



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

**STUDIUM FLEXIBILITY A ADHEZE
CEMENTOVÝCH LEPIDEL PŘI RŮZNÉM STUPNI
MODIFIKACE POLYMERNÍM POJIVEM**

STUDY OF DEFORMATION AND ADHESION OF CEMENT ADHESIVES AT DIFFERENT
STAGES OF POLYMERIC MODIFICATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Silvie Kozielová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018



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. Silvie Kozielová
Název	Studium flexibility a adheze cementových lepidel při různém stupni modifikace polymerním pojivem
Vedoucí práce	doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019
V Brně dne 31. 3. 2018	

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Maranhao et al. The Bond Strength Behavior of Polymer-modified Mortars During a Wetting and Drying Process, *Materials Research*, Vol. 18 (6), 2015, p. 1354–1361.

Wetzel, A. et al. Long-term study on failure mechanisms of exterior applied tilings, *Construction and Building Materials*, Vol 37, 2012, p. 335–348.

Winnefeld, F. Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength, *Construction and Building Materials*, Vol. 30, 2012, p. 426–438.

ČSN EN 12004, další příslušné technické normy a odborná literatura.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Polymercementová lepidla keramických obkladových prvků (dle ČSN EN 12004-1:2017) jsou dnes již neodmyslitelným materiálem při realizacích staveb všude tam, kde je nutno lepit bělninové, kameninové či zcela slinuté keramické obklady, stejně tak se využívají při pokládkách a obložení z přírodních či umělých kamenů, případě ze skla. Současným trendem je vzrůstající rychlost výstavby. Lepené porcelánové či skleněné prvky dosahují praktické nenasákavosti při téměř dokonalé hladkosti povrchů a také se na trhu stále častěji objevují extrémní rozměry obkladových prvků (i více než 5m²/kus). Zmíněné faktory značně navyšují požadavky na kvalitu polymercementových lepidel. Zejména pak schopnost lepidla deformovat se bez ztráty adheze k lepeným prvkům i při vysokých smykových či průhybových namáháních je dominantní při dnešních náročných aplikacích. V diplomové práci proveďte:

1. Za použití tuzemské a zahraniční odborné literatury zpracujte rešerši zaměřenou na polymery modifikované lepicí hmoty.
2. Porovnejte vlastnosti vybrané řady čtyř polymercementových lepidel se vzrůstající modifikací redispergovatelným polymerním práškem (dále jako RPP).
3. Dále porovnejte vlastnosti polymercementových lepidel, ve kterých budou použity dva chemicky odlišné typy RPP a dva odlišné typy plniv jakožto náhrada křemičitého kameniva.
4. Vlastnostmi lepidel je myšleno: a) stanovení adheze při různých klimatických uloženích dle ČSN EN 12004:2017, a dále b) stanovení deformovatelnosti lepidel dle ČSN EN 12004-2:2107 včetně kompletního pracovního diagramu při zatěžování.
5. Proveďte porovnání mikrostruktury zkoumaných lepidel a dále styku lepidel s nenasákavým obkladovým prvkem pomocí elektronové mikroskopie.

Rozsah práce 60–80 stran.

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).

Abstrakt

Obsah diplomové práce se zabývá studiem flexibility a adheze cementových lepidel keramických obkladových prvků, které jsou modifikovány polymerní přísadou. Sleduje se vliv množství a typu použitého redispergovatelného polymerního prášku na vlastnosti lepidel, především na deformovatelnost lepidel a jejich adhezi.

V rámci zpracování této práce jsou v teoretické části stručně uvedeny základní údaje týkající se rozdělení keramických obkladových prvků a informace o lepidlech, dále pak je zpracovaná část týkající se polymerem modifikovaných lepidel a účinky polymerních přísad na jejich vlastnosti. Praktická část se věnuje primárně studiu adheze a flexibility polymerem modifikovaných lepidel a studiu mikrostruktury vybraných hmot.

Klíčová slova

Polymer-cementová lepidla, adheze, flexibilita, redispergovatelný polymerní prášek

Abstract

The content of the diploma thesis deals with the study of the flexibility and adhesion of cement tile adhesives, which are modified by a polymeric additive. The effects of the quantity and type of redispersible polymer powder used on the properties of the adhesives, in particular on the deformability of adhesives and their adhesion, are monitored.

The theoretical part summarizes the basic data concerning classification of the ceramic tiles, information about the adhesives, the processed part concerning the polymer modified adhesives and the effects of the polymeric additives on their properties. The practical part deals primarily with the study of adhesion and flexibility of polymer modified adhesives and study of microstructure of selected materials.

Key words

Polymer-cement adhesives, adhesion, flexibility, redispersible polymer powder

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Silvie Kozielová *Studium flexibility a adheze cementových lepidel při různém stupni modifikace polymerním pojivem*. Brno, 2018. 84 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 7. ledna 2019

Bc. Silvie Kozielová
autor práce

Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce doc. Ing. Nikol Žižkové Ph.D. za odbornou pomoc při vypracování této práce a zaměstnancům firmy Profibaustoffe CZ, s.r.o. za technickou pomoc ve spolupráci s jejich vývojovým centrem.

OBSAH

1 ÚVOD	11
2 CÍL PRÁCE.....	12
3 TEORETICKÁ ČÁST	13
3.1 KERAMICKÉ OBKLADOVÉ PRVKY	13
3.1.1 Obecné informace.....	13
3.1.2 Dělení	13
3.2 LEPENÍ KERAMICKÝCH OBKLADOVÝCH PRVKŮ	14
3.2.1 Druhy lepidel.....	14
3.2.1.1 Cementová lepidla.....	14
3.2.2 Metody lepení.....	17
3.4 POLYMERY MODIFIKOVANÁ CEMENTOVÁ LEPIDLA.....	18
3.4.1 Materiálové složení polymer-cementových lepidel.....	18
3.4.2 Vlivy různého množství polymerní přísady na vlastnosti lepidla	21
3.4.2.1 Vliv přídavku polymeru na tahovou přídržnost lepidla.....	21
3.4.2.2 Smyková pevnost lepidla.....	23
3.4.2.3 Vliv přídavku polymerní přísady na flexibilitu lepidla	25
3.4.2.4 Vliv vlhkosti na vlastnosti lepidla.....	27
3.4.3 Použití polymerních přísad v lepidlech pro velké formáty prvků	29
3.4.3.1 Použité materiály	30
3.4.3.2 Provedené zkoušky.....	31
3.4.3.3 Výsledky studie	33
4 PRAKTICKÁ ČÁST	34
4.1 METODIKA PRÁCE.....	34
4.1.1 Etapa I – lepidla s odlišným množstvím polymerního prášku	35
4.1.2 Etapa II – lepidla s polymerním práškem odlišného typu.....	36
4.1.3 Etapa III – lepidla s lehčeným a nelehčeným kamenivem.....	37
4.1.3.1 Komerční produkt.....	38
4.1.4 Etapa IV – studium mikrostruktury na vybraných směsích	38
4.2 POUŽITÉ SUROVINY	39
4.2.1 Liaver.....	40

4.2.2 Gumový granulát.....	41
4.3 PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY	42
4.3.1 Zkoušení lepidel v čerstvém stavu.....	42
4.3.1.1 Stanovení konzistence zkouškou rozlití	42
4.3.1.2 Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu.....	42
4.3.1.3 Stanovení skluzu.....	42
4.3.1.4 Stanovení otevřené doby	43
4.3.2 Zkoušení lepidel v zatvrdlém stavu	44
4.3.2.1 Stanovení objemové hmotnosti zatvrdlého lepidla.....	44
4.3.2.2 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu	45
4.3.2.3 Stanovení pevnosti v tlaku.....	45
4.3.2.4 Stanovení tahové přídržnosti	46
4.3.2.5 Stanovení dynamického modulu pružnosti.....	47
4.3.2.6 Stanovení otevřené doby.....	48
4.3.2.7 Stanovení příčné deformace.....	48
4.3.2.8 Studium mikrostruktury	49
4.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	50
4.4.1 Vyhodnocení vlastností lepidel v čerstvém stavu.....	50
4.4.1.1 Vyhodnocení vlastností lepidel v čerstvém stavu z etapy I.....	50
4.4.1.2 Vyhodnocení vlastností lepidel v čerstvém stavu z etapy II.....	51
4.4.1.3 Vyhodnocení vlastností lepidel v čerstvém stavu z etapy III	53
4.4.2 Vyhodnocení vlastností lepidel v zatvrdlém stavu.....	54
4.4.2.1 Vyhodnocení vlastností lepidel v zatvrdlém stavu z etapy I.....	54
4.4.2.2 Vyhodnocení vlastností lepidel v zatvrdlém stavu z etapy II.....	59
4.4.2.3 Vyhodnocení vlastností lepidel v zatvrdlém stavu z etapy III.....	63
4.4.3 Mikrostruktura vybraných lepidel.....	70
4.4.3.1 Rastrovací elektronová mikroskopie.....	70
4.4.3.2 Diferenční termická analýza	72
5 SHRUTÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ	75
6 ZÁVĚR	80
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	82
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	84

1 ÚVOD

Tradiční obklady prošly v posledním desetiletí významnými změnami. Obrovský technologický vývoj umožnil vyrábět zcela nové formáty prvků. Zatímco se mozaiky zmenšily na rozměr hrany pod 10 mm, dlažby a obklady narostly do značných velikostí (délka hrany i přes 3 m). Díky tomuto rozvoji keramických prvků je potřeba inovovat lepidla pro jejich bezpečné a přesné kladení, se zárukou dosažení požadovaných vlastností.

Kvalitní obkladové materiály představují záruku funkčnosti a výborný estetický vzhled interiéru či exteriéru. Je však potřeba zmínit i materiály, které sice na první pohled nejsou vidět, ale bez kterých kvalitní a plně funkční obklad či dlažbu nevybudujeme. Jedná se především lepicí a spárovací hmoty, adhezivní můstky, hydroizolace a separační membrány. Polymer-cementová lepidla pro pokládku keramických obkladových prvků jsou dnes již neodmyslitelným materiálem při realizaci staveb, všude tam, kde je nutno lepit bělninové, kameninové či zcela slinuté keramické obklady. Stejně tak se využívají při pokládkách a obloženích z přírodních či umělých kamenů nebo ze skla. Současným trendem je vzrůstající rychlost výstavby. Lepené porcelánové či skleněné prvky dosahují praktické nenasákavosti a téměř dokonalé hladkosti povrchů. Na trhu se stále častěji objevují extrémní rozměry obkladových prvků, které přesahují plochu i 5 m²/kus. Tyto faktory značně navyšují požadavky na kvalitu polymer-cementových lepidel. Zejména pak schopnost lepidla deformovat se bez ztráty adheze k lepeným prvkům, i u vysokých smykových či průhybových namáhání, je dominantní při dnešních náročných aplikacích. Tato lepidla jsou doplněna speciálními přísadami, které zvyšují lepivost a přídržnost k podkladu, upravují tixotropní vlastnosti a zvyšují flexibilitu hmoty.

Tato diplomová práce byla provedena v rámci realizace projektu: Projekt z podpory MPO ČR, program TRIO, evidenční číslo projektu FV20606 s názvem „Technologie lepení velkoformátových obkladových prvků“.

2 CÍL PRÁCE

Díky velkému technologickému vývoji v oblasti keramických obkladových prvků, je možné v současné době vyrábět zcela nové formáty prvků. Na trhu se objevují obkladové prvky rozmanitých rozměrů. Jejich rozměry začínají již od délky hrany pod 10 mm (mozaiky) a narůstají do délky hrany až několik metrů, zároveň je snahou zmenšovat tloušťku prvků. Díky tomuto rozvoji keramických prvků je potřeba inovovat též lepidla pro jejich bezpečné a přesné kladení se zárukou dosažení požadovaných vlastností.

Cílem diplomové práce je:

- Sledování a vyhodnocení vlivu rostoucí dávky RPP na adhezi nelehčených lepidel uložených v různém prostředí a dopadů na jejich flexibilitu.
- Sledování a vyhodnocení vlivu stejné dávky různého typu RPP na adhezi nelehčených lepidel uložených v různém prostředí a dopadů na jejich flexibilitu.
- Sledování a vyhodnocení vlivu vylehčení a typu lehčiva (při stejné dávce RPP) na adhezi nelehčených a lehčených (Liaverem a gumovým granulátem) lepidel, v porovnání s konkurenčním produktem, uložených v různém prostředí a dopady na jejich flexibilitu.
- Studium mikrostruktury na vybraných polymer-cementových lepidlech.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 KERAMICKÉ OBKLADOVÉ PRVKY

3.1.1 Obecné informace

Keramické obkladové prvky (dále jako KOP) jsou tenkostěnné výrobky, které se používají pro obklady stěn a fasád (obkladačky) a dlažby (dlaždice), jsou glazované či neglazované. Česká republika je tradičním výrobcem keramických obkladových prvků, které lze rozdělit následovně:

- Keramická obkladačka – je obecně každý prvek sloužící k obkládání stěn. Nejčastěji se jimi rozumí obkladačka pórovinová, která je plochým, tenkostěnným a vždy glazovaným keramickým prvkem s nasákavostí nad 10 %. Používá se výhradně k obkladům stěn v interiéru [1].
- Keramická dlaždice – je prvek sloužící především ke kladení na podlahu. Dlaždice se vyrábí jako slinutý, nenasákavý, neglazovaný prvek. Disponuje vysokou odolností proti mechanickému poškození, dlaždice pro použití v exteriéru musí být mrazuvzdorné (v současnosti téměř všechny)[1].

3.1.2 Dělení

Keramické obkladové prvky se dělí dle normy ČSN EN 14411 ED. 3, podle způsobu výroby a nasákavosti.

Podle způsobu vytváření se dělí na:

- tažené ve vakuovém lise (A),
- za sucha lisované (B),
- vyrobené jiným způsobem např. odlévané (C).

Podle nasákavosti E se dělí na:

- KOP s nízkou nasákavostí: skupina I ($E \leq 3\%$),
- KOP se střední nasákavostí: skupina II ($3 \leq E \leq 10\%$),
- KOP s vysokou nasákavostí: skupina III ($E > 10\%$) [2].

3.2 LEPENÍ KERAMICKÝCH OBKLADOVÝCH PRVKŮ

Pro lepení keramických obkladových prvků rozeznáváme v principu tři typy lepidel, a to lepidla cementová, disperzní a z reaktivních pryskyřic. Nejrozšířenějšími lepidly pro keramické obkladové prvky jsou polymerem modifikovaná cementová lepidla.

3.2.1 Druhy lepidel

Lepidla pro keramické obkladové prvky se podle normy ČSN EN 12004-1: 2018 dělí na:

- cementová lepidla (C) – jsou složena z hydraulických pojiv, kameniva a organických přísad,
- disperzní lepidla (D) – jsou složena z organického pojiva či pojiv ve formě vodní polymerní disperze, organických přísad a minerálních plniv,
- lepidla z reaktivní pryskyřice (R) - jsou složena ze syntetické pryskyřice, minerálních plniv a organických přísad [3].

3.2.1.1 Cementová lepidla

Dle normy ČSN EN 12004-1: 2018 se jedná o lepidla typu (C), která se svým složením v praxi často označují jako polymer-cementová lepidla (obsahující polymerní přísady).

- Polymer-cementová lepidla

Polymer-cementová lepidla jsou nejrozšířenější lepicí hmotou, vhodnou do různých druhů provozů i podkladů. Jedná se o lepidlo na bázi cementu, doplněné speciálními přísadami, které zvyšují jeho lepivost a přídržnost k podkladu, nastavují jeho tixotropní vlastnosti a do jisté míry žádoucím způsobem snižují dynamický modul pružnosti, což se navenek projeví zvýšenou flexibilitou hmoty.

Polymerní přísady v lepidle mohou zlepšit jeho vlastnosti několika způsoby. Pro použití v lepidlech pro keramické obkladové prvky se obvykle používají 2 typy přísad, a to RPP a étery celulózy.

Primárním účinkem RPP v lepidlech je zvýšení smykové pevnosti, tahové pevnosti, adheze a lomové houževnatosti, neboť trhlinky, které vznikají v cementové matrici během vytvrzování, jsou přemostěny vytvořeným polymerním filmem nebo membránami, a zároveň se tak vytvoří vazby s hydratačními produkty a plnivem a také mezi lepidlem a lepeným prvkem. RPP v lepidlech mohou mít příznivý vliv na přídržnost k různým povrchům, jako je beton, cihly, dřevo, polystyren, sklo a kovy. Dalším účinkem použití RPP v lepidlech je zlepšení zpracovatelnosti v čerstvé směsi.

Primárním účinkem éterů celulózy při použití v lepidlech je retence vody a nastavení tixotropních vlastností čerstvé směsi. Výrazně také zlepšují jejich aplikační vlastnosti, což usnadňuje manipulaci s lepidlem při nanášení. Určité polymery mohou také oddálit počátek či konec tuhnutí, čímž ovlivňují dobu zpracovatelnosti čerstvé směsi.

Výroba polymer-cementových lepidel probíhá smícháním polymeru v dispergované, práškové nebo tekuté podobě s cementovou směsí. Reakce v polymerním lepidle spočívá v koalescenci částic nebo polymeraci monomerů [16].

Podle hodnoty přídržnosti k betonovému podkladu definuje norma ČSN EN 12004-1 cementová lepidla kategorie C1 – standardní s přídržností nad 0,5 MPa a hmoty kategorie C2 s přídržností nad 1,0 MPa, která jsou vysoce zušlechťená přísady polymerních přísad a jsou vhodná např. pro lepení slinutých dlaždic v náročných podmínkách. Lepidla typu (C) navíc rozlišujeme na normálně a rychle tuhnoucí, a lze je receptově upravit na lepení v tenké vrstvě, střední vrstvě a případně v tekutém loži [3]. Rozdělení lepidel dle ČSN EN 12004-1:2018 je v Tab. 1.

Tab. 1 Rozdělení lepidel podle ČSN EN 12004-1:2018 [3].

POVINNÉ CHARAKTERISTIKY		
1 a	STANDARTNĚ TVRDNOCÍ LEPIDLA (C1)	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Počáteční tahová přídržnost	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	8.3 z EN 12004-2 2017
Tahová přídržnost po ponoření do vody	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	
Tahová přídržnost po tepelném stárnutí	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	
Tahová přídržnost po cyklech zmrazení – rozmrazení	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$	
Otevřená doba: tahová přídržnost	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ ne méně než po 20 min	8.1 z EN 12004-2 2017
1 b	RYCHLE TVRDNOCÍ LEPIDLA (C1F)	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Prvotní tahová přídržnost	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ nejvýše po 6 h	8.3 z EN 12004-2 2017
Otevřená doba: tahová přídržnost	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ ne méně než po 10 min	8.1 z EN 12004-2 2017
Všechny ostatní požadavky jako v tabulce 1a		8.3 z EN 12004-2 2017
VOLITELNÉ CHARAKTERISTIKY		
1 C	ZVLÁŠTNÍ CHARAKTERISTIKY	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Skluz (T)	$\leq 0,5 \text{ mm}$	8.2 z EN 12004-2 2017
Prodloužená otevřená doba (E): tahová přídržnost	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ ne méně než po 30 min	8.1 z EN 12004-2 2017
Deformovatelné lepidlo (S1)	$\geq 2,5 \text{ mm}$ a $< 5 \text{ mm}$	8.6 z EN 12004-2 2017
Vysoce deformovatelné lepidlo (S2): příčná deformace	$\geq 5 \text{ mm}$	
1 d	DOPŇKOVÉ CHARAKTERISTIKY (C2)	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Vysoká počáteční tahová přídržnost	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	8.3 z EN 12004-2 2017
Vysoká tahová přídržnost po ponoření do vody	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
Vysoká tahová přídržnost po tepelném stárnutí	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
Vysoká tahová přídržnost po cyklech zmrazení – rozmrazení	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$	
1e	RYCHLE TVRDNOCÍ LEPIDLA (C2F)	
Charakteristika	Požadavek	Metoda zkoušení
Prvotní tahová přídržnost	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ nejvýše po 6 h	8.3 z EN 12004-2 2017
Otevřená doba: tahová přídržnost	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ ne méně než po 10 min	8.1 z EN 12004-2 2017
Všechny ostatní požadavky jako v tabulce 1d		8.3 z EN 12004-2 2017

3.2.2 Metody lepení

Pro lepení KOP existuje několik metod, rozdělených do 4 základních skupin [4].

- **Tenkvrstvé lepení**

Tenkvrstvé lepicí metody patří mezi moderní metody. Doporučují se obvykle do 5 milimetrů tloušťky lepicího lože. Pokud je tato vrstva silnější, dochází v lepidle k vnitřnímu pnutí, což může způsobit odchlípnutí dlažby či obkladu nebo trhliny ve spárách či v glazuře. Důsledkem toho může dojít k poškození dlažby. Metoda vyžaduje dokonalé vyrovnaní podkladu, u podlah samonivelační stěrku. Podle způsobu nanášení lepidla se rozeznávají u tenkvrstvého lepení v zásadě tři způsoby:

- a) Metoda nanášení zubovým hladítkem na podklad (Floating)
- b) Metoda natírání na obklad (Buttering)
- c) Kombinovaná metoda nanášení na obklad i podklad (Buttering - Floating)

- **Středněvrstvé lepení**

Středněvrstvá lepicí metoda se používá pro lepení méně přesných či na rubové straně silně profilovaných obkladů, především těch, kdy se tolerance v potřebě lepidla nachází v rozmezí od 5 mm do 15 mm. Je to jakýsi přechod mezi tlustovrstvou a tenkvrstvou metodou lepení.

- **Tlustovrstvé lepení**

Patří mezi osvědčené způsoby pokládání dlažby do čerstvého potěru. Pokládání obkladů se provádí do silné vrstvy malty bez předchozí úpravy podkladu. Je schopna bez vyrovnávací stěrky zakrýt až několik centimetrů veliké nerovnosti. Metodu nelze použít pro prvky s nízkou či nulovou nasákavostí.

- **Lepení do tekutého lože**

Pro velké formáty dlažebních prvků, což bývá nad délku hrany 1 m nebo plochy prvku od 5000 cm², byly vyvinuty speciální hmoty pro tekuté lože, tzv. rozlivové, protože obkladač nemůže vyvinout dostatečnou sílu pro přitlačení tak velké plochy do obvyklého lepidla.

3.4 POLYMERY MODIFIKOVANÁ CEMENTOVÁ LEPIDLA

Tradiční cementová lepidla již obvykle nevyhovují různým požadavkům při spojování moderních materiálů s použitím mnoha technologií. Pokud se zaměříme na spojování keramických obkladových prvků k podkladu, nejzranitelnějším místem se stává spojovací vrstva mezi obkladem a podkladem. Moderní slinuté dlaždice a obklady nedokáží vytvořit dostatečně pevnou, ale zároveň flexibilní vazbu k podkladu s cementovým lepidlem bez obsahu polymerních pojiv. Tento problém lze řešit přidáním redispergovatelných polymerních prášků (RPP) nebo polymerů v tekuté formě. První polymerní prášek vyvinula firma Wacker v roce 1953, jenž zlepšil požadované vlastnosti při použití s cementovým lepidlem. Spolupůsobení cementového lepidla a polymerního prášku zajistilo zlepšení přídržnosti lepidla k neporéznímu podkladu, flexibility lepidla a prodloužení otevřené doby (doba, kdy lze bez problému klást obklad do lepidla se zaručením deklarovaných vlastností)[5].

Obecně jsou vlastnosti lepidel na bázi cementu ovlivněny množstvím polymeru takto (dávkování se vztahuje na hmotnost suchých složek):

- < 0,5 % - zlepšení zpracovatelnosti a adheze lepidla,
- 0,5 – 2,0 % - zlepšení flexibility a pevnosti v tahu lepidla,
- 2,0 – 5,0 % - zlepšená flexibilita, příčná deformace a adheze k náročným podkladům, slinutým a hladkým dlaždicím,
- > 5,0 % - vysoká flexibilita a zlepšení působení co-matrice s RPP[6].

3.4.1 Materiálové složení polymer-cementových lepidel

Výrobci lepidel si své výrobní receptury chrání a jde o tzv. know-how jejich firmy. To znamená, že nejsou veřejně dostupné, ale lze o nich získat informace z technicko – informačních listů od výrobců klíčových surovin a přísad pro výrobu těchto lepidel. Jedná se především o výrobce redispergovatelných polymerních prášků a speciálních éterů celulózy, kteří ve svých dokumentech předkládají zákazníkům své tzv. směrné startovací receptury [7].

V následující Tab. 2 je provedeno obecné shrnutí veřejně přístupných informací, podávající rámcový přehled o složení těchto výrobků.

Tab. 2 Přehled složení polymer-cementových lepidel [7]

Složka	Jedn.	C1	C2
Portlandský cement (42,5; 52,5)	%	25 – 35	35 – 45
Kamenivo (písek do 0,6 mm)	%	zb. do 100	zb. do 100
Redispergovatelný polymer (VAc/E kopol.)	%	0 – 1	2 – 6
Éter celulózy (MC: metyl-hydroxyetyl, ...)	%	0,3 – 0,6	
Akcelerátor tvrdnutí cementu $[CaCHO_2]_2$	%	0 – 0,50	0,35 – 0,80
Hlinitanový cement (do lepidel „F“)	%	1 – 3	
Plniva, lehčiva (mletý vápenec, pěnosklo...)	%	0 – 10	
Protišjízdivé přísady (aktivní jíly, vlákna, škroby)	%	0 – 0,50	
Pucolány, latentně hydraulické látky (mikrosilika, popílek, metakaolín, tras, struska)	%	0 – 5	

Ke složkám uvedeným v Tab. 2 je možné dodat následující informace:

Portlandské cementy

Pro výrobu lepidel se výhradně používají kvalitní cementy vyšších pevnostních tříd (42,5 a 52,5) a to z logistických i výrobních důvodů. Kvalitní cementy znamenají menší nároky na množství dovážené suroviny a řada výrobků včetně cementových lepidel jejich použití vyžaduje [7].

Kamenivo

Výrobní suchých stavebních směsí se dle používaného hlavního kameniva dělí na závody zpracovávající sušené tříděné křemenné písky a na závody zpracovávající drcené sušené vápence. Pro výrobu kvalitních cementových lepidel jsou křemenné písky vhodnější, neboť přináší příznivější reologické vlastnosti čerstvého lepidla, vyšší trvanlivost a mechanické vlastnosti ve vyzrálém stavu. Možná zrnitostní maxima používaných písků (např. do 0,3 mm – jemná mozaiková lepidla, do 0,6 mm – běžná lepidla) jsou pouze informativní a mohou se v rámci různých výroben suchých stavebních směsí lišit [7].

Redispergovatelné polymerní prášky

Polymerní prášky obvykle představují cenově nejnákladnější surovinovou složku, která již při dávkování nad 2 % (z celkové hmotnosti navážky) představuje více jak 50 % z celkových surovinových nákladů. Volba a množství použitého RPP představují jednu ze zásadních rozhodnutí při vývoji nového lepidla. Trh s těmito surovinami nabízí jak standartní produkty, tak i modifikované materiály s např. vyšší odolností proti skluzu nebo vyšší odolností ve vodním uložení.

Obvykle se používají RPP označované jako neutrální až středně tvrdé s teplotou skelného přechodu $T_g = 5 - 15 \text{ }^\circ\text{C}$ a minimální filmotvornou teplotou $MFT = 2 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$ [7].

Étery celulózy

Tyto látky vedle polymerů významně ovlivňují reologické chování čerstvých lepidel, otevřenou dobu a odolnost vůči skluzu. Působí jako zahušťovadla, zavádí do čerstvé malty vzduchové bubliny, ovlivňují hydrataci cementu (vykazují retardační účinek), jsou snadno rozpustné ve vodě. Působí v synergii s ostatními surovinovými složkami a je vždy nutné sledovat jejich vhodnost v kombinaci s použitým RPP a jeho množstvím. Používají se modifikované i nemodifikované celulózy s viskozitou 3000 až 75000 mPa·s. Aplikuje se např. metylcelulóza, hydroxyetylcelulóza, metylhydroxyetylcelulóza v dávkování asi do 1 % z hmotnosti suchých složek [7].

Akcelerátory tvrdnutí cementu

Pokud se vyvíjí lepidlo s vyšším obsahem polymeru je samozřejmou součástí přísad akceleratoru tvrdnutí cementu, obvykle mravenčanu vápenatého. Obecně je známo, že používané RPP a étery celulózy do značné míry zpomalují hydrataci a počáteční fáze tuhnutí a tvrdnutí cementu. Z praktických důvodů, pro dosažení potřebného nárůstu přídržnosti, aby bylo možno po nově „položených“ dlažbách následující den bezpečně chodit a provádět jejich spárování, je přísada tohoto aditiva nezbytná [7].

Hlinitanový cement

Obvyklou pojivovou složkou rychle tvrdnoucích lepidel (F) je hlinitanový cement, přidávaný k portlandskému cementu jako akcelerátor tuhnutí. Běžně jsou používány hlinitanové cementy s obsahem Al_2O_3 38 – 63 % [7].

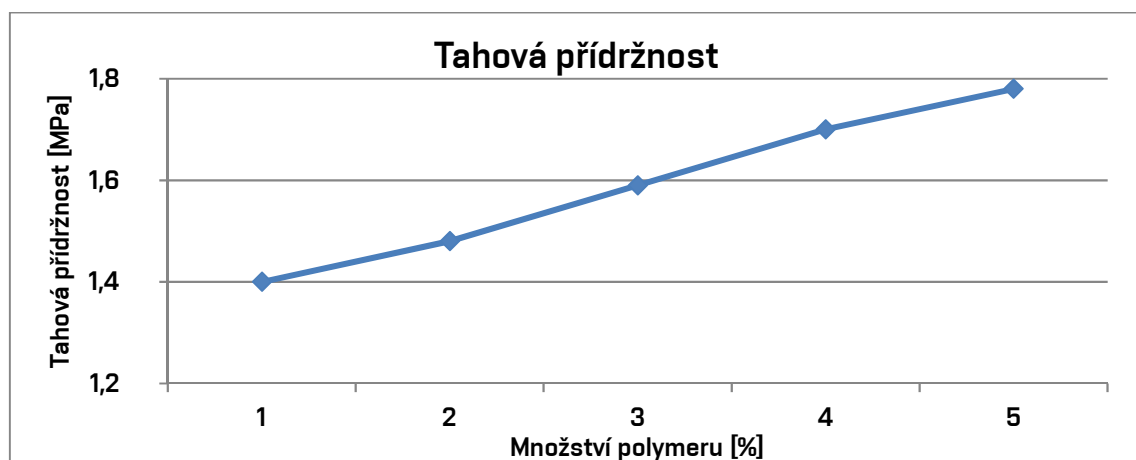
Ostatní přísady

Další surovinové složky v Tab. 2 představují specifická aditiva k úpravě některých aplikačních a funkčních vlastností cementových lepidel používané výrobci zcela individuálně, např. při výrobě lehčených lepidel, lepidel s redukovanou výkvětovostí apod. Patří sem vlákna, škroby, zahušťky, aktivní jíly, mikrosilika, popílek, struska, metakaolín a další [7].

3.4.2 Vlivy různého množství polymerní přísady na vlastnosti lepidla

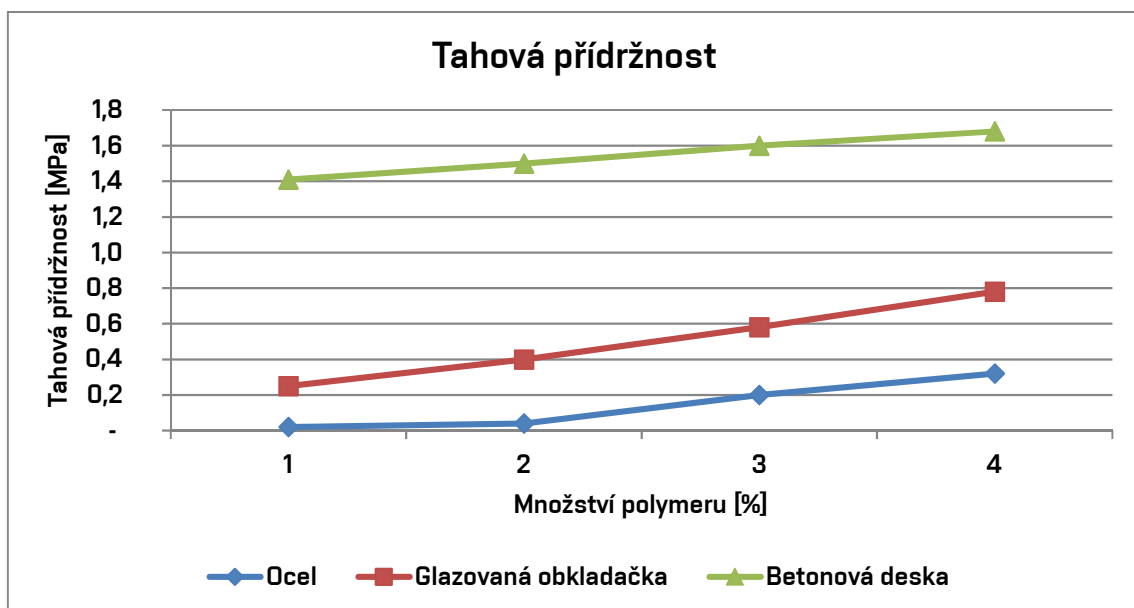
3.4.2.1 Vliv přídavku polymeru na tahovou přídržnost lepidla

Ve studii [6] byla zkoušená přídržnost na kameninových dlaždicích (Bla – EN 14411) s nasákavostí do 0,5 % lepených na betonový podklad. Lepidlo bylo vyrobeno z CEM I 42,5 (40 % ze suché směsi), křemenného písku (60 %), celulózy (0,5 %) a RPP EVA v množství 1 – 5 %. Vzorky byly 28 dní uloženy ve standardních podmínkách a bylo prokázáno, že přídržnost roste s množstvím RPP viz Graf 1.



Graf 1 Tahová přídržnost lepidla za standardních podmínek uložení [6]

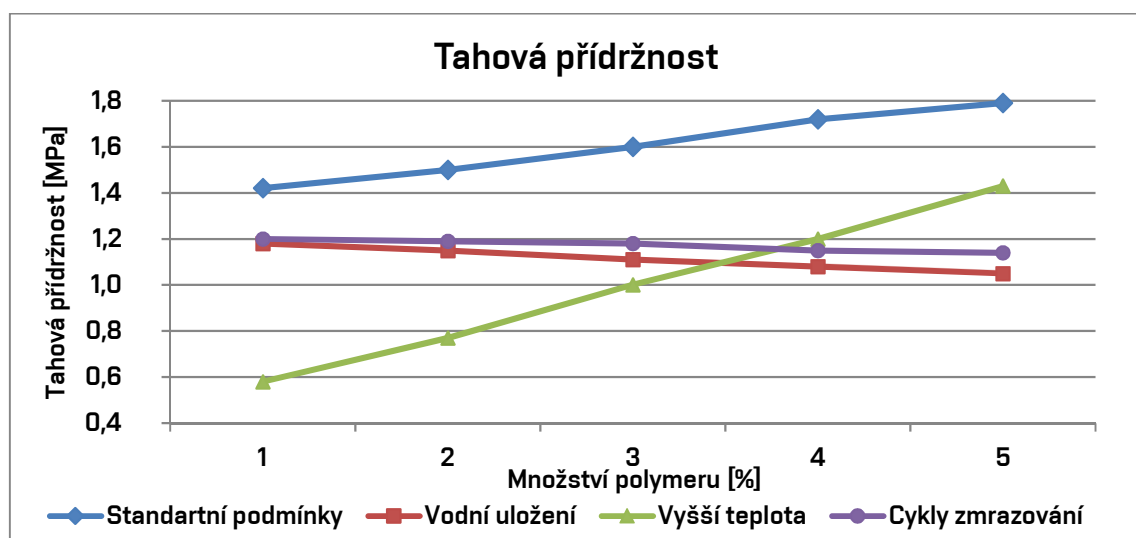
Provedená studie [6] dále prokázala, že druh podkladu může velmi ovlivnit tahovou přídržnost. Byly zkoušeny tři druhy podkladu s různou pórovitostí (betonové desky, glazované dlaždice a ocel) a jejich spolupůsobení s lepidlem modifikovaným RPP. Lepení na ocel nebo glazované dlaždice cementovým lepidlem bez RPP se jeví jako nedostačující. Ocel zde pouze reprezentuje hladký nenasákavý podklad, v praxi není ocelový podklad pro polymer-cementová lepidla vhodný, protože tyto spoje mají nízkou trvanlivost. Na takový podklad je nutné použít flexibilní lepidlo třídy C2 s dávkou min. 3 % RPP pro glazované dlaždice a 5 % RPP pro ocelový podklad. Ovšem pokud se ve spoji objeví vlhkost nebo ocel začne vlivem teplot měnit svůj objem, polymer-cementová lepidla nemají pro takové podmínky dostačující vlastnosti a je nutné změnit typ lepidla. Grafické znázornění vývoje tahové pevnosti v závislosti množství polymeru a druhu podkladu ukazuje Graf. 2.



Graf 2 Tahová přídržnost lepidla na různém typu podkladu [6]

Keramické obkladové prvky mohou být vystaveny mnoha změnám podmínek, v nichž jsou zabudovány, proto je nutné testovat tahové přídržnosti k podkladu v těch nejčastěji se vyskytujících podmínkách. Mezi tato prostředí patří standardní podmínky, uložení ve vodě (vzlínání vlhkosti, zatékání vody přes porušenou spárovací hmotu), vystavení dlouhotrvajícím vysokým teplotám (oslunění), zmrazovací cykly (zmrazování

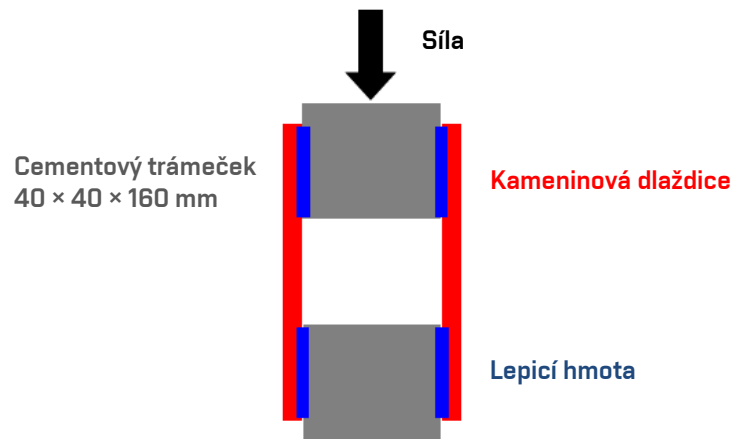
a rozmrazování venkovní dlažby v zimním období). Dalším testováním byl zkoumán vliv množství RPP na vlastnosti lepidla kladeného na betonový podklad, které je vystaveno působení různých prostředí. Ve standartních podmínkách uložení, dosahují lepidla nejvyšších hodnot tahové přídržnosti. S rostoucím obsahem RPP roste tahová přídržnost ve standartních podmínkách a při vyšších teplotách. Lepidla uložená pod vodou a při cyklech zmrazení a rozmrazení dosahují nižší přídržnosti a s rostoucím množstvím RPP přídržnost nepatrně klesá. Grafické znázornění udává Graf 3.



Graf 3 Tahová přídržnost lepidla při uložení vzorků v různém prostředí [6]

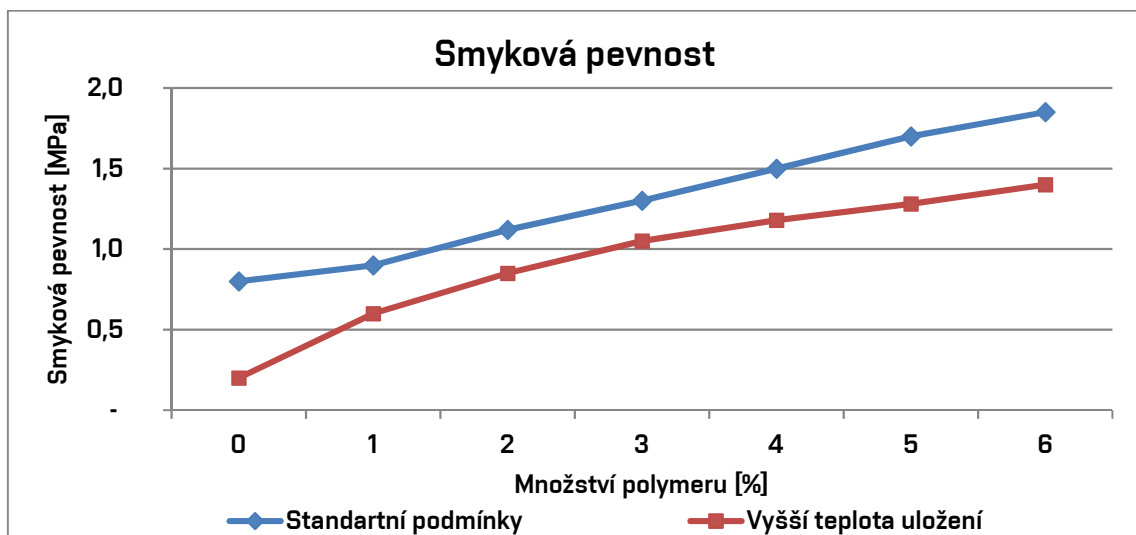
3.4.2.2 Smyková pevnost lepidla

Pan Wesseling navrhl v roce 1970 zkušební postup pro zkoušení smykové pevnosti, které je znázorněno podle studie [6]. Zkušební těleso se skládá ze dvou cementových kvádrů spojených kameninovou dlaždicí pomocí lepidla o tloušťce vrstvy 3 mm a je zatěžován silou, až do porušení viz Obr. 1. Složení testovaných lepidel v % ze suché směsi je: 35 % CEM I 42,5, 65 % křemenný písek, 0,5 % celulóza a RPP EVA v množství 0 – 6 %.



Obr. 1 Zkušební těleso pro stanovení smykové pevnosti [6]

Zkoumáním smykové pevnosti polymerem modifikovaného lepidla bylo zjištěno, že smyková pevnost roste s přidavkem RPP. Tyto výsledky byly získány testováním vzorků kondicionovaných ve standardních podmínkách a při vyšších teplotách (70 °C). V grafu 4 lze vidět, že po tepelném stárnutí vzorků dochází ke snížení smykové pevnosti než u vzorků kondicionovaných při standardních podmínkách [6]. Vývoj smykových pevností zobrazuje Graf 4.



Graf 4 Smyková pevnost lepidla při standardních podmínkách a vyšších teplotách uložení [6]

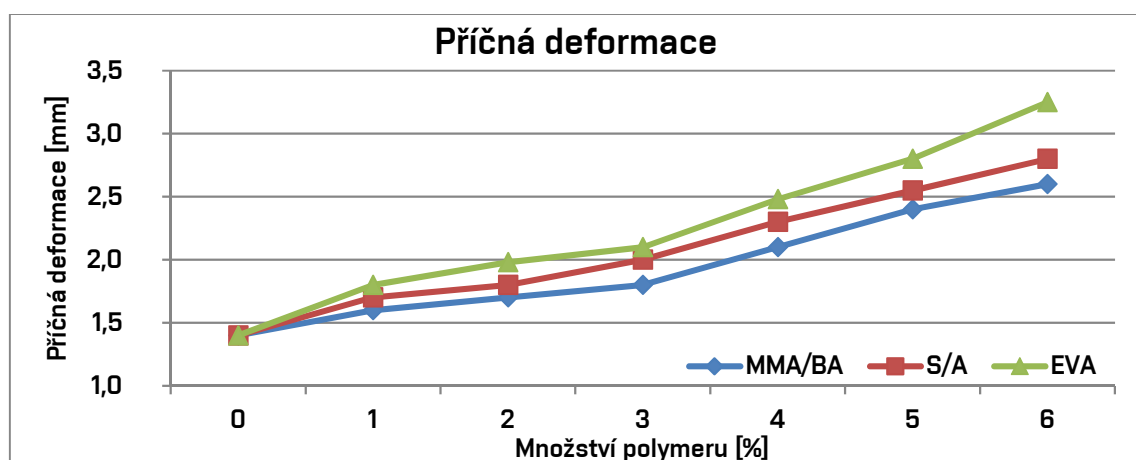
3.4.2.3 Vliv přidavku polymerní přísady na flexibilitu lepidla

Schopnost lepidla deformovat se bez ztráty adheze k lepeným prvkům i při vysokých smykových či průhybových namáháních je dominantní při dnešních náročných aplikacích. Pro určení flexibility lepidla se provádí zkouška deformovatelnosti dle ČSN EN 12004-2, jejímž výstupem je hodnota příčné deformace. Je důležité jaký typ a množství RPP se do cementové matrice lepidla použije. Ve studii [6] byly zkoušeny lepicí hmoty se třemi druhy chemicky odlišných RPP viz Tab. 3. Složení testovaných lepidel v % ze suché směsi je: 35 % CEM I 42,5, 65 % křemenný písek, 0,5 % celulóza a 3 typy RPP v množství 0 – 6 %.

Tab. 3 Typy použitých RPP [6]

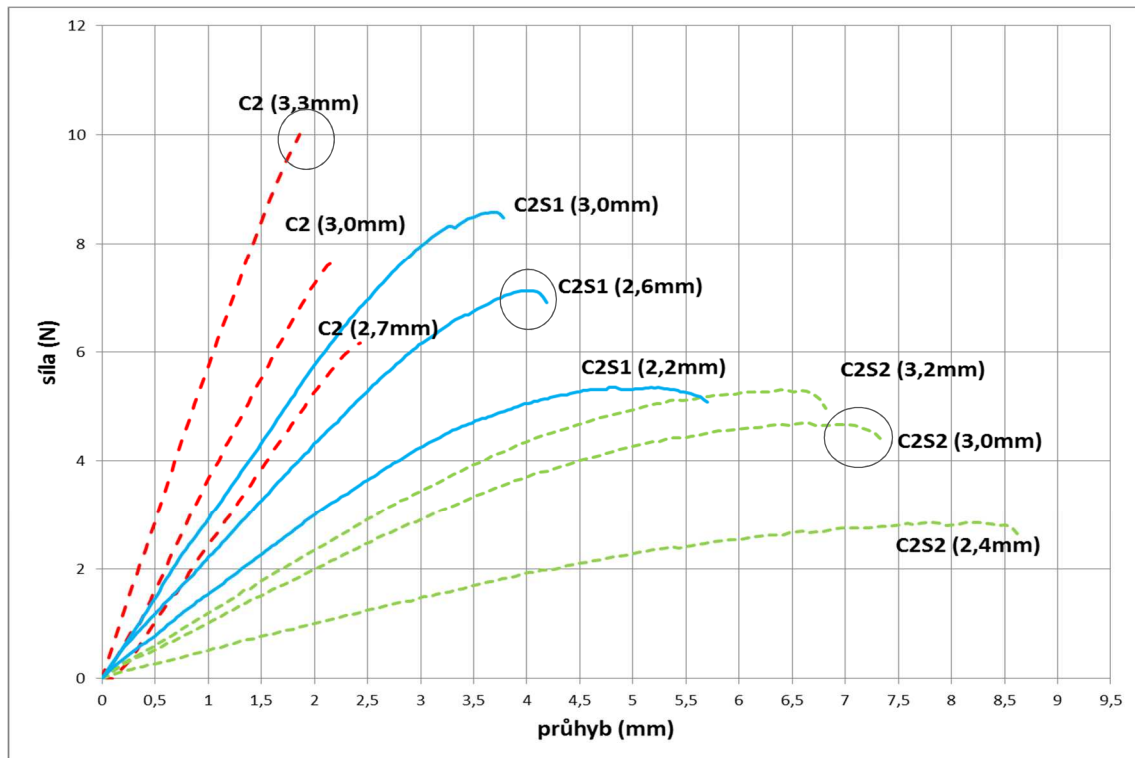
Označení polymeru	Chemická báze	T _g [°C]
EVA	kopolymer vinyl acetátu a etylenu	10
MMA/BA	kopolymer metylmetakrylátu a butylakrylátu	10
S/A	kopolymer styrenu a akrylátu	12

Z výsledků testování ve studii [6] vyplývá, že s rostoucím obsahem použitých RPP roste příčná deformace lepidel. Vliv typu RPP neudává značné rozdíly ve vývoji příčné deformace při jejím testování. Všechna tři lepidla s různými typy RPP v množství min. 6 % jsou dle ČSN EN 12004-1 deformovatelná. Ovšem lepidlo s použitím polymeru EVA dosahuje nejvyšších hodnot příčné deformace a tím tvoří lepidlo více flexibilní než použitím dalších dvou typů RPP. Výsledky příčné deformace jsou znázorněny v následujícím Grafu 5.



Graf 5 Vliv druhu a množství aplikovaného RPP na deformaci lepidla [6]

Pro zkoušení deformovatelnosti lepidel dle ČSN EN 12004-2 je vyrobeno zkušební těleso tzv. „pásek“, jehož tloušťka je požadovaná v rozmezí $(3 \pm 0,1)$ mm. Tloušťka zkušebního pásku ovlivňuje výslednou příčnou deformaci. Ukázkou vlivu tloušťky pásku na jeho průhyb při zkoušení flexibility lepidla znázorňuje Obr. 2.



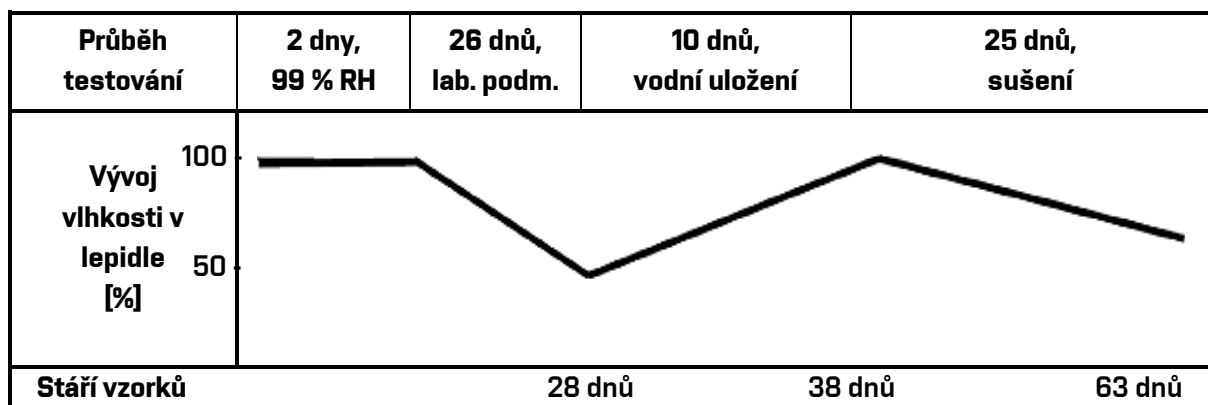
Obr. 2 Vliv tloušťky zkušebních těles na deformaci lepidel [15]

Na Obr. 2 jsou zastoupeny 3 typy lepidel, a to lepidla s vysokou přídržností C2, lepidla s vysokou přídržností a příčnou deformací $\geq 2,5$ mm C2S1 a lepidla s vysokou přídržností a příčnou deformací ≥ 5 mm C2S2. Všechny případy ukazují, že s rostoucí tloušťkou pásku klesá jeho průhyb a roste síla, tzn., čím je zkušební těleso tlustší, tím disponuje nižší deformovatelností a pro jeho porušení je potřeba vyšší síly. U lepidel C2 lze vidět, že nedosahují průhybu pásku ani 2,5 mm a po dosažení maximální síly při porušení dochází k okamžitému zlomu a deformace nepokračuje. Taková lepidla nejsou flexibilní. Flexibilní lepidla C2S1 dosahují příčné deformace nad 2,5 mm a dosažení maximální síly deformace ještě pokračuje. Vysoce flexibilní lepidla C2S2 dosahují příčné deformace nad 5 mm s potřebou nižší síly, pro dosažení porušení, než u C2 či C2S1. Po dosažení maximální síly deformace několik milimetrů

pokračuje. V grafickém podání flexibilitu znázorňuje zakřivení na konci průběhu zatěžování.

3.4.2.4 Vliv vlhkosti na vlastnosti lepidla

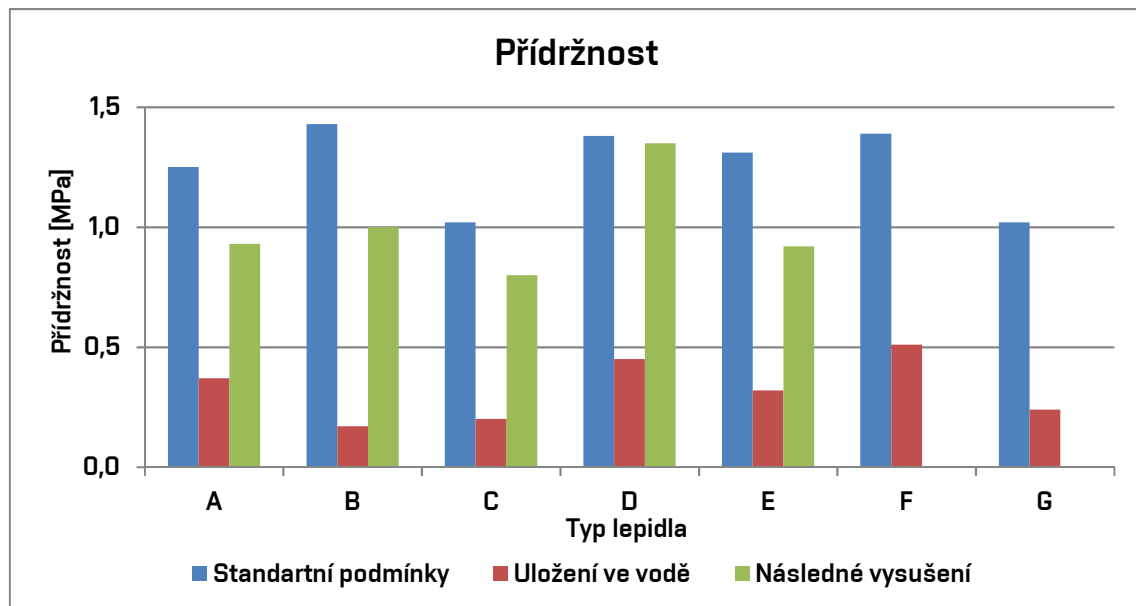
Polymerem modifikovaná lepidla jsou velmi oblíbená pro kladení vnějších obkladových systémů a keramických obkladů s nízkou pórovitostí, protože mají větší pružnost a vyšší pevnost vazby lepidla s lepeným prvkem než běžná cementová lepidla. Díky tomu se zvyšuje použitelnost a trvanlivost obkladových systémů. Negativní vliv působící na vnější obklady představuje přítomnost vody z klimatických podmínek, a proto je nutné otestovat chování lepidel vystavených působení vody (vlhkosti). V Brazílii se tímto problémem zabývala skupina vědců [8], která nechala první 2 dny zkušební vzorky v prostředí s relativní vlhkostí 99 %, následně je uložila na 26 dní do laboratorních podmínek, pak vzorky nechala nasytit vodou po dobu 10 dnů a následně je 25 dní sušila. Během této doby se vzorky testovaly. Ze studie vyplývá, že přídržnost lepidla je velmi ovlivněna již malým zvýšením obsahu vlhkosti v lepidle a obsah vlhkosti nad 10 % je dostatečný k tomu, aby snížila přídržnost lepidla s lepeným prvkem o 50 %, zatímco, během sušení se přídržnost mezi lepidlem a obkladovým prvkem průběžně zvyšuje až k téměř původním hodnotám. Na Obr. 3 lze vidět vývoj obsahu vlhkosti v lepidle, během testování po dobu 63 dnů [8].



Obr. 3 Znárodnění sekvence testu sušení, která schematicky vysvětluje změnu obsahu vlhkosti ve zkušebních tělesech lepidla v průběhu 63dnů [8].

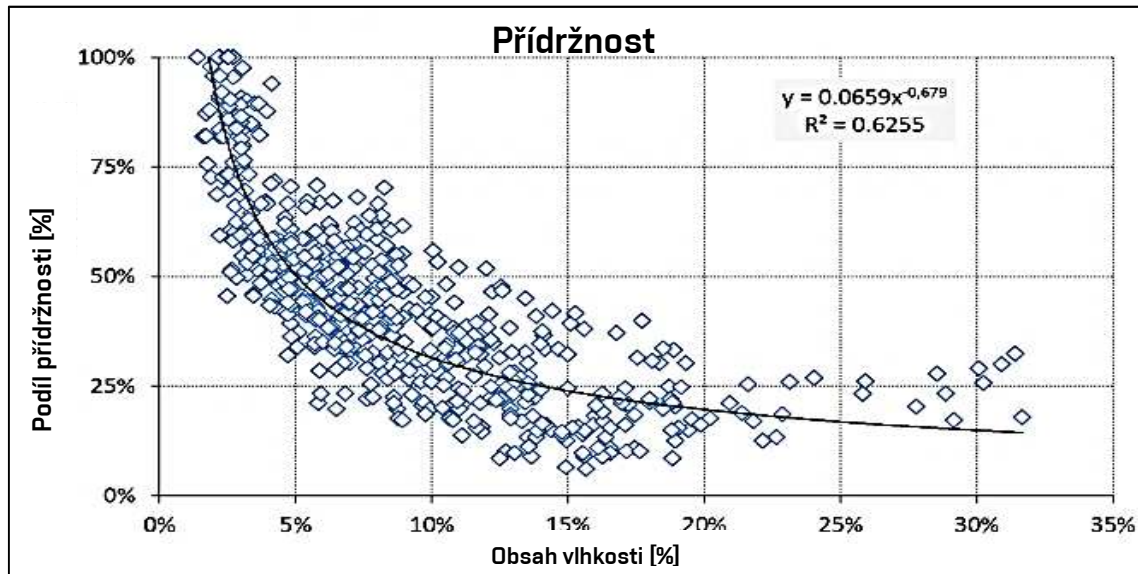
Během testování ve studii [8] byl sledován také vliv vlhkosti na přídržnost lepicí hmoty k lepenému prvku. Prvních 28 dní byly lepicí hmoty uloženy za sucha

a následně se zkoušela přídržnost. Dále se po dobu 10 dní nechaly vzorky nasytit vodou, poté se testovala přídržnost a nakonec se vzorky 25 dní sušily a zjistila se jejich přídržnost po vysušení. Z Grafu 7 je zřejmé, že působení vody na lepicí hmotu může snížit jeho přídržnost až o 80 %. Velké výkyvy podmínek působících na obkladový systém velmi ovlivňují jeho vlastnosti. U externích aplikací obkladových systémů jde především o působení letního a zimního období v kombinaci s výskytem vzdušné vlhkosti a dešti či mrazem. Dochází tak ke snížení přídržnosti a oslabení kompaktnosti navazujících vrstev obkladu. Přehled vývoje přídržnosti ukazuje Graf 7.



Graf 7 Hodnoty přídržnosti testovaných lepidel po uložení ve standartních podmínkách, po ponoření ve vodě a po následném vysušení [8].

Obr. 4 ukazuje závislost přídržnosti lepidla s podkladem a vlhkosti v lepidle pro každou testovanou lepicí hmotu. Data říkají, že i nejmenší nárůst obsahu vlhkosti může vyvolat snížení přídržnosti lepidla. Obsah vlhkosti 5 % může mít za následek snížení přídržnosti až o 50 % a vlhkost 10 % sníží přídržnost až o 75 %. Toto chování v reálné fasádě by mohlo vážně ovlivnit výkon vnějších obkladových systémů, které obvykle vykazují trhliny ve spárovací hmotě, které umožňují infiltraci dešťové vody, což vede ke snížení přídržnosti lepidla s obkladovým prvkem [8].



Obr. 4 Vliv množství vlhkosti na přidržnost lepidla s obkladovým prvkem [8]

3.4.3 Použití polymerních přísad v lepidlech pro velké formáty prvků

Významným trendem současnosti se stalo používání velkorozměrových plně slinutých porcelánových a kameninových dlaždic. Vzhledem k jejich nízké pórovitosti a nasákavosti menší než 0,5 % (porcelán < 0,05 %), se mohou aplikovat i v exteriéru, kde jsou vystaveny změnám klimatických podmínek (střídání teplot, déšť, mráz apod.), ale pouze s mechanickým kotvením. V interiéru se velké formáty obkladových prvků obvykle kladou do polymer-cementových lepidel. Výhodou velkorozměrových prvků je jejich estetický vzhled a malé nebo žádné množství spár. Avšak manipulace s velkými prvky je náročná a vyžaduje odborné provedení a specifický kvalitní materiál pro spojení s podkladem.

Objevují se však i technické problémy, související s vývinem smykové síly při deformacích v důsledku značné velikosti obkladového prvku a omezené adheze cementového lepidla k neporéznímu a téměř hladkému povrchu dlaždice, což vede k poškození obkladového systému kvůli selhání adheze lepidla k obkladu a popraskání obkladových prvků. Střídání teplot a vlhkost ovlivňují smršťování a expanzní chování celého systému a vyvolávají mikrotrhliny na okrajích dlaždic, kde je nejvyšší smykové napětí mezi obkladovým prvkem a lepidlem. Napětí může způsobit porušení

přídržnosti nebo úplnou ztrátu adheze. Tyto problémy vedou ke zvýšení požadavků na vlastnosti lepidla a aplikaci obkladu.

Z těchto důvodů byla provedena studie [9], která zkoumá adhezi a míru deformace u obkladových systémů, s použitím neporézních prvků (300 × 300 mm) aplikované pomocí polymer-cementových lepidel na betonový podklad (aplikace na podlahu a stěnu).

3.4.3.1 Použité materiály

Ve studii [9] byly použity dva druhy lepidel: F1 pro podlahovou aplikaci a W2 pro aplikaci na stěnu. Oba obsahují portlandský cement 42,5, křemenný písek, metylcelulózu a RPP. RPP je založen na stabilizovaném polyvinylalkoholu EVA (etylen-vinylacetát). Hlavní rozdíl mezi maltami je v typu metylcelulózy. Pro aplikaci na podlahu se využila nemodifikovaná metylcelulóza (metylhydroxyetylcelulóza, Höppler viskozita: 15000 mPa·s, jemně zrnitá <100 μm) a na stěnu se použil modifikovaný produkt (metylhydroxyetylcelulóza, Höppler viskozita: 10000 mPa·s, jemně zrnitá <125 μm). Obě malty odpovídají třídě C2 podle normy ČSN EN 12004-1. Složení lepidel ukazuje Tab. 4.

Slinuté kameninové dlaždice mají rozměry 298 × 298 × 8 mm a patří do skupiny Bla podle EN 14411. U těchto dlaždic je udávaná maximální nasákavost 0,5 % hm. Jejich rubová strana je žebrovaná a pokryta bílou engobou na bázi MgO.

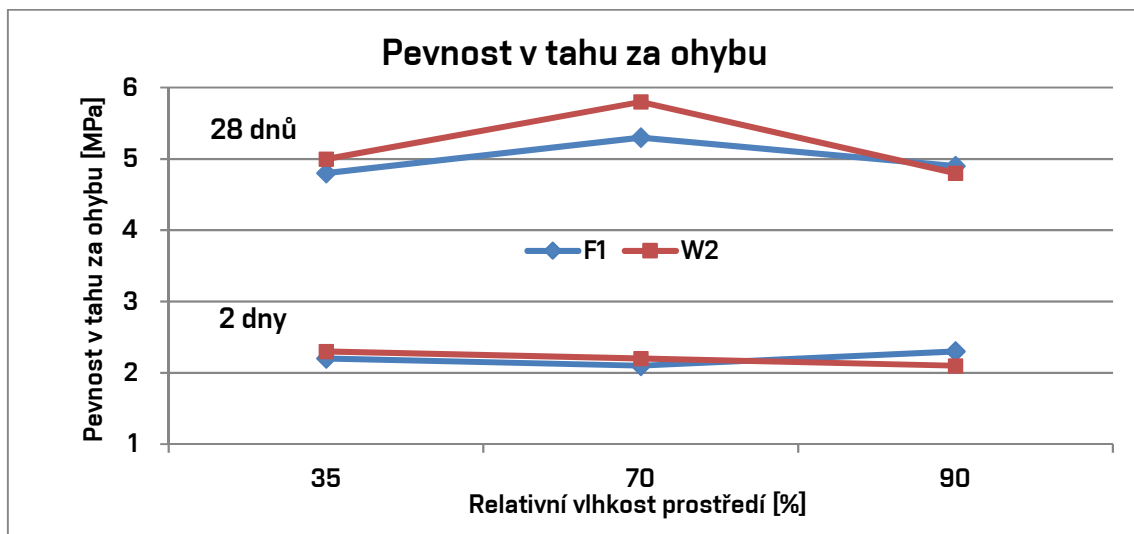
Jako podklad byly zvoleny betonové desky o rozměrech 400 × 400 × 38 mm.

Tab. 4 Složení lepidel pro podlahu (F1) a na stěnu (W2) [9]

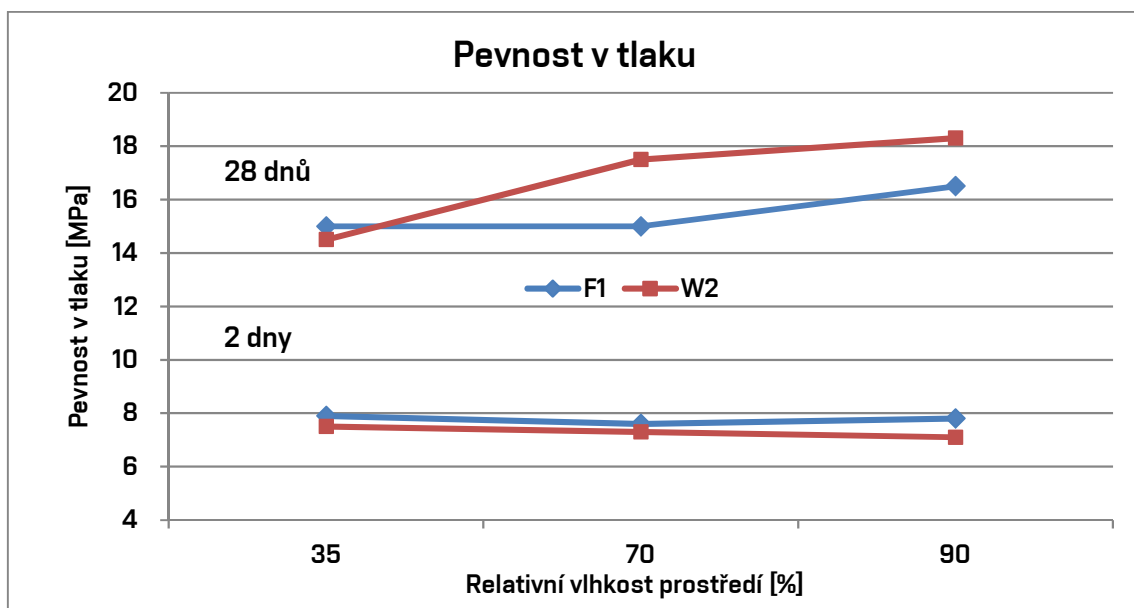
Surovina	Jedn.	F1	W2
CEM I 52,5 R	%	35,0	35,0
Křemenný písek frakce 0,1 – 0,6 mm	%	15,0	15,0
Křemenný písek frakce 0,1 – 0,3 mm	%	31,6	31,6
Dolomitický filer frakce < 0,05 mm	%	15,0	15,0
Éter celulózy	%	0,4	0
Modifikovaný éter celulózy	%	0	0,4
RPP	%	3,0	3,0
Suma suchých složek	%	100	100
Voda	%	25,0	26,0
Vodní součinitel	%	0,714	0,743

3.4.3.2 Provedené zkoušky

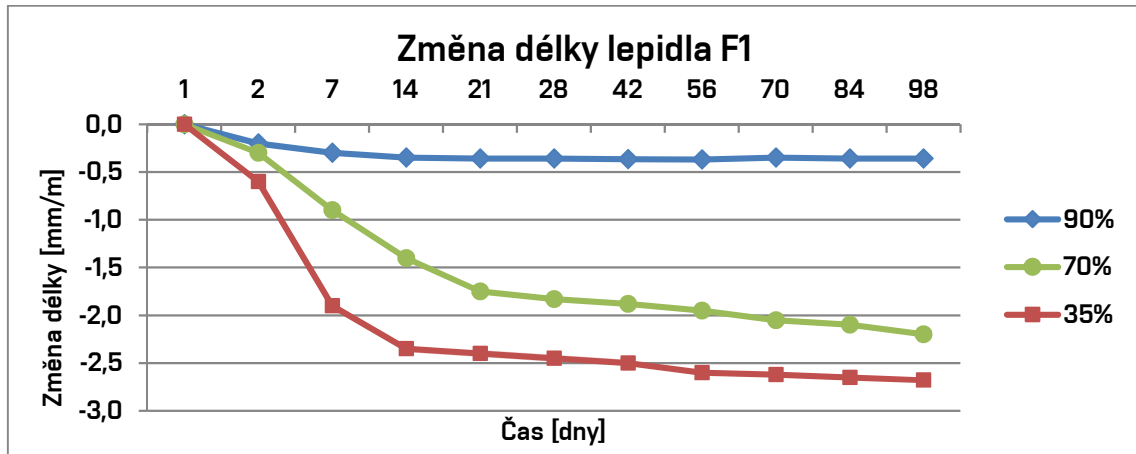
Na vzorcích lepidel byly mimo jiné provedeny zkoušky pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a stanovení smrštění/expanze. V grafech 7 a 8 lze vidět vývoj pevnosti lepidel v tahu za ohybu a v tlaku v závislosti na rostoucí relativní vlhkosti. Stanovení je provedeno po 2 a 28 dnech zrání vzorků lepidel. V grafech 9 a 10 lze vidět změnu délky zkušebního vzorku v závislosti na rostoucí relativní vlhkosti. Stanovení je prováděno během 98 dní zrání vzorků lepidel.



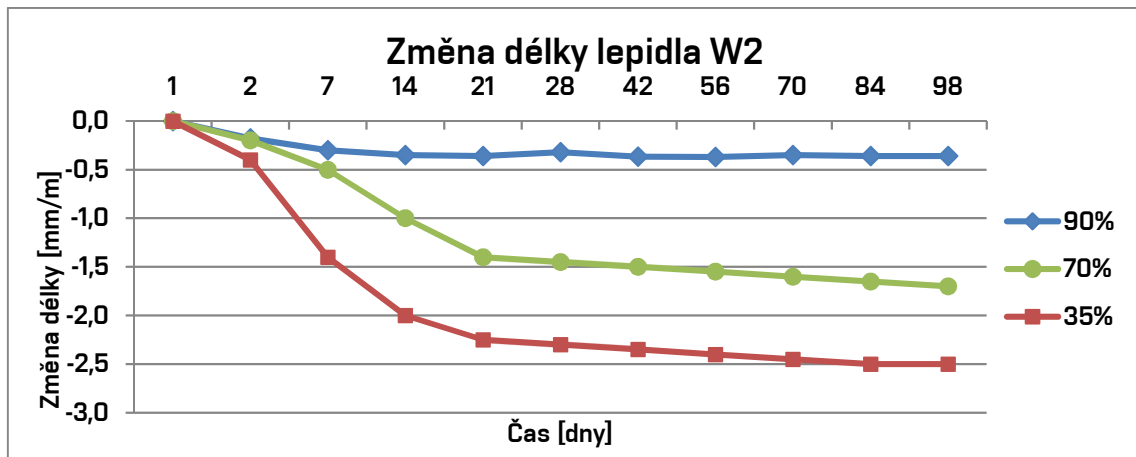
Graf 7 Pevnost v tahu za ohybu lepidel po 2 a 28 dnech zrání při různých relativních vlhkostech prostředí [9]



Graf 8 Pevnost v tlaku lepidel po 2 a 28 dnech zrání v různých relativních vlhkostech prostředí [9]



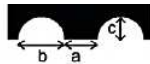
Graf 9 Změna délky lepidla F1 při 20 °C při různé relativní vlhkosti prostředí [9]



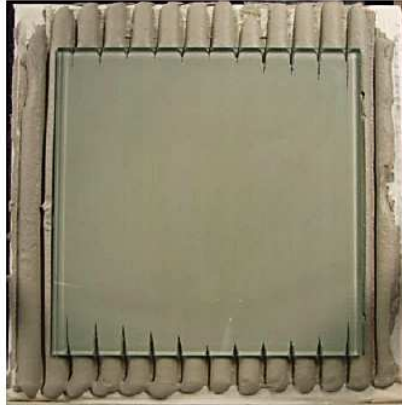
Graf 10 Změna délky lepidla W2 při 20 °C při různé relativní vlhkosti prostředí [9]

Výsledné vlastnosti lepidel, jako je adheze, deformovatelnost, pevnostní charakteristiky a smrštění lze ovlivnit i technikou provádění a použitím správných nástrojů. Konkrétně výběrem správného hladítka v kombinaci se vhodnou metodou lepení můžeme dosáhnout lepších požadovaných vlastností lepidel. Geometrie hladítka má velký vliv na strukturální vzory lepidla po uložení obkladového prvku. Pro F1 bylo použito středněvrstvé lepení vroubkovanou stěrkou s kulatým vrubem, pro méně viskózní malty pro podlahové aplikace. Zatímco pro W2 byla použita zubová hladítka, pro více viskózní lepidla pro aplikace na stěny. Jak je vidět na Obr. 5, je lepidlo F1 po uložení dlaždice homogennější než při použití zubového hladítka pro W2. Čím více je nanesení lepidla W2 na obklady nehomogenní, tím rychlejší je vysychání čímž dochází k výraznějším změnám délky a nižší adheze než u lepidla F1 [9].

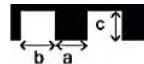
a) Aplikace na podlahu



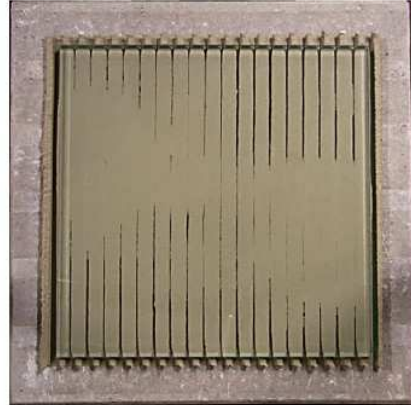
$a=7, b=20, c=12$ mm



b) Aplikace na zeď



$a=8, b=8, c=8$ mm



Obr. 5 Rozměry hladítek používaných pro aplikaci na a) podlahu a b) stěnu. Výsledné strukturální vzory lepidel jsou ilustrovány použitím skleněných dlaždic [9]

3.4.3.3 Výsledky studie

Dosažené výsledky ukazují, že mechanismy selhání adheze velkoplošných dlaždic ovlivňují různé parametry:

- a) struktura rubové strany dlaždice ovlivňuje kontakt mezi lepidlem a dlaždicí. Pokud se klade dlaždice s žebry a povrchovou úpravou z engoby, může dojít ke zhoršení požadovaných vlastností, než při kladení dlaždice bez žebor;
- b) kinetika hydratace lepidla pod dlaždicí a kinetika tvorby filmu přidaného RPP příznivě ovlivní pevnost a přídržnost celého systému obkladu;
- c) správný tvar hladítka a vhodný způsob nanášení pozitivně ovlivní adhezi lepidla;
- d) podmínky tuhnutí a tvrdnutí lepidla ovlivňují změny délky hmoty, vytvářejí protichůdné síly, jež způsobují tah a tlakové napětí mezi dlažbou a lepidlem, což může vést k narušení pevnosti a adheze [9].

Pro zajištění kvalitní aplikace velkorozměrových obkladů a dosažení požadovaných vlastností je vhodné dodržovat některá doporučení z praxe. To zahrnuje např. použití vhodných materiálů, rychlé a přesné kladení dlaždice do lepidla s dlouhou otevřenou dobou nebo aplikace do tekutého lože apod. Pokud jsou velké formáty obkladů kladeny do tekutého lože, může se tím docílit zlepšení styku (omezení dutin) celé rubové plochy obkladu s lepidlem [9].

4 PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 METODIKA PRÁCE

Praktická část této diplomové práce byla rozdělena do čtyř etap. V prvních třech etapách bylo namícháno a experimentálně odzkoušeno celkem 9 lepidel, z toho 1 lepidlo byl komerční výrobek běžně dostupný na trhu. Testovaná lepidla se lišila především obsahem nebo typem RPP či typem plniva (lehčené/nelehčené). Poslední čtvrtá etapa byla věnována studiu mikrostruktury vybraných lepidel.

Etapa I byla věnována sledování a vyhodnocení vlivu rostoucí dávky RPP na adhezi nelehčených lepidel při různých uloženích a dopady na jejich flexibilitu. V etapě II byly zkoumány a vyhodnocovány vlivy stejné dávky různého typu RPP na adhezi v nelehčených lepidlech při různých uloženích a dopady na jejich flexibilitu. V etapě III byly sledovány a vyhodnocovány vlivy stejné dávky jednoho RPP na adhezi nelehčených a lehčených (Liaverem a gumovým granulátem) lepidel, v porovnání s komerčním produktem při různých uloženích a dopady na jejich flexibilitu. Etapa IV byla věnována studiu mikrostruktury na vybraných polymerem modifikovaných směsích pomocí difrakční termické analýzy a elektronové mikroskopie. Přehled testovaných lepidel je zobrazen v Tab. 5.

Tab. 5 Přehled testovaných lepidel

Označení	Dávka RPP [%]	RPP/CEM	Typ RPP	Předpokládaná klasifikace dle ČSN EN 12004-1	Poznámka
T120 – A	12	0,300	A	C2ES2	nelehčené
T90 – A	9	0,225	A	C2TES1 – S2	nelehčené
T60 – A	6	0,150	A	C2TES1	nelehčené
T30 – A	3	0,075	A	C2TES1	nelehčené
T90 – B	9	0,225	B	C2TES1 – S2	nelehčené
T90 – C	9	0,225	C	C2TES1 – S2	nelehčené
LW120 – L	12	0,240	A	C2ES2	lehčené
LW120 – G	12	0,240	A	C2ES2	lehčené
LW120 – M	12	0,240	D	C2ES2	lehčené, komerční produkt

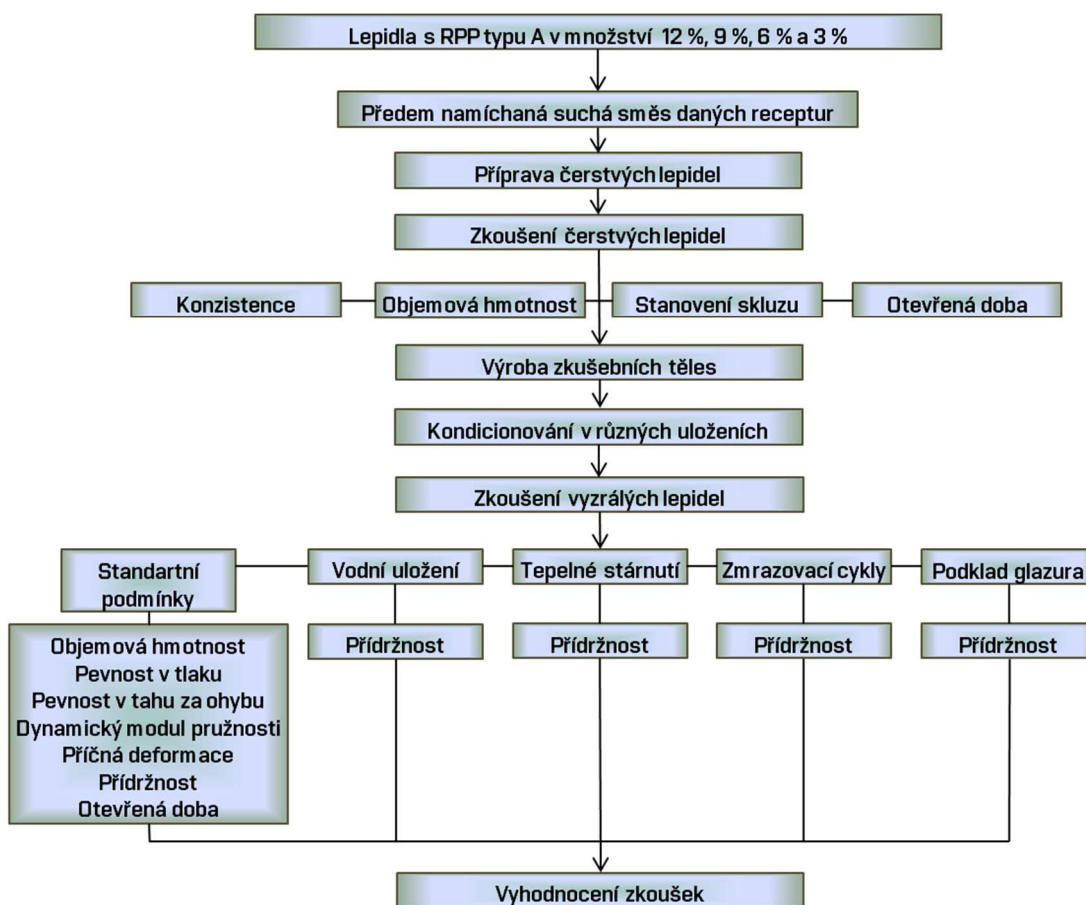
Pozn. RPP/CEM označuje poměr dávky RPP k cementu.

4.1.1 Etapa I – lepidla s odlišným množstvím polymerního prášku

V etapě č. 1 byly namíchány čtyři lepidel (s označením T120 - A, T90 - A, T60 - A, T30 - A) s rozdílným obsahem redispergovatelného polymerního prášku v množství 12 %, 9 %, 6 % a 3 % ze suché směsi, viz Tab. 6. Vyrobita se zkušební tělesa a provedly se příslušné zkoušky, viz Obr. 6.

Tab. 6 Receptury pro lepidla etapy I

Surovina	Množství na 1 kg suché směsi [g]			
	T120 - A	T90 - A	T60 - A	T30 - A
CEM I 52,5	400	400	400	400
Písek	465 - 470	495 - 500	525 - 530	555 - 560
RPP (typ A)	120	90	60	30
Metylcelulóza	5	5	5	5
Akcelerátor	5	5	5	5
Další aditiva	0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 5



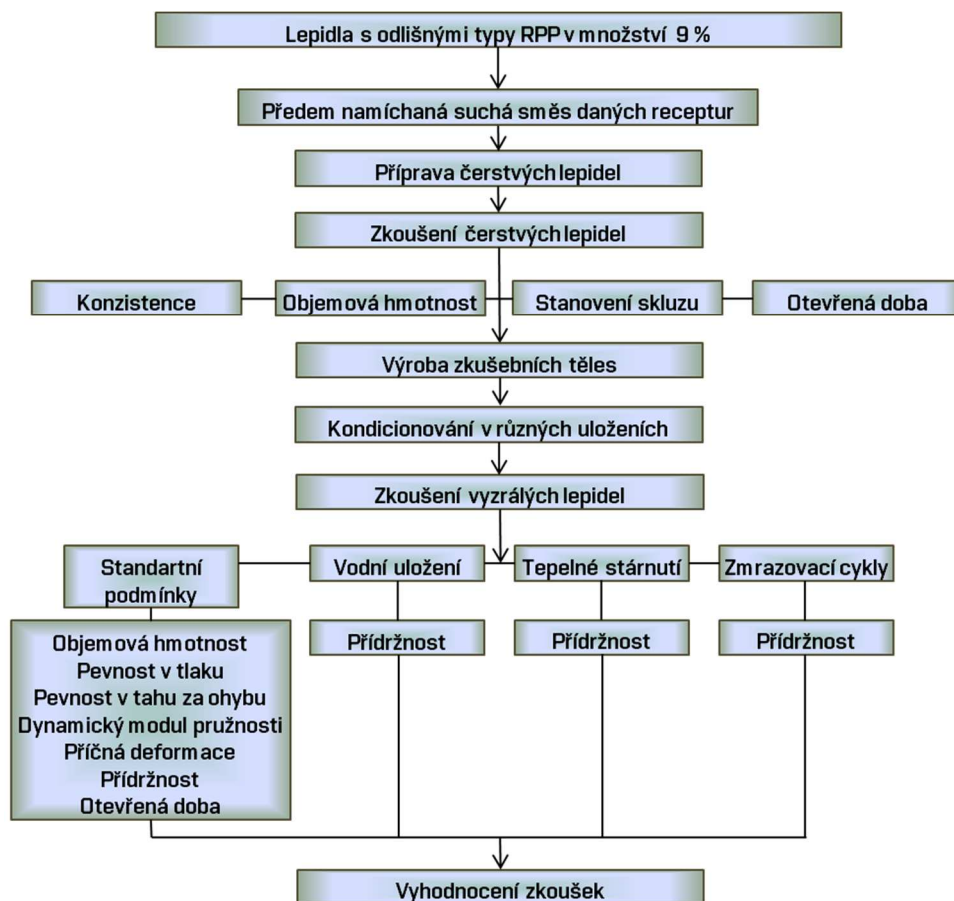
Obr. 6 Schéma etapy I

4.1.2 Etapa II – lepidla s polymerním práškem odlišného typu

V etapě č. 2 byly namíchány tři směsi lepidel (s označením T90 - A, T90 - B, T90 - C) se třemi chemicky odlišnými typy polymerních redispergovatelných prášků (typy A, B, C) v množství 9 % ze suché směsi, viz Tab. 7. Vyrobila se zkušební tělesa a provedly se příslušné zkoušky, viz Obr. 7.

Tab. 7 Receptury pro lepidla etapy II

Surovina	Množství na 1 kg suché směsi [g]		
	T90 - A	T90 - B	T90 - C
CEM I 52,5 N	400	400	400
Písek	495 - 500	495 - 500	495 - 500
RPP (typ A, B, C)	90 (A)	90 (B)	90 (C)
Metylcelulóza	5	5	5
Akcelerátor	5	5	5
Další aditiva	0 - 5	0 - 5	0 - 5



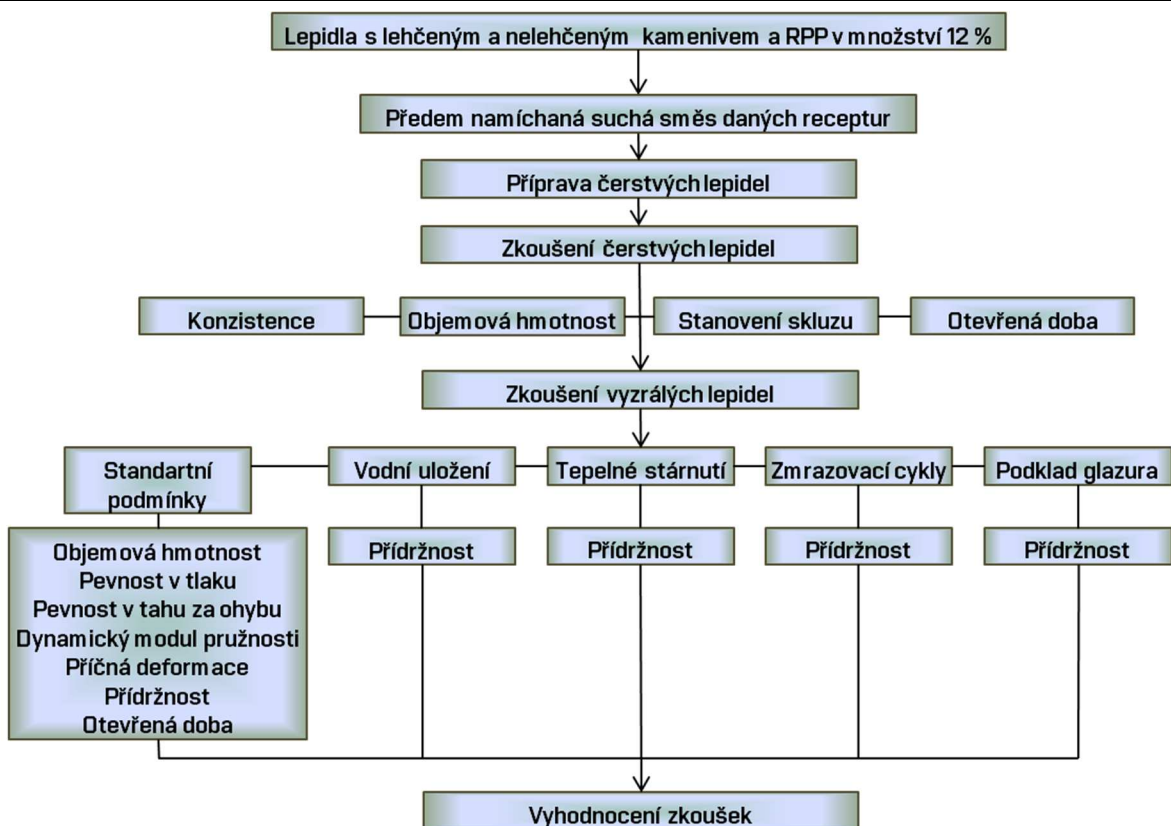
Obr. 7 Schéma etapy II

4.1.3 Etapa III – lepidla s lehčeným a nelehčeným kamenivem

V etapě č. 3 byly namíchány tři směsi lepidel (s označením LW 120 - L, LW 120 - G, LW 120 - M) se třemi typy lehčeného kameniva a polymerním práškem v množství 12 % ze suché směsi, viz Tab. 8. Pro porovnání se do této etapy zařadilo také lepidlo T120 – A s nelehčeným kamenivem. Směs s označením LW 120 - M, je komerční výrobek, který byl použit také pro porovnání. Vyrobita se zkušební tělesa a provedly se příslušné zkoušky, viz Obr. 8.

Tab. 8 Receptury lepidel etapy III

Surovina	Množství na 1 kg suché směsi [g]		
	T120 - A	LW 120 - L	LW 120 - G
CEM I 52,5 N	400	500	500
Písek	465 - 470	185 - 190	185 - 190
Lehčené plnivo	0	180 (L)	180 (G)
RPP (typ A)	120	120	120
Metylcelulóza	5	5	5
Akcelerátor	5	5	5
Další aditiva	0 - 5	0 - 5	0 - 5



Obr. 8 Schéma etapy III

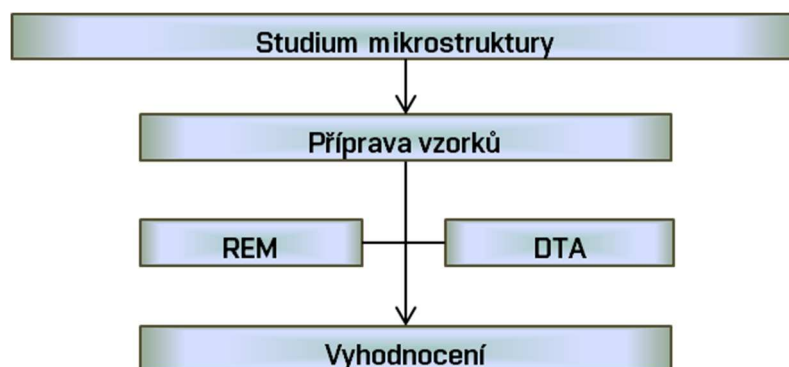
4.1.3.1 Komerční produkt

Jedno z řady testovaných lepidel (LW120 – M) je komerčním produktem běžně dostupným na trhu. Jedná se o jednosložkové cementové lepidlo s lehčeným kamenivem Poraver. Obsahuje RPP (neznámý typ D) v množství 12 %. Lepidlo je dle ČSN EN 12004-1 klasifikováno označením C2ES2. Cementový tmel (C) s vysokou přídržností (2), prodlouženou otevřenou dobou (E) a s vysokou flexibilitou (S2). Vlastnosti lepidla dle technického listu: objemová hmotnost $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, otevřená doba > 30 minut, přídržnost po 28 dnech 2,5 MPa, po tepelném stárnutí 3,0 MPa, po vodním uložení a působení mrazu 1,5 MPa.

4.1.4 Etapa IV – studium mikrostruktury na vybraných směsích

V rámci diplomové práce byla pro studium mikrostruktury lepidel využita elektronová rastrovací mikroskopie a diferenční termická analýza na vybraných vzorcích lepidel.

Schéma studia mikrostruktury je znázorněno na Obr. 9.



Obr. 9 Schéma etapy IV

4.2 POUŽITÉ SUROVINY

Vlastnosti materiálů použitých pro namíchání osmi druhů lepidel jsou popsány níže v Tab. 9. Jedná se o cement, kamenivo, aditiva (RPP, metylcelulóza, akcelerátor). Dále byla při výrobě lepidel použita vlákna a minerální zahušťky.

Tab. 9 Popis použitých surovin

Surovina		Vlastnosti			
Cement		CEM I 52,5 – obsahuje 95 – 100 % portlandského slínku			
Kamenivo		Nelehčené	Lehčené		
		praný těžký křemenný písek frakce 0,1 – 0,5 mm	Liaver	Gumový granulát	Poraver
RPP	Ozn.	Typ	Chemická báze	Flexibilita	MFT [°C]
	A	terpolymer	vinylacetát-vinylchlorid- ethylen	semiflexibilní	4 ± 3
	B	kopolymer	vinylacetát-ethylen	semiflexibilní	4
	C	terpolymer	vinylacetát-VeoVa-Acrylic	semiflexibilní	0
Étery celulózy		methylhydroxyetylcelulóza s viskozitou 10000 mPa·s (podle Brookfielda),			
Akcelerátor		mravenčan vápenatý $\text{Ca}(\text{HCOO})_2$			

Pozn. MFT – minimální filmotvorná teplota; informace o RPP ze zdroje [11, 12].

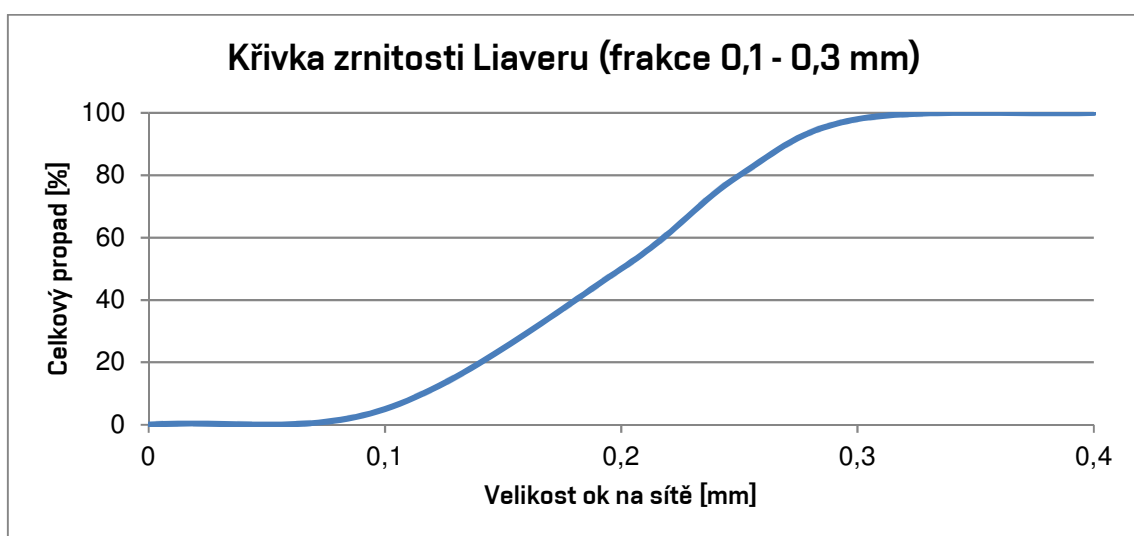
V následujících dvou kapitolách jsou podrobněji popsána použitá lehčená kameniva.

4.2.1 Liaver

Jedná se o granulát z expandovaného skla, který je vyráběn z recyklovaného skla. Rozdrčené sklo se jemně rozemele a je expandováno v peci při teplotách 750 °C až 900 °C. Vznikne ekologický produkt nejedovatý, bez nebezpečných příměsí vhodný pro použití do suchých malt, lehčených omítek a betonů, izolačních betonů, násypů, pro výrobu prefabrikovaných produktů, protipožárních desek, desek pro zvukovou izolaci Reapor. Vyrábí se v širokém rozpětí frakcí a to od 0,1 mm až po 16 mm. Liaver je lehký materiál s dobrými tepelněizolačními vlastnostmi ($\lambda = 0,07 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$), odolný kyselinám, louhům a organickým rozpouštědlům a je biologicky nenapadnutelný. Požární odolnost je A1 (nehořlavý), je odolný proti mrazu a tvarově stály při teplotách do 750 °C [13]. Pro tuto diplomovou práci byl použit Liaver frakce 0,1 – 0,3 mm, jehož vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 10 a jeho granulometrie je znázorněna v Grafu 11.

Tab. 10 Vlastnosti Liaveru frakce 0,1 - 0,3 mm [13]

Vlastnost	Hodnota						
Materiál	expandované sklo						
Tvar zrna	oválný, uzavřen						
Zrnitost	0,0 – 0,5 mm						
Min. sypaná hmotnost	$< 200 \pm 15 \% \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$						
Pevnost zrna	$4,8 \pm 10 \% \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$						
Chemické složení	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
	71 %	2 %	13 %	0,5 %	8 %	2 %	1 %



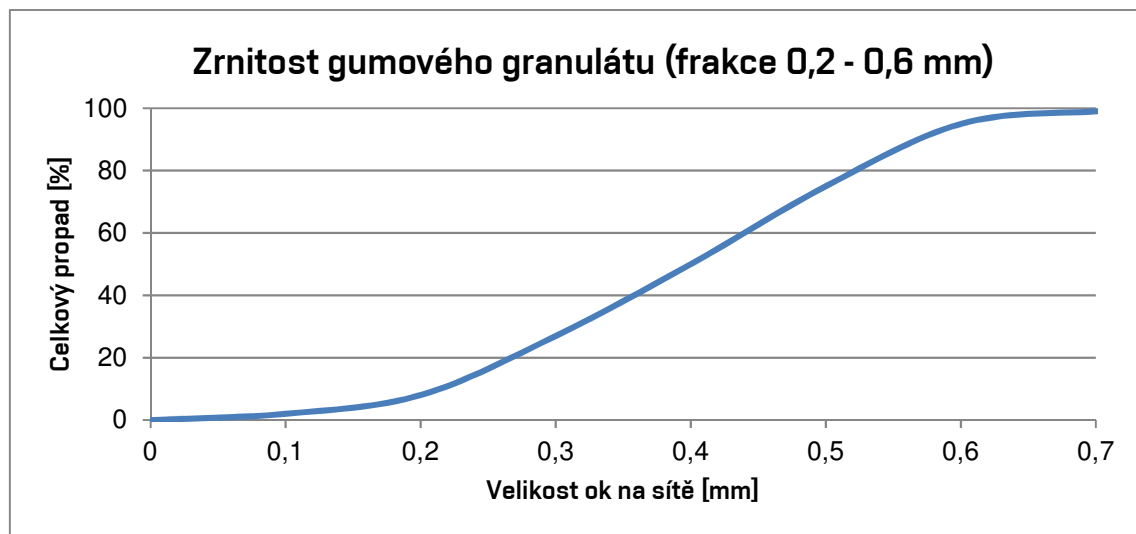
Graf 11 Křivka zrnitosti Liaveru frakce 0,1 - 0,3 mm [13]

4.2.2 Gumový granulát

Hrubý gumový granulát se vyrábí granulací průmyslových pneumatik (z nákladních automobilů či stavebních strojů). Má specifickou černou barvu. Vzhledem k tomu, že granulát je vyroben z množství různých pneumatik, výrobce negarantuje ani neuvádí některé konkrétní vlastnosti. V rámci diplomové práce byl použit produkt německé firmy GENAN frakce 0,2 – 0,6 mm s objemovou hmotností $345 \pm 8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ [14]. Materiálové složení gumového granulátu je zobrazeno v Tab. 11 a jeho granulometrie je znázorněna v Grafu 12.

Tab. 11 Složení gumového granulátu [14]

Materiál	Množství [%]
Celkový obsah polymeru	52 – 56
Přírodní kaučuk	38 – 42
Popel	≤ 12
Extrahovaný aceton	7,5 - 10



Graf 12 Granulometrie gumového granulátu [14]

4.3 PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY

4.3.1 Zkoušení lepidel v čerstvém stavu

Receptury zkoumané v rámci této DP byly navrženy společností Profibaustoffe CZ, s.r.o., v rámci projektu MPO TRIO č. FV20606 s názvem „Technologie lepení velkoformátových obkladových prvků“ a byly také předběžně odzkoušeny z hlediska reálné použitelnosti v řemeslné praxi.

4.3.1.1 Stanovení konzistence zkouškou rozlití

Aby bylo možné receptury vzájemně relevantně porovnávat, jak v čerstvém, tak i ve vyztáhlém stavu, bylo nutné zajistit to, aby byla lepidla připravena při srovnatelné konzistenci. Konkrétně se jednalo o rozliv v intervalu 135 - 150mm na střešacím stolku. Tento interval vychází z praktické zkušenosti společnosti Profibaustoffe CZ, s.r.o., která aplikační vlastnosti lepidel testuje v úzké spolupráci s odbornými řemeslníky.

Pro každou recepturu bylo stanoveno vhodné množství záměsové vody tak, aby po rozdělání s vodou mělo lepidlo konzistenci v požadovaném intervalu. Množství záměsové vody u nelehčených lepidel se pohybovalo v rozmezí 250 až 275 ml/kg (pro lepidla s lehčeným kamenivem až 400 ml/kg) suché směsi.

4.3.1.2 Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu

Objemová hmotnost čerstvého lepidla se stanovila pomocí prázdné nádoby o známé hmotnosti a objemu, která byla naplněna lepidlem a zvážena. Z těchto údajů se vypočítá objemová hmotnost v čerstvém stavu.

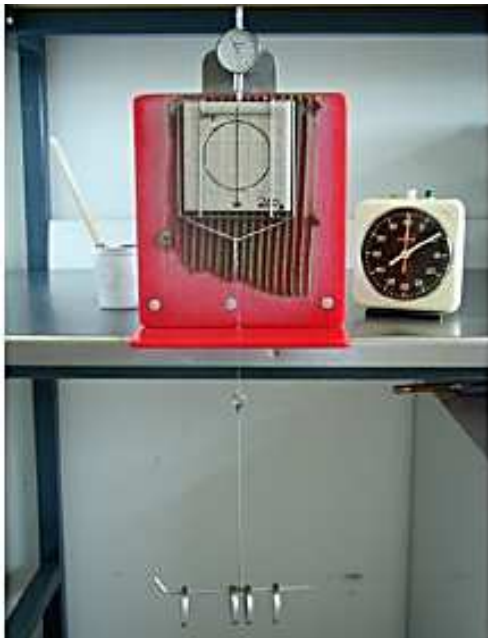
4.3.1.3 Stanovení skluzu

Protiskluzové vlastnosti lepidla tzn. nesjíždivost čerstvě nalepených obkladových prvků na vertikální ploše jsou významným marketingovým znakem pro úspěšnost lepidla na trhu, zajišťujícím vyšší aplikační komfort při práci obkladače. Praxe, bohužel, ukazuje, že normová zkouška skluzu dle ČSN EN 12004-2 nezohledňuje

přetížení obkladového prvku prvkem, který je kladen nad něj. Proto se obvykle provádí alternativní zkouška skluzu se zpřísněnými podmínkami.

Příkladem těchto „zpřísněných protiskluzových zkoušek“ je metoda společnosti DOW – WOLF „WOLF CE-47.1“, při níž je, za pomoci lanka s okem a konzolkou nalepená obkladačka postupně přitěžována prstencovým závažím. Další možností je metoda spol. WACKER, kdy je nalepená obkladačka přes roznášecí prvek o hmotnosti 200 g přitěžována shora postupně přidávaným závažím (po 200 g), viz Obr. 10. Aby lepicí hmota měla zlepšené protiskluzné vlastnosti, musí udržet 600g závaží.

Metoda WOLF CE-47.1



Metoda WACKER



Obr. 10 Alternativní zpřísněné metody zkoušek skluzu [7]

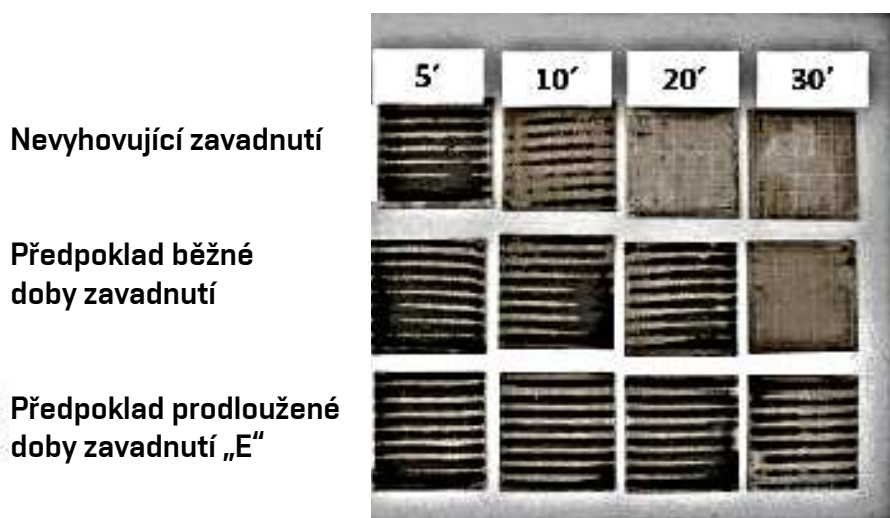
4.3.1.4 Stanovení otevřené doby

Pro účely této diplomové práce byla otevřená doba, u čerstvého lepidla, provedena jednoduchou alternativní zkouškou otisků.

Zkouška se provádí z počátku shodně jako zkouška otevřené doby dle ČSN EN 12004-2, kdy se předepsané obkladové prvky nalepí na lepidlo v časovém intervalu 5, 10, 20, a 30 minut od natažení lepidla na podklad. Obkladové prvky použité pro tuto metodu jsou glazované pórovité keramické obkladové prvky podle EN 14411,

skupiny BIII s nasákavostí (15 ± 3) % hmotnostních, čtvercového formátu o délce hrany (50 ± 1) mm. V rámci této diplomové práce byly prvky nalepeny na lepidlo v intervalech 20, 25, 30, 35 a 40 minut. Následně se však nečeká na jejich tahové přídržnosti po 28 dnech zrání, ale ihned po nalepení se zase odlepí a pozoruje se jejich rubová strana a posoudí se míra otisku lepidla, viz Obr. 11. Pro předpoklad dobré otevřené doby a dostatečného vykrytí spoje lepidlem je vyhovující otisk lepidla na min. 50 % plochy obkladového prvku.

Dle výsledků stavební praxe, je provádění této alternativní zkoušky dostačující, jako výsledek zkoušky otevřené doby dle ČSN EN 12004-2.



Obr. 11 Vyhodnocení alternativní zkoušky otevřené doby lepidla [7]

4.3.2 Zkoušení lepidel v zatvrdlém stavu

4.3.2.1 Stanovení objemové hmotnosti zatvrdlého lepidla

Objemová hmotnost je definována jako hmotnost objemové jednotky včetně dutin a pórů. Objemová hmotnost byla zjišťována na trámečcích, a to tak, že se trámečky zvážily a změřily. Následně se vypočítala objemová hmotnost zatvrdlého lepidla.

4.3.2.2 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Zkouška pevnosti v tahu za ohybu lepidel vychází z normy ČSN EN 12 808-3. Zkouška byla upravena tak, že při plnění forem nedochází k hutnění vibrováním. Pevnost v tahu za ohybu byla zjišťována na trámečcích $40 \times 40 \times 160$ mm umístěných symetricky na podpěry a rovnoměrně zatěžovaných hydraulickým lisem kolmo na směr hutnění. Zkouška je prováděna po uložení vzorku po dobu 3 dnů ve formě zakryté sklem a následně kondicionované 25 dní za standardních podmínek v laboratoři. Pevnost v ohybu (R_f) se vypočítá ze vztahu:

$$R_f = \frac{3 \cdot F_f \cdot L}{2 \cdot b^3} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

kde

b ... je délka jedné strany čtvercové základny hranolu [mm],

F_f ... zatížení vložené na střed hranolu při zlomení [N],

L ... vzdálenost mezi podpěrami [mm].

Vypočítá se průměr ze tří stanovených hodnot s přesností na $0,1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

4.3.2.3 Stanovení pevnosti v tlaku

Zkouška pevnosti v tlaku lepidel vychází z normy ČSN EN 12 808-3. Zkouška byla upravena tak, že při plnění forem nedochází k hutnění vibrováním. Pevnost v tlaku se zkouší na zlomcích zkušebních trámečků po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Zkouška je prováděna po uložení vzorku 28 dní za standardních podmínek v laboratoři. Pevnost v tlaku (R_c) se vypočítá ze vztahu:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

kde

F_c ... je maximální zatížení při porušení [N],

$1600 = 40 \times 40$ mm je plocha tlačných desek [mm^2].

Hodnota pevnosti v tlaku je vypočtena jako aritmetický průměr hodnot stanovených na 6 zlomcích zkušebních trámečků s přesností $0,1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

4.3.2.4 Stanovení tahové přídržnosti

Stanovení přídržnosti tahovou zkouškou bylo provedeno dle normy ČSN EN 12004-2. Na betonovou desku se nanese tenká vrstva lepidla. Potom se nanese na povrch betonové desky silnější vrstva lepidla a rozhrne se ozubenou stěrkou se zuby o rozměrech 6 × 6 mm. Na maltu se po 5 minutách položí keramické obkladové prvky ve vzdálenosti 50 mm od sebe a každý se zatíží na 30 s silou 20 N. Obkladové prvky pro tuto zkoušku jsou za sucha lisované keramické obkladové prvky podle EN 14411 skupiny BI_a, plně slinuté s nasákavostí ≤ 0,5 % hmotnostních, neglazované, ve formátu čtverce s délkou hrany (50 ± 1) mm.

Počáteční přídržnost

Po 27 dnech uložení ve standardních podmínkách se vhodným lepidlem (např. epoxidovým) k obkladovým prvkům přilepí odtrhové desky. Po 24 hodinách uložení ve standardním prostředí se stanoví přídržnost lepidla tahovou zkouškou.

Přídržnost po ponoření do vody

Zkušební tělesa se kondicionují za standardních podmínek po dobu 7 dní, potom se ponoří do vody při teplotě okolí. Po 20 dnech se zkušební tělesa vyjmou, osuší hadříkem a k obkladovým prvkům se přilepí odtrhové desky. Po 7 hodinách se zkušební tělesa ponoří zpět do vody. Následující den se zkušební tělesa vyjmou z vody a ihned se stanoví přídržnost lepidla tahovou zkouškou.

Přídržnost po uložení při vyšší teplotě

Zkušební tělesa se kondicionují za standardních podmínek po dobu 14 dní, potom se vloží na 14 dní do sušárny s cirkulací vzduchu vyhřáté na 70 °C. Zkušební tělesa se vyjmou ze sušárny a vhodným lepidlem se k obkladovým prvkům přilepí odtrhové desky. Po 24 hodinách uložení ve standardním prostředí se stanoví přídržnost lepidla tahovou zkouškou.

Přídržnost po cyklech zmrazení a rozmrazení

Zkušební tělesa se kondicionují za standardních podmínek po dobu 7 dní, pak se na 21 dní ponoří do vody a následně se provede 25 cyklů zmrazení – rozmrazení. Po posledním cyklu se zkušební tělesa vyjmou z vody, osuší

se a přilepí se odtrhové desky. Následně se zkušební tělesa kondicionují 24 hodin za standardních podmínek a stanoví se tahová přídržnost lepidla.

Alternativní metoda zkoušení tahové přídržnosti

Při zkoušení tahové přídržnosti, bylo v rámci této diplomové práce přidáno nanesení lepidla na glazovaný obkladový prvek (simulace velmi hladkého, rovinného, slinutého podkladu) s uložením ve standardních podmínkách a ve vodním uložení (v grafech označení S-GL a V-GL). V praxi se s tímto podkladem lze setkat u rekonstrukcí.

Hodnoty tahové přídržnosti se vypočítají podle vzorce:

$$A_s = \frac{L}{A} \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

kde

L je celková tahová síla [N],

A je lepená plocha 2500 mm².

Tahová přídržnost se určí jako střední hodnota ze všech hodnot, hodnoty ležící mimo rozsah $\pm 20\%$ se vyloučí. Výsledek se zaokrouhlí s přesností 0,1 N·mm⁻².

4.3.2.5 Stanovení dynamického modulu pružnosti

Dynamický modul pružnosti lze určit pomocí metody rezonanční nebo ultrazvukové impulsové metody. Dynamický modul pružnosti byl zjišťován na trámečcích 40 × 40 × 160 mm ultrazvukovou impulsovou metodou dle normy ČSN 73 1371:2011. Pro měření rychlosti šíření ultrazvukových vln o frekvenci 150 kHz byla použita průchodová metoda měření, přičemž měření probíhá mezi čely trámečků po dráze 160mm. Hodnota dynamického modulu pružnosti se určí z následujícího vztahu:

$$E_{cu} = \rho \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \text{ MPa}$$

kde

ρ je objemová hmotnost betonu [kg · m⁻³]

v impulzová rychlost podélného UZ vlnění [km · s⁻¹]

k součinitel rozměrnosti prostředí (pro polymer-cementové hmoty k = 1).

4.3.2.6 Stanovení otevřené doby

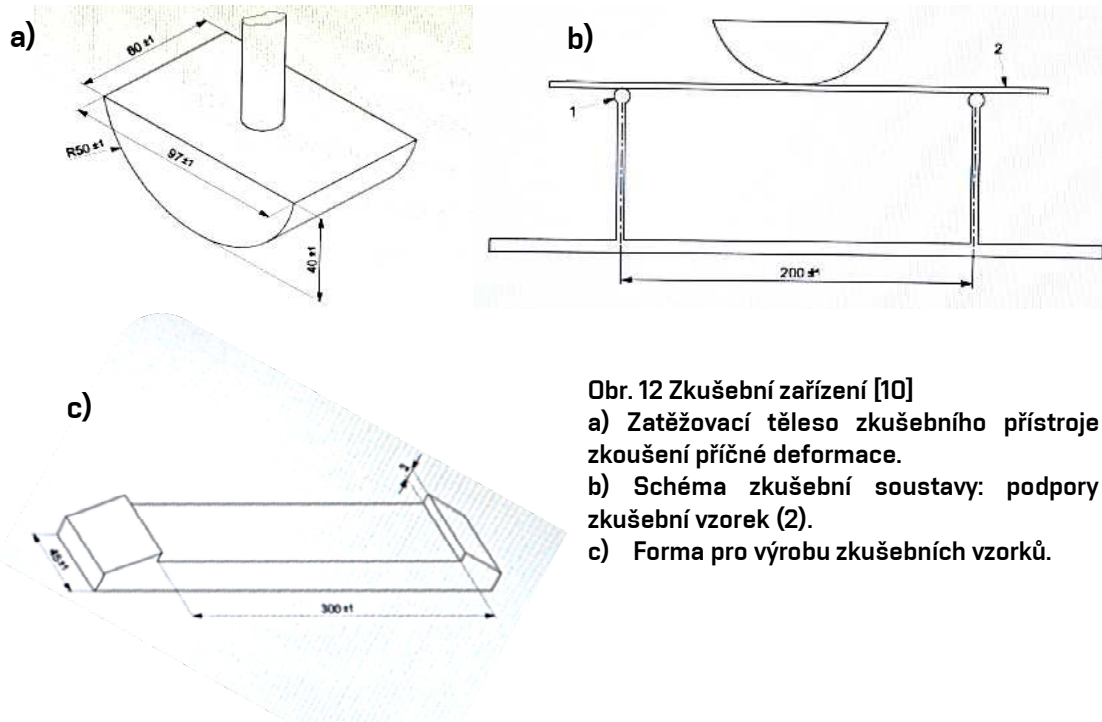
Zkouška otevřené doby se provádí dle ČSN EN 12004-2, kdy se předepsané obkladové prvky nalepí na lepidlo v časovém intervalu 5, 10, 20, a 30 minut (u této práce navíc 40 minut) od natažení lepidla na podklad. Obkladové prvky použité pro tuto metodu jsou glazované pórovité keramické obkladové prvky podle EN 14411, skupiny BIII s nasákavostí (15 ± 3) % hmotnostních, čtvercového formátu o délce hrany (50 ± 1) mm. Po 28 dnech zrání se stanoví tahová přídržnost v MPa jako poměr maximální tahové síly při porušení k ploše odtrhové desky.

4.3.2.7 Stanovení příčné deformace

Příčná deformace se používá k hodnocení deformovatelnosti (flexibility) lepidla, tj. jeho schopnosti deformovat se napětími mezi obkladovým prvkem a podkladem bez poškození instalovaného povrchu.

Pro stanovení příčné deformace dle normy ČSN EN 12004-2 se čerstvá hmota nejprve vpraví do šablon, následně se zakryje ocelovým přípravkem a zatíží na 1 hodinu, po odtížení zůstává přiklopena ocelovým přípravkem po dobu 2 dní, než lepidlo zatvrdne. Takto vyrobená zkušební tělesa, o rozměrech přibližně $290 \times 45 \times 3$ mm se uloží do vzduchotěsné nádoby a kondicionují se 12 dnů při teplotě (23 ± 2) °C. Následně se vyjmou z nádoby a kondicionují se 14 dnů na vzduchu za standardních podmínek. Poté se změří jejich tloušťka na 3 místech a vypočte se průměrná hodnota. Tloušťka vzorku je požadována v rozmezí $(3,0 \pm 0,1)$ mm, nevyhovující se odstraní ze sady. V rámci této diplomové práce se rozmezí vyhovující tloušťky vzorku rozšířilo na $(3,0 \pm 0,2)$ mm. Zahradí se otřepy podél delších hran a těleso se vloží do zkušebního stroje.

Zkušební těleso se deformuje působením zkušebního přístroje od počátečního bodu příčným zatížením rychlostí 2 mm/minutu až do porušení. Zaznamená se deformace v mm, vypočítá se jejich průměrná hodnota a odstraní se vzorky s příčnou deformací mimo rozmezí ± 20 % průměrné hodnoty. Příčná deformace se udává s přesností na 0,1 mm. Schéma zkušebního zařízení je znázorněno na Obr. 12.



Obr. 12 Zkušební zařízení [10]

- a) Zatěžovací těleso zkušebního přístroje pro zkoušení příčné deformace.
 b) Schéma zkušební soustavy: podpory (1), zkušební vzorek (2).
 c) Forma pro výrobu zkušebních vzorků.

4.3.2.8 Studium mikrostruktury

V rámci diplomové práce byla mikroskopie zkoumána pomocí elektronové rastrovací mikroskopie a diferenční termické analýzy.

Elektronová rastrovací mikroskopie (REM) – umožňuje sledovat mikrostrukturu zkoumaných materiálů. Elektronový rastrovací mikroskop je určen pro náročné vědecké a laboratorní práce, jehož využití lze aplikovat ve většině vědních oborů, díky vysoké rozlišovací schopnosti a hloubce ostroty.

Diferenční termická analýza (DTA) – je dynamická tepelně analytická metoda založená na měření rozdílů teplot mezi zkoušeným vzorkem a inertním standardem. V průběhu zahřívání dochází u řady látek k reakcím, při kterých je teplo spotřebováno nebo uvolňováno. Při spotřebovávání tepla se jedná o endotermní reakci (např. dehydratace, dehydroxylace, tvorba taveniny). Při uvolňování tepla se jedná o exotermní reakci (např. oxidace, krystalizace). Výstupem je záznam, který obsahuje následující tři křivky: DTA křivka – zaznamenává tepelné zbarvení reakcí, tzn., určuje, zda se jedná o exotermní nebo endotermní reakci; TG křivka – křivka zachycující změnu hmotnosti měřeného vzorku. DTG křivka – první derivace křivky TG. Pomáhá určovat začátek a konec probíhajících reakcí.

4.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

4.4.1 Vyhodnocení vlastností lepidel v čerstvém stavu

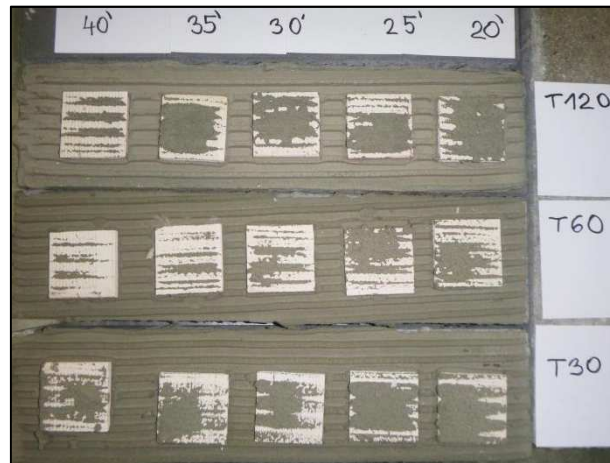
Vlastnosti lepidel v čerstvém stavu jsou uvedeny v Tab. 12 – 14. Otevřená doba se v rámci této diplomové práce testovala alternativní metodou WACKER, jejímž výstupem jsou otisky. Výsledné otisky zobrazují následující Obr. 13 – 15.

4.4.1.1 Vyhodnocení vlastností lepidel v čerstvém stavu z etapy I

Tab. 12 Etapa I - vlastnosti testovaných lepidel v čerstvém stavu

Ozn.	Voda [ml · kg ⁻¹]	Konzistence [mm]	Objemová hmotnost [kg · m ⁻³]	Skruz WACKER [g]
T120 – A	250	140	1600	200
T90 – A	260	135	1580	800
T60 – A	260	135	1600	800
T30 – A	275	141	1580	1200

U lepidel etapy I s polymerní přísadou typu A s dávkováním 3 - 12 % z hmotnosti suchých složek se spotřeba vody pohybovala v rozmezí 250 až 275 ml na 1 kg suchých. Při zjišťování objemové hmotnosti těchto lepidel se dosáhlo očekávané hodnoty okolo 1600 kg · m⁻³. Při zkoušení skluzu u lepidel, s polymerem typu A v množství 3 – 9 %, alternativní metodou WACKER lze vidět, že udrží min. požadované závaží o hmotnosti 600 g, proto je lze označit dle normy ČSN EN 12004-1 písmenem T, lepidla se sníženým skluzem. Ovšem při dávkování stejného polymeru v množství 12 % z hmotnosti suchých složek již nedosáhneme těchto hodnot a lze říci, že lepidlo je již předávkováno polymerní přísadou a nespĺňuje požadovaný efekt.



Obr. 13 Otisky v časech 20, 25, 30, 35 a 40 minut od natažení lepidla na betonovou desku pro lepidla s RPP typu A

Při zkoušení otevřené doby alternativní metodou bylo zjištěno, že lepidla etapy I s polymerním práškem typu A v množství 3 % a 12 %, dosahují dostatečné plochy otisků i po 30 minutách, a to 50 %, viz Obr. 13. Lepidlo T90 s 9 % RPP dosahuje otevřené doby 30 minut, viz Obr. 14. Jak lze vidět z Obr. 13 u lepidla T60 se nedosáhlo prodloužené otevřené doby. Již po 20 minutách je plocha otisku pouze okolo 30 %, což je nedostatečné. Toto chování může být dáno nedostatečným množstvím vody ve směsi, proto nedochází k požadovanému smáčení obkladového prvku, a to vede ke špatnému otisku.

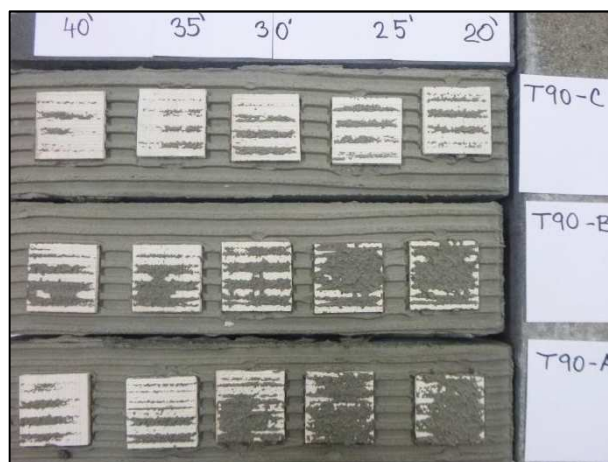
4.4.1.2 Vyhodnocení vlastností lepidel v čerstvém stavu z etapy II

Tab. 13 Etapa II - vlastnosti testovaných lepidel v čerstvém stavu

Ozn.	Voda [ml · kg ⁻¹]	Konzistence [mm]	Objemová hmotnost [kg · m ⁻³]	Skluz WACKER [g]
T90 – A	260	135	1580	800
T90 – B	260	135	1620	400
T90 – C	275	136	1620	400

Pro dosažení stejné konzistence lepidel etapy II bylo potřeba 260 – 275 ml vody na 1 kg suchých složek. Při porovnání lze vidět, že lepidlo T90 – C spotřebovalo více

vody než další dvě lepidla z etapy II. Množství vody v lepidle se následně projevilo při zkoušení skluzu a otevřené doby. Lepidla s polymerním práškem typu B a C nespĺňují požadovanou hodnotu závaží (požadavek min. 600 g) dle metody WACKER. Sníženého skluzu dle metody WACKER dosáhlo pouze lepidlo T90 – A. Objemová hmotnost těchto lepidel se pohybuje okolo hodnoty $1600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.



Obr. 14 Otisky v časech 20, 25, 30, 35 a 40 minut od natažení lepidla na betonovou desku pro lepidla s různým typem RPP

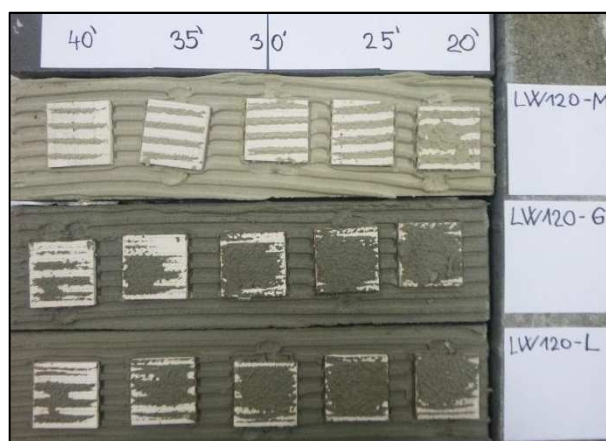
Jak lze vidět z Obr. 14, lepidlo s označením T90 – C (9 % RPP, RPP typ C) má výrazně kratší otevřenou dobu než lepidla s RPP typu A a B. Toho chování se očekávalo, protože již při namíchání čerstvé směsi se lepidlo chovalo oproti ostatním jinak tzv. „kožovatělo“ (tzn., špatně smáčelo obkladový prvek). Lepidlo T90 – A (9 % RPP, RPP typ A) má otevřenou dobu do 30 minut a lepidlo T90 – B (9 % RPP, RPP typ B) má prodlouženou otevřenou dobu až na 35 minut.

4.4.1.3 Vyhodnocení vlastností lepidel v čerstvém stavu z etapy III

Tab. 14 Etapa III - vlastnosti testovaných lepidel v čerstvém stavu

Ozn.	Voda [ml · kg ⁻¹]	Konzistence [mm]	Objemová hmotnost [kg · m ⁻³]
T120 – A	250	140	1600
LW120 – L	400	148	1180
LW120 – G	385	147	1250
LW120 – M	400	146	1080

Pro výrobu lepidel s lehčeným kamenivem a polymerní přísadou typu A s dávkováním 12 % z hmotnosti suchých složek bylo zapotřebí až 400 ml vody na 1 kg suché směsi, aby se dosáhlo požadované konzistence. Vyšší spotřeba vody je dána vyšší množstvím cementu a celulózy. Objemová hmotnost těchto lepidel se pohybuje v rozmezí 1080 až 1250 kg · m⁻³. Při použití gumového granulátu je objemová hmotnost nejvyšší díky tomu, že je toto plnivo nejtěžší. Stanovení skluzu metodou WACKER u těchto lehčených lepidel nebylo provedeno, protože se jedná o lepidla třídy C2ES2, která nemají deklarovanou odolnost proti skluzu a tudíž ji není potřeba zkoušet. Tato lepidla jsou řídká a silně smáčí, takže by obkladový prvek při zkoušce skluzu sjel již při zatížení 0 g nebo 200 g. Porovnáním testovaných vlastností lehčených lepidel s nelehčeným lepidlem T120 – A lze vidět rozdíl ve spotřebě vody a objemové hmotnosti (lehčená lepidla mají objemovou hmotnost nižší až o 30 %).



Obr. 15 Otisky v časech 20, 25, 30, 35 a 40 minut od natažení lepidla na betonovou desku pro lehčená lepidla

Všechna tři lepidla s lehčeným kamenivem dosahují prodloužené otevřené doby, která je patrná z Obr. 15. U těchto hmot je otisk i po 30 minutách od nanesení lepidla na podklad po jeho provedení dostatečný (min. 50 % plochy).

Na Obr. 15 u lepidel LW120 – G a LW120 – L lze názorně vidět, že plocha otisku je větší, kdežto u lepidla LW120 – M jsou otisky vymezeny pouze podle zubů hladítka.

4.4.2 Vyhodnocení vlastností lepidel v zatvrdlém stavu

U lepidel byly sledovány zejména následující mechanické vlastnosti: adheze a deformace lepidel, pevnostní charakteristiky a dynamický modul pružnosti.

4.4.2.1 Vyhodnocení vlastností lepidel v zatvrdlém stavu z etapy I

Tab. 15 Etapa I - vlastnosti testovaných lepidel v zatvrdlém stavu

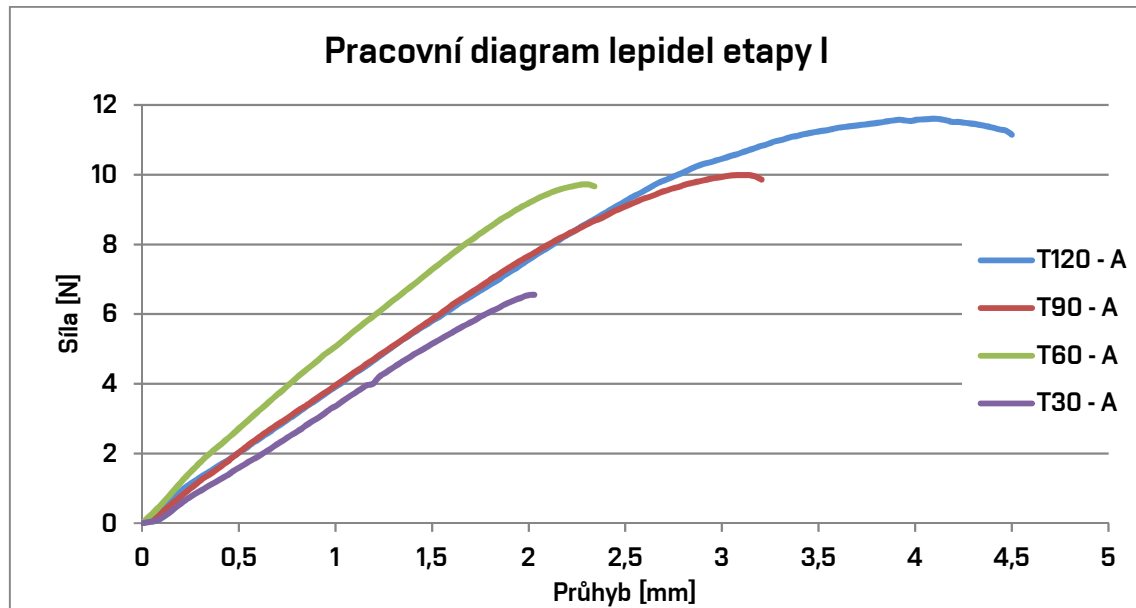
Ozn.	Objemová hmotnost [kg · m ⁻³]	R _c [MPa]	R _f [MPa]	E _{cu} [MPa]	Příčná deformace ε [mm]
T120 – A	1450	16	8,4	10800	4,5
T90 – A	1470	18	8,8	11000	3,4
T60 – A	1490	17	8,2	11900	2,5
T30 – A	1470	16	7,8	11400	2,0

Objemová hmotnost lepidel etapy I v zatvrdlém stavu se s rostoucím obsahem RPP výrazně nemění a pohybuje se okolo hodnoty 1470 kg · m⁻³.

Pevnost v tlaku se u těchto lepidel pohybuje v rozmezí 16 – 18 MPa, hodnoty pro pevnost v tahu za ohybu se pohybují v rozmezí 7,8 – 8,8 MPa. To znamená, že množství RPP nemá zásadní vliv na pevnosti lepidla.

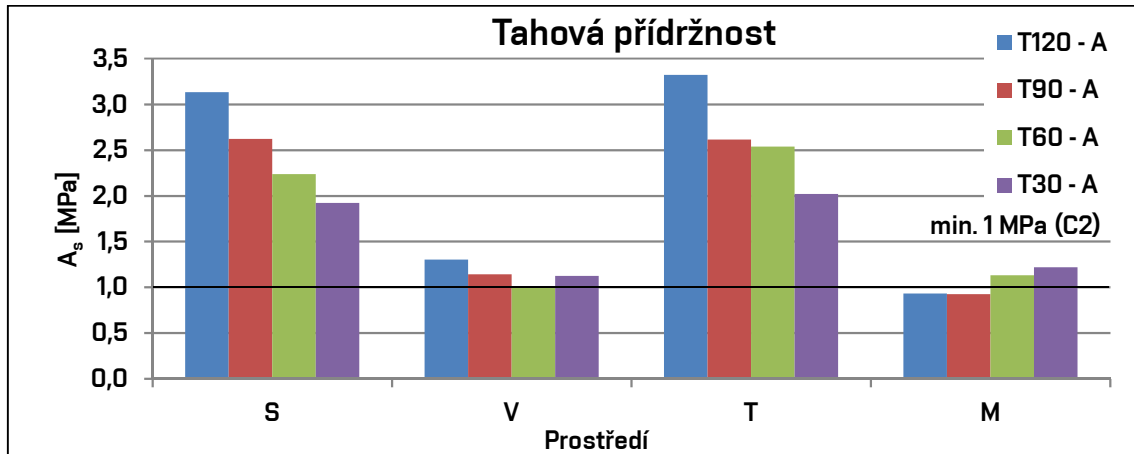
Modul pružnosti lepidel etapy I klesá s rostoucím obsahem RPP. Výjimku tvoří hmota T60 – A, kdy dosahuje nejvyššího modulu pružnosti, a to 11900 MPa. Důvodem může být vliv pórovité struktury konkrétního testovaného vzorku, kdy mohlo dojít k ovlivnění průchodu ultrazvuku. Polymery obsažené v cementových lepidlech

způsobují nepatrné změkčení cementové matrice, tzn., že s rostoucím obsahem RPP v lepidle modul pružnosti klesá.



Graf 13 Pracovní diagram závislosti síly na průhybu při zkoušce deformovatelnosti lepidel etapy I – lepidla s RPP typu A v množství 3 – 12 %

Aby lepidla byla deformovatelná, musí dosáhnout minimálně 2,5 mm průhybu při stanovení příčné deformace. Lepidlo T30 – A s nejnižším obsahem RPP v množství 3 % dosahuje průměrně průhybu o velikosti jen 2 mm, což je nedostačující pro označení jako deformovatelné lepidlo. Jedná se o lepidlo rigidní, kdy lineárně narůstá síla i průhyb, ale při dosažení maximální síly se lepidlo již nedeformuje a praskne. Je tedy nutné zvýšit dávku RPP, aby lepidla byla pružnější. To se již projeví u lepidel s dávkou RPP od 6 %. Deformace u lepidel T60 – A a T90 – A se pohybuje okolo 3 mm a díky tomu lze označit dle normy ČSN EN 12004-1 jako lepidla deformovatelná, tedy označením S1. Při aplikaci RPP v množství až 12 % je lepidlo nejpružnější a jeho deformace dosahuje téměř 5 mm a dle normy ČSN EN 12004-1 se řadí do skupiny deformovatelných lepidel s označením S1. Pracovní diagram závislosti síly na průhybu vybraných zástupců lepidel s odlišným množstvím RPP typu A je zobrazen v Grafu 13.



Graf 14 Tahová přídržnost lepidel etapy I uložených v různém prostředí
Pozn. S – standartní podmínky, V – vodní uložení, T – prostředí s vyšší teplotou, M – zmrazovací cykly

V etapě I se přídržnost tahovou zkouškou testovala po uložení při standartních podmínkách, ve vodním uložení, při vyšší teplotě a po zmrazovacích cyklech.

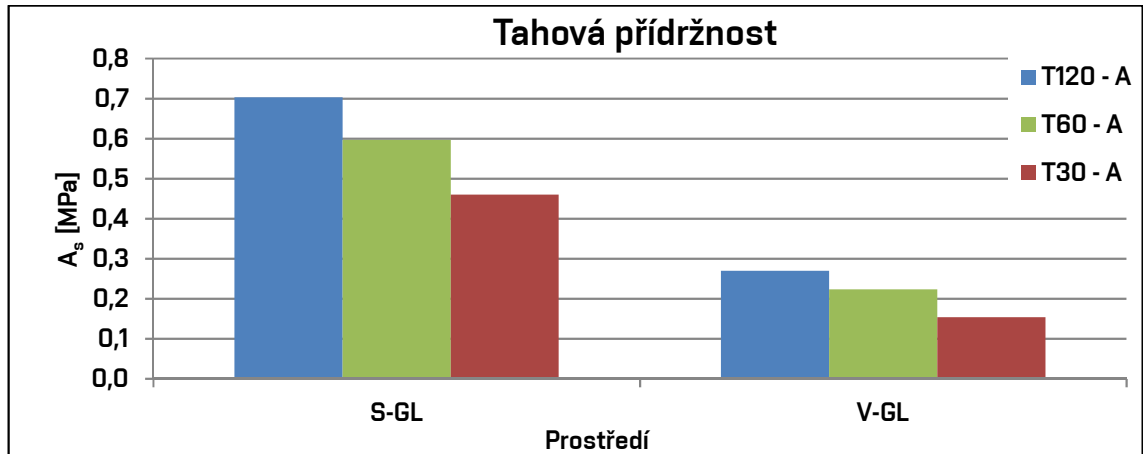
V prostředí standartních laboratorních podmínek se hodnota přídržnosti lepidel pohybuje od 1,92 do 3,13 MPa. S rostoucím obsahem RPP v lepidle roste i hodnota přídržnosti lepeného systému. Při provádění zkoušky přídržnosti u lepidla T120 – A došlo dle ČSN EN 12004-2 ke koheznímu porušení soudržnosti podkladu značeného CF-S (typy porušení, které jsou použity dále v této práci, jsou definovány v Příloze A normy ČSN EN 12004-2. Porušení ve vrstvě betonového podkladu nastalo kvůli tomu, že lepidlo mělo výbornou adhezi k podkladu díky polymernímu filmu a neporušilo se, ale beton nápor vysoké tahové síly nevydržel. Při zkoušení dalších lepidel s nižším obsahem RPP (3 – 9 %), etapy I byla většinou porušení v soudržnosti lepidla (CF-A) či porušení přídržnosti mezi lepidlem a podkladem (AF-S). Ve standartních podmínkách však všechna lepidla etapy I s RPP typu A dosáhla přídržnosti minimálně 1 MPa a lze je popsat dle normy ČSN EN 12004-1 značením C2.

Lepidla při uložení ve vodním prostředí dosáhla nižších hodnot přídržnosti, a to v rozmezí 1,00 – 1,30 MPa. Vodní uložení simuluje vztlínání vlhkosti či zatékání vody přes porušenou spárovací hmotu a to, jak absorbovaná voda působí uvnitř lepidla. Vlhkost obecně působí nepříznivě na mechanické vlastnosti lepidel (oddělují se vrstvy od sebe – obkladový prvek od lepidla nebo lepidlo od podkladu). Případně dochází vlivem vlhkosti k bobtnání lepicí hmoty a k narušení celého obkladového systému

nejen z hlediska fyzikálně-mechanického, ale také estetického. Porušení vzorků byla buď v soudržnosti lepidla (CF-A) nebo mezi lepidlem a podkladem (AF-S). Opět s rostoucím obsahem RPP roste i tahová přídržnost a hodnoty přesahují požadované minimum pro označení lepidla s vysokou přídržností, dle normy ČSN EN 12004-1 značené C2.

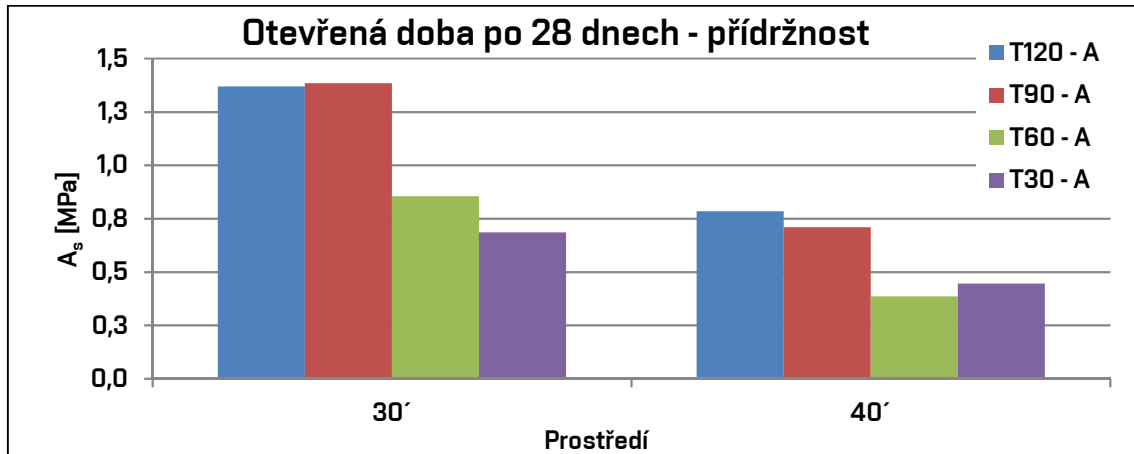
U lepidel vystavených teplotě 70 °C se přídržnost lepidel zvyšuje díky působení vhodných podmínek pro vytvoření polymerního filmu. Polymer v co-matrici více zesílňuje a umožní vytvoření pevnější vazby lepidla s ostatními materiály. S rostoucím obsahem RPP roste tahová přídržnost a dosahuje se hodnot 2,02 – 3,32 MPa. U lepidla T120 – A se vyskytuje kohezní porušení soudržnosti, na 100 % plochy, betonového podkladu (CF-S), u T90 – A je z 80 % porušení soudržnosti podkladu (CF-S) a 20 % adhezní porušení přídržnosti mezi lepidlem a podkladem (AF-S), u T60 – A se porušení zpravidla vyskytují v soudržnosti lepidla (CF-A, 75 %) a u T30 – A dochází pouze ke koheznímu porušení soudržnosti lepidla (CF-A). Všechna lepidla etapy I mají vysokou přídržnost a dle ČSN EN 12004-1 se značí C2.

Simulace zimního prostředí, tedy cykly zmrazení a rozmrazení působí na přídržnost lepidel podobně jako uložení ve vodním prostředí, avšak čím je v lepidle více RPP tím je přídržnost nižší. Polymer již není schopen udržet vazby v matici, a čím ho je více, tím více zaplňuje prostor na úkor cementové matrice, která má lepší odolnost proti mrazu. Projeví se to tak, že se narušuje struktura lepidla a jeho přídržnost k podkladu klesá, k čemuž navíc dopomáhá přítomnost vody při rozmrazování. Vznikají trhlinky, které se naplní vodou, a při zamrznutí se voda změní v led a zvětší svůj objem až o 9 %, tím naruší celou strukturu lepidla. Pouze lepidla T60 – A a T30 – A disponují adhezí vyšší než je požadované minimum 1 MPa, proto je lze dle ČSN EN 12004-1 označit C2. U těchto lepidel se jedná o kohezní porušení v soudržnosti lepidla (CF-A).



Graf 15 Tahová přídržnost lepidel etapy I ve ztížených podmínkách – podklad: glazovaná dlaždice
 Pozn. S-GL – standartní podmínky uložení, podklad glazovaný prvek; V-GL – vodní uložení, podklad glazovaný prvek

Vzhledem k aktuálním požadavkům praxe, kdy může být potřeba pokládat novou dlažbu na původní, je nutné znát chování lepidel na takovém povrchu. Aplikace nové dlažby na starou se používá v případech rekonstrukcí, kdy je nežádoucí odstranění původní dlažby. Zkoušení přídržnosti lepidel aplikovaných na hladkém slinutém povrchu (glazuře) ve standartních podmínkách uložení se dle očekávání projevilo nízkými hodnotami 0,46 – 0,70 MPa. Při uložení ve vodním prostředí se přídržnost pohybovala v nízkých hodnotách 0,15 – 0,27 MPa. Docházelo k adheznímu porušení přídržnosti mezi lepidlem a podkladem (AF-S). Přídržnost lepidel kladených na hladký slinutý glazovaný podklad je až o 50 % než u lepidel kladených na savý betonový podklad. Pro zlepšení přídržnosti na hladkém nepórovitém podkladu se používá adhezní můstek.



Graf 16 Stanovení otevřené doby lepidel etapy I po 28 dnech zrání

Při zkoušení lepidel etapy I, kdy byl obkládací prvek položen po 40 minutách od natažení lepidla, se přídržnost, ve srovnání s položením prvku na lepidlo po 30 minutách od jeho nanesení na podklad, výrazně snížila. Minimální požadavek pro označení lepidel dle ČSN EN 12004-1, jako lepidla s prodlouženou otevřenou dobou (E) na 30 minut, je 0,5 MPa v tahu. Lepidla, na která byl nalepen obkládací prvek po 30 minutách, dosahovala hodnot přídržnosti 0,69 – 1,3 MPa. Díky tomu je lze označit jako lepidla s prodlouženou dobou E. Lepidla, na která byl nalepen obkládací prvek až po 40 minutách, dosahovala přídržnosti 0,39 – 0,79 MPa. Prodloužená otevřená doba na 40 minut již v normě není specifikována, avšak hmoty T120 – A a T90 – A stále dosahují hodnot nad 0,5 MPa. Docházelo k adheznímu porušení přídržnosti mezi lepidlem a podkladem (AF-S). Lze tedy říci, že pokud se nalepí obkládací prvek po 30 až 40 minutách od nanesení lepidla, je i přesto dosaženo dostatečné přídržnosti, kdy lepidla po této době již obvykle zavadnou a ztrácí adhezi.

4.4.2.2 Vyhodnocení vlastností lepidel v zatvrdlém stavu z etapy II

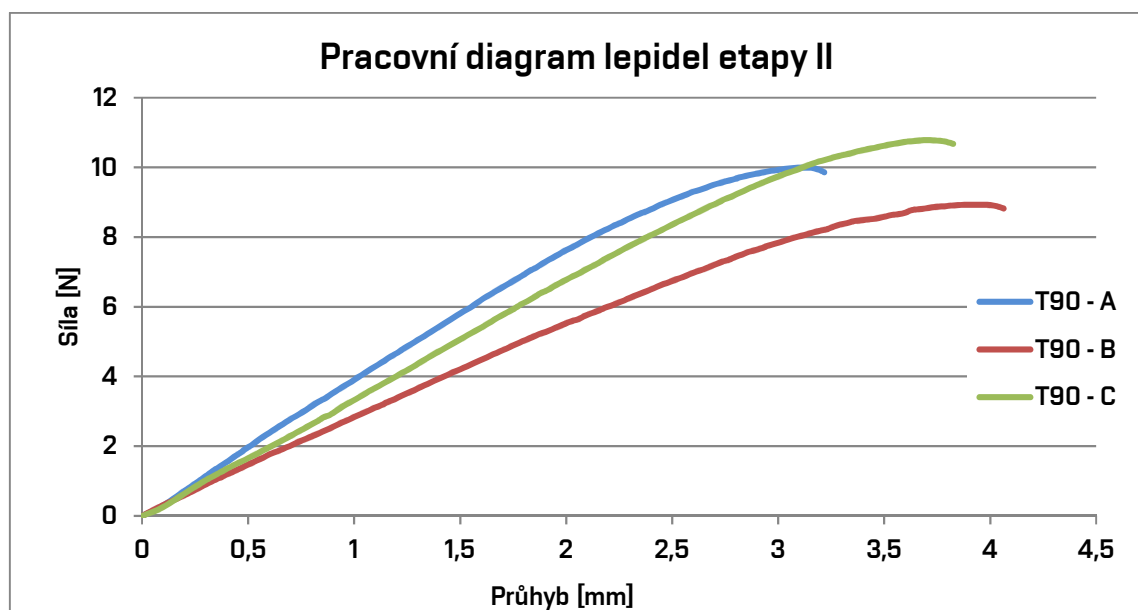
Tab. 16 Etapa II - vlastnosti testovaných lepidel v zatvrdlém stavu

Ozn.	Objemová hmotnost [kg · m ⁻³]	R _c [MPa]	R _f [MPa]	E _{cu} [MPa]	Příčná deformace [mm]
T90 – A	1470	18	8,8	11000	3,4
T90 – B	1440	19	9	10600	3,8
T90 – C	1400	15	7,6	9400	3,8

Objemová hmotnost lepidel etapy II v zatvrdlém stavu se s odlišným typem RPP výrazně nemění a pohybuje se okolo hodnoty $1440 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Typ RPP nemá zásadní vliv na změnu objemové hmotnosti lepidel.

Pevnostní charakteristiky lepidel T90 – A a T90 – B jsou srovnatelné, nižší pevnosti byly zjištěny u lepidla T90 – C. Jediným rozdílem ve složení předmětných hmot je typ RPP, což se projevilo tak, že při použití RPP typu A a B od stejného výrobce (Wacker) bylo dosaženo téměř totožných hodnot pevnosti v tlaku 18 – 19 MPa a pevnosti v tahu za ohybu 8,8 – 9 MPa, viz Tab. 16. Pevnost v tlaku u lepidla T90 – C od jiného výrobce (Organik Kimya) je nižší, a to 15 MPa a pevnost v tahu za ohybu je 7,6 MPa, s čímž také koreluje nižší dynamický modul pružnosti, viz Tab. 16.

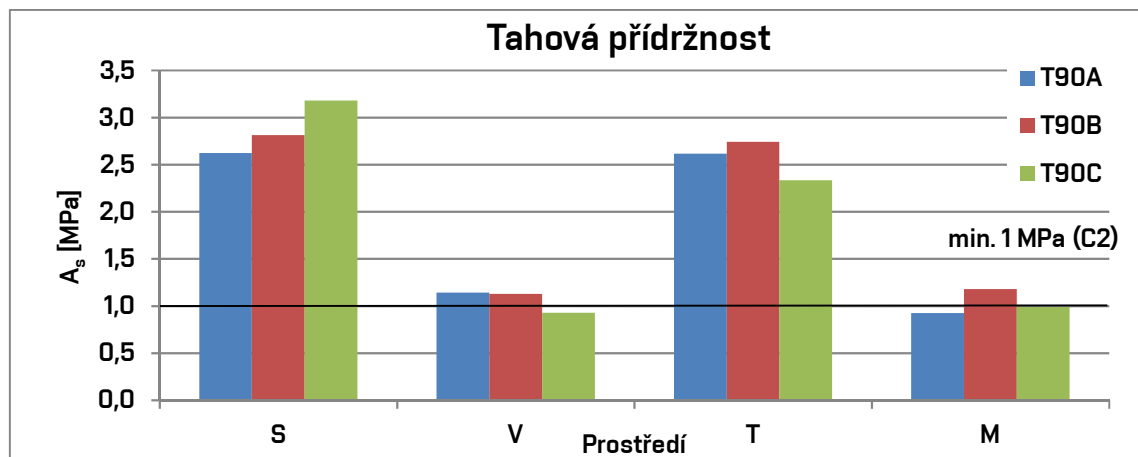
Hodnoty dynamického modulu pružnosti lepidel etapy II se pohybují v rozmezí 9400 – 11000 MPa. Nejvyšší hodnoty dynamického modulu dosáhlo lepidlo T90 – A a nejnižší hodnoty dynamického modulu dosáhlo lepidlo T90 – AC.



Graf 17 Pracovní diagram závislosti síly na průhybu při zkoušce deformovatelnosti lepidel etapy II - lepidla s RPP typu A, B, C v množství 9 %

Příčná deformace všech lepidel etapy II se vyvíjí obdobně. Lepidla T90 – B a T90 – C dosahují průměrně hodnoty průhybu 3,8 mm. Lepidlo T90 – A má příčnou

deformaci průměrně 3,4 mm. Jejich chování, které znázorňuje Graf 17, je však rozdílné. U pracovního diagramu vzorku lepidla T90 – A je vidět, že dosahuje síly 10 N při porušení a průhyb je 3 mm. U lepidel s RPP typu B a C lze v Grafu 18 vidět, že po dosažení maximální síly při porušení dosahují vyššího průhybu než u lepidla T90 – A. To naznačuje, že lepidla T90 – B a T90 – C jsou flexibilnější než T90 – A. Všechna lepidla etapy II jsou deformovatelná a dle normy ČSN EN 12004-1 se značí S1.



Graf 18 Tahová přídržnost lepidel etapy II s odlišným typem RPP o obsahu RPP 9 %
Pozn. S – standardní podmínky, V – vodní uložení, T – prostředí s vyšší teplotou, M – zmrazovací cykly

Tahová přídržnost lepidel etapy II se zkoušela po uložení při standardních podmínkách, ve vodním uložení, při vyšší teplotě a po cyklech zmrazování a rozmrazování.

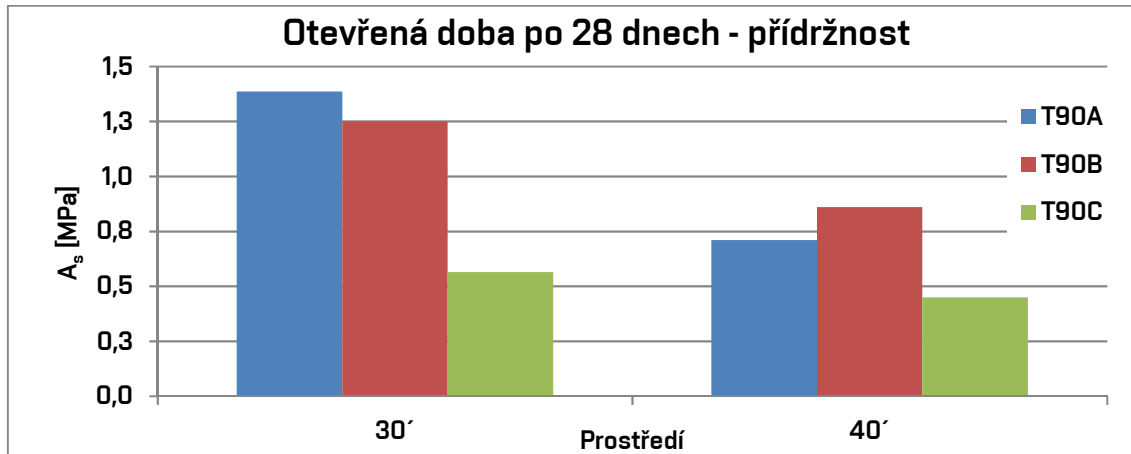
Při zkoušení lepidel ve standardních podmínkách se dosáhlo přídržnosti v rozmezí 2,62 – 3,18 MPa. Nejvyšší přídržnosti dosáhlo lepidlo T90 – C, kdy došlo k porušení ve všech případech ze 70 % na rozhraní lepidla a podkladu a 30 % v lepidle. Lepidlo T90 – B dosáhlo nižších hodnot přídržnosti. Většinou docházelo ke koheznímu porušení soudržnosti betonového podkladu dle normy ČSN EN 12004-2 značeno (CF-S). Tím lze říci, že toto lepidlo má lepší tahové vlastnosti než samotný podklad a systém lepený tímto lepidlem, tak selže spíše na vlastnostech podkladu než lepidla. Podobné chování vykazuje i lepidlo T90 – A, která má nižší tahovou přídržnost než T90 – C, ale opět se jedná o porušení soudržnosti betonu (CF-S) nebo se vyskytuje adhezní porušení přídržnosti mezi lepidlem a betonovým podkladem (AF-S).

Ovšem všechna lepidla etapy II po uložení ve standardních podmínkách dosahují vyšších hodnot přídržnosti než je požadované minimum 1 MPa a lze je dle ČSN EN 12004-1 označit C2.

Uložení ve vodním prostředí způsobilo lepidlům z etapy II snížení hodnot přídržnosti až o 60 % vůči přídržnosti ve standardních podmínkách uložení. Tahová přídržnost ve vodním uložení se pohybuje v rozmezí 0,93 – 1,14 MPa. U lepidel T90 – A a T90 – B je dosaženo minimální požadované hodnoty přídržnosti 1 MPa a proto se dle normy ČSN EN 12004-1 označí C2. Lepidlo T90 – C již nesplňuje podmínky pro označení lepidla s vysokou přídržností a proto se dle normy ČSN EN 12004-1 značí C1, lepidla s přídržností $\geq 0,5$ MPa. U lepidel etapy II zkoušených po vodním uložení dochází většinou k adheznímu porušení přídržnosti mezi lepidlem a podkladem (AF-S), případně ke koheznímu porušení soudržnosti lepidla (CF-A).

Při uložení lepidel při teplotě 70 °C je u přídržnosti dosaženo podobných hodnot jako při uložení lepidel ve standardních podmínkách. Výrobci RPP slibují vysoké hodnoty přídržnosti lepicích hmot s těmito RPP díky vhodným podmínkám pro vytvoření polymerního filmu, což se u lepidel etapy II potvrdilo. K porušení obvykle docházelo u soudržnosti betonového podkladu (CF-S). Přídržnost se pohybuje v rozmezí 2,34 – 2,74 MPa a opět všechna tři lepidla se mohou dle normy ČSN EN 12004-1 označit C2.

Zmrazovací cykly působí na lepidla etapy II podobně jako vodní uložení. U všech vzorků došlo ke koheznímu porušení soudržnosti lepidla (CF-A). Hodnoty přídržnosti se pohybují v rozmezí 0,93 – 1,18 MPa. U lepidel T90 – B a T90 – C je dosaženo minimální hodnoty 1 MPa pro označení dle normy ČSN EN 12004-1 C2, lepidla s vysokou přídržností. Lepidlo T 90 – A má nižší přídržnost než 1 MPa a řadí se dle normy ČSN EN 12004-1 do skupiny C1.



Graf 19 Stanovení otevřené doby lepidel etapy II po 28 dnech zrání

Při zkoušení lepidel etapy II, kdy byl obkládací prvek položen až po 30 a 40 minutách od natažení lepidla, se přídržnost pohybovala v rozmezí 0,45 – 1,39 MPa. Při porovnání vlivu typu použitého RPP lze jednoznačně říci, že lepidlo s RPP typu C má nižší přídržnost ve ztížených podmínkách než při použití RPP typu A a B. To se projevilo již při stanovení otevřené doby pomocí otisků, kdy lepidlo s RPP typu C mělo nedostatečné otisky (min. 50 % plochy), a to bylo předpokladem pro nízkou přídržnost při stanovení otevřené doby po 28 dnech zrání, což se také potvrdilo. Ovšem celkově přídržnost, zkoušena u prvků nalepených až 30 minut po nanesení lepidla, dosahuje dostatečné adheze (min. 0,5 MPa) k tomu, aby mohla být lepidla dle ČSN EN 12004-1 označena, jako lepidla s prodlouženou otevřenou dobou E.

4.4.2.3 Vyhodnocení vlastností lepidel v zatvrdlém stavu z etapy III

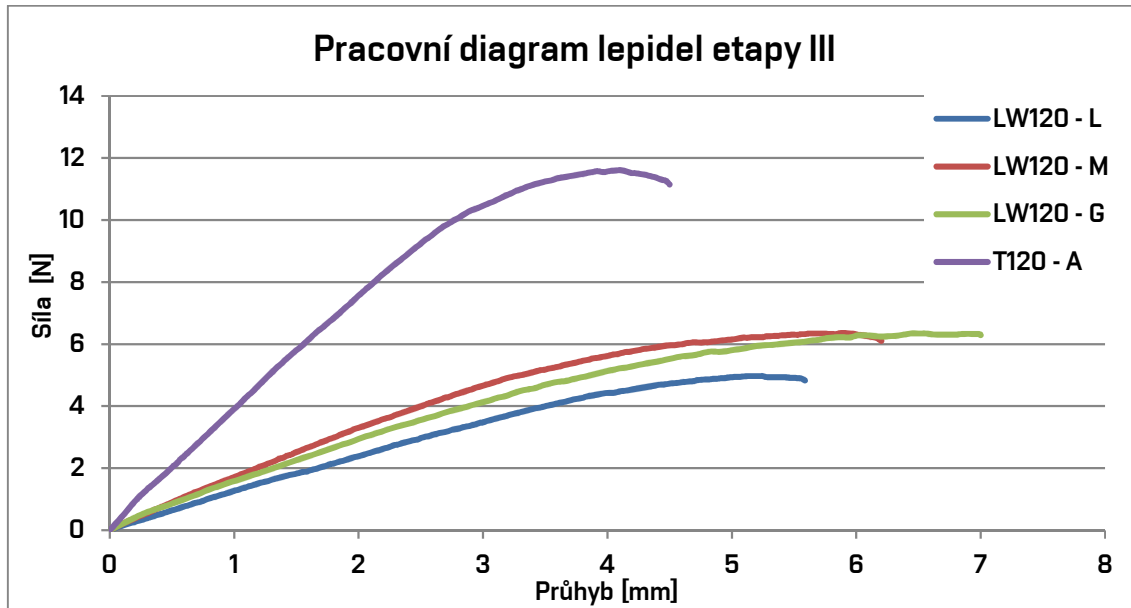
Tab. 17 Etapa III - vlastnosti testovaných lepidel v zatvrdlém stavu

Ozn.	Objemová hmotnost [kg · m ⁻³]	R _c [MPa]	R _f [MPa]	E _{cu} [MPa]	Příčná deformace [mm]
T120 – A	1450	16	8,4	10800	4,5
LW120 – L	1030	11	6,1	5500	5,0
LW120 – G	1090	9	4,5	4600	7,2
LW120 – M	920	10	5,9	4600	6,5

Objemová hmotnost lepidel s odlišnými druhy lehčeného kameniva se pohybuje v rozmezí 920 – 1030 kg · m⁻³. Oproti hmotám nelehčeným se použitím lehčeného kameniva sníží objemová hmotnost až o 30 %. Nejnižší objemovou hmotností disponuje komerční výrobek s označením LW120 – M, u kterého je použito lehčené kamenivo Poraver (v receptuře, ale není známo jeho množství, proto nelze u této hmoty srovnávat jeho vylehčující schopnost vůči ostatním použitým lehčivům). Lepidlo LW120 – G, ve kterém se jako kamenivo použil gumový granulát má nejvyšší objemovou hmotnost, a to 1090 kg · m⁻³ díky tomu, že samotný granulát má nejvyšší objemovou hmotnost. Lepidlo LW120 – L s použitím Liaveru má nižší hodnotu objemové hmotnosti 1030 kg · m⁻³, protože Liaver je lehčí materiál než gumový granulát.

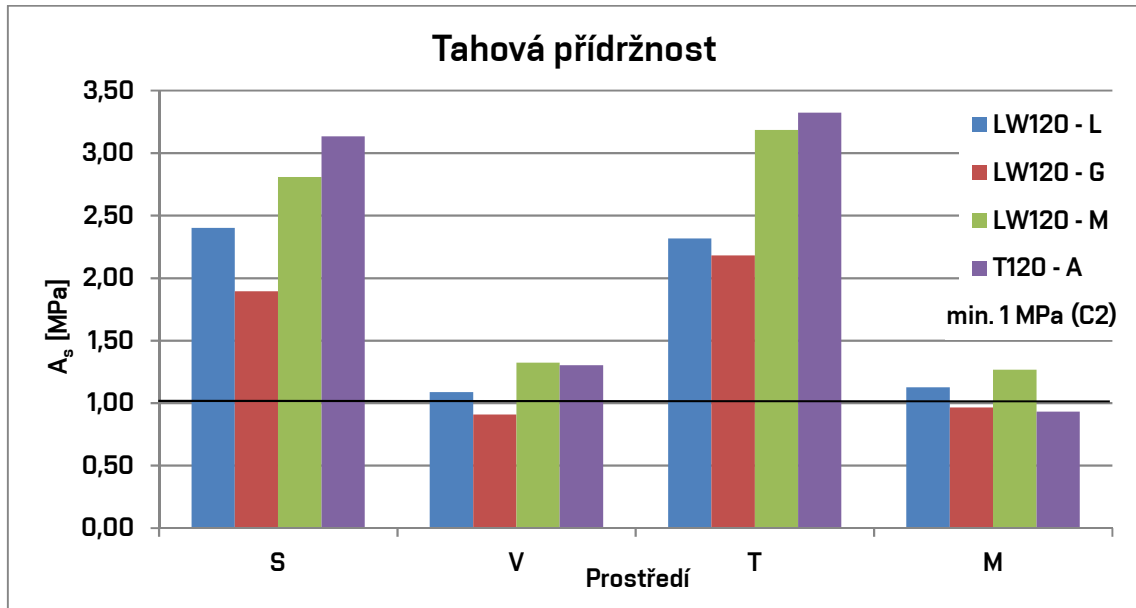
Pevnosti těchto lepidel s lehčeným kamenivem se pohybují v rozmezí hodnot s malými odchylkami. Pevnost v tlaku se pohybuje v rozmezí 9 – 11 MPa a pevnost v tahu za ohybu v rozmezí 4,5 – 6,2 MPa, nejnižší hodnoty pevností vykazuje lepidlo LW120 – G s gumovým granulátem. Toho chování se lze vysvětlit vlastnostmi gumového granulátu a to tím, že jeho zrna jsou spíše pružná než pevná, čímž lepidlo získává dobrou flexibilitu, ale na úkor pevnosti. Při porovnání hodnot pevností lepidla s nelehčeným lepidlem T120 – A mají tato lepidla nižší hodnoty pevností až o 40 %.

Dynamický modul pružnosti se u lehčených lepidel etapy III pohybuje v rozmezí 4600 – 5500 MPa. Dynamický modul pružnosti u hmoty s použitím Liaveru dosahuje nejvyšší hodnoty, protože zrna Liaveru jsou pevná a činí tak lepicí hmotu méně pružnou než při použití gumového granulátu. Porovnáním dynamického modulu pružnosti nelehčené hmoty T120 – A s dynamickým modulem pružnosti lehčených lepidel, zjistíme snížení hodnoty až o 60 % u lehčených lepidel.



Graf 20 Pracovní diagram závislosti síly na průhybu při zkoušce deformovatelnosti lepidel etapy III - lepidla s odlišnými typy lehčeného kameniva a RPP v množství 12 %

Flexibilita lepidel etapy III s lehčeným kamenivem hodnocena pomocí příčné deformace uvedené v Grafu 16 ukazuje, že použitím Liaveru i gumového granulátu lze dosáhnout velkého průhybu vzorků. Vzhledem k vlastnostem gumového granulátu, konkrétně k pružnosti jeho zrn, se předpokládalo zajištění vysoké flexibility lepidla, čehož také bylo dosaženo. Průhyb přesahuje hodnotu 5 mm a díky tomu jde o lepidla s vysokou deformovatelností, která jsou dle normy ČSN EN 12004-1 značena S2. Komerční výrobek, u kterého neznáme přesné složení, má podobný vývoj průhybu v závislosti na zatěžovací síle jako lepidlo LW120 - G a tak jej lze popsat dle normy ČSN EN 12004-1 značkou S2. Porovnání flexibility lepidla lehčeného s nelehčeným ukazuje, že lehčená lepidla dosahují výrazně vyšší deformovatelnosti již při poloviční síle zatížení, než u nelehčené hmoty T120 - A.



Graf 21 Tahová přídržnost vybraných lepidel etapy III s odlišnými druhy kameniva a 12 % RPP
Pozn. S – standardní podmínky, V – vodní uložení, T – prostředí s vyšší teplotou, M – zmrazovací cykly

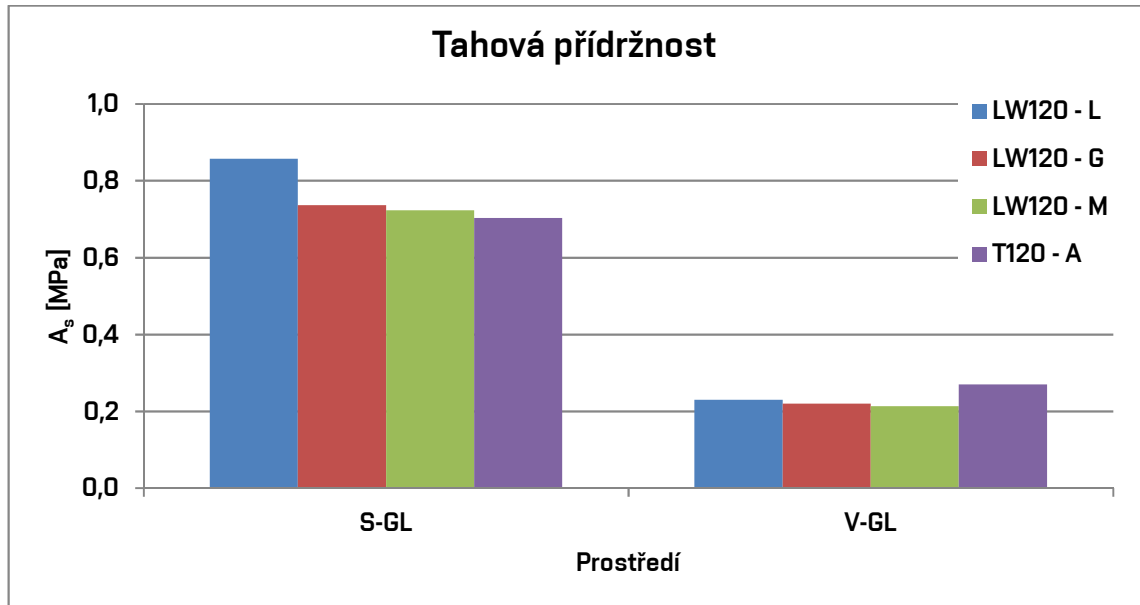
V etapě III se přídržnost tahovou zkouškou testovala po uložení zkušebních těles ve standardních podmínkách, ve vodním uložení, při vyšší teplotě a po zmrazovacích cyklech.

Lepidla s lehčeným kamenivem uložené ve standardních podmínkách dosahují přídržnosti 1,90 – 2,81 MPa. Nejvyšší přídržností disponuje komerční výrobek LW120 – M, a to 2,81 MPa. Většinou docházelo ke koheznímu porušení soudržnosti lepidla značeného dle normy ČSN EN 12004-2 CF-A a z malé části k adheznímu porušení přídržnosti mezi lepidlem a betonovým podkladem (AF-S). Lze říci, že samotné lepidlo má horší soudržnost než je přídržnost lepidla k podkladu. Vzhledem k neznámému surovinovému složení lepidla LW120 - M nelze přesně usoudit, čím je tato skutečnost způsobena. U dalších dvou lepidel s lehčeným kamenivem došlo k porušení soudržnosti lepidla (CF-A), především u LW120 – G. U LW120 – L se objevilo porušení minimální části v soudržnosti betonového podkladu, většinou se porušila soudržnost lepidla (CF-A). Všechna tři lepidla však přesahují požadované minimum pro označení C2 dle normy ČSN EN 12004-1, lepidla s vysokou přídržností.

Vodní uložení značně snížilo přídržnost všech lepidel etapy III. Hmota LW120 – G má přídržnost jen 0,91 MPa a nelze ji zařadit do skupiny lepidel s vysokou přídržností při uložení ve vodě. Zde se vyskytovalo pouze porušení soudržnosti lepidla, tzn., že lepidlo bylo působením vody narušeno. U lepicí hmoty LW120 – L se porušení pohybovala zhruba v 50 % plochy v soudržnosti lepidla a v 50 % plochy došlo k porušení přídržnosti mezi lepidlem a podkladem. Porušení u LW120 – M se téměř u všech zkoušených vzorků objevovala v soudržnosti lepidla (CF-A), další bylo adhezní porušení přídržnosti mezi lepidlem a betonovým podkladem (AF-S).

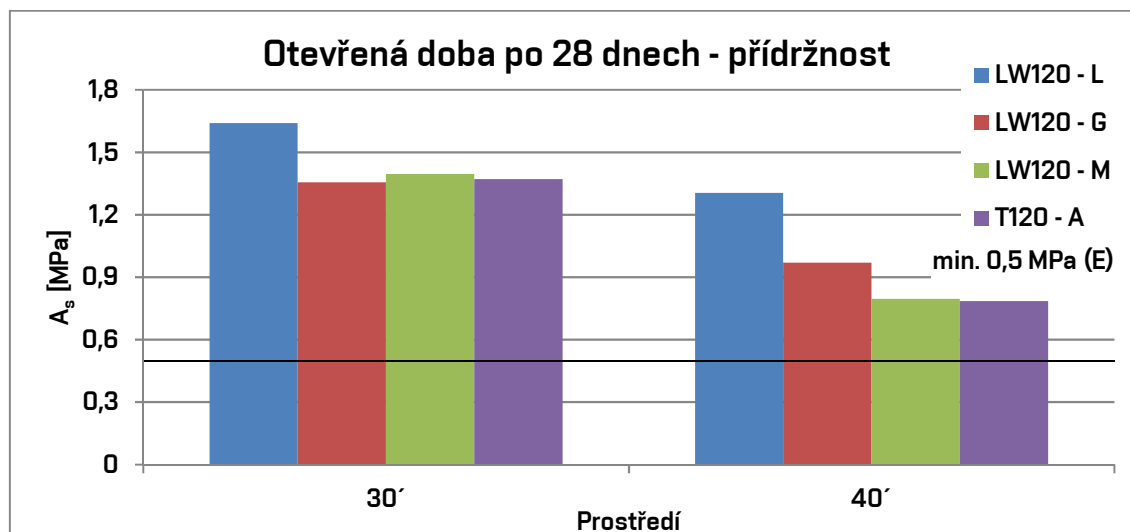
Při působení teploty 70 °C je u přídržnosti lepidel dosaženo podobných hodnot jako při uložení ve standardních podmínkách. Lepidlo LW120 – L odolávala náporu tahové síly a porušení byla zjištěna pouze v soudržnosti betonového podkladu (CF-S). U lepidla LW120 – G se porušení objevovalo především v soudržnosti lepidla (CF-A), a u jednoho zkušební vzorku i z velké části v soudržnosti betonového podkladu (CF-S). Lepicí hmota LW120 – M s nevyšší hodnotou přídržnosti 3,19 MPa vykazovala porušení pouze v soudržnosti lepidla (CF-A). Přídržnost lepidel etapy III se pohybuje v rozmezí 2,18 – 3,19 MPa a opět všechna tři lepidla se mohou dle normy ČSN EN 12004-1 označit C2.

Vliv zmrazovacích cyklů na lepidla etapy III je podobný vlivu vodního uložení a přídržnost je působením zmrazovacích cyklů snížena až o 60 %. Hodnoty přídržnosti se pohybují v rozmezí 0,97 – 1,27 MPa. U lepidel LW120 – L a LW120 – M dosahuje přídržnost hodnoty nad 1 MPa a proto je lze dle normy ČSN EN 12004-2 popsat C2. Lepidlo LW120 – G dosahuje přídržnosti 0,97 MPa a již tedy nemůže být zařazena do skupiny C2. Porušení u všech hmot s lehčeným kamenivem po zmrazovacích cyklech se pohybovala především v soudržnosti lepidla (CF-A).



Graf 22 Tahová přídržnost vybraných lepidel etapy III s odlišnými druhy kameniva a 12 % RPP ve ztížených podmínkách – podklad: glazovaná dlaždice
Pozn. S-GL – standartní podmínky uložení, podklad: glazura; V-GL – vodní uložení, podklad: glazura

Zkoušení přídržnosti lepidel aplikovaných na hladkém slinutém povrchu (glazuře) se projevilo nízkými hodnotami 0,21 – 0,86 MPa. U hodnot přídržnosti v takto náročných podmínkách nezpůsobuje významný rozdíl použití lehčeného či nelehčeného kameniva. Naopak velké rozdíly hodnot přídržností způsobuje podklad pro lepení. Lepením na nesavý hladký povrch se přídržnost sníží až o ± 65 % oproti přídržnosti na savém betonovém podkladu. U zkoušených vzorků docházelo ve všech případech k adheznímu porušení přídržnosti mezi lepidlem a podkladem (AF-S).



Graf 23 Stanovení otevřené doby lepidel etapy III po 28 dnech zrání

Při zkoušení lepidel etapy III, kdy byl obkládací prvek položen až po 30 a 40 minutách od natažení lepidla, se přídržnost pohybovala v rozmezí 0,80 – 1,64 MPa. Všechna lepidla etapy III i po 40 minutách od natažení lepidla po nalepení obkladového prvku ještě stále disponují dostatečnou přídržností vzhledem ke ztíženým podmínkám prostředí. Celkově přídržnost, zkoušena u prvků nalepených až 30 minut po nanesení lepidla, dosahuje minimálního požadavku 0,5 MPa pro označení dle ČSN EN 12004-1, jako lepidla s prodlouženou otevřenou dobou E.

Výsledné hodnoty přídržnosti všech lepidel zobrazeny v Tab. 18.

Tab. 18 Souhrn hodnot přídržnosti všech testovaných lepidel

Prostředí	Přídržnost [MPa]								
	LW120-L	LW120-G	LW120-M	T90-A	T90-B	T90-C	T120	T60	T30
S	2,40	1,90	2,81	2,62	2,81	3,18	3,13	2,24	1,92
V	1,09	0,91	1,32	1,14	1,13	0,93	1,30	0,95	1,12
T	2,32	2,18	3,19	2,62	2,74	2,34	3,32	2,54	2,02
M	1,13	0,97	1,27	0,93	1,18	0,99	0,93	1,13	1,22
30'	1,64	1,355	1,395	1,385	1,25	0,565	1,37	0,855	0,685
40'	1,305	0,97	0,795	0,71	0,86	0,45	0,785	0,385	0,445
S-GL	0,86	0,74	0,72	Nezkoušeno			0,70	0,60	0,46
V-GL	0,23	0,22	0,21	Nezkoušeno			0,27	0,22	0,15

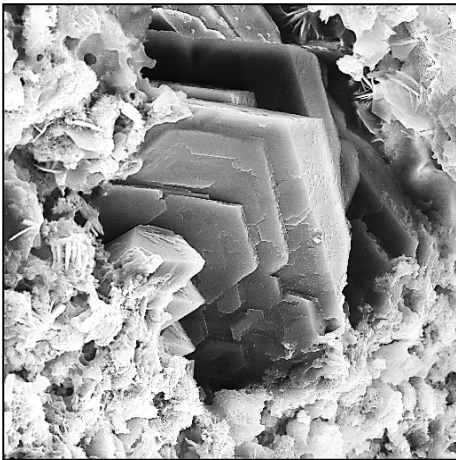
Pozn. S – standartní podm., V – vodní uložení, T – tepelné stárnutí, M – zmrazovací cykly, 30' a 40' - doba od nanesení lepidla po položení prvku, S-GL a V-GL – podklad glazura, standart. podm. a vodní uložení

4.4.3 Mikrostruktura vybraných lepidel

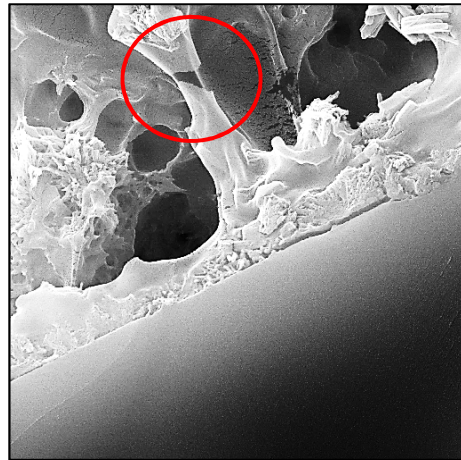
Mikrostruktura testovaných lepidel byla zkoumána pomocí rastrovací elektronové mikroskopie a diferenční termické analýzy.

4.4.3.1 Rastrovací elektronová mikroskopie

Snímky mikrostruktury vybraných lepidel jsou zobrazeny na Obr. 16 – 23.

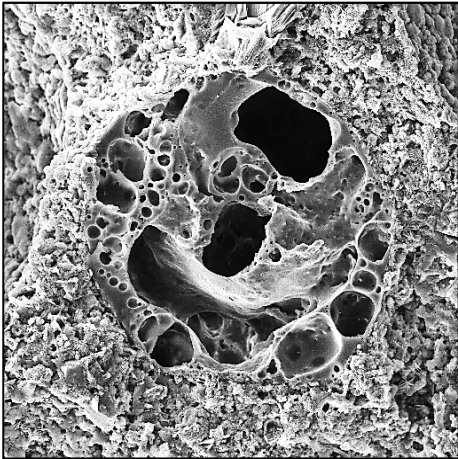


Obr. 16 Snímek mikrostruktury lepidla LW120 - G, detail portlanditu, zvětšeno 2 000x

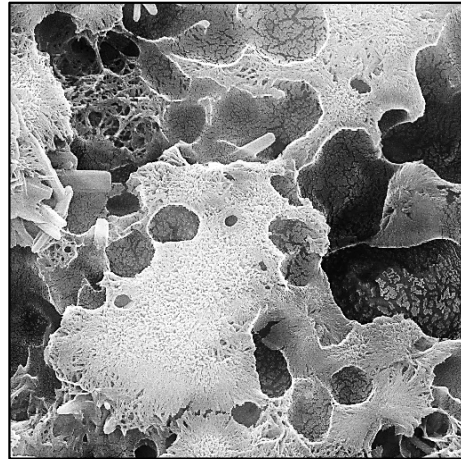


Obr. 17 Snímek mikrostruktury lepidla LW120 - G, detail polymerního filmu, zvětšeno 20 000x

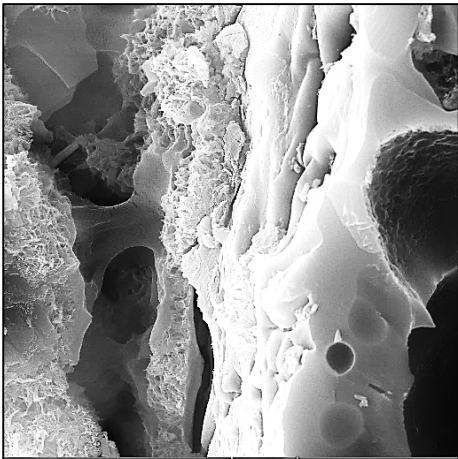
Na Obr. 16 jsou patrné destičkovité krystaly portlanditu obklopeny hydratačními produkty C-S-H gely. Na Obr. 17 je zachycen detail na rozhraní zrna kameniva a polymerního filmu. Ve vyznačené zóně je vidět přetržení můstku polymerního filmu.



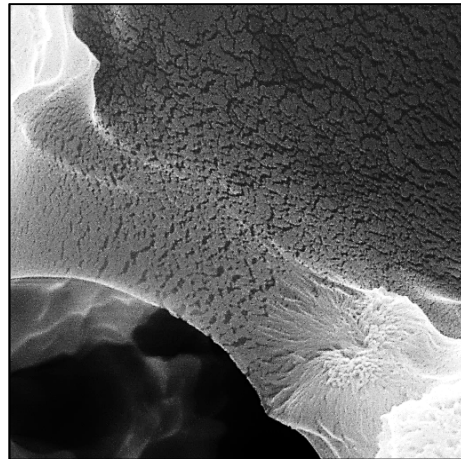
Obr. 18 Snímek mikrostruktury lepidla LW120 - L, detail struktury zrna Liaveru, zvětšeno 500x



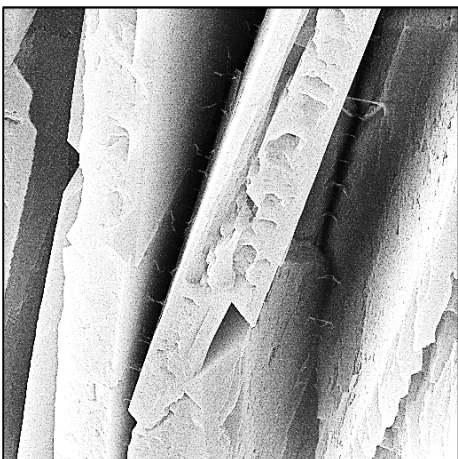
Obr. 19 Snímek mikrostruktury lepidla T120 - A, zachycen polymerní film, zvětšeno 20 000x



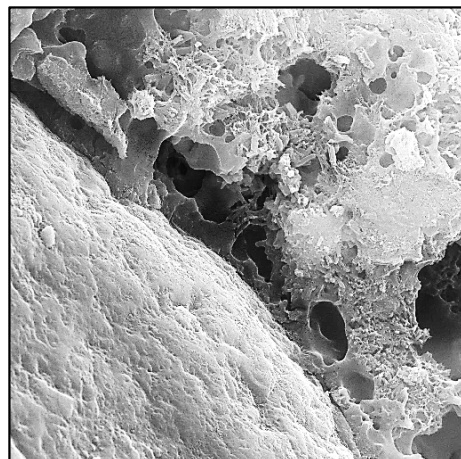
Obr. 20 Snímek mikrostruktury lepidla LW120 - L, detail polymerního filmu, zvětšeno 10 000x



Obr. 21 Snímek mikrostruktury lepidla T120 - A, detail polymerního filmu, zvětšeno 50 000x



Obr. 22 Snímek mikrostruktury lepidla LW120 - L, detail polymerních můstků mezi krystaly portlanditu, zvětšeno 10 000x



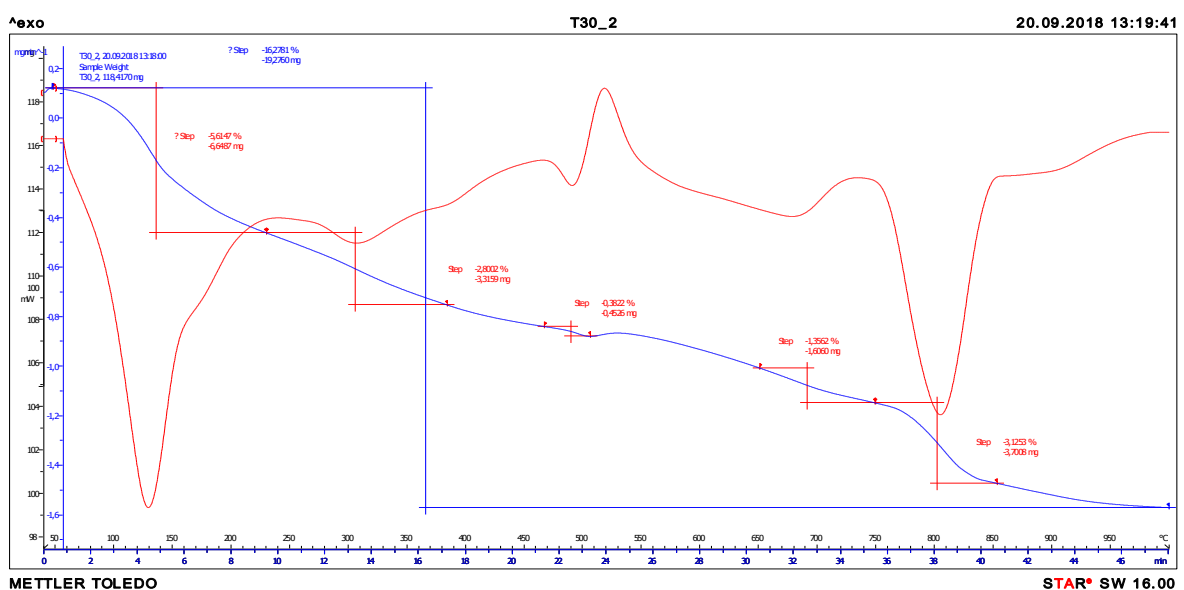
Obr. 23 Snímek mikrostruktury lepidla T120 - A, detail propojení kameniva, tmelu a polymerního filmu, zvětšeno 10 000x

Obr. 18, 20 a 22 zachycují mikrostrukturu lepidla LW120 – L. Na Obr. 18 je zachycen detail vnitřní mikrostruktury zrna Liaveru. Je zde vidět jeho typická pórovitá struktura. Na Obr. 20 lze vidět okraj zrna Liaveru, který je obalen silnou vrstvou C-S-H gelů, navazujícím polymerním filmem a jedním výrazným polymerním můstkem. Obr. 22 je zaměřen na detail portlanditu. Konkrétně lze vidět prostory, které jsou propojeny polymerními můstky mezi vrstvami jeho typických destičkovitých krystalů.

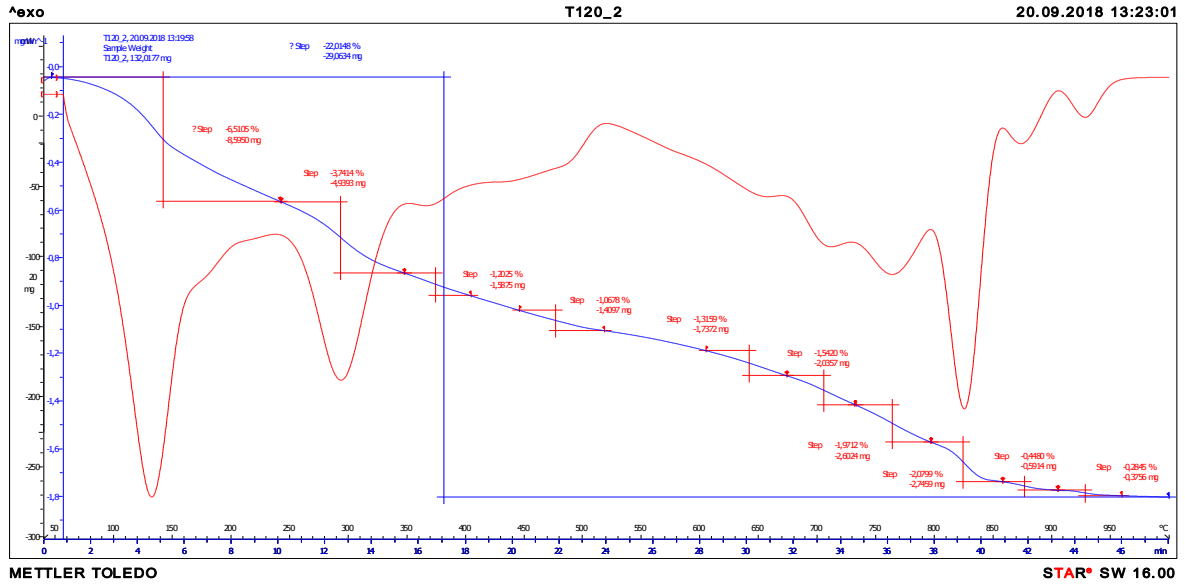
Obr. 19, 21 a 23 zachycují mikrostrukturu lepidla T120 – A. Obr. 19 zobrazuje polymerní film uvnitř matrice, který je tvořen četnými můstky. Díky vysokému obsahu RPP je struktura lepidla pórovitější. Obr. 21 je zaměřen na detail struktury polymerního můstku. I když je celkově polymerní film pružný a měkký, je zde zachycen jeho detail můstku a okolí, kde je vidět jak dochází k jemnému narušení v celé struktuře polymeru díky energii, dopadajících paprsků. Na Obr. 23 je vidět propojení celého systému včetně pórů. Hladký povrch kameniva je potažen polymerním filmem a z něj vyrůstají můstky polymerního filmu co-matrice.

4.4.3.2 Diferenční termická analýza

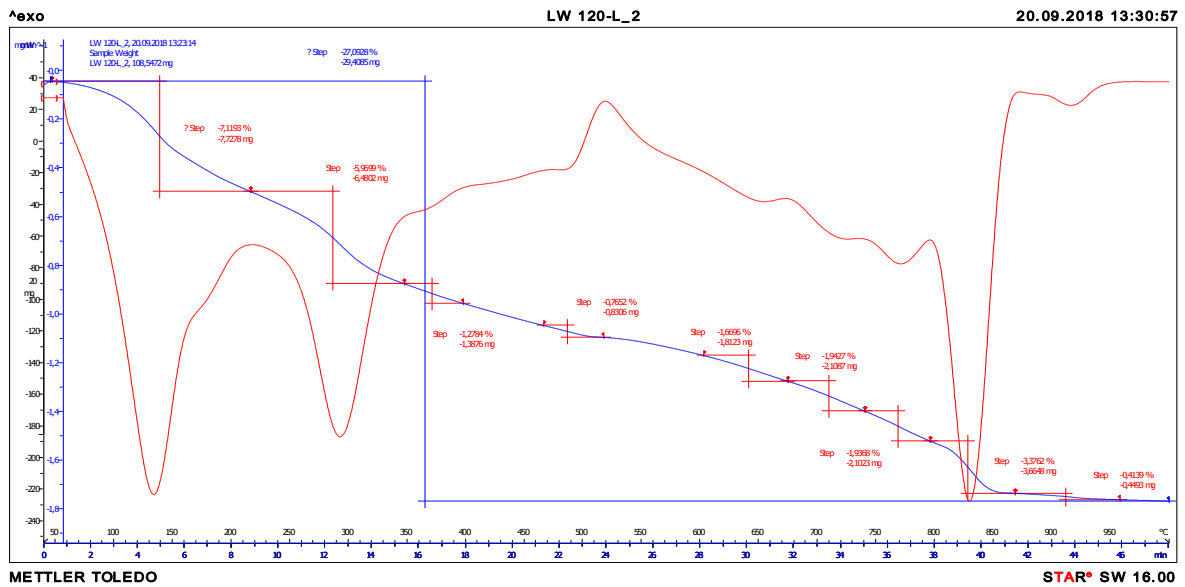
Zobrazení DTA záznamu vybraných lepidel viz Obr. 24 – 27 a výsledky vyhodnocení zobrazuje Tab. 19.



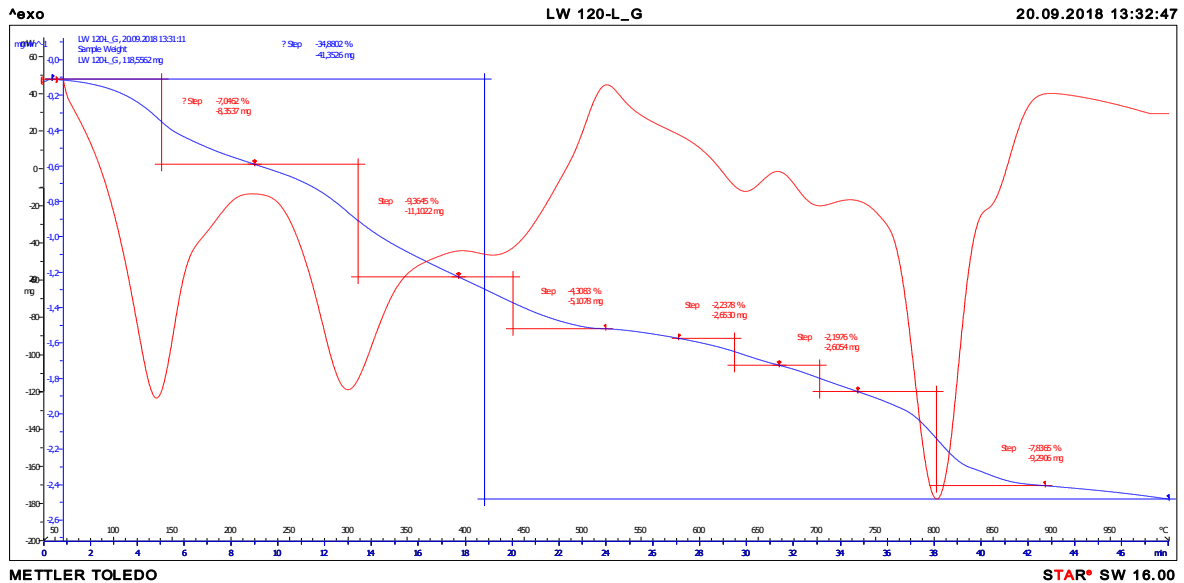
Obr. 24 DTA lepidla T30 – A



Obr. 25 DTA lepidla T120 – A



Obr. 26 DTA lepidla LW120 – L



Obr. 27 DTA lepidla LW120 – G

Tab. 19 Vyhodnocení DTA analýzy

Označení vzorku	Celková ztráta žiháním [%]	Ztráta žiháním při 450 °C [%]	Hmotnostní úbytek rozkladem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [%]	Hmotnostní obsah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [%]
T30 – A	16,2871	9,4171	0,3822	1,5713
T120 - A	22,0148	11,9544	1,0678	4,3898
LW120 - L	27,0928	14,4676	0,7652	3,1458
LW120 - G	34,8802	18,5607	0,9987	4,1058

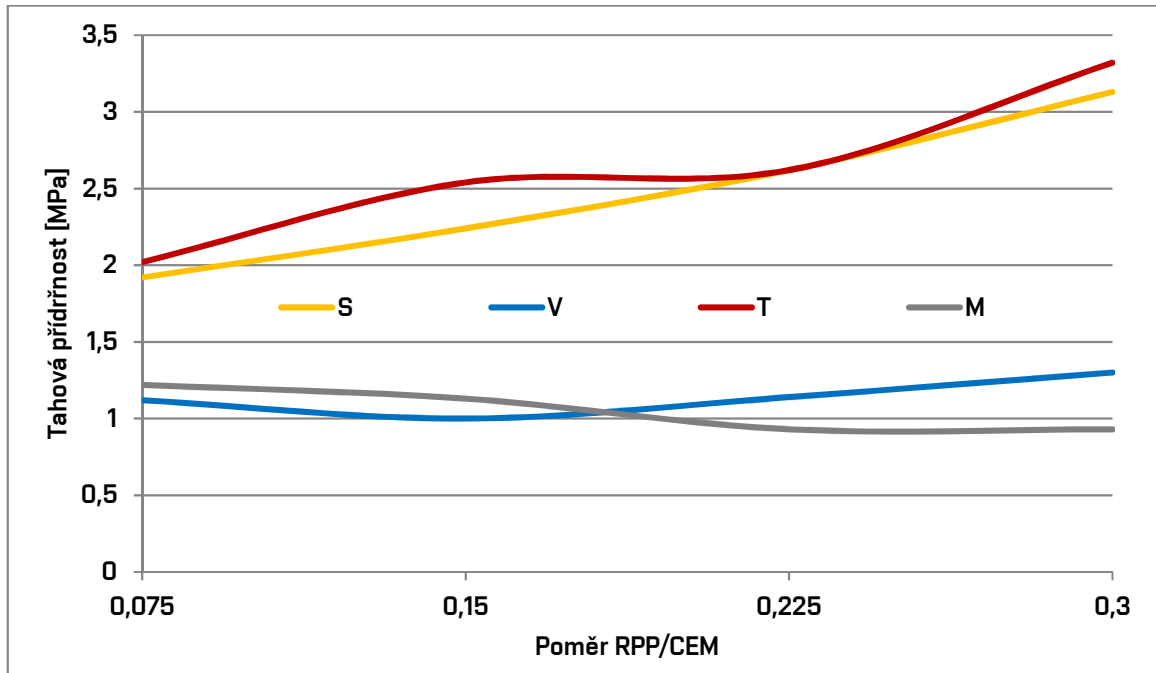
V záznamech DTA byly sledovány typy probíhajících reakcí a změny hmotnosti. Počátek záznamu při teplotách do 240 °C ukazuje endotermní reakci, která odpovídá uvolnění vázané vody a rozkladu C-S-H fáze. Na DTA záznamu hmoty LW120 – G, v rozmezí teplot 380 – 450 °C dochází k rozkladu gumového granulátu. Při teplotách do 450 °C se rozkládají organické látky, zahrnující RPP a metylcelulózu. Porovnáním ztráty žihání do 450 °C s celkovou ztrátou žihání, je vidět rozdíl hmotnostního úbytku, který tvoří až 50 %. Následuje endotermní reakce při teplotách 480 – 520 °C způsobena dehydratací portlanditu, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Poslední endotermní reakcí v rozmezí teplot 750 – 860 °C je rozklad uhličitánů, zejména aragonitu a při teplotách 800 – 900 °C dochází k rozkladu kalcitu.

5 SHRNU TÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení vlivu množství a typu RPP na adhezi a flexibilitu lepidel (lehčených i nelehčených) bylo dle ČSN EN 12004-2 provedeno především pomocí zkoušek tahové přídržnosti a deformovatelnosti. Mimo to byly provedeny a vyhodnoceny další zkoušky zahrnující sledování vlastností lepidel v čerstvém stavu, mezi něž patří stanovení konzistence a skluzu. Déle se sledovala objemová hmotnost, pevnost v tlaku a v tahu za ohybu, dynamický modul pružnosti a otevřená doba. Stanovení otevřené doby proběhlo pomocí dvou metod. Kromě normové zkoušky otevřené doby dle ČSN EN 12004-2, se navíc provedla alternativní zkouška otevřené doby pomocí otisků, která udává výsledek ihned, již u lepidel v čerstvém stavu (lze ji provést na stavbě) a není potřeba čekat na přídržnost po 28 dnech. U zkoušení tahové přídržnosti se navíc testovala přídržnost ve ztížených podmínkách, představujících hladký slinutý podklad. Tímto podkladem byl konkrétně glazovaný obkladový prvek. Ve stavební praxi nastávají případy, kdy je nutno položit novou dlažbu na původní. Proto je potřeba vědět, jaké má takový lepený systém chování.

Pro vyhodnocení některých vlastností testovaných lepidel je vhodnější sledovat dané vlastnosti v závislosti na poměru množství RPP a cementu, protože výsledné vlastnosti jsou ovlivněny mírou hydratace cementu.

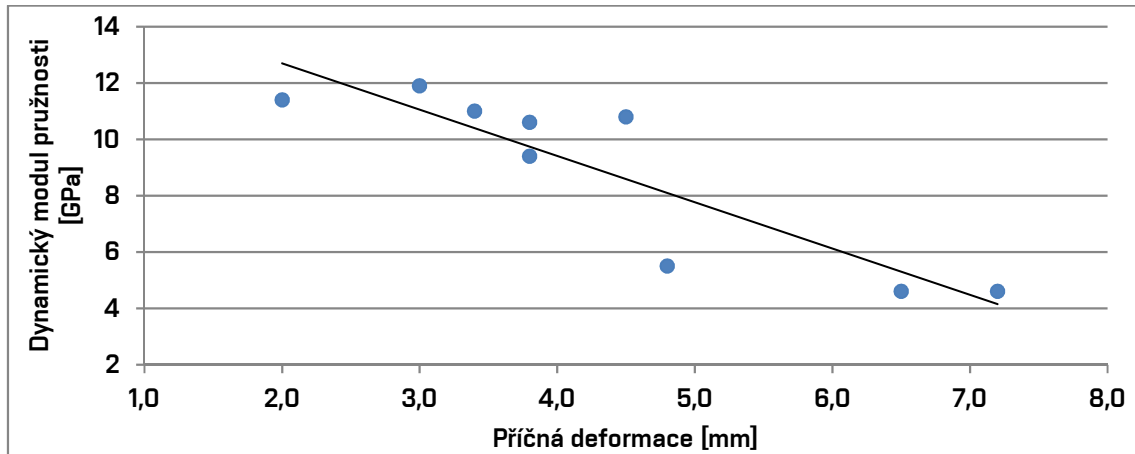
V následujících odstavcích je shrnuto chování lepidel s rostoucím poměrem RPP a cementu se zaměřením na tahovou přídržnost v různém prostředí, deformovatelnost lepidel a jejich dynamický modul pružnosti.



Graf 24 Vývoj přídržnosti lepidel s rostoucím obsahem RPP v množství 3 - 12 % v závislosti na poměru RPP/CEM

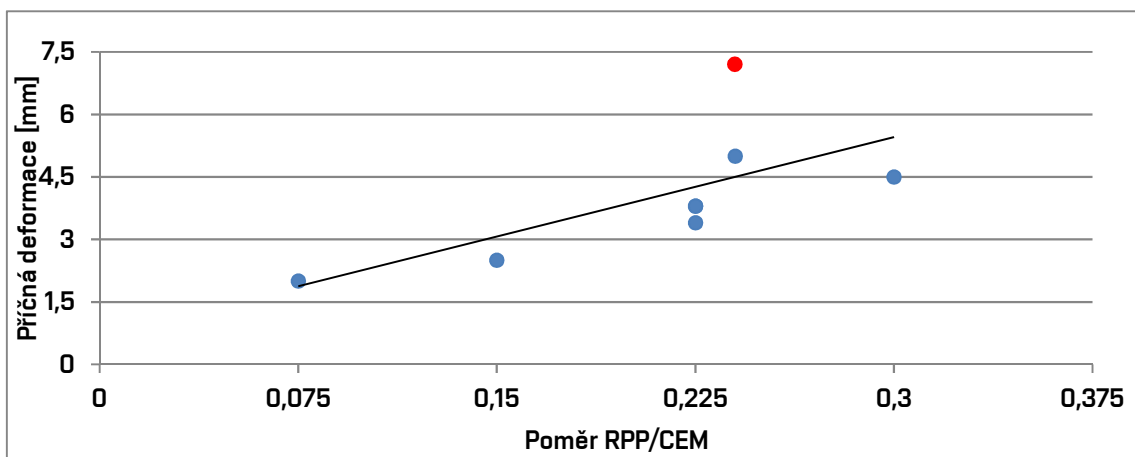
Pozn. S – standardní podmínky, V – vodní uložení, T – prostředí s vyšší teplotou, M – zmrazovací cykly

S rostoucím poměrem RPP/CEM obvykle roste i tahová přídržnost. Je ovšem potřeba zohlednit podmínky uložení. V Grafu 24 lze vidět, že prostředí standardních laboratorních podmínek a prostředí tepelného stárnutí přispívá k vysoké adhezi lepidel, které potvrzují i autoři ve studiích [6, 17, 18]. To znamená, že cement v lepidle dostatečně hydratuje a v kombinaci s vhodnými podmínkami pro vytvoření polymerního filmu přídržnost roste. Naopak u vodního uložení a při zmrazovacích cyklech dochází k narušení soudržnosti lepidla nebo přídržnosti mezi vrstvami lepeného systému a celková adheze je nízká, s čímž se shodují také autoři ve studiích [8, 17, 18]. U lepidel s vysokým obsahem RPP dojde působením cyklů zmrazování a rozmrazování k poklesu adheze.



Graf 25 Závislost dynamického modulu pružnosti (osa y) na příčné deformaci (osa x)

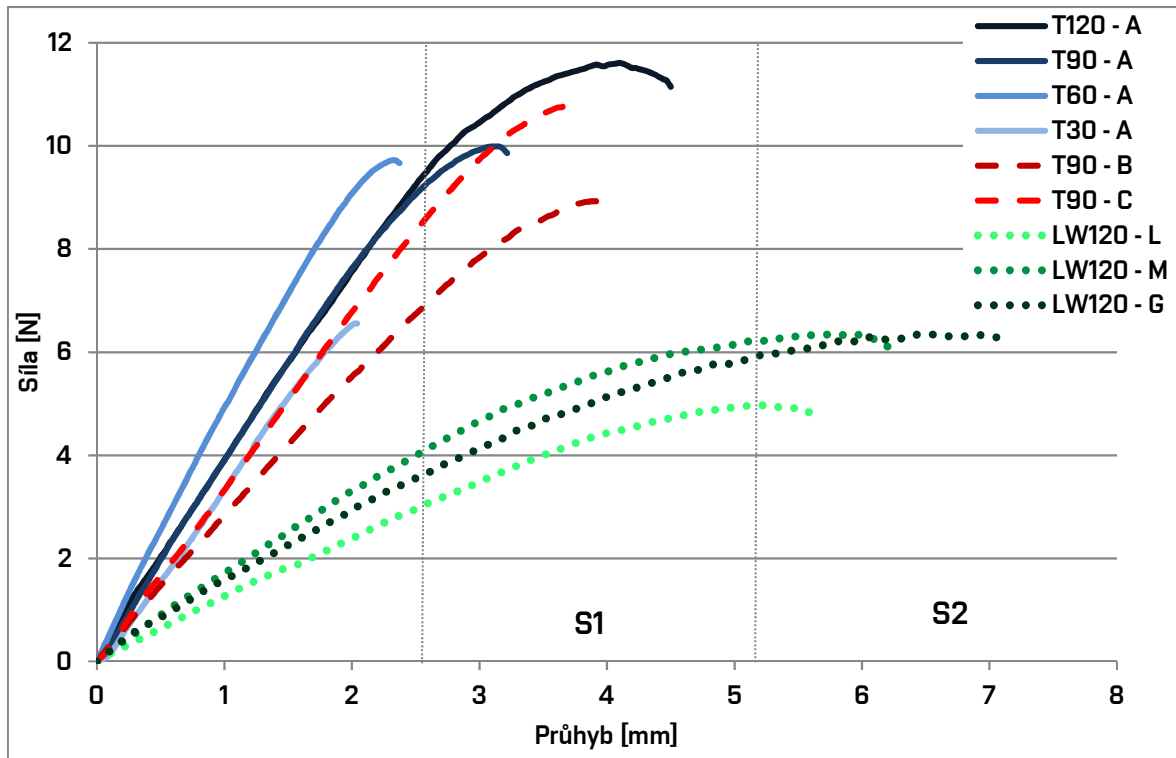
Čím je dynamický modul pružnosti nižší, tím je materiál měkčí a pružnější. S rostoucí příčnou deformací dynamický modul pružnosti klesá a lepidlo disponuje vyšší flexibilitou. Výjimku však představuje hmota T30 – A, kde byla zjištěna nižší hodnota dynamického modulu pružnosti než bylo předpokládáno, a to 11400 MPa. Důvodem může být vliv pórovité struktury testovaného vzorku, kdy mohlo dojít k ovlivnění průchodu ultrazvuku nebo k rychlejší hydrataci. Lehčená lepidla s 12 % RPP disponují až o 50 % nižším dynamickým modulem pružnosti než nelehčená lepidla a v souvislosti s tím vykazují největší deformovatelnost ze všech testovaných lepidel.



Graf 26 Vývoj příčné deformace lepidel v závislosti na poměru RPP/CEM

Studie [6, 15, 17, 18] prokazují, že u lepidel s rostoucím poměrem RPP a cementu roste i jejich flexibilita. Vyšší obsah RPP v lepidle zajistí jejich flexibilitu díky polymernímu filmu, vytvářejícímu polymerní můstky, jenž vytváří pružnou vazbu mezi jednotlivými komponenty matrice. Použitím polymerů dochází k nepatrnému

nebo zásadnímu (podle dávky a typu RPP) změkčení struktury lepidel, čímž také přispívají k jejich deformovatelnosti. Červená hodnota se vymyká, neboť patří receptuře s obsahem gumového lehčiva a je velmi pravděpodobné, že flexibilní plnivo přispívá k flexibilitě vnesené do kompozitu prostřednictvím polymerního prášku.



Graf 27 Souhrnný pracovní diagram všech typů testovaných lepidel

V Grafu 27 je znázorněn přehled pracovních diagramů závislosti zatěžovací síly (osa y) na průhybu (osa x) při zkoušce deformovatelnosti lepidel. Křivky v odstínech modré barvy znázorňují deformaci sady lepidel s rostoucím množstvím RPP (3 – 12 %). Tato sada nelehčených lepidel znázorňuje růst flexibility v závislosti na růstu obsahu RPP. Lepidla s množstvím RPP od 6 % jsou deformovatelná, tzn., mají průměrnou příčnou deformaci v rozmezí $\geq 2,5$ až ≤ 5 mm. Výjimku zde tvoří lepicí hmota se 3 % RPP, která je rigidní a její deformace je pouze 2 mm. Červené křivky a modrá křivka zastupující vývoj průhybu hmoty T90 - A představují deformaci lepidel s různými typy (A, B, C) RPP v množství 9 %. Jejich chování při deformaci je velmi podobné. Všechny tři hmoty ze sady lepidel lze klasifikovat jako deformovatelné. Nejvyšší příčné deformace dosahuje hmota s RPP typu B. Křivky zelené reprezentují deformaci lehčených lepidel s RPP v množství 12 %. Testovaná lehčená lepidla dosahují

dle ČSN EN 12004-1 vysoké přídržnosti, čehož je dosaženo kombinací vysokého množství RPP (12 %) a vlastnostmi lehčeného kameniva. Nižší dynamický modul pružnosti lehčených lepidel je způsoben nízkou objemovou hmotností a množstvím RPP, který cementovou matici změkčí a tím dopomáhá dosažení vysoké flexibility. Nejvyšší flexibility dosahuje hmota s použitím gumového granulátu.

V následující Tab. 20 jsou vyhodnoceny vlastnosti testovaných lepidel pomocí klasifikace dle ČSN EN 12004-1.

Tab. 20 Klasifikace testovaných lepidel dle ČSN EN 12004-1

Označení	Dávka RPP [%]	RPP/CEM	Předpokládaná klasifikace dle ČSN EN 12004-1	Klasifikace dle ČSN EN 12004-1
T120 – A	12	0,300	C2ES2	C1ES1
T90 – A	9	0,225	C2TES1 – S2	C1TES1
T60 – A	6	0,150	C2TES1	C2TES1
T30 – A	3	0,075	C2TES1	C2TE
T90 – B	9	0,225	C2TES1 – S2	C2ES1
T90 – C	9	0,225	C2TES1 – S2	C1ES1
LW120 – L	12	0,240	C2ES2	C2ES2
LW120 – G	12	0,240	C2ES2	C1ES2
LW120 – M	12	0,240	C2ES2	C2ES2

Pozn. C1 – cementové lepidlo, C2 – lepidlo s vysokou přídržností, E – prodloužená otevřená doba, S1 – deformovatelné lepidlo, S2 – vysoce deformovatelné lepidlo, T – snížený skluz, RPP/CEM – poměr dávky polymerního prášku k cementu

Předpoklad dosažení vysoké hodnoty přídržnosti nebyl u všech lepidel potvrzen. U hmot, které nevykazují dostatečnou hodnotu přídržnosti, tj. minimálně 1 MPa pro C2, ve vodním uložení a po zmrazovacích cyklech, došlo vždy k porušení v adhezi mezi podkladem a lepidlem. Sníženého skluzu nebylo dosaženo u hmot s RPP typu B a C. Předpokládaná prodloužená otevřená doba stanovena dle normy ČSN EN 12004-2 byla ověřena u všech testovaných lepidel navzdory tomu, že u alternativní zkoušky otevřené doby v čerstvém stavu hmota s RPP typu C dosahovala velmi špatných otisků. Deformovatelnost se, až na jednu výjimku, u všech nelehčených lepidel pohybovala v rozmezí $\geq 2,5$ až ≤ 5 mm a jsou tedy deformovatelná. Hmota, která vystupuje z této řady, obsahuje RPP v množství pouze 3 %. Naopak předpokládané vysoké deformovatelnosti dosahují všechna lehčená lepidla, díky vysokému obsahu RPP.

6 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala vlivem množství a typu redispergovatelného polymerního prášku (dále jako RPP) na adhezi a flexibilitu cementových lepidel keramických obkladových prvků. V teorii jsou zpracovány základní informace o keramických obkladových prvcích, metodách jejich lepení a druzích lepidel se zaměřením na polymerem modifikovaná cementová lepidla. U těchto lepidel byl sledován vliv RPP na jejich vlastnosti, což bylo v praktické části experimentálně odzkoušeno a vyhodnoceno.

Na základě výsledků dosažených při sledování vlivu rostoucí dávky RPP na adhezi nelehčených lepidel uložených v různém prostředí bylo zjištěno, že adheze lepidel s rostoucím obsahem RPP roste, až na výjimku zjištěnou u cyklů zmrazování a rozmrazování, kdy adheze s rostoucím obsahem RPP klesá. V prostředí standardních podmínek a při vyšších teplotách lepidla dosahují nejvyšších hodnot adheze v porovnání s ostatními druhy prostředí. Adheze lepidel uložených ve vodě a při cyklech zmrazování a rozmrazování se snižuje vlivem působení kapalně vody ve struktuře lepidla. Lepidla s 3 a 6 % RPP vyhovují požadavkům pro lepidla s vysokou přídržností. Lepidla s 9 a 12 % RPP nedisponují vysokou přídržností ve všech prostředích uložení. Při zkoušení přídržnosti na hladkém nepórovitém podkladu (glazuře) byla snížena adheze lepidel až o 90 %. S rostoucím obsahem RPP úměrně roste deformovatelnost lepidel. Se zvyšujícím se obsahem RPP až na 12 % roste deformovatelnost lepidla i síla potřebná k jeho porušení. Testovaná nelehčená lepidla s obsahem RPP v množství 6 – 12 % lze klasifikovat jako deformovatelná.

Na základě výsledků dosažených při sledování vlivu stejné dávky různého typu RPP na adhezi nelehčených lepidel uložených v různém prostředí bylo zjištěno, že adheze lepidel s různým typem RPP nebyla výrazně rozdílná. Lepidla uložena ve standardních podmínkách i při vyšších teplotách disponují dostatečnou hodnotou přídržností potřebnou pro klasifikaci jako lepidla s vysokou přídržností. Avšak vodním uložení a cykly zmrazování a rozmrazování dochází ke snížení adheze nezávisle na typu RPP. Flexibilita u lepidel s odlišnými typy RPP se vyvíjela v podobném trendu. Rozdílnost druhu RPP se projevila již při sledování vlastností lepidel v čerstvém stavu,

kdy jeden typ RPP změnil chování čerstvé směsi, a to tak, že docházelo ke špatnému smáčení, což se následně projevilo při zkoušení lepidel ve vyzrálém stavu, kdy nebylo dosaženo požadovaných hodnot prodloužené otevřené doby.

Na základě výsledků dosažených při sledování vlivu vylehčení a typu lehčiva (při stejné dávce RPP) na adhezi nelehčených a lehčených lepidel uložených v různém prostředí bylo zjištěno, že vylehčení lepidel způsobilo snížení adheze oproti hmotě nelehčené. Při porovnání komerčního produktu s nelehčenou hmotou (s RPP ve stejné dávce) bylo zjištěno, že dosahují velmi podobných hodnot přídržnosti. Zvýšením teploty v době zrání lehčených lepidel bylo dosaženo téměř stejných hodnot přídržnosti jako u lehčených lepidel uložených ve standardních podmínkách, ovšem působením vody a cyklů zmrazování a rozmrazování dochází ke snížení adheze těchto lepidel. Při zkoušení přídržnosti lehčených lepidel v extrémních podmínkách, které představují hladký slinutý nepórovitý podklad (glazuru), byla snížena hodnota přídržnosti až o 65 % oproti uložení ve standardních podmínkách. Deformovatelnost lehčených lepidel s vysokým obsahem RPP je vyšší než u lepidel nelehčených a lze je klasifikovat jako vysoce deformovatelná. Vylehčením lepicích hmot bylo dosaženo snížení objemové hmotnosti až o 30 %. Lehčená lepidla potřebují při míchání až o 30 % více vody než lepidla nelehčená. U všech lehčených lepidel bylo dosaženo prodloužené otevřené doby. Dynamický modul pružnosti lehčených hmot je asi o 50 % nižší než u hmot nelehčených.

Mikrostruktura vybraných lepidel byla sledována pomocí diferenční termické analýzy (DTA) a rastrovací elektronové mikroskopie (REM). Rozdíly v hmotnostních úbytcích u DTA analýzy byly do 450 °C ovlivněny obsahem RPP, celulózy a plniva (gumový granulát). Při rastrovací elektronové mikroskopii byl v matici u lepidel s vyšším obsahem RPP dobře viditelný polymerní film prostupující celou hmotou a byly nalezeny polymerní můstky také mezi jednotlivými krystaly portlanditu.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SOKOLÁŘ, Radomír. *SPECIÁLNÍ KERAMIKA: Keramické obkladové prvky - kamenina, Modul BJ14_MO2*. Brno: ŽS BRNO, 2006. Studijní opora
- [2] NORMA: ČSN EN 14411 ED.3. *Keramické obkladové prvky – Definice, klasifikace, charakteristiky, posuzování shody a označování*. 2017.
- [3] NORMA: ČSN EN 12004-1. *Lepidla pro keramické obkladové prvky - Část 1: Požadavky, posuzování a ověřování stálosti vlastností, klasifikace a označování*. 2018.
- [4] DROCHYTKA, Rostislav, a kol.: *Keramické obklady a dlažby*, Hradec Králové 2000, Vega s.r.o.
- [5] WACKER CHEMIE A G. *SHAPE THE FUTURE WITH MODERN TILE ADHESIVES: CONSTRUCTION / TILE ADHESIVES* [online]. München, Germany, 2012 [cit. 2018-09-05]. Dostupné z: https://www.wacker.com/cms/media/publications/downloads/6226_EN.pdf
- [6] FELIXBERGER, Josef K. *Polymer-modified thin-bed tile adhesives*. Germany, 2008.
- [7] ŠTENKO, Miroslav. *LEPIDLA „C“ PRO OBKLADOVÉ PRVKY VE VÝVOJI A PRAXI*. Brno, 2014.
- [8] MARANHÃO, Flávio Leal, Mauricio Marques RESENDE, Vanderley Moacyr JOHN a Mercia Maria Semensato Bottura de BARROS. The Bond Strength Behavior of Polymer-modified Mortars During a Wetting and Drying Process. *Materials Research* [online]. 2015, 18(6), 1354-1361 [cit. 2018-12-03]. DOI: 10.1590/1516-1439.028915. ISSN 1980-5373.
- [9] WINNEFELD, Frank, Josef KAUFMANN, Erwin HACK, Sandy HARZER, Alexander WETZEL a Roger ZURBRIGGEN. Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength. *Construction and Building Materials* [online]. 2012, 30, 426-438 [cit. 2018-12-03]. DOI:

10.1016/j.conbuildmat.2011.12.023. ISSN 09500618. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061811007008>

[10] ČSN EN 12004-2. *Lepidla pro keramické obkladové prvky - Část 2: Zkušební metody.*

[11] [online]. [cit. 2018-12-05]. Dostupné z:
https://www.wacker.com/cms/en/products/product_groups/dispersible_powder_s.jsp

[12] [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.organikkimya.com/en/markets-applications/construction-solutions/1>

[13] *Liaver 0,1 - 0,3 mm* [online]. [cit. 2018-11-28]. Dostupné z:
http://liaver.cz/repository/tds_Liaver_%200,1-0,3_mm.pdf

[14] *Coarse rubber powder* [online]. [cit. 2018-11-28]. Dostupné z:
https://www.genan.eu/wp-content/uploads/2018/06/2018-TDS_GENAN-SUPER-FINE-POWDER_ENG.pdf

[15] NOVÁČEK, Jaroslav. Archiv Vývojového centra firmy Profibaustoffe s. r. o.

[16] OHAMA, Yoshihiko. *Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process technology.* Park Ridge, N.J.: Noyes Publications, c1995. ISBN 08-155-1358-5.

[17] FRITZE, Peter. *DEFORMABILITY AND WATER RESISTANCE OF C1 AND C2 ADHESIVES ACCORDING TO EN 12004 AND EN 12002* [online]. In: . Castellón: Wacker Polymer Systems, 2002 [cit. 2018-12-10].

[18] FRITZE, Peter a Klaus BONIN. *Laying Ceramic Tiles on Hot Surfaces Using Cementitious Tile Adhesives* [online]. Germany, 2010 [cit. 2018-12-10].

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

C	cementové lepidlo
C1	standardně tvrdnoucí lepidlo
C1F	rychletvrdnoucí cementové lepidlo
C2	cementové lepidlo se zlepšenými vlastnostmi
C2F	rychletvrdnoucí cementové lepidlo se zlepšenými vlastnostmi
Ca(OH) ₂	hydroxid vápenatý (portlandit)
CEM	cement
C-S-H fáze	hydratované kalcium-křemičitany
D	disperzní lepidlo
DTA	diferenčně termická analýza
E	prodloužená otevřená doba
EVA	kopolymer vinyl acetátu a etylenu
KOP	keramické obkladové prvky
MMA/BA	kopolymer metylmetakrylátu a butylakrylátu
R	lepidlo z reaktivních pryskyřic
REM	rastrovací elektronová mikroskopie
RPP	redispergovatelný polymerní prášek
T	snížený skluz
S1	deformovatelné lepidlo
S2	vysoce deformovatelné lepidlo
S/A	kopolymer styrenu a akrylátu