

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 LEPÍCÍ HMOTY PRO INSTALACI ČEDIČOVÝCH PRVKŮ NA KOVOVÝ PODKLAD

DEVELOPMENT OF ADHESIVE MATERIAL FOR INSTALLATION OF CAST BASALT
ELEMENTS ON METAL BASE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Šikral

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

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

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Martin Šikral
Název	Vývoj lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad
Vedoucí práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

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

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] FERRIER, E.; RABINOVITCH, O.; MICHEL, E. Mechanical behavior of concrete–resin/adhesive–FRP structural assemblies under low and high temperatures, *Construction and Building Materials* (127), 30 November 2016, pp. 1017-1028, ISSN 0950-0618
- [2] ČSN EN 12808-1 – Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky – Část 1: Stanovení chemické odolnosti malt na bázi reaktivních pryskyřic
- [3] ČSN EN ISO 9664 – Lepidla – Zkušební metody na únavu konstrukčních lepidel zatěžovaných ve smyku tahem
- [4] XIAO, G., LI, J., WANG, Z. Jinan, Application of Casting Basalt Technology in the Sluiceway of BF, Iron and Steel Group, Shandong Metallurgy, 2003. ISSN: 1004-4620
- [5] TADEU, A.J.B. and BRANCO, F.J.F.G, Shear Tests of Steel Plates Epoxy-Bonded to Concrete under Temperature, *Journal of Materials in Civil Engineering* 12(1), 2000. ISSN: 0899-156
- [6] TADEU, A.J.B. and BRANCO, F.J.F.G, Shear Tests of Steel Plates Epoxy-Bonded to Concrete under Temperature

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Hlavní náplní diplomové práce je vývoj a výzkum průmyslové lepicí hmoty určené k upevňování prvků z taveného čediče ke kovovým podkladům. Lepicí hmoty budou využívány v prostředí s vysokým chemickým namáháním za zvýšených teplotních podmínek. Po nanesení a následném zatvrdnutí vyvinutého lepidla musí zůstat soudržnost jak s kovovým podkladem, tak s taveným čedičem zaručena i v silném agresivním prostředí. Při vývoji materiálu se klade značný důraz na využití druhotných surovin v podobě mikroplniv při současném zachování nebo zlepšení některých parametrů oproti referenčním hmotám. Tato práce se zabývá aktuální problematikou v praxi a je součástí projektu vědy a výzkumu.

1. V teoretické části práce proveďte rešerši v současnosti používaných lepicích hmot na polymerní bázi se zvýšenou chemickou odolností, včetně používaných plniv. Identifikujte náročné expoziční podmínky, ve kterých se vyvíjené průmyslové polymerní lepidlo plánuje aplikovat, přičemž se zaměřte na chemické agresivní působení. Definujte a blíže specifikujte jednotlivé podklady, na které se plánuje aplikovat vyvíjená lepicí hmota.
2. S ohledem na požadavky, které musí vykazovat vyvíjená lepicí hmota vyberte vhodné vstupní suroviny (plniva a polymerní pojiva) a proveďte jejich analýzu. U plniv se zaměřte na druhotné suroviny včetně návrhu jejich možné předúpravy. Následně proveďte optimalizaci vstupních surovin a navrhnete základní receptury pro výrobu vyvíjeného průmyslového lepidla s vysokou chemickou odolností.
3. Proveďte základní laboratorní experimentální prověření navržených receptur a na základě výsledků zkoušek vyberte optimální rozmezí plnění vybraných polymerních pojiv. Zaměřte se na stanovení a zkoušení míry soudržnosti s kovovým podkladem a taveným čedičem.
4. Na vybraných recepturách proveďte další základní zkoušky, včetně stanovení chemické a tepelné odolnosti. S ohledem na zjištěné výsledky vyberte dvě nejvhodnější varianty pro výrobu lepicí hmoty, která by zabezpečovala přídržnost i v silně agresivním prostředí a při dynamickém mechanickém zatížení lepených prvků.
5. Navrhnete vhodnou aplikaci vyvinutých lepicích hmot a zrealizujte praktické ověření. Sledujte taky trvanlivost, především stanovením míry soudržnosti lepených prvků v agresivním prostředí, a při dynamickém mechanickém namáhání. Při posuzování mikrostruktury se zabývejte kontaktní zónou na 2 rozhraních: lepicí hmota/čedičový prvek a lepicí hmota/kovový podklad.

Předpokládaný rozsah diplomové práce je 80-100 stran vč. všech příloh.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá vývojem polymerní lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad. Práce si klade za cíl vyvinout novou lepicí hmotu za účelem upevňování prvků z taveného čediče ke kovovým podkladům v prostředí s vysokým chemickým namáháním a také za zvýšených teplotních podmínek. Dále tato práce zkoumá možnosti využití druhotných surovin jako náhradu primárních surovin v podobě plniv. Práce se také zaměřuje na provedení pokročilých zkušebních metod pro ověření vlastností vyvinutých lepicích hmot včetně sledování mikrostruktury kontaktní zóny mezi lepicí hmotou a podkladem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lepicí hmota, tavený čedič, kovový podklad, epoxidové lepidlo, polyuretanové lepidlo, pojivo, plnivo, druhotné suroviny, chemické namáhání.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the development of polymeric adhesive material for the installation of cast basalt elements on a metal surface. The aim of this work is a development of the new adhesive material for the fixing of cast basalt elements to a metal base in high chemical stress environment and at higher temperature conditions. Furthermore, the thesis explores the possibility of using secondary raw materials as a substitution of primary materials in the form of fillers. The thesis is also focuses on the determination of the advanced testing methods to verify the properties of developed adhesive materials, including monitoring the microstructure of the contact zone between the adhesive material and the surface.

KEYWORDS

Adhesive material, cast basalt, metal surface, epoxy adhesive, polyurethane adhesive, binder, filler, secondary raw materials, chemical stress.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Martin Šikral. *Vývoj lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad*. Brno, 2020. 114 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Vývoj lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. Martin Šikral
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vývoj lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. Martin Šikral
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych velmi rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce prof. Ing. Rostislavu Drochytzkovi, CSc., MBA, dr.h.c. za odborné vedení, věnovaný čas a cenné rady, které mi velmi pomohly k vyhotovení této práce. Dále mé poděkování patří Ing. Jakubu Hodulovi, Ph.D. za odborné konzultace a pomoc při zpracování tohoto tématu. Také bych rád poděkoval Ing. Lence Mészárosové, Ph.D. a panu Petru Boháčovi za jejich ochotu a čas se mnou strávený na fakultě.

V neposlední řadě bych také rád poděkoval své rodině, a přátelům za neustálou podporu během celého studia.

Tato práce byla vypracována v rámci projektu č. TH02020415 „*Pokročilé lepící hmoty s vyšším podílem druhotných surovin do extrémně namáhaných prostředí*“.

OBSAH

	ÚVOD.....	12
	TEORETICKÁ ČÁST.....	13
1	LEPÍCÍ HMOTY SE ZVÝŠENOU CHEMICKOU ODOLNOSTÍ.....	13
1.1	Druhy lepicích hmot	13
1.1.1	Lepidla.....	13
1.1.2	Maltoviny	13
1.2	Princip působení lepicích hmot.....	14
1.3	Označení lepicích hmot	14
1.4	Požadavky na podkladové materiály	15
1.4.1	Požadavky na disperzní lepidlo	17
1.4.2	Požadavky na reaktivní lepidlo	17
2	VLASTNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ V AGRESIVNÍM PROSTŘEDÍ SE ZVÝŠENOU TEPELNOU ODOLNOSTÍ	17
2.1	Životnost lepených spojů	17
2.1.1	Mechanické vlastnosti	17
2.1.2	Chemická odolnost	18
2.1.3	Tepelná odolnost	18
2.2	Nenasákavé prvky z taveného čediče	18
2.2.1	Výroba taveného čediče	19
2.2.2	Vlastnosti taveného čediče	20
2.2.3	Fyzikálně-mechanické vlastnosti taveného čediče.....	21
2.2.4	Chemické vlastnosti	21
2.2.5	Výrobky z taveného čediče	21
2.2.6	Čedič v ČR a ve světě.....	23
3	SUROVINY PRO VÝROBU LEPÍCÍCH HMOT DO AGRESIVNÍHO PROSTŘEDÍ SE ZVÝŠENOU TEPELNOU ODOLNOSTÍ.....	24
3.1	Pojiva lepicích hmot	24
3.1.1	Cement.....	24
3.1.2	Polymerní materiály	24
3.2	Plniva lepicích hmot	26
3.2.1	Rozdělení plniv.....	26
	PRAKTICKÁ ČÁST.....	33
4	CÍL PRÁCE.....	33
5	METODIKA PRÁCE.....	34
5.1	Etapa I: Definice požadavků na nově vyvíjené lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad.....	34

5.2	Etapa II: Stanovení vlastností nově vyvíjených lepících hmot a popis případné předúpravy	35
5.3	Etapa III: Návrh receptur a základní testování nově vyvíjených lepících hmot... ..	36
5.4	Etapa IV: Pokročilé testování a ověření dalších vybraných vlastností nově vyvinutých lepících hmot	37
	ŘEŠENÍ A VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH ETAP	38
6	ETAPA I: DEFINICE POŽADAVKŮ NA NOVĚ VYVÍJENÉ LEPÍCÍ HMOTY PRO INSTALACI ČEDIČOVÝCH PRVKŮ NA KOVOVÝ PODKLAD	38
6.1	Definice různých druhů chemicky agresivních prostředí	38
6.1.1	Působení chemických látek	38
6.1.2	Tepelné namáhání.....	38
6.1.3	Vliv vlhkosti.....	39
6.1.4	Působení mrazu	39
6.2	Požadavky na vlastnosti lepících hmot podle druhu prostředí	39
6.2.1	Cementová lepidla (C).....	39
6.2.2	Lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (R).....	41
6.3	Analýza dostupných produktů na trhu a cenové porovnání.....	42
6.4	Shrnutí etapy I.....	44
7	ETAPA II: STANOVENÍ VLASTNOSTÍ NOVĚ VYVÍJENÝCH LEPÍCÍCH HMOT A POPIS PŘÍPADNÉ PŘEDÚPRAVY VSTUPNÍCH SUROVIN	45
7.1	Rozbor vstupních surovin	45
7.1.1	Pojivové báze	45
7.1.2	Primární plniva.....	46
7.1.3	Druhotné suroviny.....	49
7.2	Shrnutí etapy II	57
8	ETAPA III: NÁVRH RECEPTUR A ZÁKLADNÍ TESTOVÁNÍ NOVĚ VYVÍJENÝCH LEPÍCÍCH HMOT	58
8.1	Návrh receptur jednotlivých směsí	58
8.2	Prověřování základních fyzikálně-mechanických vlastností lepících hmot	63
8.2.1	Příprava zkušebních těles	63
8.2.2	Stanovení počáteční tahové přídržnosti.....	64
8.2.3	Stanovení objemové hmotnosti	66
8.3	Vyhodnocení a výběr surovin pro pokročilé testování	67
8.4	Výběr surovin pro pokročilé testování.....	77
8.5	Shrnutí etapy III	78
9	ETAPA IV: POKROČILÉ TESTOVÁNÍ A OVĚŘENÍ DALŠÍCH VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ NOVĚ VYVINUTÝCH LEPÍCÍCH HMOT	80
9.1	Výroba zkušebních těles pro pokročilé zkoušení, zhotovení podkladů.....	80
9.2	Popis prováděných zkoušek.....	81

9.2.1	Stanovení tahové přídržnosti dle ČSN EN 1542	81
9.2.2	Stanovení mrazuvzdornosti lepící hmoty dle ČSN 73 1322	88
9.2.3	Stanovení tahových vlastností dle ČSN EN ISO 527-1 (2).....	90
9.2.4	Dynamické cyklické mechanické namáhání	92
9.2.5	Sledování mikrostruktury pomocí optického mikroskopu	93
9.2.6	Návrh poloprovozní aplikace lepící hmoty v praxi	96
9.2.7	Výběr nejvhodnější receptury	97
9.2.8	Orientační cenové porovnání nově vyvinutých lepících hmot.....	98
9.3	Shrnutí etapy IV	99
	ZÁVĚR.....	102
	Seznam použitých zdrojů.....	104
	Seznam tabulek.....	109
	Seznam obrázků.....	111
	Seznam grafů.....	113
	Seznam zkratk.....	114

ÚVOD

Dějiny lepení sahají až do raného období lidských dějin. Již před 4 000 lety používali staří Egypťané lepidla na bázi přírodních materiálů (přírodní kaučuk a pryskyřice ze stromů). V pozdějších dobách se také používaly materiály jako vaječný bílek, kaseinový nebo glutinový olej. První výrobky kličů rostlinného a živočišného původu vznikly v letech 1 700 v USA a v Anglii. V důsledku rychlého vývoje v oblasti chemického průmyslu se v 19. století objevily první syntetické materiály, které se od začátku 20. století využívají při výrobě lepidel dodnes. [1]

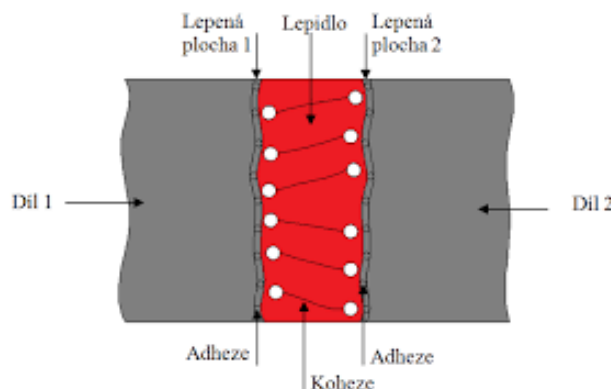
Ve všech odvětvích dnešního stavebnictví se setkáváme s požadavky na co nejvyšší finanční úspory při výrobě materiálů, které ovšem nikdy nesmí být na úkor kvality. Kvůli těmto zásadním požadavkům je kladen velký důraz na použití druhotných surovin. Použití těchto surovin u stavebních materiálů může zlepšit některé fyzikální a mechanické vlastnosti. Cena druhotných surovin bývá zpravidla nižší než cena primárních surovin, tudíž tyto suroviny také zlevňují výsledný výrobek, což má také ekologický přínos.

Tato práce věnuje pozornost lepícím hmotám na polymerní bázi se zvýšenou chemickou odolností s obsahem druhotných surovin, které se také mohou použít v prostředí se zvýšenou teplotou, přičemž je zaručena jejich dlouhodobá trvanlivost.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Lepicí hmoty se zvýšenou chemickou odolností

Základní princip lepení je založen na působení sil, které se označují jako koheze a adheze. Adheze neboli přídržnost je definována jako schopnost lepicí hmoty se pevně přichytit k lepenému povrchu. Koheze je definována jako soudržnost složek vlastního lepidla. Dohromady pak tyto vlastnosti tvoří výslednou pevnost lepeného spoje. [2]



Obrázek 1: Adheze a koheze [3]

1.1 Druhy lepicích hmot

Podle principu lepení a složení dané lepicí hmoty rozlišujeme dva základní typy spojovacích materiálů: lepidla a maltoviny. [4]

1.1.1 Lepidla

Jedná se převážně o polymerní lepicí hmoty samotné nebo s plnivem. Disperzní lepidla tvoří hotové homogenní směsi z organických pojiv, které jsou ve formě vodní disperze a minerálních přísad. Vytvrzování poté probíhá postupným odpařováním vody, která je obsažena v lepidle, respektive případným sesíťováním. Lepidla, která jsou na bázi polymerních pryskyřic, se skládají z polymerních pryskyřic, dále pak z minerálních a organických přísad. Lepidla bývají většinou vícesložková a jejich vytvrzování probíhá na základě chemické reakce. [4]

1.1.2 Maltoviny

Jedná se o směs hydraulických (cementových) pojiv, minerálů a jiných organických přísad, které jsou v suchém, převážně práškovém stavu. V praxi postačí jejich pouhé zamíchání s vodou, kdy vznikne plastické těsto, které nazýváme malta (s jemnozrnným plnivem) nebo také někdy pasta (bez plniva). [4]

Tabulka 1: Rozdělení jednotlivých druhů lepicích hmot [4-8]

Druh lepicí hmoty	Označení	Flexibilita	Vytvrzování	Rozdělení
Čistě cementové maltoviny a malty	CC (cement concrete)	Neflexibilní	Hydraulicky	Žádné
Polymercementové maltoviny a malty	PCC (polymer-cement concrete)	Flexibilní podle druhu	Hydraulicky	Prefabrikované Polymery zušlechťené
Čistě polymerní lepidla a tmely	PC (polymer-concrete)	Flexibilní podle druhu	Odpařením vody nebo sesít'ováním	Disperzní (vodné akrylátové disperze)
		Flexibilní podle druhu	Tvrdidly – chemickou reakcí	Reakční (reaktivní, pryskyřičné) ▪ akrylátové ▪ epoxidové ▪ polyuretanové
		Flexibilní	Chemickou reakcí	Silikonové

1.2 Princip působení lepicích hmot

Vzájemné spolupůsobení ovlivňuje především teplotní a vlhkostní roztažnost jednotlivých hmot. Dalším významným parametrem je modul pružnosti, který vyjadřuje schopnost materiálu deformovat se pružně či plasticky vlivem vnějšího zatížení (flexibilita hmoty). Materiály s vysokým modulem pružnosti se vlivem zatížení málo deformují, ale naopak i při menší deformaci v nich vznikají velká napětí. [4]

1.3 Označení lepicích hmot

V současnosti problematiku lepidel řeší česká technická norma ČSN EN 12004+A1/2012 Lepidla pro obkladové prvky – Požadavky, posuzování, shody, klasifikace a označování. Vlastnosti lepidel přímo ovlivňuje druh používaného lepidla. Dle chemické povahy pojiv se dělí do 3 skupin. [4]

Tabulka 2: Označení lepicích hmot [5]

Označení	Druh	Popis
C	Cementové lepidlo	Směs hydraulických pojiv, kameniva a organických přísad, která se bezprostředně před použitím mísí s vodou nebo kapalnou složkou.
D	Disperzní lepidlo	Směs organických pojiv ve formě vodné polymerní disperze, organických přísad a minerálních plniv připravená k použití.
R	Lepidlo na bázi reakčních pryskyřic	Jedno nebo vícesložková směs syntetické pryskyřice, minerálních plniv a organických přísad, která se vytvrzuje chemickou reakcí.

Každý druh se může vyskytovat v jiné třídě, pro označení používáme tyto zkratky:

- 1 standardní lepidlo
- 2 zlepšené lepidlo (splňuje požadavky na doplňkové vlastnosti)
- F rychle tvrdnoucí lepidlo
- T lepidlo se sníženým skluzem
- E lepidlo s prodlouženou dobou zavadnutí [5]

1.4 Požadavky na podkladové materiály

Je zřejmé, že pokud bude podkladní materiál nekvalitní, nesoudržný nebo znečištěný, nemá smysl použít speciální lepicí hmoty. Pro podklad platí, že veškeré požadavky na přídržnost lepicí hmoty k podkladu nebo k obkladu musí korespondovat s tahovými pevnostmi podkladu. Pro veškeré silikátové podklady platí, že soudržnost mezi nimi a lepicí hmotou se realizuje adhezí a mechanickým kotvením. U hladkých povrchů je nutné zdrsnit podklad například mechanickým narušením, brokováním, pískováním vysokotlakovým vodním paprskem nebo pneumatickým pemrlováním.

Dalším důležitým požadavkem je, že podklad nesmí být znečištěn látkami, které by mohly snižovat soudržnost mezi podkladem a lepicí hmotou. V případě, že jsou obkládány podklady, u kterých dochází k objemovým změnám (dřevo, plastické hmoty), je třeba zvolit takový typ lepicí hmoty, který je schopný vyrovnat se s objemovými změnami (hmoty se sníženým modulem pružnosti, například disperzní lepidlo). Na podklady, které jsou přirozené hladké nebo hutné (kámen, sklo, kov) je třeba zvolit čistě polymerní lepicí hmoty s vysokou adhezí, případně lepicí hmoty dvousložkové. V níže uvedené v Tab.4 jsou blíže popsány typy povrchů a vhodnost jednotlivých druhů pojiv pro tyto povrchy. Blíže jsou zde také specifikovány požadavky na podkladní vrstvu. [4]

Tabulka 3: Specifikace jednotlivých druhů podkladů a vhodných lepicích hmot [4]

Použití	Druh podkladu	Požadavky na podklad	Příprava podkladu vodnou emulzí	Standardní hydraulická lepidla	Flexibilní hydraul. lepidla (PCC)	Speciální hydraulická lepidla	Disperzní lepidla (PC)	Lepidla na bázi reaktivních pryskyřic	Rychleschnoucí lepidla	Nutnost penetrace u PC lepidel
Podlahy	Betonové monolity	Starší než 6 měsíců		X	X	X	X			X
	Cementové potěry	Starší než 28 dní								
	Cem. potěry s podl. vytápěním	Starší než 28 dní Vypnout vytápění		X	X	X	X			X
	Betony	Starší než 28 dní								
	Xylolit, anhydrit	Nepropustnost vrstvy			X	X				
	Asfalt	Odstranit kamínky, suchý povrch	X		X					
Stěny a podlahy	Dřevotřískové desky, dřevo	Na podlaze min. tl 25 mm, na stěnách min. tl. 19 mm					X	X		X
	Staré obklady a dlažby	Důkladně očistit (odmastit)	X		X		X			
Stěny	Beton	Starší než 28 dní	X							X
	Pórobeton	Očistit od prachu			X				X	
	Cementové a sádrové omítky	Starší než 28 dní								
	Sádrokartonové desky	Zatmelit mezery	X		X	X			X	
	Umakart				X	X		X		X
	Polystyren	Zajistit trvanlivost			X	X	X			
	Hydroizolace	Vlhkost odpuzující materiál	X		X	X	X	X		
	Speciálně na čerstvé betonové potěry, jakmile jsou pochůzné						X			
	Speciálně do koupelen a sprch se sádrovými, sádrokartonovými, pórobetonovými obklady			X	X	X				X
	Speciálně k lepení typu Cotto, žuly, porfyty, křemence a betonových dlažeb					X				
	Speciálně k lepení mramoru		X			X				
	Speciálně k lepení nenasákavých obkladových prvků		X		X		X	X		

1.4.1 Požadavky na disperzní lepidlo

Disperzní lepidla jsou tekuté nebo pastovité konzistence a jejich základem je disperze částic polymerů ve vodě. Po jejím vsáknutí do porézního materiálu a následném odpaření a zaschnutí již lepidla velmi dobře odolávají vodě.

Důležité je, aby byl podklad suchý, podle druhu lepidla a doporučení výrobce, v rozmezí 4 – 10 % hmotnostních. V některých případech je nezbytná základová penetrace. Rozměrová přesnost podkladních ploch musí odpovídat hotovému podkladu. Jako podkladní materiály pro disperzní lepidla nejsou zpravidla vhodné kovy a plastické hmoty, nejsou-li v kombinaci se správnou penetrací nebo adhezním můstkem. [4],

1.4.2 Požadavky na reaktivní lepidlo

Reaktivní lepidla jsou vhodná pro velmi pevné spojení různých konstrukcí. Nanesené lepidlo tuhne nejprve fyzikálně a následně reaguje chemicky se vzdušnou vlhkostí, přičemž vytváří vysokomolekulární polymery s vysokou soudržností. Tímto způsobem lze dosáhnout mimořádně vysoké tepelné odolnosti při současně dobré flexibilitě za chladu a odolnosti vůči celé řadě chemikálií.

Podkladní plochy musí být dostatečně suché, maximální vlhkost do cca 4 hm. % a nejméně 3 měsíce staré. U materiálů, které jsou citlivé na vlhkost, musíme zajistit, že neprovlhnou. Rozměrová přesnost podkladních ploch musí odpovídat hotovému podkladu. [4]

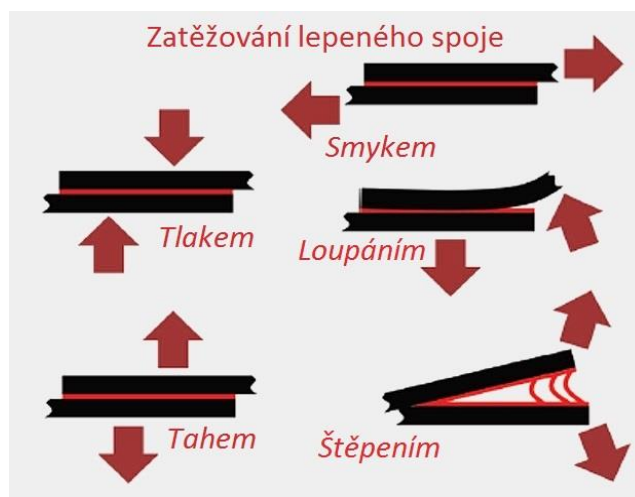
2 Vlastnosti lepených spojů v agresivním prostředí se zvýšenou tepelnou odolností

2.1 Životnost lepených spojů

Pokud má lepený spoj dobře sloužit, je důležité znát nejen vlastnosti lepidel, ale také vlastnosti lepených materiálů a způsob, jakým budou lepené materiály namáhány. Má-li mít lepený spoj dlouhou životnost musí být konstruován podle pokynů výrobce, musí být použit vhodný materiál pro lepení a musí být dobře připravený podkladní materiál. [9]

2.1.1 Mechanické vlastnosti

Lepený spoj může být zatěžován staticky anebo dynamicky (Obr.2). Posuzování dynamicky namáhaných spojů je obtížnější, jelikož je tento druh namáhání těžce definovatelný. Většinou se jedná o amplitudově i časově nepravidelné namáhání, které je komplikované nahradit některou zkušební metodou. Takto namáhané spoje se vyskytují většinou v leteckém a automobilovém průmyslu. [10]



Obrázek 2: Zatěžování lepeného spoje [10]

2.1.2 Chemická odolnost

Před samotnou aplikací lepicí hmoty je nutné zjistit, zda chemické prostředí, ve kterém se prvek nachází a chemické složení lepidla neovlivní spoj agresivními výpary nebo kapalinami, které mohou pronikat do lepeného materiálu nebo se do něj mohou dostat přes spáru. Obecně lze tvrdit, že se chemická odolnost zvyšuje stupněm vytvrzení při použití polymerů vytvrzovaných za vysokých teplot. [11]

2.1.3 Tepelná odolnost

Tepelná odolnost znamená, že si prvek dokáže zachovat vlastnosti i po dlouhodobém působení zvýšené teploty, při střídavém zvýšení či snížení teploty a při náhlé změně teploty. Pro spoje, které se nachází v provozech se zvýšenými teplotami jsou vhodná lepidla polyuretanová a epoxidová. Tato lepidla jsou schopna odolávat teplotám až do 150 °C. Dále je pak možné použití lepidel polyamidových, která odolávají teplotám 250 – 350 °C. Tato lepidla patří mezi teplotně nejodolnější. Teplotní odolnost lze zvýšit přidáním minerálních plniv a kovových prachů. [12]

2.2 Nenasákavé prvky z taveného čediče

Prvky z taveného čediče patří v dnešní době mezi nejrozšířenější zástupce nenasákavých prvků, které jsou vhodné do extrémně namáhaných podmínek.

Čedič neboli bazalt se vyskytuje v České republice například v Českém středohoří, v Doupovských horách a dalších místech, která jsou většinou i chráněna jako přírodní památky.

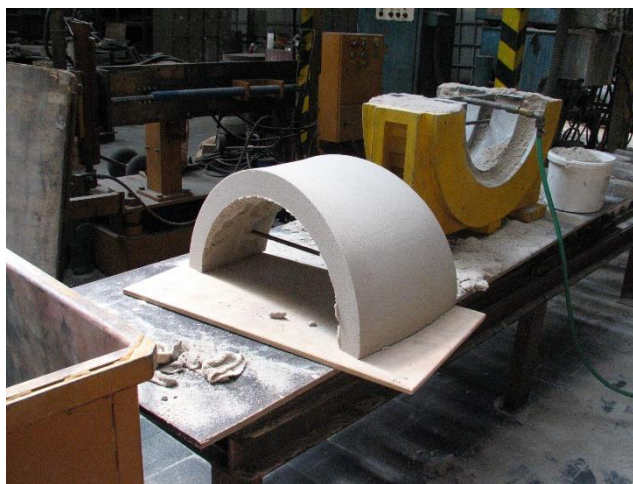
2.2.1 Výroba taveného čediče

Čedičová hornina pro tavné účely musí splňovat poměrně úzkou a přísnou normu vhodného chemického složení. Kromě požadavků na chemické složení je nutné splnit přísné požadavky na fyzikální vlastnosti petrurgické suroviny. Hornina v ložisku musí být homogenní, nesmí obsahovat cizí uzavřeniny (xenolity) a větší vyrostlice olivínu nebo pyroxenu (více jak 2 mm), dále musí být jemnozrná a nezvětralá.

Odlévané výrobky (odlitky), které vznikají odléváním horninové taveniny do forem a následně se ochlazují, jsou nazývány jako petrurgické suroviny.

Tavba kusového čediče probíhá v šachtových pecích při teplotě 1 250 – 1 300 °C. Tavení trvá velmi krátce (asi 1 hodinu). Po roztavené putuje tavenina do homogenizačního bubnu, kde se mírně ochladí. K odlévání dochází při teplotě 1 160 – 1 200 °C (Obr.4-5). Při tavně mohou způsobovat problémy větší vyrostlice nebo kumuláty olivínu, které v čediči způsobují nejvyšší teplotu tání. Olivín do velikosti cca 1 mm je velmi důležitý pro krystalizaci výrobku. Větší zrna, která se neprotaví, pak způsobují praskání výrobky při ochlazování v tunelové peci.

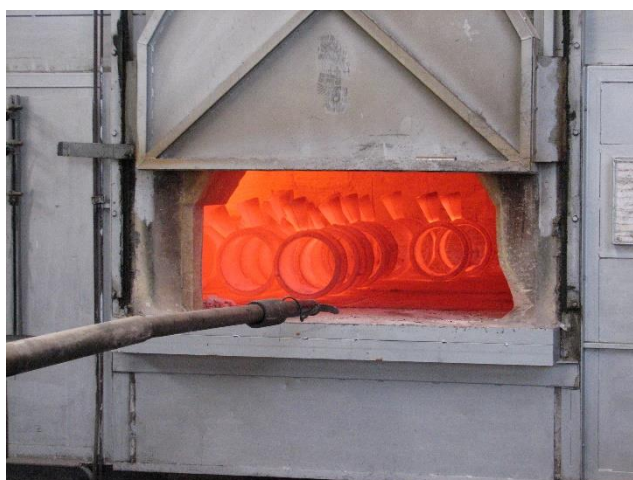
Roztavená hornina se odlévá do pískových forem nebo kovových kokil. Pro výrobu trub se používá technika dynamického (odstředivého) lití. Doba odlévání je u tenkostěnných prvků zhruba 2–3 minuty a u silnostěnných zhruba 1 – 8 minut. Během odlévání také nastává rychlé ochlazení povrchové vrstvy odlitku (Obr.3). [13], [16], [19]



Obrázek 3: Pískové formy pro odlévání čedičových výrobků [13]

Bezprostředně po odlití se již výrobky bez formy vkládají do chladicí tunelové pece. Úkolem tunelové pece je pomalé a řízené ochlazení výrobku a rekrystalizace taveniny, která pobíhá ve dvou fázích. Teplota na počátku tunelové pece se pohybuje okolo 800 °C. V první fázi dochází ke krystalizaci magnetitu, který působí jako nukleátor pro druhou krystalickou fázi, ve které krystalizuje pyroxen. Pyroxen je hlavní a nejdůležitější fázi v krystalické hmotě tavených bazaltů (tvoří 75 – 80 % objemu taveného čediče). Pomalým ochlazením je také zaručena absence pórů v zatvrdlé struktuře. Doba chlazení se pohybuje okolo 4 hodin.

Po zchlazení obsahují výrobky asi 85 – 90 % krystalické fáze a 10 – 15 % skelné fáze. [13]



Obrázek 4: Chlazení výrobků v tunelové peci – počátek ochlazovacího procesu [13]



Obrázek 5: Chlazení výrobků v tunelové peci – konec ochlazovacího procesu [13]

2.2.2 Vlastnosti taveného čediče

Tabulka 4: Vlastnosti taveného čediče [14]

Vlastnost	Jednotka	Průměrná hodnota
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 900 – 3 000
Nasákavost	%	0
Zdánlivá pórovitost	%	0
Tepelná vodivost	W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	1,9 – 2,2
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	K ⁻¹	max. 9·10 ⁻⁶
Tvrдость podle Mohse	-	8
Obrusnost	cm ³ ·50 cm ⁻²	max. 5
Pevnost v tlaku	MPa	300 – 450
Pevnost v tahu za ohybu	MPa	min. 9

2.2.3 Fyzikálně-mechanické vlastnosti taveného čediče

Tavený čedič se používá zejména díky svým vynikajícím fyzikálně-mechanickým vlastnostem, mezi které patří především vysoká pevnost v tlaku, vysoká tvrdost, vysoká otěruvzdornost, která dosahuje až 4x nižších hodnot než manganová ocel. Dále se tavený čedič využívá zejména pro jeho nulovou nasákavost. Výrobky z taveného čediče jsou odolné vůči působení vysokých teplot a snesou náhlou změnu teploty až do 100 °C. [14]

2.2.4 Chemické vlastnosti

Tavený čedič také disponuje vysokou odolností vůči působení kyselin a zásad (Tab. 5). Vykazuje dlouhodobou životnost i v nejnáročnějších podmínkách. Dále se vyznačuje ekologickou a hygienickou nezávadností. [15]

Tabulka 5: Výsledky zkoušek chemické odolnosti taveného čediče proti různým kyselinám za varu [15]

Prostředí	Koncentrace	Úbytek [g/m ³ /3 hodiny]
Kyselina sírová	5 %	65,0
Kyselina sírová	konc.	0
Kyselina chlorovodíková	20 %	48,0
Kyselina dusičná	35 %	3,4
Kyselina dusičná	konc.	14,8
Kyselina citronová	20 %	26,6
Kyselina octová	20 %	10,2
Kyselina mravenčí	konc.	8,6

2.2.5 Výrobky z taveného čediče

Z taveného čediče se v současné době vyrábí velmi široký sortiment odlitků. Je to dáno jeho unikátními vlastnostmi.

2.2.5.1 Čedičová dlažba

Čedičová dlažba je vyráběna roztavením přírodního čediče a jeho následným odlitím do kovových kokil. Takto odlité dlaždice mají vynikající vlastnosti, díky kterým jsou používány v průmyslových provozech, kde působí chemické či mechanické namáhání. Také se používají pro jejich nevšední a atraktivní vzhled. Dlaždice se vyrábějí s hladkým nebo protiskluzovým povrchem (Obr.6).

Barevný odstín dlažeb je dán povahou přírodního materiálu a nelze ho změnit či zbarvit. [14]

Pro ukládání těchto dlažeb se doporučuje použití polymercementové malty nebo epoxidové pryskyřice.

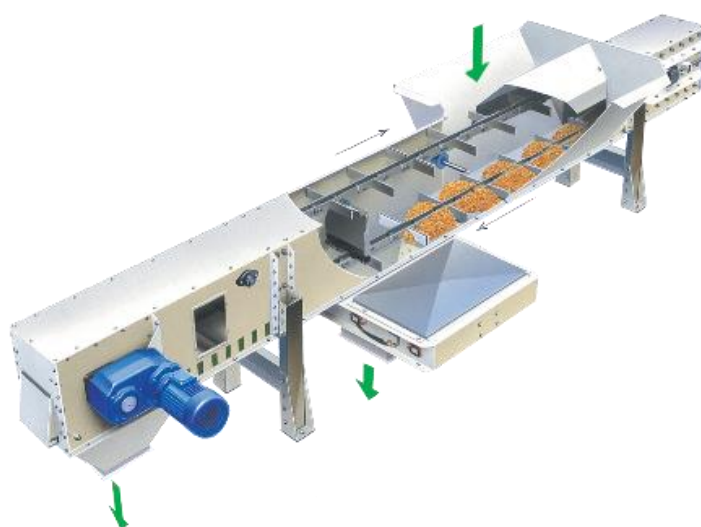


Obrázek 6: Tabulka 6: Formáty čedičové dlažby a různou povrchovou úpravou [17]

2.2.5.2 Řetězové dopravníky (redlery)

Řetězové dopravníky neboli redlery jsou ideálním zařízením pro horizontální dopravu všech sypkých nebo drobných kusových materiálů jako jsou obiloviny, osiva, obilní šroty, krmné směsi, pelety a prachy v zemědělských a zpracovatelských závodech. Uzavřená vodotěsná konstrukce zabraňuje vniku vody a minimalizuje únik prachových částic. Redlery jsou vyráběny v několika velikostech s výkonem 60 – 1 300 m³/hod. Modulový systém umožňuje dodávku a montáž v jakékoliv požadované délce.

Pro pohon hnací jednotky se používá motor s převodovkou, který je připevněn přímo na hřídeli. Konec redleru je osazen inspekčním okénkem, kde se nachází také bezpečnostní pojistka. Dopravníkové pásy, které jsou opatřeny dlažbou z taveného čediče, odolávají případným chemikáliím a jsou z hlediska dlouhodobého provozu velmi trvanlivé a zdravotně nezávadné. [18]

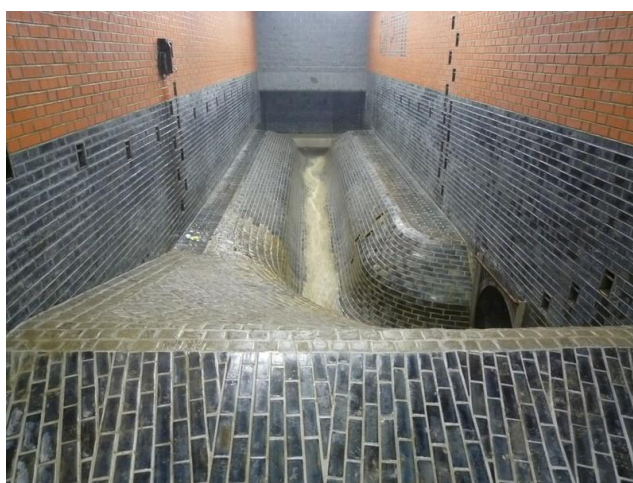


Obrázek 7: Princip řetězového dopravníku (redleru) [18]

2.2.5.3 Kanalizační prvky

Přestože je čedičový žlab cenově nákladnější než ostatní výrobky, přinese jeho použití při rekonstrukcích stokových sítí i výrazné úspory. Dosavadní technologie výstavby zděných stok umožňuje uvést je do funkce až po osazení žlábků, provedení alespoň části dnového zdiva a jeho vyspárování. Po dobu těchto prací musí být používán provizorní obtok. Při použití čedičových žlábků proběhne jejich osazení v krátké době a lze je brzy použít k odvádění odpadních vod. Krátkodobou výlukou v odvádění splašků lze překlenout čerpáním.

Tyto prvky odolávají agresivním účinkům odpadních vod, jsou odolné vůči abrazi a mají dlouhou životnost. [15], [20]



Obrázek 8: Čedičová kanalizace [15]



Obrázek 9: Čedičový obklad betonového potrubí [15]

2.2.6 Čedič v ČR a ve světě

V České republice existuje pouze jediná firma pro výrobu prvků z odlévaného čediče. Firma EUTIT s.r.o. vyrobí ročně 15 – 17 000 tun prvků z čediče, což představuje 1/3 celosvětové produkce. Sortiment firmy čítá zhruba 20 000 různých prvků. [15]

3 Suroviny pro výrobu lepících hmot do agresivního prostředí se zvýšenou tepelnou odolností

3.1 Pojiva lepících hmot

3.1.1 Cement

Cement je hydraulické pojivo, které po smísení s vodou tuhne a tvrdne, a to ve vzduchu i ve vodě.

Cement můžeme podle ČSN EN 197–1 rozdělit do pěti hlavních skupin: [21]

- CEM I Portlandský cement
- CEM II Portlandský směsný cement
- CEM III Vysokopeční cement
- CEM IV Pucolánový cement
- CEM V Směsný cement

Pro výrobu lepících hmot určených k lepení obkladů se v současné době nejvíce používá cement portlandský, pucolánový a hlinitanový.

3.1.2 Polymerní materiály

Jsou to speciální produkty například na bázi akrylátových vodných disperzí, nevodných akrylátových polyuretanových, epoxidových nebo silikonových pryskyřic, kde vaznou fází tvoří čistě polymerní složka doplněná inertním plnivem (pískem).

Kromě řady druhů akrylátových vodných disperzí se jedná převážně o dvousložkové hmoty, které vyžadují speciální pracovní postupy. [4]

3.1.2.1 Akrylátové disperze

Jako polyakryláty bývají často označovány polymery a kopolymery kyseliny akrylové, metakrylové a jejich estery, amidy, nitrily i 2–kyanakryláty. Vyznačují se výbornou odolností vůči povětrnostním podmínkám, stálostí na světle, transparentností a velmi dobrou přilnavostí.

Jsou využívány pro vlhké podklady, kde je požadavek na vyšší přídržnost. Tento typ lepidel nevyžaduje použití adhezního můstku. [4]

3.1.2.2 Epoxidové pryskyřice (EP)

Pod názvem epoxidové pryskyřice označujeme plastické hmoty (polymery), jejichž řetězce jsou zakončeny alespoň jednou epoxidovou (etylenoxidovou) skupinou. Epoxidové pryskyřice se vyznačují dobrou chemickou odolností proti alkáliím a zředěným anorganickým i organickým kyselinám. Dále velmi dobře odolávají proti

působení teploty. Tato lepidla se vyznačují vyšší cenou a tím, že se většinou dodávají ve dvou složkách, a to pryskyřice a tvrdidlo. Mají velmi dobrou adhezi i kohezi nejen ke kovům, ale i k porcelánu, sklu, horninám, ke dřevu a k pryži. Špatně se spojují například s polyvinylchloridem (PVC), polyetylénem (PE) a polystyrenem. Další výhodou těchto lepidel je to, že k jejich vytvrzování není zapotřebí vysokých tlaků, a proto nevznikají žádné těkavé zplodiny.

Jistou nevýhodou epoxidových lepidel je pokles pevnosti spojů po jejich delším uložení ve vodě. Životnost těchto spojů lze prodloužit tím, že je přelakujeme jinými pryskyřicemi. Vytvrzování se provádí pomocí tvrdidel. Tvrdidla jsou látky schopné reagovat s epoxidovými skupinami přítomnými v pryskyřici. V praxi jsou nejpoužívanější tvrdidla na polyaminové bázi. Epoxidové pryskyřice (EP) dosahují po zatvrdnutí řady nových vlastností jako je mechanická pevnost, rozměrová stálost, tepelná odolnost a jiné. Použití těchto lepidel je především v chemických provozech, a také v mechanicky vysoce namáhaných podmínkách. [4], [6]

3.1.2.3 Silikonové pryskyřice

Silikony vynikají zejména svojí hydrofobizační schopností, velkou odolností vůči teplotám v rozmezí -50 °C až +200 °C, dále velkou odolností proti náhlým změnám teplot, vysokou stálostí vůči povětrnostním vlivům, jsou odolné proti působení ozónu a slunečnímu záření, mají velkou chemickou odolnost a většinou velmi dobrou adhezi k silikátům. Většina silikonů je při zpracování i při použití zdravotně nezávadná.

Silikonové tmely se mimo jiné vyznačují velkou elasticitou, malou trvalou deformací a nízkým modulem pružnosti. Tyto vlastnosti je proto předurčují k aplikacím na pružné, nedostatečně tuhé a nestabilní podklady. [4-8]

3.1.2.4 Polyuretany (PUR)

Lepidla na PUR bázi se vyznačují vynikající adhezí i kohezí a velmi dobrou mechanickou odolností. Polyuretanové elastomery se v mnohém podobají kaučukům. Jejich struktura se vyznačuje pravidelnějším síťováním, což má za výsledek větší pevnosti. Vynikající adhezi těchto lepidel můžeme vysvětlit tím, že vznikající vodní film na povrchu slepovaných dílců zreaguje s pojivem, tudíž nevznikne nežádoucí vrstvička. Další výhodou je to, že podle potřeby lze získat spoje tvrdé, měkké nebo trvale pružné. Velkou předností polyuretanů je také to, že z nich můžeme připravit lepidla tavná, rozpouštědlová nebo vodní disperze.

Polyuretanová lepidla se používají převážně při lepení keramických obkladů ke dřevu, kovům a dalším, převážně plastickým hmotám, kde mohou uplatnit svoji adhezi. [4], [7]

3.2 Plniva lepících hmot

Plniva do materiálů přidáváme zejména za účelem snížení celkových nákladů na výrobu. Dalším důvodem je, že plniva přispívají ke zlepšení některých vlastností podle druhu použitého plniva. Můžeme zlepšit mechanické vlastnosti jako je pevnost, mrazuvzdornost, odolnost proti oděru nebo tepelnou odolnost. [22 – 24]

3.2.1 Rozdělení plniv

V současné době existuje mnoho materiálů, které se mohou použít jako plnivo. Obecně můžeme tyto materiály rozdělit podle jejich původu:

- Přírodní – jsou to materiály, které se těží a následně upravují na požadovanou frakci a čistotu (křemičitý písek, kaolin, mastek, slída a jiné)
- Průmyslově vyráběné – jsou to materiály, které se přímo vyrábějí na požadovanou frakci a čistotu
- Druhotné suroviny – jsou to materiály, které se získávají při výrobě z odpadních surovin (popílek, struska, odpadní sklo, a jiné)

3.2.1.1 Křemičitý písek

Křemičitany jsou sloučeniny oxidu křemičitého a mají největší zastoupení ve třídě nerostů. Do skupiny důležitých křemičitanů patří živce, slídy, granáty, amfiboly a pyroxeny. V přírodě je nalezneme jako součásti hornin. Z vizuálního hlediska mají nekovový vzhled, jsou barevné a v tenkých lupíncích průhledné. Vznikají z magmatu, horkých roztoků nebo zvětráváním jejich křemičitanů.

Jejich výhodou je nízký koeficient tepelné roztažnosti, vysoká tuhost, se kterou se pojí zvyšující se modul pružnosti. Jsou lehké, tvrdé, těžko tavitelné a chemicky odolné. Například v kyselinách se téměř nerozkládají. [39]

Křemičitý písek se získává z mořského dna, koryt řek a podloží jezer, odkud se těží pomocí plovoucích bagrů. Největším světovým vývozcem suroviny jsou Spojené státy, největším dovozcem Singapur.

Celková světová spotřeba písku dosahuje přibližně 50 miliard tun ročně, což představuje přibližně dvojnásobek množství, jež za stejnou dobu vyprodukuje světové řeky. Jelikož deficit v současnosti nelze řešit využitím pouštního písku, který se pro stavební účely nehodí, zkoumají se možnosti recyklace stavebních hmot a úpravy pouštního písku. V budoucnu tak lze očekávat, že technologie umožní využít i pouštní písek. [25]



Obrázek 10: Křemičitý písek [25]

3.2.1.2 Kaolin

Kaolin je hornina, která se skládá z minerálu kaolinit a drobných křemenných zrn. Je to reziduální nepřemístěná hornina bílé barvy a sedimentárního původu. Vzniká v přírodě zvětváním či kaolinizací živcových hornin. V tropických oblastech způsobují kaolinizaci monzunové deště v kyselém prostředí, které ze živců vymývají draslík, sodík a železo. V České republice je naleziště v okolí Karlových Varů, které vznikalo působením horkých pramenů. Dále nalezneme kaolin například v okolí Kadaně, Plzně nebo Znojma. Ve světě se nachází největší naleziště ve Spojených státech amerických, které představuje více než polovinu světové zásoby. Dále najdeme naleziště v Brazílii, na Ukrajině a v Indii. Celkové světové zásoby se odhadují na 14 miliard tun. [26], [27]



Obrázek 11: Kaolin [26]

3.2.1.3 Slída

Slída je označení pro velmi širokou skupinu minerálů patřících mezi hlinitokřemičitany. Jejich celkové množství v zemské kůře činí cca 3,8 %. Vyskytují se převážně v kyselých intruzivních horninách a v krystalických křídových břidlicích.

Slídy mají typické vrstevnaté krystalové mřížky. Ve vysokoteplotních výlevných horninách nikdy nevznikají jako primární materiály přímo z lávy. V hlubinných kyselých magmatitech vznikají jako pozdní a postmagmatické.

Mezi jejich velké výhody patří výborná štěpnost. Nejvýznamnější zástupce slídových minerálů je muskovit. V přírodě se ze slíd vyskytují nejčastěji dva druhy, mezi které patří právě muskovit a biotit.

Muskovit je světlá slída nazývaná jako „kočičí stříbro“. Je obsažen v žule nebo v krystalické břidlici. Chemicky se jedná o hlinitokřemičitan draselný s malou příměsí sodíku, vápníku a železa.

Biotit je tmavá slída, kterou můžeme nalézt v mnoha vyvřelinách a krystalických břidlicích. Stejně jako u muskovitu se jedná o hlinitokřemičitan draselný, avšak s příměsí až 30 % kyslíčnicku hořečnatého.

Světové naleziště slídy můžeme najít v Indii, Rusku, USA a Kanadě. V České republice nalezneme slídu v oblasti Zichovce. [25]



Obrázek 12: Muskovitová drť [25]



Obrázek 13: Biotitový písek [25]

3.2.1.4 Gumový granulát z pneumatik

Použité pneumatiky jsou poměrně problematickým odpadem, který však lze použít na výrobu alternativního paliva, a to v souladu s normami o ochraně životního prostředí. Dále je možné pneumatiky po mechanické úpravě využívat například jako dopadové plochy na dětských hřištích nebo atletických drahách.

Ve stavebnictví se gumový granulát používá při stavbě silnic, kde je součástí asfaltového povrchu. Tento granulát snižuje křehkost povrchu, zvyšuje bod měknutí, a tím výrazně prodlužuje životnost povrchů. Dále se používá jako přísada do nátěrových hmot pro zlepšení hydroizolačních vlastností.

Základním principem zpracování pneumatik je jejich mechanické rozdrčení v rychloběžných mlýnech s následnou separací dalších materiálů, které jsou obsažené v pneumatikách. Z recyklátu poté vznikne čistý gumový granulát.

Gumový granulát se vyrábí ve frakcích 0 – 0,5 mm; 0,5 – 1 mm; 1 – 2,5 mm; 1 – 3 mm; 1 – 4 mm; 2 – 6 mm. [28]



Obrázek 14: Granulát z pneumatik frakce 1 – 3 mm [28]

3.2.1.5 Dřevěné piliny

Piliny jsou drobné kousky dřeva (jehličnatého nebo listnatého), které vznikají jako vedlejší produkt při řezání, pilování nebo při jiném obrábění. Při hoblování vznikají hobliny. Hospodářský význam mají především dřevěné piliny, které se využívají mnoha způsoby. Používají se v zahradnictví jako mulč nebo podestýlka pro zvířata. Dále se používají jako palivo (přímo v pilinových kamnech anebo slisované v dřevěných briketách). V stavebnictví se používají jako surovina pro výrobu dřevotřískových desek. [29]



Obrázek 15: Piliny [29]

3.2.1.6 Popílek ČSN EN 450–1

Popílek je druhotná surovina, která vzniká při spalování práškového uhlí. Při spalování je zachycován v odlučovačích. Nevýhodou popílků je proměnlivé chemické, mineralogické a granulometrické složení v závislosti na druhu spalovaného uhlí a lokality, ze které pochází. Podle ČSN EN 197–1 rozdělujeme popílek na křemičitý (V) a vápenatý (W). Křemičitý popílek (V) je jemný prášek, který je převážně složen z kulových částic s pucolánovými vlastnostmi. Obsahuje aktivní SiO_2 a Al_2O_3 . Ve zbytku je obsažen oxid železitý a jiné sloučeniny.

Vápenatý popílek (W) je jemný prášek, který se vyznačuje tím, že má hydraulické nebo také pucolánové vlastnosti. Obsahuje aktivní oxid vápenatý, oxid křemičitý a oxid hlinitý. Ve zbytku je obsažen oxid železitý a jiné sloučeniny. [30 – 31]

Podle ČSN EN 206–1 je popílek produkt vznikající při spalování práškového antracitu, černého nebo hnědého uhlí, který je zachycován v elektrostatických či mechanických odlučovačích. Při použití tohoto druhu popílku je nutné brát do úvahy, že může vykazovat proměnlivé chemické, mineralogické i granulometrické složení. Tyto proměnlivé vlastnosti jsou závislé na druhu spalování uhlí, lokalitě a způsobu odlučování. [32], [39]

Vysokoteplotní popílek

Vysokoteplotní popílek vzniká spalováním jemně mletého uhlí při teplotách mezi 1 400 a 1 600 °C. Vedlejším produktem při spalování jemně mletého uhlí je struska, která zůstává na dně kotle a popílek. Popílek je unášen společně se spalinami a od kterých se odlučuje v odlučovačích. Tento typ spalování vyžaduje následné odsíření spalin, kterého docílíme za pomoci vápna nebo vápence. Na konci procesu vznikne energosádrovec. [33], [39]

Nejúčinnějším typem pro odloučení jsou elektrostatické odlučovače, které mají velmi vysokou odlučivost až 99 %.

Další variantou pro odlučování jsou mechanické odlučovače, které obsahují filtry z ohnivzdorných tkanin. [34]

Vzniklý prášek s částicemi kulového charakteru o průměru 1 až 150 μm se vyznačuje tím, že má pucolánové vlastnosti. Popílek kromě amorfního SiO_2 a krystalické fáze obsahuje i zbytky nespáleného uhlí. Pokud je v popílku obsažena břidlice má popílek šedou barvu a v případě, že obsahuje pyrit, je spíše černý. [35], [39]



Obrázek 16: Vysokoteplotní popílek [32]

Fluidní popílek

Fluidní popílky můžeme rozdělit na hrubý ložový popel a filtrový popílek, který se zachycuje na filtrech.

Hrubý ložový popel propadává roštem pod fluidním prstencem a jeho částice jsou větší a těžší. Z důvodu vysokého obsahu měkce páleného vápna a anhydritu má tento popel velmi dobré hydraulické vlastnosti. Tvrdnutí začíná již při smíchání s vodou. Tento popel obsahuje až 20 % volného CaO z čehož následně vyplývají nežádoucí reakce.

Filtrový popílek je zachytáván na elektrostatických odlučovačích a oproti hrubému ložovému popelu je tvořen malými lehkými částicemi.

Tyto popílky většinou nesplňují požadavky ČSN EN 450–1 díky vyššímu obsahu volného CaO a síranům. [32], [39]



Obrázek 17: Fluidní ložový popel (vlevo) a fluidní filtrový popílek (vpravo) [32]

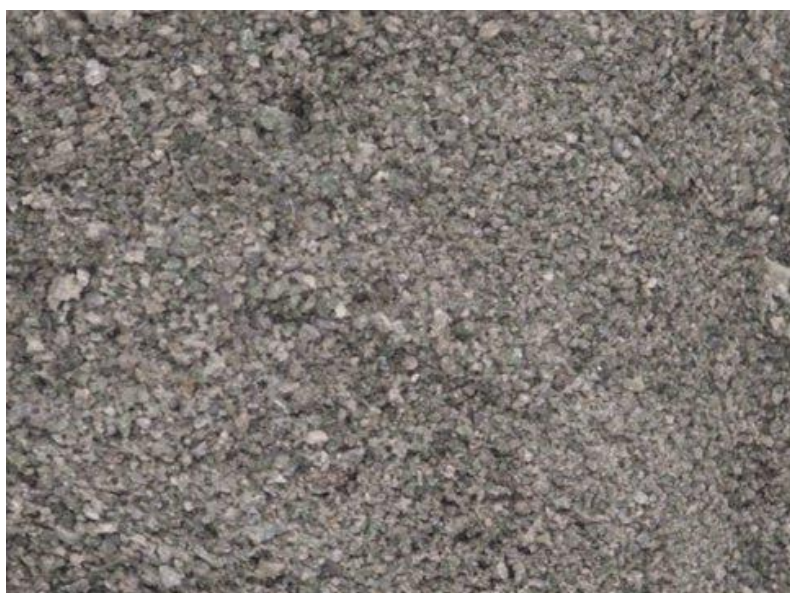
3.2.1.7 Struska

Struska je hrubozrnný materiál černého zabarvení s ostrými hranami a skelným leskem. Vzniká jako vedlejší produkt při výrobě surového železa (vysokopecní struska) a při výrobě oceli (ocelářenská struska). [36], [39]

Vysokopecní struska

Vysokopecní struska vzniká při výrobě surového železa, která probíhá ve vysokých pecích, kde vsázkové suroviny zvolna klesají pecí a zahřívají se proudem horkých plynů. Při teplotách nad 1 100 °C na sebe začnou působit hlušiny rud i struskotvorné přísady a vytváří tzv. prvotní strusku, která posléze reaguje s popelem koksu a se surovým železem za vzniku konečné strusky.

Nejdůležitější u strusky jsou její hydraulické vlastnosti, které jsou přímo závislé na jemnosti mletí a chemické složení. Strusky se posuzují tzv. hydraulickým modulem. Jemně mletá struska nemá dostatečné hydraulické vlastnosti, tudíž se tyto vlastnosti musí vyvolat nuceně přidáním vápna nebo cementu. Využívá se jako aktivní příměs do cementového betonu a může zlepšovat jeho fyzikálně-mechanické vlastnosti. Granulovaná vysokopecní struska se využívá jako surovina pro výrobu portlandských struskových cementů. [37], [39]



Obrázek 18: Granulovaná vysokopecní struska, frakce 0,25 – 1 mm [37]

PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

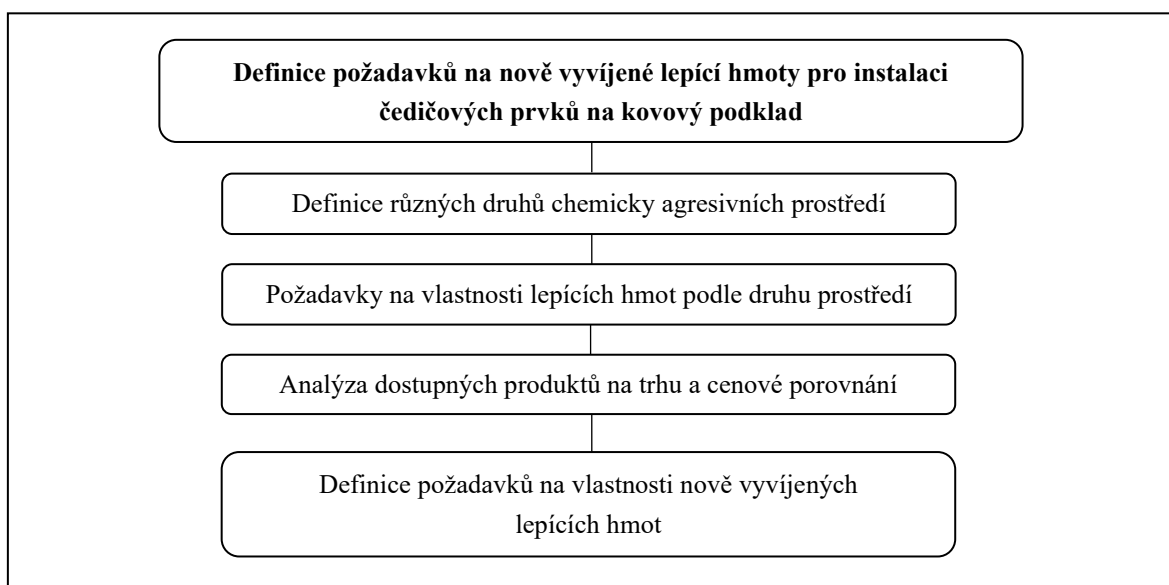
Hlavním cílem diplomové práce je vývoj a výzkum průmyslové lepicí hmoty určené k upevnování prvků z taveného čediče ke kovovým podkladům. Lepicí hmoty budou využívány krátkodobě v prostředí s vysokým chemickým namáháním za zvýšených teplotních podmínek.

Po nanesení a následném zatvrdnutí vyvinutého lepidla musí být zaručena soudržnost jak s kovovým podkladem, tak s taveným čedičem i v silném agresivním prostředí. Práce si klade za důraz ověřit možnosti využití druhotných surovin v podobě plniv, které by při současném zachování nebo zlepšení některých vlastností měly nahradit primární plnivo. Vzhledem k tomu, že se lepicí hmota v praxi vystavuje náročným expozičním podmínkám při uložení čedičových prvků, je zapotřebí, aby se svou odolností těmto prvkům co nejvíce přiblížila a splňovala požadované vlastnosti.

5 METODIKA PRÁCE

Experimentální část diplomové práce je rozdělena do 4 na sebe navazujících etap, které jsou znázorněny ve schématu.

5.1 Etapa I: Definice požadavků na nově vyvíjené lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad

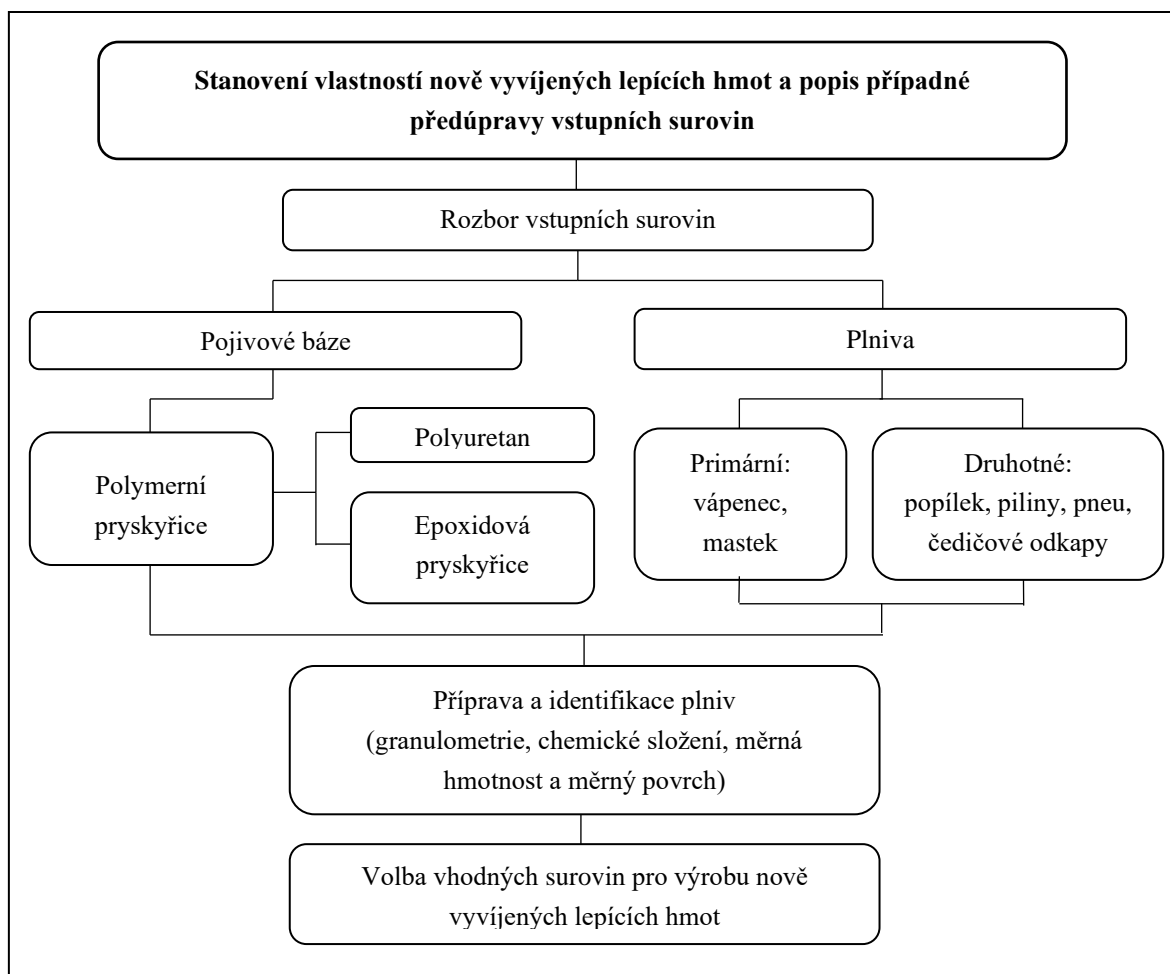


První etapa se věnuje nejprve identifikaci náročných expozičních podmínek, ve kterých se nově vyvíjené lepicí hmoty plánují aplikovat. V rámci provedené rešerše průmyslových lepidel dostupných na současném domácím a zahraničním trhu je kladen důraz zejména na lepidla se zvýšenou chemickou odolností.

Dále jsou zde formulovány požadavky na vlastnosti lepicích hmot pro nenasákové prvky aplikované v chemicky náročném prostředí, a také jsou zde specifikovány požadavky na funkční vlastnosti lepicích hmot a povrchů, na které se plánuje aplikace vyvinutých lepidel.

Je zde také provedeno srovnání v současnosti prodávaných lepicích hmot včetně jejich cenového porovnání.

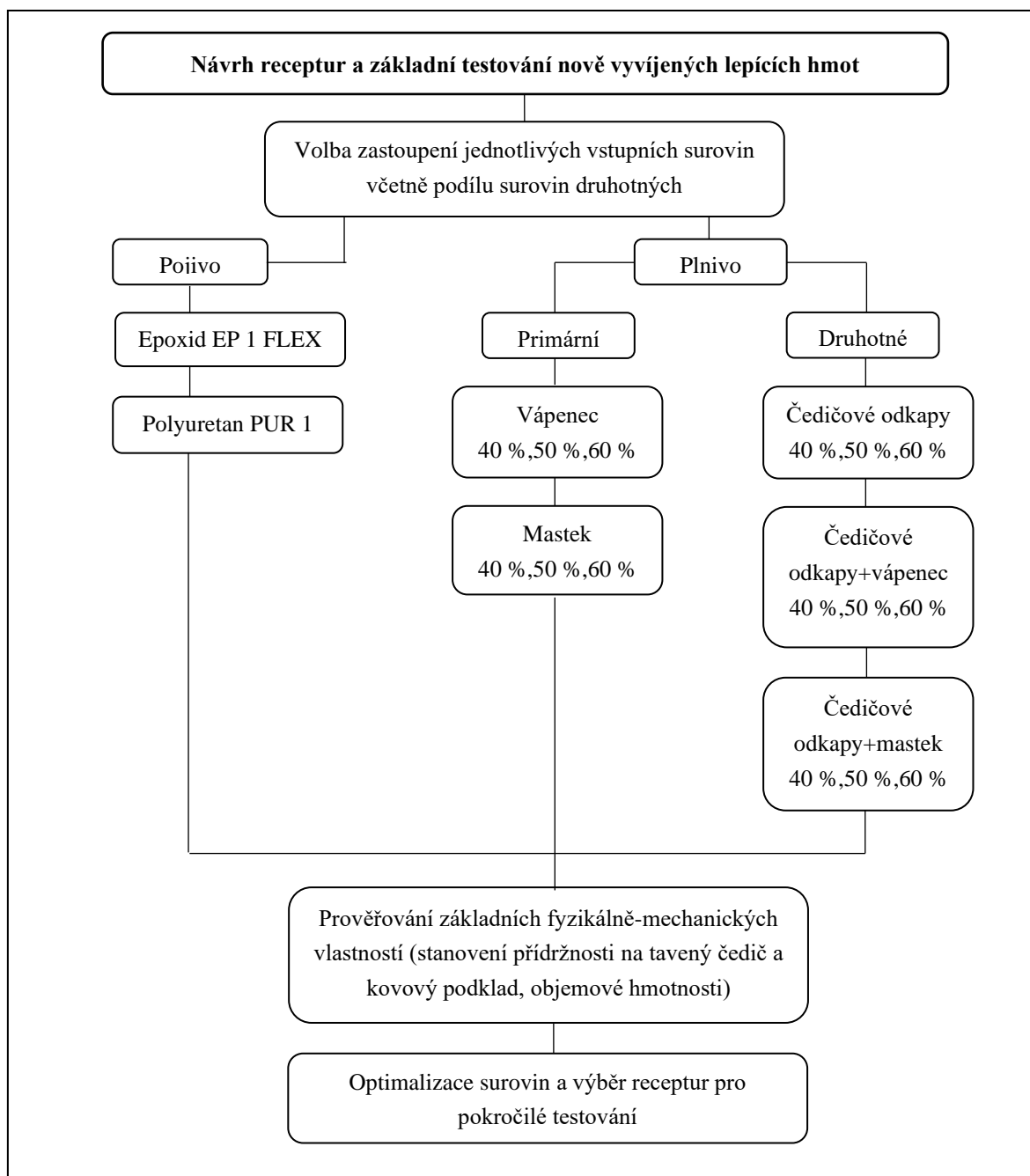
5.2 Etapa II: Stanovení vlastností nově vyvíjených lepicích hmot a popis případné předúpravy



Cílem druhé etapy je rozbor a výběr vhodných surovin pro přípravu nových lepicích hmot. Nejdříve je zde provedena analýza vhodných pojiv a plniv pro přípravu nových lepicích hmot, součástí bude stanovení jejich základních vlastností, mezi které patří granulometrie, chemické složení, měrná hmotnost a měrný povrch. Jako plniva jsou vybírány především odpadní materiály a druhotné suroviny představující vedlejší produkty z různých výrobních technologií.

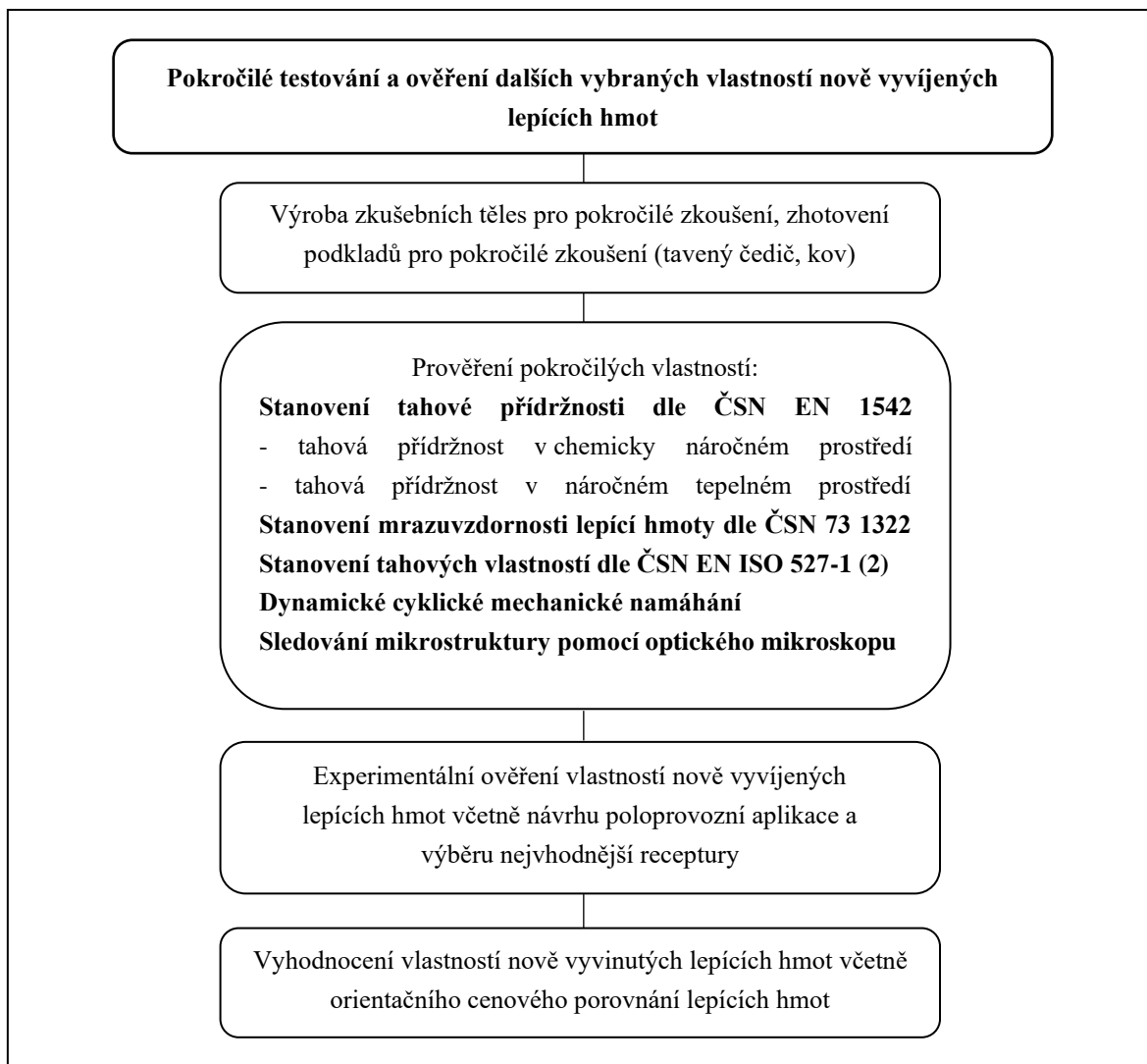
Některá plniva je zapotřebí před použitím do vyvíjených hmot nejprve vhodně předupravit na požadovanou granulometrii. Je zde zkoumána především možnost náhrady v současnosti využívaných primárních plniv vybranými vhodnými druhotnými surovinami.

5.3 Etapa III: Návrh receptur a základní testování nově vyvíjených lepicích hmot



Třetí etapa je zaměřena na návrh několik receptur nových lepicích hmot. Na základě získaných poznatků zpracovaných v teoretické části práce a předchozích etapách je proveden návrh vhodných vstupních surovin se zaměřením na možné využití druhotných surovin. Následně se připraví několik nových lepicích hmot dle navržených receptur s různými obsahy jednotlivých surovin. Dále jsou v této etapě prověřeny základní fyzikálně-mechanické vlastnosti nových lepicích hmot, mezi které patří stanovení přídržnosti a objemové hmotnosti, včetně výběru vhodných receptur pro pokročilé zkoušení.

5.4 Etapa IV: Pokročilé testování a ověření dalších vybraných vlastností nově vyvinutých lepicích hmot



Ve čtvrté etapě diplomové práce je provedeno laboratorní testování pokročilých parametrů nově vyvíjených lepicích hmot. V této etapě bude také vyhodnocena mikrostruktura zkoušených vzorků a provedena jejich poloprovozní aplikace. Na závěr je také provedeno podrobné zhodnocení dosažených výstupů a na základě dosažených výsledků vybrána nejvhodnější receptura pro výrobu lepicí hmoty včetně orientačního cenového porovnání lepicích hmot.

ŘEŠENÍ A VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH ETAP

6 Etapa I: Definice požadavků na nově vyvíjené lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad

První etapa se zabývá definicí požadavků na nově vyvíjené lepicích hmoty pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad. Dále jsou zde formulovány požadavky na vlastnosti lepicích hmot pro nenasákové prvky aplikované v chemicky náročném prostředí a také jsou zde specifikovány požadavky na funkční vlastnosti lepicích hmot a povrchů, na které se plánuje aplikace vyvinutých lepidel.

6.1 Definice různých druhů chemicky agresivních prostředí

Na lepicí hmotu působí během celé její životnosti několik různých druhů namáhání. V náročných expozičních podmínkách se jedná hlavně o:

- Působení chemických látek
- Tepelné namáhání
- Vliv vlhkosti
- Působení mrazu

6.1.1 Působení chemických látek

V průmyslových provozech, kde se vyskytují extrémní teploty nebo chemicky agresivní prostředí jsou lepicí hmoty vystavovány největší zátěži. Proto je nutné před aplikací zvolit vhodnou lepicí hmotu.

Proti působení chemických látek jsou obkládací prvky a dlažby velmi dobře uzpůsobené již z výroby. Před jejich aplikací je tedy nutné pouze zvolit vhodný typ lepicí hmoty podle druhu provozu, ve kterém mají být instalovány.

Pro instalaci čedičových prvků na kovový podklad jsou nejlépe uzpůsobené lepicí hmoty na polymerní bázi, konkrétně epoxidové pryskyřice a polyuretany, které odolávají alkáliím, ředěným anorganickým i organickým kyselinám. [4]

6.1.2 Tepelné namáhání

V případě působení zvýšené nebo snížené teploty vyjadřujeme hodnotu tepelného namáhání pomocí tzv. součinitele teplotní roztažnosti α [K^{-1}]. Teplotní roztažnost je jev, při kterém se po dodání/odebrání tepla tělesu (po zahřátí/ochlazení tělesa o určitou teplotu) změní délkové rozměry (objem) tělesa. Většina látek se při zahřívání rozpíná, což znamená, že jejich molekuly se pohybují rychleji a jejich rovnovážné polohy jsou dále od sebe. [40]

Působí-li zvýšená teplota, vzniká u vícevrstvé konstrukce, která se skládá z obkladu, lepicí hmoty a nosného podkladu, odlišný koeficient teplotní roztažnosti. Tento jev má za následek rozdílné teploty, které působí v jednotlivých vrstvách, a tím zapříčiňuje změnu koeficientu teplotní roztažnosti. Dále může nastat na styku vrstev smykové napětí a může dojít k porušení a oddělení obkladu od podkladu.

Z údajů dostupných ze zahraničních výzkumů vyplývá, že lepené spoje jsou velice náchylné na jakoukoliv změnu okolní teploty. V případě, že působí nízká či vysoká teplota včetně šokového působení, je negativním způsobem ovlivněna kvalita lepeného spoje. V případě volby lepicí hmoty z běžného sortimentu patří mezi nejodolnější epoxidová a polyuretanová lepidla. Jejich odolnost vůči vysokým teplotám se pohybuje v rozmezí 100 – 150 °C. [41]

6.1.3 Vliv vlhkosti

Působení vlhkosti může mít negativní vliv jak na lepicí hmotu, tak na jakýkoliv stavební materiál. Proti působení vody a vlhkosti jsou po vytvrzení velmi dobře odolná polyuretanová lepidla. Naopak nevytvrzený materiál je na vlhkost velmi citlivý, avšak pouze u silikátů. U vodou kompatibilních a vodou ředitelných hmot se vliv vlhkosti neprojeví. [10]

6.1.4 Působení mrazu

Zmraznutí vody v kapilárním systému lepicí hmoty je velmi důležitý faktor, který může negativně ovlivnit kvalitu mezi lepeným prvkem a podkladem. V případě zamrznutí vody dochází ke zvětšení objemu vody o 9 % a vzniká expanzní napětí, a to v závislosti na pórovitosti materiálu. Pokud se tyto zmrazovací cykly opakují, může nastat porušení lepeného spoje a úplná ztráta soudržnosti. Lepicí hmoty na polymerní bázi jsou po vytvrzení odolnější než silikátové lepicí hmoty. [4]

6.2 Požadavky na vlastnosti lepicích hmot podle druhu prostředí

V případě aplikace lepicí hmoty v chemicky, mechanicky či teplotně namáhaném prostředí se nedoporučuje použití standardních lepicích hmot v kategorii C1 a R1. V současnosti můžeme na trhu nalézt například typy v kategorii C2T a R2T, které jsou vhodné pro profesionální aplikaci v těch nejnáročnějších podmínkách. [5]

6.2.1 Cementová lepidla (C)

Cementová lepidla jsou určena pro lepení obkladů a dlažeb. Dostupný sortiment obsahuje materiály od běžných lepidel až po výrobky pro nejnáročnější aplikace. [42]

Tabulka 6: Požadavky na cementová lepidla (C) [42]

ZÁKLADNÍ POŽADAVKY PRO CEMENTOVÁ LEPIDLA		
1a	STANDARDNĚ TVRDNOUcí LEPIDLA	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Počáteční tahová přídržnost	$\geq 0,5$ MPa	8.2 z EN 1348:2007
Tahová přídržnost po ponoření do vody	$\geq 0,5$ MPa	8.3 z EN 1348:2007
Tahová přídržnost po tepelném stárnutí	$\geq 0,5$ MPa	8.4 z EN 1348:2007
Tahová přídržnost po zmrazovacích cyklech	$\geq 0,5$ MPa	8.5 z EN 1348:2007
Doba zavadnutí: tahová přídržnost	$\geq 0,5$ MPa ne méně než po 20 min	EN 1346
VOLITELNÉ CHARAKTERISTIKY		
1c	ZVLÁŠTNÍ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Skluz	$\leq 0,5$ mm	EN 1380
Prodloužená doba zavadnutí: tahová přídržnost	$\geq 0,5$ MPa ne méně než po 30 min	EN 1346
Deformovatelné lepidlo: průhyb	$\geq 2,5$ mm a < 5 mm	EN 12002
Vysoce deformovatelné lepidlo: průhyb	≥ 5 mm	EN 12002
1d	DOPLŇKOVÉ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Vysoká počáteční tahová přídržnost	≥ 1 MPa	8.2 z EN 1348:2007
Vysoká tahová přídržnost po ponoření do vody	≥ 1 MPa	8.3 z EN 1348:2007
Vysoká tahová přídržnost po tepelném stárnutí	≥ 1 MPa	8.4 z EN 1348:2007
Vysoká tahová přídržnost po zmrazovacích cyklech	≥ 1 MPa	8.5 z EN 1348:2007

6.2.2 Lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (R)

Lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (R) se vyznačují vysokou odolností v chemicky náročném prostředí i při působení zvýšených teplot. Při chemické odolnosti se neuvádí mezní hodnota ani chemické činidlo. [42]

Tabulka 7: Požadavky na lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (R) [42]

1a	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Počáteční smyková přídržnost	≥ 2 MPa	7.3 z EN 12003:2008
Smyková přídržnost po ponoření do vody	≥ 2 MPa	7.4 z EN 12003:2008
Doba zavadnutí: tahová přídržnost	$\geq 0,5$ MPa ne méně než po 20 min	EN 1346
VOLITELNÉ CHARAKTERISTIKY		
3b	ZVLÁŠTNÍ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Skluz	$\leq 0,5$ mm	EN 1380
3 c	DOPLŇKOVÉ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Smyková přídržnost po tepelném šoku	≥ 2 MPa	7.5 z EN 12003:2008

6.3 Analýza dostupných produktů na trhu a cenové porovnání

Na základě průzkumu českého trhu byl vypracován přehled o produktech, které patří do kategorie lepicích hmot (Tab.8 – 9).

V rámci výběru hmot byl kladen důraz na lepicí hmoty určené pro použití do chemicky náročného prostředí se zvýšenou tepelnou odolností.

Tabulka 8: Přehled lepicích hmot dostupných na českém trhu [4 – 6]

VÝROBCE	NÁZEV VÝROBKU	BÁZE	KLASIFIKACE
BASF	PCI FT® Klebermörtel	Polymercement	C2T
	PCI Collastic ®	Epoxid	R2T
CERESIT	CM 12 PLUS	Polymercement	C2TE
	CM 74 UltraPox Fix	Epoxid	R2T
IN-CHEMIE	IN-EPOX 4090 HG FLEX V2	Epoxid	R2T
	IN-EPOX 1290 FLEX	Epoxid	R2T
	IN-PUR 6022	Polyuretan	R2T
KNAUF	EASYKLEBER – C	Polymercement	C2TE
LB CEMIX	FORTE PLUS	Polymercement	C2T
MAPEI	Adesilex P7	Polymercement	C2T
	Keraproxy Adhesive	Epoxid	R2T
	Keralastic T	Polyuretan	R2T
MUREXIN	Flex Trass KTF 55	Polymercement	C2T
	EKY 91	Epoxid	R2T
SAKRET CZ	FK extra	Polymercement	C2T
	EPK-F	Epoxid	R2T
SCHÖNOX	SCHÖNOX Q2	Polymercement	C2TE
	SCHÖNOX KR	Epoxid	R2T
STACHEMA CZ	CHEMA LEP EXTRA	Polymercement	C2T
REDROCK CONSTRUCTIONS	Eufix S	Polymercement	C2T
	Eufix EP	Epoxid	R2T
SAINT-GOBAIN CONSTRUCTIONS PRODUCTS	Weberfor fix	Polymercement	C2T
	Weberpox easy	Epoxid	R2T

Z uvedené tabulky je patrné, že největší zastoupení lepidel na českém trhu mají lepidla polymercementová. V dnešní době ale firmy většinou nabízejí jak polymercementová tak epoxidová lepidla. Firma IN–CHEMIE a firma MAPEI navíc mají ve svém produktovém listu také lepidla na bázi polyuretanu.

Tabulka 9: Cenové porovnání lepicích hmot dostupných na českém trhu v roce 2019

VÝROBCE	NÁZEV VÝROBKU	BÁZE	ORIENT. SPOTŘEBA [kg/m ²]	MNOŽ. V BALENÍ [kg]	CENA BALENÍ [Kč bez DPH]	CENA 1 kg [Kč bez DPH]
BASF	PCI FT® Klebermörte 1	Polymercement	2,0 – 3,6	25	597	24
	PCI Collastic®	Epoxid	1,8 – 4,2	3	1 836	612
CERESIT	CM 12 PLUS	Polymercement	2,6	25	290	12
	CM 74 UltraPox Fix	Epoxid	2,8	8	1 992	249
KNAUF	EASYKLEB ER – C	Polymercement	2,2	25	288	9
LB CEMIX	FORTE PLUS	Polymercement	3,0 – 4,0	25	305	12
MAPEI	Adesilex P7	Polymercement	2,5 – 3,0	25	230	9
	Keraproxy Adhesive	Epoxid	1,5	10	2 190	219
	Keralastic T	Polyuretan	2,5	10	2 000	200
MUREXIN	Flex Trass KTF 55	Polymercement	3,0	25	608	24
	EKY 91	Epoxid	2,9	6	2 004	334
SAKRET CZ	FK extra	Polymercement	2,4 – 4,4	25	344	14
	EPK-F	Epoxid	1,6 – 3,8	5	1 520	304
SCHÖNOX	SCHÖNOX Q2	Polymercement	2,4 – 3,4	25	363	15
	SCHÖNOX KR	Epoxid	3,2 – 3,8	5	1 565	313
STACHEMA CZ	CHEMA LEP EXTRA	Polymercement	3,1	25	275	11
REDROCK	Eufix S	Polymercement	4,2	25	563	23
	Eufix EP	Epoxid	1,7	30	3 600	120
SAINT- GOBAIN	Weberfor fix	Polymercement	4,0	25	300	12
	Weberpox easy	Epoxid	4,0	4,5	1 211	269

Z výše uvedených údajů v Tab.9 můžeme říct, že cena epoxidových a polyuretanových lepidel několikanásobně převyšuje cenu polymercementových lepidel, která jsou na trhu nejlevnější.

6.4 Shrnutí etapy I

Cílem první etapy byl podrobný popis náročných expozičních podmínek, ve kterých se nově vyvíjené lepicí hmoty plánují aplikovat. Součástí bylo i podrobné stanovení vlastností těchto lepicích hmot.

Základním požadavkem pro tyto vyvíjené lepicí hmoty je přídržnost, která by ve všech případech měla vykazovat hodnotu minimálně 2,0 MPa.

Dále byla provedena rešerše lepicích hmot dostupných na českém trhu se zaměřením na lepicí hmoty pro chemicky náročné prostředí, mezi které patří především epoxidová a polyuretanová lepidla. Bylo zjištěno, že největší zastoupení lepidel na českém trhu mají lepidla polymercementová.

V závěru etapy bylo provedeno cenové porovnání lepicích hmot, z něhož je patrné, že cena epoxidových a polyuretanových lepidel několikanásobně převyšuje cenu polymercementových lepidel. Znamená to, že nejlevnější na trhu jsou tedy lepidla polymercementová.

Vzhledem k faktu, že se nově vyvíjené lepicí hmoty plánují aplikovat v chemicky náročném prostředí se zvýšenou tepelnou náročností, doporučuje se použití epoxidových nebo polyuretanových lepidel.

7 Etapa II: Stanovení vlastností nově vyvíjených lepících hmot a popis případné předúpravy vstupních surovin

Druhá etapa se zabývá stanovením vlastností nově vyvíjených lepících hmot a popisem případné předúpravy vstupních surovin.

7.1 Rozbor vstupních surovin

Před samotným návrhem zkoušené receptury je zapotřebí věnovat pozornost jednotlivým složkám, které jsou do lepící hmoty zamíchány. V případě negativních vlastností některé složky mohou být negativně ovlivněny důležité parametry výsledné hmoty.

7.1.1 Pojivové báze

Na základě poznatků získaných v etapě I a vzhledem k faktu, že se nově vyvíjené lepící hmoty plánují aplikovat v chemicky náročném prostředí se zvýšenou tepelnou náročností, bylo použito epoxidové nebo polyuretanové lepidlo.

7.1.1.1 Epoxidové lepidlo

Pro účely testování je použito dvousložkové epoxidové lepidlo, které se na základě svých vlastností doporučuje od výrobce pro použití v těch nejnáročnějších podmínkách, kde se vyskytuje chemické namáhání a zvýšená teplota.

Toto epoxidové lepidlo neobsahuje nonylfenol a rozpouštědla, přičemž se vyznačuje nízkou tendencí ke žloutnutí. Lepidlo vykazuje pouze slabý zápach a snadno se odvdzušňuje. Dále se toto lepidlo vyznačuje nízkou viskozitou a vysoce estetickým a odolným povrchem s transparentní barvou. Tato lepidla lze dlouho skladovat. Spotřeba se udává zhruba 2,0 – 3,0 kg/m². Poměr mísení složky A (epoxidová pryskyřice) : B (tvrdidlo) je dle výrobce stanoven 2,3:1.

7.1.1.2 Polyuretanové lepidlo

Pro účely testování je dále použito dvousložkové polyuretanové lepidlo, které se na základě svých vlastností doporučuje od výrobce pro použití v těch nejnáročnějších podmínkách, kde se vyskytují chemikálie a zvýšená teplota.

Polyuretanové lepidlo se vyznačuje dlouhou zpracovatelností, při použití nekystalizuje a nesedimentuje. Je zcela UV stabilní, neobsahuje ředidla a vykazuje pouze slabý zápach. Tato lepidla lze dlouho skladovat. Vyznačuje se skvělými chemickými a mechanickými vlastnostmi. Dále se toto lepidlo vyznačuje estetickým a odolným povrchem. Spotřeba se udává zhruba 2,5 – 3,5 kg/m². Poměr mísení složky A (polyuretanová pryskyřice) : B (iniciátor) je dle výrobce stanoven 2:1.

7.1.2 Primární plniva

Pro vývoj lepících hmot do chemicky náročného prostředí se zvýšenou teplotou je vhodné použití mikroplniv, která mají vysoký měrný povrch, dobře odolávají agresivním látkám a vykazují optimální tvrdost. V rámci experimentálního vývoje byly jako primární plniva aplikovány vápenec a mastek, jejichž bližší identifikace je uvedena níže.

7.1.2.1 Vápenec

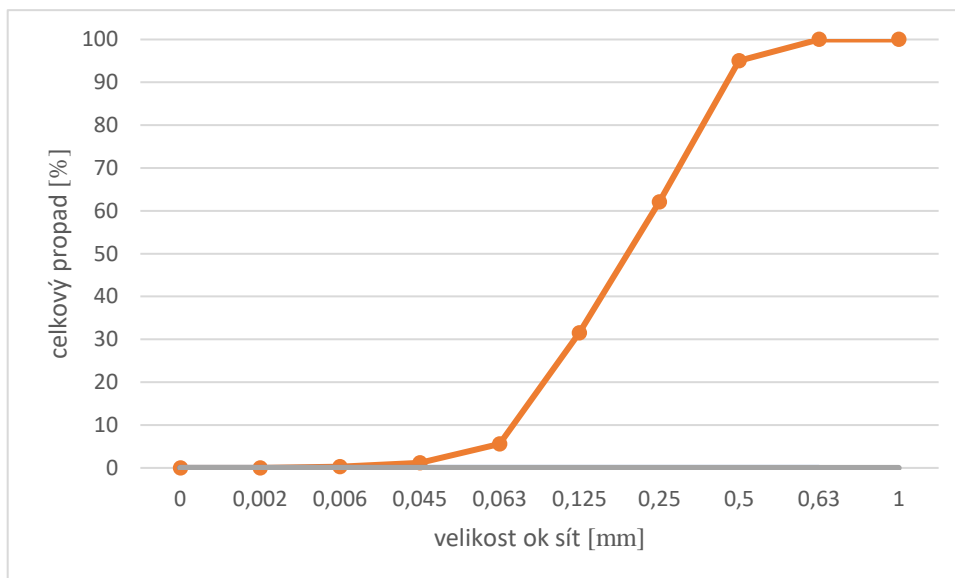
Vápenec je sedimentární hornina, která vznikala po miliony let na dně moře, a to buď biochemicky nebo biomechanicky. Biochemicky vzniklé vápence jsou vápence, které byly vytvořeny biochemickými procesy organismů, například korálové útesy. Biomechanicky vzniklé vápence vznikají nahromaděním skořápek a ulit měkkýšů, které se ukládají do vrstev. Když vrstvy sílí, zvyšuje se tlak a tím se ze sedimentu stává vápenec. Vápence se používají k výrobě páleného vápna, cementu, drceného kameniva a pro další účely. Dále je jejich využití při výrobě celulózy, v hutní výrobě, při odsiřování a v cukrovarech.

V České republice se vápenec vyskytuje v Českém a Moravském Krasu, v Čížkovicích, Prachovicích, Štramberku, na Olomoucku a Prostějovsku a dalších lokalitách. Ve světě se vyskytuje například v Chorvatsku, Slovinsku, Francii, Velké Británii, Polsku, Rumunsku a jiných zemích. [27]

Pro experimentální část této práce byl použit jemně mletý vápenec VMV 15–F od firmy LB Cemix, s.r.o.

Tabulka 10: Základní charakteristiky použitého vápence VMV 15–F

Základní charakteristiky	
Sypná hmotnost volně sypaná	900 kg/m ³
Sypná hmotnost v setřeseném stavu	1 050 kg/m ³
Měrná hmotnost	2,78 g/cm ³
Měrný povrch	5 530 cm ² /g
Předúprava	nevyžaduje se



Graf 1: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru – vápenec VMV 15-F

Tabulka 11: Chemické složení vápence [%]

CaCO_3	MgCO_3	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	SO_3
99,1	0,35	0,20	0,15	0,02	0,01	0,07



Obrázek 19: Vápenec použitý jako primární plnivo do lepicích hmot

7.1.2.2 Mastek

Mastek je přírodní minerál, který vzniká hydrotermálními pochody. Mastek je chemicky velmi odolný a žáruvzdorný.

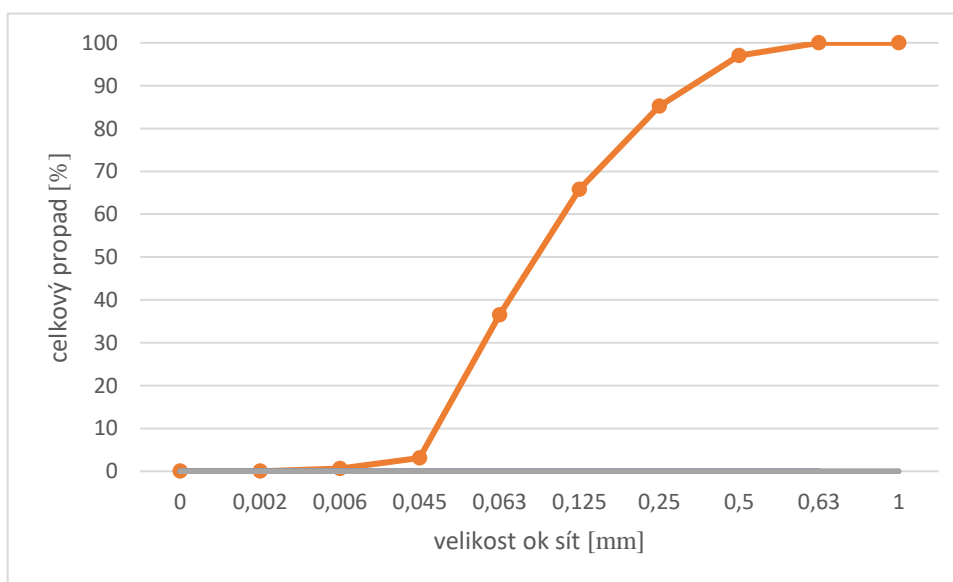
V České republice se nachází pouze vzácně, a to v okolí Sobotína v Hrubém Jeseníku. V Evropě je možné jej získat na Slovensku, kde se nacházejí velká ložiska Hnúšť'a, Kokava a Gemerská Poloma, dále pak v Tyrolsku, Sasku a Turecku. Ve světě jsou naleziště například v Číně, USA, Kanadě a Rusku.

Mastek se vyznačuje nízkou tvrdostí, na stupnici má tvrdost 1 a jeho hustota činí 2,58 – 2,83 g/cm³. Může mít bílou, světle zelenou až tmavozelenou barvu, nažloutlou nebo tmavomodrou barvu. [25], [27]

Pro experimentální část této práce byl použit jemně mletý mastek od firmy IMIFABI S.p.A.

Tabulka 12: Základní charakteristiky použitého mastku IMIFABI

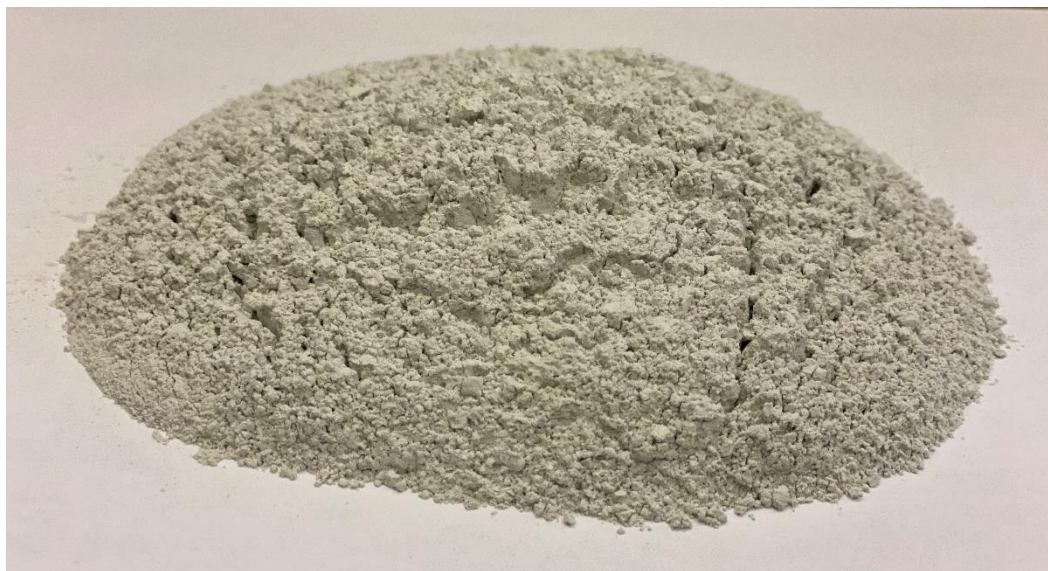
Základní charakteristiky	
Sypná hmotnost volně sypaná	880 kg/m ³
Sypná hmotnost v setřeseném stavu	1 000 kg/m ³
Měrná hmotnost	2,98 g/cm ³
Měrný povrch	6 400 cm ² /g
Předúprava	nevyžaduje se



Graf 2: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru-mastek IMIFABI

Tabulka 13: Chemické složení mastku [%]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
31,6	2,25	8,00	5,58	26,2	0,02	0,07



Obrázek 20: Mastek jako primární plnivo do lepicích hmot

7.1.3 Druhotné suroviny

V současné době, kdy je velký zájem výrobců o snížení nákladů na primární suroviny, jsou ve velkém množství používány druhotné suroviny.

7.1.3.1 Popílek (KP-OPAT)

Popílek jako druhotná surovina vzniká při spalování uhlí v uhelných elektrárnách. Chemické složení popílků vzniklých při spalování černého i hnědého uhlí zahrnuje zhruba 50 % SiO₂, 25 – 30 % Al₂O₃ a 3 – 8 % FeO.

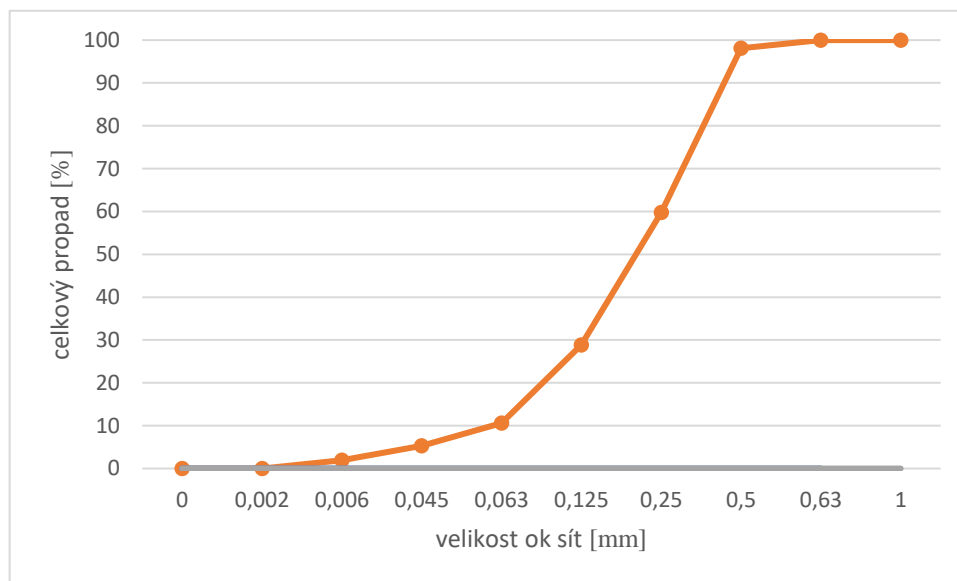
Negativní vlastností popílku je, že ovlivňuje barvu hmoty, do které je zakomponován, a také nemá stálé chemické složení. Dále jej ve výrobě není možné barvit, a proto jej používáme pouze v případech, není-li kladen důraz na estetické vlastnosti.

Popílek pro experimentální účely byl dodán tepelnou elektrárnou Elektrárny Opatovice a.s. se sídlem v Opatovicích nad Labem. Jedná se o vysokoteplotní popílek (KP-OPAT) negativně ovlivněn denitrifikací spalin, konkrétně selektivní nekatalytickou redukcí spalin (SNCR).

Elektrárny Opatovice a.s. produkuje ročně přibližně 260 000 tun tohoto popílku. Z expedičních sil o objemu 1 700 tun lze odebrat až 180 tun za hodinu, což odpovídá 6-ti autocisternám. [43]

Tabulka 14: Základní charakteristiky použitého popílku KP-OPAT

Základní charakteristiky	
Sypná hmotnost volně sypaná	850 kg/m ³
Sypná hmotnost v setřeseném stavu	940 kg/m ³
Měrná hmotnost	2,11 g/cm ³
Měrný povrch	1 600 cm ² /g
Předúprava	nevyžaduje se



Graf 3: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru-popílek KP-OPAT

Tabulka 15: Chemické složení popílku [%]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
52,5	26,5	6,05	0,05	1,38	0,94	1,69	0,32	0,12



Obrázek 21: Vysokoteplotní popílek použitý jako plnivo do vyvíjených lepicích hmot

7.1.3.2 Piliny

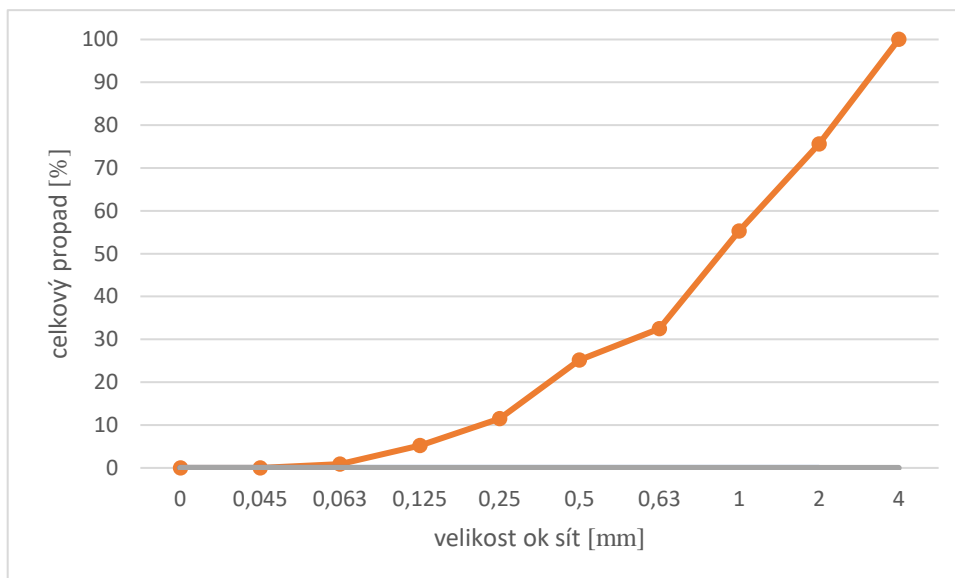
Dřevo má ve stavebnictví již dlouhou tradici. Doposud se používalo jako samostatný konstrukční prvek, poté se začala objevovat kombinace dřevěné biomasy a cementu, která slouží při budování příček nebo izolací (u nás nejčastěji známé pod názvem Heraklit). Podle dostupných zdrojů se švýcarská firma se rozhodla otestovat vlastnosti dřevěného betonu jako nosné konstrukce. A minimálně na úrovni dočasných a nouzových staveb se setkává s úspěchem. Prakticky jediný rozdíl je v tom, že místo šterku obsahuje najemno semleté části dřeva. Tyto mikroskopické piliny v zapojení s betonem ale vytváří překvapivě silnou a odolnou strukturu. [44]

Výsledkem je hybridní stavební prvek, který má vynikající mechanickou odolnost a současně minimální hořlavost. Z kombinace s betonem si tedy dřevo vzalo právě ty vlastnosti, ve kterých dosud z hlediska stavebního využití poněkud selhávalo. Deska dřevo-beton váží o polovinu méně, než srovnatelný betonový blok (dřevěná frakce dosahuje až 50 %). Podstatné přitom je, že dřevo pochází z odpadního materiálu, a současně je obnovitelným zdrojem. Výrazně se tak zlepšuje bilance celého produktu, a snižuje se negativní působení betonu na životní prostředí. Hybridní dřevo–betonové desky se také dají snáze recyklovat. [44]

Piliny z řezání a broušení jehličnatých dřevin pro experimentální účely byly dodány firmou PILA BELCREDI Líšeň, s.r.o. se sídlem v Brně – Líšni. PILA BELCREDI Líšeň, s.r.o. produkuje ročně přibližně jednotky tun těchto pilin, které následně dodává do zemědělství nebo pro účely vytápění. [45]

Tabulka 16: Základní charakteristiky použitých pilin

Základní charakteristiky	
Sypná hmotnost volně sypaná	450 kg/m ³
Sypná hmotnost v setřeseném stavu	550 kg/m ³
Měrná hmotnost	1,66 g/cm ³
Měrný povrch	/
Předúprava	nevyžaduje se



Graf 4: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru piliny

Tabulka 17: Chemické složení pilin [%]

Celulóza	Hemicelulóza	Lignin	Popel
48	27	14	1,1



Obrázek 22: Piliny použité jako plnivo do vyvijených lepicích hmot

7.1.3.3 Drcené pneumatiky

Ročně se v České republice vyprodukuje kolem 70 000 tun starých nepotřebných pneumatik, které nemají již další využití. Podle § 38 zákona o odpadech a o změně některých dalších zákonů č. 185/2001 Sb., v aktuálním znění podléhají odpadní pneumatiky zpětnému odběru, avšak ne vždy je s nimi nakládáno správně. Pneumatiky se však dají velmi účinně recyklovat či dále využívat a nebýt tak zátěží a nebezpečím pro životní prostředí. [46]

- **Zpětný odběr pneumatik**

Pneumatiky podléhají tzv. zpětnému odběru některých výrobků (§ 38 zákona o odpadech č. 185/2001 Sb.). Producenti pneumatik (Barum, Pirelli, Michelin a další) včetně smluvních partnerů provádějí zpětný odběr pneumatik zdarma. Dále můžeme pneumatiky odevzdat ve sběrných místech pneuservisů a autoservisů, které gumy vyměňují.

- **Protektorování**

Proces protektorování pneumatik je založen na úpravě pneumatik tak, aby se daly i nadále využívat. Jedná se o ekologické řešení, avšak protektorovat se nedá do nekonečna. Výsledkem protektorování je tzv. protektor (renovovaná pneumatika). Protektorování spočívá v několika základních krocích – zběžná kontrola stavu pneumatiky, odstranění starého dezénu, nanesení spojovacího roztoku a nového neztvrdělého kaučuku, následuje výlis nového dezénu a odstranění přetoků z lisování.

- **Energetické využití**

Spalování pneumatik je převažující proces při likvidaci pneumatik. Nejčastěji se pneumatiky používají jako palivo v cementárnách, obsažená síra a železo jsou použity při výrobě cementu. Při procesu spalování však vzniká široká škála nejrůznějších zplodin a ty musejí být účinně zachytávány a redukovány.

- **Pyrolýza**

Pneumatiky můžeme podrobit pyrolytickému štěpení (za nepřístupu kyslíku) pro výrobu elektrické energie

- **Recyklace**

Recyklace pneumatik je problematická hlavně z toho důvodu, že se skládají nejen z pryže, ale také z ocelových drátů, tkanin a dalších příměsí. Při recyklačním procesu je tedy nutné tyto součásti důkladně oddělit za účelem získání co možná nejčistšího gumového granulátu. Recyklace začíná procesem vytrídění pneumatik na pneumatiky osobních automobilů a nákladních. Pneumatiky jsou následně rozdrceny na menší kusy o velikosti zhruba 20×20 cm, jedná se o tzv. chipsy. Takto upravené kusy pneumatik mohou být recyklovány. Rozlišujeme dva základní recyklační procesy – kryogenní drcení a mechanické drcení.

→**Kryogenní drcení**

Chipsy jsou zmrazeny kapalným dusíkem na teplotu okolo ($-80\text{ }^{\circ}\text{C}$) a jsou tak velmi křehké, tudíž vhodné pro drcení. Drtí se v drtičce na různě velké frakce, kdy zároveň dochází k uvolňování textilu a oceli (ty jsou okamžitě odstraňovány). Drť je v poslední fázi oddělována na sítích.

→**Mechanické drcení**

Stejně jako u kryogenního procesu vstupují do mechanického drcení chipsy. Ty dále putují do granulátoru, kde jsou drceny na přibližně centimetrové granule. Dochází přitom k uvolňování textilu a ocelových drátů. Ocelové dráty se separují pomocí magnetických separátorů, textil se odlučuje pomocí sít a pneumatického odsávání. Tento proces drcení a třídění textilu a oceli se několikrát opakuje, dokud není dosaženo požadované čistoty granulátu a velikosti částic.

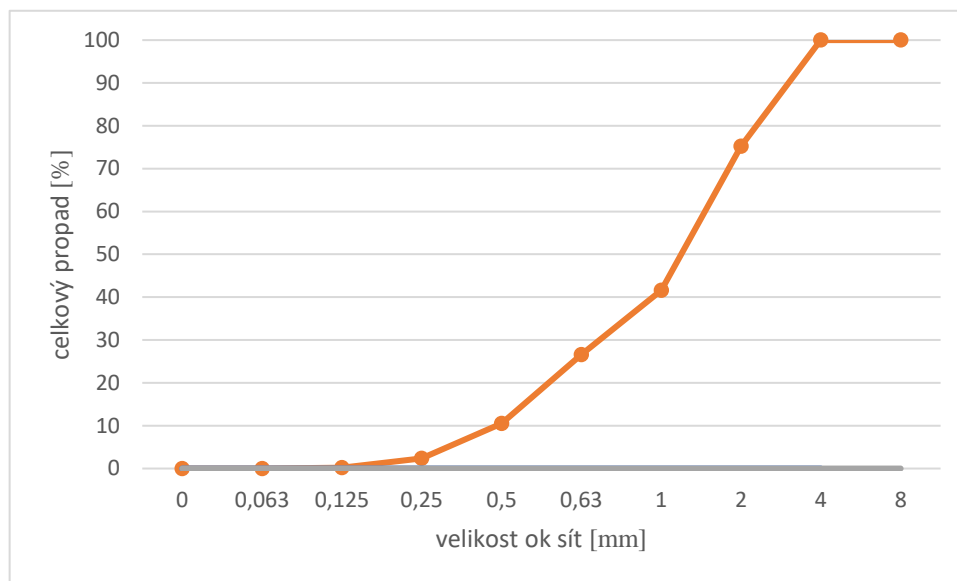
- **Alternativní využití pneumatik**

Poměrně novou technologií je získávání aktivního gumového prachu z pryžových odpadů. Tento prach se využívá při výrobě např. gumových kobereců, těsnění atd. Není přitom potřeba žádných aditiv, hotové výrobky vznikají za použití tepla a tlaku. Nadrcený granulát rovněž slouží jako podkladová vrstva ve stavebnictví. Pneumatiky rovněž můžeme použít k různým dekorativním účelům, výrobě alternativního nábytku a dalším účelům. [46]

Obrus z nákladních pneumatik, s vyseparovanými kovovými vlákny pro experimentální účely, byl dodán firmou TASY s.r.o. se sídlem v obci Mokrá-Horákov. Firma TASY s.r.o. produkuje ročně přibližně tisíce tun těchto pneumatik, které následně sama zpracovává na drtící lince a dále nabízí k prodeji jako granulát požadované frakce či pouze jako obrus bez určení frakce.

Tabulka 18: Základní charakteristiky použitého obrusu z pneumatik

Základní charakteristiky	
Sypná hmotnost volně sypaná	600 kg/m ³
Sypná hmotnost v setřeseném stavu	850 kg/m ³
Měrná hmotnost	1,18 g/cm ³
Měrný povrch	440 cm ² /g
Předúprava	ano



Graf 5: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru – obrus z pneumatik Tasy s.r.o.

Tabulka 19: Chemické složení obrusu z pneumatik dle akreditované laboratoře ALS CZECH REPUBLIC [%]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	S	C	SO ₄	SO ₃
3,28	0,12	0,07	0,18	0,12	57,0	0,34	0,30



Obrázek 23: Obrus z pneumatik frakce 1 – 10 mm použitý jako plnivo do vyvíjených lepících hmot

7.1.3.4 Čedičové odkapy

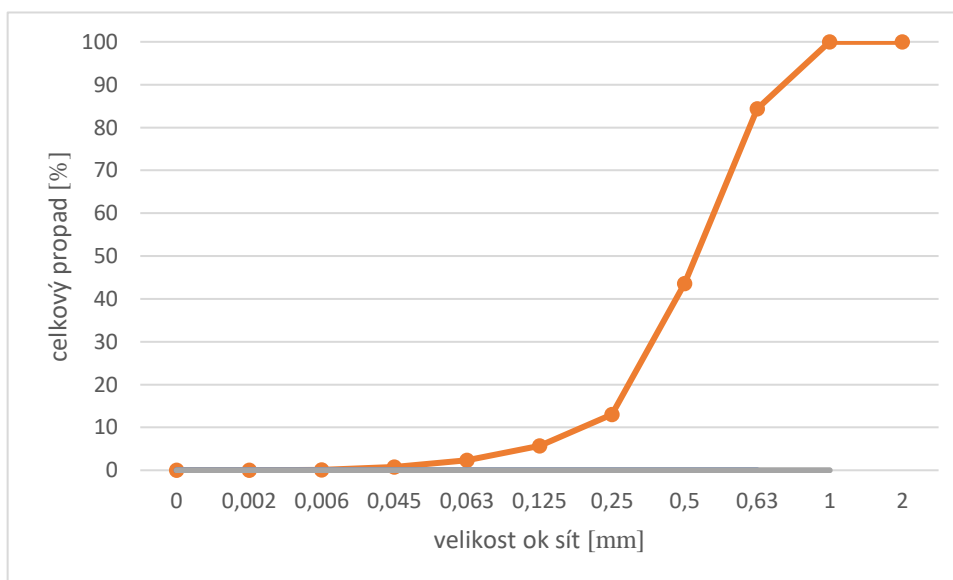
Čedičové odkapy vznikají jako vedlejší produkt při tavení čediče. Tavenina kusového čediče probíhá v šachtových pecích při teplotě 1 250 – 1 300 °C. Tavení trvá velmi krátce (asi 1 hodinu). Po roztavení putuje tavenina do homogenizačního bubnu, kde se mírně ochladí. K odlévání dochází při teplotě 1 160 – 1 200 °C. Dále se čedič chladí v tunelové peci.

Čedičové odkapy jsou tedy zbytky čedičové taveniny, která neprošla krystalizací v chladicí tunelové peci. Tyto odkapy jsou při výrobě odváděny mimo pec, kde jsou prudce ochlazeny ve vodní lázni a odvezené na skládku. [51]

Předúprava čedičových odkapů pro experimentální část byla provedena ve vibračním mlýně, kde došlo k rozemletí těchto odkapů dodaných z výroby na frakci, která je znázorněna v křivce zrnitosti.

Tabulka 20: základní charakteristiky použitých čedičových odkapů

Základní charakteristiky	
Sypná hmotnost volně sypaná	2 950 kg/m ³
Sypná hmotnost v setřeseném stavu	3 710 kg/m ³
Měrná hmotnost	2,90 g/m ³
Měrný povrch	500 cm ² /g
Předúprava	ano



Graf 6: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru – čedičové odkapy z výroby

Tabulka 21: Chemické složení čedičových odkapů [%]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	TiO ₂
45,4	10,8	11,6	9,85	9,39	1,08	0,273	2,74	2,63



Obrázek 24: Pomleté čedičové odkapy použité jako plnivo do vyvíjených lepicích hmot

7.2 Shrnutí etapy II

Cílem etapy II byl rozbor a výběr vhodných surovin pro přípravu nových lepicích hmot pro použití v chemicky náročném prostředí se zvýšenou teplotou.

Na základě poznatků vyplývajících z etapy I zde byla analyzována pojiva na bázi epoxidových pryskyřic a polyuretanu, které jsou vhodné pro náročné provozy, kde se lepidla plánují aplikovat.

Tato etapa dále zkoumala možnost nahrazení primárních plniv druhotnými surovinami. Pro další laboratorní testování byly z druhotných surovin zvoleny zejména čedičové odkapy, které se svými vlastnostmi nejvíce podobají vlastnostem taveného čediče. Čedičové odkapy je zapotřebí před použitím do lepicích hmot předupravit, avšak dají se velmi dobře rozemlít v různých typech mlýnů a drtičů na požadovanou frakci.

Dále byly pro laboratorní testování zvoleny druhotné suroviny: piliny, obrus z pneumatik a vysokoteplotní popílek.

V závěru etapy byly všechny vybrané vstupní suroviny podrobeny zkoumáním základních fyzikálních vlastností, mezi které patří sypaná hmotnost volně sypaná, sypaná hmotnost setřesená, měrná hmotnost, měrný povrch, a především stanovení křivky zrnitosti.

8 Etapa III: Návrh receptur a základní testování nově vyvíjených lepicích hmot

Etapa III je zaměřena na návrh několik receptur nových lepicích hmot. Na základě získaných poznatků zpracovaných v teoretické části práce a předchozích etapách je proveden návrh vhodného procentuálního zastoupení vybraných vstupních surovin se zaměřením na možné využití druhotných surovin.

8.1 Návrh receptur jednotlivých směsí

V rámci základního testování nově vyvíjených lepicích hmot byla použita pojiva na bázi epoxidové pryskyřice (EP) a polyuretanové pryskyřice (PUR), která jsou svými vlastnostmi nejvhodnější v chemicky náročném prostředí se zvýšenou teplotou. Jako primární plniva pro lepicí hmoty byly vybrány vápenec a mastek. Procentuální zastoupení jednotlivých složek je stanoveno níže v Tab.22 – 37.

Tabulka 22: Receptura z primárních surovin–epoxid EP 1 FLEX–vápenec

RECEPTURA Z PRIMÁRNÍCH SUROVIN–EPOXID EP 1 FLEX			
Složka	Obsah [%]		
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8	27,9
B (tvrdidlo)	18,2	15,2	12,1
Vápenec	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 23: Receptura z primárních surovin–epoxid EP 1 FLEX–mastek

RECEPTURA Z PRIMÁRNÍCH SUROVIN–EPOXID EP 1 FLEX			
Složka	Obsah [%]		
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8	27,9
B (tvrdidlo)	18,2	15,2	12,1
Mastek	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 24: Receptura z primárních surovin–polyuretan PUR 1–vápenec

RECEPTURA Z PRIMÁRNÍCH SUROVIN–POLYURETAN PUR 1			
Složka	Obsah [%]		
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3	26,7
B (iniciátor)	20,0	16,7	13,3
Vápenec	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 25: Receptura z primárních surovin–polyuretan PUR 1–mastek

RECEPTURA Z PRIMÁRNÍCH SUROVIN–POLYURETAN PUR 1			
Složka	Obsah [%]		
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3	26,7
B (iniciátor)	20,0	16,7	13,3
Mastek	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Na základě poznatků z etapy II., která zkoumala možnost nahrazení primárních plniv druhotnými surovinami, byly vybrány pro další laboratorní testování čedičové odkapy, piliny, obrus z pneumatik a vysokoteplotní popílek jako vhodné druhotné suroviny. Čedičové odkapy jsou nadále použity samostatně nebo v kombinaci s primárními surovinami, kde se postupně zvyšuje obsah druhotné suroviny, zatímco obsah primární suroviny se snižuje. Je zkoumána možnost úplného nahrazení primární suroviny druhotnou surovinou.

Tabulka 26: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EPI FLEX–čedičové odkapy

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–EPOXID EP 1 FLEX			
Složka	Obsah [%]		
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8	27,9
B (tvrdidlo)	18,2	15,2	12,1
Čedičové odkapy	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 27: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EPI FLEX–čedičové odkapy +vápenec

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–EPOXID EP 1 FLEX			
Složka	Obsah [%]		
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8	27,9
B (tvrdidlo)	18,2	15,2	12,1
Čedičové odkapy	24,0	30,0	36,0
Vápenec	16,0	20,0	24,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 28: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–čedičové odkapy +mastek

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–EPOXID EP 1 FLEX			
Složka	Obsah [%]		
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8	27,9
B (tvrdidlo)	18,2	15,2	12,1
Čedičové odkapy	24,0	30,0	36,0
Mastek	16,0	20,0	24,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 29: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–piliny

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–EPOXID EP 1 FLEX			
Složka	Obsah [%]		
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8	27,9
B (tvrdidlo)	18,2	15,2	12,1
Piliny	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 30: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–obrus z pneumatik

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–EPOXID EP 1 FLEX			
Složka	Obsah [%]		
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8	27,9
B (tvrdidlo)	18,2	15,2	12,1
Obrus z pneumatik	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 31: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–popílek

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–EPOXID EP 1 FLEX			
Složka	Obsah [%]		
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8	27,9
B (tvrdidlo)	18,2	15,2	12,1
Popílek	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 32: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–čedičové odkapy

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–POLYURETAN PUR 1			
Složka	Obsah [%]		
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3	26,7
B (iniciátor)	20,0	16,7	13,3
Čedičové odkapy	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 33: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–čedičové odkapy +vápenec

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–POLYURETAN PUR 1			
Složka	Obsah [%]		
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3	26,7
B (iniciátor)	20,0	16,7	13,3
Čedičové odkapy	24,0	30,0	36,0
Vápenec	16,0	20,0	24,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 34: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–čedičové odkapy +mastek

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–POLYURETAN PUR 1			
Složka	Obsah [%]		
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3	26,7
B (iniciátor)	20,0	16,7	13,3
Čedičové odkapy	24,0	30,0	36,0
Mastek	16,0	20,0	24,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 35: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–piliny

RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–POLYURETAN PUR 1			
Složka	Obsah [%]		
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3	26,7
B (iniciátor)	20,0	16,7	13,3
Piliny	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 36: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–obrus z pneumatik

RECEPTURA LEPÍCÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–POLYURETAN PUR 1			
Složka	Obsah [%]		
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3	26,7
B (iniciátor)	20,0	16,7	13,3
Obrus z pneumatik	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

Tabulka 37: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–popílek

RECEPTURA LEPÍCÍ HMOTY S OBSAHEM DRUHOTNÉ SUROVINY–POLYURETAN PUR 1			
Složka	Obsah [%]		
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3	26,7
B (iniciátor)	20,0	16,7	13,3
Popílek	40,0	50,0	60,0
Σ	100,0	100,0	100,0

8.2 Prověřování základních fyzikálně-mechanických vlastností lepících hmot

V rámci prověřování základních fyzikálně-mechanických vlastností, které jsou nezbytně nutné pro stanovení nejdůležitějších vlastností charakteristických pro lepící hmoty, patří stanovení přídržnosti a objemové hmotnosti.

Výsledné hodnoty musí splňovat požadované hodnoty, které zohledňují podmínky místa aplikace. Pro lepící hmoty, které se aplikují v místech se zvýšenou chemickou náročností a se zvýšenou teplotou, je klíčovou vlastností počáteční přídržnost lepící hmoty k podkladu. V případě použití lepící hmoty na bázi epoxidu a polyuretanu musí vykazovat hodnoty minimálně 2,0 MPa.

8.2.1 Příprava zkušebních těles

Veškeré postupy při přípravě byly dány výrobcem lepících hmot. Jedná se o dvousložkové lepící směsi na bázi epoxidu a polyuretanu, které mají daný poměr mísení. V případě epoxidu EP 1 FLEX je poměr složek A (epoxidová pryskyřice) : B (tvrdidlo) = 2,3:1. V případě polyuretanu PUR 1 je poměr složek A (polyuretanová pryskyřice) : B (iniciátor) = 2:1.

Nejdříve se musí smíchat složky A + B a následně po zamíchání může být přidáno plnivo, které je zapotřebí důkladně promíchat tak, aby v lepící směsi nevznikaly vzduchové mezery. U všech směsí včetně směsí s druhotnou surovinou bylo pozorováno velmi snadné rozmíchání směsi a přilnavost k povrchu.



Obrázek 25: Příprava lepící hmoty-receptura z primárních surovin-epoxid EP 1 FLEX-mastek (60 %)

8.2.2 Stanovení počáteční tahové přídržnosti

Stanovení počáteční tahové přídržnosti je definováno podle normy ČSN EN 1542 Výrobky systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení soudržnosti odtrhovou zkouškou. [47]

Počáteční tahová přídržnost byla zkoušena na nenasákavých prvcích, konkrétně na čedičové dlažbě o rozměrech 30 x 30 x 5 cm a plechové desce o síle 3 mm. Čedičová dlažba a plechová deska musí být před aplikací lepicí hmoty zbaveny nečistot. Dále byly vytvořeny silikonové kruhové plochy o průměru 5 cm pro aplikaci kovového terče o průměru 5 cm.



Obrázek 26: Čedičová dlažba připravena na aplikaci lepicí hmoty pro stanovení tahové přídržnosti

Do vytvořené kruhové plochy byla následně aplikována lepicí hmota v tloušťce cca 3–5 mm, do které byl vložen kovový terč.



Obrázek 27: Aplikace lepicí hmoty PUR 1 a terče—čedičová dlažba-terče



Obrázek 28: Aplikace lepicí hmoty PUR 1 a terče—plechová deska-terče

Z důvodu zachování přesnosti výsledků byl kovový terč před provedením zkoušky oříznut na rozměr daný dle normy – průměr 5 cm. V případě neoříznutí terče a namáhání větší plochy by mohly být výsledky ovlivněné chybou.

Po 24 hodinách, kdy byly vzorky uloženy v laboratorním prostředí, byla stanovena počáteční tahová přídržnost lepící hmoty pomocí odtrhoměru DYNA Proceq Z16. Přídržnost se následně vyjádří jako podíl vyvozeného zatížení v N a zkoušené plochy A (Obr. 29 – 30).



Obrázek 29: Zkoušené lepící hmoty po stanovení tahové přídržnosti na čedičové dlažbě, receptura PUR 1 vápenc (vlevo) a obrus z pneumatik (vpravo)



Obrázek 30: Zkoušené lepící hmoty po stanovení tahové přídržnosti na plechovou desku, s porušením v podkladu

Tabulka 38: Možné typy porušení při stanovení přídržnosti [48]

Typ porušení	Popis porušení
Porušení v lepidle	Hodnota přídržnosti je vyšší než dosažený výsledek zkoušky, v případě nízkých hodnot se do výpočtu neuvažuje.
Porušení ve spoji podklad/lepidlo	Udává přídržnost lepidla k podkladu.
Porušení v podkladu	Hodnota přídržnosti je vyšší než dosažená hodnota, porušení je způsobeno nekvalitním podkladem nebo vyšší přídržností, než je pevnost v tahu podkladu.

8.2.3 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost je definována jako poměr hmotnosti ku objemu. Objemová hmotnost lepicí hmoty byla stanovena na základě vážení jednotlivých vzorků a výpočtem objemu vyjmutého vzorku. Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu byla stanovena na vzorcích trámčového typu, které byly později použity na zkoušení ohybových vlastností.



Obrázek 31: Silikonová forma



Obrázek 32: Silikonová forma s lepící hmotou

8.3 Vyhodnocení a výběr surovin pro pokročilé testování

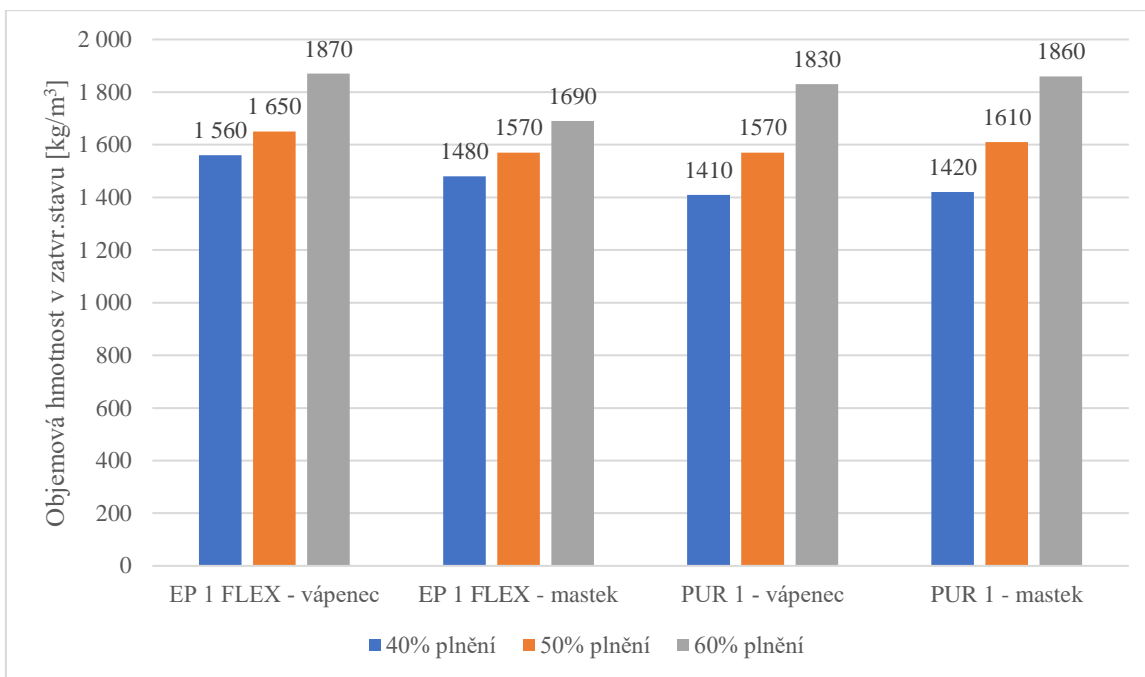
Na základě získaných poznatků a naměřených hodnot přídržnosti vyvíjené lepicí hmoty uvedených v Tab.39, není možné použití všech primárních i druhotných surovin pro pokročilé testování, poněvadž nesplnily minimální hodnotu přídržnosti 2,0 MPa.

Tabulka 39: Stanovení tahové přídržnosti a objemové hmotnosti v zatvrdlém stavu

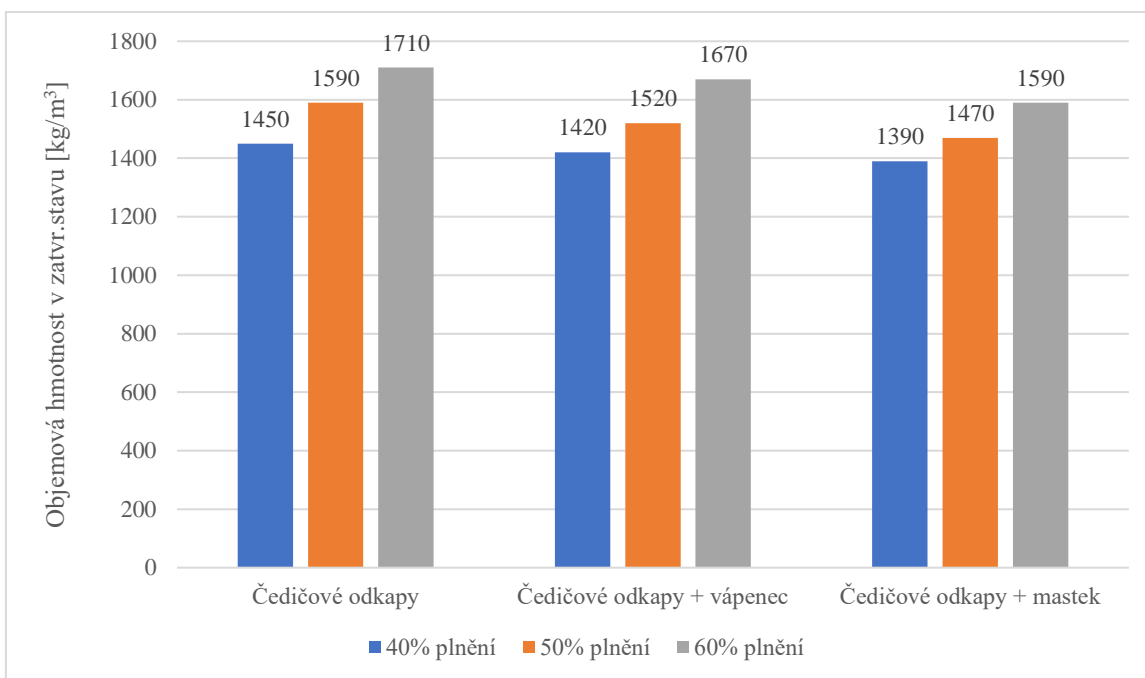
Pojivo	Plnivo	Množství [%]	Přídržnost tavený čedič [MPa]	Přídržnost plech [MPa]	Objemová hm. v zatvr. stavu [kg/m ³]
RECEPTURA Z PRIMÁRNÍCH SUROVIN–EPOXID EP 1 FLEX					
EP 1 FLEX	Vápenec	40	3,40	3,20	1 560
		50	3,90	3,60	1 650
		60	4,90	4,50	1 870
EP 1 FLEX	Mastek	40	2,90	2,50	1 480
		50	3,40	3,00	1 570
		60	4,30	3,80	1 690
RECEPTURA Z PRIMÁRNÍCH SUROVIN–POLYURETAN PUR 1					
PUR 1	Vápenec	40	3,30	2,90	1 410
		50	3,90	3,30	1 570
		60	4,60	3,90	1 830
PUR 1	Mastek	40	2,20	2,00	1 420
		50	3,10	2,90	1 610
		60	3,60	3,40	1 860
RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM Z DRUHOTNÉ SUROVINY–EPOXID EP 1 FLEX					
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy	40	5,50	4,10	1 450
		50	4,60	3,10	1 590
		60	3,80	2,50	1 710
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	4,40	3,90	1 420
		30+20	3,80	3,00	1 520
		36+24	3,10	2,50	1 670
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + mastek	24+16	6,00	5,50	1 390
		30+20	5,50	4,90	1 470
		36+24	5,00	4,10	1 590

EP 1 FLEX	Piliny	40	1,90	1,60	1 340
		50	1,70	1,40	1 150
		60	1,40	1,20	930
EP 1 FLEX	Obrus z pneumatik	40	1,80	1,70	1 190
		50	1,60	1,50	920
		60	1,40	1,20	830
EP 1 FLEX	Popílek	40	1,90	1,70	1 250
		50	1,70	1,50	1 120
		60	1,50	1,30	1 030
RECEPTURA LEPÍČÍ HMOTY S OBSAHEM Z DRUHOTNÉ SUROVINY– POLYURETAN PUR 1					
PUR 1	Čedičové odkapy	40	4,30	3,80	1 380
		50	3,60	2,90	1 570
		60	3,10	2,10	1 690
PUR 1	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	3,90	3,60	1 280
		30+20	3,10	2,90	1 420
		36+24	2,60	2,20	1 610
PUR 1	Čedičové odkapy + mastek	24+16	4,90	4,60	1 320
		30+20	4,40	4,00	1 530
		36+24	3,90	3,50	1 680
PUR 1	Piliny	40	1,60	1,30	1 290
		50	1,40	1,10	1 110
		60	1,20	0,90	900
PUR 1	Obrus z pneumatik	40	1,60	1,30	1 150
		50	1,40	1,00	990
		60	1,10	0,80	810
PUR 1	Popílek	40	1,70	1,50	1 200
		50	1,50	1,30	1 050
		60	1,20	1,00	960

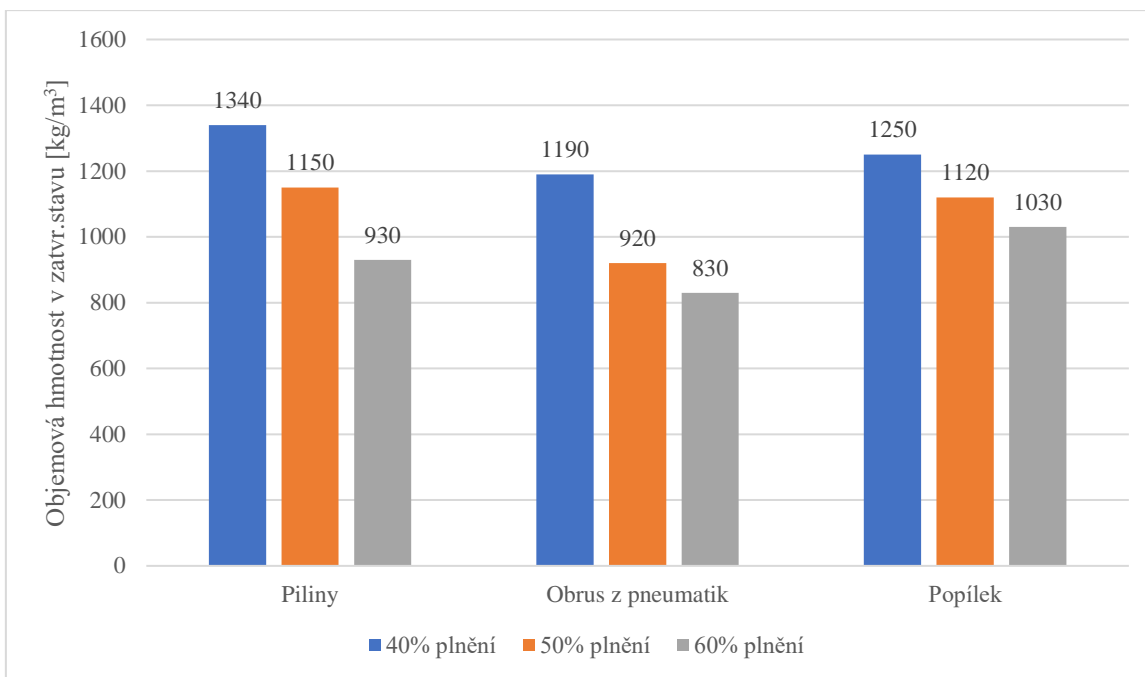
Vysvětlivky: Červeně označené vzorky nesplnily minimální hodnotu přídržnosti 2,0 MPa. Nejvyšší hodnoty vykazoval vzorek s pojivem EP 1 FLEX a čedičovými odkapy+mastek.



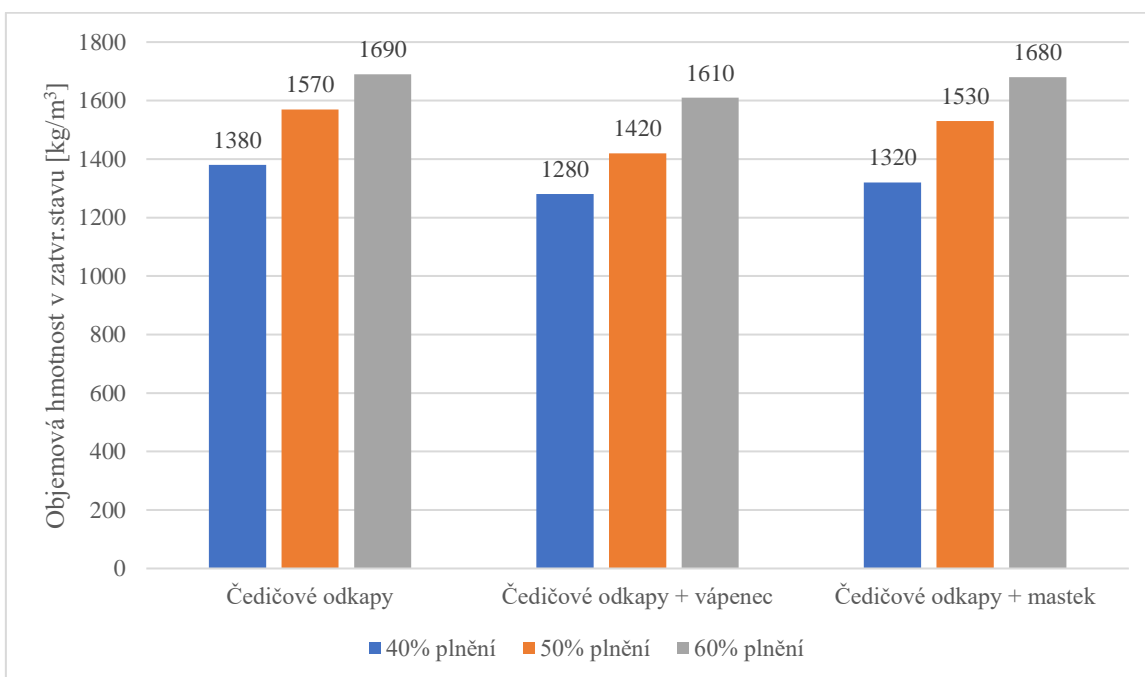
Graf 7: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu – receptury z primárních surovin, pojivo epoxid a polyuretan



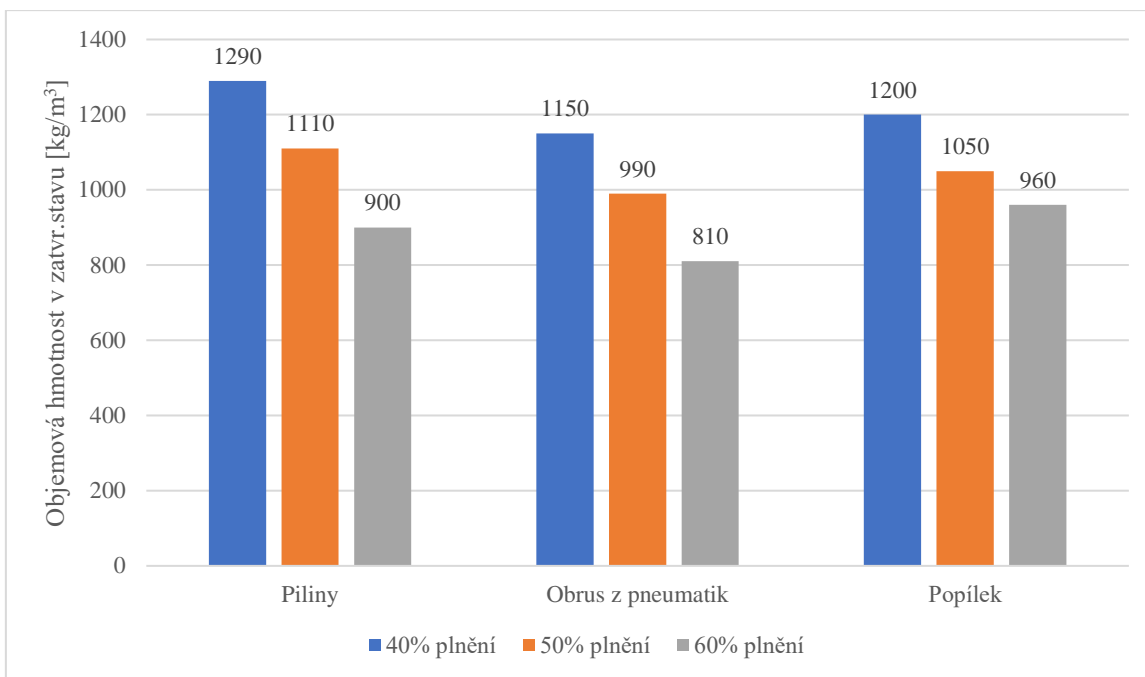
Graf 8: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu – receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny a pojivem EPOXID EP 1 FLEX



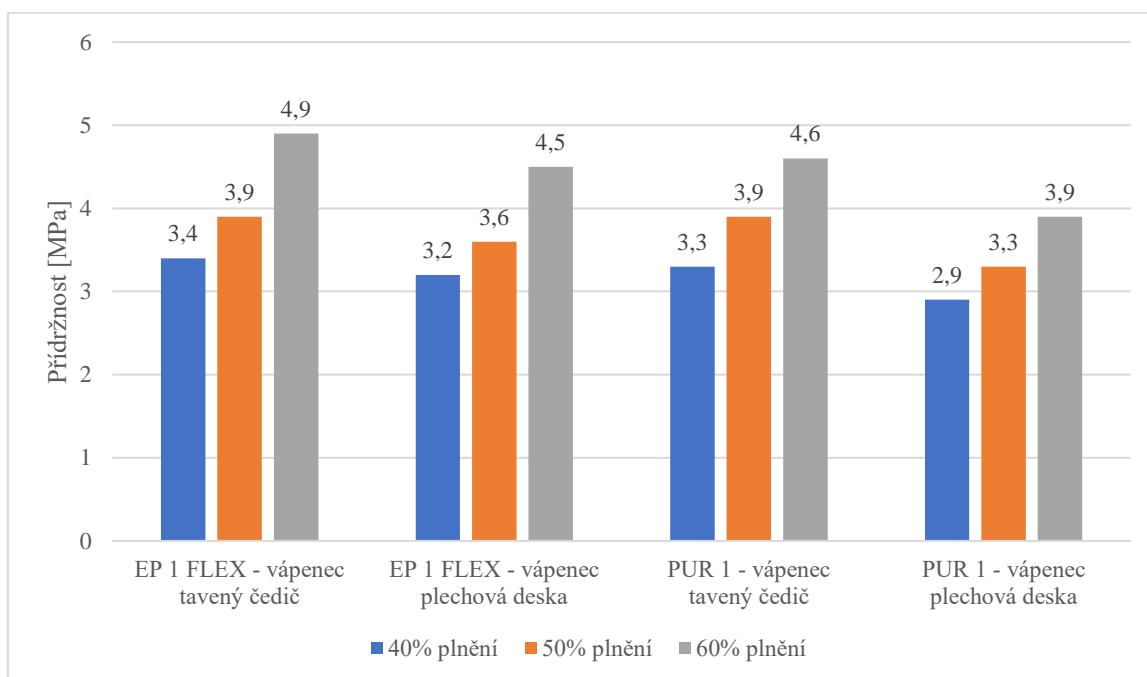
Graf 9: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu – receptura lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny a pojivem EPOXID EP 1 FLEX



Graf 10: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu – receptura lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny a pojivem POLYURETAN PUR 1



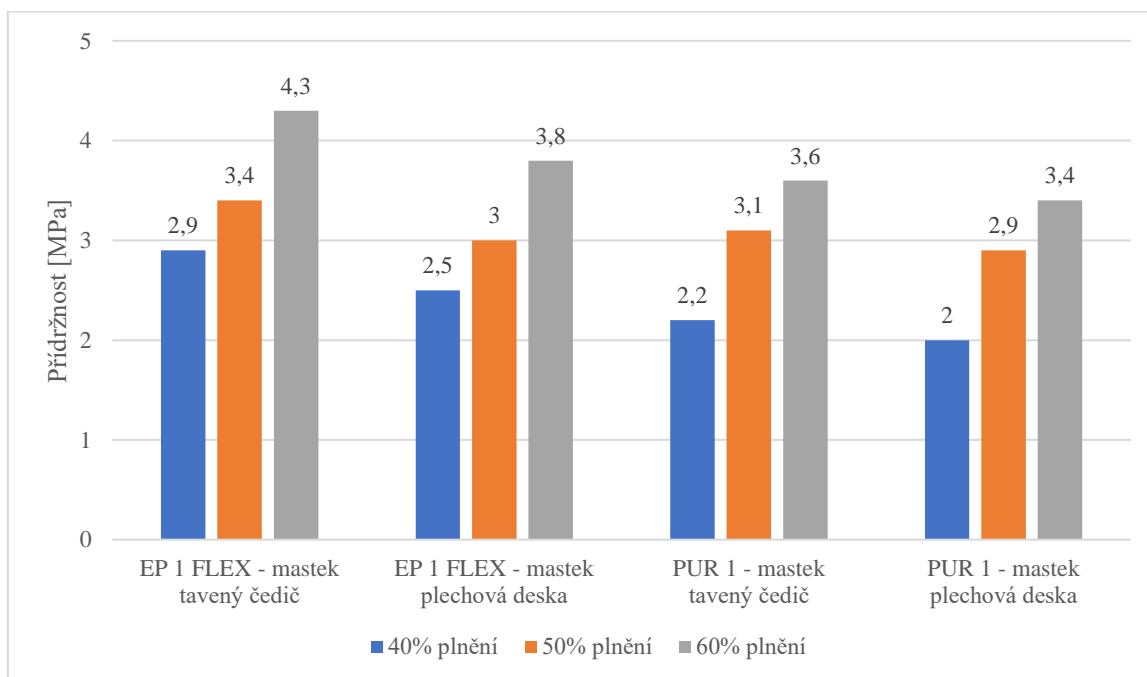
Graf 11: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu – receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny a pojivem POLYURETAN PUR 1



Graf 12: Přidržnost-receptury z primárních surovin (vápence) s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1 k tavenému čediči a plechové desce

Tabulka 40: Porušení při stanovení přídržnosti–receptury z primárních surovin (vápenec) s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1

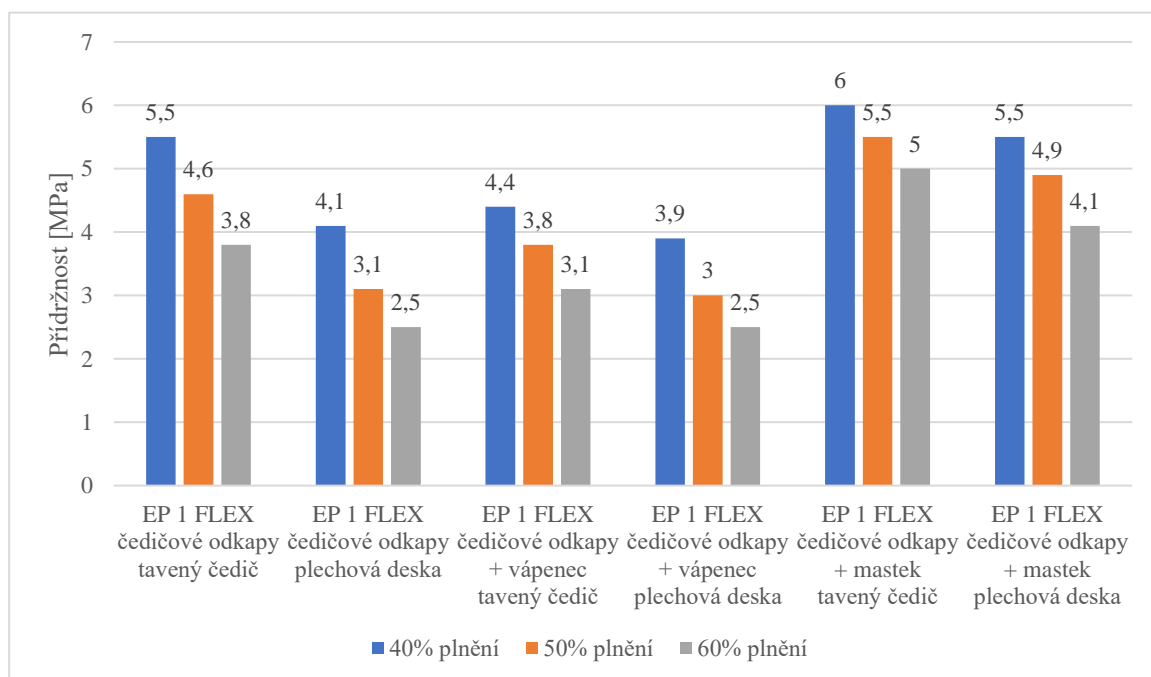
Pojivo	Plnivo	Podklad	Porušení [místo], [%]	Přídržnost [MPa]
EP 1 FLEX	Vápenec 40 %	Tavený čedič	v lepidle, 30 %	3,40
	Vápenec 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,90
	Vápenec 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	4,90
EP 1 FLEX	Vápenec 40 %	Plechová deska	v podkladu, 40 %	3,20
	Vápenec 50 %		porušení v podkladu, 40 %	3,60
	Vápenec 60 %		porušení v podkladu, 40 %	4,50
PUR 1	Vápenec 40 %	Tavený čedič	ve spoji podklad/lepidlo	3,30
	Vápenec 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,90
	Vápenec 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	4,60
PUR 1	Vápenec 40 %	Plechová deska	v podkladu, 20 %	2,90
	Vápenec 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,30
	Vápenec 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,90



Graf 13: Přídržnost receptury z primárních surovin (mastku) s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1 k tavenému čediči a plechové desce

Tabulka 41: Porušení při stanovení přídržnosti–receptury z primárních surovin (mastku) s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1

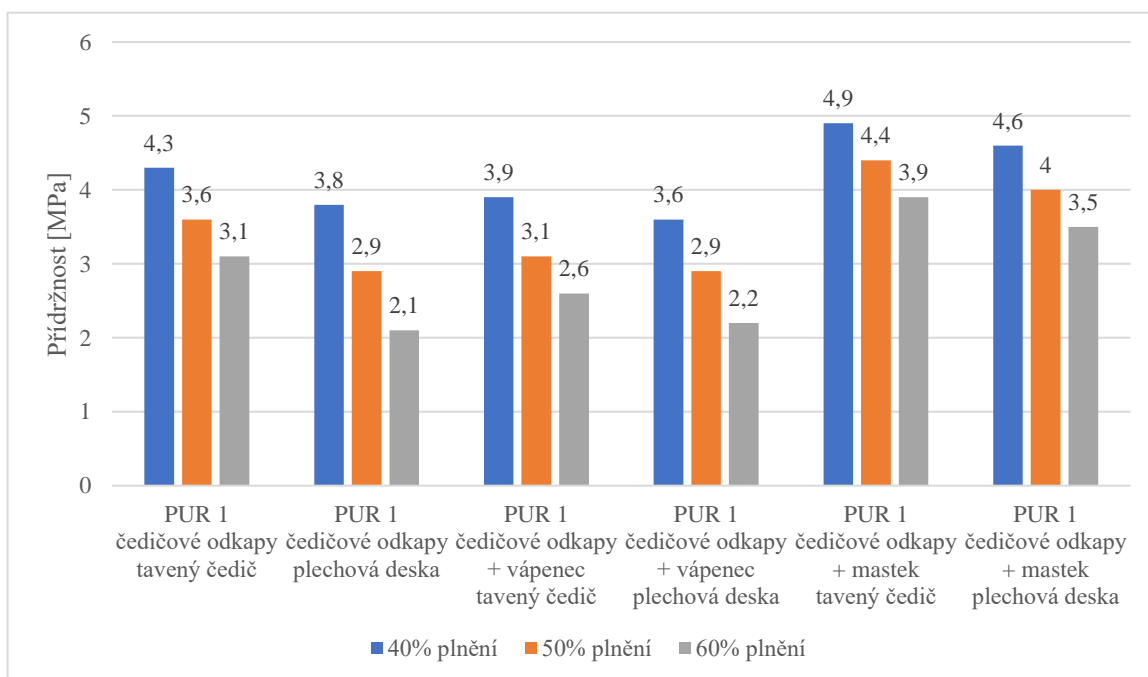
Pojivo	Plnivo	Podklad	Porušení [místo], [%]	Přídržnost [MPa]
EP 1 FLEX	Mastek 40 %	Tavený čedič	v lepidle, 20 %	2,90
	Mastek 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,40
	Mastek 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	4,30
EP 1 FLEX	Mastek 40 %	Plechová deska	v podkladu, 30 %	2,50
	Mastek 50 %		v podkladu, 20 %	3,00
	Mastek 60 %		v podkladu, 20 %	3,80
PUR 1	Mastek 40 %	Tavený čedič	v lepidle, 20 %	2,20
	Mastek 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,10
	Mastek 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,60
PUR 1	Mastek 40 %	Plechová deska	v podkladu, 20 %	2,00
	Mastek 50 %		v podkladu, 20 %	2,90
	Mastek 60 %		v podkladu, 20 %	3,40



Graf 14: Přídržnost vyvíjené lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem EPOXID EP 1 FLEX k tavenému čediči a plechové desce

Tabulka 42: Porušení při stanovení přídržnosti-receptury lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem EPOXID EP 1 FLEX

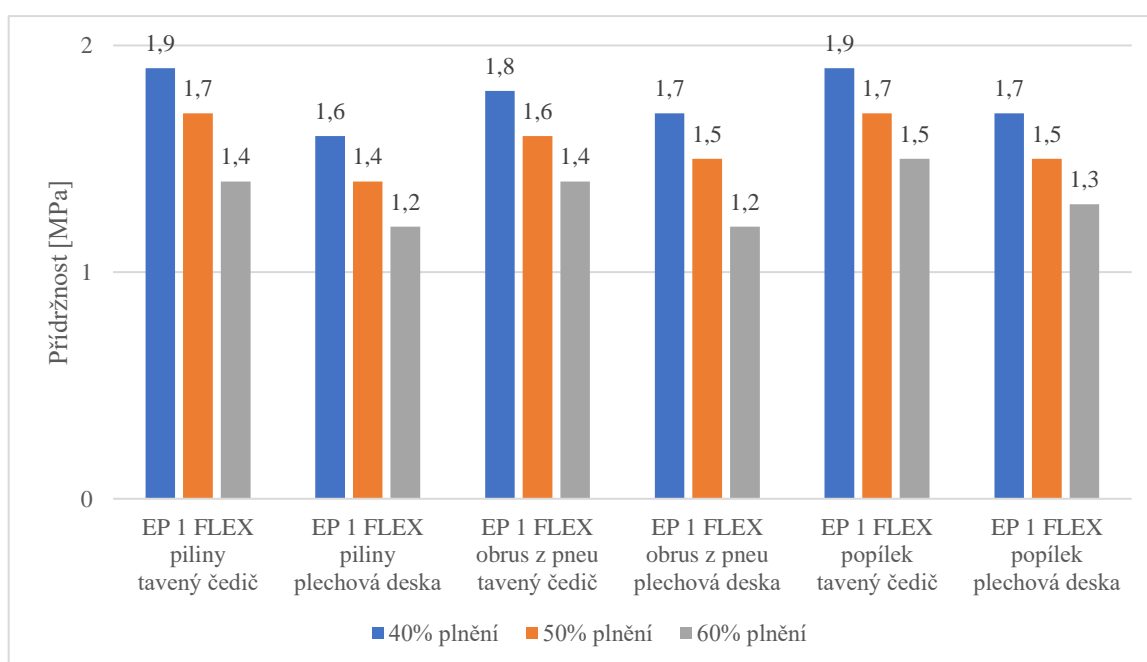
Pojivo	Plnivo	Podklad	Porušení [místo], [%]	Přídržnost [MPa]
EP 1 FLEX	Č.odkapy 40 %	Tavený čedič	v lepidle, 40 %	5,50
	Č.odkapy 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	4,60
	Č.odkapy 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,80
EP 1 FLEX	Č.odkapy 40 %	Plechová deska	ve spoji podklad/lepidlo	4,10
	Č.odkapy 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,10
	Č.odkapy 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	2,50
EP 1 FLEX	Č.odk.+Váp. 40 %	Tavený čedič	v lepidle, 50 %	4,40
	Č.odk.+Váp. 50 %		v lepidle, 30 %	3,80
	Č.odk.+Váp. 60 %		v lepidle, 30 %	3,10
EP 1 FLEX	Č.odk.+Váp. 40 %	Plechová deska	v podkladu, 20 %	3,90
	Č.odk.+Váp. 50 %		v podkladu, 20 %	3,00
	Č.odk.+Váp. 60 %		v podkladu, 20 %	2,50
EP 1 FLEX	Č.odk.+Mast. 40 %	Tavený čedič	ve spoji podklad/lepidlo	6,00
	Č.odk.+Mast. 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	5,50
	Č.odk.+Mast. 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	5,00
EP 1 FLEX	Č.odk.+Mast. 40 %	Plechová deska	v podkladu, 30 %	5,50
	Č.odk.+Mast. 50 %		v podkladu, 20 %	4,90
	Č.odk.+Mast. 60 %		v podkladu, 20 %	4,10



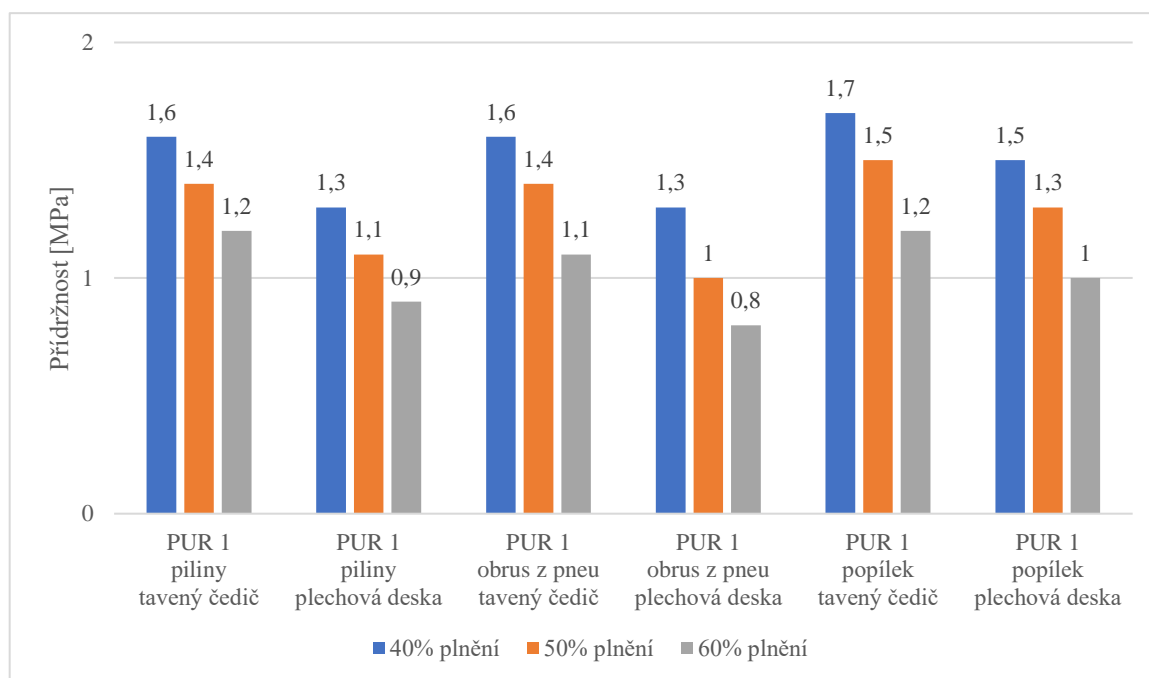
Graf 15: Přídržnost vyvíjené lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem POLYURETAN PUR 1 k tavenému čediči a plechové desce

Tabulka 43: Porušení při stanovení přídržnosti–receptury lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem POLYURETAN PUR 1

Pojivo	Plnivo	Podklad	Porušení [místo], [%]	Přídržnost [MPa]
PUR 1	Č.odkapy 40 %	Tavený čedič	v lepidle, 20 %	4,30
	Č.odkapy 50 %		v lepidle, 20 %	3,60
	Č.odkapy 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,10
PUR 1	Č.odkapy 40 %	Plechová deska	ve spoji podklad/lepidlo	3,80
	Č.odkapy 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	2,90
	Č.odkapy 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	2,10
PUR 1	Č.odk.+Váp. 40 %	Tavený čedič	v lepidle, 30 %	3,90
	Č.odk.+Váp. 50 %		v lepidle, 30 %	3,10
	Č.odk.+Váp. 60 %		v lepidle, 30 %	2,60
PUR 1	Č.odk.+Váp. 40 %	Plechová deska	v podkladu, 20 %	3,60
	Č.odk.+Váp. 50 %		v podkladu, 20 %	2,90
	Č.odk.+Váp. 60 %		v podkladu, 20 %	2,20
PUR 1	Č.odk.+Mast. 40 %	Tavený čedič	ve spoji podklad/lepidlo	4,90
	Č.odk.+Mast. 50 %		ve spoji podklad/lepidlo	4,40
	Č.odk.+Mast. 60 %		ve spoji podklad/lepidlo	3,90
PUR 1	Č.odk.+Mast. 40 %	Plechová deska	v podkladu, 20 %	4,60
	Č.odk.+Mast. 50 %		v podkladu, 20 %	4,00
	Č.odk.+Mast. 60 %		v podkladu, 20 %	3,50



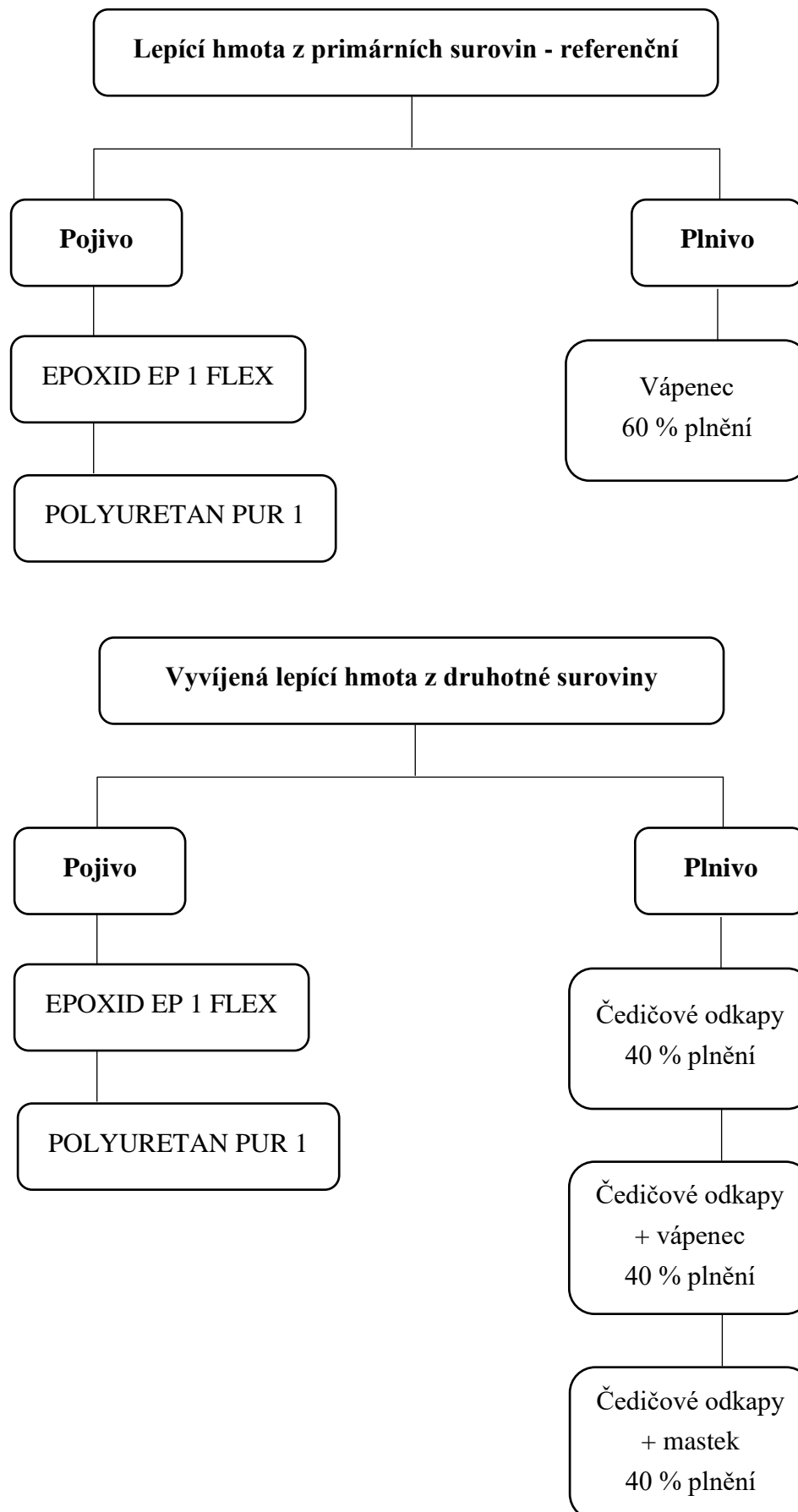
Graf 16: Přídržnost vyvinené lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem EPOXID EP 1 FLEX k tavenému čediči a plechové desce



Graf 17: Přidržnost vyvíjené lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem POLYURETAN PUR 1 k tavenému čediči a plechové desce

Dle grafického vyhodnocení v grafu č. 16 – 17 je patrné, že receptury, které obsahovaly druhotné suroviny: piliny, obrus z pneumatik a popílek s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1 nevyhovely normovému požadavku tahové přidržnosti, který nesmí být nižší než 2,0 MPa. Bylo to pravděpodobně způsobeno nepravidelnou křivkou zrnitosti, nízkému měrnému povrchu a tvrdosti zrn. Tato zrna se pravděpodobně nerovnoměrně zakomponovala do lepicí hmoty, a tím nevytvořila pevnou „kostru“. Tyto receptury nebudou dále uvažovány pro pokročilé testování v následující etapě. Na základě provedení základního testování bylo zjištěno, že pro pokročilé testování v poslední etapě této práce nemohou být použity druhotné suroviny: piliny, obrus z pneumatik a popílek. Tyto suroviny nesplňují normové hodnoty tahové přidržnosti, která nesmí být nižší než 2,0 MPa. Ostatní druhotné suroviny, které vykazovaly hodnoty vyšší než 2,0 MPa a jsou uvedeny v grafech č. 12 – 15, mohou být použity pro pokročilé testování. Na základě těchto skutečností byla provedena optimalizace výběru surovin, které se podrobí pokročilému testování. Tato optimalizace je graficky znázorněna v následujícím schématu.

8.4 Výběr surovin pro pokročilé testování



8.5 Shrnutí etapy III

Cílem etapy III byl návrh několika receptur pro základní testování nových lepicích hmot. Na základě poznatků vyplývajících z etapy I a II bylo rozhodnuto, že pro lepicí hmoty, které se plánují aplikovat v chemicky náročném prostředí se zvýšenou teplotou je nejvhodnější použití epoxidového a polyuretanového lepidla.

Nejprve byly vybrány receptury z primárních surovin a pojivem EPOXID EP 1 FLEX, které obsahovaly primární suroviny vápenec a mastek. Obsah těchto surovin byl stanoven na 40 %, 50 % a 60 % plnění, přičemž se snižovalo množství pojivových složek lepicí hmoty se zachováním poměru mísení složky A (epoxidová pryskyřice) : B (tvrdidlo) v poměru 2,3:1.

Dále byly vybrány receptury z primárních surovin a pojivem POLYURETAN PUR 1, které obsahovaly primární suroviny vápenec a mastek. Obsah těchto surovin byl stanoven na 40 %, 50 % a 60 % plnění, přičemž se snižovalo množství pojivových složek lepicí hmoty se zachováním poměru mísení složky A (polyuretanová pryskyřice) : B (iniciátor) v poměru 2:1.

Poté byly zvoleny receptury lepicí hmoty s obsahem druhotných surovin a pojivem EPOXID EP 1 FLEX. Na základě předchozích laboratorních testů byla vybrána druhotná surovina v podobě čedičových odkapů, která se svými vlastnostmi nejvíce podobá primárním surovinám a která by mohla být vhodná pro základní a pokročilé testování vyvíjených lepicích hmot. Nejprve byla navržena směs, která obsahuje pouze čedičové odkapy s obsahem 40 %, 50 % a 60 % plnění. Dále byla navržena směs, která obsahuje čedičové odkapy s vápencem v poměru 60:40, přičemž zůstalo zachováno výsledné plnění 40 %, 50 % a 60 %. Poté byla navržena směs, která obsahuje čedičové odkapy s mastkem v poměru 60:40, přičemž zůstalo zachováno výsledné plnění 40 %, 50 % a 60 %.

Následně byly vybrány receptury lepicí hmoty s obsahem druhotných surovin a pojivem POLYURETAN PUR 1. Byla vybrána druhotná surovina v podobě čedičových odkapů, která se svými vlastnostmi nejvíce podobá primárním surovinám a která by mohla být vhodná pro základní a pokročilé testování vyvíjených lepicích hmot. Nejprve byla navržena směs, která obsahuje pouze čedičové odkapy s obsahem 40 %, 50 % a 60 % plnění. Dále byla navržena směs, která obsahuje čedičové odkapy s vápencem v poměru 60:40, přičemž zůstalo zachováno výsledné plnění 40 %, 50 % a 60 %. Poté byla navržena směs, která obsahuje čedičové odkapy s mastkem v poměru 60:40, přičemž zůstalo zachováno výsledné plnění 40 %, 50 % a 60 %.

V rámci základního testování byla pomocí odtrhoměru DYNA Proceq Z16 stanovena počáteční tahová přídržnost, která byla zkoušena na 2 rozhraních – lepicí hmota/čedičový prvek a lepicí hmota/kovový podklad.

Z výsledků je patrné, že lepicí hmota z EPOXIDU na rozhraní lepicí hmota/čedičový prvek má větší přídržnost zhruba o 20 % než na rozhraní lepicí hmota/kovový podklad

a lepicí hmota z POLYURETANU na rozhraní lepicí hmota/čedičový prvek má větší přídržnost zhruba o 15 % než na rozhraní lepicí hmota/kovový podklad.

Dále je možné říct, že lepicí hmota z EPOXIDU má větší přídržnost o 20 % než lepicí hmota z POLYURETANU na rozhraní lepicí hmota/čedičový prvek a větší přídržnost o 10 % na rozhraní lepicí hmota/kovový podklad. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že epoxidové lepicí hmoty se vyznačují vysokou adhezí ke kovovým podkladům a téměř ke všem stavebním materiálům.

Z výsledků je také patrné, že lepicí hmota obsahující druhotnou surovinu má vyšší přídržnost k oběma typům podkladů než lepicí hmota obsahující pouze primární surovinu. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že čedičové odkapy dosahují vysokých pevností a vytváří „kostru“ lepicí hmoty.

Nejvyšší hodnotu přídržnosti k podkladu vykazuje lepicí hmota z EPOXIDU obsahující čedičové odkapy a mastek, kde bylo dosaženo při plnění 40 % hodnoty 6,0 MPa, při plnění 50 % hodnoty 5,5 MPa a při plnění 60 % hodnoty 5,0 MPa.

Dále vykazovala velmi dobré hodnoty lepicí hmota z EPOXIDU obsahující pouze čedičové odkapy, kde bylo dosaženo při plnění 40 % hodnoty přídržnosti 5,5 MPa, při plnění 50 % hodnoty 4,56 MPa a při plnění 60 % hodnoty 3,8 MPa.

Všechny zkoušené receptury obsahující druhotné suroviny vykazovaly vyšší hodnotu přídržnosti než referenční receptury s primárními plnivý vápencem a mastkem.

Zkoušené receptury s primárními plnivý (vápencem a mastkem) i druhotnými surovinami (čedičovými odkapy a čedičovými odkapy s vápencem i mastkem) splnily požadovanou minimální hodnotu přídržnosti, která je stanovena dle normy ČSN EN 12 004 na 2,0 MPa a mohou být použity pro výrobu nových lepicích hmot v praxi. Naopak receptury obsahující druhotné suroviny: piliny, ohrus z pneumatik a popílek tuto hodnotu nesplnily a byly vyřazeny z receptur pro pokročilé testování.

Na základě dosažených výsledků při zkoušení přídržnosti bylo rozhodnuto, že pro pokročilé testování a ověření dalších vybraných vlastností nově vyvíjených lepicích hmot byl zvolen vápenec jako referenční surovina s plněním 60 % a dále lepicí hmota s obsahem druhotné suroviny s plněním 40 a 50 %.

9 Etapa IV: Pokročilé testování a ověření dalších vybraných vlastností nově vyvinutých lepicích hmot

Etapa IV je zaměřena na pokročilé testování a ověření vlastností nově vyvinutých lepicích hmot. Na závěr je zde provedeno podrobné zhodnocení společně s výběrem nejvhodnější receptury pro výrobu lepicí hmoty.

9.1 Výroba zkušebních těles pro pokročilé zkoušení, zhotovení podkladů

Na základě poznatků a ověření základních vlastností v etapě III. bylo rozhodnuto, že pro pokročilé testování bude zvolen vápenec jako referenční surovina. Dále je zde provedeno pokročilé testování lepicích hmot s obsahem druhotných surovin v podobě čedičových odkapů v kombinaci s vápencem a mastkem. Složení receptur je uvedeno v Tab. 44 – 47.

Tabulka 44: Referenční receptura–plnivo vápenec, pojivo epoxid EP 1 FLEX

REFERENČNÍ RECEPTURA–PLNIVO VÁPENEC, POJIVO EPOXID EP 1 FLEX	
Složka	Obsah [%]
A (epox. pryskyřice)	27,9
B (tvrdidlo)	12,1
Vápenec	60,0
Σ	100,0

Tabulka 45: Referenční receptura–plnivo vápenec, pojivo polyuretan PUR 1

REFERENČNÍ RECEPTURA–PLNIVO VÁPENEC, POJIVO POLYURETAN PUR 1	
Složka	Obsah [%]
A (PUR pryskyřice)	26,7
B (iniciátor)	13,3
Vápenec	60,0
Σ	100,0

Tabulka 46: Vyvíjená lepicí hmota z druhotné suroviny–pojivo epoxid EP 1 FLEX

VYVÍJENÁ LEPÍČÍ HMOTA Z DRUHOTNÉ SUROVINY POJIVO EPOXID EP 1 FLEX		
Složka	Obsah [%]	
A (epox. pryskyřice)	41,8	34,8
B (tvrdidlo)	18,2	15,2
Čedičové odkapy	40,0	50,0
Čedičové odkapy+vápenec	24+16	30+20
Čedičové odkapy+mastek	24+16	30+20
Σ	100,0	100,0

Tabulka 47: Vyvíjená lepicí hmota z druhotné suroviny–pojivo polyuretan PUR 1

VYVÍJENÁ LEPÍČÍ HMOTA Z DRUHOTNÉ SUROVINY POJIVO POLYURETAN PUR 1		
Složka	Obsah [%]	
A (PUR pryskyřice)	40,0	33,3
B (iniciátor)	20,0	16,7
Čedičové odkapy	40,0	50,0
Čedičové odkapy+vápenec	24+16	30+20
Čedičové odkapy+mastek	24+16	30+20
Σ	100,0	100,0

9.2 Popis prováděných zkoušek

Pro ověření pokročilých vlastností nově vyvinutých lepicích hmot byly vybrány následující zkoušky, které jsou níže popsány a jejichž výsledky jsou podrobně shrnuté v tabulkách a pro lepší přehlednost jsou vyhotoveny grafy.

9.2.1 Stanovení tahové přídržnosti dle ČSN EN 1542

Stanovení tahové přídržnosti bylo provedeno přístrojem typu DYNA Proceq Z16. Pro přilepení zkušebních terčů do aplikované lepicí hmoty byly použity kovové terče o průměru 50 mm. Před samotným provedením zkoušky byly terče ořezány, aby bylo zamezeno nepřesným výsledkům. Rychlost zatěžování byla rovnoměrná v intervalu 0,04 – 0,06 MPa/s a byla vedena až do porušení vzorku. [47]

9.2.1.1 Tahová přídržnost v chemicky náročném prostředí

V rámci pokročilého testování a ověření pokročilých vlastností nově vyvíjených lepicích hmot bylo zkoumáno, zda jsou tato lepidla, která se plánují aplikovat v chemicky náročném prostředí, dostatečně odolná při působení agresivních látek.

Jednotlivé vzorky lepicí hmoty byly vystaveny dvěma druhům chemicky agresivního prostředí, konkrétně 30% kyselině sírové (H_2SO_4) a 8% kyselině octové (CH_3COOH), přičemž se jednalo o hmotnostní koncentrace vypočítané pomocí křížového pravidla. Jednotlivé lepicí hmoty byly aplikovány na kostky z taveného čediče o rozměru 50 x 50 mm, na které se aplikovala vrstva lepicí hmoty v tloušťce 5 mm. Na povrch lepicí hmoty byl následně umístěn kovový teč o rozměrech 50 x 50 mm pro provedení zkoušky tahové přídržnosti (Obr.33). [47]



Obrázek 33: Příprava vzorků pro chemicky náročné prostředí
vlevo: vzorek připravený pro aplikaci lepicí hmoty
vpravo: vzorek po aplikaci lepicí hmoty EP 1 FLEX a terče

Takto vyhotovené vzorky byly po 24 hodinách umístěny do exsikátorů, kde byly po dobu 14 dnů vystaveny chemicky náročnému prostředí za nepřístupu vzduchu. Mírné zapuštění kovového terče nemělo vliv na srovnávání výsledků, jelikož bylo u všech vzorků.

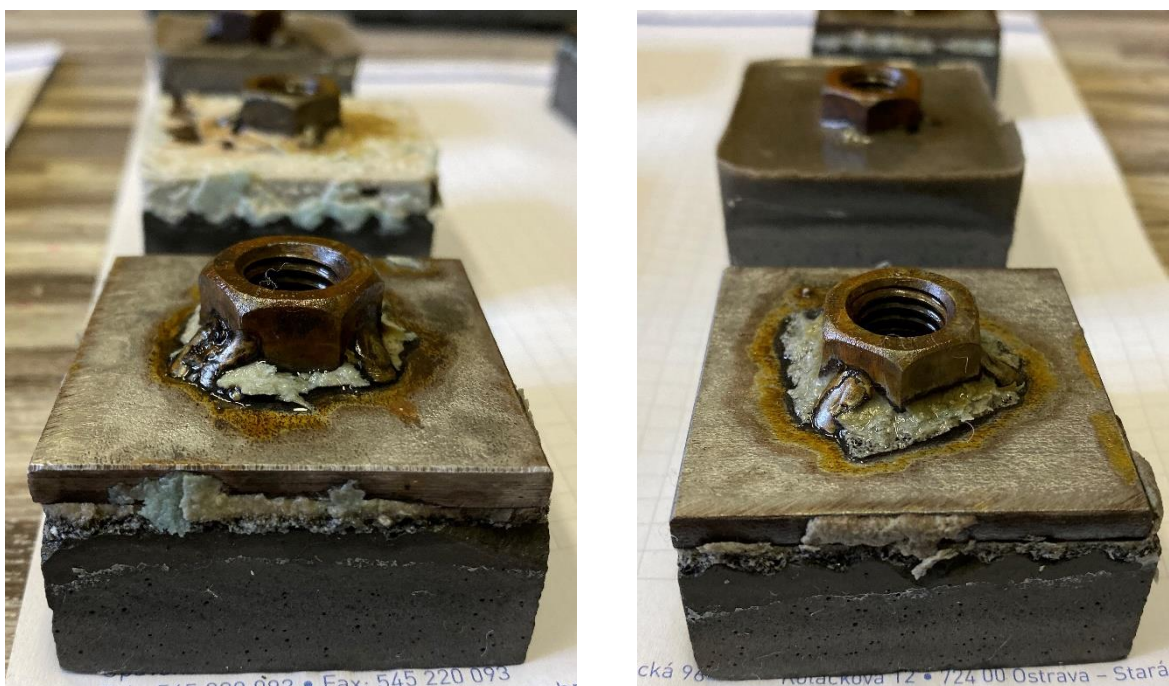


Obrázek 34: Uložení vzorků v chemicky agresivním prostředí H_2SO_4 (v exsikátoru), EP 1 FLEX

Po následném vyjmutí vzorků z exsikátorů, očištění a osušení, byly vzorky ponechány 24 hodin v laboratorních podmínkách. (Obr.35 – 36).

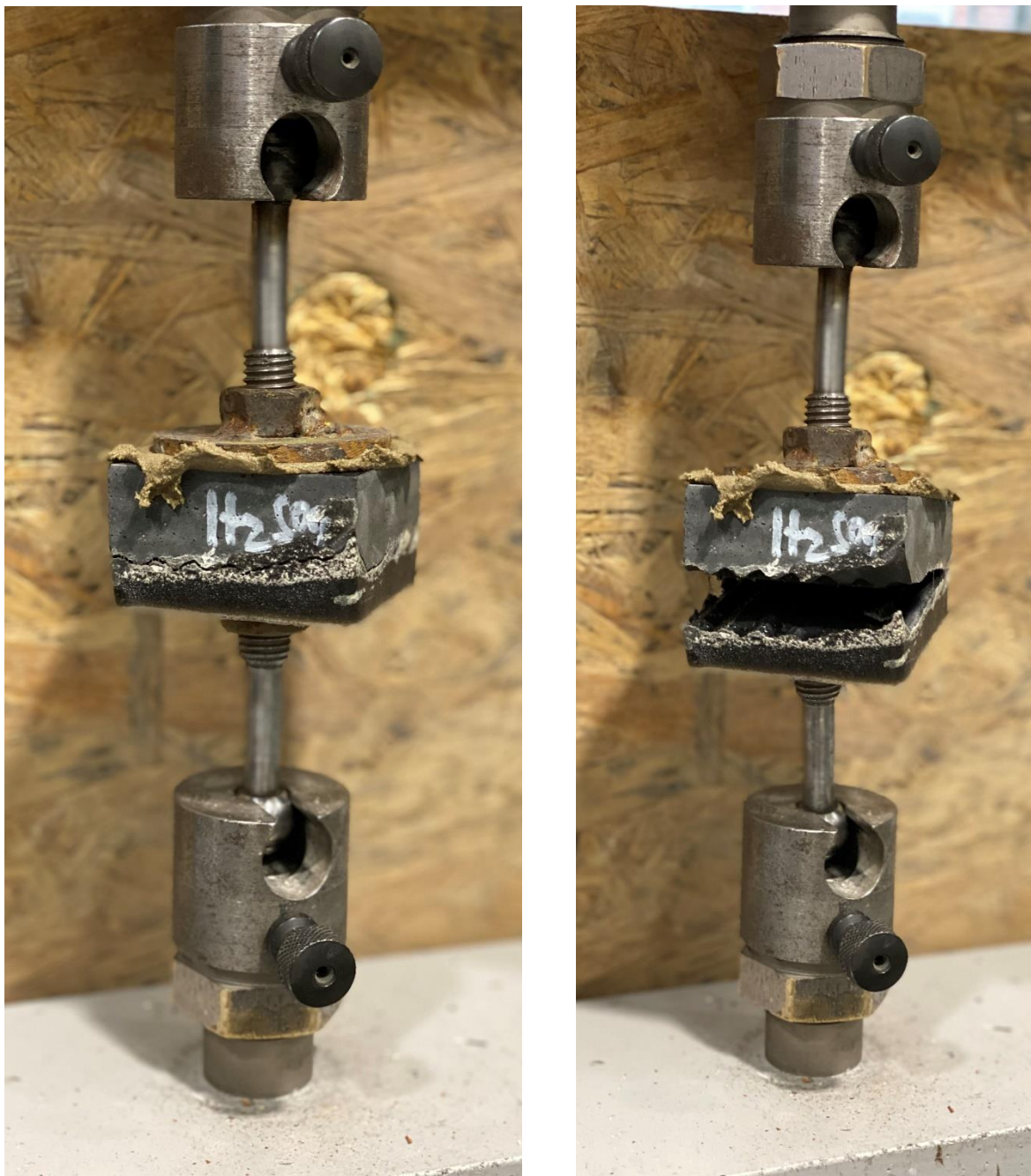


Obrázek 35: Vzorky v chemicky agresivním prostředí CH_3COOH (v exsikátoru), po 14-ti dnech, PUR 1



Obrázek 36: Vzorky EP 1 FLEX vyjmuté z chemicky agresivního prostředí H_2SO_4 , zbarvené nesoudržných nečistot

Poté byly na vzorky z jejich druhé strany nalepeny kovové terče o průměru 50 mm za pomoci dvousložkového lepidla Sikadur 31 CF Rapid. Následně byla stanovena tahová přídržnost pomocí automatického lisu Testometric, který provedl zkoušku až do úplného porušení vzorku (Obr.37).



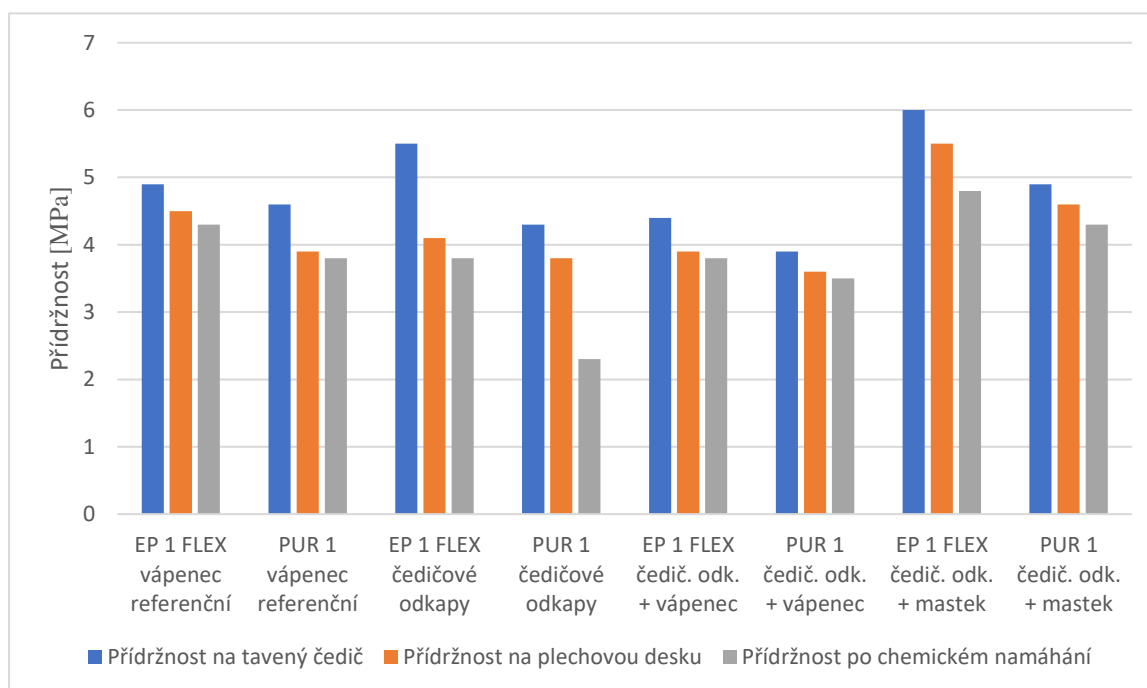
Obrázek 37: Stanovení tahové přídržnosti, vzorek EP 1 FLEX s čedičovými odkapy a maskem

Z výše uvedených obrázků je patrné, že k porušení vzorku, který obsahoval pojivo epoxid EP 1 FLEX a plnivo čedičové odkapy s maskem v množství 40 % a byl vystaven kyselině sírové, došlo k porušení ve spoji čedičový podklad/lepicí hmota.

Tabulka 48: Vyhodnocení tahové přídržnosti po chemickém namáhání

Pojivo	Plnivo	Obsah [%]	Agresivní prostředí	Přídržnost v lab. podm. [MPa]	Přídržnost po chem. nam. [MPa]
REFERENČNÍ RECEPTURA					
EP 1 FLEX	Vápenec	60	H ₂ SO ₄	4,90	4,30 (-12 %)
PUR 1	Vápenec	60	CH ₃ COOH	4,60	3,80 (-17 %)
VYVÍJENÁ LEPÍČÍ HMOTA Z DRUHOTNÉ SUROVINY					
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy	40	H ₂ SO ₄	5,50	3,80 (-31 %)
PUR 1	Čedičové odkapy	40	CH ₃ COOH	4,30	2,30 (-47 %)
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	H ₂ SO ₄	4,40	3,80 (-14 %)
PUR 1	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	CH ₃ COOH	3,90	3,50 (-10 %)
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + mastek	24+16	H ₂ SO ₄	6,00	4,80 (-20 %)
PUR 1	Čedičové odkapy + mastek	24+16	CH ₃ COOH	4,90	4,30 (-12 %)

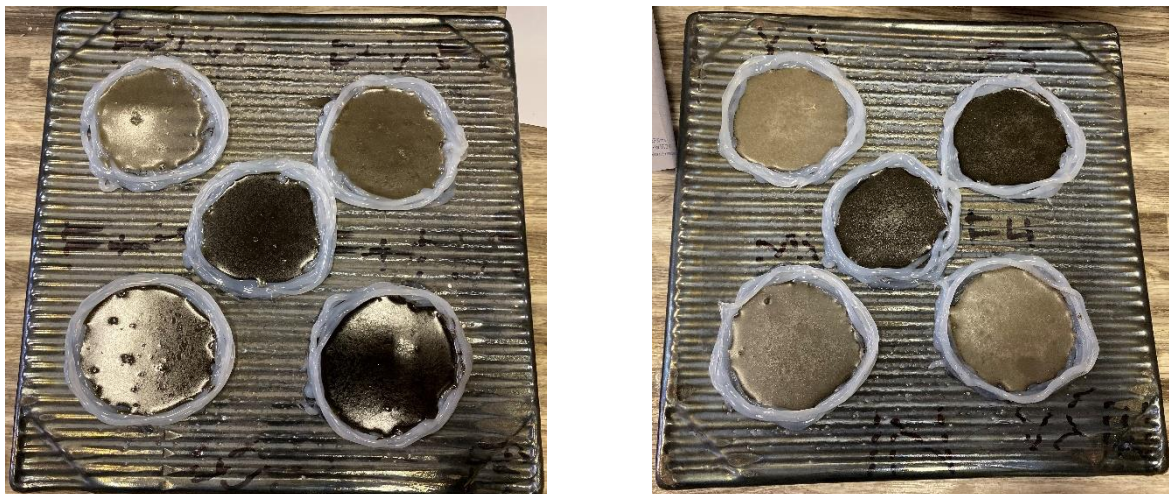
Porušení vzorků při stanovení tahové přídržnosti po chemickém namáhání bylo sledováno ve spoji podkladu a lepidla, což udává reálnou hodnotu přídržnosti zkoušené lepicí hmoty.



Graf 18: Vyhodnocení tahové přídržnosti po chemickém namáhání

9.2.1.2 Tahová přídržnost v náročném tepelném prostředí

Náročné tepelné prostředí bylo simulováno za pomoci sušárny, do které byly vzorky umístěny po dobu 14 dnů při teplotě 55 °C. Do sušárny byly umístěny vzorky lepicí hmoty aplikované na čedičové dlažbě. Vzorky byly průměru 50 mm (Obr.38).



Obrázek 38: Vzorky připravené pro umístění do náročného tepelného prostředí

Po následném vystavení vzorků náročnému tepelnému prostředí byly tyto vzorky vyjmuty a ponechány 24 hodin v laboratorních podmínkách. Poté byly na vzorky nalepeny kovové terče o průměru 50 mm za pomoci dvousložkového lepidla Sikadur 31 CF Rapid. Před samotným provedením zkoušky byly terče ořezány. Následně byla stanovena tahová přídržnost pomocí odtrhoměru DYNA Proceq Z16 (Obr.39). [47]

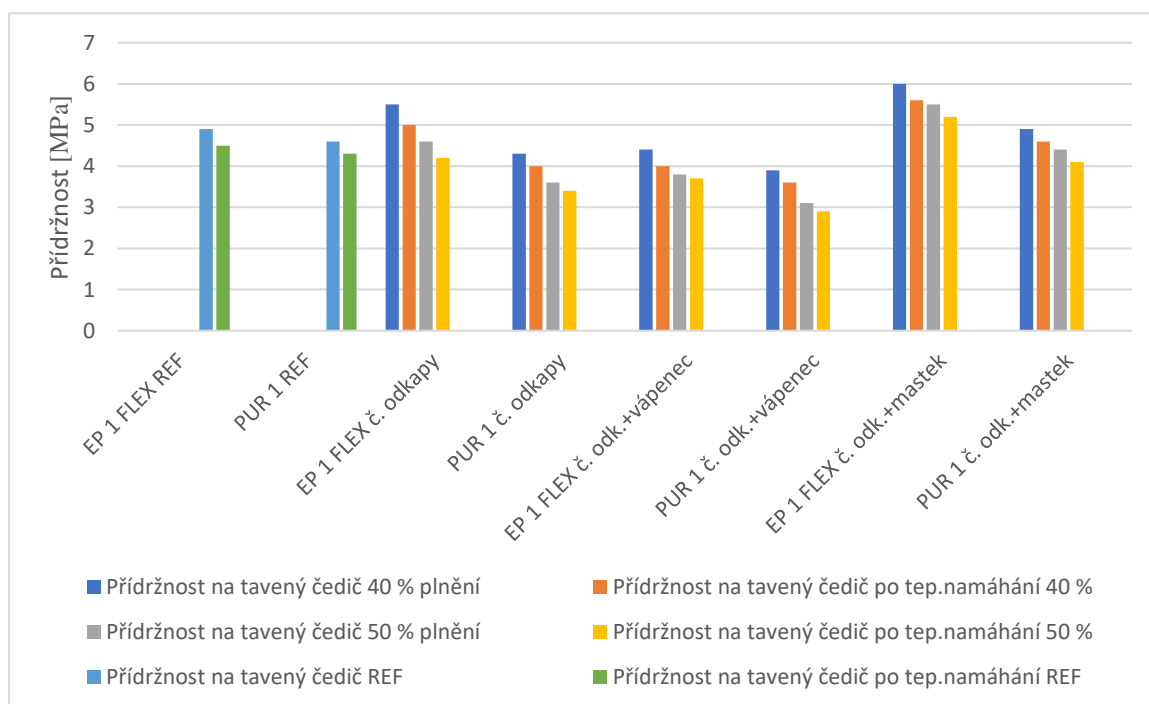


Obrázek 39: Vzorky připravené pro stanovení tahové přídržnosti po náročném tepelném prostředí

Tabulka 49: Vyhodnocení tahové přídržnosti po tepelném namáhání v sušárně (55 °C)

Pojivo	Plnivo	Obsah [%]	Přídržnost v lab. podm. [MPa]	Přídržnost po tep. nam. [MPa]
REFERENČNÍ RECEPTURA				
EP 1 FLEX	Vápenec	60	4,90	4,50 (-8 %)
PUR 1	Vápenec	60	4,60	4,30 (-7 %)
VYVÍJENÁ LEPÍCÍ HMOTA Z DRUHOTNÉ SUROVINY				
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy	40	5,50	5,00 (-9 %)
		50	4,60	4,20 (-9 %)
PUR 1	Čedičové odkapy	40	4,30	4,00 (-7 %)
		50	3,60	3,40 (-6 %)
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	4,40	4,00 (-9 %)
		30+20	3,80	3,70 (-3 %)
PUR 1	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	3,90	3,60 (-8 %)
		30+20	3,10	2,90 (-7 %)
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + mastek	24+16	6,00	5,60 (-7 %)
		30+20	5,50	5,20 (-5 %)
PUR 1	Čedičové odkapy + mastek	24+16	4,90	4,60 (-6 %)
		30+20	4,40	4,10 (-7 %)

Porušení vzorků při stanovení tahové přídržnosti po tepelném namáhání bylo sledováno ve spoji podkladu a lepidla, což udává hodnotu přídržnosti v MPa.



Graf 19: Vyhodnocení tahové přídržnosti po tepelném namáhání v sušárně (55 °C)

9.2.2 Stanovení mrazuvzdornosti lepící hmoty dle ČSN 73 1322

Podstatou této zkoušky je zmrazování a následné rozmrazování zpolymerovaných lepících hmot aplikovaných na čedičovou dlažbu a následně vložených do mrazicího zařízení s možností cyklování. Během 24 hodin byly provedeny přibližně 2 cykly, které se skládají ze střídavého zmrazování a rozmrazování vzorků. Celkem bylo provedeno 25 cyklů podle normy ČSN 73 1322. Následně byly vzorky vyjmuty a ponechány 24 hodin v laboratorních podmínkách. Poté byly na vzorky nalepeny kovové terče o průměru 50 mm za pomoci dvousložkového lepidla Sikadur 31 CF Rapid. Před samotným provedením zkoušky byly terče ořezány, aby bylo zamezeno nepřesným výsledkům. Následně byla stanovena tahová přídržnost pomocí odtrhoměru DYNA Proceq Z16 (Obr.40 – 42). [47]



Obrázek 40: Příprava vzorků pro odtrh



Obrázek 41: Vzorky po odzkoušení přídržnosti

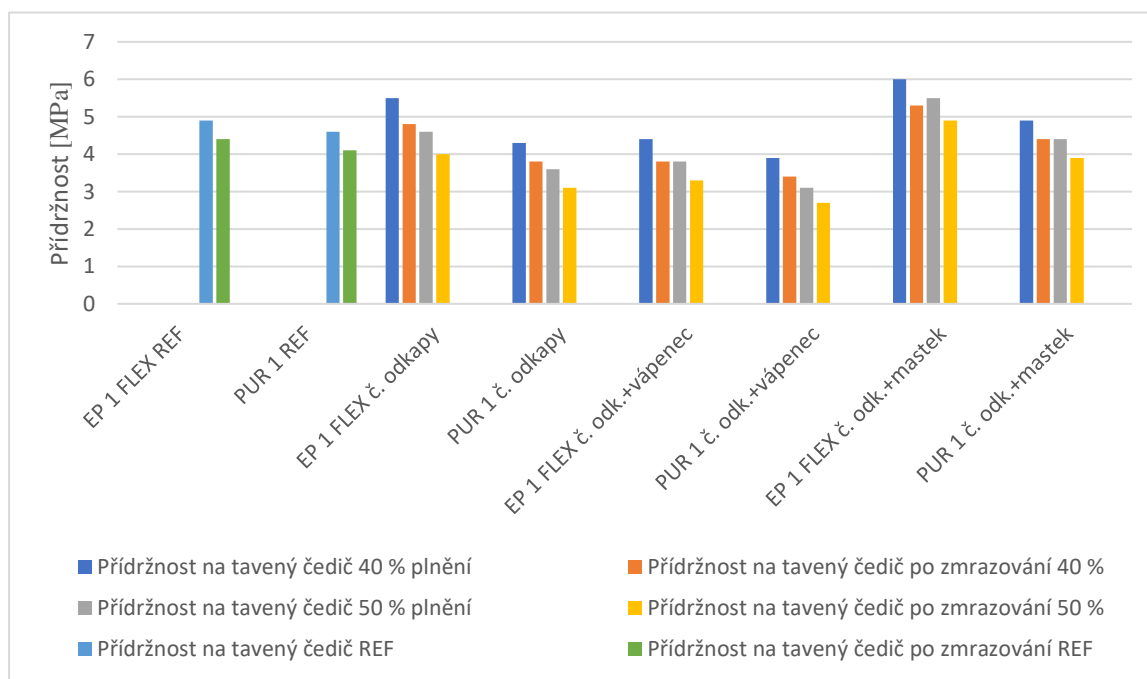


Obrázek 42: Porušení vzorku v lepidle Sikadur při zkoušení přídržnosti

Tabulka 50: Vyhodnocení tahové přídržnosti po zkoušení mrazuvzdornosti (25 cyklů)

Pojivo	Plnivo	Obsah [%]	Přídržnost v lab. podm. [MPa]	Přídržnost po mrazuvzdornosti [MPa]
REFERENČNÍ RECEPTURA				
EP 1 FLEX	Vápenec	60	4,90	4,40 (-10 %)
PUR 1	Vápenec	60	4,60	4,10 (-11 %)
VYVÍJENÁ LEPÍCÍ HMOTA Z DRUHOTNÉ SUROVINY				
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy	40	5,50	4,80 (-13 %)
		50	4,60	4,00 (-13 %)
PUR 1	Čedičové odkapy	40	4,30	3,80 (-12 %)
		50	3,60	3,10 (-14 %)
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	4,40	3,80 (-14 %)
		30+20	3,80	3,30 (-13 %)
PUR 1	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	3,90	3,40 (-13 %)
		30+20	3,10	2,70 (-13 %)
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + mastek	24+16	6,00	5,30 (-12 %)
		30+20	5,50	4,90 (-11 %)
PUR 1	Čedičové odkapy + mastek	24+16	4,90	4,40 (-10 %)
		30+20	4,40	3,90 (-11 %)

Porušení vzorků při stanovení tahové přídržnosti po zkoušení mrazuvzdornosti bylo sledováno ve spoji podkladu a lepidla, což udává hodnotu přídržnosti v MPa.



Graf 20: Vyhodnocení tahové přídržnosti po zkoušení mrazuvzdornosti (25 cyklů)

9.2.3 Stanovení tahových vlastností dle ČSN EN ISO 527-1 (2)

Podkladem pro stanovení tahových vlastností byla norma ČSN EN ISO 527–1 a ČSN EN ISO 527–2. Konkrétně se jednalo o stanovení pevnosti v tahu při přetržení a poměrného prodloužení při přetržení.

Pevnost v tahu a poměrné prodloužení při přetržení byly stanoveny na zkušebních tělesech vyrobených v rámci ověřování pokročilých vlastností. Před započítím zkoušení byly očištěny tlačené a tažené plochy. Poté byl zkoušený vzorek opatřen průtahoměrem o počáteční délce 50 mm a upnut do kovových čelistí. Vlastní zatěžování bylo provedeno rychlostí 5 mm/min až do samotného porušení vzorku (Obr.43 – 44). [54]



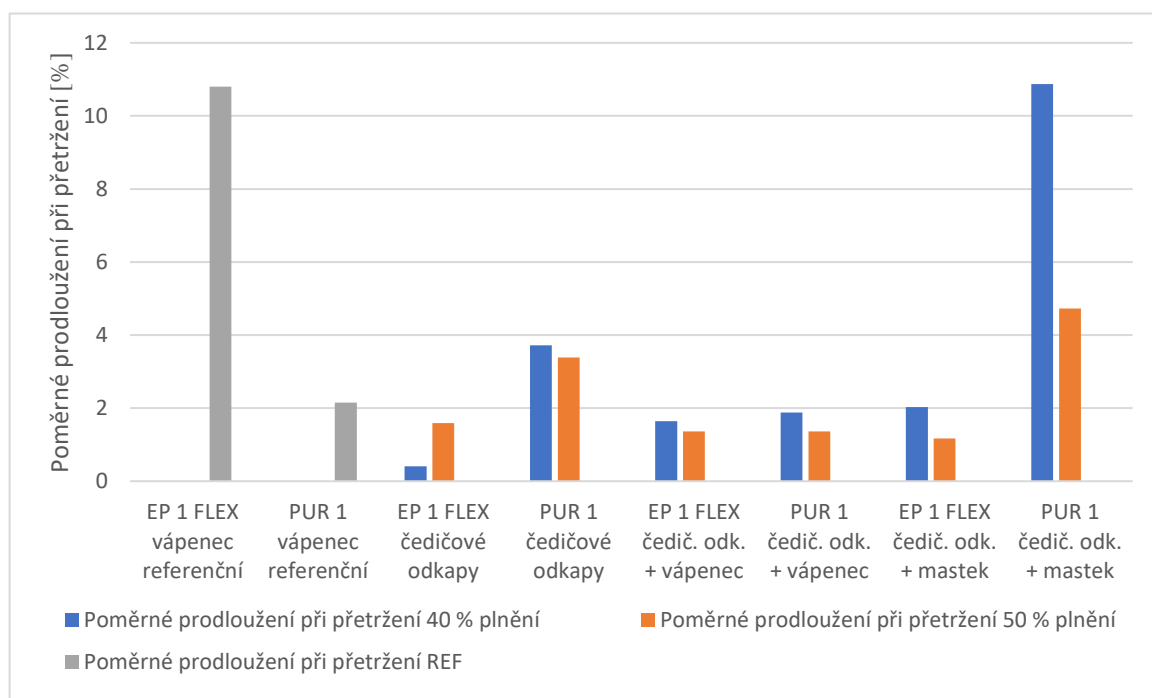
Obrázek 43: Vzorky pro stanovení tahových vlastností (typ IBA)



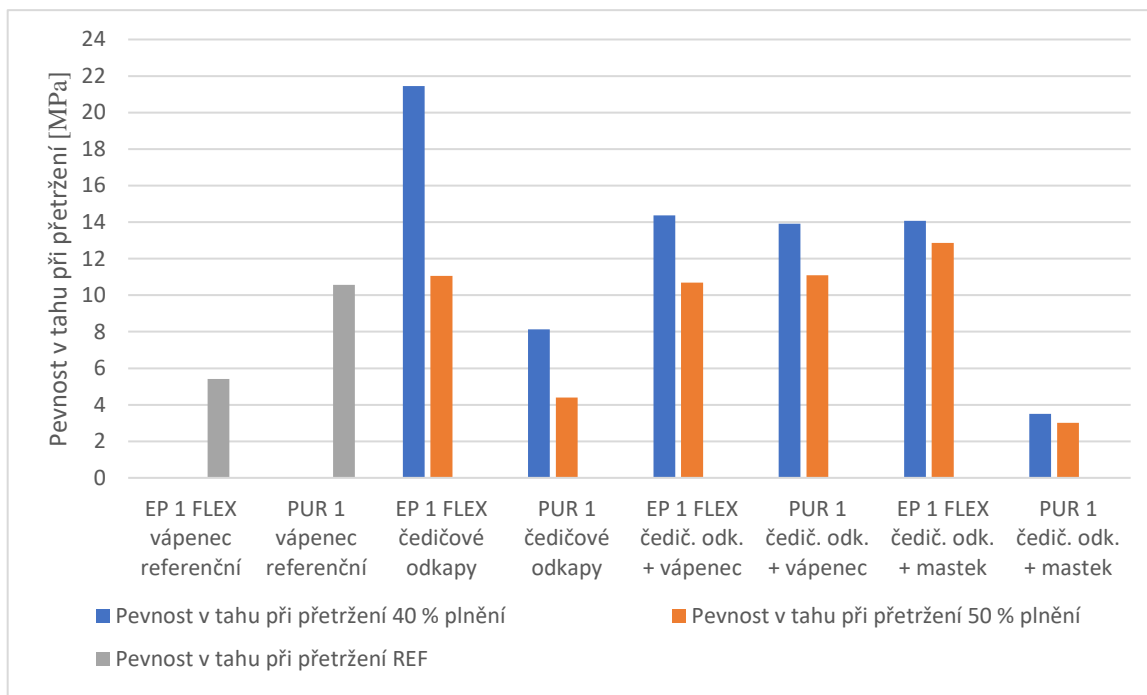
Obrázek 44: Stanovení pevnosti v tahu (zkušební tělesa opatřená extenzometrem)

Tabulka 51: Vyhodnocení tahových vlastností

Pojivo	Plnivo	Obsah [%]	Poměrné prodloužení při přetržení ϵ_b [%]	Pevnost v tahu při přetržení σ_b [MPa]
REFERENČNÍ RECEPTURA				
EP 1 FLEX	Vápenec	60	10,80	5,42
PUR 1	Vápenec	60	2,15	10,57
VYVÍJENÁ LEPÍCÍ HMOTA Z DRUHOTNÉ SUROVINY				
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy	40	0,41	21,45
		50	1,59	11,05
PUR 1	Čedičové odkapy	40	3,72	8,13
		50	3,39	4,39
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	1,64	14,37
		30+20	1,36	10,69
PUR 1	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	1,88	13,91
		30+20	1,36	11,09
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + mastek	24+16	2,03	14,07
		30+20	1,17	12,86
PUR 1	Čedičové odkapy + mastek	24+16	10,87	3,50
		30+20	4,73	3,02



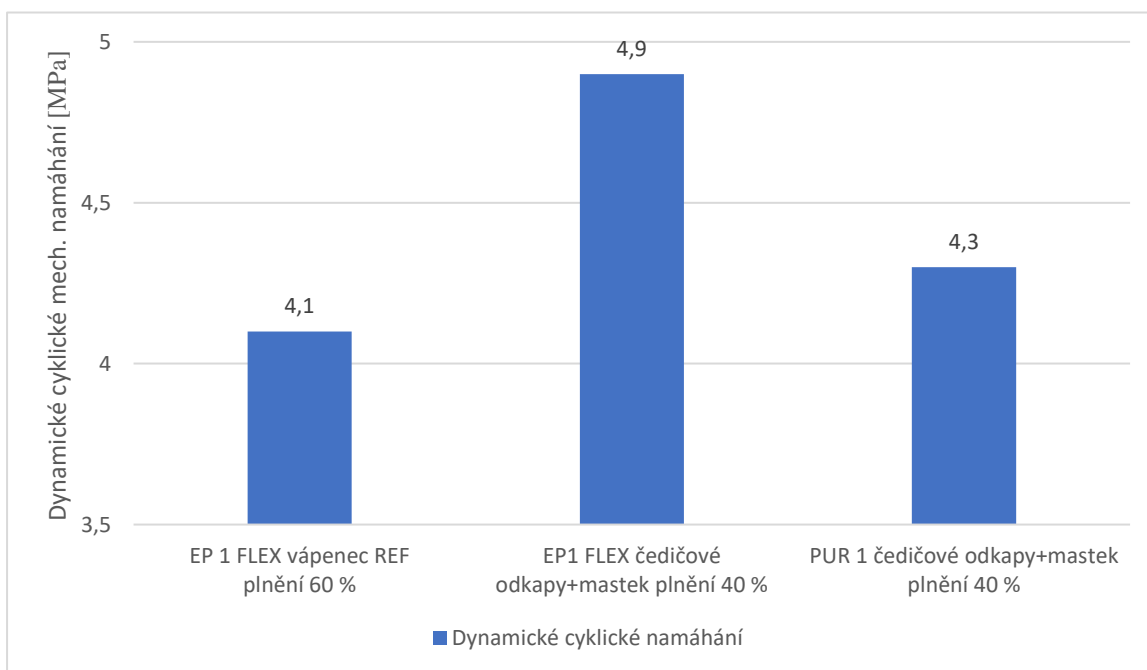
Graf 21: Vyhodnocení poměrného prodloužení při přetržení [%]



Graf 22: Vyhodnocení pevnosti v tahu při přetržení [MPa]

9.2.4 Dynamické cyklické mechanické namáhání

Principem této zkoušky bylo simulování střídavého namáhání až do úplného porušení vzorku. Vzorek byl upnut do zařízení stejným způsobem jako při zkoušení tahové přídržnosti viz kap. 9.2.1.1 Tahová přídržnost v chemicky náročném prostředí. Vzorek byl zatížen silou 1 500 N s následnou výdrží po dobu 5 sekund. Dále byl zatížen silou 1 000 N s následnou výdrží 5 sekund a opakováním celkem 10–ti cyklů. Poslední zatěžovací cyklus byl veden až do úplného porušení vzorku.



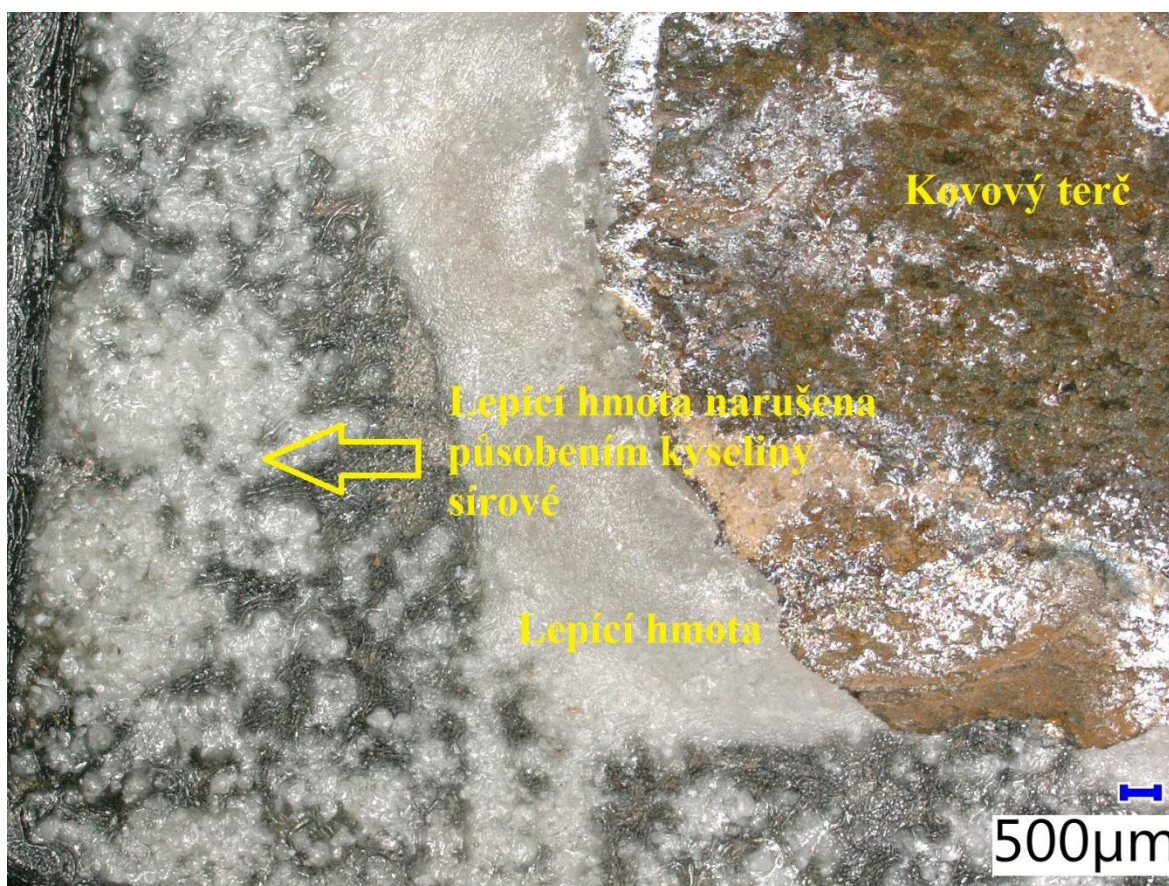
Graf 23: Vyhodnocení dynamického cyklického namáhání [MPa]

Z grafického vyhodnocení je patrné, že vzorky obsahující druhotné suroviny (konkrétně čedičové odkapy) v kombinaci s primární surovinou (konkrétně mastek) vykazují vyšší hodnoty při dynamickém cyklickém namáhání než referenční vzorek.

9.2.5 Sledování mikrostruktury pomocí optického mikroskopu

Vybrané varianty nově vyvíjených lepicích hmot byly poté podrobeny sledování jejich mikrostruktury pomocí optického mikroskopu typu Leica DFC450C s vysokým rozlišením. Dále byl povrch vyfocen digitálním fotoaparátem s vysokým rozlišením. Podrobné vyhodnocení včetně popisu je provedeno níže (Obr.45-49).

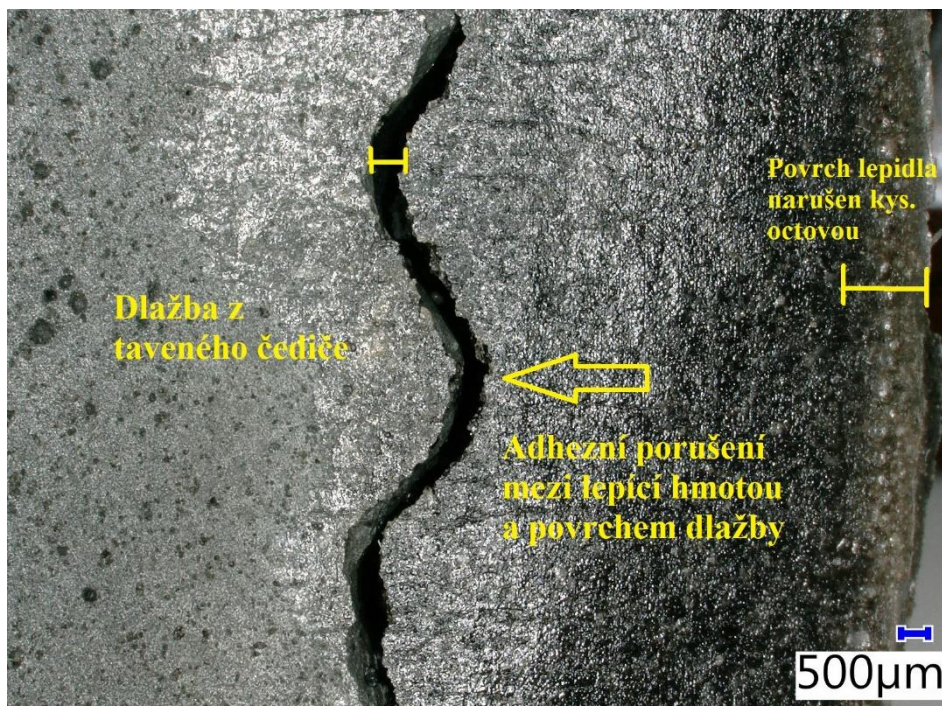
EP 1 FLEX–čedičové odkapy v množství 40 %
Povrch hmoty opatřené terčem po působení H ₂ SO ₄ –zvětšení 20x



Obrázek 45: Snímek z optického mikroskopu LEICA povrchu hmoty EP 1 FLEX s čedičovými odkapy (40 %), zvětšení 20x

PUR 1–čedičové odkapy v množství 40 %

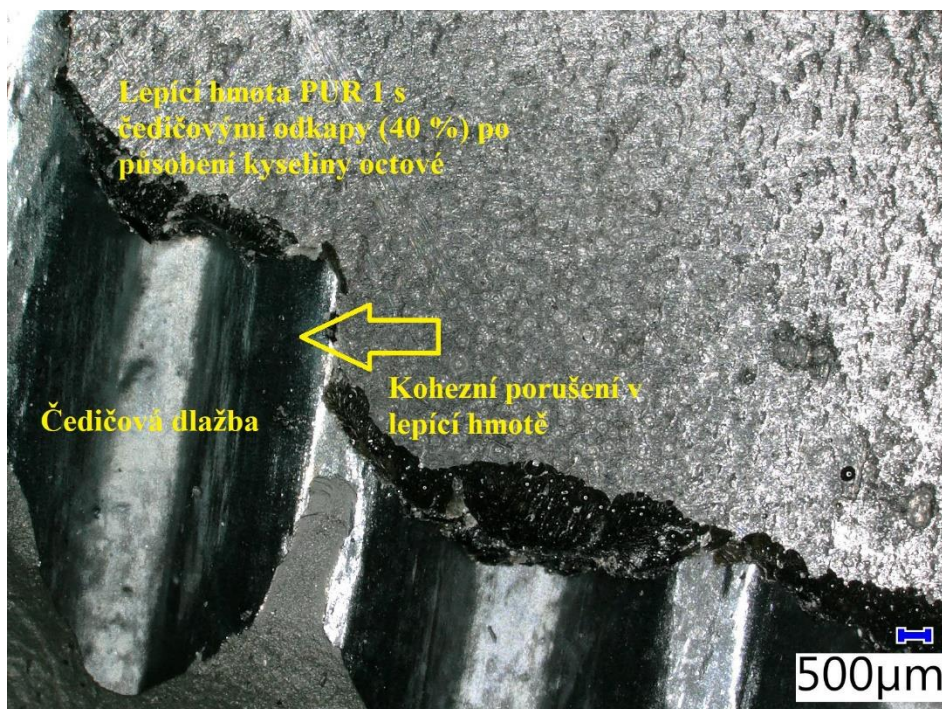
Pohled na místo porušení po působení CH_3COOH –zvětšení 50x



Obrázek 46: Snímek z optického mikroskopu LEICA hmoty PUR 1 s čedičovými odkapy (40 %), zvětšení 50x

PUR 1–čedičové odkapy v množství 40 %

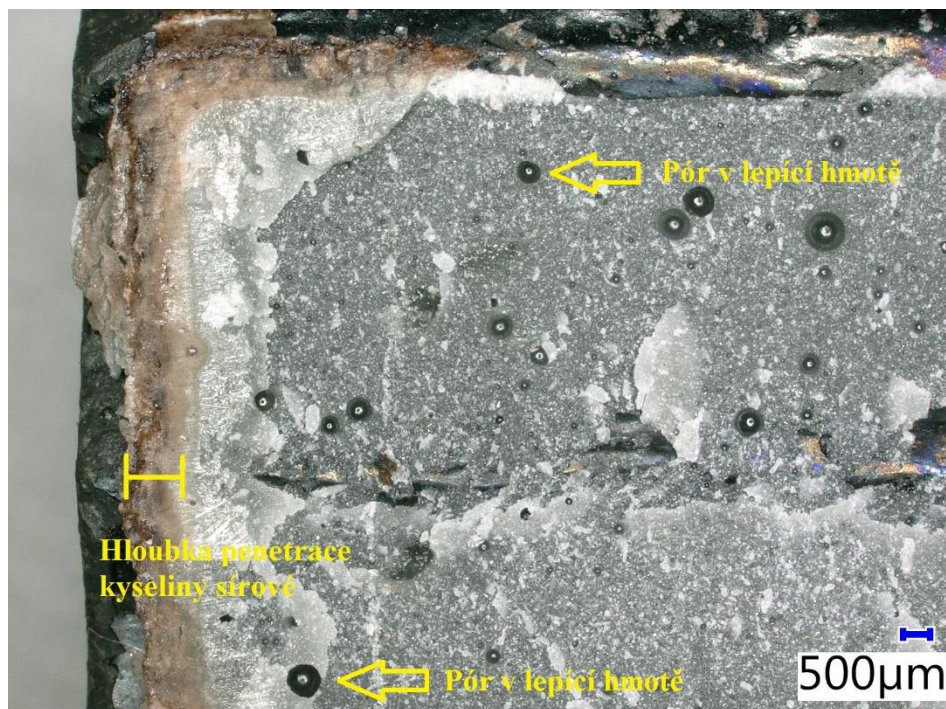
Místo porušení po působení CH_3COOH –zvětšení 50x



Obrázek 47: Snímek z optického mikroskopu LEICA hmoty PUR 1 s čedičovými odkapy (40 %), zvětšení 50x

EP 1 FLEX–čedičové odkapy+mastek v množství 40 % (24+16)

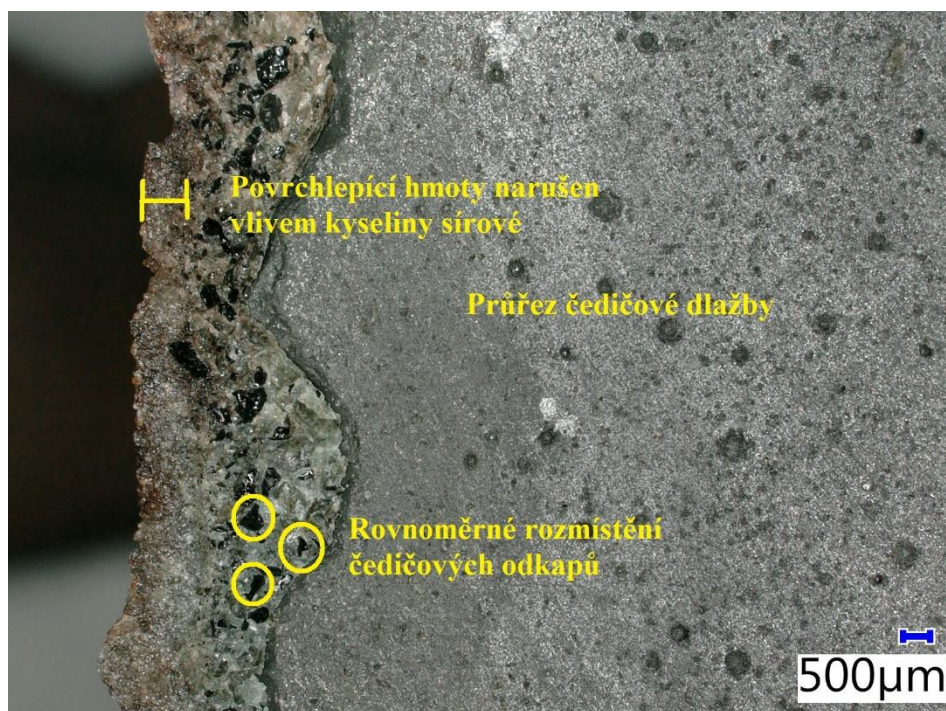
Povrch lepicí hmoty po působení H_2SO_4 –zvětšení 20x



Obrázek 48: Snímek z optického mikroskopu EP 1 FLEX s čedičovými odkapy a mastkem (40 %), zvětšení 20x

EP 1 FLEX–čedičové odkapy+vápencem v množství 40 % (24+16)

Boční pohled po působení H_2SO_4 –zvětšení 20x



Obrázek 49: Snímek z optického mikroskopu EP 1 FLEX s čedičovými odkapy a vápencem (40 %), zvětšení 20x

9.2.6 Návrh poloprovozní aplikace lepící hmoty v praxi

Nově vyvíjené lepící hmoty se plánují aplikovat při použití řetězových dopravníků neboli redlerů, které se používají pro horizontální dopravu například v zemědělských a zpracovatelských závodech. V těchto provozech a při dopravě materiálů je nutno uvažovat se zvýšeným chemickým namáháním a také se zvýšenou teplotou. Dopravníkové pásy jsou opatřené dlažbou z taveného čediče, která je pomocí lepící hmoty přilepena na kovovou konstrukci. Za tímto účelem bylo vyvinuto nové lepidlo, které bude sloužit pro uchycení této dlažby a zajistí nepřetržitý provoz i v těch nejnáročnějších podmínkách (Obr.50 – 52).



Obrázek 50: Aplikace lepící hmoty v praxi – referenční vzorek EP 1 FLEX, plnivo vápenec 60 %, tloušťka lepící hmoty 5 mm



Obrázek 51: Aplikace lepící hmoty v praxi – referenční vzorek EP 1 FLEX, plnivo čedičové odkapy+mastek 40 %, tloušťka lepící hmoty 5 mm



Obrázek 52: Aplikace lepicí hmoty v praxi–referenční vzorek PUR 1, plnivo čedičové odkapy+mastek 40 %, tloušťka lepicí hmoty 5 mm

9.2.7 Výběr nejvhodnější receptury

Na základě provedených pokročilých zkoušek v etapě IV bylo rozhodnuto, že jako nejvhodnější lepicí hmota do chemicky agresivního prostředí s možným výskytem zvýšené teploty se jevila lepicí hmota s pojivem epoxid EP 1 FLEX a plnivem čedičovými odkapy a mastkem s plněním 40 %. Tato receptura vykazovala nejvyšší hodnoty během jednotlivých zkušebních metod a také vykazovala vyšší hodnoty než referenční receptura.

Tabulka 52: Výsledná nově vyvinutá lepicí hmota z druhotné suroviny–plnivo č.odkapy+mastek, pojivo epoxid EP 1 FLEX

VÝSLEDNÁ NOVĚ VYVINUTÁ LEPIČÍ HMOTA Z DRUHOTNÉ SUROVINY PLNIVO ČEDIČOVÉ ODKAPY+MASTEK, POJIVO EPOXID EP 1 FLEX	
Složka	Obsah [%]
A (epox. pryskyřice)	41,8
B (tvrdidlo)	18,2
Čedičové odkapy+mastek	24,0+16,0
Σ	100,0

9.2.8 Orientační cenové porovnání nově vyvinutých lepicích hmot

Tabulka 53: Orientační cenové porovnání nově vyvinutých lepicích hmot

Pojivo	Plnivo	Obsah [%]	Cena lepicí hmoty [Kč bez DPH/kg]
REFERENČNÍ RECEPTURA			
EP 1 FLEX	Vápenec	60	65
PUR 1	Vápenec	60	137
VYVÍJENÁ LEPÍČÍ HMOTA Z DRUHOTNÉ SUROVINY			
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy	40	95
		50	80
PUR 1	Čedičové odkapy	40	204
		50	171
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	96
		30+20	81
PUR 1	Čedičové odkapy + vápenec	24+16	205
		30+20	172
EP 1 FLEX	Čedičové odkapy + mastek	24+16	107
		30+20	92
PUR 1	Čedičové odkapy + mastek	24+16	216
		30+20	183
Poznámka: v ceně je zahrnuta také předúprava surovin			

Na základě cenového porovnání je možné konstatovat, že polyuretanová lepidla jsou v průměru o 53 % dražší než epoxidová lepidla. Průměrná cena 1 kg lepicí hmoty epoxidového lepidla stojí asi 88 Kč bez DPH, naopak průměrná cena 1 kg lepicí hmoty polyuretanového lepidla stojí asi 184 Kč bez DPH.

Vliv přídavku druhotných surovin se zde z hlediska ceny projevil spíše negativně, protože do jejich ceny byla zahrnuta i jejich předúprava, která tyto hmoty nákladově prodražuje. Na druhé straně (viz kap. 9.2.7) se lepicí hmota s druhotnými surovinami vyznačuje vyšší chemickou odolností.

9.3 Shrnutí etapy IV

Cílem etapy IV bylo pokročilé testování a ověření některých pro praxi důležitých vybraných vlastností nově vyvinutých lepících hmot.

Největší důraz v této etapě byl kladen na samotné provedení jednotlivých zkoušek, z nichž nejdůležitější bylo stanovení tahové přídržnosti v chemicky náročném prostředí. Doba, při které byly vzorky vystaveny chemicky náročnému prostředí, byla 14 dnů. Je to doba, která dostačuje pro simulování agresivního prostředí v praxi, poněvadž řetězové dopravníky (redlery) jsou pohyblivé a materiál se na nich nezdržuje po delší dobu. Při této zkoušce bylo zjištěno, že nejvyšší tahovou přídržnost po působení kyselin, konkrétně kyseliny sírové, dosahoval vzorek obsahující čedičové odkapy a mastek s plněním 40 % a pojivem epoxid EP 1 FLEX. Hodnota tahové přídržnosti u tohoto vzorku byla stanovena na 4,80 MPa. Při působení kyseliny sírové po dobu 14 dnů došlo k poklesu tahové přídržnosti o 20 %. Dále vykazoval velmi dobrou tahovou přídržnost vzorek obsahující čedičové odkapy a mastek s plněním 40 % a pojivem polyuretan PUR 1. Hodnota tahové přídržnosti u tohoto vzorku byla stanovena na 4,30 MPa. Při působení kyseliny octové po dobu 14 dnů došlo k poklesu tahové přídržnosti o 12 %. Naopak nejnižší hodnoty tahové přídržnosti po působení agresivních látek vykazoval vzorek obsahující pouze čedičové odkapy s plněním 40 % a pojivem polyuretan PUR 1. Hodnota tahové přídržnosti u tohoto vzorku byla stanovena na 2,30 MPa. Při působení kyseliny octové po dobu 14 dnů došlo k poklesu tahové přídržnosti o 47 %. Při porovnání vzorků, které vykazovaly nejvyšší hodnoty tahové přídržnosti po působení agresivních látek a obsahovaly druhotné suroviny, můžeme tvrdit, že vyhověly požadavkům, poněvadž vykazovaly vyšší hodnoty než vzorky referenční. Tyto vzorky vykazovaly hodnoty o 10 % vyšší než referenční vzorky. Dále můžeme konstatovat, že epoxidová lepidla velmi dobře odolávají působení kyselin, konkrétně kyselině sírové a jsou odolnější v agresivním prostředí než polyuretanová lepidla. Dále byla v této etapě zkoumána tahová přídržnost v náročném tepelném prostředí. Nejvyšší hodnotu tahové přídržnosti vykazoval vzorek obsahující čedičové odkapy a mastek s plněním 40 % a pojivem epoxid EP 1 FLEX. Hodnota tahové přídržnosti u tohoto vzorku byla stanovena na 5,6 MPa. Při působení náročného tepelného prostředí 55 °C po dobu 14 dnů došlo k poklesu tahové přídržnosti o 7 %. V případě plnění 50 % byla hodnota tahové přídržnosti 5,2 MPa a pokles pouze 5 %. Dále vykazoval vyšší hodnoty vzorek obsahující pouze čedičové odkapy s plněním 40 % a pojivem epoxid EP 1 FLEX. Hodnota tahové přídržnosti u tohoto vzorku byla stanovena na 5,0 MPa. Při působení náročného tepelného prostředí 55 °C po dobu 14 dnů došlo k poklesu tahové přídržnosti o 9 %. V případě plnění 50 % byla hodnota tahové přídržnosti 4,2 MPa a pokles taktéž 9 %. Při porovnání vzorků, které vykazovaly nejvyšší hodnoty tahové přídržnosti po působení náročného tepelného prostředí a obsahovaly druhotné suroviny můžeme tvrdit, že vyhověly požadavkům, poněvadž vykazovaly vyšší hodnoty než vzorky referenční. Tyto vzorky vykazovaly

hodnoty o 7 – 20 % vyšší než referenční vzorky. Z těchto výsledků je možné tvrdit, že lepicí hmota obsahující vyšší dávku plniv je odolnější vůči působení vyšších teplot. Také můžeme konstatovat, že všechny vzorky z epoxidového lepidla vykazují vyšší hodnoty tahové přídržnosti než vzorky z polyuretanu. Avšak u vzorků z polyuretanu byl pozorován menší pokles tahové přídržnosti, tudíž můžeme tvrdit, že tyto vzorky jsou odolnější vůči působení vyšších teplot.

Dále byla v této etapě zkoumána mrazuvzdornost lepicí hmoty, která byla následně vyhodnocena zkoušením tahové přídržnosti. Nejvyšší hodnotu tahové přídržnosti vykazoval vzorek obsahující čedičové odkapy a mastek s plněním 40 % a pojivem epoxid EP 1 FLEX. Hodnota tahové přídržnosti u tohoto vzorku byla stanovena na 5,3 MPa. Při zkoušení mrazuvzdornosti s celkovým počtem 25 cyklů došlo k poklesu tahové přídržnosti o 12 %. V případě plnění 50 % byla hodnota tahové přídržnosti 4,9 MPa a pokles 11 %. Dále vykazoval vyšší hodnoty vzorek obsahující pouze čedičové odkapy s plněním 40 % a pojivem epoxid EP 1 FLEX. Hodnota tahové přídržnosti u tohoto vzorku byla stanovena na 4,8 MPa. Při zkoušení mrazuvzdornosti s celkovým počtem 25 cyklů došlo k poklesu tahové přídržnosti o 13 %. V případě plnění 50 % byla hodnota tahové přídržnosti 4,0 MPa a pokles 13 %. Při porovnání vzorků, které vykazovaly nejvyšší hodnoty tahové přídržnosti po působení mrazu a obsahovaly druhotné suroviny můžeme tvrdit, že vyhověly požadavkům, poněvadž vykazovaly vyšší hodnoty než vzorky referenční. Tyto vzorky vykazovaly hodnoty o 9 – 17 % vyšší než referenční vzorky. Z těchto výsledků je patrné, že vyšší dávka plniva téměř neovlivnila vlastnosti lepicí hmoty po působení mrazu. Při porovnání poklesu tahové přídržnosti epoxidové a polyuretanové lepicí hmoty bylo zjištěno, že pokles byl u obou hmot téměř identický.

V pokročilém testování byly také zkoumány tahové a ohybové vlastnosti, kdy se pomocí automatického lisu stanovila pevnost v tahu při přetržení a poměrné prodloužení při přetržení. Nejvyšší pevnost v tahu vykazoval vzorek obsahující pouze čedičové odkapy s plněním 40 % a pojivem epoxid EP 1 FLEX. Hodnota pevnosti v tahu u tohoto vzorku byla stanovena na 21,45 MPa a poměrné prodloužení bylo 0,41 %. V případě plnění 50 % byla hodnota pevnosti v tahu 11,05 MPa a poměrné prodloužení 1,59 % z čehož můžeme tvrdit, že se zvyšujícím se obsahem plniv a snižujícím se obsahem pojiv se snižuje hodnota pevnosti v tahu, avšak narůstá poměrné prodloužení. Při porovnání referenčních vzorků a vzorků s druhotnými surovinami nevyhověl pouze vzorek, který obsahoval pouze čedičové odkapy a pojivo polyuretan PUR 1. Na základě výsledků je možné konstatovat, že vzorky obsahující epoxidové lepidlo vykazují vyšší hodnotu pevnosti v tahu než vzorky obsahující polyuretanové lepidlo a také je u těchto vzorků nižší poměrné prodloužení. Dále bylo v této etapě zkoušeno dynamické cyklické mechanické namáhání s celkovým počtem 10 cyklů. Při této zkoušce bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty vykazoval vzorek obsahující čedičové odkapy a mastek s plněním 40 % a pojivem epoxid EP 1 FLEX. Hodnota u tohoto vzorku byla stanovena na 4,9 MPa. Vzorek obsahující čedičové odkapy a mastek

s plněním 40 % a pojivem polyuretan PUR 1 vykazoval hodnotu 4,3 MPa, tedy o 7 % nižší. Referenční vzorek pak vykazoval hodnotu 4,1 MPa. Z výsledků je možné říct, že epoxidová lepidla jsou odolnější vůči střídavému zatěžování než polyuretanová lepidla. Dále byla v této etapě zkoumána mikrostruktura porušených vzorků, která přispěla pro lepší vyhodnocení porušených vzorků.

Následně zde byla provedena simulace lepicí hmoty v praxi, která znázorňuje uchycení dlažby z taveného čediče ke kovovému podkladu. Lepicí hmota byla aplikována v tloušťce 5 mm.

V poslední fázi této etapy bylo provedeno cenové porovnání lepicích hmot, kdy se jako nejlevnější varianta jevil referenční vzorek s vápencem.

Technicky nejlepší vzorek, který obsahoval čedičové odkapy a mastek s pojivem epoxid EP 1 FLEX a plněním 40 %, a který vykazoval během pokročilého zkoušení nejvyšší hodnoty je pouze o 30 % dražší.

ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce byl vývoj a výzkum průmyslové lepicí hmoty určené k upevnování prvků z taveného čediče ke kovovým podkladům. Lepicí hmoty budou využívány krátkodobě v prostředí s vysokým chemickým namáháním za zvýšených teplotních podmínek. Práce si také kladla za důraz ověřit možnosti využití druhotných surovin v podobě plniv, které by při současném zachování nebo zlepšení některých vlastností mohly nahradit primární plnivo.

Na základě provedených rešerší lepicích hmot, které jsou nabízené na trhu pro ukládání nenasákavých prvků do chemicky náročného prostředí, bylo zjištěno, že nejvhodnější jsou hmoty na bázi epoxidu a polyuretanu. Vyvíjená lepidla byla experimentálně zkoumána ve dvou kvalitativních úrovních: s primárními a druhotnými surovinami.

Zásadním krokem pro splnění požadovaných vlastností nově vyvíjené lepicí hmoty byl výběr vhodných primárních i druhotných surovin. Jako primární surovina pro tzv. referenční vzorek byl vybrán vápenec, který lépe splňoval základní vlastnosti než mastek. Jako zástupce druhotné suroviny byly vybrány čedičové odkapy v kombinaci s mastkem. Referenční vzorek obsahoval 60 % plniva a 40 % pojiva. Vzorky s druhotnými surovinami obsahovaly 40 % a 50 % plniva.

Z dosažených výsledků bylo jednoznačně experimentálně prokázáno, že nejvhodnější recepturou byla epoxidová lepicí hmota s plněním 60 % pojivo EP 1 FLEX a 40 % plnivo, kde plnivo bylo složeno z 24 % čedičových odkapů a 16 % mastku. U tohoto vzorku byla zjištěna vcelku unikátní základní tahová přídržnost 6,0 MPa k tavenému čediči a 5,5 MPa k plechové desce. V případě působení chemicky agresivních látek, konkrétně kyseliny sírové, byl u výsledné nově vyvinuté lepicí hmoty zaznamenán pokles přídržnosti o 20 % na hodnotu 4,8 MPa. Dále bylo zjištěno, že tato nově vyvinutá hmota velmi dobře odolává při působení vyšších teplot, kdy byl zaznamenán pokles tahové přídržnosti o 7 % na hodnotu 5,6 MPa. Tato hmota byla také vystavena působení mrazu, kdy po 25 cyklech vykazovala vyšší hodnoty oproti ostatním vzorkům. Konkrétně byl zaznamenán pokles tahové přídržnosti o 12 % a hodnota činila 5,3 MPa. Dále byly zkoumány tahové vlastnosti, kde výsledná nově vyvinutá lepicí hmota nedosáhla nejvyšších výsledků oproti ostatním zkoušeným recepturám, avšak hodnota pevnosti v tahu, která činila 14,07 MPa více jak dvojnásobně převyšila hodnotu pevnosti v tahu u referenčního vzorku, která činila 5,42 MPa. V rámci těchto zkoušek bylo také stanoveno poměrné prodloužení při přetržení, kdy lepicí hmota vykazovala hodnotu 2,03 %. Tato hodnota byla více jak pětinašobně nižší než hodnota u referenční receptury, která činila 10,80 %. V neposlední řadě bylo zkoušeno dynamické cyklické mechanické namáhání, kde lepicí hmota vykazovala nejvyšší hodnoty. Konkrétně zde byla naměřena hodnota 4,9 MPa oproti receptuře z polyuretanu, která vykazovala hodnotu 4,3 MPa. V porovnání s referenční recepturou však vyhověly obě receptury, poněvadž referenční receptura vykazovala hodnotu pouze 4,1 MPa.

Rovněž bylo provedeno orientační cenové porovnání lepících hmot. Výsledná nově vyvinutá lepící hmota, která obsahovala čedičové odkapy a mastek s pojivem epoxid EP 1 FLEX a plněním 40 %, a která vykazovala během pokročilého zkoušení nejvyšší hodnoty je o pouze 30 % dražší. Je to dáno tím, že lepící hmota s primární surovinou, která obsahuje pouze vápenec stojí 65 Kč bez DPH/1 kg, přičemž nově vyvinutá lepící hmota stojí 107 Kč bez DPH/1 kg. Větší cenový rozdíl, který nastal mezi vzorkem s primární surovinou a nově vyvinutou lepící hmotou můžeme vysvětlit pouze odlišnou cenou vápence a mastku. Ověření možnosti náhrady primárního plniva alternativní druhotnou surovinou při zachování nebo zlepšení fyzikálně mechanických vlastností a odolností při použití v chemicky agresivním prostředí s možnou zvýšenou teplotou bylo dle získaných výsledků jednoznačně docíleno. Na základě získaných výsledků se ukázalo, že obsah druhotné suroviny, tedy čedičových odkapů v kombinaci s mastkem, výrazně zlepšuje nejdůležitější zkoumanou vlastnost, kterou byla tahová přídržnost. Dále můžeme říct, že pozitivně působí na lepící hmotu při chemickém i tepelném namáhání, mrazuvzdornosti a ostatních zkoušených parametrech. Takto výrazné zlepšení vlastností lze vysvětlit pravidelnou křivkou zrnitosti, tvarovým indexem a tvrdostí jednotlivých zrn čedičových odkapů v kombinaci s velmi vysokým měrným povrchem mastku. Jedná se v podstatě o hybridní plnivo, kde se zrna řádně zakomponují do pryskyřice, přičemž jejich rozložení bylo sledováno pomocí optického mikroskopu.

Závěrem této práce lze podotknout, že veškeré stanovené cíle práce byly beze zbytku splněny. V případných budoucích etapách výzkumu by bylo vhodné se zaměřit na konkrétní typy prostředí, ve kterých se vyvinutá lepící hmota bude aplikovat a provést studium sledovaných vlastností v delším časovém horizontu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Oldest Glue Discovered. In: *Archeology Archive* [online]. b.r. [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: <https://archive.archaeology.org/online/news/glue.html>
- [2] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky ve stavebnictví*. Brno: CERM, 1968. ISBN 80-214-1148-1.
- [3] HAVRÁNEK, Tomáš. *Vizualizace normálového a tečného napětí u lepených spojů*. Brno, 2017, 76 s. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy. Vedoucí práce doc. Ing. Michal Černý, CSc.
- [4] DROCHYTKA, Rostislav. *Keramické obklady a dlažby*. 1. vyd. Hradec Králové: VEGA, 2000. ISBN 80-900-8605-5.
- [5] Označení lepících hmot. In: *Cech obkladačů ČR* [online]. b.r. [cit. 2019-08-01]. Dostupné z: <https://www.cech-obkladacu.cz/informace/znaceni-lepicich-hmot/>
- [6] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006, ISBN 80-7080-617-6
- [7] ŠPIČÁK, P., *Polyuretany využívané v technologii tváření*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické – Fakulta strojního inženýrství, 2009.
- [8] BOUTEVIN, B., *Silicon-Containing Polymers*, ed. RG Jones et al., Springer, Netherlands, 2000, 79-112, ISBN 978-1-4020-0348-6
- [9] Technologie a technika lepení – základní informace. [online]. b.r. [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- [10] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. Praha 1: SNTL, 1974.
- [11] ČERNOCH, S., *Strojně technická příručka*. Svazek 1. Kapitola 6.1.9, s. 672-679. 13. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1977.
- [12] FREJDIN, Anatolij. *Pevnosť a životnosť lepených spojov*. 1., slov. vyd. Bratislava: Alfa, 1988. Edícia chemickej literatúry (Alfa).

- [13] JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. *Nerostné suroviny a jejich použití*. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3.
- [14] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty* [online]. 3. vyd. Praha, 2013 [cit. 2019-08-20]. ISBN: 978-80-260-4972-2
Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/sh/SH3v1.pdf>
- [15] KOUKAL, František. *Tavený čedič a jeho praktické využití*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [16] GREGEROVÁ, Miroslava. *Petrografie technických hmot*. Skripta PřF Masarykovy univerzity v Brně, 1966, 139 s.
- [17] *Materia: Global network in the area of innovative materials* [online] b.r. [cit. 2019-09-02]. Dostupné z: <https://materialdistrict.com/material/basalt-tiles/basalt-tilesnst087-1/>
- [18] REDLERY NAVZAS s.r.o.: *Charakteristika a popis řetězových dopravníků-redlerů* [online]. 2010 [cit. 2019-09-05]. Dostupné z: <http://www.navzas.cz/doc/redlery>
- [19] KRIST, E, KRIVÝ, M., *Petrológia*. Alfa, Bratislava, 464 s.
- [20] PELIKÁN, Antotín. *Tavené horniny: výrobky a jejich použití v průmyslu*. 1. vyd. Praha: Práce, 1955, Knižnice ROH-Svazu zaměstnanců v průmyslu sklářském a keramickém.
- [21] ČSN EN 197-1. *Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [22] WYPYCH, George. *Handbook of fillera*. 4rd ed. Toronto: ChemTec Pub, 2016. ISBN 978-1895198-416.
- [23] PYTLÍK, Petr. *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1123-6.
- [24] MEISSNER, Bohumil a Václav ZILVAR. *Fyzika polymerů: struktura a vlastnosti polymerních materiálů: celostátní vysokoškolská učebnice pro studenty vysokých škol chemicko-technologických studijního oboru 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.

- [25] *Mineralogy Database*. [online]. [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <http://webmineral.com/>
- [26] PETRÁNEK, Jan. *Kaolin*. [online]. [cit. 2019-09-17]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?kaolin>
- [27] HONS, Richard Jan. *Atlas našich hornin*. 1. vyd. Praha: ALADIN agency, 2017. 200 s. ISBN 978-80-906737-4-8.
- [28] *Odes, Zpracování pneumatik* [online]. [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <http://www.odes.cz/technologie/zpracovani-pneumatik>
- [29] *Dřevozávod Pražan, Piliny a štěpka* [online]. [cit. 2019-09-20]. Dostupné z: <http://www.drevozavod-prazan.cz/piliny-a-stepka>
- [30] SEVERA, T., FRÁNA, J., *Rekultivace a využití elektrárenských popílků*. České Budějovice, 2005.
- [31] BAYER, P., *Vliv popílku na vlastnosti cementových malt*. Bakalářská práce. Brno: VUT – Fakulta chemická, 2012.
- [32] Výzkumný ústav maltovin Praha, *Popílek a jeho využití do betonu*. Praha: Svaz výrobců cementu ČR, Výzkumný ústav maltovin Praha, spol. s.r.o.
- [33] GALVÁNKOVÁ, L. *Možnosti využití vedlejších energetických produktů jako surovin pro hydrotermální reakce*. Brno: VUT Fakulta Chemická, Ústav chemie materiálů, 2015. FCH-DIP0866/2014.
- [34] OHAREK, M., J., *Odlučovače popílku*. Mělník: Integrovaná střední škola technická Mělník, 2012.
- [35] HELA, R. *Příměsi do betonu*. Brno: Fakulta stavební VUT, 2015.
- [36] DROCHYTKA, R., MATULOVÁ, P., *Lehké stavební látky, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2006*.
- [37] *Hrubá struska. Uhelné sklady Šenov* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://uhelneskladysenov.cz/struska/hruba-struska/>
- [38] *Recyklace Opava* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.recyklaceopava.cz/ostatni-materialy>

- [39] ŠIKRAL, Martin., *Posouzení vhodnosti lokálních zdrojů plniv pro potěry na bázi anhydritu*. Bakalářská práce. Brno: VUT – Fakulta stavební, 2018.
- [40] KOTZ, et al., *Chemistry and Chemical Reactivity*. ISBN 05349999766X
- [41] FERRIER, E., RABINOVITCH, O., MICHEL, E. Mechanical behavior of concrete-resin/adhesive-FRP structural assemblies under low and high temperatures. *Construction and Building Materials*. Volume 127, November 2016, pages 1017-1028, b.r. ISSN 0950-0618.
- [42] ČSN EN 12004+A1. *Lepidla pro obkladové prvky – Požadavky, používání shody, klasifikace a označování*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [43] *Popilek. Elektrárny Opatovice a.s.* [online]. [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <http://www.eop.cz/popilek>
- [44] *Beton ze dřeva. Piliny s cementem fungují dle výzkumů překvapivě dobře* [online]. [cit. 2019-10-28]. <https://www.estav.cz/cz/6471.beton-ze-dreva-piliny-s-cementem-funguji-dle-vyzkumu-prekvapive-dobre>
- [45] *Piliny. Pila Belcredi* [online]. [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.belcredi.cz/>
- [46] *Nakládání se starými pneumatikami. Ecoservis* [online]. [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <http://www.ecoservis.eu/nakladani-se-starymi-pneumatikami>
- [47] ČSN EN 1542. *Výrovky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení soudržnosti odtrhovou zkouškou*, 2000.
- [48] BERGEROVÁ, Kamila., *Vývoj lepicí hmoty pro instalaci čedičových prvků na silikátový podklad v náročných expozičních podmínkách*. Diplomová práce. Brno: VUT – Fakulta stavební, 2018.
- [49] *Pneumatiky*. [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <http://old.mssch.cz/1997-1999/ocs/cefic/oc/index.html>
- [50] *PneuPoradna. Z čeho se vyrábí pneumatiky?* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://pneuporadna.cz/vse-o-pneu/z-ceho-se-vyrabi-pneumatiky>

- [51] *Tavené horniny. Institut geologického inženýrství Hornicko-geologická fakulta. Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství Fakulta stavební. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/tavene_horniny.html
- [52] *KALENBORN. Wear protection for plant components and pipe systems.* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.kalenborn.com>
- [53] ČSN 73 1322. *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*, 1969.
- [54] ČSN EN ISO 527-1 (2). *Stanovení tahových vlastností. Část 1: Obecné principy*, 2012.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Rozdělení jednotlivých druhů lepicích hmot [4 – 8].....	14
Tabulka 2: Označení lepicích hmot [5]	15
Tabulka 3: Specifikace jednotlivých druhů podkladů a vhodných lepicích hmot [4]	16
Tabulka 4: Vlastnosti taveného čediče [14]	20
Tabulka 5: Výsledky zkoušek chemické odolnosti taveného čediče proti různým kyselinám za varu [15].....	21
Tabulka 6: Požadavky na cementová lepidla (C) [42]	40
Tabulka 7: Požadavky na lepidla na bázi reaktivních pryskyřic (R) [42]	41
Tabulka 8: Přehled lepicích hmot dostupných na českém trhu [4 – 6].....	42
Tabulka 9: Cenové porovnání lepicích hmot dostupných na českém trhu v roce 2019	43
Tabulka 10: Základní charakteristiky použitého vápence VMV 15-F	46
Tabulka 11: Chemické složení vápence [%]	47
Tabulka 12: Základní charakteristiky použitého mastku IMIFABI	48
Tabulka 13: Chemické složení mastku [%].....	49
Tabulka 14: Základní charakteristiky použitého popílku KP-OPAT	50
Tabulka 15: Chemické složení popílku [%]	50
Tabulka 16: Základní charakteristiky použitých pilin.....	51
Tabulka 17: Chemické složení pilin [%]	52
Tabulka 18: Základní charakteristiky použitého obrusu z pneumatik.....	55
Tabulka 19: Chemické složení obrusu z pneumatik dle akreditované laboratoře ALS CZECH REPUBLIC [%]	55
Tabulka 20: základní charakteristiky použitých čedičových odkapů.....	56
Tabulka 21: Chemické složení čedičových odkapů [%]	57
Tabulka 22: Receptura z primárních surovin–epoxid EP 1 FLEX–vápenec.....	58
Tabulka 23: Receptura z primárních surovin–epoxid EP 1 FLEX–mastek.....	58
Tabulka 24: Receptura z primárních surovin–polyuretan PUR 1–vápenec	58
Tabulka 25: Receptura z primárních surovin–polyuretan PUR 1–mastek	59
Tabulka 26: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–čedičové odkapy	59
Tabulka 27: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–čedičové odkapy+vápenec	59
Tabulka 28: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–čedičové odkapy+mastek.....	60
Tabulka 29: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–piliny	60
Tabulka 30: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–obrus z pneumatik	60

Tabulka 31: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–epoxid EP1 FLEX–popílek	60
Tabulka 32: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–čedičové odkapy	61
Tabulka 33: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–čedičové odkapy+vápenec	61
Tabulka 34: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–čedičové odkapy+mastek.....	61
Tabulka 35: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–piliny	61
Tabulka 36: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–obrus z pneumatik	62
Tabulka 37: Receptura lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny–polyuretan PUR 1–popílek	62
Tabulka 38: Možné typy porušení při stanovení přídržnosti [48]	66
Tabulka 39: Stanovení tahové přídržnosti a objemové hmotnosti v zatvrdlém stavu.....	67
Tabulka 40: Porušení při stanovení přídržnosti–receptury z primárních surovin (vápenec) s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1	72
Tabulka 41: Porušení při stanovení přídržnosti–receptury z primárních surovin (mastku) s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1	73
Tabulka 42: Porušení při stanovení přídržnosti–receptury lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem EPOXID EP 1 FLEX	74
Tabulka 43: Porušení při stanovení přídržnosti–receptury lepicí hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem POLYURETAN PUR 1	75
Tabulka 44: Referenční receptura–plnivo vápenec, pojivo epoxid EP 1 FLEX	80
Tabulka 45: Referenční receptura–plnivo vápenec, pojivo polyuretan PUR 1	80
Tabulka 46: Vytvořená lepicí hmota z druhotné suroviny–pojivo epoxid EP 1 FLEX.....	81
Tabulka 47: Vytvořená lepicí hmota z druhotné suroviny–pojivo polyuretan PUR 1	81
Tabulka 48: Vyhodnocení tahové přídržnosti po chemickém namáhání	85
Tabulka 49: Vyhodnocení tahové přídržnosti po tepelném namáhání v sušárně (55 °C) ...	87
Tabulka 50: Vyhodnocení tahové přídržnosti po zkoušení mrazuvzdornosti (25 cyklů)....	89
Tabulka 51: Vyhodnocení tahových vlastností	91
Tabulka 52: Výsledná nově vyvinutá lepicí hmota z druhotné suroviny–plnivo č.odkapy+mastek, pojivo epoxid EP 1 FLEX	97
Tabulka 53: Orientační cenové porovnání nově vyvinutých lepicích hmot.....	98

Seznam obrázků

Obrázek 1: Adheze a koheze [3].....	13
Obrázek 2: Zatěžování lepeného spoje [10]	18
Obrázek 3: Pískové formy pro odlévání čedičových výrobků [13].....	19
Obrázek 4: Chlazení výrobků v tunelové peci-počátek ochlazovacího procesu [13].....	20
Obrázek 5: Chlazení výrobků v tunelové peci-konec ochlazovacího procesu [13]	20
Obrázek 6: Tabulka 6: Formáty čedičové dlažby a různou povrchovou úpravou [17]	22
Obrázek 7: Princip řetězového dopravníku (redleru) [18].....	22
Obrázek 8: Čedičová kanalizace [15].....	23
Obrázek 9: Čedičový obklad betonového potrubí [15]	23
Obrázek 10: Křemičitý písek [25]	27
Obrázek 11: Kaolin [26].....	27
Obrázek 12: Muskovitová drť [25].....	28
Obrázek 13: Biotitový písek [25].....	28
Obrázek 14: Granulát z pneumatik frakce 1 – 3 mm [28].....	29
Obrázek 15: Piliny [29]	30
Obrázek 16: Vysokoteplotní popílek [32]	31
Obrázek 17: Fluidní ložový popel (vlevo) a fluidní filtrový popílek (vpravo) [32].....	31
Obrázek 18: Granulovaná vysokopecní struska, frakce 0,25 – 1 mm [37]	32
Obrázek 19: Vápenec použitý jako primární plnivo do lepicích hmot.....	47
Obrázek 20: Mastek jako primární plnivo do lepicích hmot.....	49
Obrázek 21: Vysokoteplotní popílek použitý jako plnivo do vyvíjených lepicích hmot	50
Obrázek 22: Piliny použité jako plnivo do vyvíjených lepicích hmot	52
Obrázek 23: Obrus z pneumatik frakce 1 – 10 mm použitý jako plnivo do vyvíjených lepicích hmot.....	55
Obrázek 24: Pomleté čedičové odkapy použité jako plnivo do vyvíjených lepicích hmot.	57
Obrázek 25: Příprava lepicí hmoty-receptura z primárních surovin–epoxid EP 1 FLEX–mastek (60 %).....	63
Obrázek 26: Čedičová dlažba připravena na aplikaci lepicí hmoty pro stanovení tahové přídržnosti.....	64
Obrázek 27: Aplikace lepicí hmoty PUR 1.....	64
Obrázek 28: Aplikace lepicí hmoty PUR 1.....	64
Obrázek 29: Zkoušené lepicí hmoty po stanovení tahové přídržnosti na čedičové dlažbě, receptura PUR 1 vápenec (vlevo) a obrus z pneumatik (vpravo).....	65
Obrázek 30: Zkoušené lepicí hmoty po stanovení tahové přídržnosti na plechovou desku, s porušením v podkladu	65
Obrázek 31: Silikonová forma.....	66
Obrázek 32: Silikonová forma s lepicí hmotou.....	66

Obrázek 33: Příprava vzorků pro chemicky náročné prostředí vlevo: vzorek připravený pro aplikaci lepicí hmoty vpravo: vzorek po aplikaci lepicí hmoty EP 1 FLEX a terče	82
Obrázek 34: Uložení vzorků v chemicky agresivním prostředí H ₂ SO ₄ (v exsikátoru), EP 1 FLEX	82
Obrázek 35: Vzorky v chemicky agresivním prostředí CH ₃ COOH (v exsikátoru), po 14–ti dnech, PUR 1	83
Obrázek 36: Vzorky EP 1 FLEX vyjmuté z chemicky agresivního prostředí H ₂ SO ₄ , zbavené nesoudržných nečistot.....	83
Obrázek 37: Stanovení tahové přídržnosti, vzorek EP 1 FLEX s čedičovými odkapy a mastkem.....	84
Obrázek 38: Vzorky připravené pro umístění do náročného tepelného prostředí.....	86
Obrázek 39: Vzorky připravené pro stanovení tahové přídržnosti po náročném tepelném prostředí.....	86
Obrázek 40: Příprava vzorků pro odtrh.....	88
Obrázek 41: Vzorky po odzkoušení přídržnosti	88
Obrázek 42: Porušení vzorku v lepidle Sikadur při zkoušení přídržnosti	88
Obrázek 43: Vzorky pro stanovení tahových vlastností (typ 1BA)	90
Obrázek 44: Stanovení pevnosti v tahu (zkušební tělesa opatřená extenzometrem).....	90
Obrázek 45: Snímek z optického mikroskopu LEICA povrchu hmoty EP 1 FLEX s čedičovými odkapy (40 %), zvětšení 20x.....	93
Obrázek 46: Snímek z optického mikroskopu LEICA hmoty PUR 1 s čedičovými odkapy (40 %), zvětšení 50x	94
Obrázek 47: Snímek z optického mikroskopu LEICA hmoty PUR 1 s čedičovými odkapy (40 %), zvětšení 50x	94
Obrázek 48: Snímek z optického mikroskopu EP 1 FLEX s čedičovými odkapy a mastkem (40 %), zvětšení 20x	95
Obrázek 49: Snímek z optického mikroskopu EP 1 FLEX s čedičovými odkapy a vápencem (40 %), zvětšení 20x	95
Obrázek 50: Aplikace lepicí hmoty v praxi–referenční vzorek EP 1 FLEX, plnivo vápenec 60 %, tloušťka lepicí hmoty 5 mm	96
Obrázek 51: Aplikace lepicí hmoty v praxi–referenční vzorek EP 1 FLEX, plnivo čedičové odkapy+mastek 40 %, tloušťka lepicí hmoty 5 mm.....	96
Obrázek 52: Aplikace lepicí hmoty v praxi–referenční vzorek PUR 1, plnivo čedičové odkapy+mastek 40 %, tloušťka lepicí hmoty 5 mm.....	97

Seznam grafů

Graf 1: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru–vápenec VMV 15–F.....	47
Graf 2: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru–mastek IMIFABI.....	48
Graf 3: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru–popílek KP–OPAT.....	50
Graf 4: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru–piliny.....	52
Graf 5: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru–obrus z pneumatik Tasy s.r.o.	55
Graf 6: Křivka zrnitosti dle síťového rozboru–čedičové odkapy z výroby.....	56
Graf 7: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu–receptury z primárních surovin, pojivo epoxid a polyuretan.....	69
Graf 8: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu–receptura lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny a pojivem EPOXID EP 1 FLEX.....	69
Graf 9: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu–receptura lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny a pojivem EPOXID EP 1 FLEX.....	70
Graf 10: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu–receptura lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny a pojivem POLYURETAN PUR 1.....	70
Graf 11: Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu–receptura lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny a pojivem POLYURETAN PUR 1.....	71
Graf 12: Přídržnost-receptury z primárních surovin (vápenec) s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1 k tavenému čediči a plechové desce.....	71
Graf 13: Přídržnost receptury z primárních surovin (mastku) s pojivem EPOXID EP 1 FLEX a POLYURETAN PUR 1 k tavenému čediči a plechové desce.....	72
Graf 14: Přídržnost vyvíjené lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem EPOXID EP 1 FLEX k tavenému čediči a plechové desce.....	73
Graf 15: Přídržnost vyvíjené lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem POLYURETAN PUR 1 k tavenému čediči a plechové desce.....	74
Graf 16: Přídržnost vyvíjené lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem EPOXID EP 1 FLEX k tavenému čediči a plechové desce.....	75
Graf 17: Přídržnost vyvíjené lepící hmoty s obsahem druhotné suroviny s pojivem POLYURETAN PUR 1 k tavenému čediči a plechové desce.....	76
Graf 18: Vyhodnocení tahové přídržnosti po chemickém namáhání.....	85
Graf 19: Vyhodnocení tahové přídržnosti po tepelném namáhání v sušárně (55 °C).....	87
Graf 20: Vyhodnocení tahové přídržnosti po zkoušení mrazuvzdornosti (25 cyklů).....	89
Graf 21: Vyhodnocení poměrného prodloužení při přetržení [%].....	91
Graf 22: Vyhodnocení pevnosti v tahu při přetržení [MPa].....	92
Graf 23: Vyhodnocení dynamického cyklického namáhání [MPa].....	92

Seznam zkratek

ČSN	Česká technická norma
EP 1 FLEX	Epoxidové lepidlo
EP	Epoxidová pryskyřice
EN	Evropská norma
PE	Polyetylén
PUR 1	Polyuretanové lepidlo
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid