C12/15, tloušťka obetonování nad vrcholem trub má být minimálně 100 mm DN 300 – 400, 150 mm u DN 500 – 600;
- únosnost musí být vždy posouzena statickým výpočtem v případě, že je výška krytí menší než 1,5 m nebo větší než 4,0 m. [6]



Obrázek 16: Kameninové potrubí [8]

3.2 Železobetonové trouby

I tyto trouby musí splňovat základní požadavky na výstavbu stok:

- potrubí musí být uloženo na podkladní betonové desce, betonových pražcích a betonovém sedle, které musí mít minimální středový úhel 120°;
- v případě uložení ve vnějším agresivním prostředí musí být potrubí opatřeno vnější ochranou při použití speciálních cementů;
- napojení přípojek je prováděno do otvorů ve stěně trub, které jsou vytvořeny při výrobě samotných trub;
- musí vykazovat odolnost proti agresivitě chemického prostředí XA2. [6]



Obrázek 17: Trouba železobetonová hrdlová [8]

3.3 Čedičové potrubí

Druh tohoto potrubí je vyráběn tavením čediče, ze kterého je formování výrobků litím. Výrobní technologie omezuje velikost výrobků. Maximální velikost je tedy 0,5 x 0,5 m, tloušťka stěn je kolem 30 mm a délka zhruba 1,0 m. Čedičové potrubí se využívá ve velmi namáhaných stokách především kvůli svým vlastnostem. [6]

3.4 Polymerbetonové potrubí

Tento druh lze charakterizovat jako velmi odolný materiál, který obsahuje vybrané písky ze silikátové kameniny vázané polyesterovou pryskyřicí. Křemičité písky slouží jako plnivo, jsou prané, sušené a tříděné dle zrnitosti. Křemičité písky jsou smíchány s polyesterovou pryskyřicí, dojde k odlití do forem vibrační metodou a poté k vytvrzení. Po 20 minutách se výrobky vyjmou z formy a jsou opatřeny obalem.

Zásadou vlastností polymerbetonu je umožněno použít tento typ v oblastech s nejvyššími požadavky na mechanické vlastnosti, otěruvzdornost a také chemickou stálost. Nasákavost vytvrzeného polymerbetonu je nulová, tudíž je mrazuvzdorný a rozměrově přesný. Oproti normálnímu betonu má polymerbeton vyšší mechanickou pevnost, odolnost proti opotřebení a také vyšší chemickou stálost. Hlavním aspektem je oproti normálnímu betonu vyšší statická a dynamická pružnost. [6]



Obrázek 18: Polymerbetonový žlab [9]

3.5 Kovová potrubí

Při výrobě stok se používají 2 druhy potrubí:

- z ušlechtilých ocelí (nerezová),
- z tvárné litiny.

Běžné ocelové potrubí je v objektech nahrazováno nerezovou ocelí. Nerezová ocel si zachová výhody jako ocelové potrubí při vyšší odolnosti proti korozi. Dalším kladnou vlastností je, že dosáhne mnohem vyšší životnosti. Jsou zde hlavně použity antikoroční, nemagnetické oceli.

Kombinací oceli a šedé litiny se vyznačuje tvárná litina. U tlakových potrubních systémů došlo k nahrazení potrubí ze šedé litiny. Tvárnou litinu můžeme použít ve skluzových tratích, spadišťových šachtách, domovních přípojkách apod.

Potrubí musí být po celé délce uloženo ve výkopu do pískového lože. [6]

3.6 Sklolaminátové potrubí (GRP)

Sklolaminátové potrubí podléhají také základním požadavkům na stoky. Zde máme uvedené některé z nich:

- používat trouby, které jsou vyráběné technologií odstředivého lití, nebo spojitého navíjení vlákna;
- tento typ potrubí lze využít pouze pro dešťovou kanalizaci;

- minimální kruhová tuhost SN12000;
- ukládání do pískového lože;
- použití písčité zeminy s maximální zrností dle příčky výrobce na obsyp;
- pokládání trub při větší teplotě než 5 °C;
- nutnost potrubí odolat chemické agresivitě odpadních vod v rozsahu pH3 – pH 10;
- spoje musí zaručit těsnost spojů. [6]



Obrázek 19: Sklolaminátové potrubí [8]

3.7 Potrubí z termoplastů

Potrubí z termoplastů může být tvořeno několika způsoby. Může být z potrubí a tvarovek z PVC – U (tvrzený polyvinilchlorid), dále může být z potrubí a tvarovek z PE (PE-HD vysokohustotní polyetylen, PE-X síťovaný polyetylen). Poslední z možností je, že může být tvořené z potrubí a tvarovek z PP (polypropylen).

Toto potrubí by mělo splňovat některé z následujících požadavků:

- použití trub o kruhové tuhosti $SN \geq 12$, $SDR 11$, $PN 10$, $DN \leq 500$;
- trvalá deformace trub maximálně 5 %, po zásypu 3 %;
- užití trub hladkých nebo plnostěnných, které obsahují plniva do 5 %;
- použití potrubí a tvarovek ze stejného materiálu a stejné kruhové pevnosti;
- musí být odsouhlasené druhy a typy trub;
- jsou přípustné i velkoprofilové trouby PE, $DN \geq 800$. [6]



Obrázek 20: *Plastové potrubí [8]*

3.8 Zděné konstrukce

Zděné konstrukce se užívají při realizaci stok o velkém profilu nebo také při stavbě objektů na stokové síti. Může sloužit mít ochranou funkci, zejména pro nosné betonové či železobetonové konstrukce. Jsou tvořeny zdíciými prvky. Tyto prvky jsou v konstrukci spojovány většinou maltou, občas také jiným pojivem.

Zdíci materiál může být různorodý:

- kámen,
- keramické cihly,
- čedičové cihly,
- speciální čedičové prvky – žlaby, bočnice, vložky,
- keramické tvárnice. [6]

3.8.1 Kámen

Kámen je vhodný materiál pro extrémně namáhané konstrukce nebo také do konstrukcí nepravidelných tvarů. Může být použit například na stěny spadišťových šachet a dešťových oddělovačů, přepadové hrany a mnoho dalších.

Kámen musí splnit požadavky uvedené v tabulce:

Tabulka 7: *Požadavky na použitý kámen [6]*

Pevnost v tlaku	min. 150 MPa
Odolnost proti obrusu	max. úbytek 6 cm ³ /50 cm ²
Nasákavost	max. 1 %

Kamenné zdivo musí splňovat vybrané následující požadavky:

- minimální průřez kamenných prvků 150 x 150 mm, délky 250 mm;
- individuální výroba (podklady – dílenské výkresy);
- použití opracovaných kamenů pro některé zdivo;
- spojení cementovou maltou (shodné vlastnosti jako pro maltu cihelného zdiva);
- max. šířka spár 12 mm;
- spára nesmí být ve svislé ose profilu. [6]

3.8.2 Keramické kanalizační cihly

Ze zdících materiálů se keramické kanalizační cihly řadí mezi nejpoužívanější materiál. Na základě parametrů cihel jsou stanoveny jejich požadované vlastnosti.

Musí se řídit některými základními požadavky:

- vodorovná tloušťka cihelného zdiva by měla být minimálně 125 mm, svislé konstrukce by měly mít tloušťku minimálně 250 mm;
- osazení čedičového žlabu na dně, který omezuje počet spár;
- při venkovní šířce spáry do 12 mm by měla mít vnitřní spára 7 – 9 mm;
- spára se nesmí rozevírat;
- cihly s dutinami a s maltou měkké konzistence se většinou využívají pro zdění kleneb;
- plné cihly se kombinují s čedičovými žlaby a bočnicemi při použití na zdění stok;
- cihly do stok musí být I. jakosti;
- vápenopískové cihly jsou nepřípustné.

Základních požadavků, které tyto cihly musí splnit je mnohem více. Například ještě to, že nasákové cihly se před použitím musí nejméně na 1 hodinu namočit. [6]

3.8.3 Čedičové cihly

Čedičové cihly jsou jako většina čedičových produktů vyráběny z taveného čediče. Využití a zásady těchto cihel je totožné jako u předchozích cihel. Zejména kvůli vlastnostem čediče se tyto cihly využívají pro dna stok, pro různé vyzdění silně namáhaných konstrukcí.

Výrobky a konstrukce musí splňovat následující požadavky uvedené v tabulce:

Tabulka 8: Požadavky na výroby a konstrukce [6]

Objemová hmotnost	2950 kg/m ³
Pevnost v tlaku	min. 450 MPa
Nasákavost	max. 0 %
Použitelnost v prostředí	pH 3 – 13
Základní formát	240 x 150 x 65 mm
Ložné plochy	vrubovány
Tvarové prvky	žlaby, bočnice, radiálky
Rychlostní omezení průtoku	do 10 m/sec

3.8.4 Keramické tvárnice

Ke zdění stok s velkým kruhovým profilem a vejčitým profilem se využívají keramické tvárnice, které musí být dutinové o minimální tloušťce 125 mm. Jiné tvárnice je zakázáno používat.

I tyto tvárnice musí splňovat určité požadavky na výroby a konstrukce:

- využití stejných malt jako pro cihelné zdivo stok;
- spáry by měly mít tloušťku 8 – 12 mm;
- spáry ve svislé ose stoky jsou nepřípustné;
- spáry v podélné ose musí být střídány;
- nutnost vytvoření přepážky v jednom příčném profilu ve stoce po 25 m;
- glazovaný vnitřní líc;
- neglazované vrubové vnější a boční strany. [6]

3.9 Malty pro zdění stok a stokových objektů

Důležité pro malty jsou v první řadě vlastnosti, které by měly odpovídat zdícím prvkům. Malty pro realizaci stok se mohou používat pouze průmyslově vyráběné suché směsi. Malta, jakožto spojující materiál, je nedílnou součástí zdiva.

Klade se důraz na 3 kritéria malt pro zdění stok a stokových objektů:

- dostatečná pevnost;
- odolnost vůči účinkům odpadních vod (mechanické, chemické);
- dokonalé spojení.

Pro čedičové typy cihel a pro některé další typy se používají speciální malty. Speciální malty jsou převážně pro nenasákové materiály. Naopak nasákové materiály je nutné ponořit do vody minimálně 1 hodinu před zděním. Každý typ malty do stok má své předepsané vlastnosti. [6]

3.10 Betonové zdivo

Z betonového zdiva je v praxi používán monolitický beton, ale v současnosti se již hojně používají i prefabrikované betonové výrobky. Tyto betony se používají jako konstrukční prvek při realizaci stok a stokových objektů.

Veškerý materiál, který lze použít do stok a stokových objektů, musí splňovat určité požadavky. Základním požadavkem je pevnost a nepropustnost. Pro svislé konstrukce se používá beton C25/30 XC2, XA2. Pro ostatní konstrukce se užívá beton C20/25 XC2. Dalším požadavkem je odolnost vůči agresivním účinkům vnějšího prostředí a podzemní vody. Proti chemickým i mechanickým účinkům odpadních vod se vnitřní povrchy chrání příslušným materiálem, aby nedocházelo k jejich porušení. Vnější prostředí je proti agresivitě chráněno především pomocí síranovzdorného cementu a dokonalým zpracováním betonu. Na ochranu konstrukcí nám může sloužit i vnější izolace. Tato izolace se využívá při silné agresivitě. Vnitřní povrchy lze chránit těmito způsoby:

- pro svislé konstrukce – vnitřními vyzdívkami z kanalizačních cihel, které mají tloušťku minimálně 250 mm;
- pro vodorovné konstrukce - vnitřní vyzdívky z kameninových tvárnic o minimální tloušťce 125 mm;
- čedičovými prvky;
- speciálními metodami. [6]

3.11 Betonové prefabrikáty

Vstupní šachty a uliční vpusti jsou budovány z betonových prefabrikátů, které jsou pouze průmyslově vyráběné pro tento účel. Obecně jsou využívány do kanalizačních objektů s větší opakovatelností.

Prefabrikáty musí být vyrobeny z hutných betonů, zejména z betonů o minimální třídě C 40/50, XA2, XF4. Polyuretanovou pěnou nelze spojovat ani těsnit šachetní dílce. Šachetní prefabrikáty odpovídají určitému geometrickému uspořádání:

- šachetní skruže DN 1000, DN 800;

- přechodové skruže DN 800/1000 a DN 625/800;
- přechodová deska DN 625/1000;
- vyrovnávací prstence;
- šachtová dna DN 1000, 1200, 1500, 1650, 1700 a 1800.

Šachtové vložky je nutné osadit ve vstupních a výstupních hrdlech šachtového dna. Tyto vložky umožňují vodotěsné napojení potrubí.

Uliční dešťové vpusti jsou brány jako prefabrikáty, které jsou navrženy bez kalníků, s kalovým košem. Uliční dešťové vpusti by měly dosahovat hloubky maximálně 1,50 m. Skládají se z těchto prefabrikátů:

- šachtové dno,
- skruž s polodrážkovými spoji,
- horní skruž bez horní polodrážky a přechodové desky.

Na poslední část se osadí rám vtokové mříže. [6]

3.12 Doplnkové prvky kovové a kompozitové

Mezi doplňkové prvky řadíme tyto části, které se do stok používají:

- lávky,
- schodiště,
- rošty,
- stupadla a žebříky,
- vtokové mříže,
- vstupní, ventilační a montážní poklopy.

Do stokového prostředí se lze užít konstrukce z nerezové oceli, z ušlechtilých ocelí, ocelí se speciální ochranou prvků nebo také z kompozitních materiálů. Naopak běžné oceli se do stokového prostředí nehodí. [6]

3.12.1 Poklopy vstupních šachet na stokové síti

Obvykle se v komunikacích využívá poklop třídy D 400, světlosti DN 625 a DN 800, kruhový a odvětrávaný. Skládá se z víka poklopu a rámu poklopu. Víko poklopu je

celolitínové z tvárné litiny. Rám poklopu je též celolitínový z tvárné litiny, ale může být také litino-betonový. Atypické poklopy jsou poklopy nad montážními otvory čerpacích stanic, hradidlových komor nebo také vodotěsné poklopy a spousta jiných. Poklopy lze použít z tvárné litiny a také ze speciálních plastů. [6]



Obrázek 21: Poklop kruhový [8]



Obrázek 22: Poklop čtvercový [8]

3.12.2 Stupadla a žebříky

Stupadla můžeme roztrždit na 3 různé druhy:

- žebříková stupadla z oceli, opatřené povlakem PEHD,
- kapsová litinová stupadla,
- kapsová plastová stupadla.

Žebříková ocelová stupadla mají šířku 330 mm. Kapsová litinová a plastová stupadla se jsou v následujících rozměrech: výška 220 mm, šířka 145 mm a hloubka 130 mm. [6]



Obrázek 23: Skruž se zabudovanými poplastovanými stupačkami [10]

3.12.3 Vtokové mříže

Vtokové mříže jsou tvořeny z 3 částí:

- litinová mříž 500 x 500 mm bez vložky – třída D 400;
- litinový rám s betonem bez vložky - třída D 400;
- kalový koš – tvar A, se čtyřmi řadami štěrbin. [6]



Obrázek 24: Litinová vtoková mříž [8]

3.13 Armatury

Do stokového prostředí se nejvíce používají různé typy stavítek a vřetenových šoupátek, které musí být z nekorodujících materiálů. Zařízení by měly být nenáročné na údržbu, lehce ovladatelné a také oboustranně těsnící. Tyto pravidla platí i pro regulátory odtoku, stavidla, ovládací přepadové hrany oddělovacích komor a další. [6]

3.14 Vstupní šachty s uzavíracími armaturami

Vstupní šachty s uzavíracími armaturami jsou vybaveny uzamykatelnými poklopy. U vstupních šachet v křižovatkách či tramvajovém tělese je dobré zvážit realizaci bočního vstupu. Pomocí bočního vstupu by byla umožněna manipulace, oprava a údržba uzávěrů. [6]

3.15 Provizorní hrazení v objektech stokové sítě

Provizorní hrazení v objektech stokové sítě zahrnuje:

- drážky z ocelových profilů,
- hradítka,
- hradicí systém z hradících prvků z lehkých slitin.

Drážky z ocelových profilů jsou vyráběné z nerezové oceli třídy 17. Šířka a hloubka drážky dosahuje minimálně 5 cm. Hradítka jsou taktéž z nerezové oceli, stejně tak i rám hradítka. I u tohoto prvku se používá třída oceli 17. Hradítka se využívají na hrazení kruhových profilů do DN 400. [6]

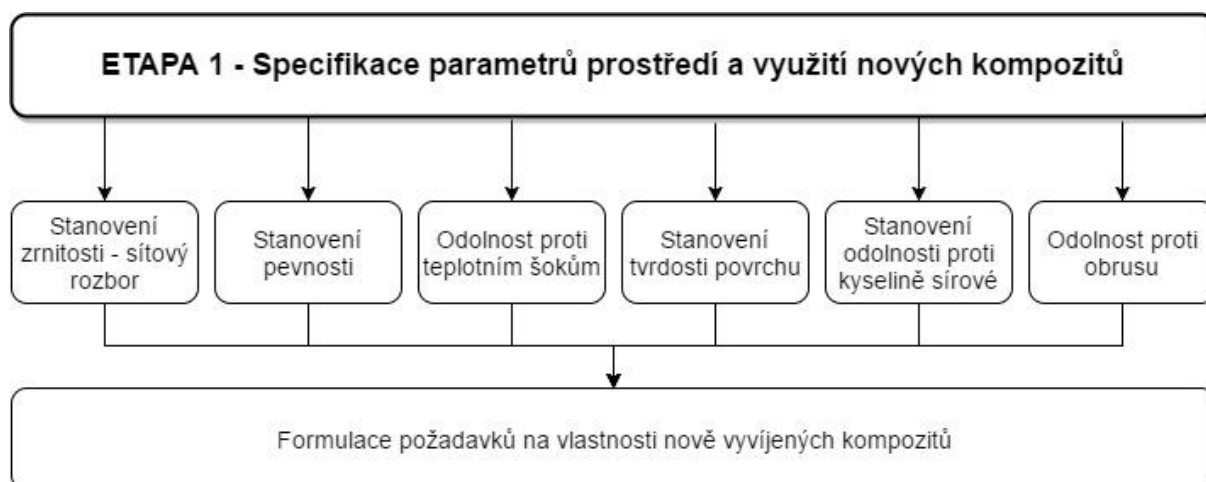
II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

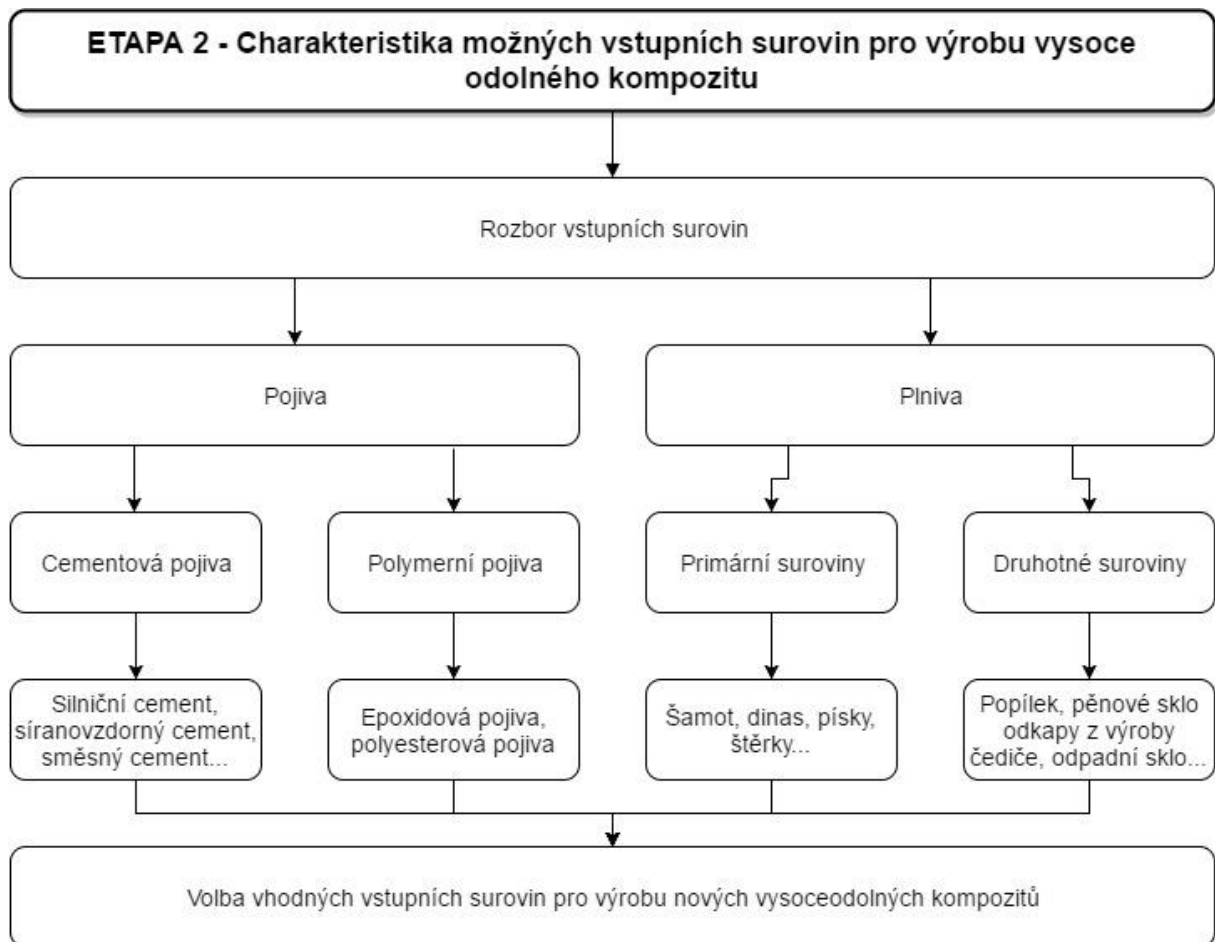
Cílem bakalářské práce je vývoj nových receptur kompozitních materiálů, které budou vhodné pro aplikaci v kanalizačních stokách. Záměrem práce je vývoj hmoty použitelné v atypických prostorách a v místech, kde nelze využít sériově vyráběné dílce z taveného čediče. Tyto materiály by se však svými vlastnostmi měly výrobkům z taveného čediče co nejvíce přibližovat. Na základě formulace požadavků na vyvíjený kompozitní materiál dojde následně k návrhu vhodných pojivových a plnivových složek. U plnivové složky bude kladen vysoký důraz na použití druhotných surovin. Následně bude na základě posouzení kompatibility jednotlivých složek navržena receptura nových kompozitních materiálů vhodných k aplikaci v agresivním prostředí odpadních stok. V poslední fázi řešení bakalářské práce dojde k výrobě vzorků kompozitních materiálů nově vyvinutých receptur, k ověření jejich materiálových vlastností a jejich srovnání s vlastnostmi výrobků z taveného čediče.

5 METODIKA ŘEŠENÍ

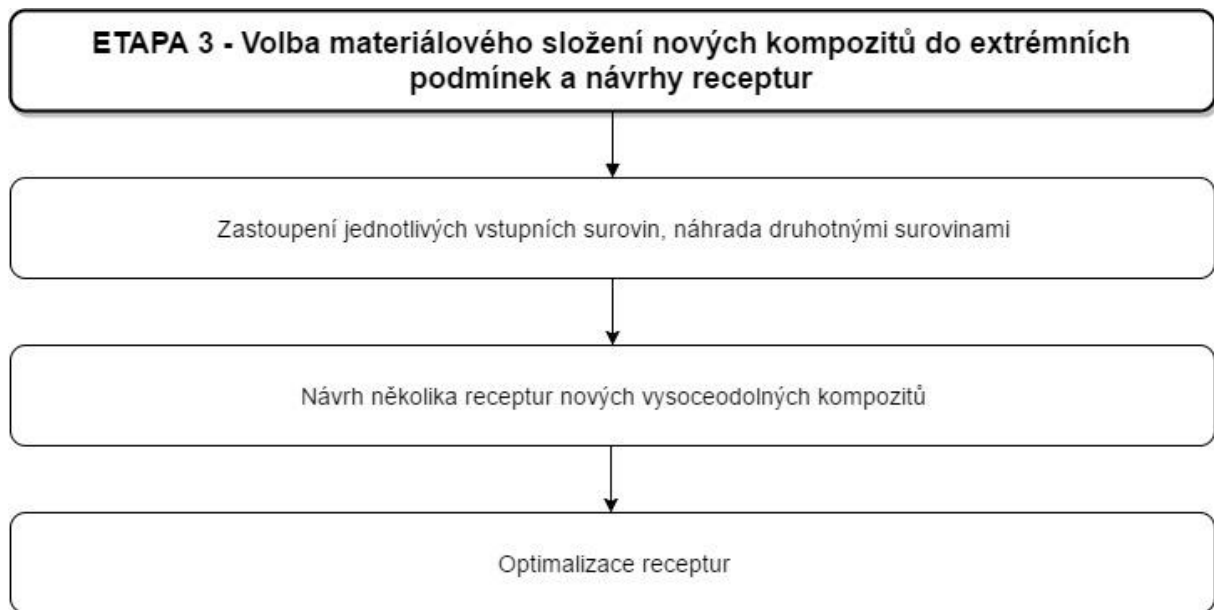
Řešení praktické části bakalářské práce bude rozděleno do čtyř následujících etap:



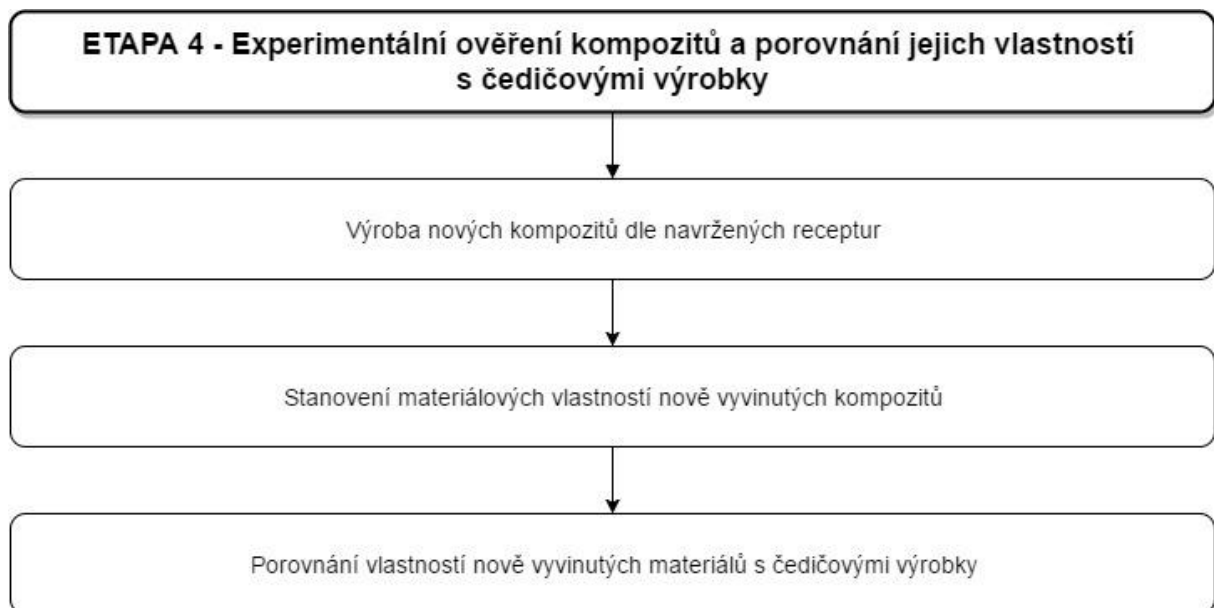
První etapa bakalářské práce se bude soustředit na specifikaci parametrů prostředí a využití nově vyvíjených kompozitů, které by se svými vlastnostmi měly co nejvíce přiblížit výrobkům z taveného čediče. Ohled bude brán na požadovanou odolnost vůči kyselinám a zásadám, tepelnou odolnost a mechanické vlastnosti. Výstupem první etapy bude formulace požadavků na vlastnosti nově vyvíjených kompozitů.



Ve druhé etapě bakalářské práce dojde k analýze vstupních surovin, které je možné aplikovat v prostředí kanalizací. Cílem bude také zjistit, jakou roli v kanalizaci mohou tyto materiály zaujímat. Po volbě pojivové báze dojde rovněž k výběru vhodných plniv, která budou rozdělena na primární a druhotná. Výstupem této etapy bude shrnutí vhodných vstupních surovin pro výrobu nových vysoce odolných kompozitních materiálů.



Třetí etapa bakalářské práce se bude zabývat volbou materiálového složení nově vyvíjených kompozitů do extrémních podmínek a následným návrhem několika receptur. Rovněž bude zohledněna náhrada plnivové složky druhotnými surovinami.



V závěrečné etapě bakalářské práce dojde k přípravě zkušebních těles nově vyvinutých vysoce odolných kompozitních materiálů dle navržených receptur. Následně dojde k testování jejich materiálových vlastností. Finálním výstupem bakalářské práce bude provedení laboratorního testování vlastností nově vyvinutých kompozitních materiálů do podmínek s extrémním namáháním a jejich porovnání s výrobky z taveného čediče.

6 ETAPA 1 - Specifikace parametrů prostředí a využití nových kompozitů

Nový kompozit bude muset splňovat určité parametry, aby se co nejvíce přiblížil vlastnostem výrobků z taveného čediče. U použití čedičového sortimentu v prostředí patří mezi nejdůležitější sledované vlastnosti chemická odolnost (odolnost vůči kyselinám a zásadám), tepelná odolnost a také především odolnost vůči obrusu (otěruvzdornost).

6.1 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor (ČSN EN 933-1)

Na základě normy ČSN EN 933-1 bude materiál roztríděn a oddělen využitím sady sít do několika zrnitostních podílů, které budou mít klesající velikost částic. Dle druhu materiálu a požadované přesnosti bude zvolen počet sít a také velikost otvorů sít.

Zkušební zařízení budou použity na základě normy – sada zkušebních sít, pevně líčující víko a dno sít, sušárna s ventilací, váhy, nádoby a štětce.

Postup zkoušení na materiálu bude odpovídat způsobu prosévání z normy ČSN EN 933-1.

Jednotlivé hmotnosti budou zaznamenány při zkoušce, poté bude vypočtena hmotnost na každém síti a bude určen propad každým sítem.

Procento propadlých jemných částic f sítím 0,063 mm bude vypočteno dle vztahu:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

M_1 suchá hmotnost zkušební navážky [kg];

M_2 suchá hmotnost zbytku zachyceného na síti 0,063 mm [kg];

P hmotnost vytríděného materiálu zbylého na dně [kg].

Pro suché třídění se počet částic f vypočítá dle vztahu:

$$f = \frac{100P}{M_1}$$

Výsledek propadu jednotlivými síti bude vyjádřen v procentech číselným způsobem a také graficky jako křivka zrnitosti. [11]

6.2 Stanovení pevnosti (ČSN EN 196-1)

Dle ČSN EN 196-1 bude provedena zkouška stanovení pevnosti v tlaku, případně pevnosti v tahu za ohybu na vyrobených zkušebních tělesech tvaru trámce o rozměrech 40 mm x 40 mm x 160 mm.

Vyrobené zkušební tělesa budou zhotoveny z jednoho dílu pojivové složky, 3 dílů plnivové složky a půl dílu vody. Pomůcky pro výrobu zkušebních těles a samotný postup pro jejich výrobu budou použity na základě normy ČSN EN 196-1.

Zkoušky pevnosti budou provedeny po 7 dnech a budou odpovídat postupu, který norma uvádí.

Pevnost v tahu za ohybu bude vyhodnocena na základě vztahu:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3}$$

R_f pevnost v tahu za ohybu [MPa];

b strana čtvercového průřezu trámce [mm];

F_f zatížení vynaložené na střed trámce při zlomení [N];

l vzdálenost mezi podporami [mm].

Pevnost v tlaku bude vyhodnocena na základě vztahu:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

R_c pevnost v tlaku [MPa];

F_c nejvyšší zatížení vynaložené při porušení [N];

1600 plocha destiček nebo pomocných destiček (40 mm x 40 mm) [mm²].

Výsledky budou vyjádřeny jako aritmetický průměr z výsledků pevností. Aritmetický průměr se vyjádří s přesností 0,1 MPa. [12]

6.3 Stanovení tvrdosti povrchu (ČSN EN 13892-6)

Na základě normy ČSN EN 13892-6 se stanoví tvrdost povrchu jako přetrvávající hloubka vtlačení ocelové kuličky. Kulička bude umístěna na povrchu zkušebního tělesa, pod normalizovaným tlakem. Tvrdost povrchu bude vyjádřena podílem zatížení, vyvozeného na ocelovou kuličku a plochy vtlačení vypočítané z hloubky vtlačení.

Zkušební zařízení a postup provedení zkoušky stanovení tvrdosti povrchu budou dle normy ČSN EN 13892-6.

Tvrdost povrchu bude vypočtena podle vztahu:

$$SH = \frac{F}{d\pi t}$$

SH tvrdost povrchu vypočtená z výsledků zkoušky [N/mm²];

F hlavní zatížení [N];

- d průměr ocelové kuličky [mm];
t hloubka vtlačení [mm].

Tvrдость povrchu bude zaznamenána s přesností 0,01 N/mm² jako aritmetický průměr ze tří měření na každém zkušebním tělese a také jako aritmetický průměr ze tří zkušebních těles. [13]

6.4 Stanovení odolnosti proti kyselině sírové (ČSN EN 993-16)

Dle ČSN EN 993-16 bude zkoušený kompozit vystaven účinku vroucí 70 % (hmotnostně) H₂SO₄ (kyseliny sírové). Tato zkouška bude trvat po dobu 6 hodin. Poté bude u vzorku zjištěn úbytek hmotnosti. Úbytek hmotnosti bude vyjádřen v procentech původní hmotnosti vysušeného vzorku.

Při této zkoušce bude použit vhodný mechanický drtič, síta s kovovou tkaninou o velikosti otvorů 0,63 mm a 0,80 mm, laboratorní váhy s přesností na 0,001 g. Dále budou použity běžné laboratorní pomůcky, skleněný chladič, ponorný teploměr, porcelánový filtrační kelímek, laboratorní termostatická sušárna, exsikátor, písková lázeň, olejová lázeň nebo topné hnízdo.

Při zkoušce bude použita kyselina sírová, chlorid barnatý a destilovaná voda. Postup zkoušky bude stejný dle ČSN EN 993-16. [14]

Úbytek hmotnosti bude vyjádřen v procentech původní hmotnosti.

$$L = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100$$

- L úbytek hmotnosti zkušební vzorku [%];
m₁ původní hmotnost vzorku [g];
m₂ hmotnost zbytku vzorku [g] [14].

6.5 Odolnost proti teplotním šokům (DIN 52313)

Vzhledem k neexistenci vhodné ČSN EN byla v tomto případě použita norma DIN 52313.

Při tepelné odolnosti budou provedeny zkoušky zkušebních destiček na odolnost vůči tepelným rázům. Destičky budou dosahovat rozměrů 40 x 40 x 20 mm. Dalším zkoušeným tvarem budou čedičové dlaždice, které měly rozměry 250 x 250 x 45 mm. Dlaždice budou před zkouškou nařezány a obroušeny. Zkoušené vzorky by neměly zaznamenat žádné změny

při prudkém zchlazení z teploty 150 °C na teplotu 18 °C. K porušení vzorků trhlinkami by mělo při zchlazení ze 180 °C na 20 °C. Při následných zkouškách může docházet ke zvyšování o 20 až 25 °C, destičky by ovšem měly zůstat stále vcelku. K porušení zkušebních destiček by mělo dojít až při rozdílu teplot nad 430 °C. Odolnost vůči tepelným rázům může být ovlivněna tvarem a velikostí zkoušených vzorků. Čím menší rozměry výrobek má, tím větší odolnosti vůči teplotním rázům dosahuje. Postup zkoušky bude dle postupu v normě. Výsledkem zkoušky bude vizuální posouzení vzniku poškození. [3, 15]

6.6 Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme (ČSN EN 13892-3)

Dle ČSN EN 13892-3 bude provedena zkouška obrusu pomocí metody Böhme, kdy vzorek bude upnut do zkušebního zařízení na brusnou dráhu. Na brusnou dráhu bude vysypáno brusivo a brusný kotouč se začne otáčet. Zkušební vzorek bude zatížen silou a broušen v daném počtu cyklů. Jako zkušební zařízení bude použito Böhmeho zařízení na obrusnost.

Brusivem u stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme musí být umělý korund. Po chemické stránce je obsah v % hmotností korundu větší než 99,3. Zkušební tělesa musí být před zkouškou upraveny – vysušeny.

Postup zkoušky bude proveden dle postupu v normě ČSN EN 13892-3. [16]

Odolnost vůči obrusu bude stanovena po 16 cyklech a vyjádřena jako zmenšení objemu zkušebního tělesa v cm² na 50 cm² dle vzorce:

$$A = \Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_R} = \Delta l \times 5$$

$$\Delta l = l_0 - l_{16m}$$

$A = \Delta V$ odolnost proti obrusu metodou Böhme vyjádřená zmenšením objemu po 16 cyklech [cm²/50 cm²];

Δm úbytek hmotnosti po 16 cyklech [g];

ρ_R objemová hmotnost zkušebního tělesa [g/cm³];

Δl průměrný úbytek tloušťky po 16 cyklech [mm];

l_0 průměrná tloušťka zkušebního tělesa z měření provedeného na všech devíti měřících bodech před provedením zkoušky [mm];

l_{16m} průměrná tloušťka zkušebního tělesa z měření provedeného na všech devíti měřících bodech po provedení zkoušky [mm] [16].



Obrázek 25: Zařízení na obrusnost Böhme [17]

7 ETAPA 2 - Charakteristika možných vstupních surovin pro výrobu vysoce odolného kompozitu

Vstupní suroviny jsou děleny na dvě části – pojiva a plniva. Plniva jsou rozděleny na primární a druhotná, kde primární suroviny jsou zastoupeny například šamotem a dinasem. Druhotné suroviny jsou zastoupeny například škvárou, popílkem, pěnovým sklem a dalšími. Nakonec budou vybrány suroviny s ideálními vlastnostmi a ty pak budou zakomponovány do receptur nově navrhovaných materiálů.

7.1 Pojiva

Pojiva ve stavebnictví zaujímají významné místo. Nazýváme jimi látky, které mohou spojovat jiné sytké či kusové materiály v celek. Samotná definice pojiva je ta, že jsou to organické nebo anorganické látky, které se mísí s plnivou na směsi. Pojiva mají přijatelnou tvárnost a po ztuhnutí mají dostatečnou pevnost s ostatními vlastnostmi. Ve stavebnictví je nazýváme stavební pojiva. Pojiva mají na rozdíl od plniv jiné vlastnosti, proto výrobky z nich jsou označovány jako složené neboli kompozitní materiály. [18]

Rozlišují se pojiva:

- cementová,
- polymerní.

7.1.1 Cementová pojiva

Cement je práškové pojivo, které díky svým vlastnostem patří do hydraulických pojiv. Obsahuje mletý slínek a případně přísady. Slínek se dá ještě dělit na křemičitanový nebo hlinitanový. [19]

Tabulka 9: Požadované mechanické a fyzikální hodnoty [20]

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku [MPa]				Počátek tuhnutí [minut]	Objemová stálost [mm]
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost			
	2 dny	7 dnů	28 dnů			
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	≥ 75	≤ 10
32,5 R	$\geq 10,0$	-				
42,5 N	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	≥ 60	
42,5 R	$\geq 20,0$	-				
52,5 N	$\geq 20,0$	-	$\geq 52,5$	-	≥ 45	
52,5 R	$\geq 30,0$	-				

Jako počáteční pevnosti cementu lze brát v úvahu pevnost po 2 a 7 dnech. Stanovení této pevnosti se provádí na základě normy ČSN EN 196-1. U pevnosti rozeznáváme dva druhy dle počátečních pevností – normální počáteční pevnost a vysoká počáteční pevnost (značí se R). [20]

Mezi cementová pojiva patří i speciální cementy, kterými jsou silniční cement, síranovzdorný cement, hydrofobní cement, bílý cement a hlinitanový cement. Tyto cementy mají své specifické vlastnosti. Jsou 3 možnosti výroby:

- úprava surovinové směsi na požadované vlastnosti slínku,
- přidavek zvláštní přísady při mletí slínku,
- úprava jemnosti mletí cementu. [18]

Vzhledem k tomu, že je předpoklad využití těchto speciálních cementů v další části práce, bude o nich krátce pojednáno dále.

7.1.1.1 Silniční cement (SC)

Silniční cement se vyznačuje vyšším obsahem C_3S a nižší obsah C_3A , což je zapříčiněno nižším vývinem hydratačního tepla a co nejmenšího obsahu volného CaO . Silniční cement se mele na $350 \text{ m}^2/\text{kg}$. Počátek tuhnutí nesmí u silničního cementu nastat dříve než za 90 minut. Je u něj sledována především pevnost v tahu za ohybu, kdy se uvádí hodnota 1/10 udávané třídy (např. SC 60 \Rightarrow 6 MPa). Z jeho názvu je zřejmé, že se používá na stavby silnic a dálnic, letištních ploch, velkoplošných garáží a jiných. [18]

7.1.1.2 Síranovzdorný cement

Síranovzdorný cement je odolný vůči agresivnímu prostředí síranových iontů. Vyznačuje se nízkým obsahem C_3A – pod 3,5 %. Síranovzdorný cement se používá do betonů, které jsou dlouhodobě vystavené působení síranů, ale i jiným agresivním prostředím. Dále se tento druh cementu používá do prostých a armovaných betonů, na kanalizační roury, ale i na antikorozi povlaky kovových nádrží. Je vyráběn v pevnostních třídách 32,5 a 42,5. [18]

7.1.1.3 Směsný cement

Do směsných cementů lze řadit cement struskoportlandský, struskovápenný, struskosíranový a také strusko alkalický. Struskoportlandský cement se vyznačuje nižší pevností než CEM I, nižší rychlost hydratace, menší hydratační teplo a také menší mrazuvzdorností. Tento cement je odolnější vůči chemickému působení. Struska může být zásaditá, vysokopecní a amorfni (skelná). Struskovápenný cement se skládá ze strusky, z 15 – 20 % vápna a také z 5 % sádrovce (síranové buzení). Vykazuje nízké pevnosti a malé hydratační teplo. Struskosíranový cement je složen ze strusky s anhydritem (15 – 20 %) a z CEM I (5 %). Náběh pevností je pomalý, výsledné pevnosti nedosahují vysokých hodnot. I u tohoto cementu je malé hydratační teplo. Poslední ze směsných cementů je struskoalkalický cement, který je složen ze strusky a louhu (odpadní louhy z výroby kyselin). [21]

7.1.1.4 Portlandský struskový cement

Tento druh cementu je možno vyrobit ve 2 modifikacích – CEM II/A-S nebo CEM II/B-S. V případě CEM II/A-S je přídavek vysokopecní strusky maximálně 20 %. U CEM II/B-S se přídavek strusky pohybuje maximálně 35 %. Jsou vyráběny v pevnostních třídách 32,5 a 42,5. Lze jej charakterizovat pomalým vývinem pevností a hydratačního tepla. Odolává agresivním a odpadním vodám. [18]

7.1.2 Polymerní pojiva

Cementová pojiva mohou méně odolávat chemicky agresivním prostředím, proto byla zkoušena i náhrada portlandského cementu pojivy z plastických hmot – organickými pryskyřicemi. Jedná se především o pryskyřice epoxidové, polyesterové, furanové, a další. Z těchto pryskyřic vznikají polymerbetony (polymermalty). Námi rozebírané pryskyřice budou na bázi epoxidové a polyesterové pryskyřice. [22]

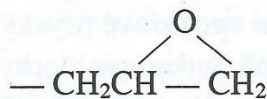
7.1.2.1 Epoxidová pojiva

U polymerbetonů na základě epoxidových pryskyřic je jako plnivo použitý promytý a suchý písek o vhodné zrnitosti. Tyto polymerbetony vykazují velmi dobrou přilnavost, odolnost vůči opotřebení a také velké pevnosti. Rychle tento druh polymerbetonů tvrdne a ještě vykazuje velmi dobrou odolnost vůči nárazu, proti změně teploty a také nerozpustností vůči vodě a olejům. Velmi dobře odolává proti účinku chemikálií. [22]

Epoxidové pryskyřice (EP) jsou sloučeniny, v jejichž molekule je obsažena více než jedna epoxidová skupina. Epoxidovou skupinu lze nazvat jako oxiranovou skupinu, která je velmi reaktivní. Na jejich reaktivitě jsou založeny aplikace v podobě lepidel, zalévacích a lisovacích hmot, laminátů a také lakařských pryskyřic. Během vytvrzování dochází k menšímu smrštění, vedlejší produkty se neodštěpují. Po vytvrzení produkty vykazují výbornou přilnavost (na kovy, dřevo, keramiku, sklo a další). Z hlediska vlastností vykazují výborné chemické a elektroizolační vlastnosti. Dále jsou odolné vůči vodě, roztokům alkálií a kyselin a také vůči některým rozpouštědlům. [22]

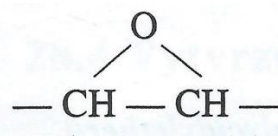
Epoxidové pryskyřice lze rozdělit do dvou skupin:

- glycidové (2, 3 - epoxypropylové) skupiny



Obrázek 26: Vzorec glycidové skupiny [22]

- epoxidové (oxiranové) skupiny

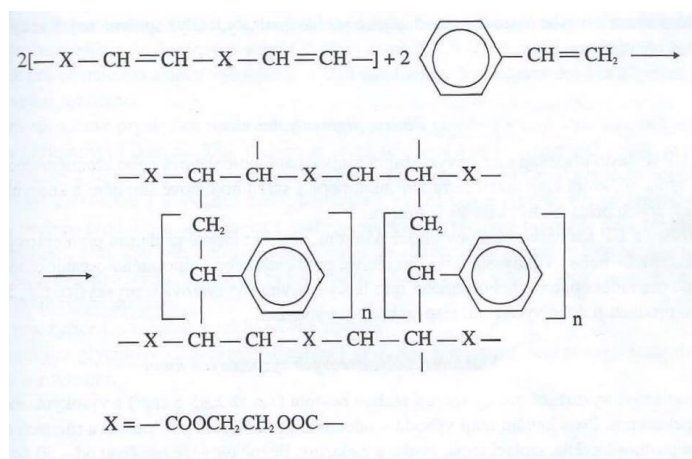


Obrázek 27: Vzorec epoxidové skupiny [22]

7.1.2.2 Polyesterová pojiva

V polyesterových pojivech se využívají nenasycené polyestery – pryskyřice CHS. Oproti epoxidové pryskyřici jsou polyestery levnější. Polymerbetony s polyesterovými pojivy mají rychlejší tvrdnutí a lze použít i mokré kamenivo. Je možno polyesterové polymerbetony vytvrzovat i za normální teploty po přidání vhodných katalyzátorů. Jejich nevýhodou je součinitel teplotní roztažnosti. [22]

Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP) jsou roztoky lineárních nenasycených polyesterů. Mohou být zesíťovány pomocí vytvrzování. Mezi nenasyceným monomermem a nenasyceným polyesterem dojde během vytvrzování ke kopolymeraci. Jedná se o kopolymeraci dvojných vazeb nenasyceného polyesteru a dvojných vazeb reaktivního monomeru.



Obrázek 28: Schématické znázornění vytvrzovací rovnice [22]

Obvykle je kopolymerace doprovázena objemovým smrštěním o 5 – 12 %. Vytvrzování nenasycené polyesterové pryskyřice může být UV – zářením. Užívá se k výrobě syntetického kamene z minerálních drtí, k výrobě obkladaček, litých podlah a speciálních polymerbetonů. [22]

7.1.2.3 Vodní sklo

Vodní sklo je charakterizováno jako vodný roztok křemičitanu sodného (Na_2SiO_3). Lze ho vyrobit dvěma základními metodami:

- výroba z pevného křemičitanu sodného/draselného,
- hydrotermální reakcí.

Vodní skla jsou roztoky solí silné zásady a slabé kyseliny a díky tomu jsou značně alkalická. Viskozita vodního skla je závislá především na jeho koncentraci a také na hodnotě křemičitého modulu výchozího skla. Vodní sklo vykazuje chování newtonské kapaliny a hodnota viskozity je tedy závislá na způsobu měření. [23]



Obrázek 29: Krystalky vodního skla [23]

7.2 Plniva

Plniva jako takové můžeme dělit na dvě skupiny – primární suroviny a druhotné suroviny. Primární suroviny jsou takové, které se na Zemi vyskytují. Naopak druhotné suroviny jsou produktem lidské činnosti, které lze opětovně začlenit do výroby, nebo jimi lze nahradit primární suroviny.

7.2.1 Primární suroviny

Jak již bylo zmíněno, primární suroviny vznikly během vývoje Země. Nejsou nijak vyráběné, ale jsou využívány jako suroviny ve stavebnictví. Do primárních surovin lze řadit, štěrk, písek, dinas, šamot (dinas a šamot jsou chemicky velmi dobře odolné) a další. [24]

7.2.1.1 Šamot

Šamot řadíme mezi kyselé žárovzdorniny, které se vyznačují vysokým obsahem dvou oxidů. Jedná se o oxid křemičitý (SiO_2) a oxid hlinitý (Al_2O_3). Jejich obsah činí nad 90 %. Mullit je krystalická sloučenina, která odolává vysokým teplotám a vzniká z oxidu hlinitého. S obsahem oxidu hlinitého roste žáruvzdornost. Šamot disponuje také dobrou pevností, odolností proti změnám teploty, tepelnou izolačností a únosností v žáru. [18]

Tabulka 10: Rozdělení šamotu dle obsahu Al_2O_3 [18]

	Obsah Al_2O_3	Teplota použití
Šamot kyselý	15 – 30 %	do 1600 °C
Šamot obyčejný	30 – 46 %	do 1750 °C
Šamot se zvýšeným obsahem	do 60 %	do 1800 °C
Mullitový žáruvzdorný materiál	do 75 %	do 1850 °C
Korundový žáruvzdorný materiál	nad 80 %	do 1980 °C

Pro výrobu šamotu jsou potřeba jíly a kaolíny, které obsahují vyšší podíl minerálu kaolinitu. Kaolinit poskytuje požadovanou žáruvzdornost. Nevýhodou šamotu je jeho malá odolnost vůči agresivním zásaditým látkám. [18]

Tabulka 11: Obecné vlastnosti šamotu [18]

Minimální žáruvzdornost	1580 °C
Nasákavost (hmotnostní)	10 – 18 %
Objemová hmotnost	1750 – 2050 kg/m ³
Pevnost v tlaku	10 – 32 MPa

7.2.1.2 Dinas

Dinas stejně jako šamot patří do kyselých žáruvzdornin s obsahem oxidu křemičitého nad 93 %. Dinas je také nazýván jako silika. Z jeho vlastností lze uvést, že má kyselý charakter, výbornou žáruvzdornost a také dobré žárotechnické vlastnosti. Žárotechnické vlastnosti jsou závislé na mikrostrukturálních vlastnostech střepu. Jedná se o velkou únosnost v žáru, odolnost vůči kyselým taveninám, velká výdržnost v agregátech, které jsou vystavené vysokým teplotám, a také se jedná o odolnost vůči deformaci v žáru. Ze záporných vlastností lze uvést malou odolnost vůči změnám teploty pod 870 °C.

Nejčastěji bývá použit pro vyzdívání míst tepelných agregátů velmi namáhaných – zdivo hutnických a sklářských pecí, k vyzdění koksárenských pecí, regenerátorů a elektrických obloukových pecí.

Suroviny pro výrobu dinasu jsou křemence, písky, dinasové zlomky buližníky a pomocné suroviny. Jako pomocné suroviny jsou brány: vápno, vápenný hydrát, plastifikátory (zlepšují zpracovatelnost výrobní směsi) – sulfitový louh, melasa a dále do pomocných surovin patří i mineralizátory (urychlují přeměny křemene ve vysokoteplotní modifikace). [18]

Tabulka 12: Některé vlastnosti dinasu [18]

Žáruvzdornost	min. 1710 °C
SiO ₂	min. 93 %
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	0,8 – 3,5 %
Objemová hmotnost	2320 – 2450 kg/m ³
Nasákavost	10 – 15 %
Únosnost v žáru	min. 1600 °C

7.2.1.3 Písek – nezpevněné psamity

Jako písek je brána směs drobných kamínků různého původu. Jeho složení je závislé na horninách, ze kterých vznikl. Písek obsahuje mnoho minerálů, například křemen, muskovit, živec. Vlhkost a příměse ovlivňují podstatně vlastnosti písku. Vlhkost dále u písku ovlivňuje objemovou hmotnost a také sypnou hmotnost, jejichž hodnoty jsou udány v tab. 25. [25]

Tabulka 13: Hodnoty objemové hmotnosti a sypné hmotnosti [25]

	Jednotka	Hodnota
Objemová hmotnost	kg/m ³	1750 – 2000
Sypná hmotnost	kg/m ³	1300 – 1700

Písky lze rozdělit dle velikosti zrn:

- úlomky hornin s velikostí zrn od 0,06 až 2,0 mm;
- jemnozrnné písky – velikost zrn 0,05 až 0,25 mm;
- střednězrnné písky – velikost zrn 0,25 až 0,5 mm;
- hrubozrnné písky – velikost nad 0,5 mm.

Podle složení lze dělit na:

- monominerální,
- polyminerální.

Podle původu se písky dělí na:

- kopané,
- říční (jezerní).



Obrázek 30: Písek kopaný [26]

Kopané písky jsou ostrohranné. Často jsou znečištěné příměsí hlín a jílu. Říční písky obsahují zaoblená zrna a jsou poměrně čisté. [25]

7.2.1.4 Štěrky – nezpevněné pšefity

Štěrky mohou tvořit úlomky hornin velikosti zrn od 2 až 60 mm. V důsledku dlouhého unášení vodou jsou zrna zaoblená. Jejich kvalita závisí na složení a vlastnostech horniny, ze které byly vytvořeny. Složení štěrků je zejména z úlomků křemene, křemenců, krystalických břidlic, křemičitých hornin, vápence a dolomitu. Objemová hmotnost u štěrků činí od 1900 do 2100 kg/m³. [25]

Podle původu se rozlišují štěrky:

- říční,
- jezerní,
- mořské.



Obrázek 31: Štěrka frakce 0 - 8 mm [26]

Štěrkopísky jsou směsí písku a štěrku, které nesmí obsahovat jílovité, organické a chemické příměsi. Tyto příměsi mají za důsledek snižování kvality betonu (pevnost). [25]

7.2.2 Druhotné suroviny

Jako druhotné suroviny bereme materiály, které můžeme opětovně využít do výroby a nahradit jimi popřípadě primární suroviny. Možnost jejich vzniku je jako vedlejší produkt výroby, který se může použít v jiné výrobě nebo také přímo jako materiál. Mezi druhotné suroviny můžeme uvést například: železné a neželezné kovy, sklo, papír, plasty, které sami třídíme nebo je vykupují sběrný.

Po úpravě můžeme tyto odpady použít jako nový materiál na další výrobu. Když se nepovede některý výrobek při výrobě skla, můžeme jej použít na výrobu nového výrobku. Kromě železného šrotu v hutnickém průmyslu, který se přidává do taveniny, jako druhotná surovina se používá odpad ve formě strusky. [24]

7.2.2.1 Vysokoteplotní uhelná škvára

Vysokoteplotní uhelná škvára je surovina, která je vedlejším podílem při výrobě surového železa ve vysoké peci. Musí být ze dvou třetin hmotnosti sklovitá a při vhodné aktivaci musí vykazovat hydraulické pojivo. Do škváry přecházejí všechny nečistoty obsažené v železné rudě a v koksu. Nečistoty mohou při určité kombinaci zvýšit teplotu tavení směsi, jsou přidávány korigující příměsi.

Chemické složení škváry se musí skládat nejméně ze dvou třetin hmotnosti z oxidu vápenatého (CaO), oxidu hořečnatého (MgO) a oxidu křemičitého (SiO₂). Zbylá třetina obsahuje oxid hlinitý (Al₂O₃) a poměrně malá množství jiných sloučenin. [27]

Tabulka 14: Typické složení některých vysokoteplotních uhelných škvár [27]

SiO ₂	25 – 45 %
Al ₂ O ₃	4 – 15 %
CaO	26 – 45 %
Fe ₂ O ₃	< 1,5 %
MgO	4 – 15 %
S ⁻	< 3,0 %

Vlastnosti škváry závisí na mnoha faktorech, například na přidaném množství nebo také na jemnosti mletí. Přídavky škváry mohou materiál ovlivnit:

- snížením počáteční pevnosti, především za studeného počasí;
- snížením množství počátečně uvolněného hydratačního tepla;
- zvýšením poměru pevnosti v tahu/pevnosti v tlaku;
- zvýšením odolnosti betonů vůči sulfátům;
- zvýšení odolnosti betonů vůči mořské vodě. [28]



Obrázek 32: Vzorek rozemleté škváry [29]

7.2.2.2 Popílek

Popílek vzniká při spalování antracitu, černého nebo hnědého uhlí v tepelných elektrárnách. Lze jej rozlišit mineralogickým a chemickým složením, granulometrií a dle dalších kritérií. Jsou to skelné kulaté částice, jejichž průměr činí od 1 do 150 μm . Popílký vykazují pucolánovou aktivitu – pod vodou netuhnou ani netvrdnou, naopak v přítomnosti hydroxidu vápenatého tvoří hydratační produkty. [30]

Tabulka 15: Vlastnosti popílku [30]

Sypná hmotnost	800 – 1200 kg/m^3
Objemová hmotnost	2000 – 2500 kg/m^3
Měrný povrch	200 – 800 m^2/kg

Tabulka 16: Chemické složení popílku [30]

SiO_2	40 – 45 %
CaO	5 – 15 %
Al_2O_3	15 – 30 %
Fe_2O_3	5 – 18 %
SO_4	< 2 %

Popílky jsou rozděleny v závislosti na chemickém složení do dvou tříd:

- třída C,
- třída F.

Popílky třídy C vznikají spalováním mladšího lignitu nebo hnědého uhlí. Obsah CaO u této třídy činí více než 20 % a mají zvýšený obsah SO₄. U těchto popílků je charakteristický méně pravidelný tvar zrn, mají pucolánové vlastnosti a také schopnost tuhnout a tvrdnou za přítomnosti vody.

Popílky třídy F naopak obsahují méně než 10 % CaO. Vznikají spalováním antracitu nebo černého uhlí. Stejně jako popílky třídy C mají pucolánové vlastnosti, tuhnutí a tvrdnutí je závislé na aktivující složce (portlandský cement, pálené vápno). Velikost zrn je totožná s velikostí zrn portlandského cementu. Jejich menší variabilita vlastností je preferuje pro využití do betonů. [31]



Obrázek 33: Vzhled popílku [29]

7.2.2.3 Odkapy z výroby taveného čediče (frita)

Tento druhotný materiál je vedlejším produktem při výrobě taveného čediče. Čedičová hornina je tavena v peci a poté odlévána do forem. Odkapy z jeho výroby jsou sváděny bokem, kde dochází k jejich prudkému zchlazení vodou, a tak dochází ke vzniku různě velikých zrn tohoto materiálu. Materiálové vlastnosti by se měly podobat vlastnostem taveného čediče. Odkapy jsou vyváženy na skládku nepoužívaného materiálu.



Obrázek 34: Odkapy z výroby taveného čediče

7.2.2.4 Pěnové sklo

Pěnové sklo lze nazývat jako granulát pěnového skla a lze ho získat ze starého odpadového a recyklovaného skla. Je to uměle vyrobené vysoce porézní a tudíž velmi lehké kamenivo, které se řadí se mezi novodobé stavební tepelné izolace. Je velmi ekologické z důvodu, že jeho základní surovina je z 90 % odpadní sklo. Jeho výrobou tedy vzniká ekologicky čistý a nezávadný materiál. Splňuje požadavky na kvalitu norem schválených pro EU.

Přední vlastnosti pěnového skla jsou takové, že toto sklo je lehké, tvarově stálé, odolné proti stárnutí a výborně se hodí na izolace základových desek. V případě izolace pěnovým sklem nedochází k průchodu chladu do konstrukce stavby a venkovní klima tak není ovlivněno vnitřní teplotou objektu. Pěnové sklo může fungovat také jako drenáž. Má uzavřenou strukturu, čímž zabraňuje pronikání vlhkosti. Toto sklo je vysoce únosné, nenasákavé, nenamrzavé, nehořlavé, odolné vůči vnějším materiálům. Samotný granulát je opět 100% recyklovatelný. [32]



Obrázek 35: Vzhled pěnového skla [32]

7.2.2.5 Slévárenský písek

Slévárenské písky jsou křemenné písky, které mají vysoký obsah SiO_2 . Dále se vyznačují vysokou teplotní odolností a jsou vhodné na odlévání všech kovů. Zrna mají oblou charakteristiku, což je velkou výhodou zrn. Oblá charakteristika u zrn umožňuje:

- snížení dávkování pojiv,
- vyšší odolnost vůči otěru a tříštivosti,
- vyšší odolnost v tlaku za působení tepla.

Výhodou u použití křemenných písků je například nízká vlhkost písku. Z dalších výhod to je nízký obsah spalitelných látek, nízký obsah podílů pod 0,10 mm a také minimum vyplavitelných látek. [33]

Tabulka 17: Chemické a fyzikální vlastnosti křemenných písků [33]

SiO_2	98,3 %
Fe_2O_3	0,15 %
Uhličitany	max. 0,15 %
Vyplavitelné látky	max. 0,20 %
Spékavost	min. 1550 °C
Vlhkost	max. 0,2 %
Tvarová charakteristika	$W_k = 1,10$

7.2.2.6 Odpadní sklo

Odpadní sklo je recyklováno ve formě jednodruhových střepů. Do sekce tohoto skla můžeme zařadit autosklo, obalové sklo, sklo Simax a sklo z vyřazených solárních panelů. Podíl recyklace skleněných materiálů v ČR činí zhruba 75 %.



Obrázek 36: Odpadní sklo v recyklačním stroji [35]

Tabulka 18: Průměrné chemické složení obalového skla

Jednotlivé oxidy	Obsah [%]
SiO ₂	70-74
Al ₂ O ₃	1,4
Fe ₂ O ₃	0,04
CaO	5,11
MgO	1,3
TiO ₂	0,01
SO ₃	0,2
Na ₂ O	12,16
K ₂ O	0,3

Předpokládá se, že v dalším roce bude produkce zhruba 15 000 – 20 000 tun odpadního autoskla. Obalového skla by měla být produkce ve stotisících tun. U solárních panelů je životnost cca 15 let, tudíž by mělo dojít k nárůstu odpadního skla ze solárních panelů v blízké budoucnosti. [34]

7.3 Volba vhodných vstupních surovin pro výrobu nových vysoce odolných kompozitních materiálů

Na základě vlastností výše uvedených materiálů byly vybrány nejvhodnější suroviny pro další výzkum.

7.3.1 Výběr vhodných pojiv

Z pojivových složek byla jako nejperspektivnější zvolena epoxidová pryskyřice a portlandský směsný cement CEM II/B-S 42,5 R.

7.3.2 Optimalizace druhotných surovin

Optimalizační metody slouží obecně k navržení lepšího postupu u známého řešení nebo také mohou sloužit k návrhu, je-li analytické řešení daného problému neznámé, časově nebo výpočetně příliš náročné.

Aby mohlo být přistoupeno k návrhu receptur s ideálními vlastnostmi, muselo nejdříve dojít k výběru vhodných pro další výzkum.

Jako kritéria byla zvolena objemová hmotnost, zrnitost, případná nutnost předúpravy, cena a zpracovatelnost druhotných surovin.

Dalším krokem bylo stanovení váhy jednotlivých kritérií. Jedná se o nejdůležitější krok výpočtu multikriteriální optimalizace.

Tabulka 19: Preference jednotlivých kritérií

	Rozhodnutí o preferování jednoho kritéria před jinými				
Parametr	Objemová hmotnost	Max. velikost zrn	Nutnost předúpravy	Cena	Zpracovatelnost
Objemová hmotnost	1,00	0,75	1,25	0,75	0,75
Max. velikost zrn	1,33	1,00	1,00	1,00	0,75
Nutnost předúpravy	0,80	1,00	1,00	1,00	0,75
Cena	1,33	1,00	1,00	1,00	1,00
Zpracovatelnost	1,33	1,33	1,33	1,00	1,00

Každá vlastnost, která je vyjádřena kritériem, má rozdílnou váhu. Podle těchto kritérií dochází k ohodnocení dané vlastnosti a k uplatnění jedné vlastnosti před druhou. Poté došlo k vyčíslení jednotlivých kritérií.

Tabulka 20: Vyčíslení jednotlivých kritérií

	Vyčíslení daných kritérií					
Vlastnost	Škvára	Popílek	Čedičové odkapy	Pěnové sklo	Slévárenský písek	Odpadní sklo
Objemová hmotnost [kg/m ³]	2500	2300	2900	170	1900	2450
Max. velikost zrn [mm]	1	1	5	9	1	8
Nutnost předúpravy	0	0	0	1	0	1
Cena [kč/kg]	0,01	0,07	0,02	1,58	2,51	0,02
Zpracovatelnost	5	5	8	2	7	4

Následně došlo k rozhodnutí, zda je dané kritérium optimální nízké nebo vysoké. Rozhodovací matice byla transformována na výpočtovou a vypočítána.

Výsledkem jsou procentuální preference pro každou druhotnou surovinu. Nejlepší hodnota by se měla blížit 100%.

Tabulka 21: Výsledné hodnoty preference jednotlivých druhotných surovin

	Výsledek [%]					
Vlastnost	Škvára	Popílek	Čedičové odkapy	Pěnové sklo	Slévárenský písek	Odpadní sklo
Objemová hmotnost	15,87	14,51	18,59	0,00	11,78	15,53
Max. velikost zrn	0,00	0,00	9,30	18,59	0,00	16,27
Nutnost předúpravy	18,59	18,59	18,59	0,00	18,59	0,00
Cena	18,59	18,15	18,52	6,92	0,00	18,52
Zpracovatelnost	9,30	9,30	18,59	0,00	15,49	6,20
Preference [%]	62,35	60,54	83,59	25,51	45,87	56,51

Na základě optimalizace vlastností uvažovaných druhotných surovin se jako ideální druhotná surovina jeví odkapy z tavení čediče s preferencí 83,59 %, dále pak vysokoteplotní uhelná škvára Oslavany s preferencí 62,35 %, popílek Tušimice s preferencí 60,54 % a na čtvrtém místě odpadní obalové sklo s preferencí 56,51 %.

8 ETAPA 3 – Volba materiálového složení nových kompozitů do extrémních podmínek a návrhy receptur

Na základě předchozí etapy bakalářské práce bude v této etapě navrženo několik receptur na bázi polymerních pojiv a druhotného plniva.

8.1 Zastoupení jednotlivých vstupních surovin, náhrada druhotnými surovinami

Ve vytvářeném kompozitu bude použita epoxidové pryskyřice, síranovzdorný cement a portlandský směsný cement v rámci pojiv. Jedná se o pryskyřice:

- epoxidová pryskyřice LENA P 130;
- polyesterová pryskyřice CRYSTIC D 3846BE.

V případě portlandského směsného cementu se jedná o cement typu:

- CEM II/B-S 42,5 R;
- CEM III 42,5.

V rámci nahrazení primárních surovin budou využity druhotné suroviny jako plniva. Tyto plniva budou pomlety na požadované frakce. Zastoupení plniv bude následující:

- křemičitý písek (referenční)
- odpadní obalové sklo
- odkapy z výroby taveného čediče
- uhelná škvára Oslavany
- popílek Tušimice (1. elektroodlučovač)

8.2 Návrh receptur nových vysoce odolných kompozitů

Receptura referenční 1

Pojivo: epoxidová pryskyřice LENA P 130

Plnivo: : křemičitý písek zrnitosti 0,2 – 2 mm

Plnění: 50 %

Tato receptura by mohla vykazovat dobrou odolnost vůči chemikáliím, jelikož epoxidová pryskyřice má tuto vlastnost na výborné úrovni. Křemičitý písek by vzniklému kompozitu mohl dodat vyšší pevnost v tlaku za působení tepla.

Receptura 1

Pojivo: epoxidová pryskyřice LENA P 130

Plnivo: odpadní obalové sklo zrnitosti 0,2 – 2 mm

Plnění: 60 %

Epoxidová pryskyřice má dobrou odolnost vůči chemickým vlivům a u skla lze také charakterizovat dobrou odolnost vůči chemikáliím a vodám, proto by ve stokové síti mohl tento kompozit dobře odolávat vlivům prostředí.

Receptura 2

Pojivo: polyesterová pryskyřice CRYSTIC D 3846BE

Plnivo: uhelná škvára Oslavany zrnitosti 0,2 – 2 mm

Plnění: 50 %

Uhelná škvára má na základě svých vlastností dobrou odolnost vůči sulfátům a lze u této receptury s nenasycenou polyesterovou pryskyřicí očekávat dobrou odolnost vůči chemikáliím a také dobré pevnosti.

Receptura 3

Pojivo: síranovzdorný cement (CEM III 42,5)

Plnivo: popílek Tušimice (1. elektroodlučovač)

Popílek snižuje hydratační teplo a má pucolánové vlastnosti – netuhne ani netvrdne pod vodou. Lze u této receptury očekávat odolnost vůči síranům a v agresivním prostředí z důvodu přítomnosti síranovzdorného cementu.

Receptura 4

Pojivo: portlandský struskový cement (CEM II/B-S 42,5 R)

Plnivo: odkapy z výroby taveného čediče 0 – 4 mm

Portlandský struskový cement vykazuje odolnost vůči agresivním a odpadním vodám. Čedič má také dobrou odolnost vůči různým chemikáliím. Tento kompozit by měl vykazovat dobrou chemickou odolnost, ovšem při použití portlandského struskového cementu pravděpodobně nižší pevnosti.

Receptura 5

Pojivo: portlandský směsný cement (CEM II/B-S 42,5 R)

Plnivo: odkapy z výroby taveného čediče 0 – 4 mm

Příměs: redispergovatelný prášek kopolymeru EVA

Tato polymercementová receptura má stejné pojivo a plnivo jako receptura 4, navíc se přidá redispergovatelný prášek kopolymeru EVA. Tato příměs vyniká vysokou odolností vůči zásaditému prostředí a ve spolupráci s odkapy z výroby taveného čediče by mohla tvořit vhodný kompozit do stokových sítí.

Receptura 6

Pojivo: epoxidová pryskyřice LENA P 130

Plnivo: odkapy z výroby taveného čediče 0,125 – 2 mm

Plnění: 70 %

Šestá receptura bude spojení epoxidové pryskyřice s odkapy z výroby taveného čediče. Samotný čedič vykazuje výborné vlastnosti a tak by i odkapy ve spolupráci s epoxidovou pryskyřicí mohly vytvořit odolný kompozit.

8.3 Optimalizace receptur

Za účelem volby ideálních receptur pro laboratorní testování byla opět provedena optimalizace jejich vlastností.

Jako kritéria byl zvolen obsah druhotné suroviny (DS), preference dané DS, předpokládaná zpracovatelnost receptury a kompatibilita plnivové a pojivové složky.

Dalším krokem bylo opět stanovení váhy jednotlivých kritérií. Jedná se o nejdůležitější krok výpočtu multikriteriální optimalizace.

Tabulka 22: Preference jednotlivých kritérií

	Rozhodnutí o preferování jednoho kritéria před jinými			
Parametr	Obsah DS	Preference DS	Zpracovatelnost	Kompatibilita
Obsah DS	1,00	1,00	0,75	0,75
Preference DS	1,00	1,00	0,75	0,75
Zpracovatelnost	1,33	1,33	1,00	1,00
Kompatibilita	1,33	1,33	1,00	1,00
Suma				

Každá vlastnost, která je vyjádřena kritériem, má rozdílnou vážnost. Podle těchto kritérií dochází k ohodnocení dané vlastnosti a k uplatnění jedné vlastnosti před druhou. Poté došlo k vyčíslení jednotlivých kritérií.

Tabulka 23: Vyčíslení jednotlivých kritérií

	Vyčíslení daných kritérií - Receptury						
Vlastnost	Ref.	1	2	3	4	5	6
Obsah DS	0	60	50	75	75	75	70
Preference DS	0,00	56,51	62,35	60,54	83,59	83,59	83,59
Zpracovatelnost	10	7	5	4	8	8	8
Kompatibilita	10	9	5	5	7	7	7

Následně došlo k rozhodnutí, zda je dané kritérium optimální nízké nebo vysoké. Rozhodovací matice byla transformována na výpočtovou a vypočítána.

Výsledkem jsou procentuální preference pro každou recepturu.

Tabulka 24: Výsledné hodnoty preference jednotlivých receptur

	Výsledek [%]						
Vlastnost	Ref.	1	2	3	4	5	6
Obsah DS	0,00	18,72	15,60	23,40	23,40	23,40	21,84
Preference DS	0,00	15,82	17,46	16,95	23,40	23,40	23,40
Zpracovatelnost	23,40	11,70	3,90	0,00	15,60	15,60	15,60
Kompatibilita	23,40	18,72	0,00	0,00	9,36	9,36	9,36
Preference [%]	46,81	64,97	36,96	40,35	71,77	71,77	70,21

Na základě optimalizace vlastností navržených receptur se jako ideální jeví receptury 4, 5 a 6 s preferencí 70 – 71 %. Ve všech třech recepturách je jako plniva použito odkapů z výroby

taveného čediče, což by mělo těmto recepturám dopomoci k tomu, aby se svými vlastnostmi přiblížili vlastnostem produktů z taveného čediče.

Jedná se o tyto tři receptury:

- **Receptura na epoxidové bázi**

Pojivo: epoxidová pryskyřice LENA P 130

Plnivo: odkapy z výroby taveného čediče 0,125 – 2 mm

Plnění: 50 %, 60 % a 70 %

- **Receptura na bázi cementu**

Pojivo: portlandský struskový cement (CEM II/B-S 42,5 R)

Plnivo: odkapy z výroby taveného čediče 0 – 4 mm

- **Receptura na bázi polymercementu**

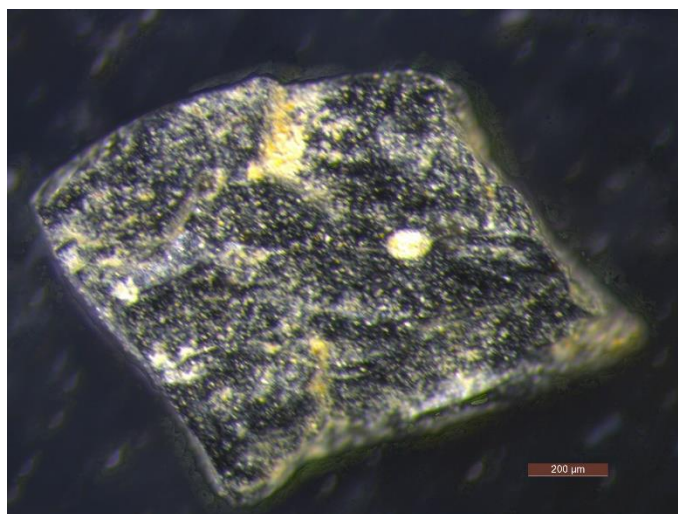
Pojivo: portlandský struskový cement (CEM II/B-S 42,5 R)

Plnivo: odkapy z výroby taveného čediče 0 – 4 mm

Příměs: redispergovatelný prášek kopolymeru EVA

8.4 Charakteristika odkapů z výroby taveného čediče

Odkapy vznikají při výrobě taveného čediče, kdy část roztavené hmoty odkapává jako druhotný materiál, který je prudce chlazen vodou. Vzhled odkapů je černé barvy stejně jako tavený čedič. U odkapů lze vidět na základě mikroskopického záznamu otevřené póry.



Obrázek 37: Záznam odkapových zrn z optického mikroskopu

Na základě různé frakce odkapů z výroby taveného čediče bylo provedeno stanovení zrnitosti síťovým rozbořem, kde výsledkem je křivka zrnitosti. Navážka 200 g byla prosévána na základě normy ČSN EN 933-1 síty, z nichž byl vypočten celkový propad síty, který je zaznamenán v následující tabulce. Výsledné hodnoty propadu byly vyneseny jako body do grafu, ze kterých vznikla křivka zrnitosti.

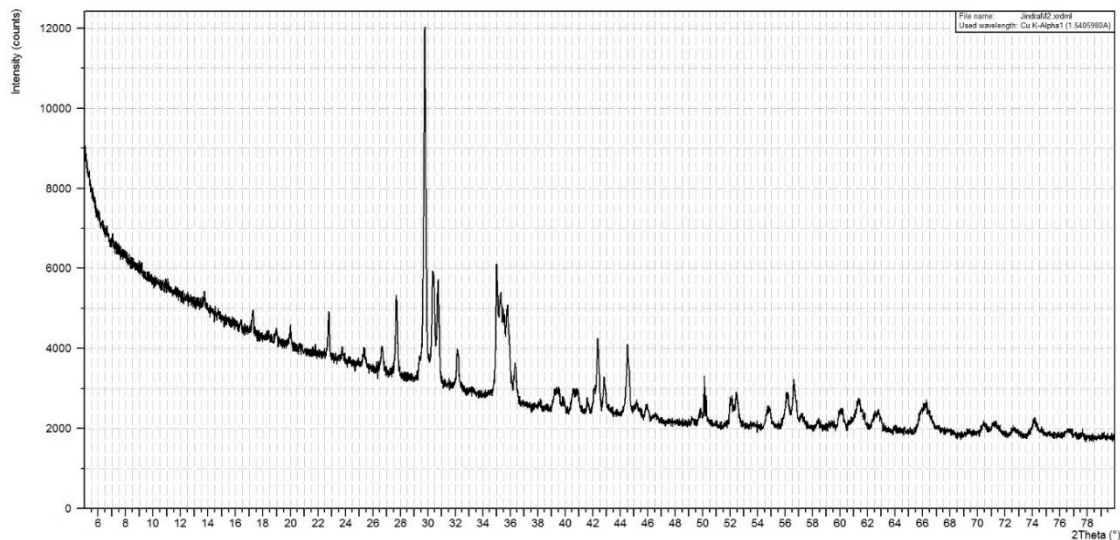
Tabulka 25: Celkový propad na síťovém rozboru u odkapů z výroby taveného čediče

Rozměr ok na sítích [mm]	Celkový propad [%]
<0,063	0
0,063	0,6
0,125	0,7
0,25	2,2
0,5	6,3
1	21,1
2	43,9
4	79,4
8	100,0
16	100,0
32	100,0



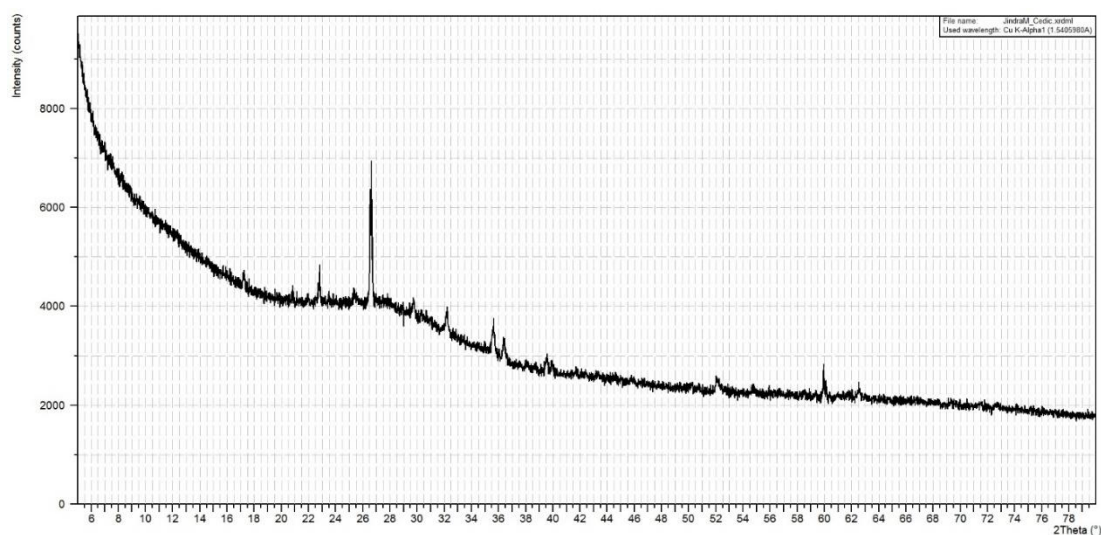
Obrázek 38: Křivka zrnitosti odkapů z výroby taveného čediče

Pro další charakteristiku byla provedena RTG analýza, kterou lze identifikovat krystalické látky ve vzorku. RTG analýza byla provedena na vzorku čediče na vzorku odkapu. Výsledné záznamy jsou uvedeny v následujících záznamech.



Obrázek 39: Záznam z RTG u vzorku taveného čediče

Ve vzorku dlaždice z taveného čediče, která byla podrobena RTG analýze, byly na základě mezimřížkových vzdáleností nalezeny tyto minerály: β -křemen, gehlenit, ortoklas, muskovit, hallosit.

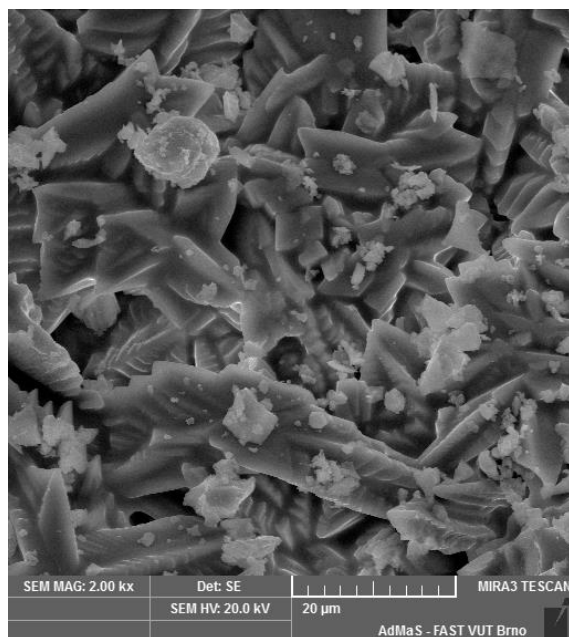


Obrázek 40: Záznam z RTG u vzorku odebraného z odkapů

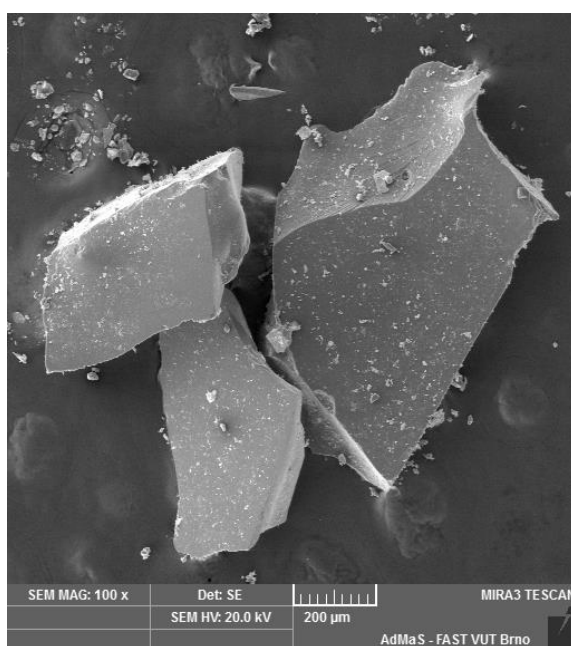
U odkapů z výroby taveného čediče byl odebrán vzorek, který byl také následně podroben RTG analýze. Z výsledků RTG analýzy byly nalezeny 2 minerály: β -křemen a gehlenit.

Vzorky byly dále charakterizovány zkoumáním na rastrovacím elektronovém mikroskopu (REM), ze kterého byly patrné výsledné podíly fází.

U čedičového výrobku (dlaždice) je patrná přítomnost krystalických fází, které vznikly na základě postupného chlazení. Naopak u odkapů je zřejmý vysoký podíl amorfni fáze, který vznikl rychlým chlazením.



Obrázek 41: Výsledek z elektronového mikroskopu – dlaždice



Obrázek 42: Výsledek z elektronového mikroskopu - odkapy

9 ETAPA 4 – Experimentální ověření kompozitů a porovnání jejich vlastností s čedičovými výrobky

V poslední etapě bakalářské práce dojde k samotné výrobě vysoce odolných kompozitů dle stanovených receptur. Následně budou tyto vyrobené kompozity testovány následujícími zkouškami - stanovení pevnosti, stanovení tvrdosti a stanovení tepelné odolnosti. Závěrem etapy dojde k porovnání vlastností nově vzniklého kompozitu s výrobky z taveného čediče.

9.1 Výroba nových kompozitů dle navržených receptur

Tři vybrané receptury byly připravené na základě následujících postupů:

Receptura na bázi cementu

Směs obsahovala 1 díl cementu, 3 díly kameniva a půl dílu vody. Kamenivo v našem případě představovaly odkapy z výroby taveného čediče pomleté na frakce 0 – 4 mm. U této receptury jsme míchali směs, která měla navážku cementu 866 g, 2600 g odkapů z výroby taveného čediče a 520 ml vody, což představovalo vodní součinitel $w = 0,6$. Nejprve byly v míchačce smíchány suché složky (cement + odkapy). Po důkladném rozmísení následovalo přidání vody. Jakmile byla směs řádně zamíchána, došlo k plnění vymazaných trojforem. Po naplnění byly trojformy zhutněny na vibračním stolku.

Zastoupení frakcí bylo vypočteno dle Fullera:

$$y_i = 100 \times \sqrt{\frac{d}{D_{max}}}$$

$$y_{0,125} = 100 \times \sqrt{\frac{0,125}{4}} = 17,7 \%$$

$$y_{0,25} = 100 \times \sqrt{\frac{0,25}{4}} = 25,0 \%$$

$$y_{0,5} = 100 \times \sqrt{\frac{0,5}{4}} = 35,4 \%$$

$$y_4 = 100 \times \sqrt{\frac{4}{4}} = 100,0 \%$$

Směs 1

Frakce 0 – 0,125 mm:	=> 17,7 %	=> 76,6 g
Frakce 0,125 – 0,25 mm:	=> 7,3 %	=> 31,6 g
Frakce 0,25 – 0,5 mm:	=> 10,4 %	=> 45,0 g
Frakce 0,5 – 4 mm:	=> 64,6 %	=> 279,7 g



Obrázek 43: Cementová směs zhutněná v trojformě

Receptura na bázi polymercementu

Receptura pro polymercementovou směs byla obdobná jako pro cementovou recepturu, navíc byla přidána pouze příměs redispersgovatelného prášku kopolymeru EVA. Do směsi bylo použito opět 866 g cementu, 2600 g odkapů z výroby taveného čediče a 520 ml vody. Dále byl přidán redispersgovatelný prášek kopolymeru EVA v dávkování 3 % z hmotnosti cementu. Tato hmotnost představovala 26 g disperze EVA. Nejprve došlo opět v míchačce k zamíchání suché směsi (cement + odkapy) současně s práškovou disperzí. Po rozmísení suchých složek byla přidána voda. Takto rozmíchaná směs byla naplněna do vymazaných trojforem a následně zhutněna na vibračním stolku.

Zastoupení frakcí bylo vypočteno dle Fullera:

Směs 1

Frakce 0 – 0,125 mm:	=> 17,7 %	=> 153,3 g
Frakce 0,125 – 0,25 mm:	=> 7,3 %	=> 63,2 g

Frakce 0,25 – 0,5 mm:	=> 10,4 %	=> 90,1 g
Frakce 0,5 – 4 mm:	=> 64,6 %	=> 559,4 g



Obrázek 44: Suroviny pro přípravu polymercementové směsi



Obrázek 45: Polymercementová směs zhutněná v trojformě

Receptura na epoxidové bázi

V epoxidové receptuře došlo k zamíchání epoxidové pryskyřice LENA 130 a odkapů z výroby taveného čediče o frakci 0,125 – 2 mm. Bylo vybráno plnění 70 %, jelikož u zkušebních trámečků s plněním 50 % docházelo k sedimentaci plnivové části. Na tři trámce o rozměrech 20 mm x 20 mm x 100 mm bylo použito 175 g podrcených odkapů z výroby taveného čediče na uvedenou frakci a 75 g epoxidové pryskyřice. Epoxidová pryskyřice se skládala ze složky A a ze složky B – tvrdidlo. Dávkování složky A a složky B bylo v poměru 3,2:1. Do plastového kelímku bylo nejprve naváženo 17,86 g složky B, poté 57,14 g složky A. Došlo k dostatečnému rozmíchání navážených složek epoxidové pryskyřice. Do připravené epoxidové pryskyřice bylo přisypáno 175 g vytríděných odkapů z výroby taveného čediče frakce 0,125 – 2 mm. Vše bylo řádně zamícháno, naplněno do silikátových trojforem vystříkaných separačním přípravkem a necháno vytvrdit.

Zastoupení frakcí bylo vypočteno dle Fullera:

Směs 1

Frakce 0,125 – 0,25 mm:	=> 13,8 %	=> 24,15 g
Frakce 0,25 – 0,5 mm:	=> 19,5 %	=> 34,13 g
Frakce 0,5 – 1 mm:	=> 27,0 %	=> 47,25 g
Frakce 1 – 2 mm:	=> 39,05 %	=> 68,34 g



Obrázek 46: Rozmíchaná epoxidová směs



Obrázek 47: Epoxidová směs uložená do silikonové trojformy

9.2 Stanovení materiálových vlastností nově vyvinutých kompozitů

Při stanovení materiálových vlastností nově vyvinutých kompozitů byly provedeny na zkušebních tělesech zkoušky, uvedené v následující tabulce, kde jsou uvedeny také příslušné normy.

Tabulka 26: Výčet prováděných zkoušek a příslušných norem

Pevnost v tahu za ohybu	ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti
Pevnost v tlaku	ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti
Tvrдость povrchu	ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku
Odolnost proti teplotním šokům	DIN 52313

Pevnost v tahu za ohybu

Jako první byla vždy na třech zkušebních tělesech o rozměrech 40 mm x 40 mm x 160 mm (případně 20 mm x 20 mm x 100 mm) provedena zkouška pevnosti v tahu za ohybu. Zkušební tělesa byla namáhána tříbodovým ohybem, zatížení bylo vynakládáno přes zatěžovací válec, který byl kolmý na směr hutnění čerstvé směsi. Zatěžování probíhalo rovnoměrnou rychlostí (50 ± 10) N/s až do zlomení.

Poté na zbylých polovinách byla provedena zkouška pevnosti v tlaku. Zbytky zkušebních těles byly vloženy na destičky zkušebního stroje a zatížení se zvyšovalo plynulou rychlostí (2400 ± 200) N/s do porušení.

Na základě normy ČSN EN 196-1 bylo provedeno vyhodnocení dle vztahu z kapitoly 6.2 – Stanovení pevnosti.

Tabulka 27: Naměřené hodnoty pro stanovení pevností u cementového kompozitu

Zkušební těleso	m [g]	b [mm]	OH [kg/m ³]	l [mm]	F _t [kN]	F _c [kN]
A1	555,78	39,98	2190	100	1,25	21,5
						21,0
B1	546,32	39,87	2160	100	1,15	20,5
						21,0
C1	557,47	39,95	2200	100	1,30	23,0
						24,5

Tabulka 28: Vypočtené hodnoty pevností u cementového kompozitu

Zkušební těleso	R _f [MPa]	Ø R _f [MPa]	R _c [MPa]	Ø R _c [MPa]
A1	2,9	2,9	13,4	13,7
			13,1	
B1	2,7		12,8	
			13,1	
C1	3,1		14,4	
			15,3	

F_f zatížení vynaložené na střed trámečku při zlomení [N];

F_c nejvyšší zatížení vynaložené při porušení [N];

R_f pevnost v tahu za ohybu po 7 dnech [MPa];

R_c pevnost v tlaku po 7 dnech [MPa];

OH objemová hmotnost [kg/m³];

m hmotnost zkušebního tělesa [g];

l vzdálenost mezi podporami [mm].



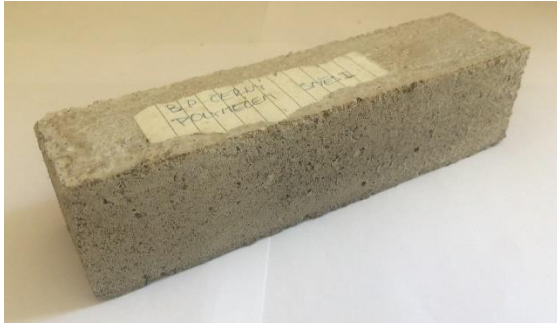
Obrázek 48: Odformovaný trámeček před stanovením pevnosti

Tabulka 29: Naměřené hodnoty pro stanovení pevností u polymercementového kompozitu

Zkušební těleso	m [g]	b [mm]	OH [kg/m ³]	l [mm]	F _t [kN]	F _c [kN]
A2	467,74	39,87	1840	100	0,85	8,0
						9,5
B2	470,26	39,72	1850	100	0,70	7,0
						9,0
C2	469,14	39,95	1860	100	0,65	7,5
						7,5

Tabulka 30: Vypočtené hodnoty pevností u polymercementového kompozitu

Zkušební těleso	R _f [MPa]	Ø R _f [MPa]	R _c [MPa]	Ø R _c [MPa]
A2	2,0	1,7	5,0	5,1
			5,9	
B2	1,7		4,4	
			5,6	
C2	1,5		4,7	
			4,7	



Obrázek 49: Odformovaný trámeček pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu



Obrázek 50: Struktura rozdrčeného trámečku po pevnosti v tlaku

Tabulka 31: Naměřené hodnoty pro stanovení pevnosti u epoxidového kompozitu

Zkušební těleso	m [g]	b [mm]	OH [kg/m ³]	l [mm]	F _t [kN]	F _c [kN]
A3	74,18	19,95	1890	80	1,25	28,4
						34,8
B3	77,61	20,33	1930	80	1,50	23,0
						34,7
C3	78,69	20,49	1880	80	1,90	33,2
						37,3

Tabulka 32: Vypočtené hodnoty pevností u epoxidového kompozitu

Zkušební těleso	R _f [MPa]	Ø R _f [MPa]	R _c [MPa]	Ø R _c [MPa]
A3	18,9	22,3	71,0	79,8
			87,0	
B3	21,4		57,5	
			86,8	
C3	26,5		83,0	
			93,3	

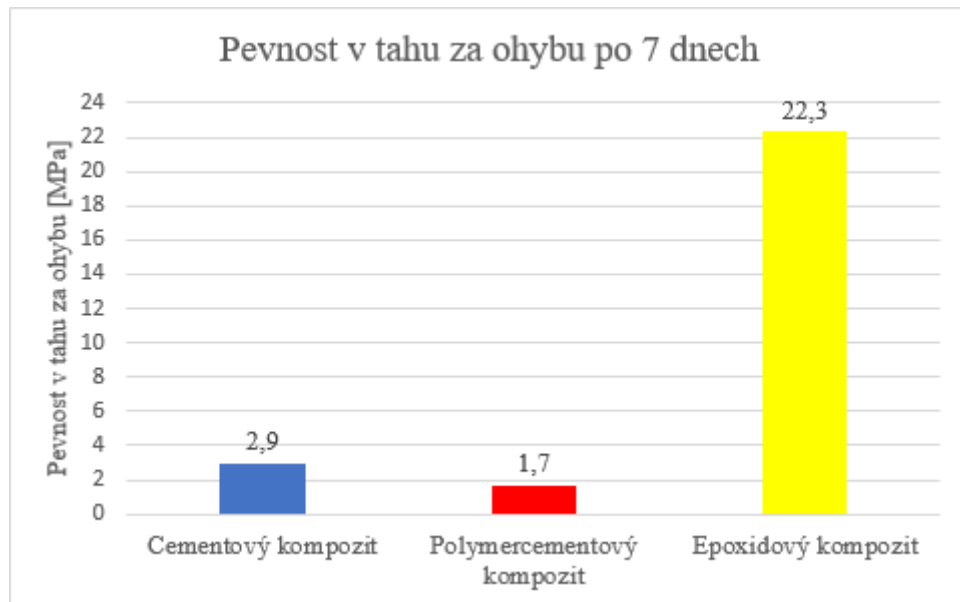


Obrázek 51: Odformovaný trámeček epoxidového kompozitu



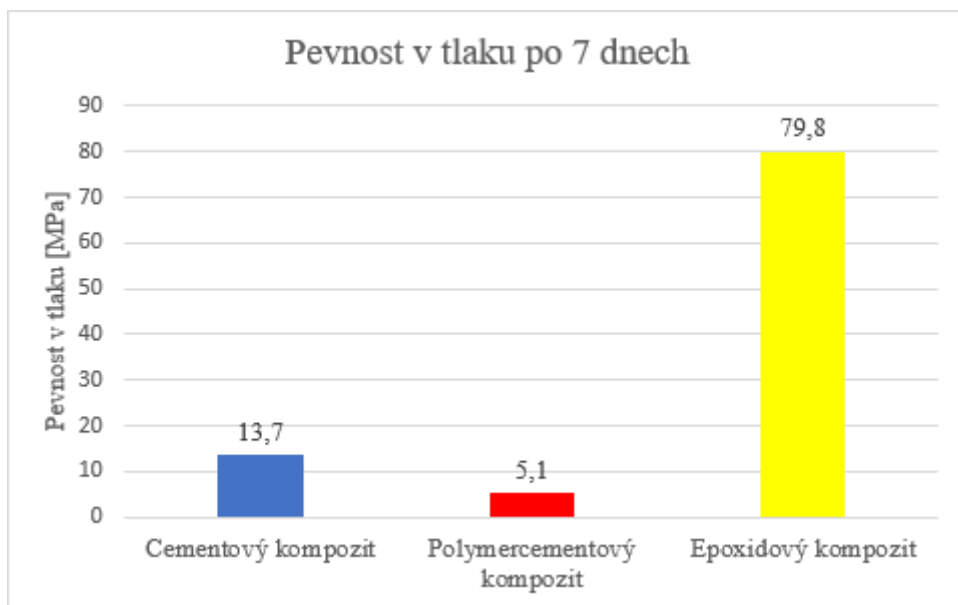
Obrázek 52: Struktura rozdrčeného epoxidového trámečku

Grafické vyhodnocení pevnostních zkoušek



Obrázek 53: Graf závislosti pevnosti v tahu za ohybu na zkoušeném kompozitu

Z grafu závislosti pevnosti v tahu za ohybu po 7 dnech je zřejmé, že nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u epoxidového kompozitu, jejíž průměrná hodnota činila 22,3 MPa. U cementového kompozitu byla průměrná hodnota 2,9 MPa. Nejnižší hodnoty dosáhl polymercementový kompozit, pevnost v tahu za ohybu byla pouhých 1,7 MPa.



Obrázek 54: Graf závislosti pevnosti v tlaku na zkoušeném kompozitu

Graf závislosti pevnosti v tlaku po 7 dnech ukazuje, že jednoznačně nejvyšší pevnost byla zjištěna u epoxidového kompozitu. Hodnota činila 79,8 MPa. Poměrně dobrých výsledků dosáhl cementový kompozit, u kterého byla pevnost 13,7 MPa. Nejnižší pevnost v tlaku byla zaznamenána stejně jako u pevnosti v tahu za ohybu u polymercementového kompozitu.

Tvrdość povrchu

Tři zkušební tělesa se nejprve zvažila, změřila se šířka a výška tělesa uprostřed jeho délky. Vypočítala se objemová hmotnost tělesa. Na kuličku bylo vyvozeno počáteční zatížení a byla změřena počáteční hloubka. Poté bylo na kuličku vyvozeno hlavní zatížení, které působilo po dobu 1 minuty. Po uvolnění hlavního zatížení na počáteční se po 1 minutě změřila hloubka s přesností 0,01 mm.

Výpočet byl proveden na základě vztahu z kapitoly 6.3 – Stanovení tvrdosti povrchu.



Obrázek 55: Zkušební zařízení pro stanovení tvrdosti povrchu



Obrázek 56: Sada zkušebních pomůcek pro stanovení tvrdosti povrchu



Obrázek 57: Uložení trámečku ve zkušebním zařízení

Tabulka 33: Naměřené hodnoty pro stanovení tvrdosti povrchu u cementového kompozitu

Zkušební těleso	d [mm]	t ₁ [mm]	t ₂ [mm]	t ₃ [mm]	Ø t [mm]	F [N]	SH [N/mm ²]	Ø SH [N/mm ²]
A1	4,20	0,23	0,35	0,17	0,25	20	6,06	7,74
B1	4,20	0,16	0,15	0,12	0,14	20	10,83	
C1	4,20	0,25	0,31	0,16	0,24	20	6,32	

SH tvrdost povrchu vypočtená z výsledků zkoušky [N/mm²];

F hlavní zatížení [N];

d průměr ocelové kuličky [mm];

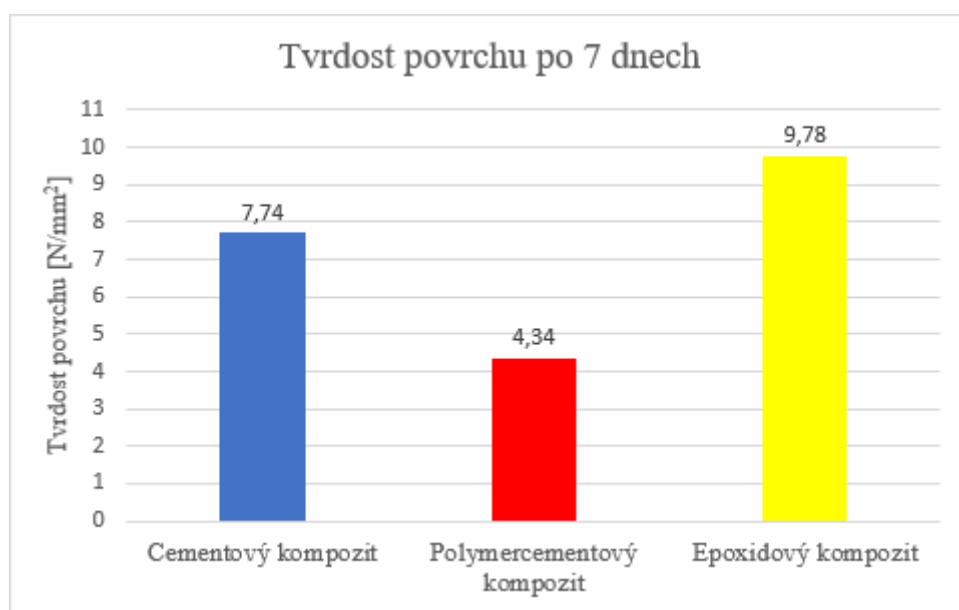
t hloubka vtlačení [mm].

Tabulka 34: Naměřené hodnoty pro stanovení tvrdosti povrchu u polymercementového kompozitu

Zkušební těleso	d [mm]	t ₁ [mm]	t ₂ [mm]	t ₃ [mm]	Ø t [mm]	F [N]	SH [N/mm ²]	Ø SH [N/mm ²]
A2	4,20	0,41	0,26	0,17	0,28	20	5,41	4,34
B2	4,20	0,49	0,27	0,38	0,38	20	3,99	
C2	4,20	0,56	0,285	0,42	0,42	20	3,61	

Tabulka 35: Naměřené hodnoty pro stanovení tvrdosti povrchu u epoxidového kompozitu

Zkušební těleso	d [mm]	t ₁ [mm]	t ₂ [mm]	t ₃ [mm]	Ø t [mm]	F [N]	SH [N/mm ²]	Ø SH [N/mm ²]
A3	4,20	0,15	0,11	0,12	0,13	20	11,66	9,78
B3	4,20	0,14	0,13	0,18	0,15	20	10,11	
C3	4,20	0,28	0,17	0,16	0,20	20	7,58	



Obrázek 58: Graf závislosti tvrdosti povrchu na zkoušeném kompozitu

Nejvyšší tvrdosti povrchu dosáhl kompozit, který byl zhotoven z epoxidové pryskyřice a odkapů z výroby taveného čediče. Tvrdost povrchu u epoxidového kompozitu byla 9,78 N/mm². O 2 N/mm² méně dosáhla tvrdost u cementového kompozitu, jejíž hodnota byla 7,74 N/mm². Tvrdost povrchu polymercementového kompozitu činila 4,34 N/mm².

Odolnost proti teplotním šokům

Na začátku zkoušky byly zhotoveny zkušební destičky o rozměrech 40 x 40 x 20 mm. Tyto destičky byly zkoušeny na odolnost proti teplotním šokům a následně bylo provedeno jejich vizuální posouzení, zda nedošlo k trhlinám či porušení. Nejprve byly ohřáty na teplotu 150 °C a prudce zchlazeny ponořením do vody o teplotě 18 °C. Další zkoušenou hodnotou bylo prudké zchlazení ze 180 °C na 18 °C. Teplotu bylo možné dále zvyšovat o 20 až 25 °C, ale v našem případě to nebylo potřeba.

Tabulka 36: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u cementového kompozitu při zchlazení ze 150 °C na 18 °C

Zkušební těleso	Teplota ohřátí v °C	Teplota ochlazení v °C	Výsledek
A1	150	18	beze změn
B1	150	18	beze změn
C1	150	18	beze změn

Tabulka 37: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u polymercementového kompozitu při zchlazení ze 150 °C na 18 °C

Zkušební těleso	Teplota ohřátí v °C	Teplota ochlazení v °C	Výsledek
A2	150	18	beze změn
B2	150	18	beze změn
C2	150	18	beze změn

Tabulka 38: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u epoxidového kompozitu při zchlazení ze 150 °C na 18 °C

Zkušební těleso	Teplota ohřátí v °C	Teplota ochlazení v °C	Výsledek
A3	150	18	beze změn
B3	150	18	beze změn



Obrázek 59: Vzhled destičky cementového kompozitu o rozměru 40 mm x 40 mm x 20 mm po teplotním šoku z teploty 150 °C na 18 °C



Obrázek 60: Vzhled destičky polymercementového kompozitu o rozměru 40 mm x 40 mm x 20 mm po teplotním šoku z teploty 150 °C na 18 °C

Tabulka 39: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u cementového kompozitu při zchlazení ze 180 °C na 18 °C

Zkušební těleso	Teplota ohřátí v °C	Teplota ochlazení v °C	Výsledek
A1	180	18	beze změn
B1	180	18	beze změn
C1	180	18	beze změn

Tabulka 40: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u polymercementového kompozitu při zchlazení ze 180 °C na 18 °C

Zkušební těleso	Teplota ohřátí v °C	Teplota ochlazení v °C	Výsledek
A2	180	18	beze změn
B2	180	18	beze změn
C2	180	18	beze změn

Tabulka 41: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u epoxidového kompozitu při zchlazení ze 180 °C na 18 °C

Zkušební těleso	Teplota ohřátí v °C	Teplota ochlazení v °C	Výsledek
A3	180	18	beze změn
B3	180	18	beze změn



Obrázek 61: Vzhled trámečku epoxidového kompozitu po stanovení odolnosti proti teplotnímu šoku při zchlazení ze 180 °C na 18 °C

9.3 Porovnání vlastností nově vyvinutých materiálů s čedičovými výrobky

V následující tabulce byly porovnány vlastnosti a hodnoty taveného čediče, cementového kompozitu, polymercementového kompozitu a epoxidového kompozitu. Nově vyvinuté kompozity, které byly zkoušeny, vykazovaly dobré pevnosti - především epoxidový kompozit.

U samotného taveného čediče byla vyzkoušena také tvrdost povrchu, hodnoty pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku jsou brány dle výrobce.

Tabulka 42: Porovnání hodnot taveného čediče a zkoušených kompozitů

	Jednotka	Tavený čedič	Cementový kompozit	Polymercementový kompozit	Epoxidový kompozit
Pevnost v tlaku	[MPa]	300-450	13,7	5,1	79,8
Pevnost v tahu za ohybu	[MPa]	40	2,9	1,7	22,3
Tvrdost povrchu	[N/mm ²]	26,59	7,74	4,34	9,78
Objemová hmotnost	[kg/m ³]	2900-3000	2180	1850	1900

Hodnoty a další zkoumané vlastnosti, které byly zkoušeny na nově vyvíjených kompozitech, budou dále zhodnoceny v diskuzi.

10 Shrnutí výsledků experimentálního ověření kompozitů

Na základě vlastností čediče byly navrženy tři různé receptury kompozitu, který by se svými vlastnostmi měl co nejvíce blížit vlastnostem taveného čediče. Byla navržena jedna receptura na cementové bázi, druhá na polymercementové bázi a třetí na epoxidové bázi.

Při optimalizaci druhotných surovin (plniv) byly vybrány odkapy jako nejvýhodnější surovina. Vznikají jako druhotná surovina při výrobě taveného čediče. Byla provedena charakteristika používaného plniva – síťový rozbor, mikroskopický rozbor a RTG analýza.

Po namíchání stanovených směsí se čekalo 7 dní, než cementové a polymercementové vzorky dosáhly prvotních pevností. Pro stanovení pevností v tlaku po 28 dnech nebyl časový prostor, ale toto bude zkoumáno v rámci diplomové práce. Nově vyvinuté kompozity byly testovány třemi laboratorními metodami – stanovení pevnosti, stanovení tvrdosti povrchu a také odolnosti proti teplotním šokům.

Jako první byla provedena zkouška stanovení pevností v tahu za ohybu po 7 dnech. Tavený čedič dle výrobce dosahuje hodnoty pevnosti v tahu za ohybu 40 MPa. Ze tří vyvíjených kompozitů nejvyšší pevnost v tahu za ohybu byla zjištěna u epoxidového kompozitu, u něž hodnota byla 22,3 MPa. U cementového a polymercementového kompozitu bylo dosaženo hodnoty, která je menší jak 3,0 MPa. Tato hodnota byla zjištěna po 7 dnech, dá se tedy očekávat, že pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech by dosahovala vyšších hodnot.

Na rozlomených polovinách byla provedena zkouška pevnosti v tlaku po 7 dnech. Výrobce uváděná hodnota pevnosti v tlaku taveného čediče je 300 - 450 MPa. Nejvyšší hodnoty pevnosti v tlaku dosáhl epoxidový kompozit. Tato hodnota však byla o dost menší, než u taveného čediče. Tato hodnota u epoxidového kompozitu činila 79,8 MPa. Velmi nízké pevnosti v tlaku dosáhl polymercementový kompozit, jejíž hodnota byla pouhých 5,1 MPa. Cementový kompozit dosáhl hodnoty 13,7 MPa. Opět by se dalo očekávat vyšších pevností při stanovení po 28 dnech, což bohužel z časových možností nebylo možné.

Ze stanovení zkoušených pevností (v tahu za ohyb, v tlaku) nejlépe obstál epoxidový kompozit, u kterého bylo plnění 70 %. Pravděpodobně z důvodu vyšší objemové hmotnosti čedičových odkapů došlo v epoxidovém kompozitu k sedimentaci částic. V dalším vývoji kompozitu by mohlo dojít k navýšení plnění na 80 %, čímž by se mohly zvýšit i pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku.

K nízkým hodnotám pevností u polymercementového kompozitu mohlo dojít zejména krátkou dobou zrání a také přidávkem přísady redispergovatelného prášku kopolymeru EVA. Polymercementová směs byla stejné navážky jako cementová směs, do které byl přidán redispergovatelný prášek kopolymeru EVA, který oproti cementové směsi výrazně snížil výslednou pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku u kompozitu.

Cementový kompozit dosáhl vcelku příznivých pevností, které by po 28 dnech dosáhly vyšších hodnot. U tohoto kompozitu může být v dalším vývoji použit plastifikátor, který by mohl snížit vodní součinitel a tím zvýšit pevnosti.

Jako druhá byla provedena zkouška stanovením tvrdosti povrchu. V experimentální části byla vyzkoušena tvrdost povrchu na dlaždici z taveného čediče, u kterého byla naměřena hodnota 26,59 N/mm². Tvrdost povrchu vychází z pevnosti směsi, ze které byl kompozit vytvořen. Nejvyšší pevnosti byly naměřeny u epoxidového kompozitu, stejně tak tomu bylo u tvrdosti povrchu. Tvrdost povrchu u epoxidového kompozitu dosáhla hodnoty 9,78 N/mm². Dobrých výsledků dosáhl cementový kompozit, u nějž hodnota tvrdosti povrchu činila 7,74 N/mm². Nejvíce se ocelová kulička dostala do povrchu u polymercementového kompozitu, který již na pouhý dotyk rukou nevykazoval dobrou tvrdost povrchu.

Ke zvýšení tvrdosti u epoxidového kompozitu by mohlo opět dojít navýšením plnění na 80 %. Na základě pevnosti odkapů by se s přibývajícím množstvím měla tvrdost zvýšit. Nedostatečným zatvrdnutím cementového a polymercementového kompozitu se snížila tvrdost povrchu, která by po 28 dnech dosahovala jistě vyšších hodnot.

Poslední zkoušenou vlastností byla odolnost proti teplotním šokům. U taveného čediče výrobce udává, že by měl čedičový výrobek vydržet teplotní rozdíl minimálně 150 °C. Byla zkoušena odolnost prudkým zchlazením vodou nejprve ze 150 °C na 18 °C. Cementový, polymercementový i epoxidový kompozit to nijak neovlivnilo. Nedošlo k žádnému vytvoření trhlinek či k poškození zkušební tělesa, tudíž prvnímu teplotnímu šoku odolaly všechny tři tělesa. Dalším teplotním rozdílem byl teplotní šok ze 180 °C na 18 °C. Opět byly zkušební tělesa prudce zchlazeny vodou a po ustálení teploty byl vizuálně posouzen jejich vzhled. Ani při tomto teplotním šoku nedošlo ke vzniku žádných trhlinek či poškození tělesa.

Lze říci, že při stanovení odolnosti proti teplotním šokům splnily zkušební tělesa požadovanou minimální hodnotu 150 °C, takže v tomto ohledu vyhovují.

Jako nejlepší forma receptury se jeví spojení epoxidové pryskyřice s odkapou z výroby taveného čediče, následoval cementový kompozit. Nejhorších materiálových vlastností a hodnot dosáhl polymercementový kompozit.

V následujícím vývoji kompozitu je možné očekávat, že bude využívána receptura na bázi cementu a receptura na epoxidové bázi, které budou podrobeny dalším zkouškám. Plnivem s nejvyšší pravděpodobností zůstanou odkapy z výroby taveného čediče, případně druhotný materiál, který vzniká při řezání čedičových dlaždic. U epoxidového kompozitu bude zcela jistě navýšeno plnění na 80 %, jelikož při plnění na 70 % docházelo k sedimentaci plniva. U cementového kompozitu bude využita 28 denní doba zrání. Dále může být použit plastifikátor, který sníží vodní součinitel či množství cementu u směsi a zvýší některé vlastnosti. Dalším možným vylepšením vlastností by mohlo být přidání určité příměsi. Zcela jistě bude v další fázi vývoje testována odolnost vůči chemicky agresivním látkám, které mají ve stokové síti významnou roli. Vhodnou zkouškou pro materiál do stokové sítě je odolnost proti obrusu, která bude muset dosahovat dobrých výsledků.

11 Závěr

V rámci bakalářské práce byly na základě teoretických podkladů objasněny obecné materiálové vlastnosti taveného čediče, jeho zpracovatelnost, používané suroviny, výrobní zařízení a možnosti jeho výroby. Dále byly zhodnoceny také možné způsoby jeho využití v praxi. Závěrem problematiky týkající se taveného čediče byly charakterizovány hodnoty jeho vlastností.

Cílem bakalářské práce byl vývoj nových receptur pro kompozitní materiály, které by měly sloužit jako náhrada čedičových výrobků v atypických prostorech, zejména ve stokových sítích. Vlastnosti těchto nově vyvinutých kompozitů by se měly co nejvíce blížit vlastnostem výrobků z taveného čediče.

Jednoznačně byly deklarovány potřebné a nutné zkoušky, kterým by měl nově vyvinutý kompozit vyhovovat, a které by měl splňovat. Následně byly specifikovány jednotlivé druhy pojiv, které by bylo možné využít pro vývoj nového kompozitu. Jedná se zejména o cementové, polymercementové případně i polymerní hmoty. Za plnivovou složku byla vytvořena obsáhlá rešerše primárních a především druhotných surovin. Druhotné suroviny jako odpadní materiály byly prioritou. Na základě technické optimalizace druhotných surovin byly svými dominantními vlastnostmi jako nejvhodnější surovina vybrány odkapy z výroby taveného čediče (frita). Tavený čedič je unikátní svými vlastnostmi a bylo tedy zřejmé, že odkapy z jeho výroby by se měly jeho vlastnostem velmi blížit. V předposlední etapě byly jako výsledek řešení BP navrženy možné receptury s různými druhotnými surovinami jako plnivovou složkou. Z optimalizace navržených receptur vzešly 3 receptury, které by měly vykazovat potřebné vlastnosti. Poslední etapa se věnovala samotnému experimentálnímu ověření a vyrobené kompozity byly následně podrobeny základním fyzikálně mechenickým zkouškám, tzn. stanovení pevnosti, stanovení tvrdosti povrchu a stanovení odolnosti proti teplotním šokům.

Z naměřených výsledků u nově vyvinutých kompozitů se nejvíce přiblížil hodnotám taveného čediče epoxidový kompozit, který vykazoval výborné pevnosti – pevnost v tahu za ohybu 22,3 MPa (tavený čedič 40 MPa) a pevnost v tlaku 79,8 MPa (tavený čedič 300 – 450 MPa). U epoxidového kompozitu byla zjištěna i značně dobrá tvrdost povrchu. Dalším navrženým a vyvíjeným kompozitem byl cementový kompozit, který byl zkoušen pouze po 7 dnech zrání. I přes 7 denní zkoušky tento kompozit dosáhl dobrých hodnot. Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u polymercementového kompozitu, který nebude dále testován.

V dalším vývoji kompozitu je dále v plánu pracovat s cementovou a epoxidovou recepturou. U nových kompozitů by se mělo dosáhnout zlepšení vlastností vyvíjeného kompozitu a k provedení dalších potřebných zkoušek, kterým by měl tento kompozit vyhovovat.

Seznam použité literatury

- [1] *Geologie VSB: Suroviny - tavené horniny* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/tavene_horniny.html.
- [2] KOUKAL, František. *Tavený čedič a jeho praktické využití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [3] PELIKÁN, Antonín. *Tavené horniny: výrobky a jejich použití v průmyslu*. Praha: Práce, 1955. Knižnice ROH-Svazu zaměstnanců v průmyslu sklářském a keramickém.
- [4] *Eutit: Reference* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <https://www.eutit.cz/reference.html>.
- [5] KLOČUREK, Vladimír, Jan NEUSTUPNÝ a Jiří VALENTA. *EUTIT®: kámen nad ocel: 60 let výroby taveného čediče ve Staré Vodě = stone over steel : 60 years of cast basalt production in Stará Voda*. Stará Voda: EUTIT, 2011. ISBN 978-80-270-0490-4.
- [6] *MĚSTSKÉ STANDARDY VODOVODŮ A KANALIZACÍ NA ÚZEMÍ HL. M. PRAHY: Kanalizační část. 3. aktualizace*. 2015.
- [7] *Ko-ka: Kanalizace Prosecká 2* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: http://www.ko-ka.cz/cz/kanalizace_Prosecka2.asp.
- [8] *HAK VELKOOBCHOD s.r.o.: Sortiment* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.hakvelkoobchod.cz/sortiment.htm>.
- [9] *PKV Plus: Polymerbetonové žlaby* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.pkvplus.cz/polymerbetonove-zlaby>.
- [10] *Klartec: Produkty* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.klartec.cz/cz/produkty/kanalizacne-skruze-konusy-a-sachtove-dna/kanalizacne-skruze.html>.
- [11] ČSN EN 933-1: Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [12] ČSN EN 196-1: Metody zkoušení cementu - Část 1: Stanovení pevnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [13] ČSN EN 13892-6: Zkušební metody potěrových materiálů - Část 6: Stanovení tvrdosti povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [14] ČSN EN 993-16: Zkušební metody pro žárovzdorné výrobky tvarové hutné - Část 16: Stanovení odolnosti proti kyselině sírové. Praha: Český normalizační institut, 1996.

- [15] DIN 52313: Testing of glass - determination of the resistance of glass products to thermal shock. Deutsches Institut für Normung e. V., 1978.
- [16] ČSN EN 13892-3: Zkušební metody potěrových materiálů - Část 3: Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [17] *Brio Hranice: Zařízení pro zkoušky obrusnosti* [online]. [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://briohranice.cz/zarizeni-pro-zkousky-obrusnosti>.
- [18] ADÁMEK, Jiří, Bohumil NOVOTNÝ a Jan KOUKAL. *Stavební materiály*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 1996.
- [19] MELUZÍN, Otakar. *Technologie betonu. Studijní opory*. 3. vyd. Vysoké učení technické v Brně: Ediční středisko VUT Brno, 1983.
- [20] *EBeton: Cement - normalizované označení* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/cement-normalizovane-oznaceni>.
- [21] FRIDRICHOVÁ, Marcela, Karel DVOŘÁK, Dominik GAZDIČ a Iveta HÁJKOVÁ. *BJ16 - Maltoviny: modul M02*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 978-80-214-4973-2.
- [22] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví*. Brno: CERM, 1998. ISBN 80-214-1148-1.
- [23] *Vodní sklo: Základní informace o vodním skle* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.vodnisklo.cz/cz/clanky/zakladni-informace-o-vodnim-skle>.
- [24] *Vítejte na Zemi: Odpady* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://vitejenazemi.cz/cenia>.
- [25] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty* [online]. 3. vyd. Praha, 2013 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodasl/sh/SH3v1.pdf>.
- [26] Červenka Michal: *Ukázky materiálů* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.a-cervenka.cz/ukazky-materialu>.
- [27] *Vysokohodnotný beton*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) a Českou betonářskou společnost vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Betonové stavitelství. ISBN 80-867-6939-9.
- [28] AÏTCIN, Pierre-Claude. *Binders for durable and sustainable concrete*. Velká Británie: Taylor & Francis, 2008.
- [29] *Silo Transport: Struska* [online]. [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.silotransport.cz/produkty>.

- [30] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. 1. vyd. Praha: ČKAIT, 2009.
- [31] ASTM C 618 – 08a - Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, American Society for Testing and Materials- West Conshohocken, 2008.
- [32] *A-glass: Pěnové sklo* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.a-glass.cz/>.
- [33] *Sand Team: Slévárenské písky* [online]. [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://www.sandteam.cz/slevarenske-pisky/>.
- [34] [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.trideniodpadu.cz/odpady>.
- [35] *Depositphotos* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://cz.depositphotos.com/121978884/stock-photo-glass-waste-in-recycling-facility.html>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Rozměry plochých žlabů [3]</i>	22
<i>Tabulka 2: Rozměry bočnicových žlabů [3]</i>	22
<i>Tabulka 3: Rozměry běžně vyráběných žlabů [3]</i>	23
<i>Tabulka 4: Vlastnosti přírodního a taveného čediče [5]</i>	26
<i>Tabulka 5: Šířka rýhy dle hloubky rýhy [6]</i>	29
<i>Tabulka 6: Šířka rýhy dle velikosti profilu [6]</i>	29
<i>Tabulka 7: Požadavky na použitý kámen [6]</i>	37
<i>Tabulka 8: Požadavky na výrovky a konstrukce [6]</i>	39
<i>Tabulka 9: Požadované mechanické a fyzikální hodnoty [20]</i>	55
<i>Tabulka 10: Rozdělení šamotu dle obsahu Al_2O_3 [18]</i>	60
<i>Tabulka 11: Obecné vlastnosti šamotu [18]</i>	60
<i>Tabulka 12: Některé vlastnosti dinasu [18]</i>	61
<i>Tabulka 13: Hodnoty objemové hmotnosti a sypné hmotnosti [25]</i>	61
<i>Tabulka 14: Typické složení některých vysokoteplotních uhelných škvár [27]</i>	63
<i>Tabulka 15: Vlastnosti popílku [30]</i>	64
<i>Tabulka 16: Chemické složení popílku [30]</i>	64
<i>Tabulka 17: Chemické a fyzikální vlastnosti křemenných písků [33]</i>	67
<i>Tabulka 18: Průměrné chemické složení obalového skla</i>	68
<i>Tabulka 19: Preference jednotlivých kritérií</i>	69
<i>Tabulka 20: Vyčíslení jednotlivých kritérií</i>	69
<i>Tabulka 21: Výsledné hodnoty preference jednotlivých druhotných surovin</i>	70
<i>Tabulka 22: Preference jednotlivých kritérií</i>	74
<i>Tabulka 23: Vyčíslení jednotlivých kritérií</i>	74
<i>Tabulka 24: Výsledné hodnoty preference jednotlivých receptur</i>	74
<i>Tabulka 25: Celkový propad na síťovém rozboru u odkapů z výroby taveného čediče</i>	76
<i>Tabulka 26: Výčet prováděných zkoušek a příslušných norem</i>	82
<i>Tabulka 27: Naměřené hodnoty pro stanovení pevností u cementového kompozitu</i>	83
<i>Tabulka 28: Vypočtené hodnoty pevností u cementového kompozitu</i>	83
<i>Tabulka 29: Naměřené hodnoty pro stanovení pevností u polymercementového kompozitu</i>	84
<i>Tabulka 30: Vypočtené hodnoty pevností u polymercementového kompozitu</i>	84
<i>Tabulka 31: Naměřené hodnoty pro stanovení pevností u epoxidového kompozitu</i>	85
<i>Tabulka 32: Vypočtené hodnoty pevností u epoxidového kompozitu</i>	85
<i>Tabulka 33: Naměřené hodnoty pro stanovení tvrdosti povrchu u cementového kompozitu</i>	88
<i>Tabulka 34: Naměřené hodnoty pro stanovení tvrdosti povrchu u polymercementového kompozitu</i> ..	88
<i>Tabulka 35: Naměřené hodnoty pro stanovení tvrdosti povrchu u epoxidového kompozitu</i>	89
<i>Tabulka 36: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u cementového kompozitu při zchlazení ze 150 °C na 18 °C</i>	90
<i>Tabulka 37: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u polymercementového kompozitu při zchlazení ze 150 °C na 18 °C</i>	90
<i>Tabulka 38: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u epoxidového kompozitu při zchlazení ze 150 °C na 18 °C</i>	90
<i>Tabulka 39: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u cementového kompozitu při zchlazení ze 180 °C na 18 °C</i>	91
<i>Tabulka 40: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u polymercementového kompozitu při zchlazení ze 180 °C na 18 °C</i>	91
<i>Tabulka 41: Posouzení pro stanovení odolnosti proti teplotním šokům u epoxidového kompozitu při zchlazení ze 180 °C na 18 °C</i>	91
<i>Tabulka 42: Porovnání hodnot taveného čediče a zkoušených kompozitů</i>	92

Seznam obrázků

Obrázek 1: Sloupcová odlučnost čediče [2]	12
Obrázek 2: Vlevo - čedičové pravouhlé dlaždice; uprostřed - čedičová protiskluzová dlažba; vpravo - expediční rampa [4]	18
Obrázek 3: Vlevo - cihelná klenba a obklad stoky DN800; uprostřed - násypka na kámen; vpravo - odlehčovací komora [4]	18
Obrázek 4: Vlevo - vyložení stoky čedičovými dlaždicemi; uprostřed - kombinace čedičových výrobků v obložení; vpravo - obložení přepadové hrany [4]	19
Obrázek 5: Vlevo - potrubí z čediče JS 700; uprostřed - čedičové trouby pro ražení; vpravo - čedičový obklad dna betonového prefabrikovaného dílu [4]	20
Obrázek 6: Vlevo - čedičové T kusy po vyrobení; uprostřed - vyrobené čedičové trouby; vpravo - T kus s čedičovým vnitřkem [4]	20
Obrázek 7: Půlkulatý žlab [3]	21
Obrázek 8: Vlevo – ploché žlaby; vpravo - bočnicové žlaby [3]	22
Obrázek 9: Běžně vyráběné žlaby [3]	23
Obrázek 10: Vyložení krmných žlabů čedičovými půlkruhovými žlaby [3]	23
Obrázek 11: Vlevo - čedičový žlab ve šnekovém dopravniku; vpravo - dnový čedičový žlab a tvarovky v kanalizační vejčité stoce [4]	24
Obrázek 12: Čedičová tvarovka pro spadiště [4]	24
Obrázek 13: Vlevo - speciální čedičové odlitky; uprostřed - testovací dráha pro automobily ze speciálních dlažeb SKID PAN; vpravo - násypka s čedičovým vyložением [4, 5]	25
Obrázek 14: Vlevo - výstavba definitivní konstrukce stoky; uprostřed - zajištěné rozvolněné bloky za ostěním stoky; vpravo - uložení bubnu a vyzdění zbývající části stoky [7]	29
Obrázek 15: Vlevo - nátoková čedičová tvarovka spadiště; uprostřed - pohled ze spadišřového prostoru; vpravo - pohled do těžní šachty [7]	30
Obrázek 16: Kameninové potrubí [8]	33
Obrázek 17: Trouba železobetonová hrdlová [8]	34
Obrázek 18: Polymerbetonový žlab [9]	35
Obrázek 19: Sklolaminátové potrubí [8]	36
Obrázek 20: Plastové potrubí [8]	37
Obrázek 21: Poklop kruhový [8]	42
Obrázek 22: Poklop čtvercový [8]	42
Obrázek 23: Skruž se zabudovanými poplastovanými stupačkami [10]	43
Obrázek 24: Litinová vtoková mříž [8]	43
Obrázek 25: Zařízení na obrusnost Böhme [17]	53
Obrázek 26: Vzorec glycidové skupiny [22]	57
Obrázek 27: Vzorec epoxidové skupiny [22]	57
Obrázek 28: Schématické znázornění vytvrzovací rovnice [22]	58
Obrázek 29: Krystalky vodního skla [23]	59
Obrázek 30: Písek kopaný [26]	62
Obrázek 31: Štěrka frakce 0 - 8 mm [26]	62
Obrázek 32: Vzorek rozemleté škváry [29]	64
Obrázek 33: Vzhled popílku [29]	65
Obrázek 34: Odkapy z výroby taveného čediče	66
Obrázek 35: Vzhled pěnového skla [32]	66
Obrázek 36: Odpadní sklo v recyklačním stroji [35]	67
Obrázek 38: Záznam z mikroskopu při rozboru odkapových zrn	75
Obrázek 39: Křivka zrnitosti odkapů z výroby taveného čediče	76
Obrázek 40: Záznam z RTG u vzorku taveného čediče	77
Obrázek 41: Záznam z RTG u vzorku odebraného z odkapů	77

Obrázek 42: Výsledek z elektronového mikroskopu – dlaždice.....	78
Obrázek 43: Výsledek z elektronového mikroskopu - odkapy	78
Obrázek 44: Cementová směs zhutněná v trojformě.....	80
Obrázek 45: Suroviny pro přípravu polymercementové směsi	81
Obrázek 46: Polymercementová směs zhutněná v trojformě	81
Obrázek 47: Rozmíchaná epoxidová směs	82
Obrázek 48: Epoxidová směs uložená do silikonové trojformy	82
Obrázek 49: Odformovaný trámeček před stanovením pevnosti.....	84
Obrázek 50: Odformovaný trámeček pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu	85
Obrázek 51: Struktura rozdrčeného trámečku po pevnosti v tlaku	85
Obrázek 52: Odformovaný trámeček epoxidového kompozitu.....	86
Obrázek 53: Struktura rozdrčeného epoxidového trámečku.....	86
Obrázek 54: Graf závislosti pevnosti v tahu za ohybu na zkoušeném kompozitu	86
Obrázek 55: Graf závislosti pevnosti v tlaku na zkoušeném kompozitu	87
Obrázek 56: Zkušební zařízení pro stanovení tvrdosti povrchu.....	88
Obrázek 57: Sada zkušebních pomůcek pro stanovení tvrdosti povrchu	88
Obrázek 58: Uložení trámečku ve zkušebním zařízení.....	88
Obrázek 59: Graf závislosti tvrdosti povrchu na zkoušeném kompozitu.....	89
Obrázek 60: Vzhled destičky cementového kompozitu o rozměru 40 mm x 40 mm x 20 mm po teplotním šoku z teploty 150 °C na 18 °C.....	90
Obrázek 61: Vzhled destičky	90
Obrázek 62: Vzhled trámečku epoxidového kompozitu po stanovení odolnosti proti teplotnímu šoku při zchlazení ze 180 °C na 18 °C	91