



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 VZÁJEMNÉ ZÁVISLOSTI OBJEMOVÝCH ZMĚN A NAPJATOSTI LITÝCH PODLAHOVÝCH MATERIÁLŮ

STUDY OF MUTUAL INFLUENCES OF VOLUME CHANGES AND INTERNAL STRESSES
OF FLOW FLOOR SCREEDS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vít Mikeš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK,
CSc., Ph.D.

BRNO 2019



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. Vít Mikeš
Název	Studium vzájemné závislosti objemových změn a napjatosti litých podlahových materiálů
Vedoucí práce	prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., 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

Nováček, J., Studium objemových změn pojivových silikátových směsí, Disertační práce. Brno, 2013. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.

Štenko, M., Studium objemových změn samonivelačních podlahových hmot z hlediska jejich konečné objemové stability ve vazbě na jejich materiálové složení a volbu vhodných měřících metod, Disertační práce. Brno, 2012. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.

NEVILLE, A. Properties of concrete. 4th and final ed. Harlow: Longman Group, 1995, xix, 844 s. ISBN 05-822-3070-5.

HOLT, E. Early age autogenous shrinkage of concrete, ESPOO 2001 Technical research centre of finland, VTT publications 446. 184p. + app.9 p. ISBN 951-38-5870-7

IDIART, A., E. Coupled analysis of degradation processes in concrete specimens at the meso-level, Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, 2009, ISBN 9788469271414

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., Concrete: Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2nd Ed., 1993.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Podlahové hmoty se používají k provádění vyrovnávacích i podkladních potěrů v interiéru budov. Vytváření plovoucích a sdružených potěrů určených k položení podlahové krytiny, také musí umožnit konstrukci podlahy s podlahovým topením bez dodatečného vyztužování.

V této souvislosti proveďte:

1) Proveďte porovnání objemových a napjatostních změn ve fázi vyztváření litých podlahových materiálů z čerstvého do vyztvářené stavu. Využijte metodu bezkontaktní mikroskopové dilatometrie a tenzografie. Objemové změny zrajících hmot současně zdokumentujte normovou metodou dle ČSN EN 1387. Toto porovnání proveďte u řady min. tří odlišných pojivových koncepcí podlahových materiálů.

2) Ověřte pevnostní nárůsty a konečné pevnosti zkoušených materiálů porovnáním normových pevnostních zkoušek dle ČSN EN 13892-2 a alternativní metody s použitím elastických forem umožňujících objemové změny zrajících materiálů.

3) Porovnejte vnitřní strukturu materiálů zrajících v počáteční fázi v podmínkách „blokovaných“ objemových změn (normové pevnostní zkoušky) a materiálů bez této blokace (elastické formy, vzorky na kluzné podložce s elastickým ohrazením) s využitím elektronové mikroskopie.

4) Vyhodnoťte technickou relevantnost provedených zkušebních postupů pro daný typ podlahových materiálů.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

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

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá porovnáváním objemových a napjatostních změn u různých receptur litých podlahových samonivelačních potěrů po dobu jejich zrání. Tyto změny byly měřeny několika metodami. Dále zde byly porovnávány pevnostní parametry zkoušených hmot. Zkušební vzorky byly vytvrzeny v kovových a elastických formách. Na těchto vzorcích byla sledována jejich mikrostruktura pomocí rastrovací elektronové mikroskopie. V závěru byla vyhodnocena relevantnost zkoušených metod pro dané typy podlahových materiálů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Samonivelační potěr, objemová změna, napětí, expanze, smrštění.

ABSTRACT

This thesis deals with the comparison of volumetric and stress variations in different formulations of cast floor self-leveling screeds during maturation. These changes were measured by several methods. Furthermore, the strength parameters of the test materials were compared. The test specimens were cured in metallic and elastic forms. The microstructure of these samples were monitored by scanning electron microscopy. In conclusion, the suitability of the tested methods for the given type of flooring materials was evaluated.

KEYWORDS

Self-leveling screed, volume change, tension, expansion, shrinkage.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Vít Mikeš *Studium vzájemné závislosti objemových změn a napjatosti litých podlahových materiálů*. Brno, 2019. 136 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Studium vzájemné závislosti objemových změn a napjatosti litých podlahových materiálů* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Vít Mikeš

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Studium vzájemné závislosti objemových změn a napjatosti litých podlahových materiálů* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Vít Mikeš

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za důvěru a podporu během studia. Dále děkuji panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkovi, CSc., Ph.D. za odborné vedení, užitečné rady, ochotu a čas strávený při konzultacích. Děkuji také výzkumnému centru PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o. za poskytnutí technické a materiálové pomoci. Dále bych chtěl poděkovat svému příteli Václavovi Konvičnému za podporu po celou dobu studia.

OBSAH

1	ZAMĚŘENÍ PRÁCE	4
1.1	ÚVOD K OBSAHU PRÁCE	4
1.2	SAMONIVELAČNÍ POTĚRY – SITUACE V SOUČASNÉ STAVEBNÍ PRAXI	5
1.3	PŘEDMĚT A CÍLE PRÁCE	9
2	CHARAKTERISTIKA SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ	12
2.1	VYMEZENÍ POJMU POTĚR	12
2.2	MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ	13
2.2.1	<i>Rámcové informativní složení samonivelačních potěrů</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>Pojivové koncepce samonivelačních potěrů</i>	<i>14</i>
2.2.2.1	Sádrová na bázi alfa-hemihydrátů, nebo anhydritů případně jejich směsí	15
2.2.2.2	Ettringitová pojiva na bázi hlinitanového a portlandského cementu a sádry	16
2.2.2.3	Ettringitová pojiva na bázi CŠA slínku, portlandského cementu a sádry	20
2.2.2.4	Ettringitová pojiva na bázi CA slínku a sádry	22
2.2.2.5	Cementová pojiva na bázi portlandského slínku a tvrdě páleného CaO	24
2.2.2.6	Cementová pojiva s přísadou CŠA slínku, sádry a tvrdě páleného MgO	32
2.2.3	<i>Kamenivo, zrnitostní skladba a přísady do samonivelačních potěrů</i>	<i>33</i>
2.2.3.1	Kamenivo do samonivelačních potěrů	33
2.2.3.2	Zrnitostní skladba samonivelačních potěrů	34
2.2.3.3	Přísady do samonivelačních potěrů	34
2.3	DEKLARACE, TECHNICKÉ PARAMETRY A APLIKAČNÍ VLASTNOSTI SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ	37
2.3.1	<i>Normová deklarace samonivelačních potěrů</i>	<i>37</i>
2.3.2	<i>Technické parametry samonivelačních potěrů</i>	<i>38</i>
2.4	KONSTRUKČNÍ TYPY A NÁVRHY SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ	43
2.4.1	<i>Konstrukční typy samonivelačních potěrů v podlahových skladbách</i>	<i>43</i>
2.4.2	<i>Návrhy samonivelačních potěrů</i>	<i>46</i>
3	PEVNOST, NAPJATOST A OBJEMOVÁ STABILITA SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ	47
3.1	OBJEMOVÉ ZMĚNY SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ S KOMPENZOVANÝM SMRŠTĚNÍM	47
3.2	MĚŘENÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ S KOMPENZOVANÝM SMRŠTĚNÍM	51
3.2.1	<i>Metoda laserové 2-paprskové dilatometrie</i>	<i>53</i>
3.2.2	<i>Metoda optické dilatometrie VUT FAST Brno</i>	<i>54</i>
3.2.3	<i>Tensograf TGF-02 Coming</i>	<i>55</i>
3.3	PORUCHY Z OBJEMOVÝCH ZMĚN SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ S KOMPENZOVANÝM SMRŠTĚNÍM	56
3.4	SPECIFIKA ZPEVŇOVÁNÍ SAMONIVELAČNÍCH POTĚRŮ S KOMPENZOVANÝM SMRŠTĚNÍM VE VERZÍCH PLOVOUCÍCH A NA SEPARAČNÍ VRSTVĚ	59
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE	61

4.1	SCHÉMA ETAP OVĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH APLIKAČNÍCH PARAMETRŮ	61
4.2	POJIVOVÁ KONCEPCE A RECEPTURY ZKOUŠENÝCH POTĚRŮ	62
4.2.1	<i>Cementový potěr samonivelační – referenční REF</i>	63
4.2.2	<i>Cementový potěr samonivelační - ZFE</i>	64
4.2.3	<i>Rychlý cementový potěr samonivelační - SZFE</i>	65
4.2.4	<i>Sádrový potěr samonivelační AFE</i>	66
5	ZKUŠEBNÍ METODY PROVÁDĚNÉ NA SAMONIVELAČNÍCH POTĚRECH	67
5.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	67
5.2	ZKOUŠKA ROZLIVU DLE ČSN EN 12706.....	68
5.3	ZKOUŠKA OTEVŘENÉHO ČASU (DOBY ZPRACOVATELNOSTI)	68
5.4	STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU A V TAHU ZA OHYBU.....	69
5.4.1	<i>Postup provádění zkoušky</i>	69
5.4.2	<i>Výsledky a vyhodnocení pevnostních zkoušek</i>	71
5.4.3	<i>Shrnutí a závěr</i>	83
5.5	STANOVENÍ ROZMĚROVÝCH ZMĚN DLE ČSN EN 19872	87
5.5.1	<i>Postup provádění zkoušky</i>	87
5.5.2	<i>Výsledky a vyhodnocení měření rozměrových změn</i>	88
5.5.3	<i>Shrnutí a závěr</i>	89
5.6	MĚŘENÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN METODOU OPTICKÉ DILATOMETRIE VUT FAST BRNO	90
5.6.1	<i>Princip měření</i>	90
5.6.2	<i>Výsledky a vyhodnocení měření objemových změn</i>	91
5.6.3	<i>Shrnutí a závěr</i>	95
5.6.4	<i>Porovnání objemových změn metodou dle ČSN EN 13 872 (trámečkového smrštění) a optickou dilatometrií</i>	95
5.6.5	<i>Shrnutí a závěr</i>	97
5.7	ZKUŠEBNÍ PŘÍSTROJ TENSOGRAF TGF 02	98
5.7.1	<i>Popis měření</i>	98
5.7.2	<i>Výsledky a vyhodnocení měření napětí a objemových změn</i>	99
5.7.2.1	<i>Měření deformace – režim konstantního napětí</i>	100
5.7.2.2	<i>Shrnutí a závěr</i>	105
5.7.2.3	<i>Měření napjatosti – režim konstantní deformace</i>	105
5.7.2.4	<i>Shrnutí a závěr</i>	110
5.7.2.5	<i>Porovnání objemových změn a napětí při měření na Tensografu TGF-02 a optickou dilatometrií</i>	110
5.7.2.6	<i>Shrnutí a závěr</i>	112
5.8	POROVNÁNÍ MIKROSTRUKTURY MATERIÁLŮ METODOU RASTROVACÍ ELEKTRONOVÉ MIKROSKOPIE (REM)	113
5.8.1	<i>Popis prováděné zkoušky</i>	113
5.8.2	<i>Výsledky a vyhodnocení</i>	114
5.8.3	<i>Shrnutí a závěr</i>	122

6	ZÁVĚR	123
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	125
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	128
9	SEZNAM TABULEK.....	131
10	SEZNAM GRAFŮ.....	133
11	PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	136

1 Zaměření práce

1.1 Úvod k obsahu práce

V současné době, především v občanské a bytové výstavbě, získávají v podlahových skladbách stále větší zastoupení konstrukce, využívající tzv. samonivelační potěry, někdy též nazývané „lité“ potěry. Tyto materiály, především rychlostí aplikace a vysokou rovinatostí, nahrazují klasické rozprostírané cementové potěry, v tenčích vrstvách též označované jako mazaniny nebo stěrky.

Předkládaná práce se zabývá problematikou objemových změn a napjatostních stavů ve fázi zrání a predikcí konečné tvarové stability materiálů odlišných druhů samonivelačních potěrů s různým chemickým principem kompenzovaného smrštění. Ke sledování těchto procesů jsou použity doposud nejmodernější přístrojové metody, ke kterým patří metoda optické dilatometrie vyvinutá na VUT FAST Brno, respektující plně podmínky reálně aplikovaných potěrů a jejich délkové změny zaznamenává z čerstvého stavu tzn. ihned od aplikace. Měření touto metodou jsou konfrontována s měření délkových změn, upraveným Tensografem TGF-02 Coming původně určeným pro měření zrajících epoxidových případně hydraulicky pojených hmot až od fáze jejich „samonosné“ pevnosti, kdy je deskový vzorek po odebrání dna formy podepřen pouze na dvou protilehlých stranách. V rámci předkládané práce byl přístroj instalací elastického polyuretanového dna a bočních bariér upraven pro kontinuální měření napjatostních a délkových změn zrajících potěrů od okamžiku jejich aplikace (vylití) tzn. z čerstvého stavu. Při měření tensografem jsou využity oba měřící „mody“ přístroje, tzn. měření silových účinků zrající hmoty při konstantních délkových změnách a měření délkových změn zrajících vzorků při konstantních silových (napjatostních) stavech.

Měření délkových změn zrajících potěrů výše uvedenými sofistikovanými přístrojovými metodami jsou porovnána s výsledky normové metody „trámečkového smrštění“ dle ČSN EN 13872, Metody zkoušení hydraulicky vytvrzovaných podlahových stěrkových hmot – stanovení rozměrových změn.

Vedle objemových a napjatostních stavů zrajících potěrů se práce zabývá jejich zpevnováním a konečnými pevnostními parametry. V této oblasti jsou sledovány rozdíly

pevnostních parametrů vzorků naměřených normovými zkušebními postupy v kovových formách dle ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku a alternativní metodou s použitím elastických polyuretanových forem simulujících podmínky plovoucích potěrů a potěrů na oddělovací (separační) vrstvě tzn. potěrů, které během vyztavování nespolutůsobí s podkladem a měkká pružná obvodová dilatace při jejich praktické aplikaci umožňuje jejich volné rozpínání. Práce zkoumá hypotézu o možných rozdílných pevnostních parametrech potěrů zjištěných normovými zkouškami a reálně aplikovaných uvedených typů samonivelačních potěrů s umožněnou volnou expanzí. Kromě pevnostních parametrů jsou takto odlišně aplikované materiály posuzovány i z hlediska možných odlišností jejich mikrostruktury, která jsou sledovány metodou rastrovací elektronové mikroskopie (REM).

1.2 Samonivelační potěry – situace v současné stavební praxi

Z materiálového hlediska mají v tuzemské stavební praxi nejdelší tradici kalcium-sulfátové potěry tzn. potěry na bázi síranu vápenatého ať již alfa hemihydrátu nebo aktivovaného anhydritu, případně jejich směsí, někdy zjednodušeně nazývané „sádrové“ potěry, případně anhydrity. Přes více jak 20-ti letou tradici v jejich aplikacích, přetrvávají u některých projektantů i investorů obavy a nedůvěra k jejich využití, vycházející z obecně zažívaných představ o vlastnostech sádry, jako o měkkém nedostatečně pevném stavivu, navíc náchylnému k výraznému oslabení pevnosti po styku s vodou. Jelikož argument o vlhkostní citlivosti kalcium-sulfátových potěrů patří k opodstatněným výhradám a zároveň v občanské i bytové výstavbě se rozšiřují realizace vlhkostně zatížených prostor (wellness zařízení, bazény, sauny apod.) objektivně vznikla poptávka po vlhkostně odolných „cementových“ samonivelačních (litých) potěrech.

Vývoj „cementových“ samonivelačních potěrů již probíhá více jak 15 let s doposud pouze ojedinělými výstupy ve formě aplikačně a funkčně spolehlivých výrobků a řada výrobců především z oblasti tzv. suchých stavebních směsí jej nezvládla nebo se o něj vůbec nepokusila. V oblasti tzv. transbetonů tzn. hotových betonů dovážených automixy z betonáren byl uveden na trh před cca 10 lety potěr jednoho „betonářského koncernu“, dnes výrazně dominující na tuzemském trhu. Výrobek je aplikován v proměnlivé výsledné

kvalitě a před překrytím finálními vrstvami v odstupu 8 – 10 týdnů od aplikace u něj výrazně vrůstá riziko deformačních poruch typu zvednutých rohů – tzv. curling.

Z uvedeného je zřejmé, že hlavním problémem „cementových“ samonivelačních potěrů je ve srovnání se zavedenými sádrovými potěry jejich objemová, resp. tvarová stabilita. Známou komparativní výhodou sádrových potěrů je jejich objemový nárůst ve fázi tvrdnutí, který zčásti nebo úplně kompenzuje následné smrštění z vysychání, které není doprovázeno chemickým a autogenním smrštěním známým u cementových potěrů. Docílení přiměřené expanze k eliminaci následných smršťovacích procesů a případně jejich omezení se tak u „cementových potěrů“ stává hlavním řešitelským problémem. Limitujícím faktorem při řešení tohoto úkolu je současně požadavek trhu na cenu materiálu, která by se neměla lišit od ceny zavedených „sádrových“ potěrů. Použití pojivových koncepcí s „ettringitovou expanzí“, známých z oblasti samonivelačních stěrek, vede k výraznému zvýšení surovinové nákladovosti takto koncipovaných samonivelačních potěrů. Daný pojivový systém však přináší potěrům velmi rychlý pevnostní nárůst a současně rychlý pokles vlhkosti. Potěry s touto pojivovou bází vyrábí v současnosti v tuzemsku pouze 2 výrobci suchých stavebních směsí a výrobky již v názvu nesou charakteristiku rychlého zpevňování:

Maxit Floor 4442 turbo – rychlý cementový samonivelační potěr,
dle ČSN EN 13813 CT-C30-F5

PROFI rychletuhnoucí cementový litý potěr – SchnellZementFliesEstrich,
dle ČSN EN 13813 CT-C35-F7

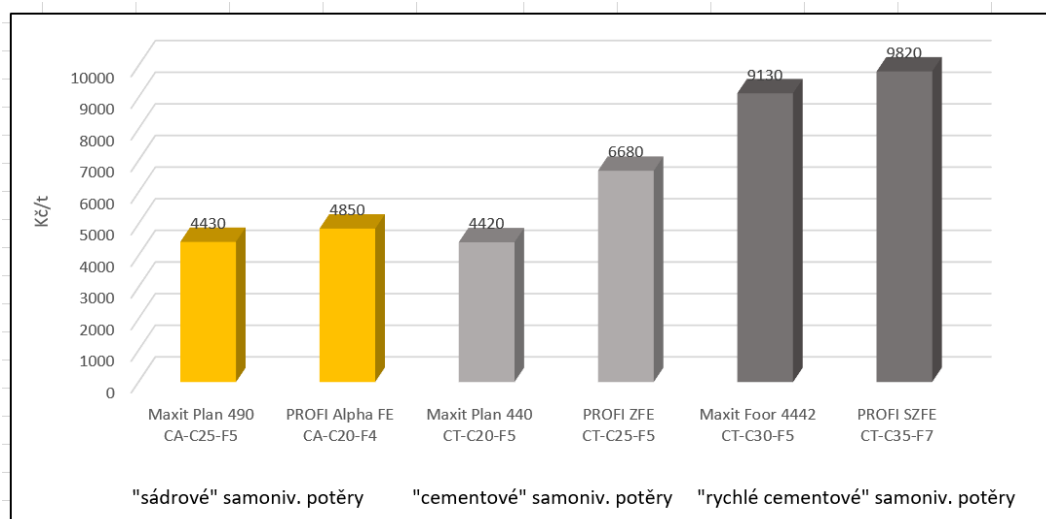
Jedná se o surovinově nákladné a z důvodu vyšší ceny minoritně používané výrobky, aplikované zejména v časové tísni, v případech potřeby rychlého zprovoznění nově vyhotovené nebo rekonstruované podlahové konstrukce.

Jak již bylo zmíněno, normálně tuhnoucí cementové samonivelační potěry jsou v posledních letech předmětem výzkumu, zaměřeného na pojivové systémy s alternativní koncepcí řízené expanze, resp. kompezace smrštění. Nově představené přísady [3] směřují vývoj k doposud v betonářství negativně posuzovaným jevům vápenatého nebo hořečnatého rozpínání. Tyto jevy v sekundární podobě, obdobně jako „ettringitový bacil“,

představují objektivní nebezpečí pro vyhotovené betonové konstrukce. Řízené vápenaté nebo hořečnaté rozpínání v počátečních fázích vyztváření betonu (cementového potěru) představuje ekonomicky akceptovatelnou alternativu k ettringitovému resp. sádrovému rozpínání. Na tuzemském trhu se v posledních letech objevují od 2 až 3 výrobců suchých stavebních směsí cementové samonivelační potěry s některou z těchto forem kompenzace smrštění. Cenové porovnání výrobků od dvou tuzemských výrobců, kteří mají v sortimentu z hlediska pojivové koncepce všechny typy samonivelačních potěrů uvádí Tabulka 1 a graf 1.

Tabulka 1: Ceníkové ceny 2018 samonivelačních potěrů Maxit (výrobce Franken Maxit s.r.o.) a PROFI (výrobce PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o.) – v Kč/t bez DPH materiálu volně loženého v síle.

„sádrové“ samonivelační potěry		„cementové“ samonivelační potěry		„rychlé cementové“ samonivelační potěry	
Maxit Plan 490 CA-C25- F5	PROFI Alpha FE CA-C20-F4	Maxit Plan 440 CT-C20- F5	PROFI ZFE CT-C25-F5	Maxit Foor 4442 CT-C30- F5	PROFI SZFE CT-C35-F7
4430	4850	4420	6680	9130	9820



Graf 1: Ceníkové ceny 2018 samonivelačních potěrů Maxit (výrobce Franken Maxit s.r.o.) a PROFI (výrobce PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o.) – v Kč/t bez DPH materiálu volně loženého v síle

Z uvedeného porovnání cen samonivelačních potěrů na tuzemském trhu lze přibližně dedukovat zmíněné rozdíly v jejich materiálové nákladovosti. Přestože použité pojivové koncepce jsou nezveřejňovaným „know-how“ výrobců, jsou u „sádrových“ a „rychlých cementových“ potěrů tyto koncepce zřejmé. V případě cementových potěrů není u potěru Maxit Plan 440 známo, zda a jakého druhu rozpínání k zajištění kompenzace smrštění bylo použito. V případě potěru PROFI ZFE výrobce PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o. deklaroval autoru práce, že se jedná o zkušebně vyráběný „cementový“ samonivelační potěr s vápenatým rozpínáním. U všech třech typů samonivelačních potěrů PROFI poskytl výrobce autoru práce rámcové receptury a dodal vzorky materiálů zkoušených v předkládané práci.

Práce je zpracována s technickou a materiálovou pomocí Centra průmyslového výzkumu, vývoje a inovací PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o.

1.3 Předmět a cíle práce

Předmětem práce je studium objemových a napjatostních změn zrajících samonivelačních potěrů s účelovým rozpínáním ve fázi jejich tuhnutí a tvrdnutí, k docílení částečné nebo úplné eliminace jejich smrštění ve fázi vysychání. Současně se práce zabývá sledováním a konfrontací pevnostních parametrů zrajících potěrů získaných „normovou“ metodou na tráměčcích v kovových formách a alternativní metodou v elastických PUR formách s cílem posouzení možných rozdílů mezi deklarovanými „normovými“ pevnostmi a pevnostmi skutečnými (vzorků odebraných in situ) v podlahových skladbách. Možné rozdíly v mikrostruktuře vyztučených potěrů z kovových forem, eliminujících časné fáze rozpínání v prvních 24 hodinách zrání a potěrů z elastických forem, umožňujících rozpínání jsou posuzovány metodou rastrovací elektronové mikroskopie (REM).

- Studium je zaměřeno na konstrukčně nejrozšířenější typ samonivelačních potěrů, aplikovaných jako plovoucí nebo na separační vrstvě, u kterých nedochází ke spolupůsobení s podkladem a u nichž pružná obvodová dilatace umožňuje jejich volné plošné rozpínání a smršťování. Z materiálového hlediska jsou zkoušeny 3 pojivově odlišné koncepce potěrů s účelovým rozpínáním a 1 potěr referenční, bez složky vyvolávající rozpínání. Značení, názvy a princip pojivových bází zkoušených potěrů udává Tabulka 2.

Tabulka 2: Značení, názvy a princip pojivových bází zkoušených potěrů

Značka potěru	Název potěru	Pojivová báze
AFE	sádrový samonivelační potěr (Alpha Fließ Estrich)	alfa-hemihydrát – minorita OPC
SZFE	rychlý cementový samonivelační potěr (Schnell Zement Fließ Estrich)	OPC – C\$A slínek – sádra
ZFE	cementový samonivelační potěr (Zement Fließ Estrich)	OPC – tvrdě pálené CaO
REF	referenční samonivelační cementový potěr	OPC

Vysvětlivky:

OPC – portlandský cement z anglického Ordinery Portland Cement

C\$A – Kalcium-sulfo-aluminátový slínek

Značky potěrů vychází z počátečních písmen komerčních německých názvů výrobků Profibaustoffe CZ s.r.o.

- Objemové, přesněji délkové změny zrajících samonivelačních potěrů jsou sledovány metodou bezkontaktní mikroskopové dilatometrie a upraveným přístrojem Tensograf TGF-02 Coming v dilatometrickém měřícím modu (při konstantní napjatosti). Provedená úprava byla vedena snahou o prověření možnosti měření délkových změn zrajících samonivelačních stěrek z čerstvého stavu, což přístroj v původním stavu neumožňuje. Výsledky obou přístrojových měření jsou konfrontovány jednak vzájemně, ale především s výsledky normové „trámečkové“ metody dle ČSN EN 13872, Metody zkoušení hydraulicky vytvrzovaných podlahových stěrkových hmot – stanovení rozměrových změn. Toto porovnání má potvrdit a zdokumentovat tvrzení řady autorů (R. Zurbriggen [4], Erika E. Holt [5]), že uvedená „normová“ měření rozměrových změn u samonivelačních potěrů s účelovým rozpínáním (s kompenzovaným smrštěním), neodráží objektivně jejich délkové změny během jejich vyztváření včetně konečného stavu a neumožňuje predikci jejich výsledné objemové stability.
- Napjatostní stavy zrajících potěrů jsou sledovány upraveným přístrojem Tensograf TGF-02 Coming v silovém měřícím modu (při konstantní délce vzorku). Hodnoty napjatostí vyvolané „blokovaným“ plastickým smrštěním, rozpínáním při vytvrzování a smrštěním k 7. dni od vytvoření (odlití) vzorků jsou konfrontovány s délkovými změnami vzorků zjištěnými optickou dilatometrií a Tensografem TGF-02 v dilatometrickém měřícím modu. Toto srovnání má za cíl dokumentaci napjatostních stavů ve zrajících vzorcích při známých délkových změnách, které je vyvolávají.

- Pevnostní parametry zrajících potěrů v intervalech zrání 1, 7 a 28 dní jsou sledovány u vzorků připravených „normovým“ postupem v kovových formách dle ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku [23] a alternativní metodou s použitím elastických polyuretanových forem, simulujících podmínky plovoucích potěrů a potěrů na oddělovací (separační) vrstvě. Toto porovnání má ověřit hypotézu o odlišnosti pevnostních parametrů předmětných samonivelačních potěrů zkoušených a deklarovaných normovými postupy a prakticky aplikovaných potěrů na kluzném podkladu s umožněným rozpínáním. Hypotézu v tuzemsku vyslovil M. Štenko [6], který jev předpokládaného samozhnutí (autokomprese) u vzorků s účelovým rozpínáním, zkoušených v kovových formách označil za pravděpodobně možnou příčinu odlišných výsledků pevnostních parametrů vzorků laboratorních, z kovových forem a vzorků odebíraných in situ z potěrových vrstev na stavbách.
- Předpoklad o odlišné mikrostruktuře vzorků samonivelačních potěrů v závislosti na charakteru formy, dle možnosti nebo nemožnosti rozpínání vzorku v časně fázi jeho zrání (v prvních 24 hodinách), je v předkládané práci ověřován paralelně u každého ze zkoušených vzorků potěrů odlitého v kovové a elastické formě metodou rastrovací elektronové mikroskopie (REM). Mikrostruktura je sledována u vzorků po 28 dnech jejich zrání.
- Dle zadání předmětné práce jsou výsledky veškerých prací v logice jejich zaměření vzájemně porovnávány a diskutovány se zaměřením na jejich technickou vypovídací hodnotu, zejména z hlediska relevantnosti výsledků doposud používaných normových zkoušek.

2 Charakteristika samonivelačních potěrů

2.1 Vymezení pojmu potěr

Obecně potěry jsou klasifikovány dle ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry – Vlastnosti a požadavky [24]. Předmětná norma však zahrnuje širší skupinu materiálů, které jsou dle obvykle aplikované tloušťky a s tím související jemností, tzn. velikostí maximálního zrna, ve stavební praxi označovány od nejjemnější k nejhrubším jako stěrka, potěr, případně deska. Obvykle užívané názvosloví dle výše zmíněných parametrů udává tabulka 3.

Tabulka 3: Obvyklé názvosloví a členění podlahových hmot deklarovaných dle ČSN EN 13813 včetně podlahových desek [24]

výrobek	Slovní označení zrnitosti	Maximální zrno	Obvyklá aplikační tloušťka vrstvy	Obvyklá aplikační konzistence
stěrky	jemné	0,2-0,3 mm	2-10 mm	plastická, samonivelační
	střední	0,4-0,6 mm	3-15 mm	
	hrubé	0,7-1,2 mm	4-30 mm	
potěry	jemné	1,2-1,6 mm	5-35 mm	drolenková, plastická, samonivelační
	<u>střední</u>	<u>2,0-4,0 mm</u>	<u>15-80 mm</u>	
	hrubé	6,0-8,0 mm	20-100 mm	
Desky		≥8,0 mm	≥60 mm	

Z přehledu uvedeného v tabulce 3 je zřejmé že mezi typy podlahových výrobků existují z hlediska užívaného názvosloví jisté „překryvy“ a např výrobek s max. zrnem 1,2 mm může být jedním výrobcem označován jako „hrubá stěrka“ a jiným výrobcem jako „jemný potěr“. Obdobně je tomu na rozhraní mezi hrubými potěry a deskami.

Pro názornost jsou potěry a jejich zrnitosti a aplikační parametry, které jsou předmětem této práce označeny v tabulce 3 podtržením:

Jedná se o samonivelační potěry střední zrnitosti s max. zrnem do 4 mm, aplikované v tl. 15 – 80 mm.

2.2 Materiálové složení samonivelačních potěrů

Vlastní materiálové složení samonivelačních potěrů patří ke chráněnému „know-how“ jejich výrobců a konkrétní informace lze proto čerpat pouze ze směrných receptur výrobců některých „klíčových“ složek. Nejčastěji jsou to výrobci pojiv (hlinitanový cement, sádra, C\$A slínek ..), kteří ve svých technicko-propagačních dokumentech uvádí směrné (startovací) receptury pro zpracování jejich produktů. Informace k dávkování některých přísad lze nalézt v konkrétních technických listech jednotlivých výrobců, jako jsou plastifikátory, odpěňovače, akcelerátory, retardéry atd., ale vždy s odkazem, že jejich dávkování je nutno pro konkrétní výrobek experimentálně ověřit. Konkrétní výrobní receptury jsou zpravidla nepřenosné, neboť výrobci z logistických a ekonomických důvodů používají většinou odlišné suroviny a vlastnosti výrobku jsou dány právě synergií použitých surovin.

2.2.1 Rámcové informativní složení samonivelačních potěrů

Předmětné samonivelační potěry střední zrnitosti se liší od běžných „rozprostíraných“ potěrů, aplikovaných v drolenkové nebo plastické konzistenci v celé řadě složek. Tyto odlišnosti jsou dány jejich tekutou konzistencí, která nutně vyžaduje přítomnost vysoce účinného plastifikátoru a současně antisegregační přísady, specifické je i jejich granulometrické složení. Intenzita jejich mísení současně vyvolává potřebu jejich „odpěnění – odvzdušnění“. Hlavní odlišnost však představuje vlastní pojivový systém, který musí být, vzhledem k vysokému podílu záměsové vody a tím nebezpečí nadměrného smršťování, nutně koncipován jako objemově stabilizovaný, jinak řečeno s řízeným kompenzovaným smrštěním.

Informativní složení samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním s minimálními pevnostmi v tlaku 20 MPa a v tahu za ohybu 4 MPa uvádí tabulka 4.

Tabulka 4: Rámcové informativní složení samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním

Složka	Druh potěru dle pojivového systému - obsah složek (%)		
	Sádrový	Cementový rychlý	Cementový
pojivo	25 - 35	12 - 15	15 - 20
expanzní pojivová složka			1,5 - 3,0
protismršťující složka (SRA)			0,1 - 0,5
přísady	0,5 - 1,0	0,5 - 1,0	0,5 - 1,0
kamenivo 0,09 - 4,0 mm	60 - 65	65 - 75	65 - 75
plnivo 0,0 - 0,09 mm	5 - 10	10 - 15	10 - 15

Z obsahu složek v jednotlivých druzích samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním lze vyvodit několik obecných poznatků:

- Nejnižší pojivovou schopnost mají sádrová pojiva a jejich podíl v receptuře daných parametrů je proto výrazně vyšší než u cementových pojiv, mezi kterými je méně výrazný, ale přesto zjevný rozdíl, ve vyšším pojivovém potenciálu rychlých cementových potěrů
- Sádrovým a rychlým cementovým potěrům zajišťují kompenzaci smrštění (přiměřenou expanzi) jejich hydratační produkty, zatímco u cementového potěru (normálně tuhnoucího) je nutný přídavek expanzní přísady s protismršťující složkou (SRA).

2.2.2 Pojivové koncepce samonivelačních potěrů

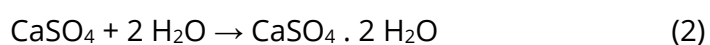
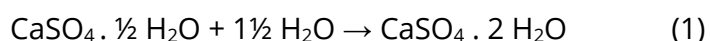
Pojivový systém samonivelačních potěrů by měl zčásti nebo úplně kompenzovat procesy smršťování. Dle způsobu rozpínání mají tyto pojivové koncepce rozdílná složení.

2.2.2.1 Sádrová na bázi alfa-hemihydrátu, nebo anhydritu případně jejich směsí

Jako již bylo zmíněno v kap. 1.1. jedná se o pojiva na bázi síranu vápenatého, který může mít formu alfa-hemihydrátu nebo anhydritu, případně může jít o jejich směs. Tyto potěry bývají označovány jako „sádrové“ nebo „anhydritové“, přestože anhydrit nemusí být hlavní složkou pojiva nebo nemusí být přítomen vůbec. Zde se jedná především o snahu výrobců těchto potěrů, vyhnout se pojmu „sádra“, který, jak již bylo zmíněno, u laické veřejnosti vzbuzuje nedůvěru k některým funkčním vlastnostem a trvanlivosti takovýchto potěrů. Využití této pojivové koncepce má v tuzemsku více jak dvacetiletou tradici. V druhé polovině 90. let min. století probíhaly v tuzemsku aplikace sádrových samonivelačních potěrů importovaných jako hotové „suché“ volně ložené materiály především z Německa. Posléze import přešel pouze na vlastní pojivo, někdy označované jako „compound“, které obsahuje všechny nezbytné přísady (plastifikátory, odpěňovače, antisegregátory, akcelerátory, retardéry, případně i podíl plniva, které postačí smísit s kamenivem předepsaného složení. Při dodržení doporučené zrnitostní skladby kameniva a předepsané záměsové vody deklarují dodavatelé „compoundů“ dosažení požadovaných aplikačních a funkčních vlastností potěrů.

Tato praxe s využitím „compoundů“ jako hotových pojivových směsí stále v tuzemsku převažuje. Jednou z výjimek je spol. Profifibaustoffe CZ s.r.o., vyrábějící sádrový samonivelační potěr na bázi alfa-hemihydrátu jehož vzorek je jedním z potěrů, které jsou předmětem této práce a jehož rámcovou recepturu spol. Profifibaustoffe CZ s.r.o. řešiteli poskytla.

Problematika řízené expanze, resp. kompenzovaného smrštění sádrových samonivelačních potěrů vychází z dlouhodobě známého jevu, objemového nárůstu, doprovázejícího hydrataci síranu vápenatého - α hemihydrátu $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ viz níže rovnice (1) resp. anhydritu CaSO_4 viz níže rovnice (2):



Z hlediska výchozích surovin jsou pro sádrové samonivelační potěry nejužívanější:

- alfa-hemihydrát, vyráběný tepelným zpracováním (tlakovou kalcinací) energosádrovců, vznikajících při odsíření topenišť na fosilní paliva (teplárny, elektrárny),
- termický anhydrit (typ A II E) - CaSO_4 vyráběný vysokoteplotní kalcinací (nad 600 °C) taktéž z energosádrovců
- syntetický anhydrit - CaSO_4 vyráběný přečistěním a kalcinací z odpadního dihydrátu, který vzniká při výrobě kyseliny fosforečné.

M. Štenko [2] k otázce objemové stability samonivelačních podlahových hmot se sádrovými pojivy uvádí:

„Běžná objemová roztažnost hydratující, tuhnoucí sádry, uváděná až do 1 % je v případě samonivelačních potěrů a stěrek snížena jednak vlastním poměrným podílem pojiva ve hmotě (cca 30-40 %) a přidávkem aditiv, na cca 0,1-0,2 %, s následným minimálním smrštěním, v řádu jednotek desetin ‰. Sádrové podlahové materiály lze tudíž označit jako mírně expanzní.“

2.2.2.2 Ettringitová pojiva na bázi hlinitanového a portlandského cementu a sádry

Tato koncepce rychlých cementových potěrů má v praxi nejdelší tradici, a proto může být označena jako klasická. Jedná se o ternární systémy portlandského cementu, hlinitanového cementu a sádry ve formě alfa-hemihydrátu nebo anhydritu, přičemž existují 2 základní koncepce mísení těchto složek, a to s majoritou hlinitanového cementu nebo s majoritou portlandského cementu a sádra je vždy zastoupena v minoritě viz. tabulka 5.

Tabulka 5: Ettringitová pojivová koncepce na bázi hlinitanového a portlandského cementu a sádry (s úpravou dle M. Štenko [2]).

Symbolické značení pojivového systému	Skladba pojivového systému	Obvyklé doručované poměry mísení	Hlavní zdroj Al ³⁺ pro vznik ettringitu
CAC-OPC-C\$H _x	Klasická ternární směs: - hlinitanový cement CAC - portlandský cement OPC - sádra C\$H _x	s majoritou OPC: OPC/CAC/C\$H _x 55/25/20	CA z CAC C₃A z OPC
		s majoritou CAC: CAC/OPC/C\$H _x 60/10/30	

Vysvětlivky:

OPC – portlandský cement z anglického Ordinary Portland Cement

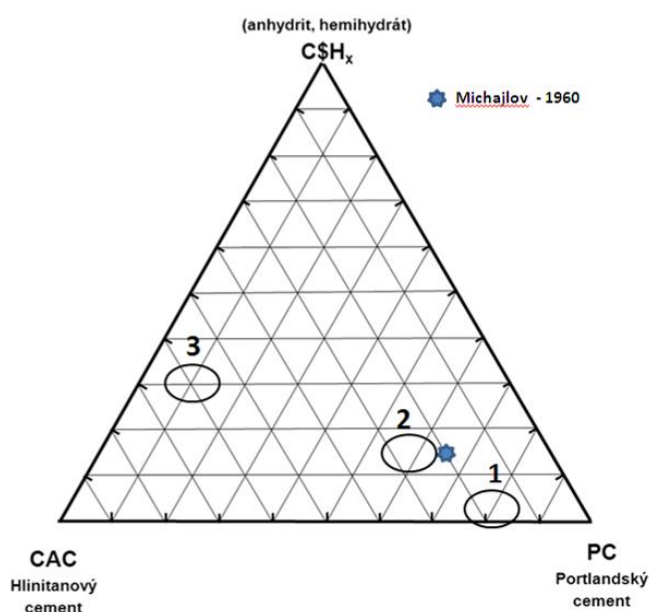
CA – kalcium alminát

CAC – hlinitanový cement z anglického Calcium Aluminate Cement

C₃A – trikalcium aluminát

C\$H_x- některá z forem sádry

K výše uvedeným, „obvykle doporučeným poměrům mísení nutno uvést“, že vychází z ternárních diagramů možných mísení výchozích pojivových složek na jejichž poměrné zastoupení existují různé názory. Klasickou ternární směs portlandského cementu (OPC), hlinitanového cementu (CAC) a sádry popisuje např. diagram L. Amathieu a kol. [7] viz. graf 2.



Graf 2: Ternární diagram možného mísení portlandského cementu, hlinitanového cementu a sádry dle L. Amathieu a kol. [7] s doplněním od M. Štenko [2]

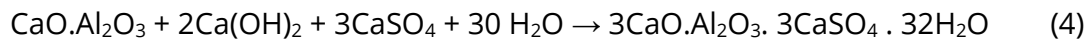
Výše uvedený diagram, publikovaný na konferenci Calcium Aluminate Cements v Edinburgu v r. 2001, představuje jisté inspirační know-how pro výrobce, usilující o rychlovazný pojivový systém s ettringitovou expanzí, přinášející takto spojeným hmotám jistý stupeň kompenzace smrštění.

K vymezeným zónám lze uvést následující:

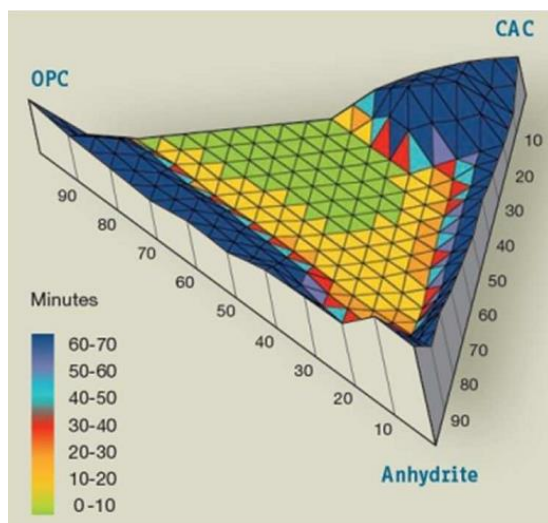
- zona „1“ – její vymezení má pouze informativní význam, neboť představuje binární pojivovou směs s urychleným tuhnutím a tvrdnutím s minimální expanzí, používanou pro některé typy malt a tmelů
- zona „2“ – vymezuje oblast ternárního systému s majoritou portlandského cementu. Jedná se o technologicky obtížnou pojivovou koncepci kvůli problematické regulovatelnosti počátku tuhnutí z důvodu rychlé tvorby ettringitu z výchozího C_3A jehož donátorem je převažující portlandský cement. Přesto je tento systém některými výrobci samonivelačních podlahových materiálů (stěrky, potěry) používán, především pro jeho nižší surovinovou nákladovost. Na hranici této zóny je vyznačen mísíci poměr „Michailov – 1960“ připomínající autora a rok objevu tohoto pojivového systému (doplnil M. Štenko [2]).
- zona „3“ - vymezuje oblast ternárního systému s majoritou hlinitanového cementu. Přes vyšší surovinovou nákladovost se jedná o široce rozšířenou pojivovou koncepci pro výrobu samonivelačních podlahových materiálů.

K vymezeným zónám v grafu 2 nutno dodat, že vlastní příprava konkrétního pojivového systému je vždy otázkou synergie použitých surovin a že řada směrných receptur v doporučených poměrech vybočuje z vymezených zón, které proto nelze chápat jako jednoznačně určující a směrodatné.

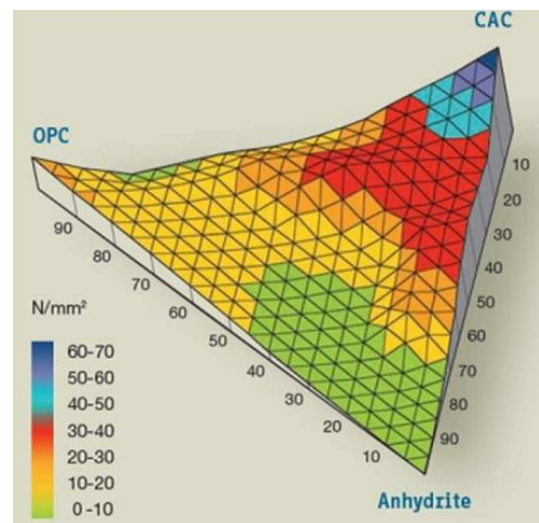
Z chemického hlediska se předpokládá že v obou zónách úměrně k zastoupení hlavních donátorů hlinitanové složky – symbolicky Al^{3+} tzn. C_3A z portlandského cementu a CA z hlinitanového cementu vzniká ettringit dle následujících rovnic dle I. Odlera [8]:



Složitost uvedeného ternárního pojivového systému dokumentují grafy č. 3 a 4 spol. Calucem [9], z nichž je patrné, jak výrazné změny sledovaných parametrů daného pojivového systému (počátek tuhnutí a tlakové pevnosti po 24 hodinách) nastávají při relativně malých změnách v poměrném zastoupení výchozích složek. Obdobně výrazné změny lze předpokládat v objemových změnách, a tedy v míře objemové stability, resp. stupni kompenzace smrštění.



Graf 3: Ternární diagram závislosti počátku tuhnutí na poměrném zastoupení složek v pojivovém systému CAC-OPC-C $\$H_x$, Calucem [9]



Graf 4: Ternární diagram závislosti 24hodinové pevnosti v tlaku na poměrném zastoupení složek v pojivovém systému CAC-OPC-C $\$H_x$, Calucem [9]

2.2.2.3 Ettringitová pojiva na bázi C\$A slínku, portlandského cementu a sádry

Alternativní pojivovou koncepcí rychlých cementových potěrů k ternárním systémům na bázi hlinitanového cementu, portlandského cementu a sádry (CAC–OPC–C\$H_x) je koncepce nahrazující hlinitanový cement kalcium-sulfo-aluminátovým slínkem (zkráceně C\$A). Tato ternární koncepce někdy označovaná jako pseudobinární může být tvořena pouze mísením dvou složek, přičemž vedle portlandského cementu druhou složku představuje výrobcem pojiva připravený premix C\$A-slínku a sádry a v podstatě se opět jedná o ternární systém C\$A–OPC– C\$H_x, který je taktéž chemicky založen na vzniku ettringitu pro nějž je zdrojem hlinitanové složky (Al³⁺) klíčový minerál z C\$A-slínku, kterým je C₄A₃\$ kleinit, nebo také Kleinuv komplex, pojmenovaný po svém objeviteli – prof. Klein (USA-1966) (oficiálně mineralogicky Ye´elimité). Názorně tuto koncepci znázorňuje tabulka 6.

Tabulka 6: Ettringitová pojivová koncepce na bázi C\$A slínku, portlandského cementu a sádry (s úpravou dle M. Štenko [2])

symbolické značení pojivového systému	skladba pojivového systému	obvyklé doručované poměry mísení	hlavní zdroj Al ³⁺ pro vznik ettringitu
C\$A–OPC– C\$H _x	Ternární nebo pseudobinární směs: - kalcium-sulfo-aluminátový slínek C\$A - portlandský cement OPC - sádra C\$H _x	ternární: OPC/C\$A/ C\$H _x 86/7/7	C ₄ A ₃ \$ kleinit z C\$A slínku
		pseudobinární: OPC/(C\$A: C\$H _x =4:1) 2/1	

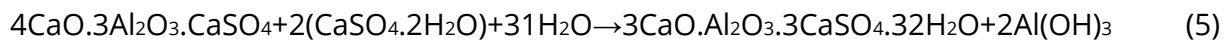
Vysvětlivky:

OPC – portlandský cement z anglického Ordinary Portland Cement

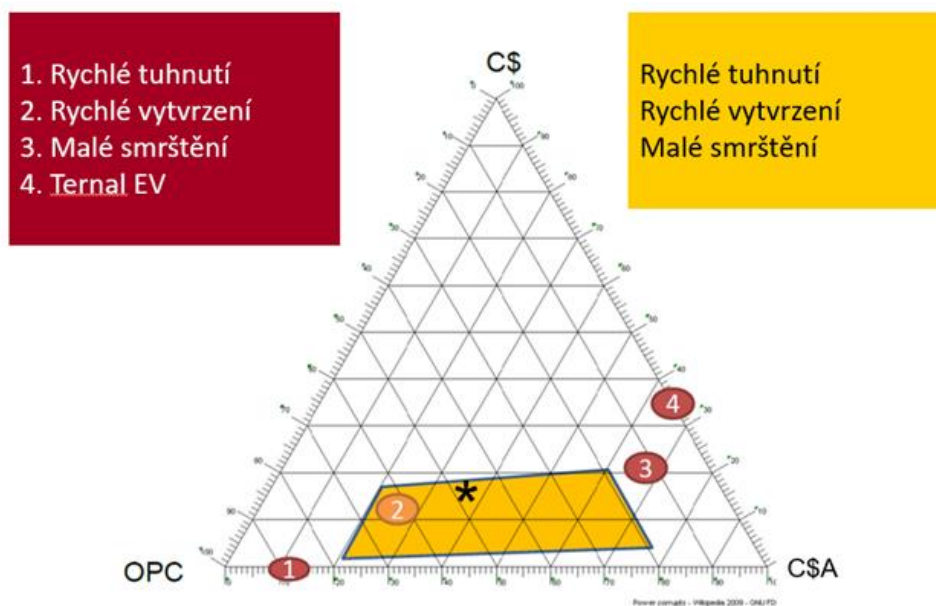
C\$A – kalcium-sulfo-aluminátový slínek

C\$H_x- některá z forem sádry

Rovnici vzniku ettringitu z kleinitu popisuje řada autorů z nichž nezkrácenou verzi uvedl ve své práci Štenko [2]



Tento pojivový systém je ve srovnání s předchozím systémem výrazně mladší a k jeho využívání v oblasti samonivelačních podlahových materiálů dochází až cca v posledních 15 letech, a to zásluhou importu klíčové suroviny, kterou je C\$A-slínek, dovážený do Evropy z Číny. Autor má povědomí pouze o jednom evropském výrobcí C\$A-slíneku, kterým je HeidelbergerCement AG v závodě v Itálii (dříve CTG Italcementi Group). Původní výrobce publikoval ve své zákaznické prezentaci [10] bohužel veřejně nedostupné, níže uvedený ternární diagram ettringitového pojivového systému C\$A-OPC-C\$H_x viz. graf 5.



Graf 5: Ternární diagram vlastností pojivového systému C\$A-OPC-C\$H_x dle proměnlivého poměrné ho zastoupení složek [10]

Z grafu 5 je zřejmé, že vymezuje bodově poměrná zastoupení složek pro dosažení specifických vlastností pojivového systému, ale kromě toho vymezuje i značně rozsáhlou, okrově vyznačenou oblast, zahrnující vlastnosti, požadované pro pojivový systém s rychlým pevnostní náběhem a s kompenzovaným smrštěním, vhodný pro samonivelační podlahové materiály. Symbolem * je vyznačeno poměrné zastoupení složek u vzorku rychlého cementového potěru „SZFE“ zkoušeného v této práci.

Nutno dodat že bod „4“ označený jako „Ternal EV“ což by znamenalo binární směs C\$A-slínku a sádry neodpovídá skutečnosti, neboť Štenko [2] rentgenograficky identifikoval Ternal EV jako kalcium-aluminátový slínek (CA - slínek) s rozhodujícím zastoupením minerálu C₁₂A₇ mayenit.

2.2.2.4 Ettringitová pojiva na bázi CA slínku a sádry

Výše zmíněný, v grafu 5 nesprávně identifikovaný, binární systém kalcium-aluminátového slínku s rozhodujícím podílem mayenite (C₁₂A₇) a sádry, byl představen na tuzemském trhu v roce 2011 jako speciální rychlý pojivový systém pro samonivelační podlahové hmoty, ale nenašel přes svou výrobní jednoduchost, z cenových důvodů, širší uplatnění. Názorně tento systém znázorňuje Tabulka 7.

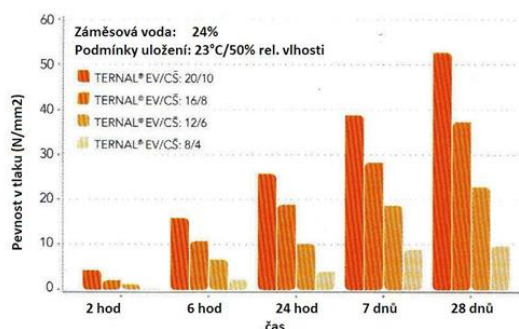
Tabulka 7: Ettringitové pojivo na bázi CA slínku a sádry (s úpravou dle M. Štenko [2])

symbolické značení pojivového systému	skladba pojivového systému	doručovaný poměr mísení	hlavní zdroj Al ³⁺ pro vznik ettringitu
CA-C\$H _x	Binární směs: - kalcium-aluminátový slínek CA - sádra C\$H _x	CA/ C\$H _x 2/1	C ₁₂ A ₇ mayenit z CA slínku

Vysvětlivky:

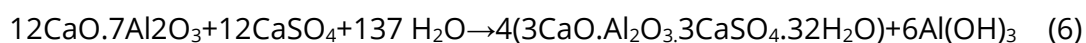
CA – kalcium-aluminátový (mayenitový) slínek, C\$H_x - některá z forem sádry

Jednoduchost pojivového systému vyplývá z tvrzení výrobce, spol. Kerneos [11], že smísením Ternal EV s libovolným typem sádry při dodržení poměru Ternal EV : sádra = 2 : 1 vznikne objemově stabilní pojivo, přičemž zvyšováním podílu tohoto směsného pojiva ve výrobku (dokumentováno na samonivelační stěrce) od 8 %:4 % až po 20 %:10 % (vztaženo na celkovou hmotnost výrobní směsi) lze, měnit poměrně plynule konečné pevnostní parametry výrobku viz. graf 6.



Graf 6: Vývoj pevností v tlaku samonivelační stěrky s binární pojivovou směsí Ternal EV/anhydrit (2/1) při různém dávkování [11]

M. Štenko [2], který se tímto pojivovým systémem zabýval, popsal průběh vzniku ettringitu z mayenite a sádry – viz. rovnice (6)

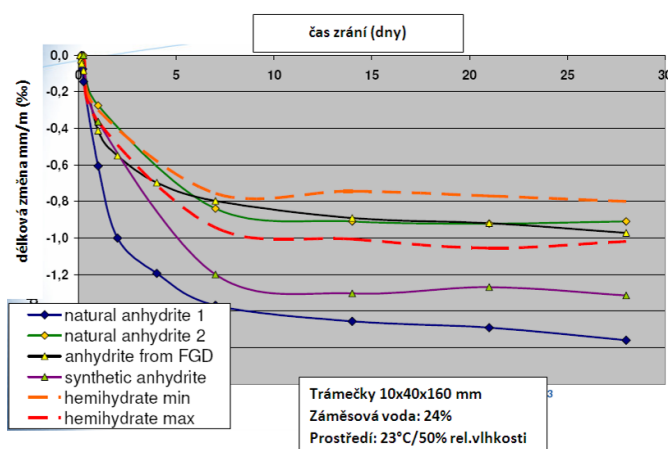


Při praktických experimentech, dosáhl při poměrném zastoupení 9,5 % CA slínku Ternal EV a 4,25 % alfa-sádry (hmotnostní % vztažená na hmotnost výrobní směsi) u středně zrnitého samonivelačního potěru (max. zrno 4 mm) pevnostních parametrů po 28 dnech zrání: pevnost v tlaku 40,57 MPa a v tahu za ohybu 5,98 MPa čímž potvrdil výrobcem deklarovanou vysokou pojivovou schopnost daného systému. Původní metodou tzv. blokování smrštění potvrdil i jeho objemovou stabilitu.

Současně upozornil na obtížnou akceptovatelnost tvrzení výrobce o možnosti použití libovolného druhu sádry, přičemž vychází přímo z podkladů výrobce – viz. graf 7, dokumentující, že dle typu použité sádry může docházet až k více jak dvojnásobnému smrštění.

Konstatuje, že druh použité sádry významně ovlivňuje délkové změny během zrání a optimální volba této surovinové složky je aktuálním úkolem pro každého potenciálního výrobce, pracujícího s pojivem Ternal EV.

Dále upozorňuje na výrobcem deklarovanou ztekutitelnost, tzn., že pro dosažení potřebných rozlivových vlastností, nevyžadují samonivelační hmoty na bázi tohoto pojiva přidavek plastifikátoru. Jednou z otázek kolem tohoto pojiva zůstává, zda se jedná o zcela mimořádnou vlastnost tohoto pojiva nebo byl plastifikátor k pojivu již přimíchán.



Graf 7: Délkové změny samonivelační stěrky s pojivovou směsí Ternal EV/sádra (2/1) s různými typy sáder [11]

2.2.2.5 Cementová pojiva na bázi portlandského slínku a tvrdě páleného CaO

Významným iniciačním faktorem pro výzkum těchto pojivových systémů se vedle stálé poptávky trhu po cenově dostupných běžně tuhoucích cementových samonivelačních potěrech stává v současné době nabídka komerčních přísad k portlandským cementům, které mají zajistit jejich objemovou stabilitu, resp. kompenzovat jejich smrštění levněji, tzn. na jiném než ettringitovém rozpínání. Cílem je přiblížit cementem pojené potěry, za přijatelných ekonomických nákladů, k objemově stabilním potěrům se sádrovými pojivy i na úkor ztráty rychlých pevnostních náběhů pojivových systémů s tvorbou ettringitu, popsaných v předešlých kapitolách.

Využití CaO jako expanzní přísady do cementy pojených výrobků se datují do počátků 70. let min. století v Japonsku, kdy spol. Onoda Cement Co, Ltd (dnes Taiheiyo Cement Corp. - Pacific Ocean Cement Corporation) uvedla na trh řadu výrobků zn. Expan, určených k prevenci trhlin betonových konstrukcí [12].

Z evropský odborníků na danou problematiku patří k nejvýznamnějším Mario Collepardi (Itálie) který v USA v roce 1975 získal patent č. US 4046583A: „Method of producing expansive and high strength cementitious pastes, mortars and concretes“ - Způsob výroby expanzních a vysokopevnostních cementových past, malt a betonů [13]

V anotaci patentu je uvedeno:

„Expanzní a vysoce pevné cementové pasty, malty a betony se vyrábějí tak, že se do směsi vody, cementu a kameniva přidá směs obsahující oxid vápenatý nebo oxid hořečnatý, činidlo snižující vodu a přísada pro snížení nebo odstranění bleedingu čerstvé směsi“

Je zřejmé, že se autor kromě expanze snažil o multifunkční přísadu. Lze předpokládat, že s rozvojem používání plastifikátorů, a antisegregačních přísad, které se staly u výrobců samozřejmostí se M. Collepardi ve svém díle Collepardi – 2006/v ČR 2009 [14] soustředí na expanzní funkci hydratujícího CaO a synergii, především s protismršťující přísadou. Oproti alternativní možnosti, namísto CaO využít MgO, upřednostňuje CaO jako levnější a dostupnější expanzní přísadu.

Chemicky reakci CaO v čerstvém betonu popisuje rovnicí (7).



K charakteru CaO zdůrazňuje, že se musí jednat o tzv. tvrdě pálené vápno, které se pálí při vyšší teplotě (nad 1000 °C) než běžné vápno pro malty a omítky. Tvrdě pálené vápno přechází z oxidu na hydroxid později než běžné vápno, a to až ve fázi tvrdnutí betonu a pouze v této době má efektivní expanzní účinek. M. Colepardi zdůrazňuje nutnost pevné vazby mezi výztuží a expandujícím betonem, aby došlo ke „koexistenci dvojího napětí“, tedy aby beton byl ve vyvrálém stavu namáhán tlakovým a výztuž tahovým napětím. Tento stav nazývá „chemicky předpjatou konstrukcí“.

Z uvedeného vyplývá, že využití „vápenatého rozpínání“ M. Colleparidi předpokládá u vyztužených betonových konstrukcí. Expanzi zkušebních vzorků sleduje metodou „vázaného smrštění“, vycházející z americké normy ASTM 845-19, převzaté v Itálii jako UNI 8148. Metoda pracuje s formou tvaru kvádrů 80 x 80 x 240 mm, jejíž vyjímatelná čela jsou spojena ocelovou tyčí o průměru 6 mm. Po zatuhnutí vzorku (za 4-6 hod) je vzorek s i čely, spojenými ocelovou tyčí, odformován a změří se délka zabudované tyče – viz. obrázek 1,2. Následně je vzorek na 3-7 dní uložen do vody, aby byla mohla být změřena jeho maximální expanze.



Obrázek 1: forma a odformovaný vzorek

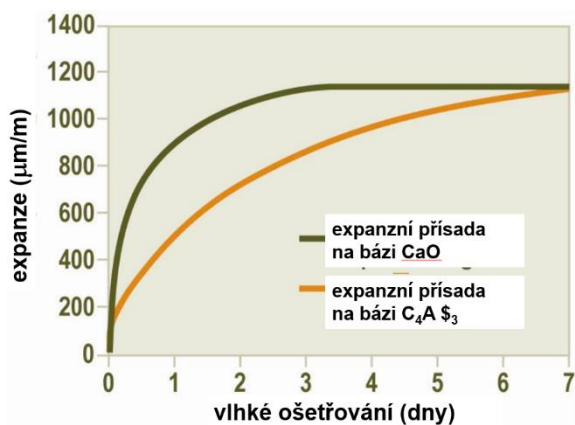


Obrázek 2: měření délky zabudované tyče

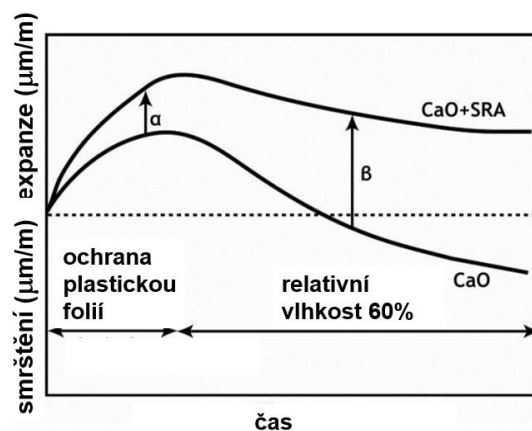
Obrázek 1 a 2: Metoda měření vázaného smrštění dle ASTM 845-19 resp. UNI 8148 [14]

M. Coleparidi popisuje úpravu metody s ohledem na reálnou situaci na stavbách, a vodní uložení nahrazuje obalením vzorku PE-folií. Vzorek je po 3 dnech zrání ve vlhkém prostředí (r.v. > 95 %) změřen (délka ocelové tyče), následně je zbaven folie a vystaven běžnému prostředí (r.v. = 50 %) a pokračuje sledování jeho délkových změn.

Z hlediska výhodnosti pojivových systémů porovnává systém vápenatého rozpínání se systémem ettringitového na bázi C₄A₃S - viz. kap. 2.2.2.3) a označuje systém vápenatého rozpínání jako výhodnější z hlediska větší rychlosti expanze a tím zkrácení nutnosti ošetřování betonových konstrukcí viz. graf 8.



Graf 8: Vliv expanzních přísad na bázi CaO a na bázi ettringitu na rozpínání betonu [14]



Graf 9: Délkové změny betonu s expanzivní přísadou na bázi CaO a v kombinaci CaO a SRA [14]

Poznámka ke grafu 9: Ilustruje délkovou změnu betonu s expanzní přísadou na bázi CaO (30 kg/m³) a betonu s přísadou bázi CaO (30 kg/m³) a SRA (2 kg/m³) odformovaných na začátku tuhnutí (6 hodin)

Dále se M. Collepari [14] zabývá problematikou zlepšení účinku vápenatého rozpínání přidávkem protismršťující přísady viz. graf 9., který ilustruje jeden z jeho nejvýznamnějších poznatků. Jedná se o synergii účinku expanzní přísady na bázi CaO a protismršťující přísady SRA (Shrinkage Reduction Addmixture). M. Collepari uvádí, že přidavek SRA v množství 1-2 % na hmotnost cementu redukuje smrštění vysycháním asi o 50 %.

Konstatuje, že mimo nižšího smrštění dochází přidávkem SRA také k růstu vázané expanze. Na základě uvedených skutečností dochází k závěru, že přidávkem SRA do betonů s kompenzovaným smrštěním na bázi hydratace CaO dojde k možnosti přípravy betonů bez trhlin i bez vlhkého ošetřování konstrukce.

K dané problematice M. Collepardi dodává, že studie, které se zabývaly vlivem přídavku SRA do prefabrikovaných malt, obsahujících jako expanzní přísady CaO nebo kalciumsulfoalumináty ukázaly, že k synergickému efektu dochází pouze u rozpínavých přísad na bázi CaO. Vliv SRA při použití rozpínavých přísad na bázi sulfoaluminátů byl zanedbatelný.

V oblasti průmyslových podlah uvádí, s odkazem na poznatky z USA a doporučení ACI Committete 223, jak zhotovit průmyslové železobetonové podlahy bez dilatačních spár s rozlohou 800-1000 m², ošetřované vodou 4-7 dní. Takováto plošná výměra odpovídá dennímu výkonu pokládky, a proto mohou být dilatační spáry shodné s konstrukčními, které oddělují plochy, položené v různých dnech.

Z dalších publikací M. Colepardiho a jeho spolupracovníků možno zmínit např. článek o betonech s kompenzovaným smrštěním pro speciální konstrukce - R. Troli, M. Collepardi [15], kde autoři demonstrují úspěšnou aplikaci betonu s kompenzovaným smrštěním na bázi přísady CaO+SRA při stavbě Muzea XXI. století v Římě (2004-2006) viz. Obrázky 3 a 4.

Fotodokumentace z výstavby Muzea XXI. století v Římě (2004-2006),



Obrázek 3: Příklad výztuže typické stěny [15]



Obrázek 4: Pohled na zakřivené stěny beze spár [15]

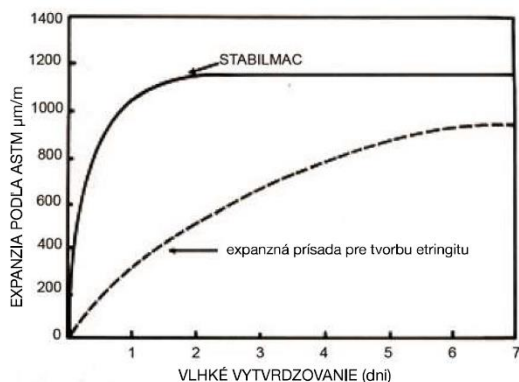
Dle současné situace v tuzemsku lze k otázce využití kompenzovaného smrštění betonu na bázi vápenatého rozpínání uvést, že pokud je využíváno, je to neveřejným a nedostupným know-how výrobců.

Na trhu je dostupná pouze jedna přísada tohoto typu, s obchodním označením MasterLife SRA 150 (dříve též s označením, Rheomac 100, STABILMAC, MasterLife SRA 100) od spol. BASF. V průběhu času výrobce měnil informace o složení výrobku i grafickou marketingovou argumentaci pro jeho použití. Nedochovalo však ke změnám v jeho doporučeních ohledně dávkování (20 – 40 kg/m³) ani o použitelnosti: vodní díla, konstrukce z vyztuženého a předpjatého betonu, prefabrikované produkty a stavební výztuže ve smyslu oprav svislých konstrukcí, podpěrných pilířů apod.

Z hlediska složení uvádí technický list původního výrobku STABILMAC [28]

„Speciální slínek s vysokou teplotou výpalu, bohatý na volné vápno s obsahem kalciumsilikátů, aluminátů, feroaluminátů a sulfátů“.

Z hlediska marketingově-technické prezentace původní technický list porovnává expanzi betonu ve vlhkém prostředí s přísadou STABILMAC a nspecifikované přísady na bázi ettringitu – viz. graf 10.



Graf 10: Průběh délkových změn zrajících vzorků dle ASTM s různými expanzními přísadami.

složení vzorků:

portlandský cement typ III = 300 kg/m³

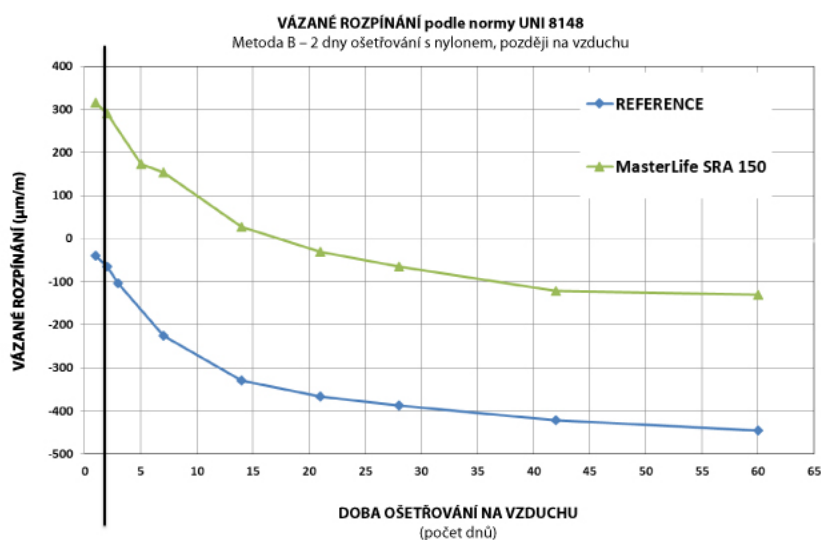
voda = 180 l/m³ expanzní přísada

STABILMAC = 30 kg/m³ kamenivo = 1900

kg/m³ [28]

Z porovnání Colleparديو grafu 8 a grafu 9 je zřejmé, že jsou téměř totožné a je otázkou, zda graf 10 vychází z reálných zkoušek s výrobkem STABILMAC nebo je převzat z publikace Colleparديو – 2006/v ČR 2009 [14]

Poslední verze technického listu pro výrobek MasterLife SRA 150 [29] vizuálně pracuje s graf 11.



složení vzorku:

CEM I 42,5 – 300 kg/m³

Voda - 180 l /m³

MasterLife

SRA 150 = 20 kg/m³

Kamenivo -1975 kg/m³

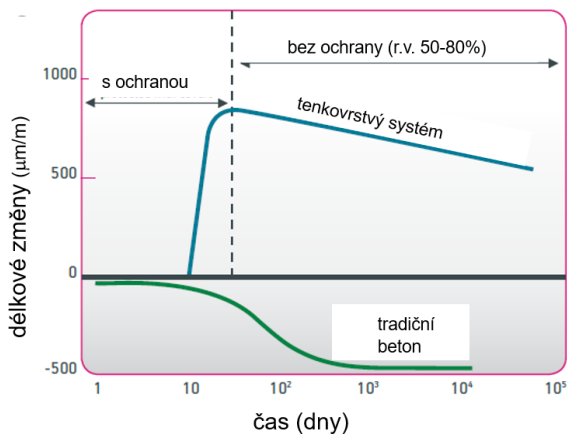
Graf 11: Vázané rozpínání referenčního vzorku a vzorku S MasterLife SRA 150 [29]

Ke grafu 11 nutno uvést, že v rozporu s názvem „Vázané rozpínání podle normy UNI 8148“ vlastní rozpínání porovnávaných vzorků neznázorňuje, ale zachycuje pouze fázi jejich smršťování, a to cca od 2. dne od jejich vyhotovení tzn. po odformování, až poté co expanze již proběhla.

Všechny technické listy výše zmíněného výrobku shodně uvádějí že nesmí být použit v nevyztuženém nebo neohraničeném výrobku. Do této charakteristiky plně spadají potěrové vrstvy ze samonivelačních potěrů a toto omezení využitelnosti mohlo být jednou z příčin, proč nebyl v tuzemsku systém kompenzovaného smrštění cementových samonivelačních potěrů s využitím tvrdě páleného vápna (eventuálně s SRA) používán. Vyjímku prokazatelně představuje výrobek cementového samonivelačního potěru „PROFI ZementFließEstrich“ poskytnutý k experimentům v předkládané práci.

Při průzkumu evropského trhu s expanzními (protismršťovacími) přísadami do betonu na bázi vápenatého rozpínání lze nalézt přípravek EXPAN 25 od výrobce DRACO Italiana S.p.A. [30] s prakticky shodně deklarovanou použitelností jakou má výše zmíněný MasterLife SRA 150 a též s podobným dávkováním: 10-40 kg/m³. Výrobce pro aplikace s tímto přípravkem zdůrazňuje nutnost ochrany vyhotovených konstrukcí před rychlým vysycháním po dobu několika dnů (PE folie, vlhčená netkaná textilie, ochranné nástřiky).

Oproti technickému listu lze nalézt v propagačních dokumentech výrobce DRACO Italiana S.p.A. [31] anotaci k výrobku EXPAN 25, která připouští jeho použití i pro nevyztužené betonové konstrukce typu tenkovrstvých betonových podlah s odkazem na firemní systém tenkovrstvých podlahových vstev DRACO BASSO SPESSORE – viz graf 12 a Obrázky 5 a 6.



Graf 12: Porovnání délkových změn zrajícího betonu DRACO BASSO SPESSORE a tradičního betonu [31]



Obrázek 5: DRACO BASSO SPESSORE - aplikace [31]



Obrázek 6: DRACO BASSO SPESSORE - detail [31]

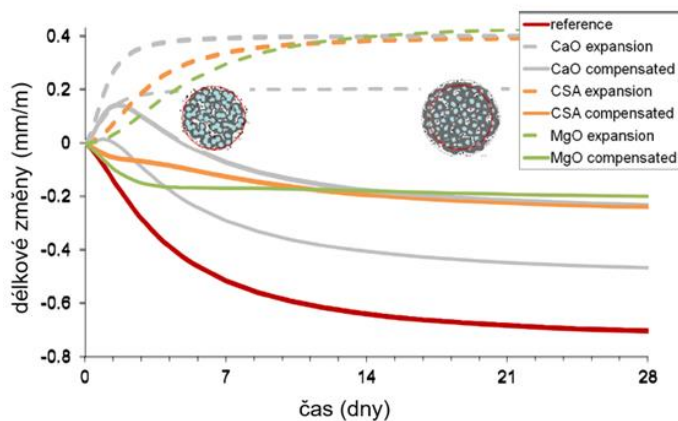
Autoru práce se nepodařilo z dostupných zdrojů zjistit zda systém DRACO BASSO SPESSORE pracuje pouze s vyztuženými potěry nebo deskami. Ve zmíněném dokumentu se uvádí možnost snížení tloušťky podlahových betonových vrstev až na 80 mm, což by odpovídalo obrázku 5, naopak obrázek 6 ilustruje potěrovou desku tloušťky 50 mm bez zjevné přítomnosti výztuže.

2.2.2.6 Cementová pojiva s přísadou C\$A slínku, sádry a tvrdě páleného MgO

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly iniciačním prvkem pro vývoj a výzkum cementových výrobků s kompenzovaným smrštěním je osvěta výrobců a dodavatelů přísad, zajišťujících tento efekt.

Společnost NEWCHEM AG (Švýcarsko) prostřednictvím příspěvku Dr. D. Bézarda na zákaznickém semináři importní a distribuční spol. ESOLYT, konaném 4. - 5.10.2017 v Jihlavě [3] avizovala přípravu nových přísad pro kompenzované smrštění cementových výrobků na bázi CaO a MgO.

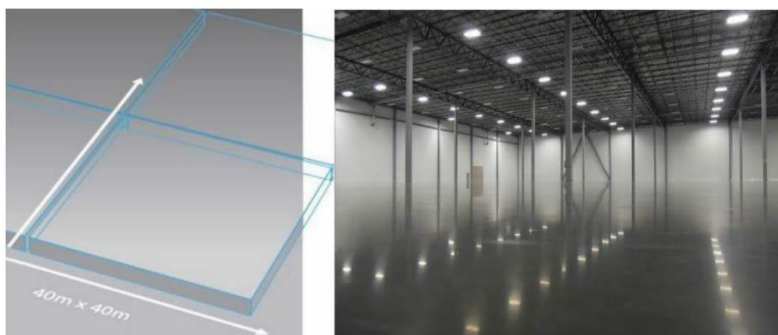
Ve svém příspěvku D. Bézard m.j. ilustroval účinnost těchto přísad, avšak bez jejich bližší specifikace, informací o dávkování nebo měřící metodě viz graf 13.



Graf 13: Průběh délkových změn zrajících vzorků s různými expanzními přísadami. [3]

Specifičnost přístupu spol. NEWCHEM AG však představuje verze, doporučující přísady pro kompenzaci smrštění, jako kombinaci ettringitové a MgO expanze.

Zdrojem ettringitové expanze má být japonský produkt Denka CSA 20 (premix C\$A-slínku a sádry) a zdrojem MgO expanze nový produkt spol. NEWCHEM AG s označením Namex XA.D. Bézard [3] předložil v této souvislosti vizi, že u takto realizované koncepce kompenzovaného smrštění bude možno provádět průmyslové podlahy s nutnými dilatačními spárami v mimořádně velkém rozponu 40 x 40 m a tloušťka potěrových vrstev může být snížena na 2-3 cm – viz. obrázek 7.



Obrázek 7: Vize spol. NEWCHEM AG o průmyslových podlahách s mimořádným rozponem dilatačních celků [3]

2.2.3 Kamenivo, zrnitostní skladba a přísady do samonivelačních potěrů

2.2.3.1 Kamenivo do samonivelačních potěrů

Ve výrobnách „suchých“ samonivelačních potěrů jsou dle logistických podmínek konkrétního závodu používány buď vlastní nebo nakupované prané a tříděné křemičité písky nebo vápencové drtě. Vzhledem k širšímu výrobnímu sortimentu si závody připravují jednotlivé frakce, ze kterých zpětně skládají optimalizované skladby pro konkrétní výrobky. Výchozí vytríděné složky kameniva mohou být např. v tomto zrnitostním dělení na frakce (od-do) viz. tabulka 8:

Tabulka 8: Příklad výchozích výrobních frakcí vytríděného kameniva ve výrobnách suchých stavebních směsí

0,09 – 0,3 mm	0,3 – 0,6 mm	0,6 – 1,2 mm	1,2 – 2,0 mm	2,0 – 4,0 mm
---------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Nejemnější frakci (zpravidla pod 0,09 mm) označovanou jako plnivo (filler) představují na většině závodů mleté vápence, zpravidla se středním zrnem 40 – 60 μm , označované také jako vápencové moučky. Doplnkově jsou lokálně využívány odprašky z drtíren šterků a lomového kamene (křemenné odprašky a kamenné moučky). Částečně resp. přechodně funkci plniva mají některé latentně hydraulické látky a pucolány (struska, popílek ...)

2.2.3.2 Zrnitostní skladba samonivelačních potěrů

Zrnitostní skladba samonivelačních potěrů, jako poměrné zastoupení výše uvedených frakcí kameniva, patří již ke chráněnému know-how výrobců. M. Štenko k tomu ve své disertační práci [2] s odkazem na další zdroj [16] uvádí: „podíly zastoupení jednotlivých frakcí jsou stanoveny modifikovanou Andreassenovou metodou s distribučním koeficientem $q = 0,3$.“

Zájemce však může mnohé vydedukovat se směrných (startovacích) receptur od výrobců některých klíčových surovinových složek, resp. obdrží optimalizované zrnitostní skladby v případě nákupu hotových pojivových směsí „compoundů“ od dodavatelů těchto sádrových pojiv – viz. kap. 2.2.2.1.

2.2.3.3 Přísady do samonivelačních potěrů

Plasifikátory: Představují pro skupinu samonivelačních podlahových hmot naprosto nezbytnou a klíčovou složku pro dosažení jejich rozlivových vlastností, při minimalizaci obsahu záměsové vody. Ve vývoji plastifikátorů došlo v posledních desetiletích ke značnému posunu v jejich účinnosti, se změnou jejich materiálové podstaty od kaseinu a lignosulfonanů, přes melaminy až k nejúčinnějším typům na bázi polycarboxyletherů (PCE), nazývaných superplastifikátory. U samonivelačních potěrů se dávkování superplastifikátorů pohybuje obvykle v rozmezí 0,05 – 0,1 % (vztaženo na celkovou hmotnost suchého výrobku). I přes použití vysoce účinných plastifikátorů se při běžném obsahu cementu v potěru (cca 150 kg/t) a množství záměsové vody 10-14 % pohybuje vodní součinitel samonivelačních cementových potěrů v rozpětí $w = 0,65 - 0,9$.

Antisegregátoty – záhustky: Jedná o další naprosto nezbytnou přísadu omezující segregaci (sednutí kameniva spojené s bleedingem) a zajišťující homogenitu tekuté, čerstvě aplikované směsi. Současně na ně existuje požadavek na minimální omezení rozlivových vlastností. Jako antisegregátory jsou nejčastěji používány nízkoviskozní ethery celulózy, anionické polysacharidy, organopolymery, vhodné typy škrobů, případně minerální záhustky na bázi vícevrstevných jílových minerálů. Řada výrobců používá i kombinaci více typů antisegregačních záhustek.

Odpěňovače: odstraňují vzduch vznikající při mísení potěrů s vodou, ale i případné plynné reakční produkty. čímž zvyšují hutnost materiálu a jeho pevnostní parametry, odstraněním vzduchových pórů zlepšují též kvalitu povrchu. Jedná se převážně o směsi kapalných uhlovodíků a polyglykolů na anorganických nosičích. Dávkování odpěňovačů se u samonivelačních potěrů pohybuje v rozmezí 0,05 – 0,15 % (vztaženo na celkovou hmotnost suchého výrobku).

Retardéry tuhnutí: Zabezpečují časové oddálení reakcí vedoucích k tuhnutí, aby byla zajištěna přiměřená doba zpracovatelnosti čerstvě aplikovaného potěru (požadováno nejčastěji min. 30 min, optimum je 60 min.) U směsných cementových pojiv s účelovou tvorbou ettringitu a sádrových pojiv na bázi α -hemihydrátu, se jako retardéry nejčastěji používají ovocné kyseliny (vinná, citronová) případně jejich soli (3 Na-citrát), soli cukerných kyselin (glukonát sodný) a to často ve vzájemné kombinaci. Současně existuje nabídka komerčních retardérů s chráněným složením pro různé typy pojiv.

Akcelerátory tvrdnutí – používají se k urychlení pevnostního nárůstu pro dosažení rychlé, alespoň částečné zatížitelnosti zrajícího potěru (pochůznost). Zpravidla mají dopad i na zvýšení konečných pevností. U cementového pojiva se používá nejčastěji mravenčan vápenatý, u směsných pojiv s tvorbou ettringitu lithné soli (uhličitan, síran), soda. V případě sádrových pojiv (na bázi anhydritu), se používají kombinace síranu sodného a draselného a někdy též v kombinaci s minoritou portlandského cementu.

Expanzní (rozpínavé) přísady: Používají se u „čistě cementových“ koncepcí, které se v případě samonivelačních potěrů během zrání nadměrně smršťují. Rozvoj v současné době nastává u přísad typu tvrdě pálených CaO a MgO. Zkouší se i kombinace uvedených oxidů s ettringitovým rozpínáním (viz. kap.2.2.2.6). Na zcela odlišném principu expanze zapříčiněné tvorbou pórů jsou užívány přísady na bázi práškového hliníku.

Protismrštivé přísady SRA (z anglického Shrinkage Reduction Admixture): Využívají se jako v případě expanzních přísad, a to ze stejného důvodu především u „čistě cementových“ koncepcí. Jedná se o látky nejčastěji na bázi neopentylglykolu, příp. propylen-glykoly, snižující povrchové napětí a tím kapilární tlak vodních menisků v pórech zrajícího betonu. Tím zčásti snižují smršťovací procesy z vysychání.

Vláknité přísady: Užívají se menší míře. Skleněná vlákna a PE vlákna, jako částečná eliminace povrchových trhlin z plastického a autogenního smrštění a mírné zlepšení tahové pevnosti, přírodní celulosová vlákna pro zrovnoměrnění distribuce vlhkosti a urychlení vysychání.

Latentně-hydraulické přísady a pucolány – mohou optimalizovat granulometrickou skladbu a v ověřených koncepcích napomáhají ke zvýšení pevnostních parametrů a trvanlivosti. Jedná se např. o mikrosiliku, fluidní popílký, mletou granulovanou vysokopevní strusku apod.

Modifikace redispergovatelnými polymerními prášky (RPP): Přídavek redispergovatelných polymerních prášků (RPP – Redispersible Polymer Powders) k samonivelačním potěrům bývá z cenových důvodů výjimečný. Tyto výrazně zušlechťující materiály významně zlepšují u čerstvých potěrů reologii, posléze pevnostní parametry, přídržnost k podkladu a otěruvzdornost. V případě plovoucích potěrů a potěrů na separační vrstvě není otázka přídržnosti k podkladu relevantní a zkvalitnění jejich povrchu racionálněji zajistí samonivelační stěrky, epoxidové povlaky a nátěry případně finální podlahoviny.

2.3 Deklarace, technické parametry a aplikační vlastnosti samonivelačních potěrů

2.3.1 Normová deklaráce samonivelačních potěrů

Předmětné samonivelační potěry se specifikují a technicky deklarují dle již zmíněné ČSN EN 13813. Tak jako tato norma nerozlišuje předmětné materiály z hlediska zrnitosti, tedy v chápání rozdílů mezi pojmy stěrka – potěr, případně deska, obdobně tak nerozlišuje základní specifickou aplikační vlastnost předmětných materiálů, kterou je schopnost samonivelace. Podle typu použitého pojiva vymezuje pro hydraulicky pojené výrobky pouze dvě skupiny – výrobky pojené cementem a výrobky s pojivem na bázi síranu vápenatého. Norma se nezabývá bližší specifikací a neumožňuje a nepožaduje bližší specifikaci směsných pojivových koncepcí. Norma předepisuje z povinných, normativních, klasifikačních parametrů uvádět charakter pojiva tzn. cementové (symbolicky CT) a ze síranu vápenatého (symbolicky CA). V případě modifikace potěru polymerem vyžaduje pouze slovní charakteristiku např. „Cementový potěrový materiál modifikovaný polymerem...“,

Z povinných (normativních) technických parametrů požaduje uvedení pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu:

- pevnost v tlaku: klasifikace C5 až C80 (5-80 N/mm²),
- pevnost v tahu za ohybu: klasifikace F1 až F50 (1-50 N/mm²).

Z uvedeného vyplývá, že základní požadovaná minimální deklaráce např. potěru s cementovým pojivem s pevností v tlaku min. 20 N/mm² a pevností v tahu za ohybu min. 4 N/mm² může být: CT-C20-F4.

K povinným (normativním) parametrům u potěrů na bázi síranu vápenatého patří navíc oproti cementovým potěrům hodnota pH, která se však neuvádí ve zkrácené deklaraci (viz. výše), ale měla by být uvedena v technické dokumentaci výrobku. Jelikož samonivelační potěry mají v podlahových skladbách především vyrovnávací a roznášecí funkci a tvoří v naprosté většině případů podklad pro finální podlahové kryty není nutné u nich deklarovat odolnost proti obrusu a tvrdost povrchu.

Přehled o normativních a volitelných zkouškách potěrů dle ČSN EN 13813 podává Obrázek 8.

Potěrové materiály	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu	Odolnost proti obrusu „Böhme“	Odolnost proti obrusu „BCA“	Odolnost proti opotřebení valivým zatížením	Tvrdoost povrchu	Tvrdoost proti vtláčení	Odolnost proti opotřebení valivým zatížením potěru s podlahovou krytinou	Doba zpracovatelnosti	Smrátění a rozpínání	Konzistence	Hodnota pH	Modul pružnosti v tahu za ohybu	Odolnost v rázu	Přidržnost
cementové	N	N	N ^a (jedna ze tří)	O	-	O	O	O	O	O	O	O	O	O ^a	O
ze síranu vápenatého	N	N	O	O	O	-	O	O	O	O	O	N	O	-	O
z hořečnaté maltoviny	N	N	O	O	O	N ^a	-	O	-	O	O	O	O	-	O
asfaltové	-	-	O	O	O	-	N	O	-	-	-	-	-	-	-
pryskyřičné	O	O	-	N ^a (jedna ze dvou)	O	-	O	-	O	O	O	-	O	N ^a	N

Legenda
 N Normativní
 O Volitelné, přichází-li to v úvahu.
 - netýká se
^a Jen pro potěrový materiál určený pro povrch odolný otěru.

Obrázek 8: Normativní a volitelné zkoušky, pro jednotlivé druhy potěrů dle ČSN EN 13813 [24]

2.3.2 Technické parametry samonivelačních potěrů

Kromě „normové deklarace“ o charakteru pojiva a pevnostních parametrech, nutně technická dokumentace samonivelačních potěrů obsahuje nezbytné údaje ke správné aplikaci z hlediska správné konzistence aplikovaného materiálu, vhodných pomůcek a techniky, časového sledu aplikačních kroků, podmínek zrání, případně ošetřování, zatížitelnosti, přípustnosti překrytí atd.:

- **Záměsová voda a konzistence**

Výrobce správně určená, a aplikátorem dodržovaná záměsová voda je prvotním a nejdůležitějším parametrem pro dosažení správné konzistence a úspěšnou aplikaci samonivelačních podlahových materiálů. V oboru suchých stavebních směsí je záměsová voda uváděna v % na hmotnost suché složky, a kromě toho v litrech na hmotnost „balení“ např. na pytel hmotnosti 25 kg.

Obvyklá hodnota záměsové vody u samonivelačních potěrů střední zrnitosti leží v rozmezí 10-14 %. Nižší záměsová voda, postačující k dosažení požadované konzistence znamená kvalitnější výrobek, u kterého lze očekávat rychlejší pokles vlhkosti k maximální přípustné hranici, nutné pro pokládku finální podlahové vrstvy např. dle požadavků ČSN 74 4505 [25] činí přípustná vlhkost cementového potěru před pokládkou dlažby max. 5 %. Dle způsobu aplikace potěru (strojní nebo ruční – podrobnosti viz. dále) má kontrola konzistence různý význam.

Při ručním zpracování potěru tzn. např. po 1 balení vrtulovým mísidlem v mísícím vědru a výrobcem správně udané záměsové vodě lze předpokládat dosažení správné konzistence čerstvého potěru. V případě strojního zpracování potěru s použitím zpravidla dvoustupňového kontinuálního mísidla ať již zavěšeného pod sílem s volně loženým materiálem nebo plněného ručně, je kontrola konzistence „in situ“ nezbytná. Provádí se před zahájením aplikace a dle potřeby i v jejím průběhu zkouškou rozlivu. Pro daný typ samonivelačních potěrů střední zrnitosti se zkouška provádí pomocí rozlivného kužele (známý jako Hagermannův trychtýř) o výšce 60 mm, horním vnitřním průměru 70 mm a spodním vnitřním průměru 100 mm popsáném v ČSN EN 1015-3. Průběh kontroly konzistence zkouškou rozlivu dokumentuje obrázek 9 a 10.

Kontrola konzistence samonivelačního potěru zkouškou rozlivu in situ.



Obrázek 9: Zvednutí rozlivného kužele



Obrázek 10: Měření průměru rozlivného „koláče“

Vzorek zkoušeného materiálu se odebere z konce licí hadice. Naplní se jím rozlivný kužel, umístěný na vodorovné hladké podložce, který se následně zvedne a materiál se nechá volně vytéct na podložku. Po 4 minutách se pravítkem změří průměr vzniklého „koláče“ ve dvou na sebe kolmých směrech a spočítá se aritmetický průměr těchto dvou hodnot, který se zaznamená do stavebního deníku. Obvykle doporučená hodnota rozlivu u daného typu potěrů činí 230 – 260 mm.

- **Doba zpracovatelnosti – otevřený čas**

Tento parametr je určen především vlastní recepturou výrobku, který je v tomto smyslu odzkoušen. Jedná se o zachování tekutosti – schopnosti nivelace, která se finálně provádí na celé aplikované ploše (místnost nebo dilatační celek) – viz obrázek 11.



Obrázek 11: Zarovnání potěru vibrační latí.

Obvyklá doba zpracovatelnosti u dlouhodobě zavedených sádrových potěrů činí 60 minut. Tento čas je také očekáván od běžně tuhnuících cementových potěrů. V případě rychlých cementových potěrů (ettringitové systémy) je u některých výrobců akceptována kratší doba zpracovatelnosti, avšak minimálně 30 minut. Její prodloužení na 45 minut nebo 60 minut představuje nezanedbatelnou marketingovou výhodu, neboť výrobek je možno souvisle aplikovat na větší plochu. Nutno dodat, že parametr otevřeného času u některých pojivových systémů těsně souvisí s teplotou prostředí a zpravidla se s vyšší teplotou zkracuje. Obvyklý interval k možnosti aplikace cementem pojených výrobků 5-35 °C může být výrobcem potěru z důvodu zachování otevřeného času zúžen např. na 5-25 °C.

- **Podmínky zrání - zatížitelnost**

Minimálně v prvních 2 dnech od aplikace platí pro všechny typy samonivelačních potěrů jejich ochrana před průvanem, lokálním ohřevem (sálavá topidla, sluncem...) a otřesy např. z bouracích prací. Současně však v objektu s čerstvým zrajícím potěrem nesmí dojít ke kondenzaci vzdušné vlhkosti a odkapávání zkondenzované vody na jeho povrch.

Zatímco u sádrových potěrů po 2 dnech aplikace od může započít jejich volné vysychání (otevření oken, použití odvlhčovačů...), cementové potěry jsou v tomto ohledu citlivější a výše uvedená ochranná opatření k udržení vysoké relativní vlhkosti prostředí (obvykle min. 75 %) mohou být prodloužena na 3-7 dnů.

Přípustná lehká zatížitelnost pochůzností (jedna samostatně se pohybující osoba) se může lišit dle pojivového systému a konstrukčního způsobu uložení potěru. Největší opatrnosti vyžadují plovoucí potěry.

Obvykle přípustná pochůznost u sádrových potěrů za 24 hodin od aplikace, může být u rychlých cementových potěrů (ettringitová pojivová báze) zkrácena např. na 12 hodin, naopak běžně tuhnoucí cementové plovoucí potěry mohou mít přípustnou pochůznost za 48 hodin od aplikace.

- **Aplikační postupy samonivelačních potěrů**

Aplikace samonivelačních potěrů dodávaných na stavby jako „suché premixy“ se v současné době v naprosté většině případů realizuje dvoustupňovými kontinuálními mísidly, zavěšenými pod silu se suchým potěrem. V menším rozsahu se aplikace provádí pomocí samostatných dvoustupňových mísidel plněných pytlovaným materiálem a zcela ojediněle ručním mísením pomaluběžnými vrtulovými mísidly. Volba aplikačního postupu závisí především na velikosti pracovní plochy a na tloušťce potěrové vrstvy a je zpravidla limitována přípustnou dobou zpracovatelnosti (doba od nalití k počátku tuhnutí bez ztráty samonivelace – obvykle max. 30-60 min). Jelikož se závěrečná nivelizace provádí na celé ploše je u samonivelačních potěrů dána velikost pracovní plochy výkonem lití po dobu deklarované zpracovatelnosti tzn. 30 - 60 min.

Základní přehled o používaných aplikačních technologiích „suchých“ samonivelačních potěrů a jejich technickou charakteristiku uvádí tabulka 9.

Tabulka 9: Způsoby aplikace, parametry a vhodnost aplikačních způsobů pro samonivelační potěry

Způsoby mísení, parametry čerpání	výkon lití	vhodnost pro plochy
Ruční: - vrtulové mísidlo na pytlovaný materiál - lití z mísící nádoby	max. 7 l / min	do 10 m ²
Strojní: - 2 stupňové kontinuální mísidlo na pytlovaný materiál - dopravní vzdálenost 60 m - výtlačná výška 30 m	30 – 50 l / min	do 50 m ²
Strojní: - 2 stupňové kontinuální mísidlo zavěšené pod silem se suchým materiálem - dopravní vzdálenost do 120 m - výtlačná výška 30 m	max. 100 l/min	do 150 m ²

2.4 Konstrukční typy a návrhy samonivelačních potěrů

2.4.1 Konstrukční typy samonivelačních potěrů v podlahových skladbách

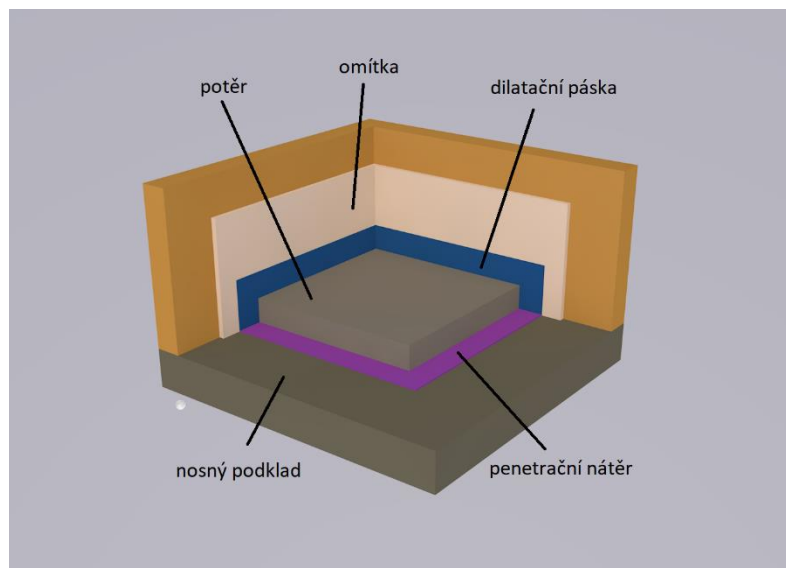
Provedení Samonivelačních potěrů se rozděluje na několik konstrukčních systémů:

- sdružené potěry,
- oddělené potěry,
- plovoucí potěry.

Sdružené samonivelační potěry

Tyto samonivelační potěry jsou v celé ploše spojeny s nosným podkladem. Díky tomu je zabráněno posunu mezi podkladem a potěrem a také je zajištěno spolupůsobení obou vrstev. Tento konstrukční systém není vhodný pro podlahy, u kterých jsou zvýšené nároky na tepelné ztráty a kročejovou neprůzvučnost. Výhodou tohoto konstrukčního systému je roznášení všech působících sil na potěr do podkladní vrstvy.

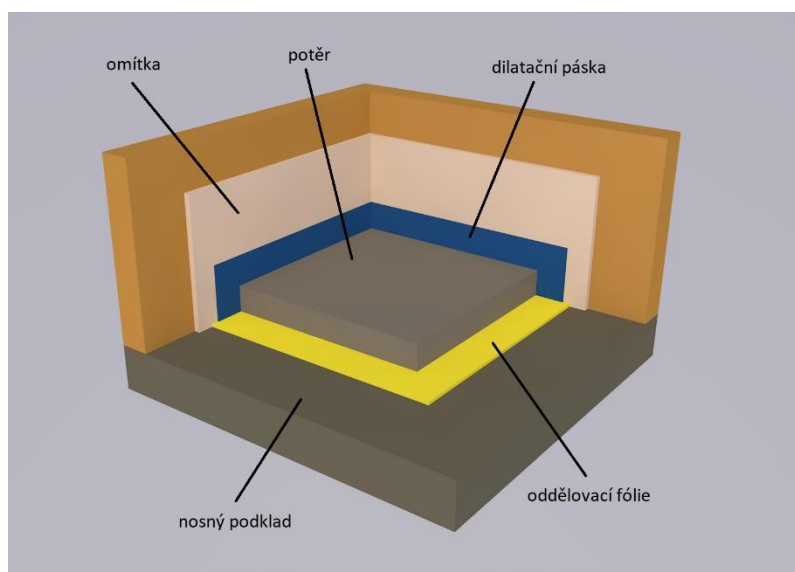
Před aplikací musí být nosný podklad očištěn od všech nečistot, dále je potěr oddělen od obvodových zdí dilatačními pásky viz. obrázek 12.



Obrázek 12: Sdružený samonivelační potěr

Oddělené samonivelační potěry

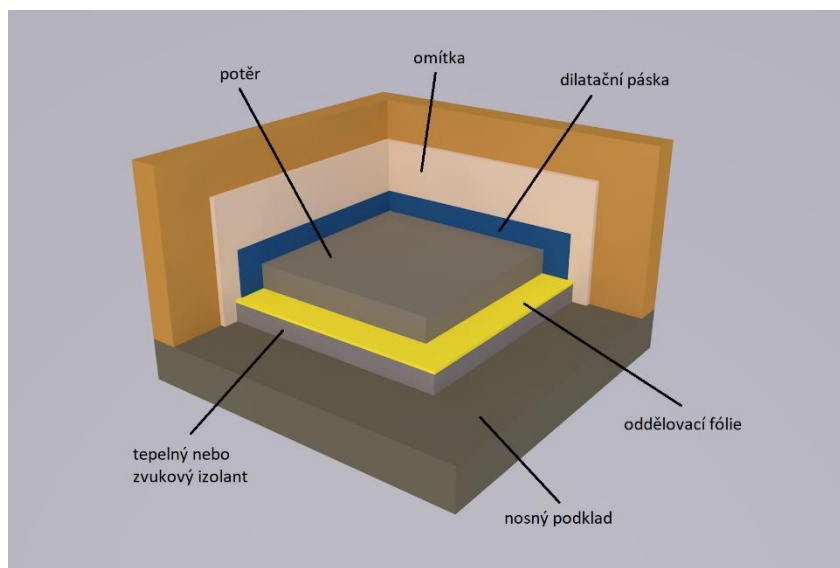
Tyto potěry jsou v celé ploše odděleny od podkladu separační vrstvou (fólie), díky které je potěr oddělen od podkladu např. z důvodu znečištění, vlhkosti apod. U tohoto systému není vyloučen vodorovný posun mezi jednotlivými vrstvami. Vodorovné napětí působící na jedné vrstvě, není přenášeno do druhé vrstvy. Tento konstrukční systém viz. obrázek 13 je vhodný při nedostatečné přidržitosti potěru na podkladní vrstvě z důvodu nedostatečné soudržnosti povrchu, materiálové nesourodosti nebo na znečištěné případně vlhké podklady.



Obrázek 13: Samonivelační potěr na oddělovací vrstvě

Plovoucí samonivelační potěr

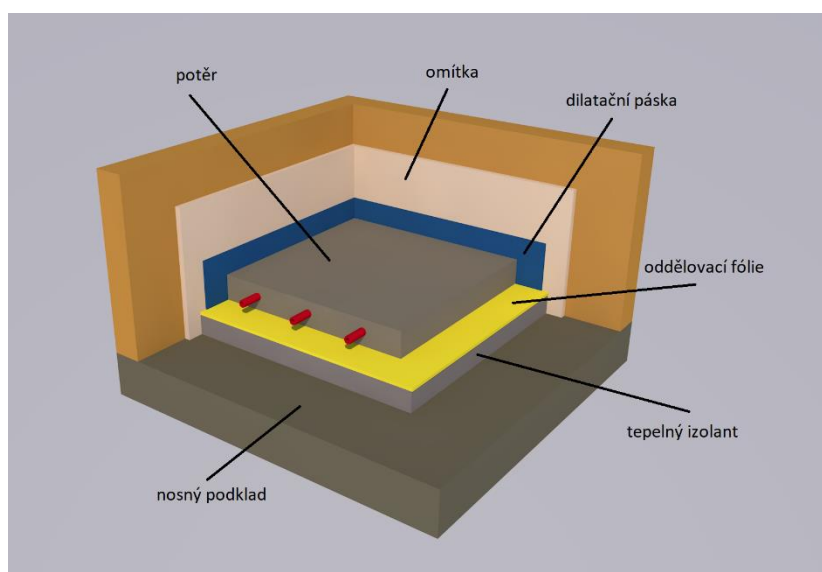
Tento samonivelační potěr je v celé ploše oddělen od podkladu tepelně nebo zvukově izolačním materiálem viz. obrázek 14. Potěr je od izolační vrstvy oddělen separační fólií, aby bylo zabráněno průchodu potěru mezi izolant. Při aplikaci musí být potěr oddělen dilatačními pásky od všech obvodových konstrukcí a nesmí doléhat na nosný podklad. Obdobně jako potěr na separační vrstvě, má umožněny expanzní a smršťovací změny v plošném směru.



Obrázek 14: Plovoucí samonivelační potěr

Plovoucí samonivelační potěr s podlahovým vytápěním

Tento konstrukční systém je svou skladbou totožný s běžným plovoucím potěrem. Potrubí podlahového vytápění může být uloženo na systémové desce, nebo v potěrové desce viz. obrázek 14. Potrubí podlahového vytápění se fixuje k tepelnému izolantu nebo do fixační šablony, která je umístěna na tepelném izolantu. Oproti běžným plovoucím potěrům a potěrům na separační vrstvě trubky topení mohou dilatační změny potěru částečně omezovat.



Obrázek 15: Plovoucí samonivelační potěr s podlahovým vytápěním

2.4.2 Návrhy samonivelačních potěrů

Konstrukční typy samonivelačních potěrů sdružené a na oddělovací vrstvě, nepodléhají statickým výpočtům a určujícím znakem pro jejich volbu je pouze statikem určená tlaková pevnost dle provozního zatížení podlahy a kterou udává normová deklarace potěru.

Plovoucí typy, které mají vedle nosné též roznášecí funkci, jsou navrhovány v tuzemsku a okolních zemích dle národních norem. V ČR je to dle ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení – květen 2012 [25]. Normové návrhové tloušťky jsou v těchto normách pro oblast občanské a bytové výstavby prakticky shodné a zohledňují:

- provozní zatížení podlahy (plošné i bodové),
- stlačitelnost podkladu (tepelná, kročejová izolace),
- pevnost v tahu za ohybu potěrového materiálu,
- aplikační konzistenci potěrového materiálu.

ČSN 74 4505 byla v květnu 2012 vydána oproti prvnímu vydání (2008) s podstatnou změnou, která zaregistrovala existenci cementových litých potěrů a z hlediska normových požadavků je zařadila do jedné výrobové skupiny s litými sádrovými potěry.

Lité sádrové a cementové potěry (v tomto textu označované jako samonivelační) mají předepsané menší návrhové tloušťky než potěry „klasické“ rozprostírané. Zde norma zohledňuje fakt vysoké homogenity litých potěrů – viz. tabulka 10.

Tabulka 10: Nejmenší návrhové tloušťky plovoucích potěrů při stlačitelnosti podkladních vrstev ≤ 3 mm (≤ 5 mm pro plošné zatížení ≤ 2 kN/mm² a ≤ 3 kN/mm²) dle ČSN 74 4505, květen/2012 [25].

Materiál potěru	Třída pevnosti v tahu za ohybu podle ČSN EN 13813	Předepsaná tloušťka potěru			
		Plošné zatížení ≤ 2.0 kN/m ²	Plošné zatížení ≤ 3.0 kN/m ² Bodové zatížení ≤ 2.0 kN	Plošné zatížení ≤ 4.0 kN/m ² Bodové zatížení ≤ 3.0 kN	Plošné zatížení ≤ 5.0 kN/m ² Bodové zatížení ≤ 4.0 kN
Litý potěr, cementový, nebo na bázi síranu vápenatého	F 4	≥ 35	≥ 50	≥ 60	≥ 65
	F 5	≥ 30	≥ 45	≥ 50	≥ 55
	F 7	≥ 30	≥ 40	≥ 45	≥ 50
Potěr ze zavhlé směsi cementový, nebo na bázi síranu vápenatého	F 4	≥ 45	≥ 65	≥ 70	≥ 75
	F 5	≥ 40	≥ 55	≥ 60	≥ 65
	F 7	≥ 35	≥ 50	≥ 55	≥ 60

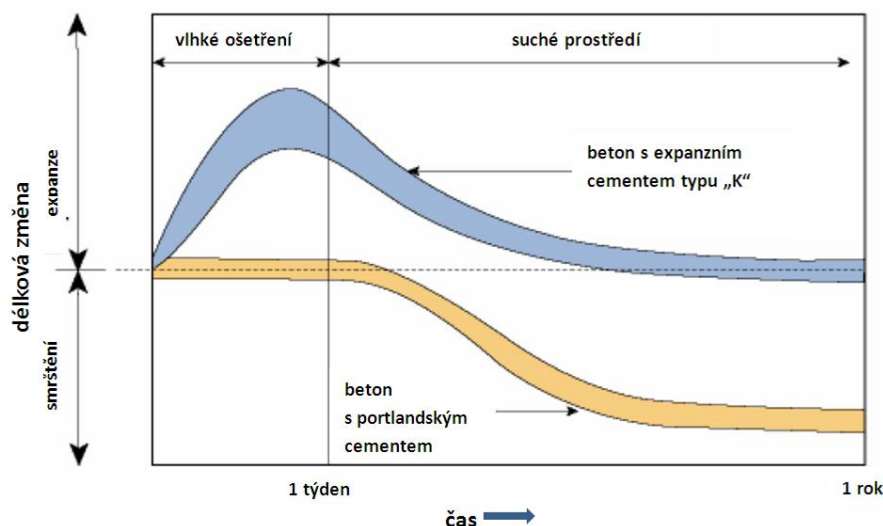
Z tabulky 10 je zřejmé, že deklarovaná třída pevnosti v tahu za ohybu podle ČSN EN 13813 je při návrhu minimální tloušťky potěrové vrstvy určujícím kvalitativním parametrem. Otázkou zůstává, proč ČSN 74 4505 pomíjí pevnostní třídu F6, což norma nevysvětluje. Rovněž nepředpokládá, resp. v návrhových tloušťkách potěrových vrstev nepřipouští (nezohledňuje) možnost existence potěrů s deklarovanou třídou pevnosti v tahu za ohybu $F \geq 8$. Nutno poznamenat že ani národní normy okolních zemí (Německo, Rakousko) s pevnostní třídou vyšší, než F7 neuvažují.

3 Pevnost, napjatost a objemová stabilita samonivelačních potěrů

Výše uvedené fyzikální parametry a stavy samonivelačních potěrů souvisí bezprostředně s jejich materiálovým složením, podmínkami jejich zrání a v neposlední řadě s metodami jejich sledování a měření. Okruhem těchto otázek se zabývá tato část práce.

3.1 Objemové změny samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním

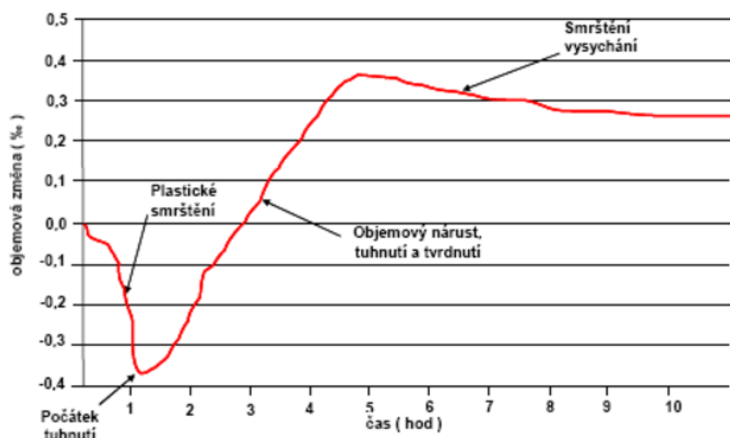
Výraz kompenzované smrštění, jako jistá garance objemové stability samonivelačních potěrů, nemá technicky jednoznačné vyjádření. Vycházeje z dále uvedených skutečností lze kompenzované smrštění charakterizovat jako přiměřený objemový nárůst (rozpínání) hydraulicky pojených hmot v počátečních fázích tvrdnutí, který částečně nebo úplně kompenzuje následné smršťovací procesy. Názorně tento jev dokumentuje graf P. K. Mehty a P. J. Monteiro (The University Of California) [17], často uváděný k principiálnímu objasnění tohoto jevu – viz. graf 14.



Graf 14: Schematické znázornění průběhu objemových změn zrajících betonů na bázi portlandského cementu a expanzního cementu typu „K“ – s překladem do češtiny dle [17].

Beton označený jako „beton s expanzním cementem typu K“ v grafu 14 představuje z hlediska charakteru pojiva, analogii potěrů na bázi ternárního pojivového systému, tvořeného majoritou portlandského cementu s přidavkem kalcium-sulfo-aluminátového slínku a sádry (OPC-C $\$$ A-C $\$$ H \times), popsany v kap. 2.2.2.3, jehož objemový nárůst ve fázi počátečního tvrdnutí způsobuje vznik ettringitu. Graf znázorňuje zidealizovaný průběh objemových změn, kdy míra expanze plně kompenzuje následné smršťování během zrání a konečná objemová změna materiálu je nulová. Dle charakteru pojivového systému, konzistence, podmínek prostředí atd., však konečný stav může skončit v kladné oblasti objemových změn, tzn. jisté zůstatkové expanze, nebo naopak může být objemová změna (nárůst) nedostatečná a výrobek se v konečném stádiu nadměrně smrští.

Rozvoj pokročilých dilatometrických metod vhodných pro plošně aplikované tekuté podlahové materiály, ke kterým patří laserová 2-paprsková dilatometrie umožnil měření délkových změn samonivelačních podlahových materiálu ihned od jejich aplikace (vylití). Níže uvedený graf 15 dokumentuje dilatometrické měření samonivelační stěrky na bázi ettringitového ternárního systému z portlandského cementu, hlinitanového cementu a sádry (OPC-CAC-C $\$$ H \times), popsáno v kap. 2.2.2.3.



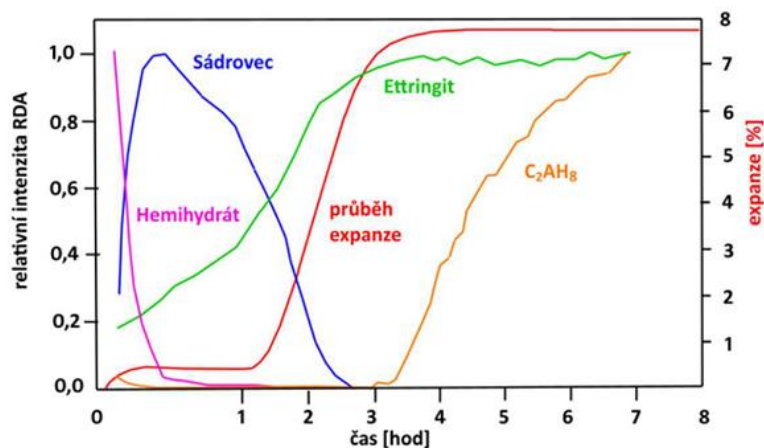
Graf 15: Schematické znázornění průběhu objemových změn zrající samonivelační stěrky bázi ternárního systému OPC-CAC-C\$Hx s majoritou portlandského cementu s překladem do češtiny dle [18].

Výše uvedený graf 15 oproti grafu 14 zpřesňuje časové relace mezi jednotlivými stavy zpevňování a dokumentuje délkové změny vzorku, které je doprovází. V daném případě je zřejmé, že tuhnutí vzorku, doprovázené jeho rozpínáním nastává cca po 1 hodině od aplikace (vylití vzorku) a ukončeno je po dalších cca 4 hodinách tzn. cca 5 pět hodin od aplikace. Nutno dodat, že měření proběhlo v běžných laboratorních podmínkách, bez vlhkostního ošetřování, které se u materiálů daného typu v praxi neprovádí.

Z chemicko-mineralogického hlediska byly počáteční fáze hydratace systému OPC-CAC-C\$H_{0,5} zdokumentovány ve studii Evju a Hansena [22]. Měřena byla kontinuálně po dobu 8 hodin velikost expanze a intenzita odrazu jednotlivých minerálů pomocí RTG difrakční analýzy.

Experiment proběhl u směsi sestávající z hlinitanového cementu s převahou CA (50 %), portlandského cementu (25 %) a β-hemihydrátu (25 %), popsané v kap. 2.2.2.3. Měření proběhlo za běžné laboratorní teploty při 100% relativní vlhkosti vzduchu. Průběžné výsledky názorně dokumentuje graf 16. Prakticky ihned po smísení s vodou lze pozorovat rychlý pokles obsahu sádry (hemihydrátu), který po přechodu na dihydrát, v kombinaci s CA (z hlinitanového cementu) a s C₃A (z portlandského cementu) vede k velmi rychlému vzniku ettringitu.

Po cca hodině a půl dochází k počátku tvrdnutí, což je spojeno s akcelerovanou produkcí ettringitu doprovázenou intenzivní expanzí. Vznikající hydratační teplo tyto procesy urychluje. Po třech hodinách je zdroj síranů spotřebován a produkce ettringitu je ukončena. Nespotřebovaný CA tvoří metastabilní C_2AH_8 .



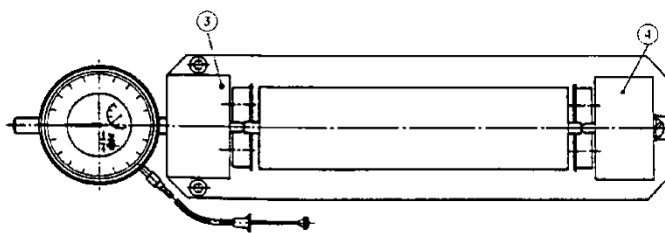
Graf 16: Změny mineralogického složení a expanze ternární směsi OPC-CAC-C₂H_{0,5} s majoritou hlinitanového cementu s překladem do češtiny dle [22].

Jelikož doposud neexistuje dostatek informačních pramenů s bližším popisem objemových změn samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním je nutno vyjít z výše publikovaných poznatků o betonech, samonivelačních stěrkách a pojivových „pastách“ s analogickými pojivovými systémy a z výsledků této práce, aby bylo možno přijmout některé základní teze, ze kterých tato práce vychází:

- objemové změny zrajících samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním ať již na bázi sádry nebo ettringitových směsných pojiv, začínají s počátkem jejich tuhnutí (posunutého v rámci potřebné doby zpracovatelnosti 30-60 min) zpravidla po 3-4 od smísení materiálu s vodou a dosahují maximálního nárůstu v řádu několika následujících hodin cca za 5 – 10 hodin,
- specifické vlastnosti z hlediska počátku a vrcholu expanze mají „neurychlené“ cementové potěry s kompenzovaným smrštěním s počátkem rozpínání po 6-10 hodinách od smísi s vodou a s maximálním nárůstem za cca 1 – 2 dny.

3.2 Měření objemových změn samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním

Obecně samonivelační potěry s kompenzovaným smrštěním patří k hydraulicky vytvrzovaným hmotám, pro které existuje pouze jedna normová metodika a to tzv. „trámečkového smrštění“. Pro potěry odkazuje předmětová norma ČSN EN 13 813 [24]. na normu ČSN EN 13 872 [27], v případě samonivelačních potěrů na bázi síranu vápenatého, na normu ČSN EN 13454 -2+A1. Postupy podle obou prováděcích norem jsou věcně shodné a liší se pouze velikostí zkušebních těles. Podstatou obou zkušebních postupů je sledování délkových změn zkušebních trámečků až 24 hodin po vytvoření, kdy jsou vyňaty z kovových forem a vloženy pro měření výchozího délkového stavu do dilatometrického přístroje – viz. obrázek 16.



Rozsah nastavení 164 až 170

Obrázek 16: Schéma měření délkových změn dle ČSN EN 13872 [27].

Měřicí zařízení se dotýká vzorku (trámečku) pomocí v materiálu zabudované nebo dodatečně nalepené kontaktní kovové měřicí čepy. Měří se v předepsaných časových intervalech např. po 1, 3, 7, 14 a 28 dnech zrání a tvrdnutí.

Z pohledu vhodnosti a vypovídací schopnosti uvedené normové dilatometrické metody lze konstatovat, že měření kontaktní metodu z tuhého stavu má především srovnávací význam a provádí se jako povinná součást kontroly výroby a výrobkové deklaráce. V případě samonivelačních materiálů s významnými objemovými změnami probíhajícími již od čerstvého stavu metoda nemůže zachytit počáteční plastické smrštění a do značné míry nebo úplně blokuje případné rozpínání, které jak bylo zmíněno výše, probíhá u většiny materiálů s kompenzovaným smrštěním v prvních 24 hodinách, kdy je v daném případě materiál „blokován“ formou.

Nutno dodat, že „blokáci expanze“ pravděpodobně dochází i ke změnám vnitřní struktury materiálu ve srovnání s předmětnými samonivelačními potěry (typy na separační vrstvě a plovoucí) jejichž délkové změny na kluzné podložce a se stačitelnou obvodovou dilatací nejsou nijak blokovány.

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, řada odborníků, zabývajících se materiály s expanzními vlastnostmi, konkrétně samonivelačními podlahovými hmotami s kompenzovaným smrštěním ať již zahraničních (Zurbrigen [4], Erika E. Holt [5]) nebo tuzemských (Štenko [2], Nováček [1]), si je vědoma nedostatečné, resp. zkrácené vyhovující schopnosti měření délkových změn metodou „trámečků“. V tuzemsku jsou na některých pracovištích používány relativně nové dilatometrické metody respektující některé specifické znaky související s vlastnostmi a aplikačními podmínkami samonivelačních podlahových hmot (stěrky, potěry).

K těmto hlavním znakům a potřebám patří:

- plošný (deskový) tvar měřeného vzorku v tloušťce odpovídající jeho aplikaci v praxi,
- oddělení vzorku od nosného podkladu kluznou podložkou (obvykle PE folií),
- obvodové ohraničení vzorku pružnou barierou,
- nezakrytá horní plocha (hladina) vzorku, umožňující přirozený odpar,
- bezkontaktní měření délkových případně i výškových změn, nespotřebovávající „energii“ vzorku k posunům čel formy nebo ve vzorku zabudovaných přípravků,
- eventuelní možnost nastavení vnějších klimatických podmínek (teploty a relat. vlhkosti prostředí, případně rychlosti proudění okolního vzduchu).

Výše uvedeným podmínkám z moderních dilatometrických metod vyhovují:

3.2.1 Metoda laserové 2-paprskové dilatometrie

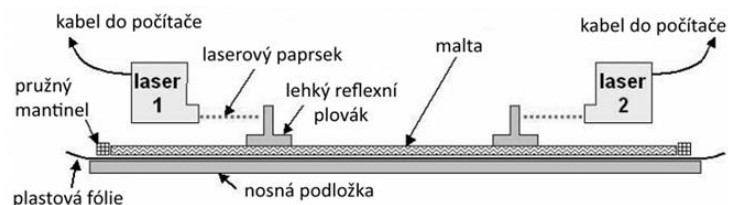
Reprezentovaná zařízením TLLMS (Thin Layer Laser Measurement Systém) od spol. Schleibinger.

Zařízení bylo představeno v tuzemsku zástupci výrobce na konferenci PODLAHY 2007 [19] a v současnosti je používá několik výrobců suchých stavebních směsí

Jedná se o metodu využívající dvojici délkoměrných laserů jako čidel. Materiál je vylit v aplikační tloušťce do podlouhlé formy s pružnými mantinely, kde je od nosné podložky oddělen plastovou fólií

Na povrch vzorku jsou symetricky umístěny lehké plováky s reflexními terči. Plováky s terči se pohybují společně s hydratující směsí a jejich pohyb je snímán dvojicí laserů s kontinuálním záznamem do počítače. Výstupem je záznam relativního délkového přetvoření vzorku v zájmové podélné ose.

Metoda je vhodná pro pasty, jemné i hrubé malty, ale především je využívána pro samonivelační stěrky a potěry, neboť měření objemových změn je možné provádět ihned po záměsi materiálu s vodou a vylití vzorku do formy - viz. obrázek 17 a 18.



Obrázek 17: Pohled na přístroj **Obrázek 18:** Schéma přístroje TLLMS a měření [1]
TLLMS [2]

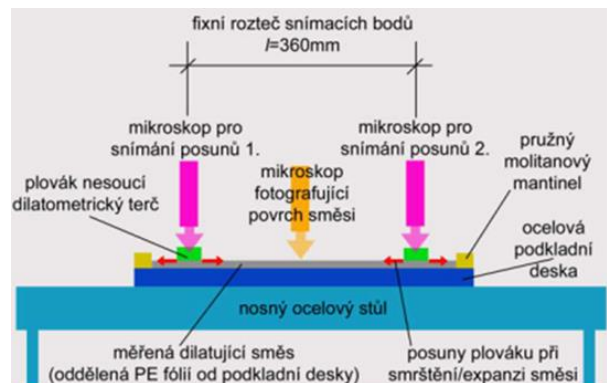
3.2.2 Metoda optické dilatometrie VUT FAST Brno

Jedná se o zařízení vyvinuté na VUT FAST Brno ve spolupráci Ústavu technologie hmot a dílců a Ústavu geodezie. Rozhodující vývojové práce popisuje ve své disertační práci J. Nováček [1] K principu metody uvádí:

„Nový typ snímání objemových změn lze označit za bezkontaktní optickou metodu využívající analýzu digitálního obrazu se subpixelovou přesností. Metoda je založena na kontinuálním snímání dilatometrického terče s fotogrammetrickým obrazcem za pomoci stabilně usazeného digitálního USB mikroskopu. Terč je umístěn na plastovém plováku, který je položen na hladině čerstvé tuhnuocí silikátové směsi a kopíruje tak její dilatační posuny (smrštění či expanzi)“ – viz. obrázek 19 a 20.



Obrázek 19: pohled na optický dilatometr VUT FAST [1].



Obrázek 20: Schéma přístroje a měření optických dilatometrem VUT FAST [1]

K výše uvedené stručné charakteristice lze dodat, že přístroj může pracovat v klimatizačním boxu, s regulovatelnými podmínkami prostředí. Při umístění dilatometrického terče s fotogrammetrickým obrazcem kolmo k povrchu vzorku a otočení mikroskopu o 90° může snímat i vertikální dilatace.

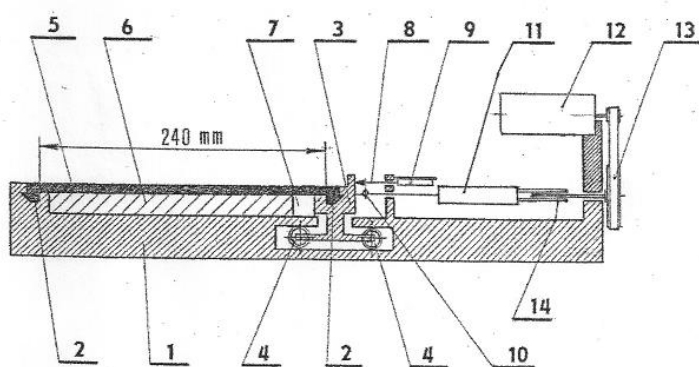
V neposlední řadě nutno dodat, že přístroj má zlomkovou pořizovací cenu oproti dříve představenému laserovému dilatometru TLLMS spol. Schleibinger.

V experimentální části předkládané diplomní práce byl použit optický dilatometr VUT FAST na pracovišti Centra průmyslového výzkumu, vývoje a inovací PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o. s úpravou J. Nováčka, spočívající v instalaci mikroskopů na individuální, přemístitelné stojany. Tato úprava umožňuje rozšířit měření pro různě dlouhé vzorky až s rozměry několika metrů.

3.2.3 Tensograf TGF-02 Coming

Jedná se o moderní přístroj, původně koncipovaný pro měření délkových změn a napjatostních stavů zrajících syntetických pryskyřic (epoxidy, polyuretany ...), jehož tvůrci připouští použitelnost též pro hydraulicky pojené materiály. Přístroj v původní koncepci nesplňuje z výše uvedených podmínek pro vhodné metody měření délkových změn předmětných potěrů podmínku „bezkontaktnosti“. Přesto byl po úpravě v rámci této práce použit pro srovnávací měření s metodou optické dilatometrie.

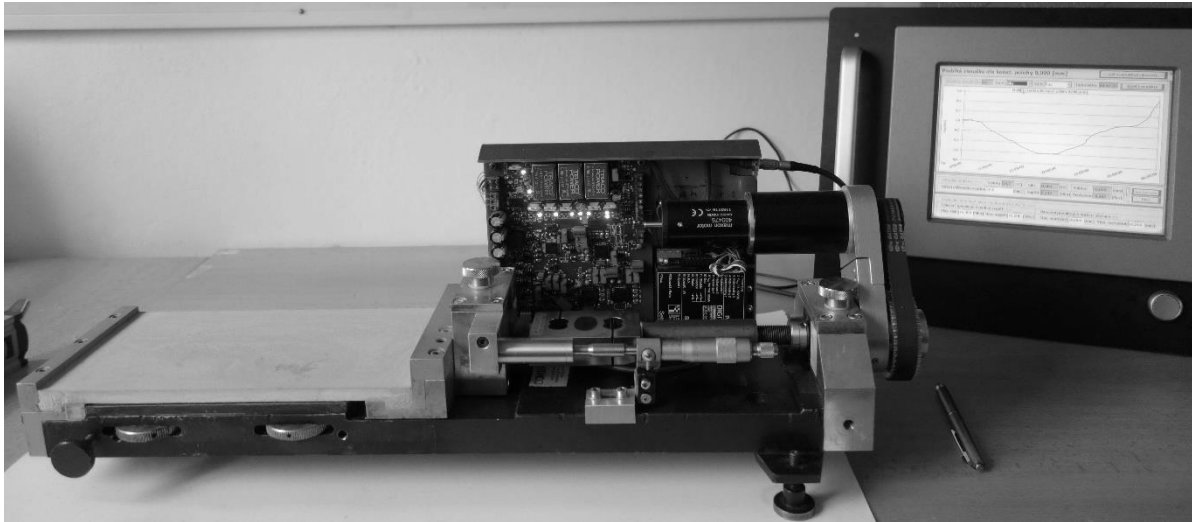
Přístroj pracuje s deskovým vzorkem 240 x 150 mm, s ozuby na kratších bocích (150 mm) zakotvenými do čel, z nichž jedno je pevné a druhé volné (pro umožnění délkových změn vzorku) při měření v dilatometrickém modu, jsou pohyby čela monitorovány induktivním snímačem deformace (LVDT). Volné čelo lze v napjatostním modu fixovat a silové projevy expanze nebo smrštění monitorovat tenzometrickým snímačem síly viz. obrázek 21 a 22. Podrobnosti ke konstrukci a vlastnostem přístroje uvádí jeho technický list [32] a příspěvek od tvůrců přístroje na konferenci PODLAHY 2014 [20].



Vysvětlivky:

- 1 – nosná konstrukce
- 2 – drážka v pevném čele
- 3 – pohyblivé čelo
- 4 – pohyblivá ložiska
- 5 – měřený vzorek
- 6 – ocelová základní deska
- 7 – teflonový hranol
- 8 – čidlo snímače deformace
- 9 – snímač deformace
- 10 – kloub tenzometr. snímače
- 11 – tenzometr. snímač LVDT
- 12 – motor snímače
- 13 – řemen motoru
- 14 – pohybový šroub

Obrázek 20: Schéma Tensografu TGF-02 Coming [20]



Obrázek 22: pohled na Tensograf TGF-02 Coming (bez bočnic a dokompletovaných čel) [20].

V experimentální části předkládané diplomní práce byl použit přístroj Tensograf TGF-02 Coming užívaný v laboratoři technologie stavebních hmot AdMaS VUT FAST Brno.

3.3 Poruchy z objemových změn samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním

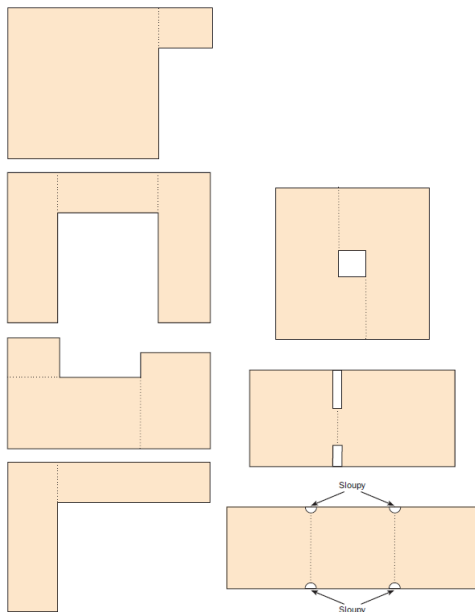
Přiměřenost objemových změn zrajících samonivelačních potěrů je vedle pevnostních parametrů jedním z klíčových faktorů pro jejich úspěšnou aplikaci a funkčnost v podlahových skladbách.

Dlouhodobé zkušenosti se sádrovými potěry ukazují, že i u tohoto prověřeného pojivového systému je nutno z hlediska objemových změn ve fázi zrání a vysychání respektovat řadu faktorů, které mohou vést ke vzniku závažných poruch ve formě prasklin a trhlin. Těmto možným problémům se předchází tzv. řízenými smršťovacími dilatacemi, které se provádí nejčastěji vloženými dilatačními prvky před aplikací potěru případně jejich dodatečným proříznutím co nejrychleji po dosažení pochůzné pevnosti potěru.

K hlavním rozhodným faktorům pro provádění dilatací ve vrstvách samonivelačních potěrů patří:

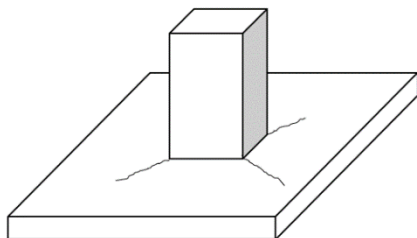
- nepříznivá geometrická situace plochy – místnosti tvaru „L“, „U“, „T“ apod.,
- dveřní prostupy,
- konstrukce vystupující z podkladu – sloupy, částečné dělicí stěny,
- skoková změna tloušťky potěrové vrstvy,
- sousedící, na sebe navazující (propojené) vytápěné a nevytápěné plochy nebo plochy s oddělenými topnými okruhy.

Názorně některé z těchto situací pro doporučené provádění dilatací samonivelačních sádrových potěrů uvádí obrázek 23.

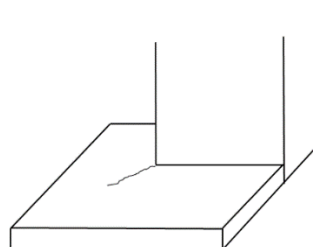


Obrázek 23: Doporučení výrobce sádrového samonivelačního potěru k provádění řízených dilatací [21]

Charakter nejčastějších poruch plynoucích z nedodržení zásad pro provádění řízených dilatací demonstruje obrázek 24 a 25.



Obrázek 24: Praskliny potěru z „blokovaného smrštění“ sloupem [2]



Obrázek 25: Praskliny potěru z „blokovaného smrštění“ rohem [2]

S rozvojem cementových samonivelačních potěrů se jeví, že zásady pro jejich dilatování musí být minimálně shodné jako pro sádrové potěry, resp. přísnější. Obecným ukazatelem objemové stability potěru je totiž maximálně přípustný rozměr dilatačního celku při příznivých geometrických poměrech tzn. v ideálním případě ve tvaru čtverce. Zkušenosti se sádrovými potěry ukazují, že jejich výrobci v současnosti připouští rozměr dilatačního celku (rastr dilatací velkých ploch) až 20 x 20 m.

V porovnání s dilatováním běžných cementových potěrů plastické konzistence, které se v tloušťkách kolem 5 cm dilatují v rastru cca 3 x 3 m, jsou sádrové samonivelační potěry z tohoto hlediska výrazně progresivnější.

Jedním z určujících směrů ve vývoji cementových samonivelačních potěrů je přiblížení se v objemové stabilitě sádrovým potěrům. Bohužel zatím maximálním rozpětím dilatačních celků, přípustným u některých rychlých cementových samonivelačních potěrů (s ettringitovým pojivovým systémem) je rast 10 x 10 m.

Mimořádně závažnou poruchou, projevující se hlavně u některých nových verzí cementových samonivelačních potěrů, především plovoucích a na separační vrstvě je porucha zvednutých rohů (někdy nazývaná „curling“).

Tato porucha je způsobena, nerovnoměrným vysycháním, ke kterému dochází pouze z povrchu potěrové vrstvy, zatímco spodní plocha nespolutpůsobí s podkladem a podkladní folie má charakter hydroizolace. V závislosti na podmínkách vysychání a tloušťce potěrové vrstvy k ní dochází v časovém období několika týdnů až 2 měsíců od aplikace potěru. Přetrvávající obavy výrobců cementových samonivelačních potěrů z této poruchy vedou k doporučením, že pokud nebude povrch potěru do 2 měsíců od aplikace překryt finální podlahovinou, je nutno jej ošetřit ochranným přípravkem.

Tyto přípravky také nazývané také „curingy“ nebo „sealery“ se aplikují na čerstvý nebo zrající potěr ke zpomalení jejich povrchového vysychání. Před následnou pokládkou finálních „lepených“ podlahových krytů jako jsou dlažby, parkety, vinyl, PVC apod., je zpravidla nutné tyto ochranné filmy odstranit, což zvyšuje pracnost a nákladovost celé podlahové skladby.

Jedním z cílů předkládané práce je porovnat objemové změny a napjatostní stavy zrajících samonivelačních potěrů s různými pojivovými systémy. Sádrový samonivelační potěr lze v těchto souvislostech chápat jako jistý „etalon“ kvality, ke kterému by se cementem pojené samonivelační potěry měly přiblížit.

3.4 Specifika zpevnování samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním ve verzích plovoucích a na separační vrstvě

V návaznosti problematiku diskutovanou v kap. 3.2 o vlivu kovových forem při zkoušce délkových změn předmětných potěrů normovým postupem (ČSN EN 13 872 [27]) na výsledky a vypovídací hodnotu této zkoušky, vystává otázka kolem výsledků pevnostních zkoušek těchto materiálů.

Zkušební norma ČSN EN 13892-2. Metody zkoušení potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku [23]. předepisuje shodně jako norma na délkové změny, přípravu vzorků v kovových formách.

Tak jako tato práce porovnává délkové změny vzorků z kovových forem a vzorků zrajících od svého vytvoření v analogických podmínkách odpovídajících praxi (vzorek na PE folii, ohraničený pružnými bariérami), nabízí se hledání metodiky pro obdobné podmínky vzorků pro pevnostní zkoušky.

Problematika se týká především samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním, aplikovaných na separační vrstvě nebo jako plovoucí. Jak již bylo několikrát zmíněno, takto aplikované potěry nijak nespolutůsobí během zrání ani ve vyvráleném stavu s podkladem. Jejich délkové změny (rozpínání v prvních 24 hodinách od aplikace) nejsou ani „bočně“ zásadně omezeny, neboť jsou „olemovány“ po obvodu pružnou dilatací, instalovanou na stěnách a prostupujících konstrukcích – viz. kap.2.4.1.

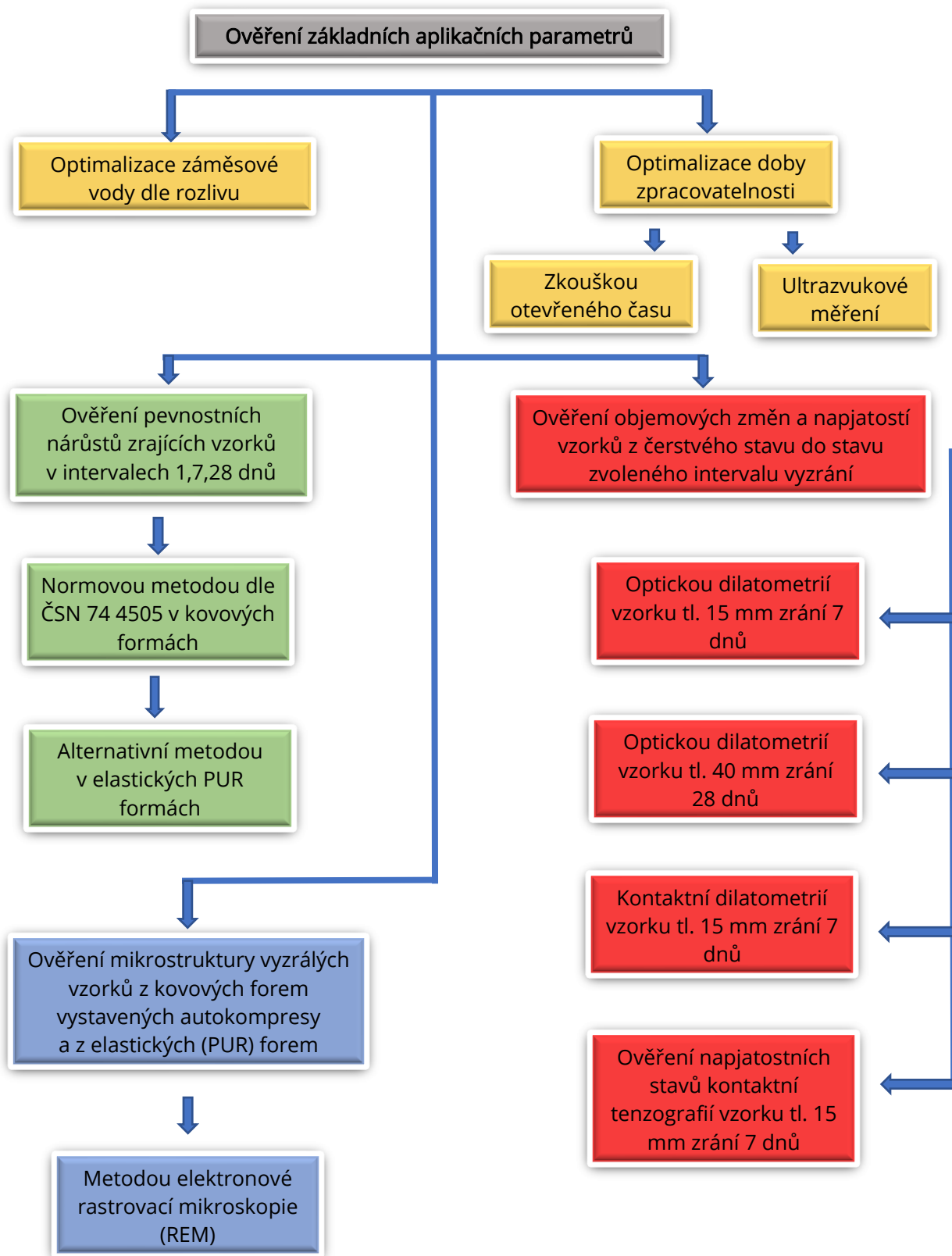
Zde je možno zopakovat tezi uvedenou v kap. 3.2 že „blokáci expanze“ při přípravě vzorků pro pevnostní zkoušky normovým postupem v kovových formách pravděpodobně dochází i ke změnám vnitřní struktury materiálu ve srovnání s předemnými samonivelačními potěry (typy na separační vrstvě a plovoucí) jejichž délkové změny na kluzné podložce a se stačitelnou obvodovou dilatací nejsou nijak blokovány. Otázkou tedy zůstává, jak se liší pevnostní hodnoty deklarované výrobcem a stanovené normovým postupem, od skutečných pevností aplikovaných výrobků.

Zde je nutné dodat, že jistým impulsem ke hledání odpovědi na uvedenou otázku jsou některé poznatky z praxe, kdy pevnostně zkoušené vzorky odebírané jako „výřezy“ z aplikovaných vyvrálených potěrů na stavbách nedosahovaly pevnostní deklarovaných výrobcem

V rámci této práce je pravděpodobně poprvé realizován experiment paralelně prováděných pevnostních zkoušek se vzorky vytvořenými normovým postupem a se vzorky vytvořenými odlitím do elastických polyuretanových forem umožňujících jejich „neblokované“ rozpínání v prvních 24 hodinách od jejich vytvoření.

4 Experimentální část práce

4.1 Schéma etap ověření základních aplikačních parametrů



4.2 Pojivová koncepce a receptury zkoušených potěrů

Ke zkouškám byly použity tři pojivově odlišné verze samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním, formou expanze a srovnávací samonivelační cementový potěr, bez expanze, pouze s protismršťující (přísadou (SRA) dále označovaný jako referenční zn. REF. Materiálově i skladebně byly vzorky potěrů připraveny ve spolupráci s výrobním a vývojovým útvarem spol. PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o. Schematický přehled označení a použité pojivové koncepce zkoušených potěrů podává tabulka 11:

Tabulka 11: Název, značení a popis pojivových koncepcí zkoušených potěrů

Název potěru	Značka vzorku	Pojivový systém
Cementový potěr samonivelační - referenční	REF	Portlandský cement + protismršťující přísada (SRA)
Cementový potěr samonivelační	ZFE	Portlandský cement + expanzní přísada + protismršťující přísada (SRA)
Rychlý cementový potěr samonivelační	SZFE	Ternární systém : Portlandský cement + CSA slínek + sádra
Sádrový potěr samonivelační	AFE	Alfa hemihydrát + minorita Portlandského cementu

Základní požadované, společné aplikační a funkční vlastnosti zkoušených potěrů podává níže tabulka 12.

Tabulka 12: Zadání základních parametrů zkoušených samonivelačních potěrů

parametr	zadaná hodnota
záměsová voda (%)	10 - 12
konzistence (rozliv) z Hagerrmannova trychtýře (mm)	230 - 260
otevřený čas (min.)	≥ 60
R_c - pevnost v tlaku (N/mm ²)	min. 20
R_f - pevnost v tahu za ohybu (N/mm ²)	min. 4

4.2.1 Cementový potěr samonivelační – referenční REF

Jedná se o cementový samonivelační potěr připravený dle zásad pro daný typ materiálu (rozlivové vlastnosti, antisegregace, odpěnění...) bez expanze, pouze s přísadou protismršující přísady (SRA) na bázi neopentyl glykolu. Recepturu daného potěru REF uvádí tabulka 13.

Tabulka 13: Receptura potěru REF

Složka	Podíl složky (%)
Portlandský cement CEM I 42,5 R	15,000
SRA – neopentyl glykol	0,125
Superplastifikátor typu PCE	0,100
Antisegregační zahušťka – diutanová guma	0,005
Odpěňovač (polyglykol)	0,070
Celulosové vlákno přírodní	0,125
Vápenec drcený fr. 0,09 – 4,0 mm	72,600
Vápenec mletý fr. 0,0 – 0,09 mm	12,000

4.2.2 Cementový potěr samonivelační - ZFE

Jedná se o vývojový vzorek moderního samonivelačního potěru s kompenzovaným smrštěním, připravovaného jako ekonomicky akceptovatelná verze pro tuzemský trh. Pojivová koncepce na směsi portlandského cementu s přidavkem portlanditové expanzní složky a protismršťující přísady (SRA – neopentyl glykol) vychází z experimentů a doporučení publikovaných COLEPARDIM [14] a z poznatků, prakticky na daném typu výrobku získaných ve vývoji společnosti Profibaustoffe CZ. Recepturu daného potěru ZFE uvádí tabulka 14.

Tabulka 14: Receptura potěru ZFE

Složka	Podíl složky (%)
Portlandský cement CEM I 42,5 R	13,500
Expanzní portlanditová přísada	1,350
SRA – neopentyl glykol	0,125
Superplastifikátor typu PCE	0,100
Antisegregační zahušťka – diutanová guma	0,005
Odpěňovač (polyglykol)	0,070
Celulosové vlákno přírodní	0,125
Vápenec drcený fr. 0,09 – 4,0 mm	72,760
Vápenec mletý fr. 0,0 – 0,09 mm	12,000

4.2.3 Rychlý cementový potěr samonivelační - SZFE

Jedná se o vývojový vzorek moderního samonivelačního potěru s kompenzovaným smrštěním, urychleným tuhnutím, tvrdnutím a poklesem vlhkosti dle požadavků rakouské ÖNORM B 3732-2016-12-15 na tzv. 7denní potěr tř. SE7. Pojivová koncepce je ternární systém portlandského cementu, kalcium-sulfo-aluminátového slínku (CSA) a sádry, vycházející ze směrné (startovací) receptury od výrobce CSA slínku spol. Heidelberger Cement AG. Optimalizace množství pojiv, kameniva a přísad vychází z vývojových prací spol. Profibaustoffe CZ s ohledem na obecné zadání aplikačních vlastností a pevnosti (viz tabulka 12) a se snahou o splnění požadavků na „7denní potěr“. Recepturu potěru SZFE uvádí tabulka 15.

Tabulka 15: Receptura potěru SZFE

Složka	Podíl složky (%)
Portlandský cement CEM I 52,5 R	5,500
CSA slínek ALIPRE	4,220
Sádra Alfa-hemihydrát	1,940
Vápenný hydrát	0,550
Akcelerátor - (lithná sůl)	0,035
Retardéry - (směs ovocných kyselin a jejich solí)	0,110
SRA - neopentyl glykol	0,200
Superplastifikátor typu PCE	0,060
Antisegregační zahušťka - diutanová guma	0,005
Odpěňovač - polyglykol	0,050
Celulosové vlákno přírodní	0,125
Vápenec drcený fr. 0,09 - 4,0 mm	71,200
Vápenec mletý fr. 0,0 - 0,09 mm	16,000

4.2.4 Sádrový potěr samonivelační AFE

Jedná se o vývojový vzorek tradičního sádrového potěru s hlavní pojivovou složkou na bázi alfa hemihydrátu, s minoritním podílem portlandského cementu. Materiálové složení vychází ze směrné (startovací) receptury výrobce použitého alfa-hemihydrátu spol. BAUMIT [33].

Optimalizace množství pojiv, kameniva a přísad vychází z vývojových prací spol. Profibaustoffe CZ s ohledem na obecné zadání aplikačních vlastností a pevnosti (viz. tabulka 12). Recepturu potěru AFE uvádí tabulka 16.

Tabulka 16: Receptura potěru AFE

Složka	Podíl složky (%)
Alfa hemihydrát	22,000
Portlandský cement CEM I 52,5 N	1,200
Retardéry – (směs ovocných kyselin a jejich solí)	0,155
Superplastifikátor typu PCE	0,055
Antisegregační zahušťka – diutanová guma	0,004
Odpěňovač (polyglykol)	0,050
Celulosové vlákno přírodní	0,125
Vápenec drcený fr. 0,09 – 4,0 mm	67,260
Vápenec mletý fr. 0,0 – 0,09 mm	9,500

5 Zkušební metody prováděné na samonivelačních potěrech

5.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro přípravu zkušebních vzorků, byla použita míchačka s nuceným oběhem podle ČSN EN 13892-1: Zkušební metody potěrových materiálů viz. obrázek 26. Míchací postup byl zvolen, dle pokynů výrobce směsi následovně:

- do míchací nádoby bylo dle připravené receptury dávkováno požadované množství záměsové vody,
- program V1 – za nízkých otáček byl do nádoby nasypán vzorek,
- po 15 vteřinách míchání vypnuto a vzorek byl seškrábnut ze stěn nádoby,
- program V1 – míchání 60 vteřin.

Na takto připravených směsích, byly následně prováděny zkoušky vlastností čerstvé malty (zkouška rozlivu a zkouška otevřeného času), dále z těchto směsí byly zhotoveny trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm pro zkoušky mechanických vlastností a objemových změn.



Obrázek 26: Fotografie míchacího zařízení

5.2 Zkouška rozlivu dle ČSN EN 12706

Použitá metoda pro zkoušení konzistence čerstvé směsi samonivelačních potěrů, byla prováděna dle ČSN EN 12706 [26]. Touto metodou jsou měřeny hodnoty rozlití známého objemu čerstvé směsi tak, že do středu skleněné desky, která je položena na vodorovné podložce se umístí rozlivový kužel (Hagermannův trychtýř) o výšce 60 mm, horním vnitřním průměru 70 mm a spodním vnitřním průměru 100 mm. Po naplnění čerstvou směsí se kužel zvedne kolmo vzhůru a směs se nechá vytéct. Po 4 minutách se pravítkem změří průměr vzniklého koláče ve dvou na sebe kolmých směrech, z těchto hodnot se dále vypočítá aritmetický průměr.



Obrázek 27: Fotografie Hagermannova trychtýře

5.3 Zkouška otevřeného času (doby zpracovatelnosti)

Pomocí této metody se zjišťuje časový úsek, ve kterém je připravená směs v ideálním tekutém stavu pro aplikaci na stavbě. Během tohoto časového úseku musí být na stavbě provedeno vylití, napojení a odvzdušnění připravené směsi. Po vypršení otevřeného času, už není možné do vylité směsi zasahovat.

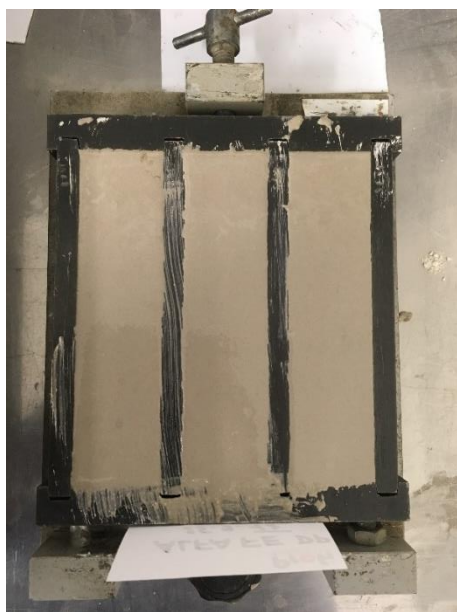
U použitých směsí samonivelačních potěrů byla zkouška prováděna na vzorcích o tloušťce 40 mm. Časový úsek otevřeného času byl zvolen 60 minut, v intervalech po 15 minutách vždy v jiné části vzorky byla sledována samonivelační schopnost jednotlivých směsí.

5.4 Stanovení pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu

5.4.1 Postup provádění zkoušky

Pevnostní zkoušky na zkušebních trámečkách, byly provedeny dle normy ČSN EN 13813 [24] a průběh těchto zkoušek je specifikován v normě ČSN EN 13892-2 [23]. Pro tyto zkoušky byly použity trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm, které byly odformovány po 24 hodinách po aplikaci do forem. Zrání proběhlo v běžných laboratorních podmínkách, při teplotě 22 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %.

Dle M. Štenka [6] dochází u samonivelačních materiálů s expanzí ke specifickému jevu, který označuje jako autokompresi. Při aplikaci těchto materiálů do pevných kovových forem předpokládá že dochází při zrání k omezení potencionálních expanzních nárůstů, které vyvolává jev jejich samozhutnění. Pro ověření tohoto jevu byly vytvořeny elastické polyuretanové formy, kterými byly simulovány podmínky plovoucích potěrů a potěrů na oddělovací (separační) vrstvě. Tyto formy byly vytvořeny z jemně porézního polyuretanu střední tuhosti W3530. Vnitřní stěny byly potaženy filmem na bázi MS-polymeru zcela utěšňující póry polyuretanu. Stěny byly dále opatřeny odformovacím přípravkem



Obrázek 28: Fotografie potěru aplikovaného do kovové standardní formy dle ČSN EN 13892-2

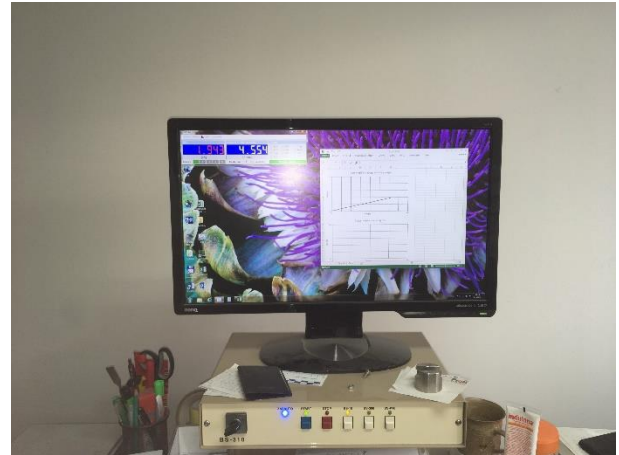


Obrázek 29: Fotografie potěru aplikovaného do elastické PUR formy

Na takto připravovaných trámečkách byly dále prováděny zkoušky pevnost v tlaku (R_c) a pevnost v tahu za ohybu (R_f). Pro tyto zkoušky byl použit lis viz obrázek 30 a 31, s nastavitelnou rychlostí nárustu zatěžovací síly.



Obrázek 30: Fotografie použitého zkušebního lisu



Obrázek 31: Vzhled ovládací jednotky zkušebního lisu

Vlivem rozměrových změn trámečků byly hodnoty pro pevnosti v tahu za ohybu (R_f) přepočítávány dle následujícího vztahu:

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

- kde: R_f Pevnost v tahu za ohybu [MPa],
 F maximální zatížení lisu potřebné ke zlomení zkušebního trámečku [N],
 l vzdálenost mezi podpěrami [mm], obvykle 100 mm,
 b šířka průřezu trámečku [mm],
 h výška průřezu trámečku [mm].

5.4.2 Výsledky a vyhodnocení pevnostních zkoušek

Vzorek SZFE

Tabulka 17: Vzorek SZFE – 1denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,5	40,2	160	578	2219	2532,7	5,94	5,48	25,46	24,44
									24,32	
II	40,2	40,1	160	568	2202	2102,9	4,93		24,57	
									23,39	
III	40,4	40	160	576	2228	2480,8	5,83		24,47	
									24,43	

Tabulka 18: Vzorek SZFE – 7denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,9	40,2	160	572	2174	2483,5	5,64	5,95	38,57	38,58
									38,23	
II	40,7	40,0	160	570	2183	2727,4	6,28		38,16	
									38,18	
III	40,2	40,0	160	566	2200	2543,2	5,93		38,38	
									39,94	

Tabulka 19: Vzorek SZFE – 28denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,6	40,6	160	560	2123	2958,4	6,63	6,57	48,04	47,60
									44,97	
II	40,4	40,1	160	560	2160	3155,2	7,29		49,61	
									48,39	
III	40,5	40,3	160	556	2129	2539,7	5,79		47,69	
									46,91	

Tabulka 20: Vzorek SZFE – 1denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

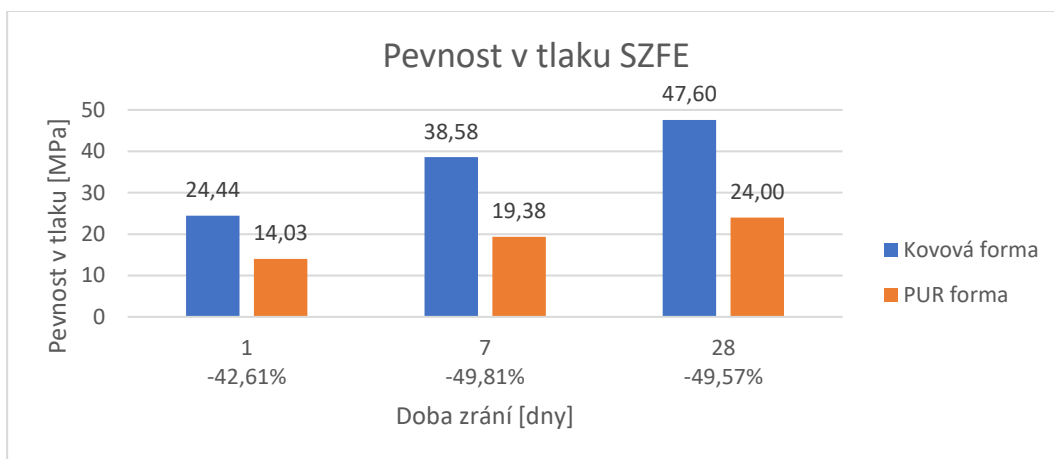
č. tr.	<i>b</i> [mm]	<i>h</i> [mm]	<i>l</i> [mm]	Hmotnost [g]	<i>OH</i> [kg/m ³]	<i>F</i> [N]	<i>R_f</i> [MPa]	∅ <i>R_f</i> [MPa]	<i>R_c</i> [MPa]	∅ <i>R_c</i> [MPa]
I	41,0	41,0	165	600	2163	2260,3	4,92	5,31	12,51	14,03
									14,31	
II	41,6	41,9	160	618	2216	2702,3	5,55		15,54	
									15,69	
III	41,7	40,4	162	592	2169	2476,7	5,46		12,86	
									13,24	

Tabulka 21: Vzorek SZFE – 7denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

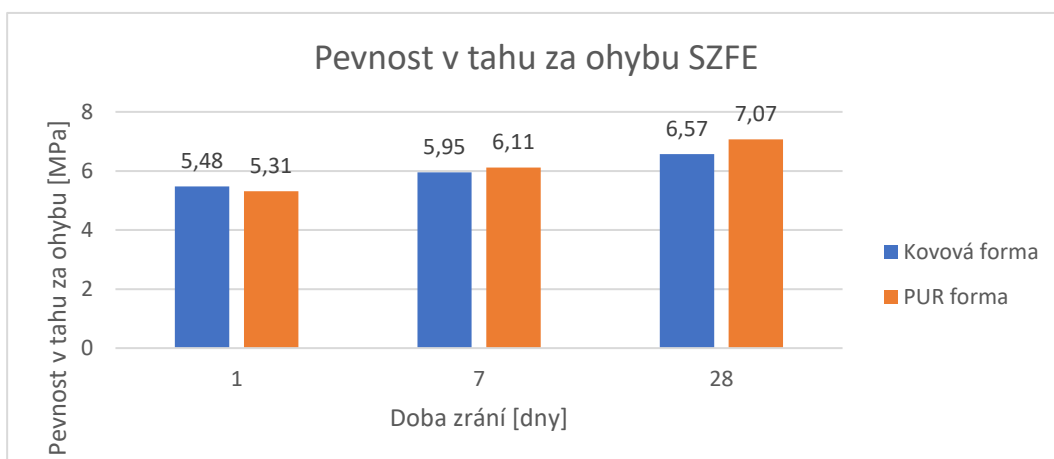
č. tr.	<i>b</i> [mm]	<i>h</i> [mm]	<i>l</i> [mm]	Hmotnost [g]	<i>OH</i> [kg/m ³]	<i>F</i> [N]	<i>R_f</i> [MPa]	∅ <i>R_f</i> [MPa]	<i>R_c</i> [MPa]	∅ <i>R_c</i> [MPa]
I	41,7	40,4	159	574	2143	2807,5	6,19	6,11	24,12	19,36
									15,44	
II	41,6	40,2	161	580	2154	2726,4	6,08		19,90	
									17,36	
III	42,0	41,7	160	594	2120	2956,8	6,07		19,91	
									19,45	

Tabulka 22: Vzorek SZFE – 28denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

č. tr.	<i>b</i> [mm]	<i>h</i> [mm]	<i>l</i> [mm]	Hmotnost [g]	<i>OH</i> [kg/m ³]	<i>F</i> [N]	<i>R_f</i> [MPa]	∅ <i>R_f</i> [MPa]	<i>R_c</i> [MPa]	∅ <i>R_c</i> [MPa]
I	41,6	40,5	159,5	570	2121	3386,6	7,44	7,07	29,45	24,00
									25,30	
II	41,3	40,4	160	566	2120	3157,4	7,03		20,36	
									24,69	
III	41,9	40,0	160	570	2126	3016,3	6,75		17,29	
									26,93	



Graf 17: Vyobrazení pevností v tlaku u kovových a elastických PUR forem materiálu SZFE a poklesů pevností v závislosti na době zrání



Graf 18: Vyobrazení pevností v tahu za ohybu u kovových a elastických PUR forem materiálu SZFE v závislosti na době zrání

Vzorek AFE

Tabulka 23: Vzorek AFE – 1denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	41,2	40,0	160	584	2215	1835,0	4,18	3,97	17,18	16,91
									17,30	
II	41,1	40,0	160	578	2197	1655,0	3,78		16,66	
									16,53	
III	40,5	40,0	160	576	2222	1708,0	3,95		16,86	
									16,94	

Tabulka 24: Vzorek AFE – 7denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	41,4	40,1	160	556	2093	3511,2	8,03	8,04	28,73	28,95
									28,11	
II	41,1	40,1	160	558	2116	3521,2	7,99		27,79	
									28,38	
III	40,2	40,1	160	546	2117	3508,1	8,10		30,53	
									30,14	

Tabulka 25: Vzorek AFE – 28denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,6	40,2	160	554	2121	3474,6	7,83	8,36	33,32	32,89
									33,86	
II	40,7	40,3	160	554	2111	3826,0	8,68		31,54	
									32,53	
III	40,4	40,1	160	550	2122	3685,6	8,55		32,74	
									33,34	

Tabulka 26: Vzorek AFE – 1denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

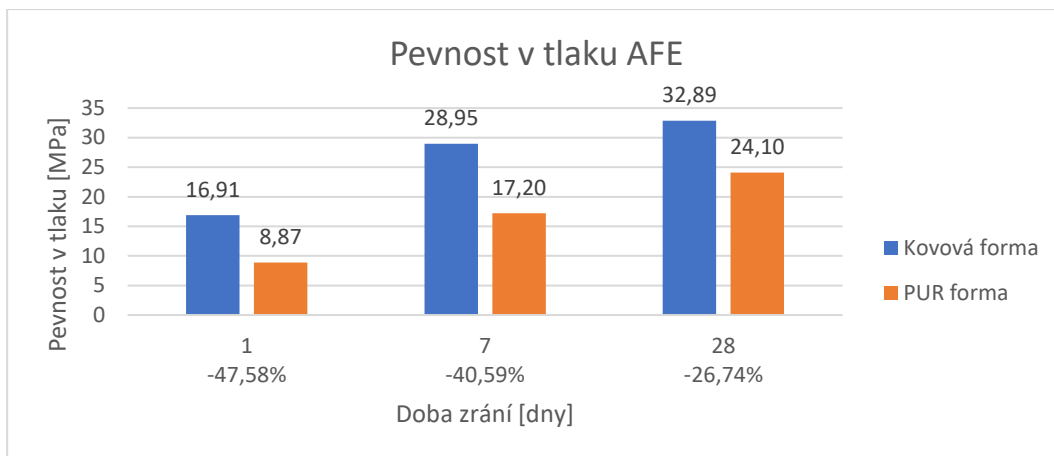
č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	41,2	40,6	159	574	2158	1676,0	3,70	3,57	10,11	8,87
									7,09	
II	41,9	41,1	160	598	2170	1641,0	3,48		10,00	
									7,75	
III	41,1	42,6	159,5	598	2141	1749,0	3,52		9,71	
									8,53	

Tabulka 27: Vzorek AFE – 7denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

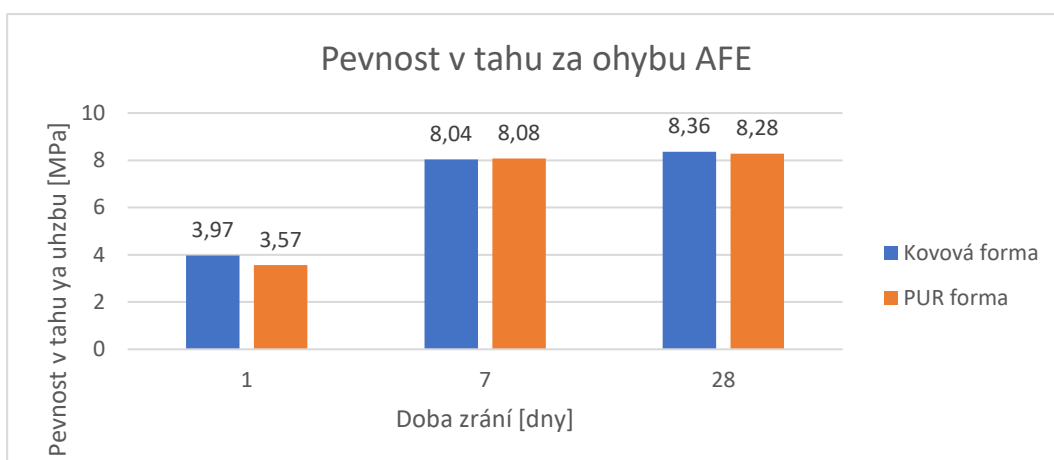
č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	41,2	43,2	160	584	2051	3720,5	7,98	8,08	16,64	17,20
									19,85	
II	42,0	40,8	161	564	2044	3747,5	8,20		17,17	
									14,21	
III	41,1	41,0	160	554	2055	3632,3	8,06		16,44	
									18,88	

Tabulka 28: Vzorek AFE – 28denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,8	41,4	161	560	2059	4361,0	8,51	8,28	22,71	24,10
									21,40	
II	40,0	41,4	162,5	558	2074	3750,6	8,05		26,83	
									24,63	
III	40,0	41,1	160,5	544	2062	3823,1	8,30		25,60	
									23,40	



Graf 19: Vyobrazení pevností v tlaku u kovových a elastických PUR forem materiálu AFE a poklesů pevností v závislosti na době zrání



Graf 20: Vyobrazení pevností v tahu za ohybu u kovových a elastických PUR forem materiálu AFE v závislosti na době zrání

Vzorek ZFE

Tabulka 29: Vzorek ZFE – 1denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	41,0	40,3	160	584	2209	1073,1	2,42	2,36	9,01	8,92
									9,10	
II	40,8	40,2	160	586	2233	995,4	2,26		8,85	
									8,82	
III	40,0	40,1	160	578	2252	1031,3	2,41		8,99	
									8,76	

Tabulka 30: Vzorek ZFE – 7denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,9	40,0	160	566	2162	2357,5	5,40	5,22	24,12	24,29
									24,96	
II	40,8	40,1	160	568	2170	2268,2	5,19		24,53	
									24,67	
III	40,7	40,2	160	564	2154	2217,9	5,06		23,05	
									24,41	

Tabulka 31: Vzorek ZFE – 28denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,6	40,2	160	560	2144	3426,6	7,83	7,35	31,00	27,49
									28,78	
II	40,4	40,1	160	560	2160	3280,9	7,58		28,28	
									27,14	
III	40,4	40,0	160	554	2143	2862,9	6,64		25,00	
									24,71	

Tabulka 32: Vzorek ZFE – 1denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

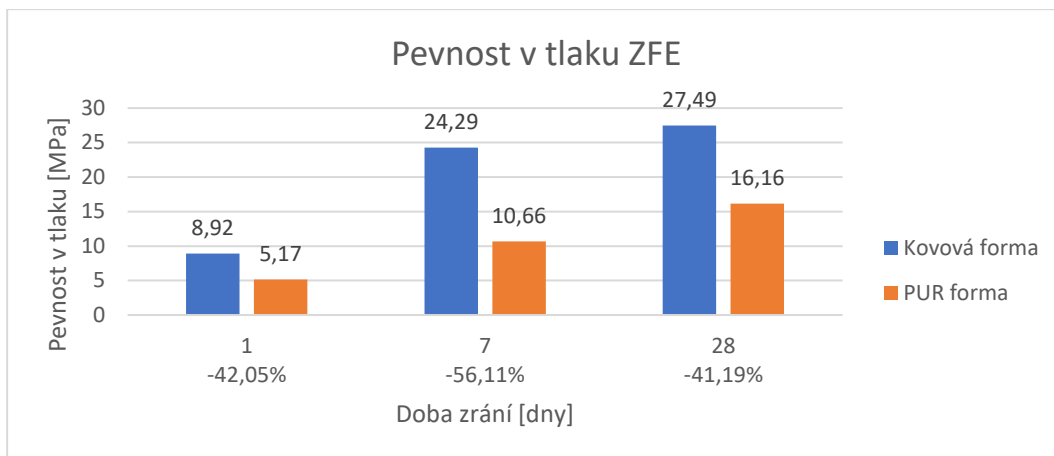
č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	42,4	39,2	160	574	2158	900,1	2,07	2,08	5,06	5,17
									4,00	
II	42,6	39,6	161,5	596	2188	924,6	2,08		6,42	
									5,96	
III	42,1	40,5	159,5	588	2162	963,3	2,09		4,24	
									5,34	

Tabulka 33: Vzorek ZFE – 7denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

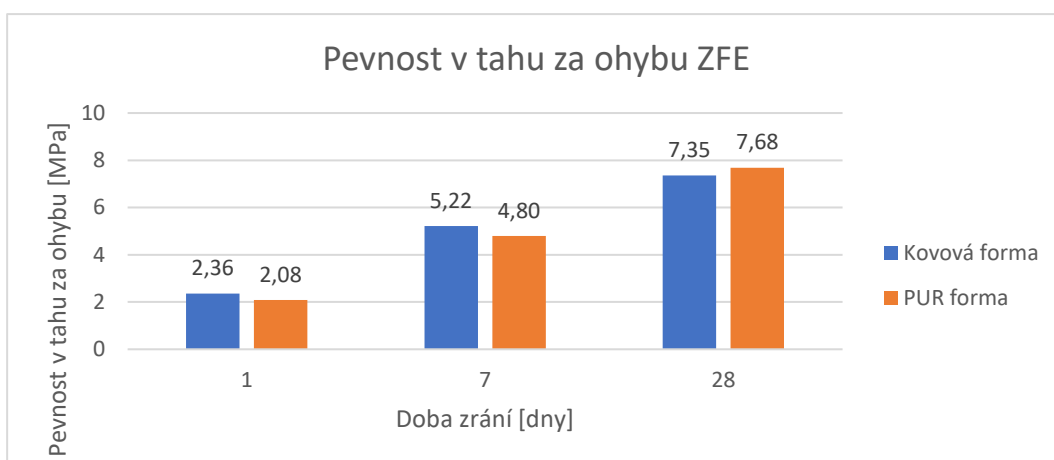
č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	41,7	40,4	161	568	2094	1901,8	4,19	4,8	11,02	10,66
									10,89	
II	42,4	40,7	158,5	572	2091	2423,3	5,18		11,15	
									11,07	
III	41,3	39,3	159	550	2131	2135,4	5,02		7,66	
									12,18	

Tabulka 34: Vzorek ZFE – 28denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	41,9	40,9	158	574	2120	3390,0	7,25	7,68	19,55	16,16
									18,86	
II	42,0	41,0	156	566	2107	3694,6	7,85		14,13	
									12,05	
III	41,9	40,6	158,5	568	2107	3658,5	7,95		14,58	
									17,81	



Graf 21: Vyobrazení pevností v tlaku u kovových a elastických PUR forem materiálu ZFE a poklesů pevností v závislosti na době zrání



Graf 22: Vyobrazení pevností v tahu za ohybu u kovových a elastických PUR forem materiálu ZFE v závislosti na době zrání

Vzorek REF

Tabulka 35: Vzorek REF – 1denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,2	40,2	160	584	2259	1182,4	2,73	2,83	9,64	9,52
									9,54	
II	40,8	40,2	160	590	2248	1193,7	2,72		9,42	
									9,26	
III	40,6	40,1	160	590	2265	1323,3	3,04		9,43	
									9,83	

Tabulka 36: Vzorek REF – 7denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	41,0	40,3	160	578	2186	2427,9	5,47	5,43	26,44	25,93
									26,20	
II	40,8	40,0	160	574	2198	2344,0	5,39		26,18	
									26,83	
III	40,0	40,3	160	562	2179	2352,3	5,43		25,09	
									24,84	

Tabulka 37: Vzorek REF – 28denní pevnosti při aplikaci do kovových forem

č. tr.	b [mm]	h [mm]	l [mm]	Hmotnost [g]	OH [kg/m ³]	F [N]	R_f [MPa]	$\emptyset R_f$ [MPa]	R_c [MPa]	$\emptyset R_c$ [MPa]
I	40,6	40,2	160	562	2152	3669,5	8,39	8,39	30,95	31,81
									32,89	
II	40,4	40,0	160	560	2166	3763,8	8,73		30,55	
									32,42	
III	40,6	40,0	160	562	2163	3489,9	8,06		32,54	
									31,52	

Tabulka 38: Vzorek REF – 1denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

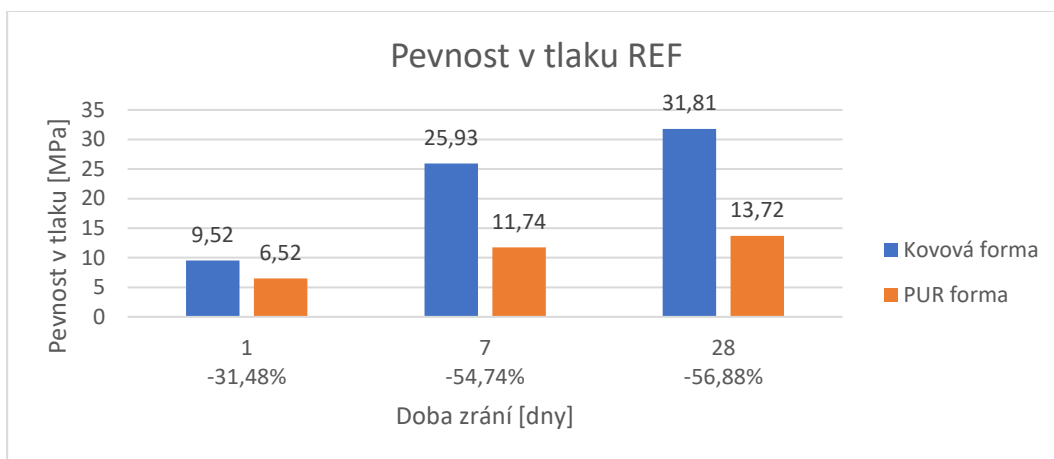
č. tr.	<i>b</i> [mm]	<i>h</i> [mm]	<i>l</i> [mm]	Hmotnost [g]	<i>OH</i> [kg/m ³]	<i>F</i> [N]	<i>R_f</i> [MPa]	∅ <i>R_f</i> [MPa]	<i>R_c</i> [MPa]	∅ <i>R_c</i> [MPa]
I	42,0	39,5	160	590	2223	1124,2	2,57	2,65	6,85	6,52
									7,75	
II	41,5	39,8	160,5	588	2218	1181,3	2,70		5,45	
									6,31	
III	41,6	40,0	160	578	2171	1185,7	2,67		6,37	
									6,41	

Tabulka 39: Vzorek REF – 7denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

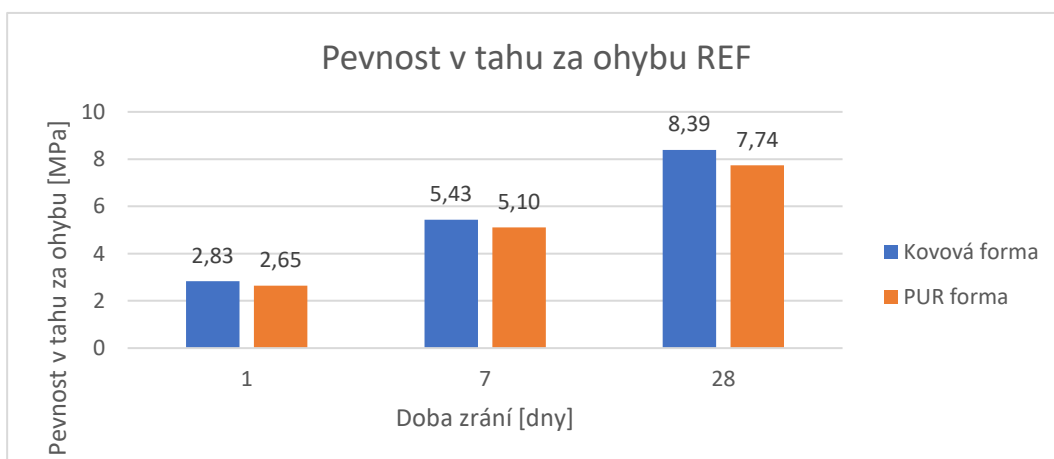
č. tr.	<i>b</i> [mm]	<i>h</i> [mm]	<i>l</i> [mm]	Hmotnost [g]	<i>OH</i> [kg/m ³]	<i>F</i> [N]	<i>R_f</i> [MPa]	∅ <i>R_f</i> [MPa]	<i>R_c</i> [MPa]	∅ <i>R_c</i> [MPa]
I	41,4	39,2	161,5	558	2223	2139,1	5,04	5,10	12,44	11,74
									12,85	
II	41,8	39,2	160	552	2218	2344,1	5,47		12,00	
									10,51	
III	42,0	39,8	160,5	560	2171	2126,3	4,79		10,32	
									12,30	

Tabulka 40: Vzorek REF – 28denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

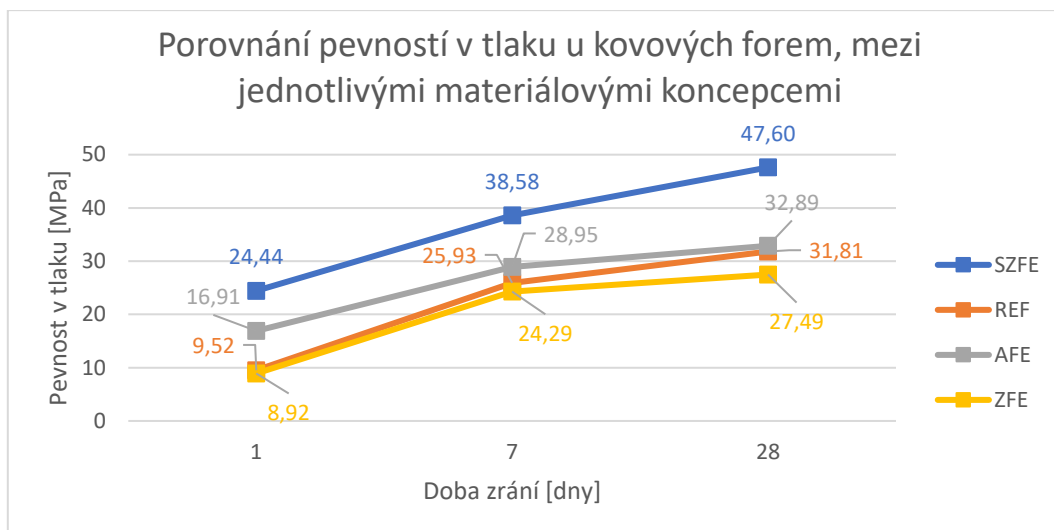
č. tr.	<i>b</i> [mm]	<i>h</i> [mm]	<i>l</i> [mm]	Hmotnost [g]	<i>OH</i> [kg/m ³]	<i>F</i> [N]	<i>R_f</i> [MPa]	∅ <i>R_f</i> [MPa]	<i>R_c</i> [MPa]	∅ <i>R_c</i> [MPa]
I	41,2	39,7	159,5	560	2147	3399,2	7,85	7,74	12,48	13,72
									14,23	
II	42,0	40,4	159,5	568	2099	3520,5	7,70		11,63	
									13,69	
III	41,2	39,9	159,5	554	2113	3354,9	7,67		16,46	
									13,81	



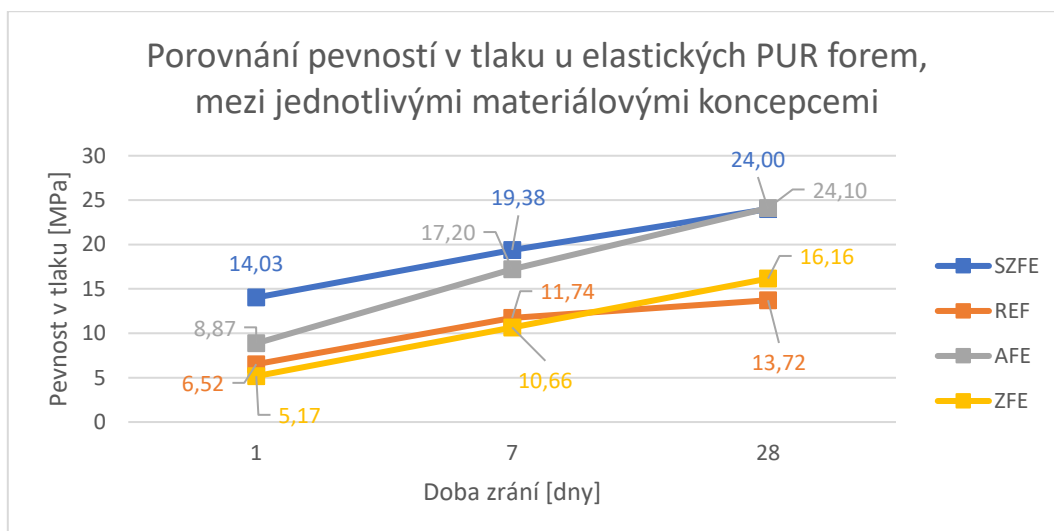
Graf 23: Vyobrazení pevností v tlaku u kovových a elastických PUR forem materiálu REF a poklesů pevností v závislosti na době zrání



Graf 24: Vyobrazení pevností v tahu za ohybu u kovových a elastických PUR forem materiálu REF v závislosti na době zrání



Graf 25: Vyobrazení porovnání pevností v tlaku u kovových forem všech měřených vzorků



Graf 26: Vyobrazení porovnání pevností v tlaku u elastických forem všech měřených vzorků

5.4.3 Shrnutí a závěr

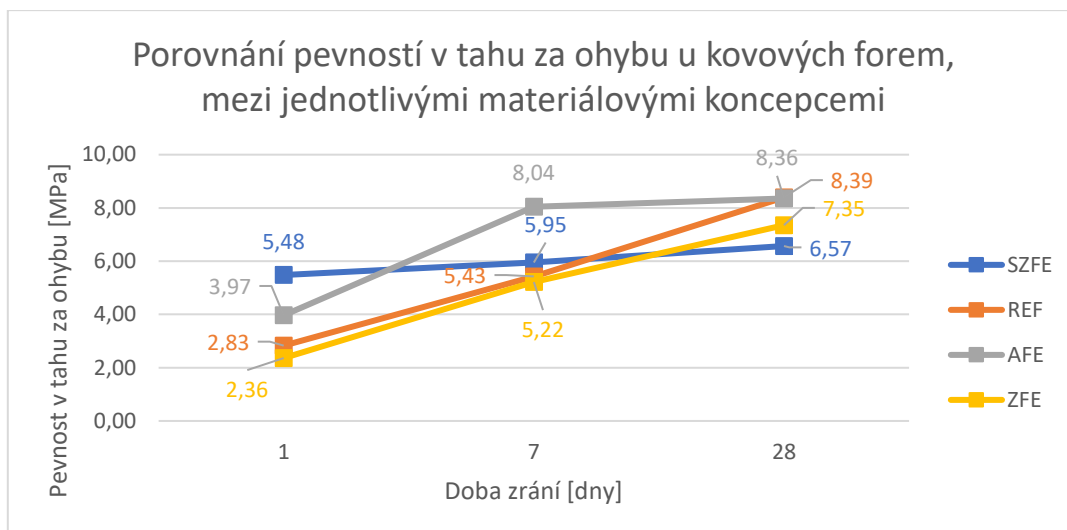
Při porovnání naměřených hodnot pevností v tlaku mezi vzorky vytvrzenými v kovových a elastických PUR formách je patrný výrazný pokles pevností u vzorku z PUR forem. U těchto vzorků byl zaznamenán pokles pevnosti až o 57 %. Při porovnání náběhových pevností v tlaku u vzorků vytvrzených v kovových formách, dosáhly vzorky SZFE a AFE již po jednom dni od aplikace více než 50 % svých konečných pevností (28denní pevnosti), u vzorku ZFE a REF to bylo pouze více než 30 %. Po 7 dnech je dosaženo u všech čtyř vzorků více než 80 % jejich konečných pevností. Nárůst pevností mezi 7 – 28 dny je již pozvolný,

navýšení pevností je zde přibližně o 20 %. U vzorků vytvrzených v elastických PUR formách, byla pevnost v tlaku po jednom dni vyšší než 50 % oproti konečným pevnostem pouze u vzorku SZFE, vzorek REF dosahoval 47 % a vzorky AFE a ZFE měli více než 30 % svých konečných pevností. Po 7 bylo dosaženo u vzorku SZFE a REF více než 80 % jejich konečných pevností, u vzorků ZFE a REF to bylo pouze více než 65 %.

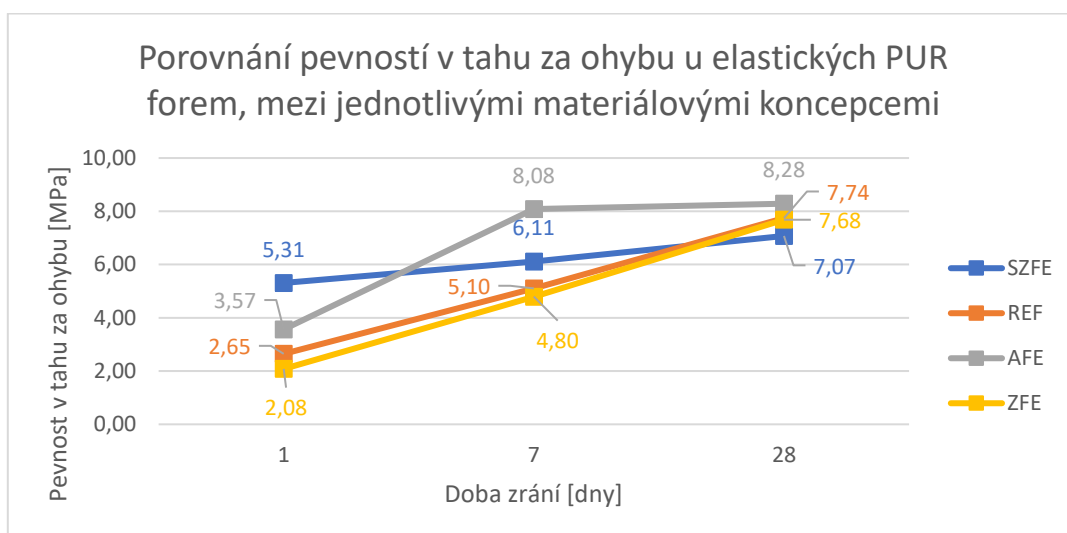
Tabulka 41: Porovnání poklesů pevností v tlaku vzorků vytvrzených v elastické PUR formě oproti formě kovové

Materiál	AFE		SZFE		ZFE		REF	
	KOV	PUR	KOV	PUR	KOV	PUR	KOV	PUR
Pevnost v tlaku 1denní [MPa]	16,91	8,87	24,44	14,03	8,92	5,17	9,52	6,52
pokles pevnosti	47,58 %		42,61 %		42,05 %		31,48 %	
Pevnost v tlaku 7denní [MPa]	28,95	17,20	38,58	19,38	24,29	10,66	25,93	11,74
pokles pevnosti	40,59 %		49,81 %		56,11 %		54,74 %	
Pevnost v tlaku 28denní [MPa]	32,89	24,10	47,60	24,00	27,49	16,16	31,81	13,72
pokles pevnosti	26,74 %		49,57 %		41,19 %		56,88 %	

V tabulce 41 můžeme sledovat pokles pevností v tlaku u elastických PUR forem oproti normovým kovovým formám u všech vzorků v průběhu doby zrání. Největší pokles pevnosti po jednom dni zrání, byl zaznamenán u vzorku AFE a to o 47,58 %, u tohoto vzorku byl také zaznamenán nejnižší pokles ve 28 dnech zrání a to o 26,74 %. U vzorku SZFE byl po celou dobu zrání zaznamenáván pokles pevnosti o 40 – 50 %. Vzorek ZFE měl nejvyšší pokles pevnosti po 7 dnech zrání a to 56,11 %, pokles po 1 a 28 dnech byl téměř totožný (42 %). Nejnižší pokles pevnosti po 1 dni, byl zaznamenán u vzorku REF a to 31,48 %, po 28 dnech zrání měl tento vzorek nejvyšší pokles pevnosti ze všech naměřených hodnot a to 56,88 %.



Graf 27: Vyobrazení porovnání pevností v tahu za ohybu u kovových forem všech měřených vzorků



Graf 28: Vyobrazení porovnání pevností v tahu za ohybu u elastických forem všech měřených vzorků

Při porovnání naměřených hodnot pevností v tahu za ohybu na vzorcích vytvrzených v kovových a elastických PUR formách, nedošlo k poklesu pevnosti u vzorků z PUR forem, jak tomu bylo u pevností v tlaku. Nejrychlejších náběhových pevností v tahu za ohybu u kovových forem bylo dosaženo u vzorku SZFE, který již po jednom dni od aplikace dosahoval více než 80 % svých konečných pevností (28denní pevnosti), u vzorku AFE to bylo více než 45 % a u vzorků ZFE a REF pouze více než 30 %.

Po 7 dnech bylo dosaženo u vzorků SZFE a AFE více než 90 %, u vzorků ZFE a REF to bylo více než 65 % jejich konečných pevností. U vzorků z PUR forem dosahoval vzorek SZFE po jednom dni více než 75 % svých konečných pevností, u ostatních vzorků byly počáteční pevnosti opět výrazně nižší, u vzorku AFE více než 40 %, u vzorku REF více než 30 % a u vzorku ZFE pouze více než 25 %. Po 7 dnech bylo dosaženo více než 90 % konečných pevností pouze u vzorku AFE, více než 85 % bylo dosaženo u vzorku SZFE a u vzorků ZFE a REF bylo dosaženo více než 65 %.

Tabulka 42: Porovnání poklesů pevností v tahu za ohybu vzorků vytvrzených v elastické PUR formě oproti formě kovové

Materiál	AFE		SZFE		ZFE		REF	
	KOV	PUR	KOV	PUR	KOV	PUR	KOV	PUR
Pevnost v tahu za obyhu 1denní [MPa]	3,97	3,57	5,48	5,31	2,36	2,08	2,83	2,65
pokles pevnosti	10,08 %		3,10 %		11,86 %		6,36 %	
Pevnost v tahu za ohybu 7denní [MPa]	8,04	8,08	5,95	6,11	5,22	4,80	5,43	5,10
pokles pevnosti	-0,50 %		-2,69 %		8,05 %		6,08 %	
Pevnost v tahu za ohybu 28denní [MPa]	8,36	8,28	6,57	7,07	7,35	7,68	8,39	7,74
pokles pevnosti	0,96 %		-7,61 %		-4,49 %		7,75 %	

V tabulce 42 můžeme vidět, porovnání pevností v tahu za ohybu o všech vzorků a také poklesy pevností elastických PUR forem oproti kovovým formám. Můžeme si povšimnout, že u pevnosti v tahu za ohybu nedošlo k tak výrazným poklesům, jak tomu bylo u pevnosti v tlaku, u několika vzorků z PUR forem můžeme sledovat vyšší pevnosti než u vzorků z kovových forem.

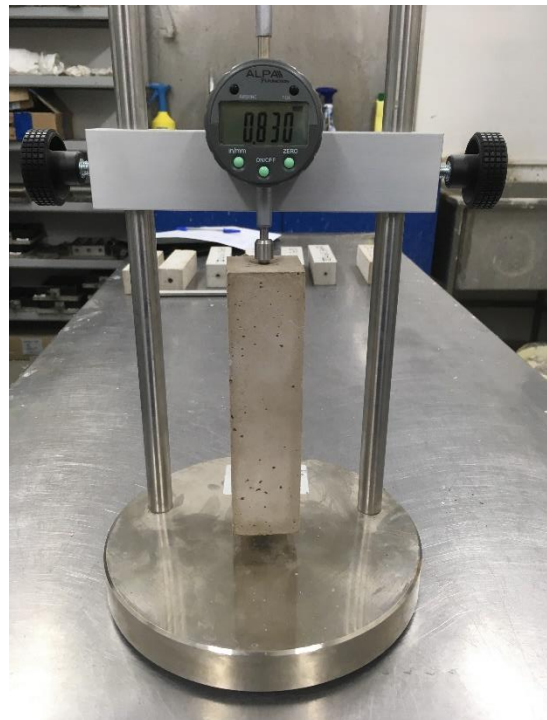
5.5 Stanovení rozměrových změn dle ČSN EN 19872

5.5.1 Postup provádění zkoušky

Jedná se o normovou kontaktní metodu měření objemových změn, měření bylo provedeno na trámečcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Zaznamenávání hodnot probíhá pomocí kovových měřících čepů, díky kterým je umožněno vzorek umístit do dilatometru. Tyto čepy jsou umístěny ve vzorcích od nalití směsi. Měření bylo prováděno v daných časových intervalech 1, 7, 28 dnů zrání a tvrdnutí vzorku. Princip této metody měření je popsán v normě ČSN EN 13872 - Metody zkoušení hydraulických vytvrzovacích podlahových stěrkových hmot – stanovení rozměrových změn [27]. Podle uložení vzorku můžeme měřit několik druhů smrštění. Pokud se zkušební vzorek ponechá vysychat volně ze všech stran, bude docházet především k smrštění vysycháním. Pokud bude zkušební vzorek utěsněn, bude docházet k autogennímu smrštění.



Obrázek 32: Fotografie měřicí sestavy pro měření délkových změn trámečkovou metodou s kalibračním tělesem



Obrázek 33: Fotografie měřicí sestavy pro měření délkových změn trámečkovou metodou s měřeným vzorkem

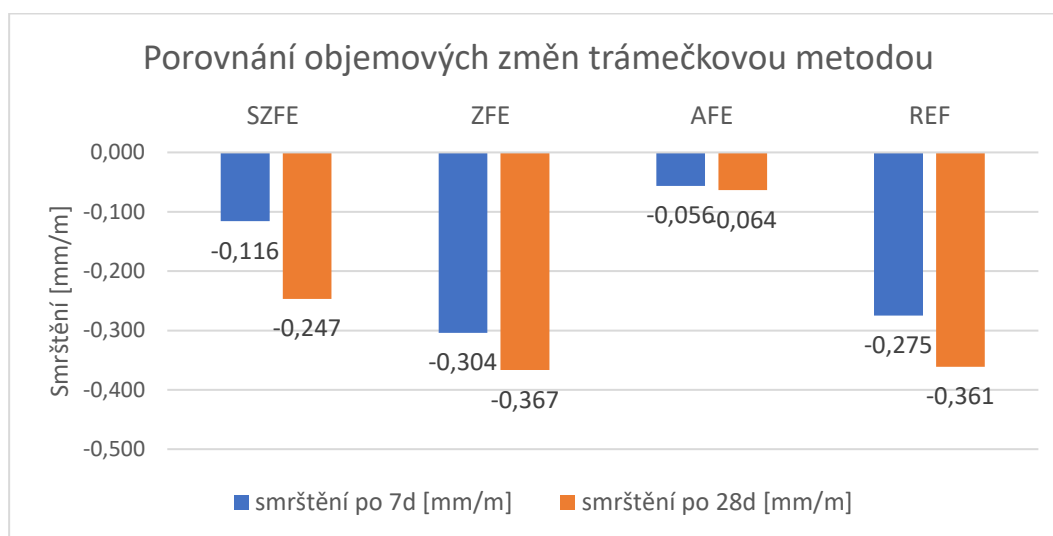
K počátku měření u této metody dochází až po odformování zkušební vzorku. Díky tomu, jak již uvedla E. Holt [5] je měření nevhodné pro samonivelační materiály s významnými objemovými změnami, které probíhají již v čerstvém stavu, tudíž nelze zachytit plastické smrštění a expanzi těchto materiálů. Tato metoda se spíše provádí jako povinná kontrola výroby v rámci systému řízení jakosti.

5.5.2 Výsledky a vyhodnocení měření rozměrových změn

Měření objemových změn touto metodou probíhalo u každému materiálu na třech vzorcích. První počáteční měření proběhlo po 24 hodinách (odformování vzorku) a tyto hodnoty byly brány jako výchozí, dále byly objemové změny měřeny v 7 a 28 dnech po odformování vzorků.

Tabulka 43: Naměřené hodnoty objemových změn trámečkovou metodou

Vzorek	smrštění po 7 dnech [mm/m]	smrštění po 28 dnech [mm/m]
SZFE	-0,116	-0,247
ZFE	-0,304	-0,367
AFE	-0,056	-0,064
REF	-0,275	-0,361



Graf 29: Znázornění naměřených objemových změn metodou dle ČSN EN13 872

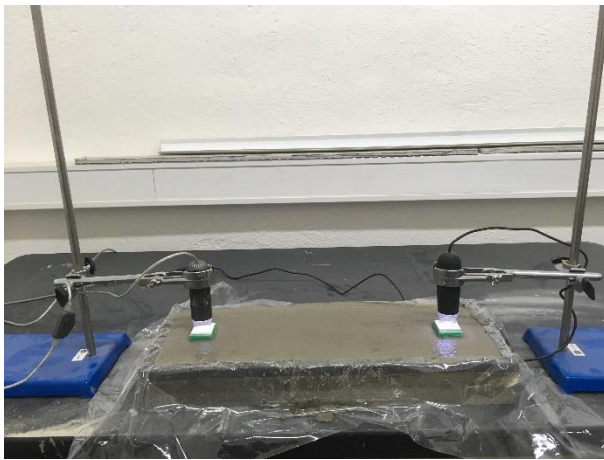
5.5.3 Shrnutí a závěr

Dle naměřených hodnot dochází k nejmenšímu smrštění u vzorku AFE, k největšímu smrštění dochází v prvních 7 dnech zrání, smrštění ve 28 dnech bylo pouze o 12 % vyšší než v 7 dnech. U vzorku SZFE bylo po 7 dnech dosaženo 47 % celkového naměřeného smrštění. Smrštění u vzorků ZFE a REF bylo téměř totožné, u obou vzorků došlo k největšímu smrštění již v prvních 7 dnech zrání, u vzorku ZFE se smrštění ve 28 dnech navýšilo pouze o 18 % a u vzorku REF o 24 %. Tato metoda měření objemových změn bylo provedena především pro srovnání s metodou Optické dilatometrie, u které dochází k měření objemových změn již od prvních minut od aplikace.

5.6 Měření objemových změn metodou optické dilatometrie VUT FAST Brno

5.6.1 Princip měření

J. Nováček [1] ve své práci uvádí, že tato metoda je založena na kontinuálním snímkování terčů položených na plastový plovácích, které jsou umístěny na aplikované směsi a díky tomu jsou zaznamenávány její dilatační posuny. Snímkování je provedeno pomocí stabilně usazeného digitálního USB mikroskopu.



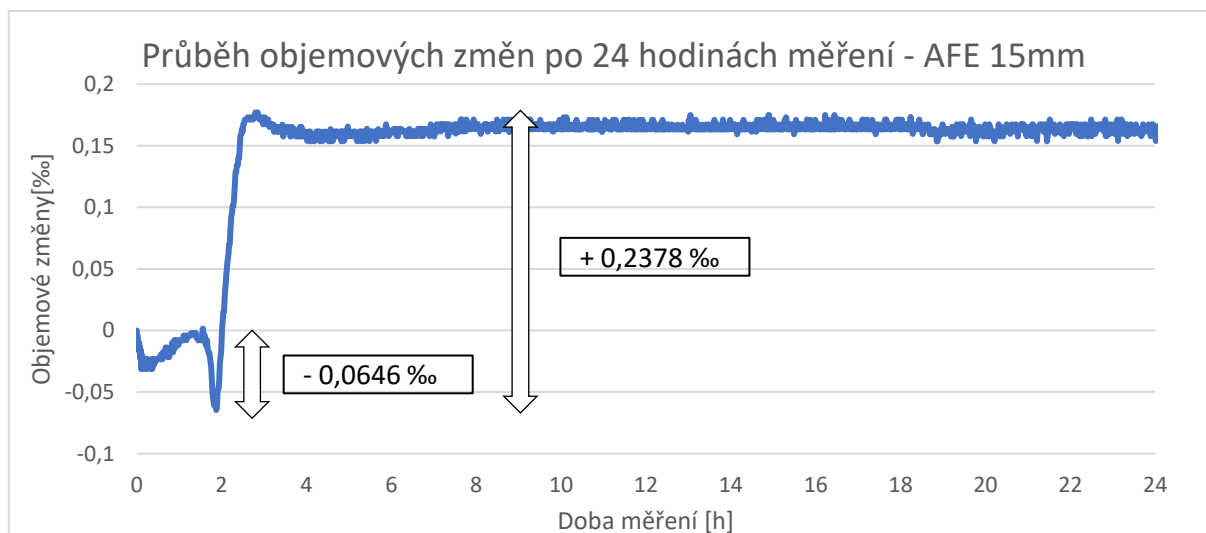
Obrázek 34: Fotografie měřicího zařízení optické dilatometrie

Optickým dilatometrem bylo prováděno měření objemových změn u daným pojivových koncepcí na vzorcích o tloušťce 15 mm (pro porovnání s měřením na přístroji Tensograf TGS 02) a 40 mm (nejčastěji aplikovaná tloušťka vrstvy samonivelační podlahy) pro porovnání s normovou metodou dle ČSN EN 13 872 (trámečkovou metodou).

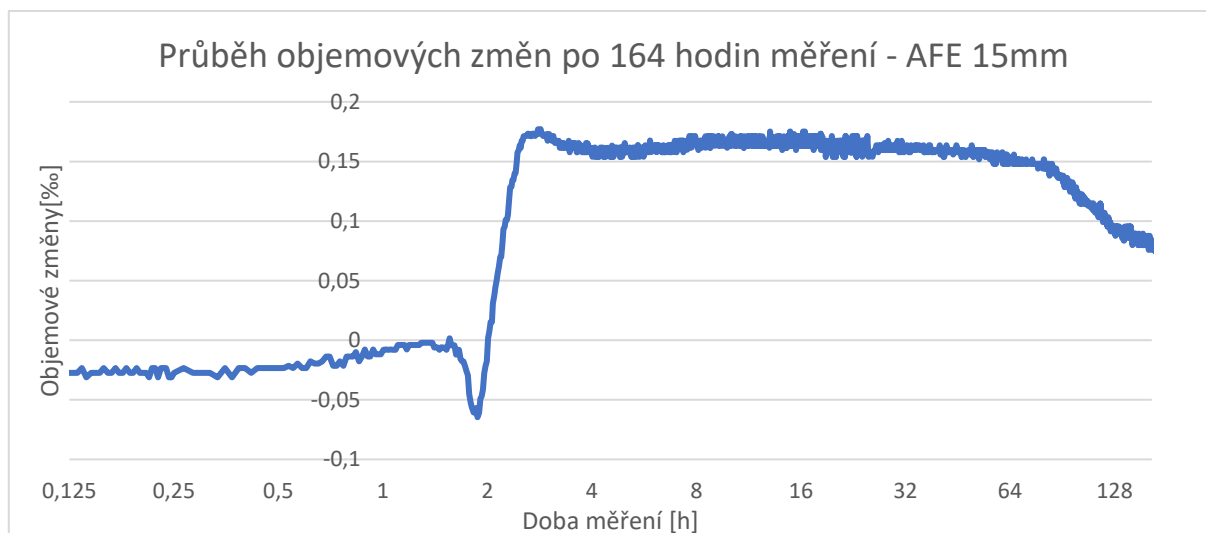
Optickou dilatometrií jsou zachyceny objemové změny vzorku již od okamžiku aplikace vzorku do formy. Tato metoda zachycuje objemové změny vlivem plastického smrštění a expanze, kdy tyto jevy probíhají v prvních 24 hodinách zrání vzorku a trámečkovou metodou nejsou zaznamenány.

5.6.2 Výsledky a vyhodnocení měření objemových změn

Vzorek AFE tloušťka 15 mm

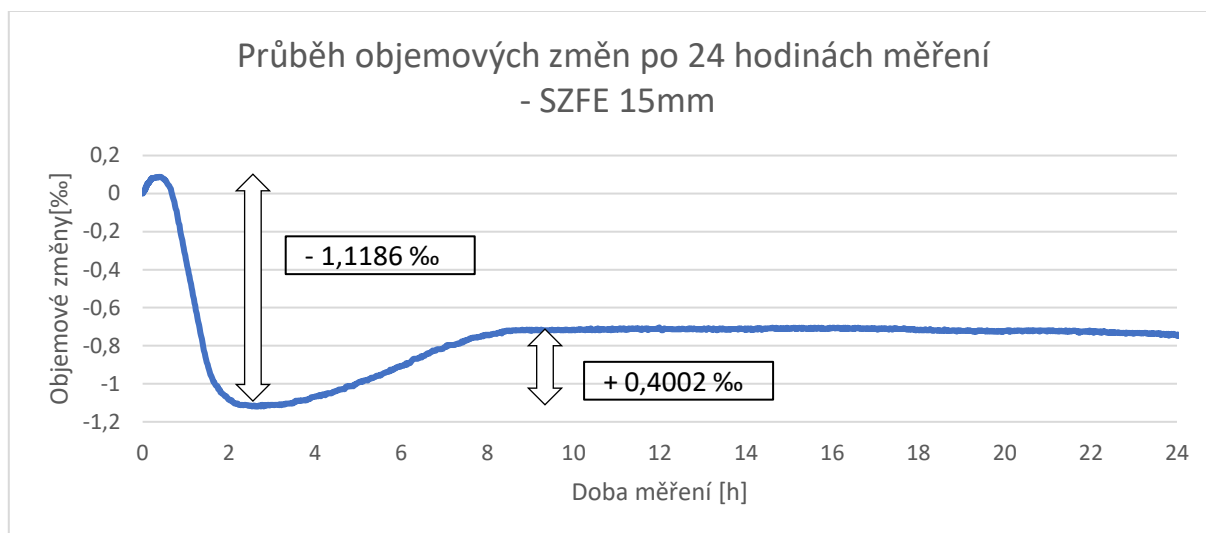


Graf 30: Vyobrazení objemových změn ve vzorku AFE po 24 hodinách měření

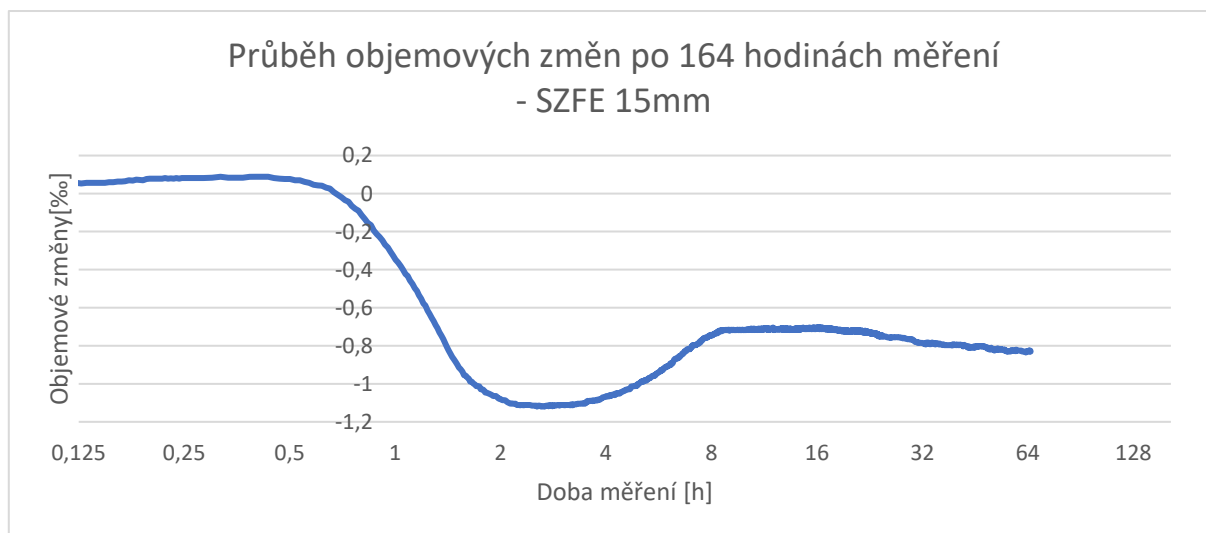


Graf 31: Vyobrazení objemových změn ve vzorku AFE po 164 hodinách měření

Vzorek SZFE tloušťka 15 mm

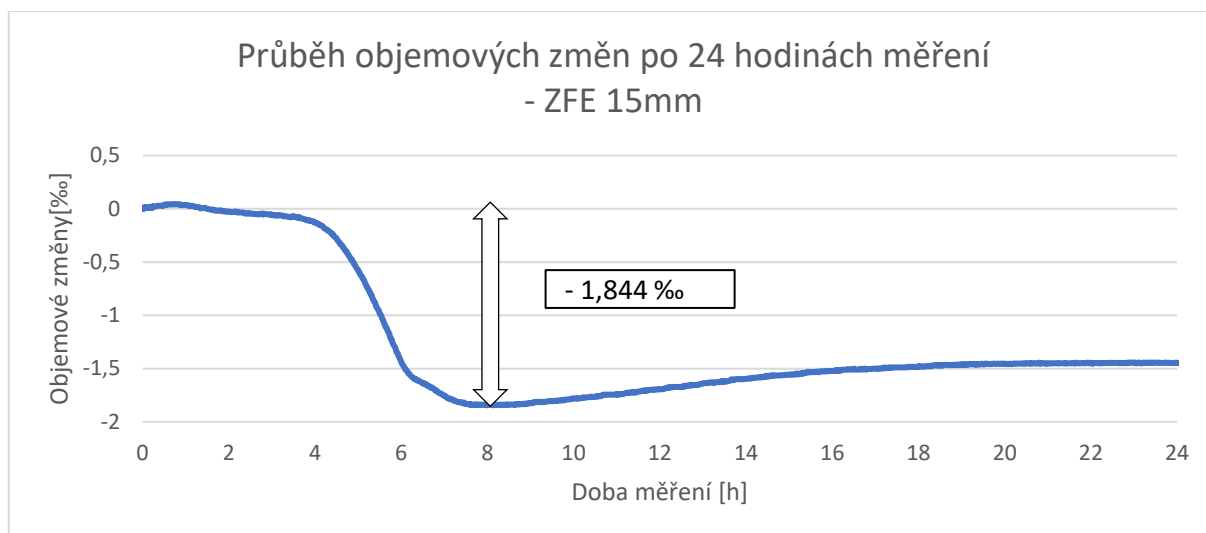


Graf 32: Vyobrazení objemových změn ve vzorku SZFE po 24 hodinách měření

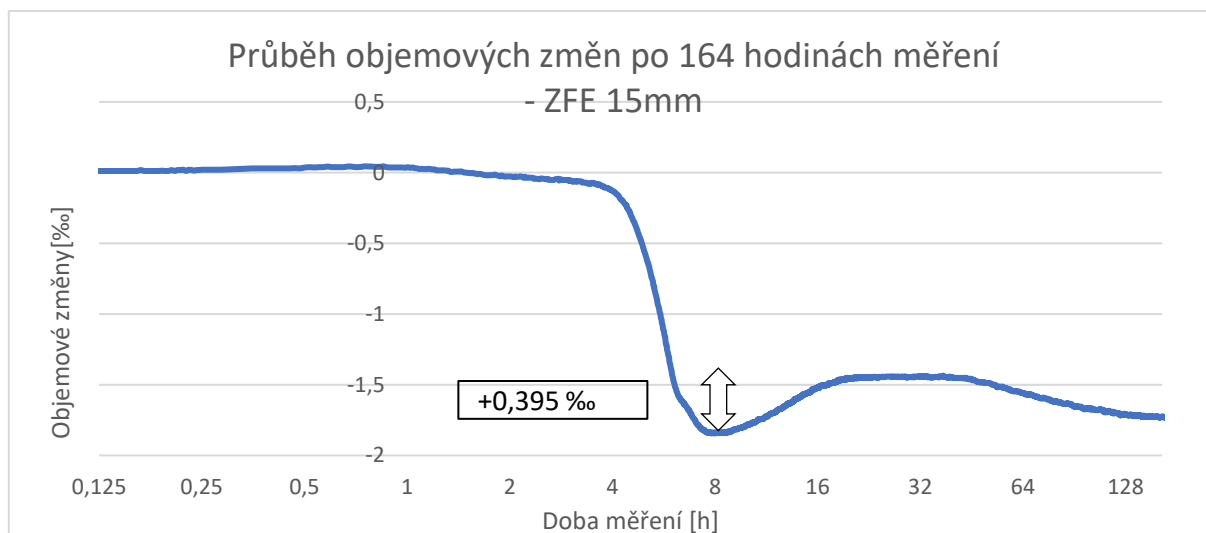


Graf 33: Vyobrazení objemových změn ve vzorku SZFE po 164 hodinách měření

Vzorek ZFE tloušťka 15 mm

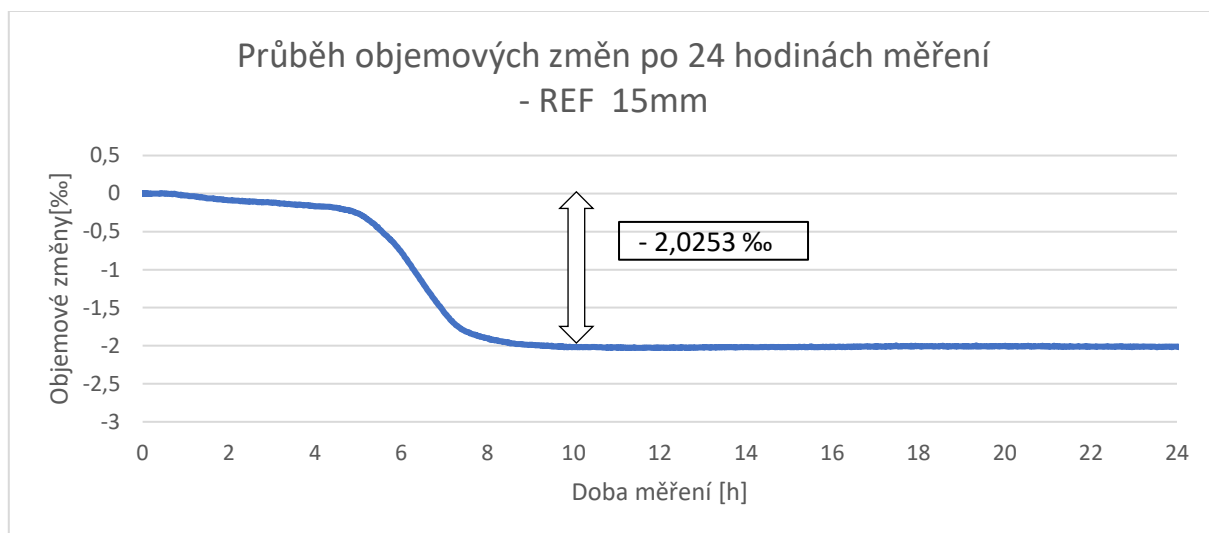


Graf 34: Vyobrazení objemových změn ve vzorku ZFE po 24 hodinách měření

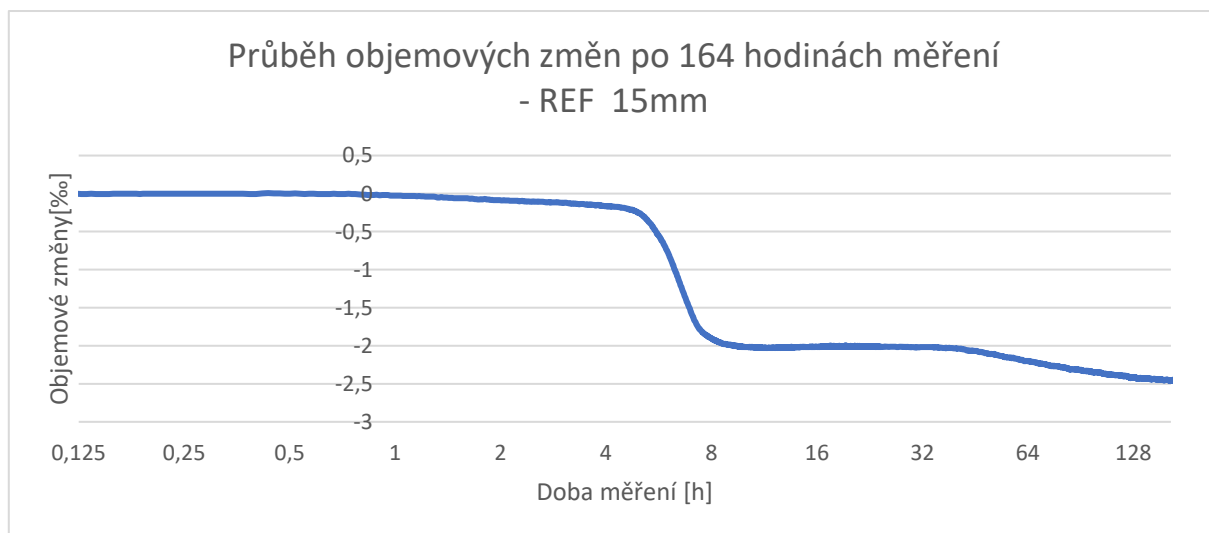


Graf 35: Vyobrazení objemových změn ve vzorku ZFE po 164 hodinách měření

Vzorek REF tloušťka 15 mm



Graf 36: Vyobrazení objemových změn ve vzorku REF po 24 hodinách měření

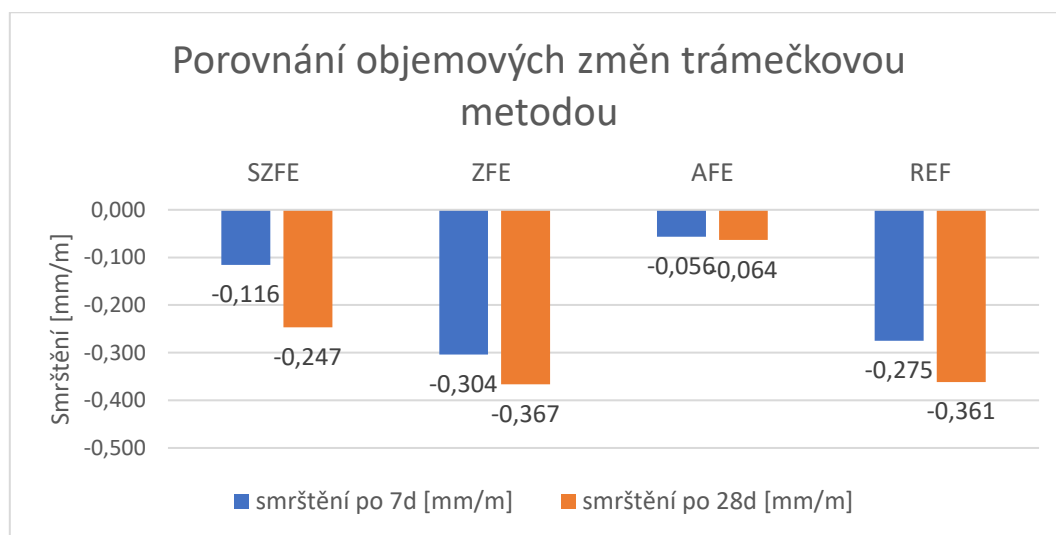


Graf 37: Vyobrazení objemových změn ve vzorku REF po 164 hodinách měření

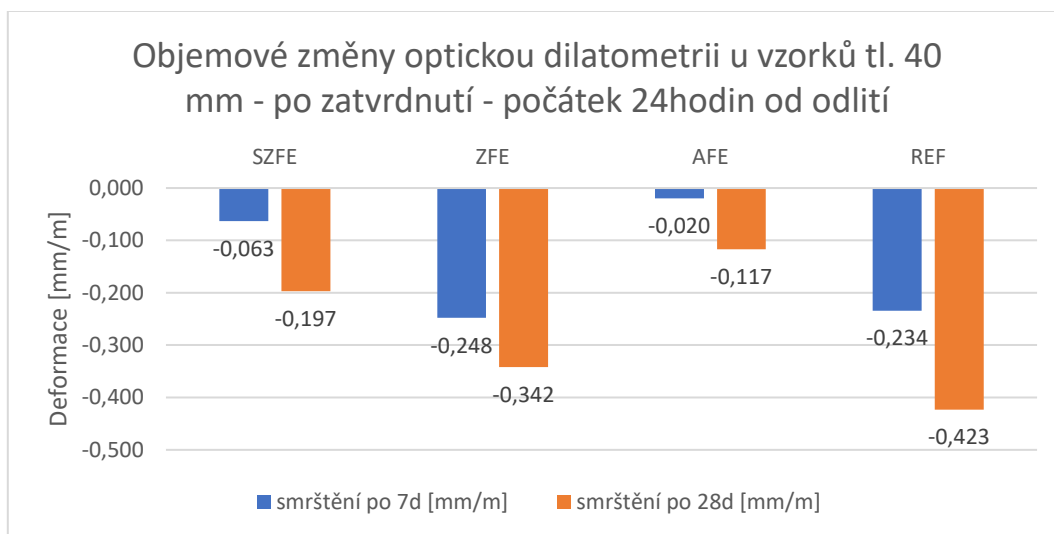
5.6.3 Shrnutí a závěr

Z grafického vyhodnocení, které bylo provedeno optickou dilatometrií můžeme sledovat velikost plastického smrštění a expanze u jednotlivých vzorků, již od prvních minut jejich aplikace. Největší plastické smrštění bylo zaznamenáno u vzorku REF a to 2,021 ‰, vzorek REF neobsahuje žádné expanzní složky, a proto zde nebyla zaznamenána expanze. U vzorku ZFE bylo dosaženo téměř stejného plastického smrštění jako u vzorku REF, vlivem expanzní přísady docházelo ve struktuře vzorku ke vzniku velkého portlanditu, díky tomu došlo k expanzi o velikost 0,395 ‰. U vzorku SZFE bylo plastické smrštění 1,112 ‰, u tohoto vzorku docházelo k expanzi vlivem cíleného vzniku ettringitu, díky vzniku tohoto minerálu došlo k expanzi o velikosti 0,401 ‰. Nejmenší plastické smrštění bylo zaznamenáno u vzorku AFE a to 0,065 ‰, u tohoto vzorku došlo k expanzi vlivem vzniku sádrovce, velikost expanze byla 0,238 ‰.

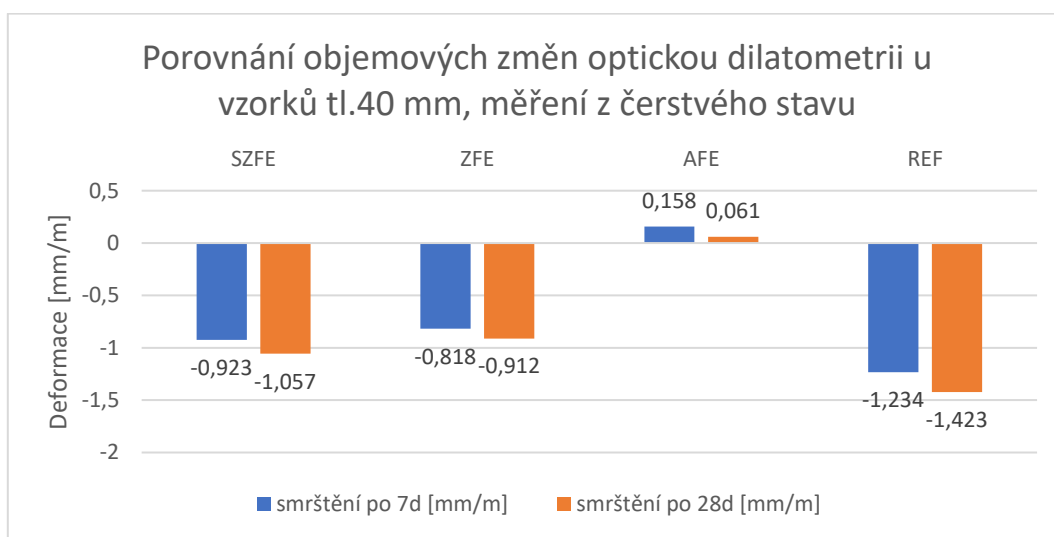
5.6.4 Porovnání objemových změn metodou dle ČSN EN 13 872 (trámečkového smrštění) a optickou dilatometrií



Graf 38: Porovnání objemových změn u všech vzorků při měření trámečkovou metodou dle ČSN EN 13 872



Graf 39: Porovnání objemových změn u všech vzorků tl. 40 mm při měření optickou dilatometrií - počátek 24 hodin od odlití



Graf 40: Porovnání objemových změn u všech vzorků tl. 40 mm při měření optickou dilatometrií - měření z čerstvého stavu

Tabulka 44: Porovnání objemových změn u vzorků při tloušťce 40 mm dle ČSN EN 13 872 a optickou dilatometrií

Vzorky	Objemové změny u vzorků při tloušťce 40 mm		
	Dle ČSN EN 13 872	Optické dilatometrie	
	28denní smrštění	28denní smrštění (měření od 24 hodin po odlití)	28denní smrštění (hodnoty od počátku měření)
SZFE	-0,247	-0,192	-1,057
ZFE	-0,367	-0,346	-0,912
AFE	-0,064	-0,117	0,061
REF	-0,361	-0,421	-1,423

5.6.5 Shrnutí a závěr

Při porovnání 28denního smrštění vzorků měřené pomocí metody dle ČSN EN 13 872 (trámečková metoda) a metodou optické dilatometrie (měření od 24 hodin po odlití), bylo smrštění u všech vzorků téměř totožné. U těchto měření není zachyceno plastické smrštění a expanze vzorků, tyto objemové změny probíhají během počátečních hodin zrání. Pokud tedy porovnáme hodnoty optickou dilatometrií, kdy měření objemových změn započalo již po vylití vzorku, můžeme sledovat, že smrštění je několikanásobně větší. Pouze u vzorku AFE nedošlo ke smrštění při měření v 28 dnech, protože expanze tohoto vzorku je větší než jeho počáteční plastické smrštění a také smrštění které nastalo do 28dnů od aplikace.

5.7 Zkušební přístroj Tensograf TGF 02

5.7.1 Popis měření

Dle technického listu Tensografu TGF-02 [32] se jedná o unikátní přístroj, který je určen především pro měření napětí a objemových změn u podlahových systémů (epoxidových, polyuretanových nebo silikátových). Tento přístroj je vhodný pro měření potěrových materiálů od aplikace směsi až po její vyvrálý stav. Tensograf TGF-02 je sestaven tak, aby bylo možné vytvořit zkušební vzorek přímo v přístroji.

Po želatinaci vzorku můžeme v jedné ose měřit:

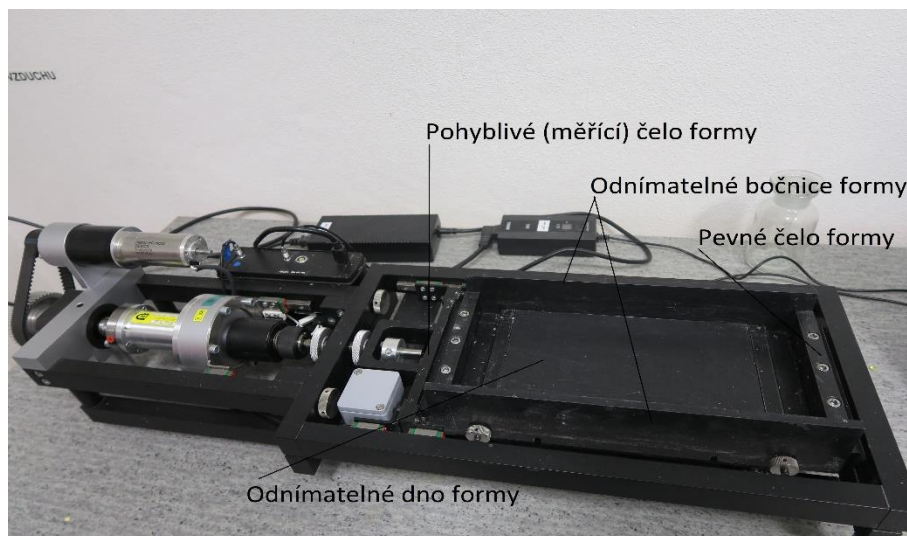
- napjatost od smršťování při vytvrzování vzorku nebo/a teplotních změn,
- vliv exotermní reakce na vnitřní napětí vzorku,
- zjištění zbytkového smrštění,
- při změnách teploty okolí lze měřit koeficient teplotní roztažnosti v rozmezí teplot, kterým bude zkoumaná hmota vystavena,
- modul pružnosti pro různé teploty okolí,
- vliv stárnutí na vlastnosti zkoumané hmoty.

Program přístroje je vytvořen pro měření ve dvou režimech:

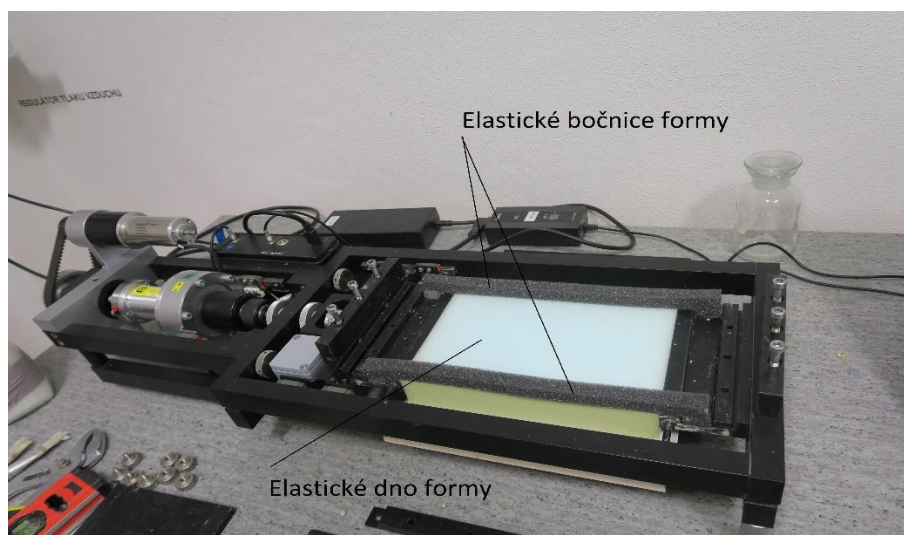
- Režim konstantní délky vzorku: v tomto měřícím režimu přístroj zaznamenává velikost napětí, které vzniká při zrání zkušební vzorku.
- Režim konstantního napětí: v tomto měřícím režimu přístroj zaznamenává délkové změny zkušební vzorku v průběhu jeho zrání.

5.7.2 Výsledky a vyhodnocení měření napětí a objemových změn

Pro měření použitých samonivelačních potěrů bylo zapotřebí upravit měřící formu Tensografu TGF-02. Po vylití vzorku do formy docházelo při vytvrzování vzorku k „zaseknutí“ ve formě a díky tomu docházelo k přerušení měření. Proto byly bočnice a dno formy nahrazeny elastickým polyuretanem, který byl použit při vytvoření elastických PUR forem pro pevnostní zkoušky. Měřící forma Tensografu TGF-02 před a po úpravě je znázorněna na obrázku 35 a 36.



Obrázek 35: Původní neupravená forma přístroje TGF-02



Obrázek 36: Upravená forma přístroje TGF-02

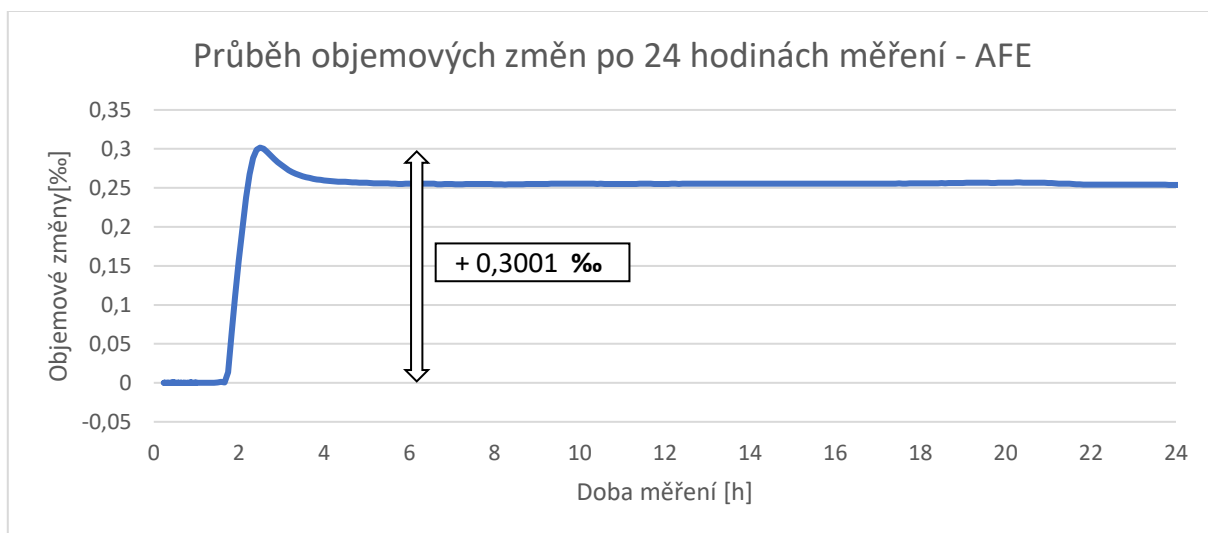
Měření na přístroji TGF-02 probíhalo ve dvou režimech:

- Režim konstantního napětí,
- Režim konstantní deformace.

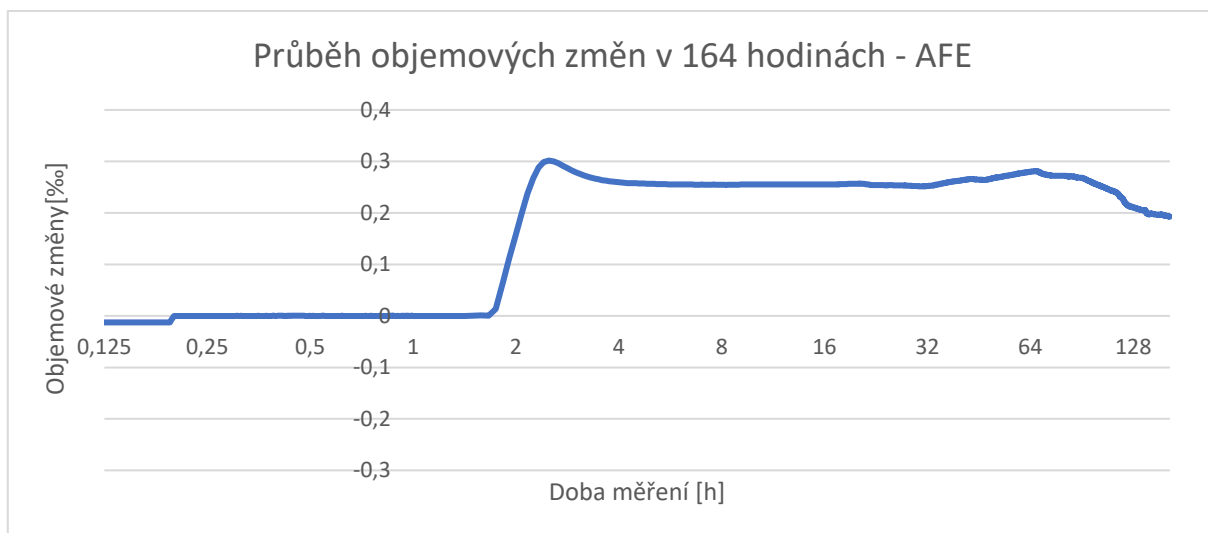
5.7.2.1 Měření deformace – režim konstantního napětí

V režimu konstantního napětí byla na vzorcích měřeny jejich objemové změny v průběhu zrání. V počátečních hodinách od vylití zkušebních vzorku bylo měřeno plastické smrštění a expanze. Tyto objemové změny probíhaly přibližně v prvních 24 hodinách zrání. Poté byly měřeny objemové změny zapříčiněné chemickým, autogenním smrštěním a smrštěním vysycháním.

Vzorek AFE

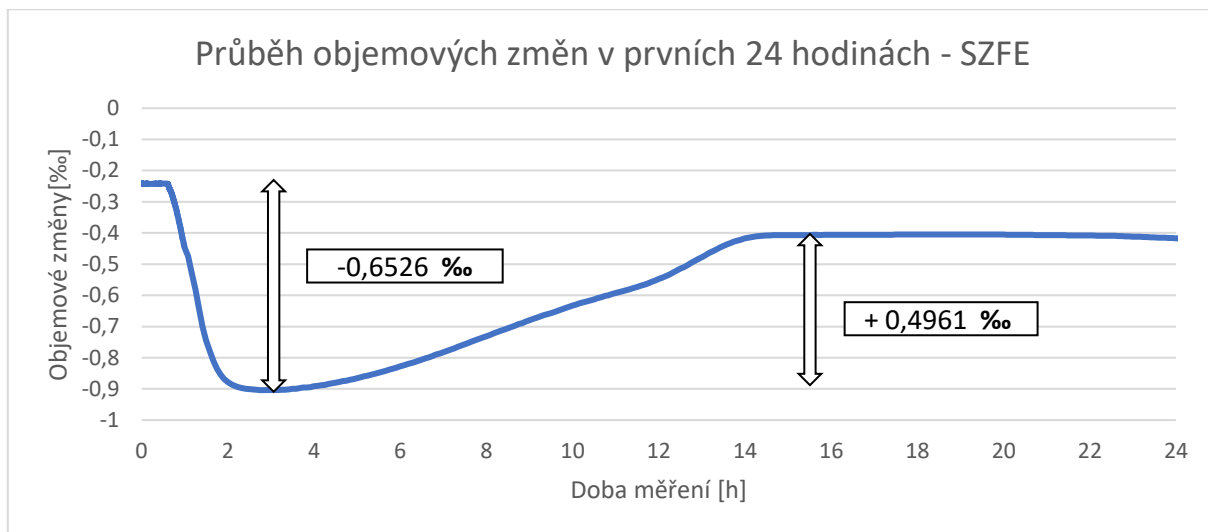


Graf 41: Vyobrazení objemových změn ve vzorku AFE po 24 hodinách měření

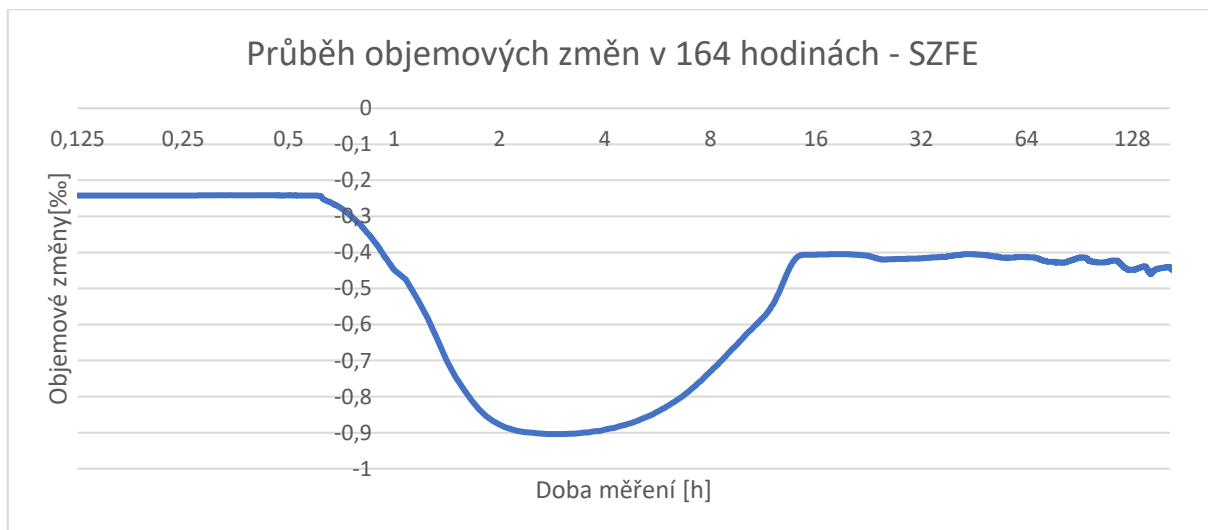


Graf 42: Vyobrazení objemových změn ve vzorku AFE po 164 hodinách měření

Vzorek SZFE

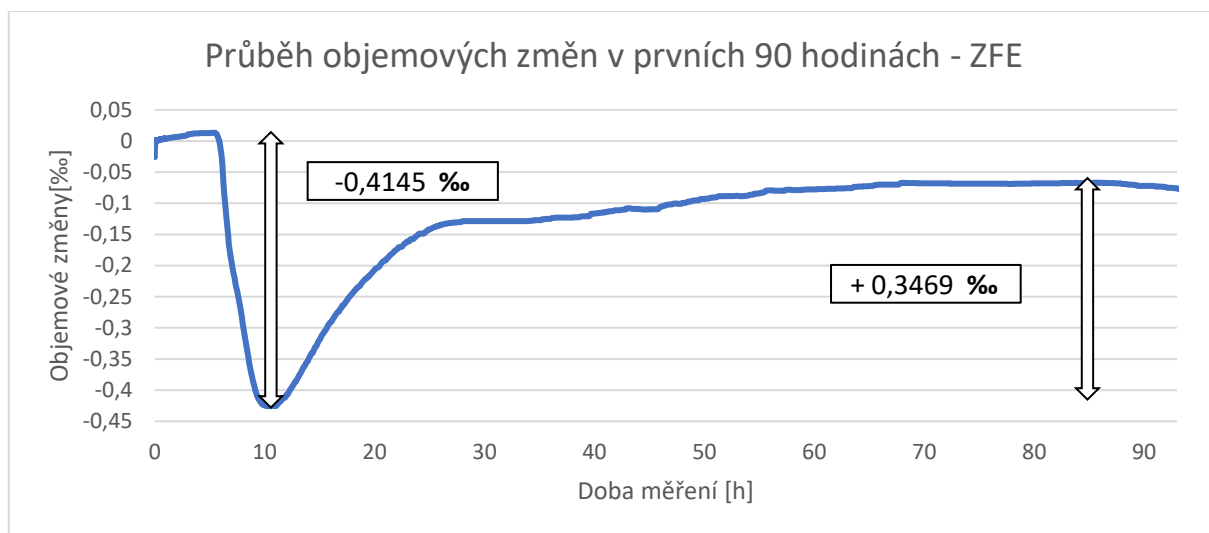


Graf 43: Vyobrazení objemových změn ve vzorku SZFE po 24 hodinách měření

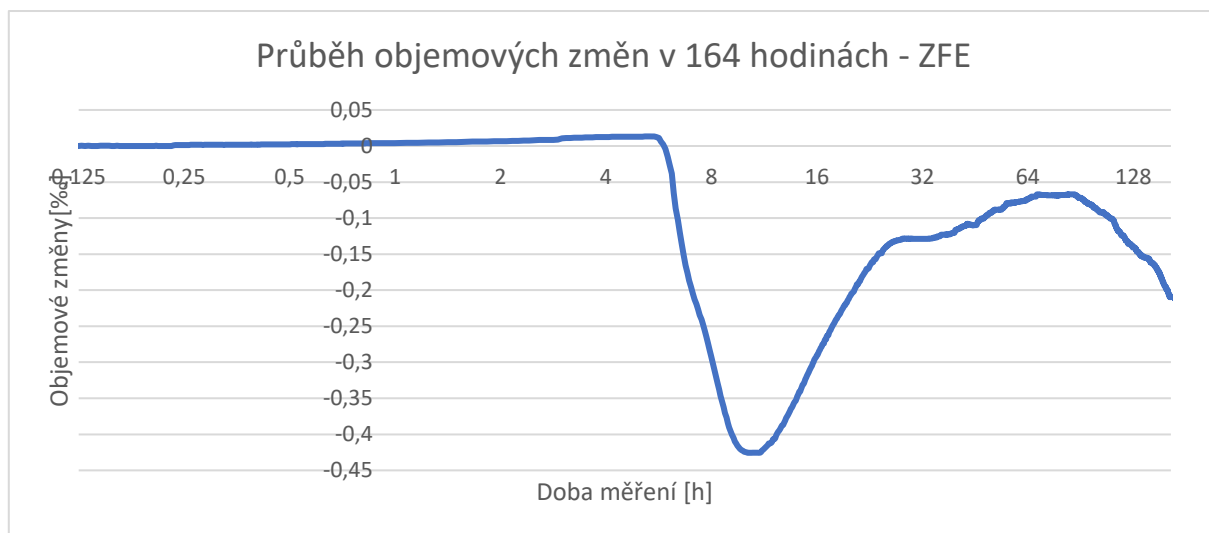


Graf 44: Vyobrazení objemových změn ve vzorku SZFE po 164 hodinách měření

Vzorek ZFE

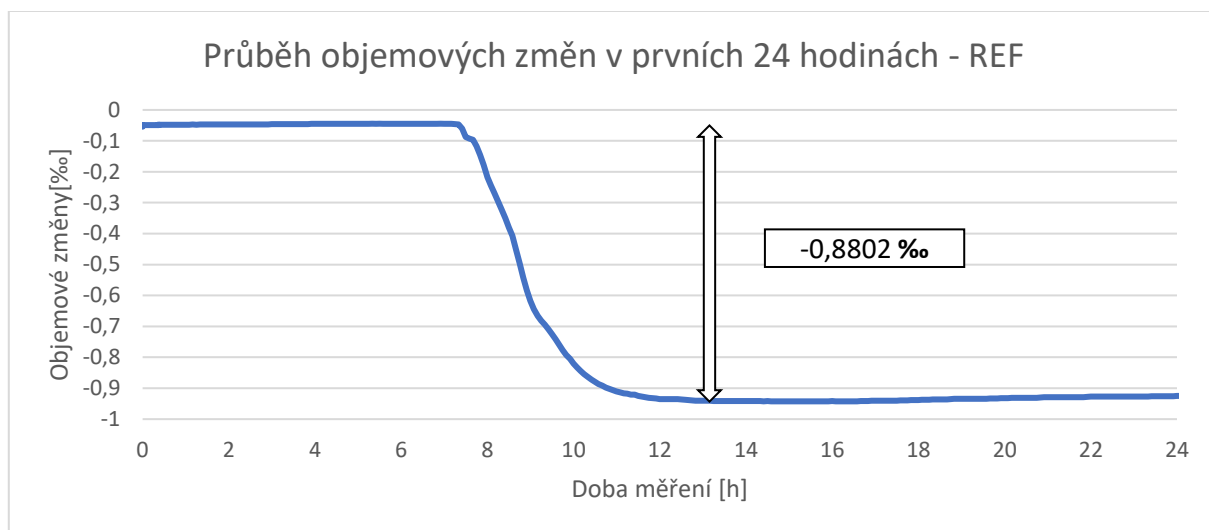


Graf 45: Vyobrazení objemových změn ve vzorku ZFE po 90 hodinách měření

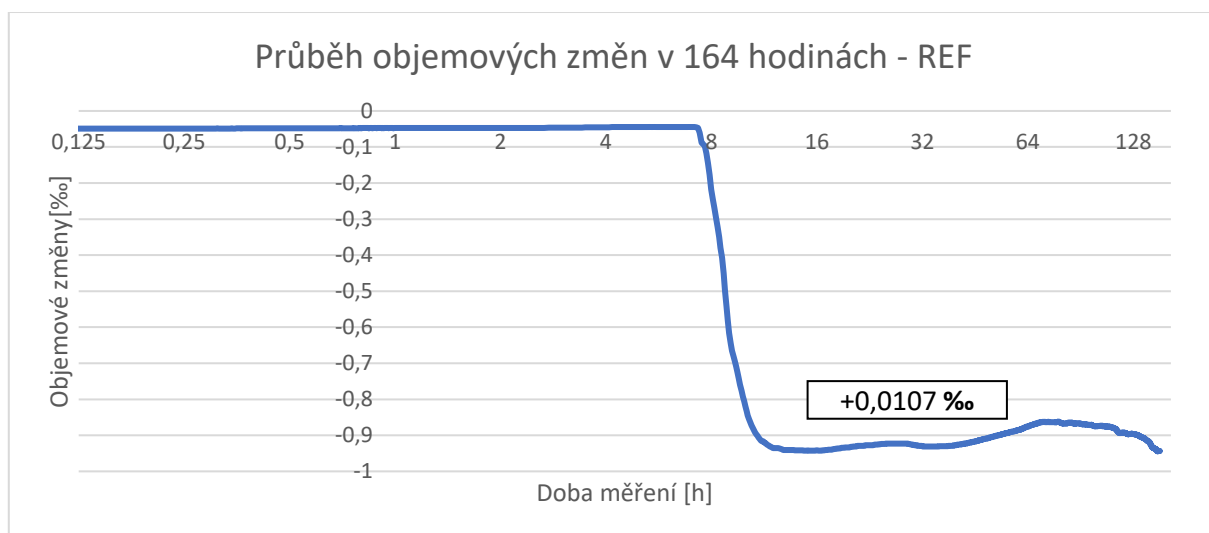


Graf 46: Vyobrazení objemových změn ve vzorku ZFE po 164 hodinách měření

Vzorek REF



Graf 47: Vyobrazení objemových změn ve vzorku REF po 24 hodinách měření



Graf 48: Vyobrazení objemových změn ve vzorku REF po 164 hodinách měření

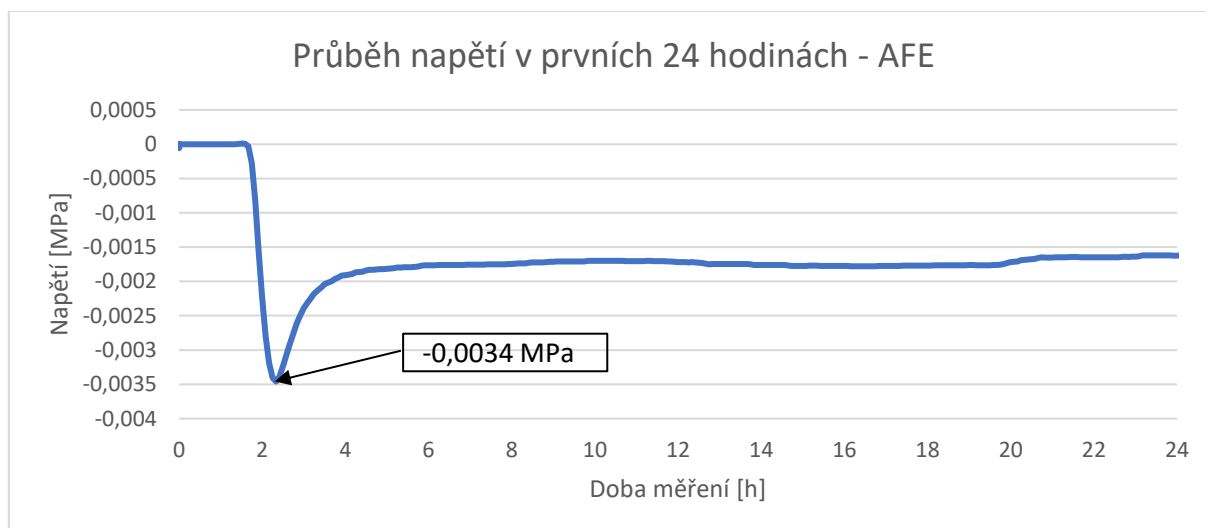
5.7.2.2 Shrnutí a závěr

Při měření objemových změn přístrojem Tensograf TGF-02 bylo největší plastické smrštění zaznamenáno u vzorku REF a to 0,8802 ‰, expanze u tohoto vzorku byla pouze 0,0107 ‰. U vzorku ZFE bylo zaznamenáno plastické smrštění o velikosti 0,4145 ‰, oproti vzorku REF došlo k počátku plastického smrštění přibližně o 3 hodiny dříve. Velikost expanze byla u vzorku ZFE 0,3469 ‰. U vzorku SZFE došlo k počátku plastického smrštění již po 45 minutách od aplikace vzorku, velikost plastického smrštění bylo 0,6526 ‰. U vzorku SZFE byla zaznamenána největší expanze a to 0,4961 ‰, oproti vzorkům REF a ZFE došlo k počátku expanze již po 3 hodinách od počátku měření. U vzorku AFE nebylo zaznamenáno žádné plastické smrštění, k plastickému smrštění došlo téměř ihned po aplikaci vzorku, u přístroje dochází po aplikaci vzorku ke kalibraci a díky tomu nebylo plastické smrštění zaznamenáno. K expanzi u vzorku AFE došlo po 1,75 hodinách od aplikace vzorku, byla naměřena expanze o velikost 0,3001 ‰.

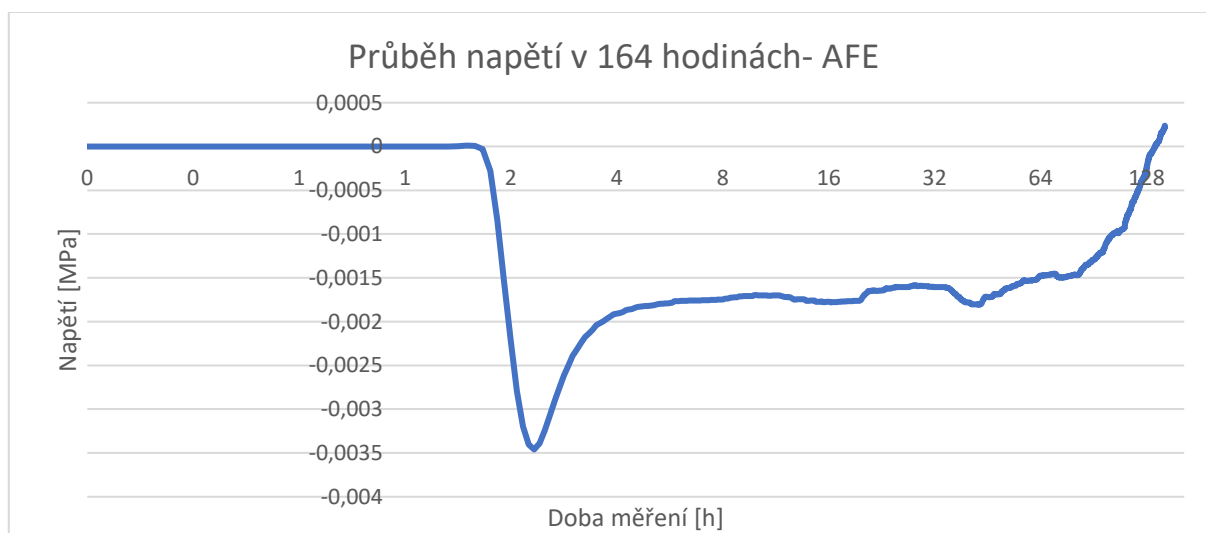
5.7.2.3 Měření napjatosti – režim konstantní deformace

V režimu konstantní deformace byla ve vzorcích měřena jejich napjatost neboli napětí, které vzniká ve vzorku při jeho zrání. V tomto režimu bylo pohyblivé čelo přístroje zablokováno (nemohlo tedy docházet k délkovým změnám) a bylo měřeno napětí, které ve vzorku vznikalo vlivem smrštění nebo expanze.

Vzorek AFE

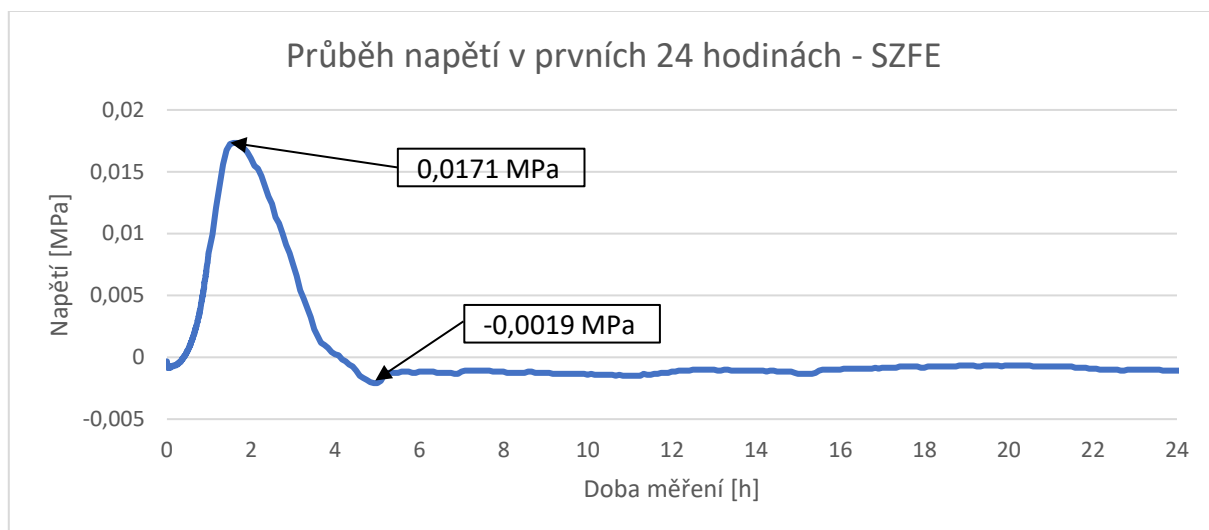


Graf 49: Vyobrazení napětí ve vzorku AFE po 24 hodinách měření

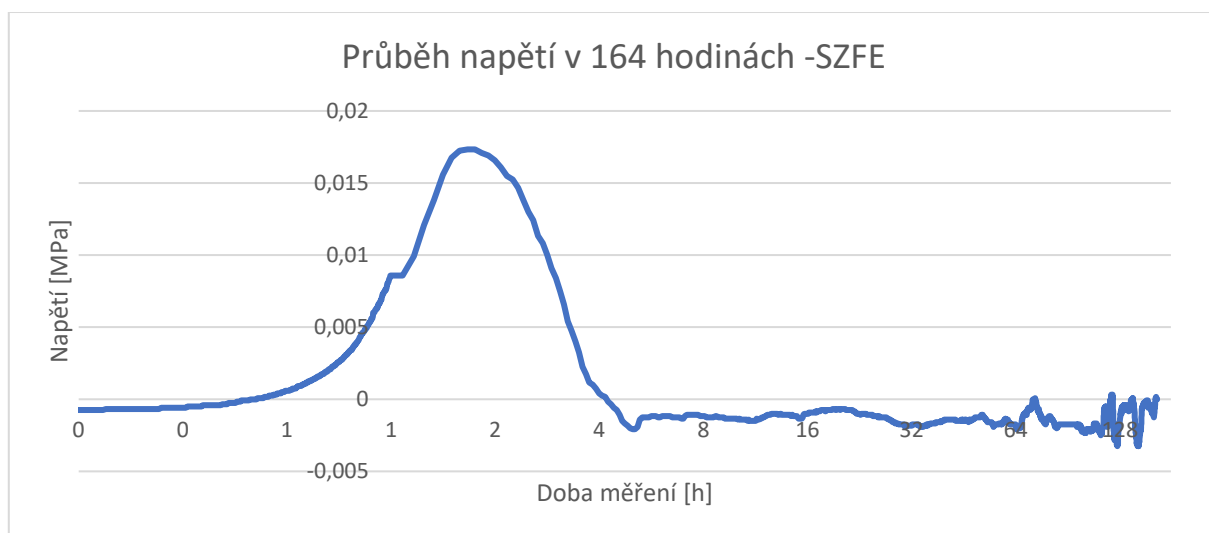


Graf 50: Vyobrazení napětí ve vzorku AFE po 164 hodinách měření

Vzorek SZFE

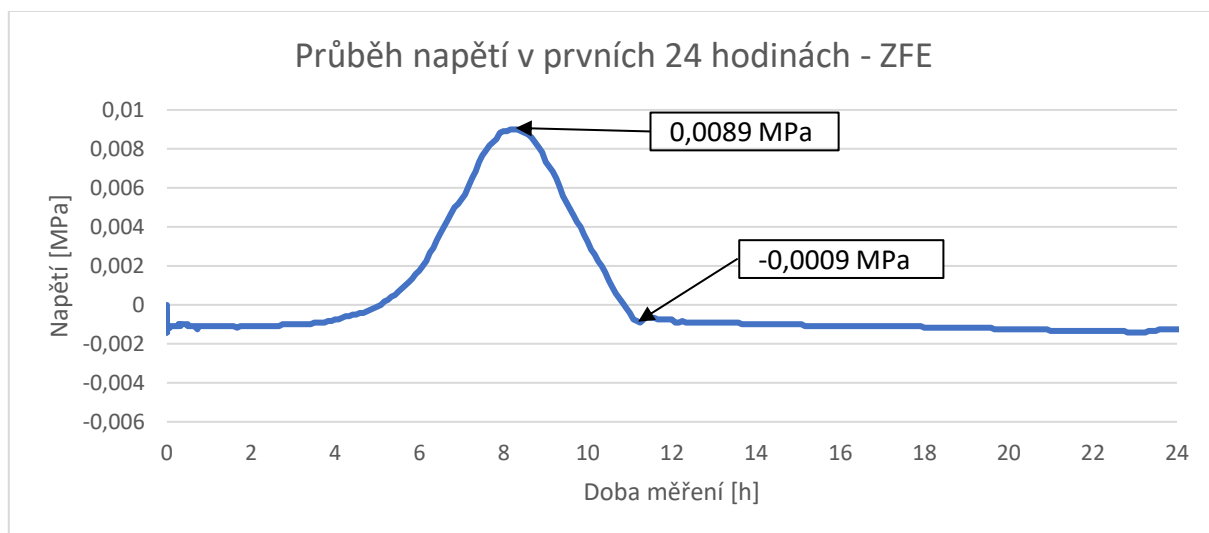


Graf 51: Vyobrazení napětí ve vzorku SZFE po 24 hodinách měření

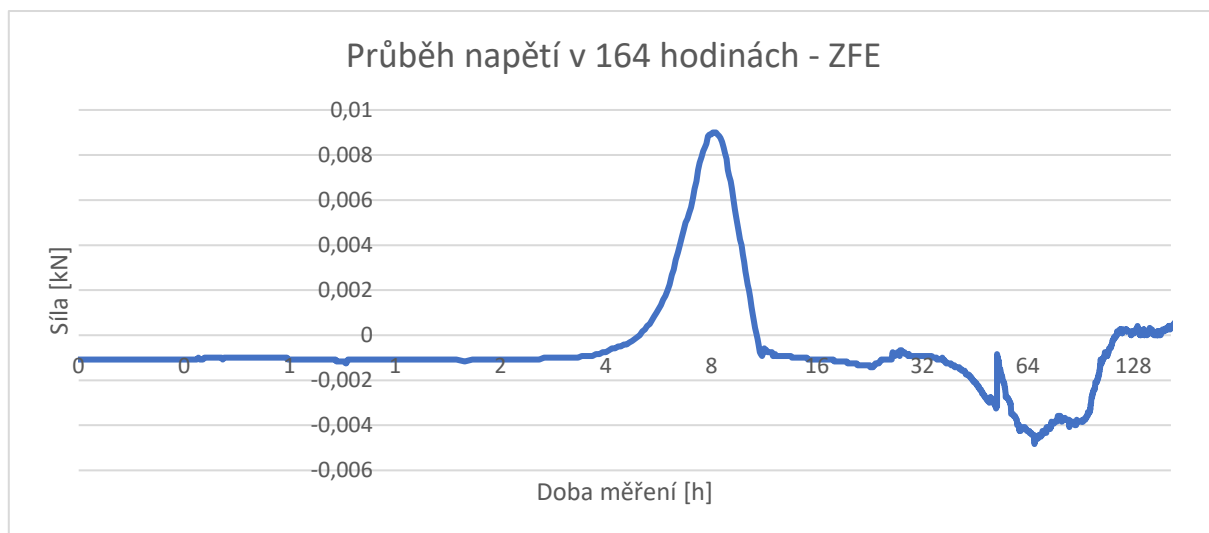


Graf 52: Vyobrazení napětí ve vzorku SZFE po 164 hodinách měření

Vzorek ZFE

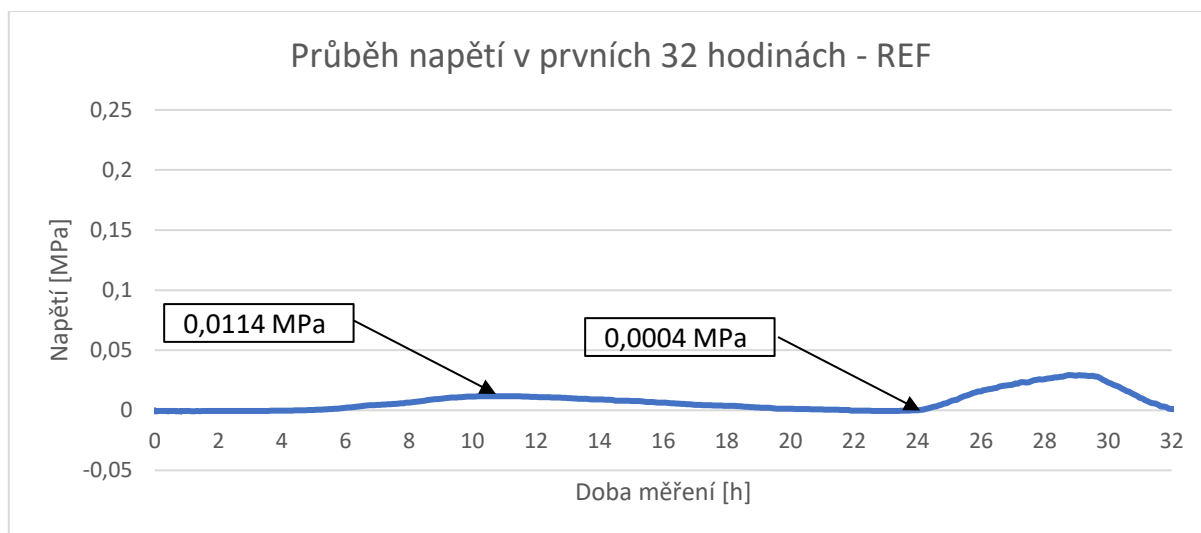


Graf 53: Vyobrazení napětí ve vzorku ZFE po 24 hodinách měření

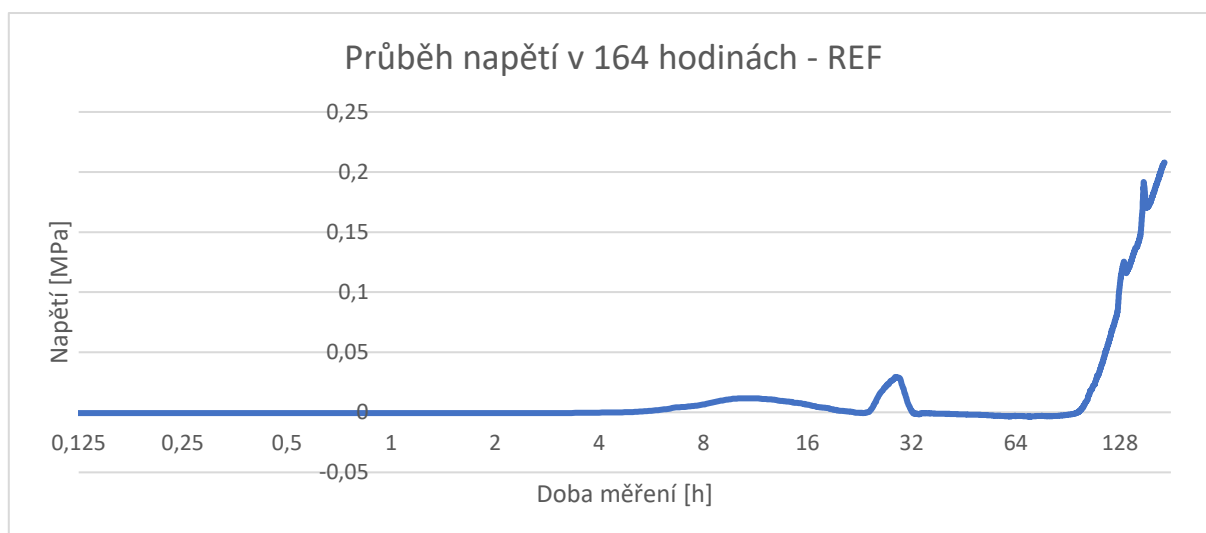


Graf 54: Vyobrazení napětí ve vzorku ZFE po 168 hodinách měření

Vzorek REF



Graf 55: Vyobrazení napětí ve vzorku REF po 32 hodinách měření



Graf 56: Vyobrazení napětí ve vzorku REF po 164 hodinách měření

5.7.2.4 Shrnutí a závěr

Při měření napjatosti vzorků bylo sledováno napětí, které je ve vzorku při maximálním plastickém smrštění a při maximální expanzi vzorku. Při porovnání těchto hodnot, můžeme sledovat několikanásobně vyšší napětí vzorku při plastickém smrštění. Největší napětí při maximálním plastickém smrštění bylo zaznamenáno u vzorku SZFE (17,1 kPa). Nejnižší napětí bylo ve vzorku ZFE (8,9 kPa), u vzorku AFE nebylo zachyceno plastické smrštění. Největší napětí při expanzi bylo naměřeno u vzorku AFE (3,4 kPa), nejnižší napětí bylo naměřeno u vzorku REF (0,4 kPa).

5.7.2.5 Porovnání objemových změn a napětí při měření na Tensografu TGF-02 a optickou dilatometrií

Porovnávané hodnoty plastického smrštění a expanze byly použity z měření na Tensografu TGS-02 a optického dilatometru. Hodnoty byly měřeny na vzorcích o tloušťce 15 mm, vzorky z optické dilatometrie byly uloženy v bezvětrí při teplotě vzduchu 22 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. Při měření na Tensografu nemohlo být zajištěno stabilní prostředí.

Tabulka 45: Porovnání plastického smrštění a expanze při měření na přístroji Tensograf TGF-02 a optickém dilatometru

Materiál	Plastické smrštění [‰]		Expanze [‰]	
	Tensograf TGS 02	Optický dilatometr	Tensograf TGS 02	Optický dilatometr
AFE	-	-0,0646	0,3001	0,2378
SZFE	-0,6526	-1,1186	0,4961	0,4002
ZFE	-0,4145	-1,8442	0,3469	0,3950
REF	-0,8802	-2,0253	0,0107	0,0115

Tabulka 46: Porovnání plastického smrštění s napjatostí v bodě maximálního smrštění

Materiál	Plastické smrštění [‰]		napjatost [KPa]
	Tensograf TGS 02	Optický dilatometr	Tensograf TGS 02
AFE	-	-0,0646	0
SZFE	-0,6526	-1,1186	17,1
ZFE	-0,4145	-1,8440	8,9
REF	-0,8802	-2,0253	11,4

Tabulka 47: Porovnání expanze s napjatostí v bodě maximální expanze

Materiál	Expanze [‰]		Napjatost [KPa]
	Tensograf TGS 02	Optický dilatometr	Tensograf TGS 02
AFE	0,3001	0,2378	3,4
SZFE	0,4961	0,4002	1,9
ZFE	0,3469	0,3950	0,9
REF	0,0107	0,0115	0,4

Tabulka 48: Porovnání smrštění po 164 hodinách

Materiál	Smrštění po 164 hodinách [‰]		Napjatost [kPa]
	Tensograf TGS 02	Optický dilatometr	Tensograf TGS 02
AFE	0,193	0,0738	0,19
SZFE	-0,193	-0,831	0,33
ZFE	-0,210	-1,731	0,49
REF	-0,943	-2,464	2,00

Tabulka 49: Porovnání počátku a vrcholu expanze v časovém měřítku

Materiál	Tensograf TGS 02				Optický dilatometr	
	Deformace		Napětí		Deformace	
	Počátek expanze [h]	vrchol expanze [h]	Počátek expanze [h]	vrchol expanze [h]	Počátek expanze [h]	vrchol expanze [h]
AFE	1,75	2,66	1,66	2,33	1,87	2,98
SZFE	3,08	14,50	1,74	5,08	3,10	8,60
ZFE	10,40	77,60	8,33	11,25	7,98	43,86

5.7.2.6 Shrnutí a závěr

Při porovnání objemových změn, které byly naměřeny přístrojem Tensograf TGS-02 a optickou dilatometrií, si můžeme povšimnout rozdílných hodnot plastického smrštění, toto smrštění bylo optickou dilatometrií naměřeno několikanásobně vyšší než u Tensografu TGS-02. Při porovnání expanze, můžeme říci, že hodnoty se od sebe výrazně neliší. Díky tomuto porovnání můžeme konstatovat, že přístroj Tensograf TGS-02 není vhodný pro měření počátečních objemových změn samonivelačních materiálů, které nastávají ve vzorku ihned po aplikaci. Při porovnání napětí a objemových změn, můžeme sledovat u hodnot naměřených po 164 hodinách, že čím větší je smrštění vzorku, tím větší je hodnota napětí.

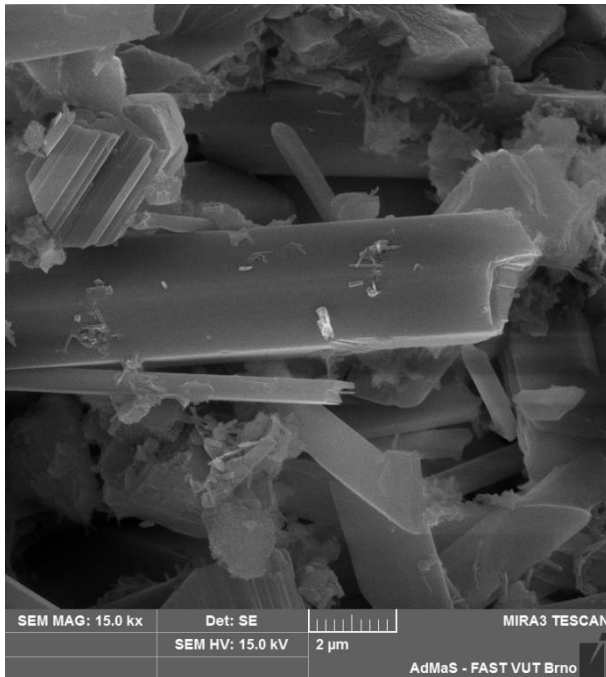
5.8 Porovnání mikrostruktury materiálů metodou rastrovací elektronové mikroskopie (REM)

5.8.1 Popis prováděné zkoušky

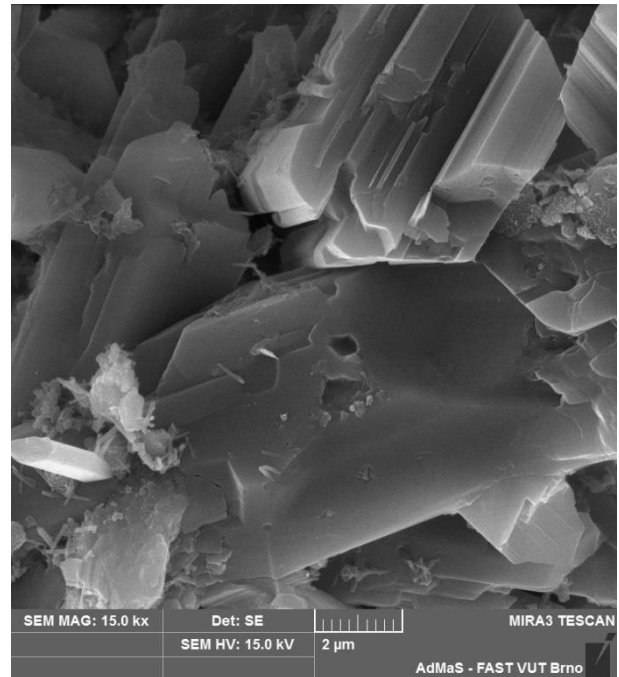
K porovnání mikrostruktury samonivelačních potěrů s rozdílnou pojivovou koncepcí, byla použita rastrovací elektronová mikroskopie. Tato metoda byla provedena na trámečcích použitých pro pevnostní zkoušky. Byly porovnávány dva vzorky od každé pojivové koncepce, kde zrání prvního vzorku proběhlo v normové kovové formě dále jako (E) a zrání druhého vzorku v elastické PUR formě (M). Mezi těmito vzorky byly sledovány rozdílnosti v mikrostrukturu, díky kterým dochází u vzorku z elastických PUR forem k výrazným poklesům pevnosti v tlaku oproti vzorkům vytvrzených v normových kovových formách. Analýza byla provedena v souladu s metodickým postupem VUT FAST, 30-33/1.

5.8.2 Výsledky a vyhodnocení

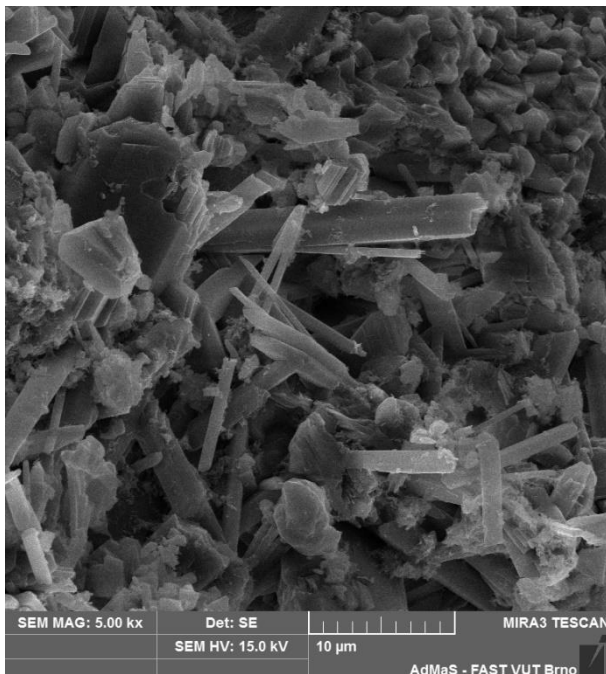
Vzorek AFE



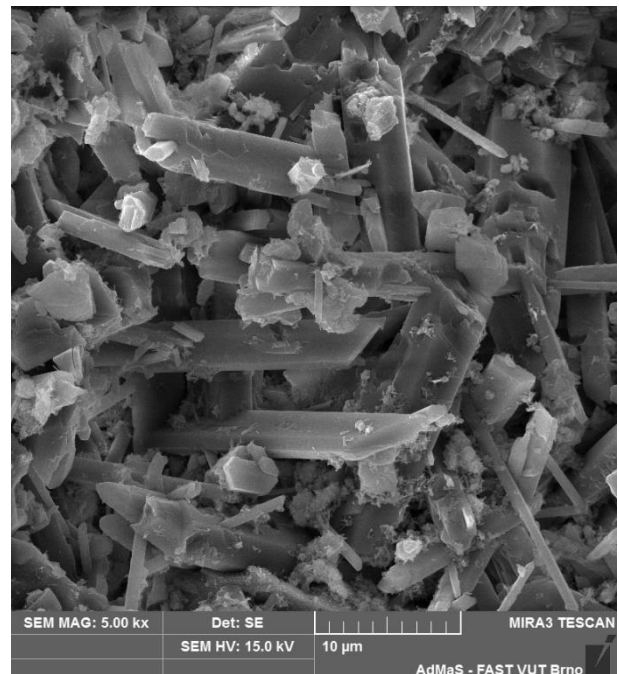
Obrázek 37: Fotografie REM vzorku AFE-K, zvětšení 15 000 x



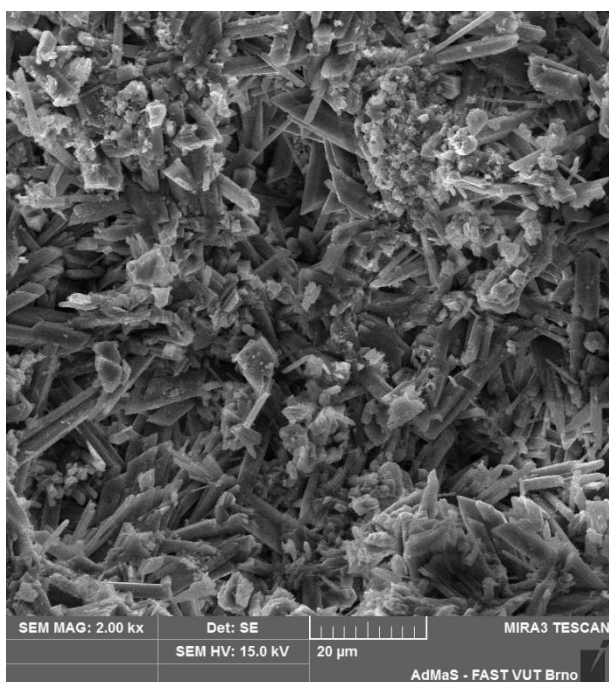
Obrázek 38: Fotografie REM vzorku AFE-E, zvětšení 15 000 x



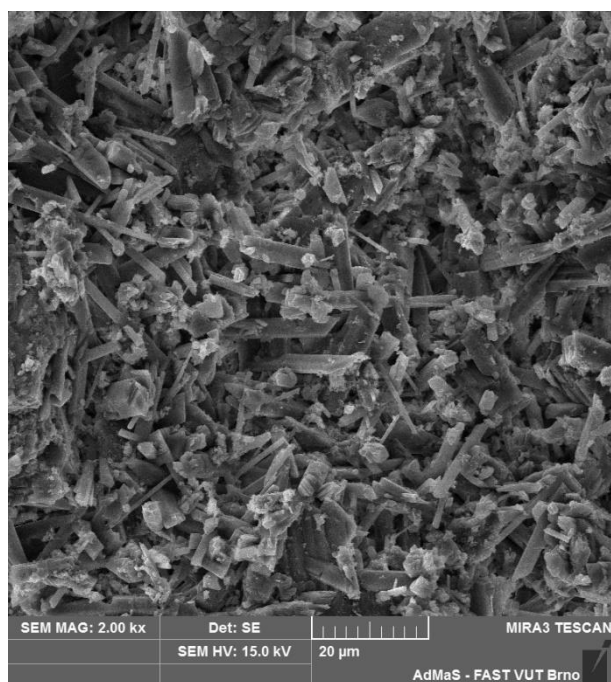
Obrázek 39: Fotografie REM vzorku AFE-K, zvětšení 5 000 x



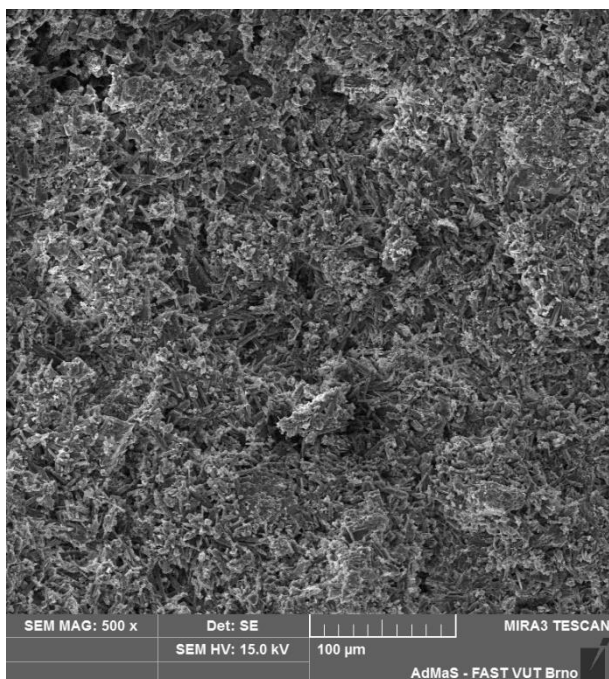
Obrázek 40: Fotografie REM vzorku AFE-E, zvětšení 5 000 x



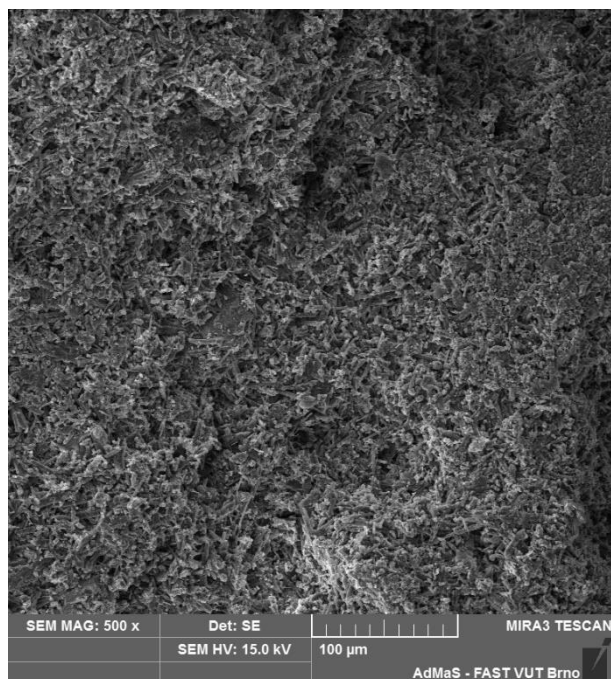
Obrázek 41: Fotografie REM vzorku AFE-K, zvětšení 2 000 x



Obrázek 42: Fotografie REM vzorku AFE-E, zvětšení 2 000 x

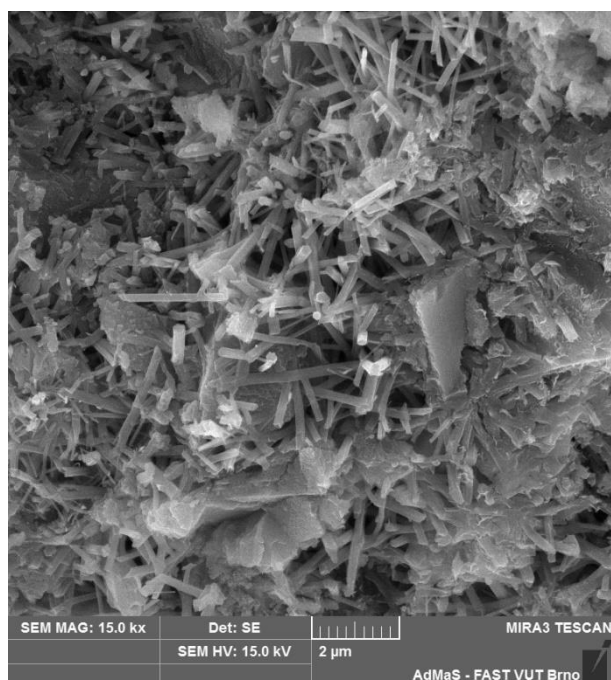


Obrázek 42: Fotografie REM vzorku AFE-K, zvětšení 500 x

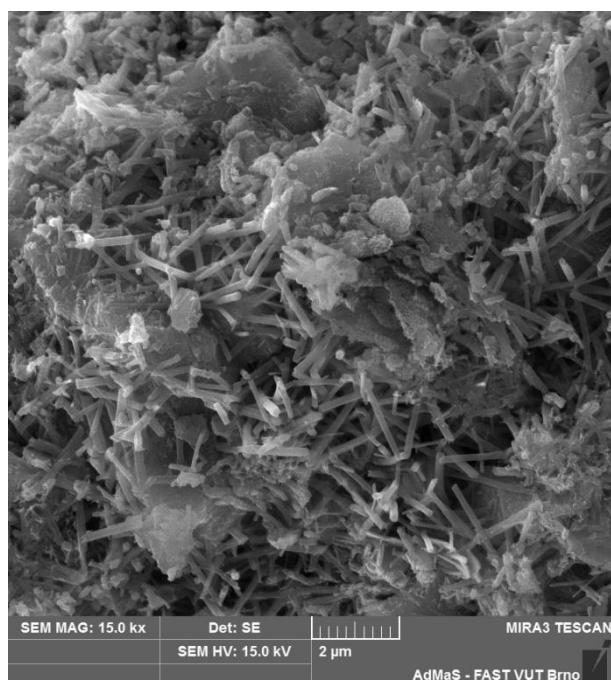


Obrázek 43: Fotografie REM vzorku AFE-E, zvětšení 500 x

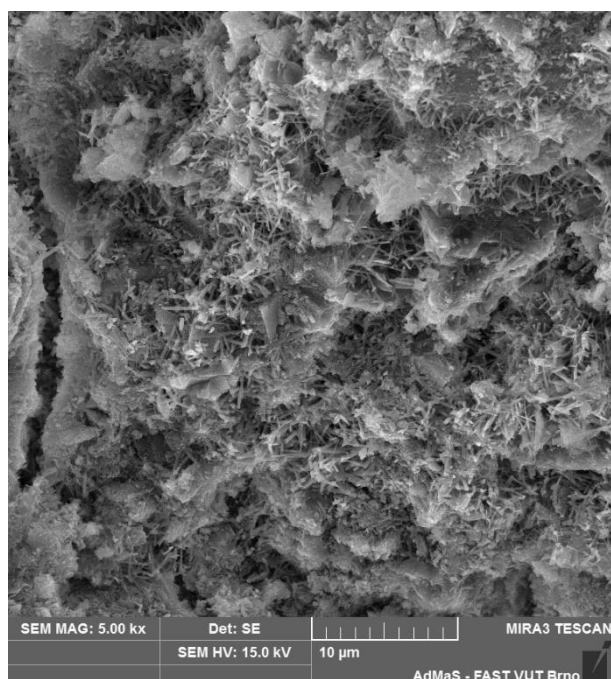
Vzorek SZFE



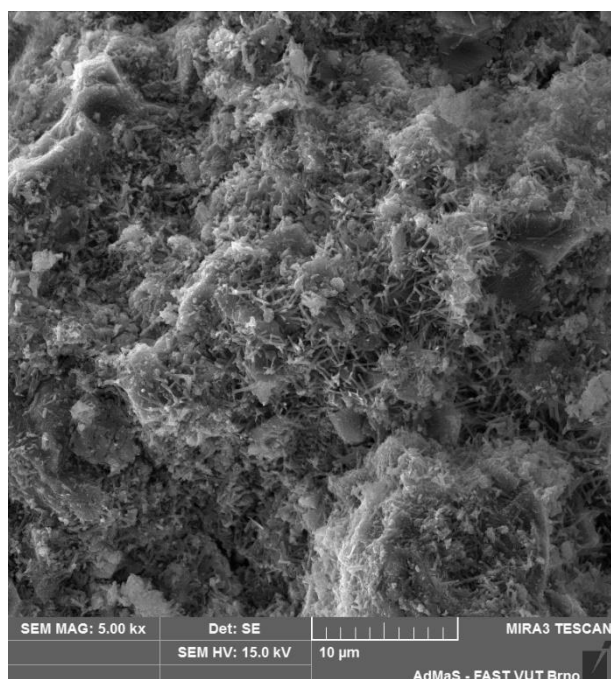
Obrázek 44: Fotografie REM vzorku SZFE-K, zvětšení 15 000 x



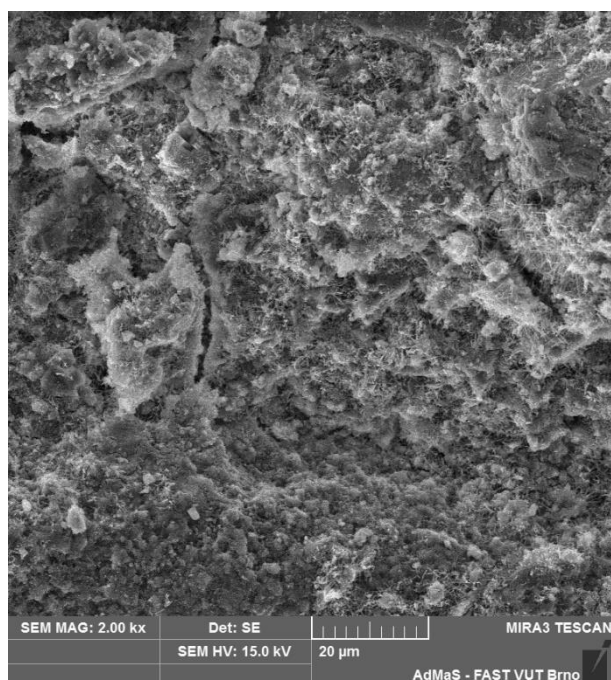
Obrázek 45: Fotografie REM vzorku SZFE-E, zvětšení 15 000 x



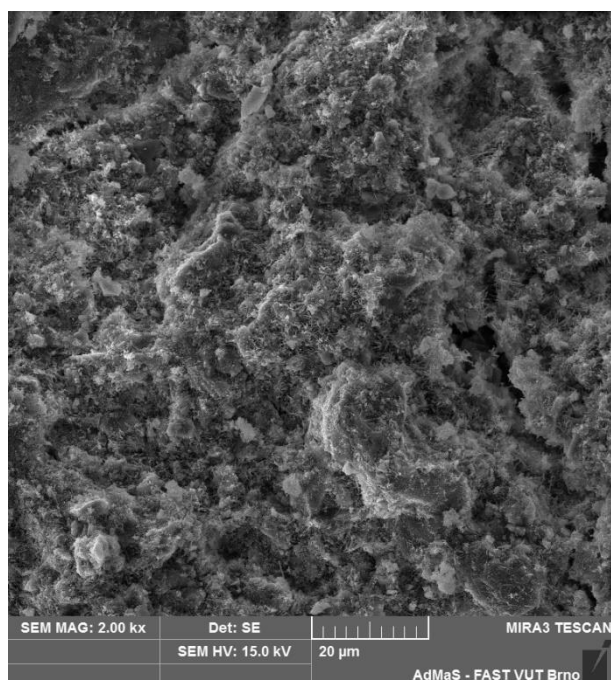
Obrázek 46: Fotografie REM vzorku SZFE-K, zvětšení 5 000 x



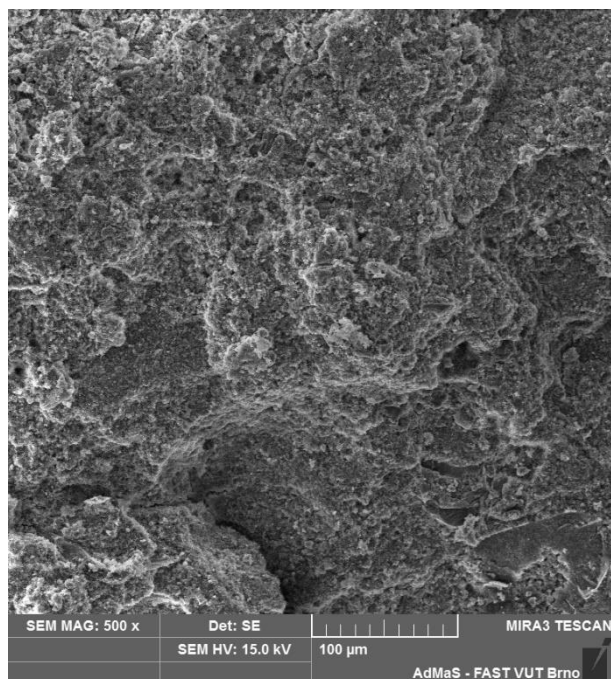
Obrázek 47: Fotografie REM vzorku SZFE-E, zvětšení 5 000 x



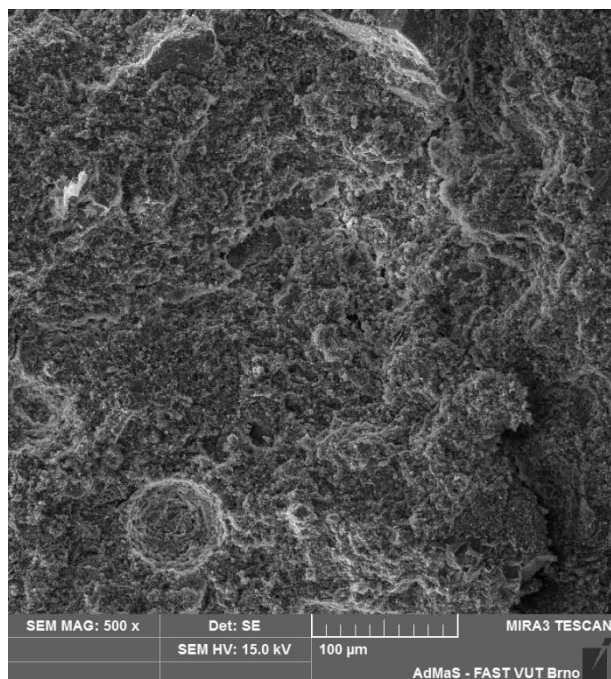
Obrázek 48: Fotografie REM vzorku SZFE-K, zvětšení 2 000 x



Obrázek 49: Fotografie REM vzorku SZFE-E, zvětšení 2 000 x

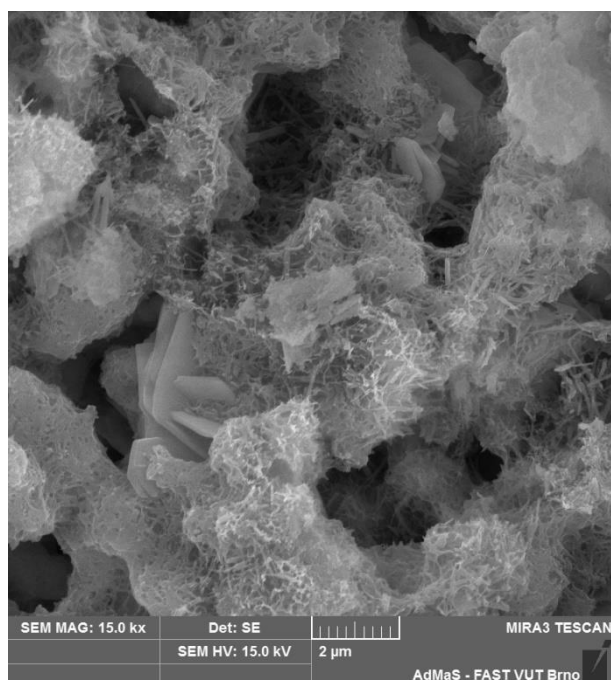


Obrázek 50: Fotografie REM vzorku SZFE-K, zvětšení 500 x

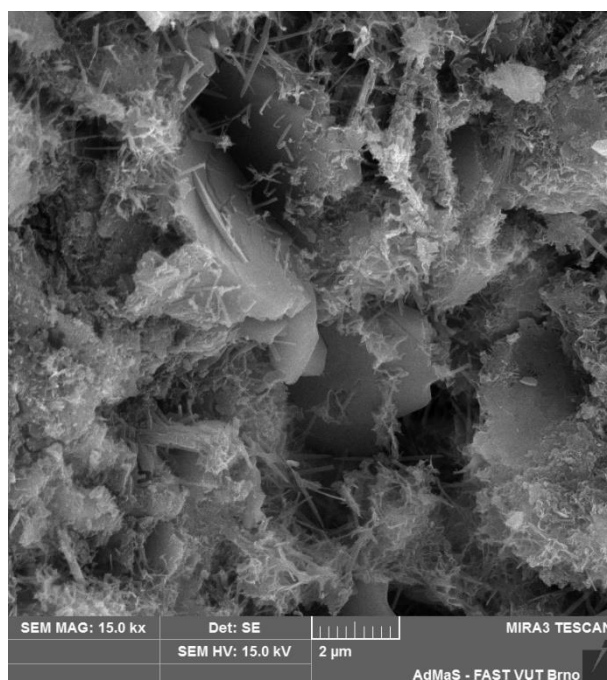


Obrázek 51: Fotografie REM vzorku SZFE-E, zvětšení 500 x

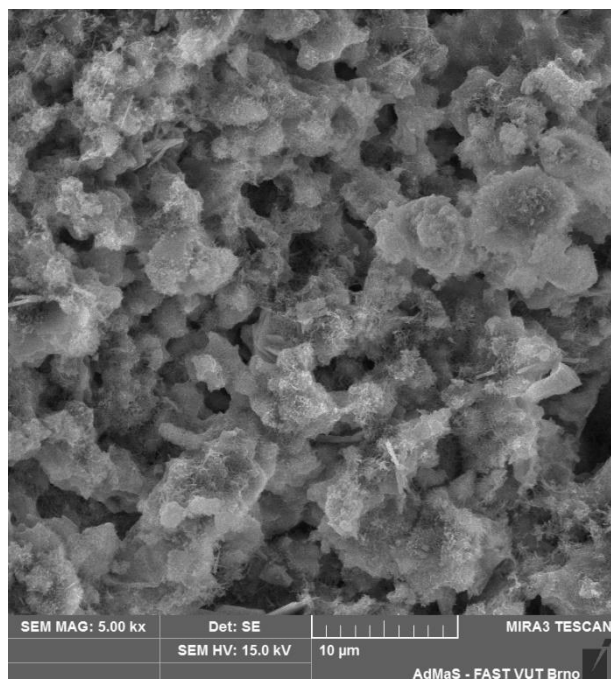
Vzorek ZFE



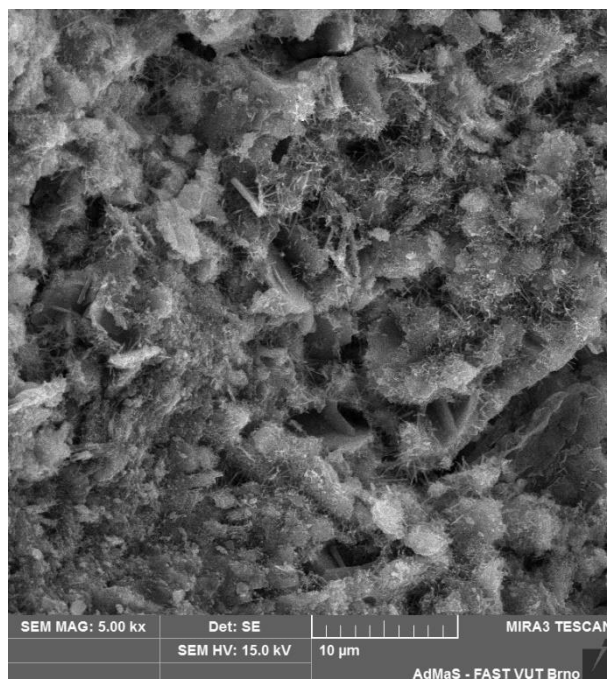
Obrázek 52: Fotografie REM vzorku ZFE-K, zvětšení 15 000 x



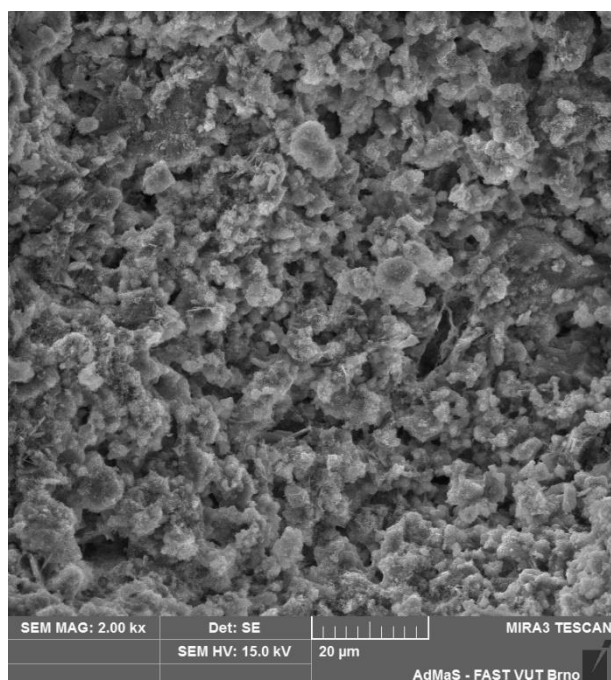
Obrázek 53: Fotografie REM vzorku ZFE-E, zvětšení 15 000 x



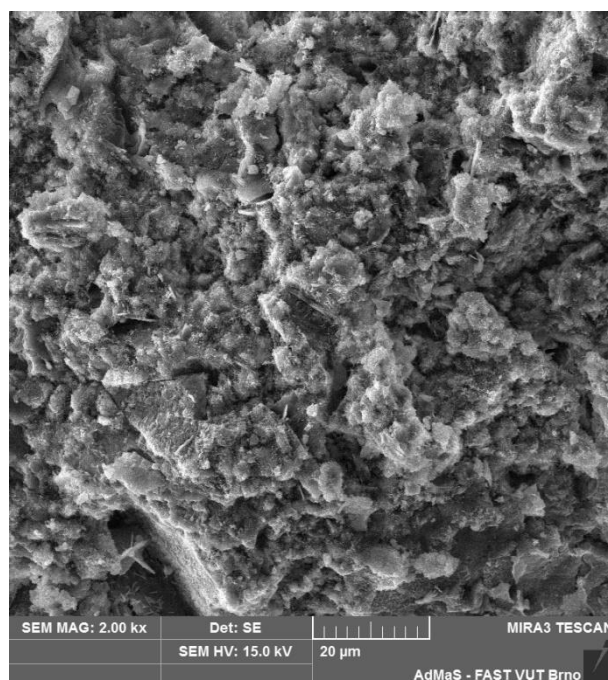
Obrázek 54: Fotografie REM vzorku ZFE-K, zvětšení 5 000 x



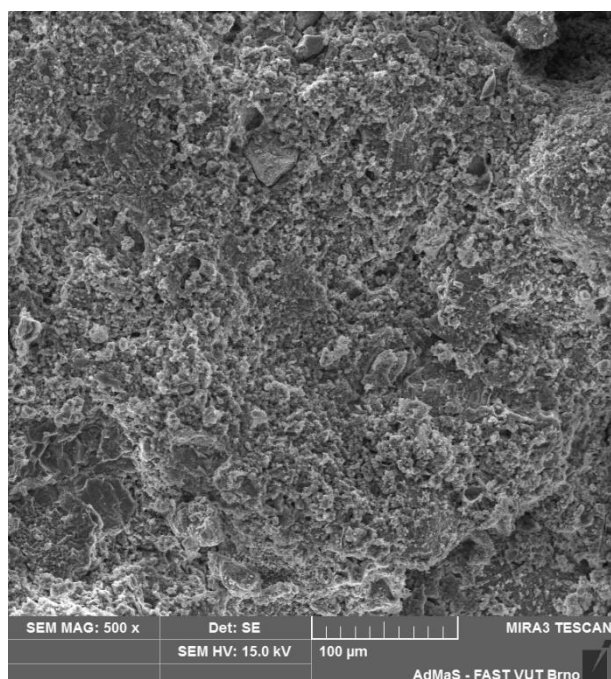
Obrázek 55: Fotografie REM vzorku ZFE-E, zvětšení 5 000 x



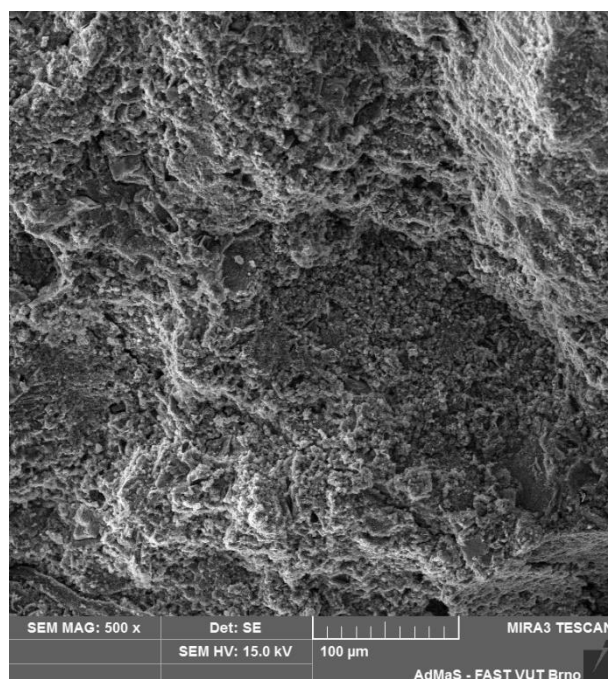
Obrázek 56: Fotografie REM vzorku ZFE-K, zvětšení 2 000 x



Obrázek 57: Fotografie REM vzorku ZFE-E, zvětšení 2 000 x

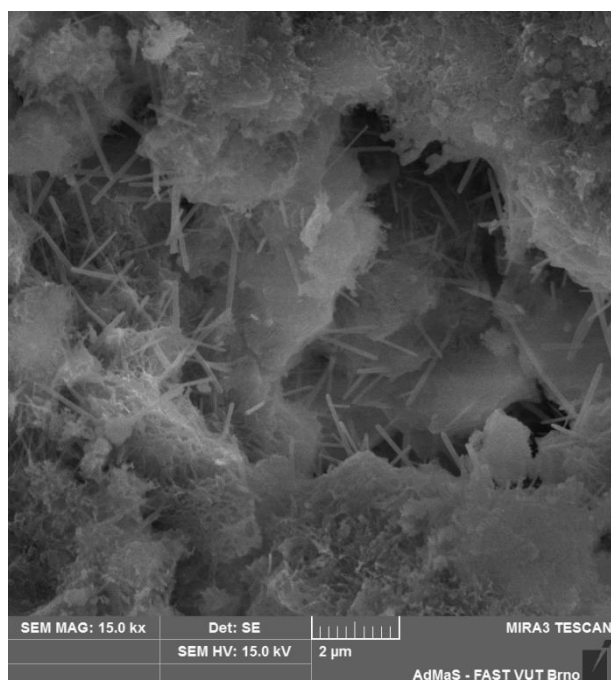


Obrázek 58: Fotografie REM vzorku ZFE-K, zvětšení 500 x

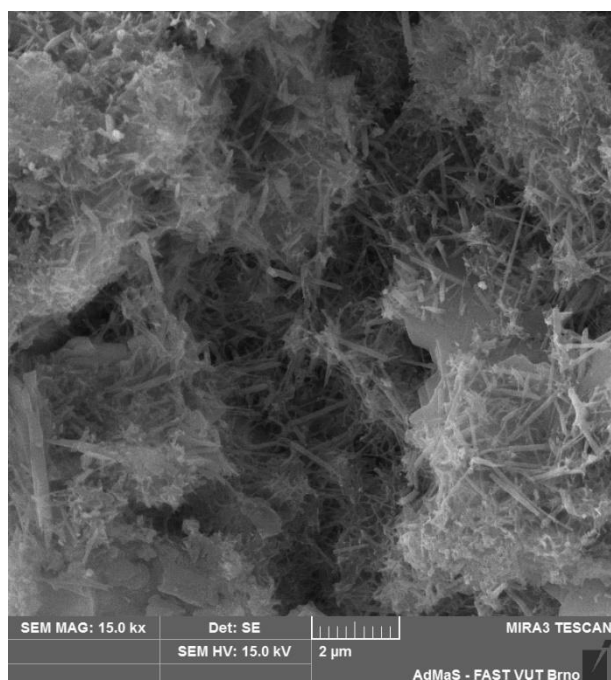


Obrázek 59: Fotografie REM vzorku ZFE-E, zvětšení 500 x

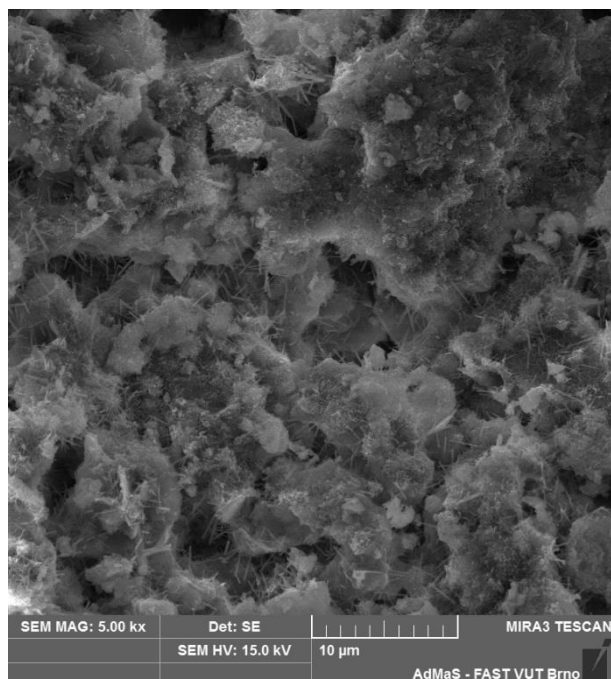
Vzorek REF



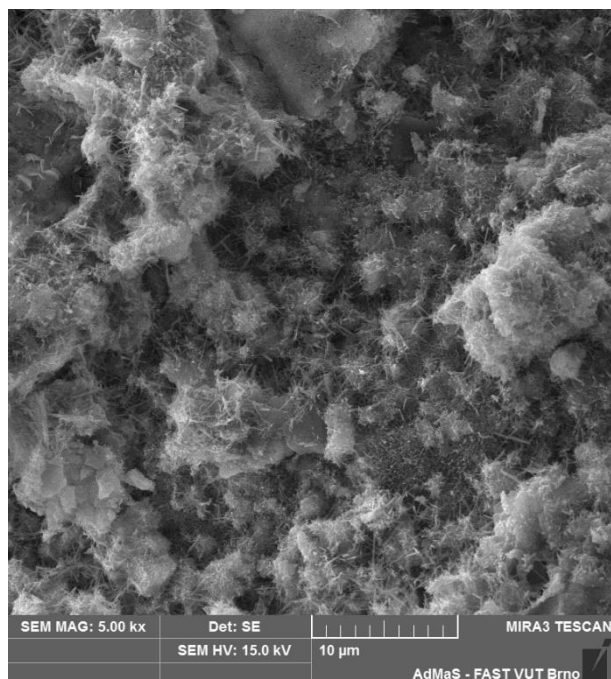
Obrázek 60: Fotografie REM vzorku REF-K, zvětšení 15 000 x



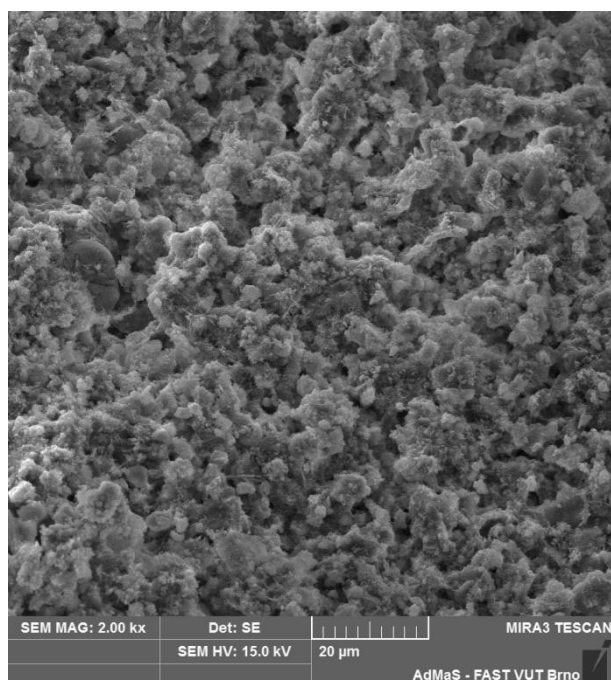
Obrázek 61: Fotografie REM vzorku REF-E, zvětšení 15 000 x



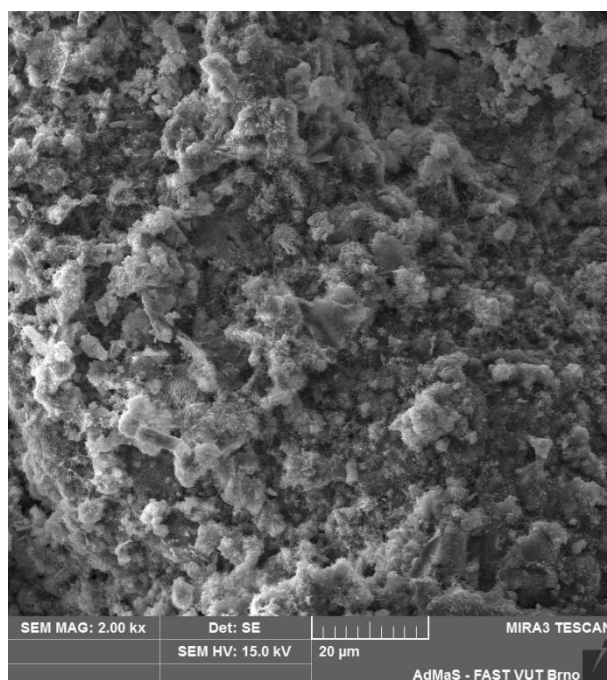
Obrázek 62: Fotografie REM vzorku REF-K, zvětšení 5 000 x



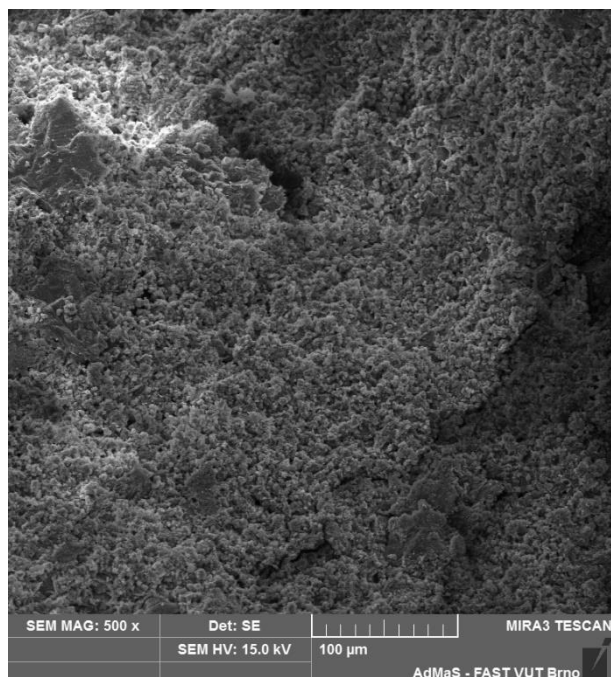
Obrázek 63: Fotografie REM vzorku REF-E, zvětšení 5 000 x



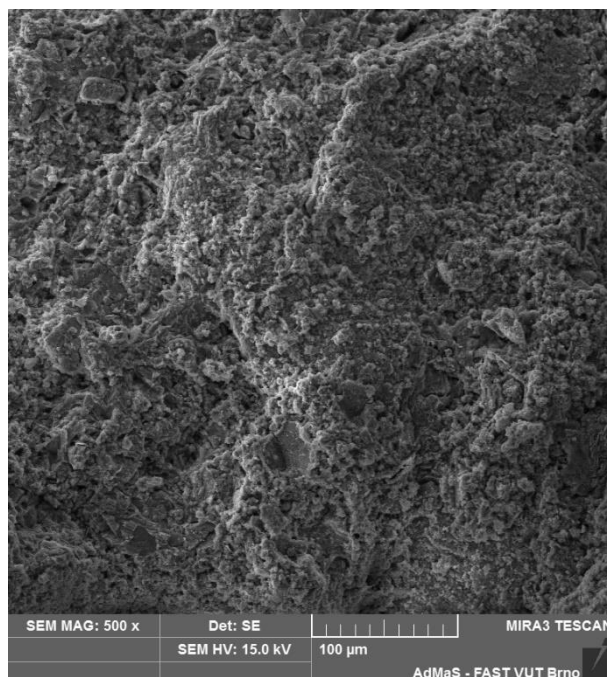
Obrázek 64: Fotografie REM vzorku REF-K, zvětšení 2 000 x



Obrázek 65: Fotografie REM vzorku REF-E, zvětšení 2 000 x



Obrázek 66: Fotografie REM vzorku REF-K, zvětšení 500 x



Obrázek 67: Fotografie REM vzorku REF-E, zvětšení 500 x

5.8.3 Shrnutí a závěr

Na fotografiích vzorku AFE můžeme sledovat krystaly sádry, která je u tohoto vzorku majoritní pojivovou i expanzní složkou. Při porovnání jednotlivých fotografií (zvětšení 15 000 x) tohoto vzorku, můžeme sledovat vývoj většího množství a také větších krystalů sádry u vzorku z elastické PUR formy. Na tento vývoj může mít vliv pružnost formy, díky které nedošlo k samozhutnění, oproti vzorku z kovové formy, kde díky expanzi dochází k samozhutnění, jelikož vzorek nemá prostor pro růst.

Ve vzorku SZFE byl použit ternární pojivový systém, ve kterém dochází k expanzi majoritně vlivem vývinu krystalů ettringitu, které jsou patrné na fotografiích těchto vzorků. Při porovnání fotografií (zvětšení 15 000 x) obou vzorků, je zde také patrný vývoj větší formy ettringitu u vzorku z elastické PUR formy.

U vzorku ZFE je expanze založena na vývoji velkých krystalů portlanditu, které vznikají vlivem přídavku portlanditové expanzní složky. Tyto krystaly můžeme sledovat na fotografiích společně s krystaly ettringitu, ovšem jejich zastoupení zde není tak četné jako u vzorku SZFE. Při porovnání fotografií (zvětšení 15 000x) můžeme u vzorku z elastické PUR formy vidět, že zde došlo ke vzniku větších krystalů portlanditu než u druhého vzorku z kovové formy.

U vzorku REF při srovnání z kovové a elastické formy nejsou patrné výrazné rozdíly. Zjevné jsou velké krystaly portlanditu vyplněné v mezerách jehličkovými krystaly, u kterých nelze s určitostí prokázat že se jedná o ettringit.

6 Závěr

Porovnání objemových a napjatostních změn ve fázi vyztváření litých podlahových samonivelačních potěrů z čerstvého do vyztvářeného stavu bylo v této práci mezi naměřenými hodnotami pomocí bezkontaktní optické dilatometrie, normovou metodou dle ČSN EN 13 872 a pomocí přístroje Tensograf TGF-02. Objemové změny lze nejlépe sledovat metodou bezkontaktní optické dilatometrie.

Vhodnost pro měření objemových změn metodou dle ČSN EN 13 872 a pomocí Tensografu TGF-02 byla posouzena při konfrontaci naměřených hodnot s hodnotami optické dilatometrie. Optickou dilatometrií bylo provedeno měření objemových změn na vzorcích o tl. 15 a 40 mm. Hodnoty naměřené na vzorcích tl. 40 mm byly porovnávány s hodnotami naměřenými metodou dle ČSN EN 13 872 na vzorcích tl. 40 mm. Jelikož pomocí přístroje Tensograf TGF-02 je možno vytvořit vzorky pouze o tl. 15 mm bylo nutné provést měření ve stejné tloušťce i optickou dilatometrií. Při porovnání hodnot naměřených optickou dilatometrií mezi vzorky tl. 15 a 40 mm, byly hodnoty všech vzorků kromě REF téměř totožné, smrštění naměřené ve vzorku tl. 40 mm bylo o polovinu menší než u vzorku tl. 15 mm.

K počátku měření metodou dle ČSN EN 13 872 dochází až po odformování vzorku, tedy již v zatvrdlém stavu. Díky tomu nedochází k zaznamenání počátečních objemových změn (plastickému smrštění a expanzi). Při porovnání 28denního smrštění vzorků měřeného touto metodou a pomocí optické dilatometrie (měření od 24 hodin po odlití), bylo smrštění u všech vzorků téměř totožné. několikanásobně vyšší smrštění bylo sledováno u naměřených hodnot, kdy měření započalo již po vylití vzorku. U vzorku AFE byl zaznamenán objemový nárůst oproti počátečnímu stavu, jelikož expanze tohoto vzorku je větší než jeho počáteční plastické smrštění a také smrštění, které nastalo do 28dnů od aplikace. Můžeme tedy konstatovat, že tato metoda není vhodná pro měření objemových změn samonivelačních potěrů.

Jelikož měření objemových změn na Tensografu TGF-02 nastává až po želatinaci vzorku, byla forma přístroje upravena tak, aby bylo možné měřit objemové změny již po aplikaci vzorku. Dno a bočnice formy byly nahrazeny elastickým polyuretanem. Jelikož u tohoto přístroje bylo možné měření pouze u jednoho vzorku, byly objemové změny zaznamenávány po dobu 7 dní. Plastické smrštění vzorků zaznamenáno tímto přístrojem bylo výrazně nižší než u optické dilatometrie, hodnoty expanze byly téměř totožné s hodnotami naměřenými optickou dilatometrií. Vlivem citlivosti senzorů na tomto přístroji, nebylo zaznamenáno celé plastické smrštění vzorků.

Tímto přístrojem bylo měřeno také napětí, které vzniká ve vzorku při jeho zrání. Při porovnání objemových změn a napětí, můžeme říci, že čím větší je hodnota smrštění vzorku tím větší napětí v tomto vzorku vzniká.

Při porovnání pevnostních nárůstů a konečných pevností mezi vzorky vytvrzenými v normových kovových formách a elastických forem (kterými byly simulovány podmínky plovoucích potěrů a potěrů na oddělovací vrstvě), byl zaznamenán výrazný pokles pevností v tlaku u vzorků vytvrzených v elastických formách. Pevnosti byly měřeny po 1,7,28 dnech zrání, v průběhu měření byl zaznamenán pokles pevností v tlaku o 30 – 55 %. Při porovnání naměřených hodnot pevností v tahu za ohybu, nebyl zaznamenán pokles pevností mezi jednotlivými vzorky, jak tomu bylo u pevnosti v tlaku. U vzorků z elastických PUR forem došlo k výrazným rozměrovým změnám. Elastické formy by bylo vhodnější vytvořit například ze silikonu, který je objemově stabilnější a také méně porézní.

Porovnání Mikrostruktury vzorků zrajících v normových kovových formách a vzorků z elastických forem na kluzné podložce bylo provedeno s využitím rastrovací elektronové mikroskopie (REM). U všech vzorků byl patrný vznik jejich primárních pojivových a expanzních složek. Při porovnání vzorků zrajících za rozdílných podmínek, je patrný vývin větších krystalů hlavních pojivových a expanzních produktů jednotlivých pojivových koncepcí. Pomocí této metody jsme nezískali dostačující informace o mikrostruktuře vzorků a nemůžeme tedy s jistotou říci, čím je pokles pevností v tlaku při vytvrzování v elastických formách zapříčiněn. Pro získání vypovídajících výsledků je zapotřebí provést další zkoušky na těchto vzorcích.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Nováček, J., Studium objemových změn pojivových silikátových směsí, Disertační práce. Brno, 2013. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců
- [2] Štenko, M., Studium objemových změn samonivelačních podlahových hmot z hlediska jejich konečné objemové stability ve vazbě na jejich materiálové složení a volbu vhodných měřících metod, Disertační práce. Brno, 2012. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců
- [3] BÉZARD, D., Anti-shrink additives, An introduction, ESOLYT - zákaznický seminář „Stavební hmoty“ Jihlava, 5.10. 2017, Archiv technické dokumentace spol. Profibaustoffe CZ s.r.o.
- [4] Zurbriggen, R., Basic Aspects of Binder Mixtures and Shrinkage Mechanisms in Filling compounds, Sborník semináře: The ELOTEx Lectures 8.4.2003, Norimberk
- [5] HOLT, E. Early age autogenous shrinkage of concrete, ESPOO 2001 Technical research centre of finland, VTT publications 446. 184p. + app.9 p. ISBN 951-38-5870-7
- [6] Štenko, M. Použití 2-paprskové laserové dilatometrie při sledování objemových změn stavebních materiálů ve fázi zrání a vlivem vlhkosti, Sborník XII. symposia SILICHEM 2007 ISBN 978-80-214-3475-2, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Brno 2007, CZ Sborník tuz. konf. 10 100 8
- [7] Amathieu, L., Bier, T. A., Scrivener, K. L., Mechanism of Set Acceleration of Portland Cement Through CAC Addition, příspěvek z konference Calcium Aluminate Cements, Edinburg 7/2001.
- [8] Odler, I., Special Inorganic Cement, E & FN Spon, London and New York 2000, ISBN 0-419-22790-3
- [9] Calucem. 2010. CAC for Building Chemistry [online]. [cit. listopad 2018] Technické prospekty společnosti Calucem Dostupné z: www.hca.com/uploads/media/BuildingChemistry_09_2010.pdf>
- [10] CTG Italcementi Group – prezentace ALIPRE MEETING Sulphoaluminate cements – nedatováno, poskytnuto z Archivu technických podkladů spol. Profibaustoffe CZ s.r.o.

- [11] Technicko-informační dokumentace spol. KERNEOS Aluminate Technologies:
 a) TERNAL EV – How to develop an entire range of Self-Leveling Compounds – Product presentation – ECS – Nürberg, 3.2011
 b) Developing a range of flooring compounds based on TERNAL® EV, brožura BC FLOO GB 6/03/2011
 c) TERNAL EV – For flooring compounds – Developing a range of flooring compounds based on TERNAL EV, brožura spol. Kerneos Aluminate technologies, BC/FLOO/GB/6/03/2011/
 d) Technický list TERNAL EV Building Chemistry,, dostupné na www.kerneosinc.com
- [12] TAIHEIYO MATERIAL: EXPAN – Expansive Additive For Concrete, [cit. listopad 2018] dostupné na www.taiheiyo-m.co.jp
- [13] COLLEPARDI, M. patent č. US 4046583A: „Method of producing expansive and high strength cementitious pastes, mortars and concretes“ [cit. říjen 2018] dostupné na www.patents.google.com
- [14] COLLEPARDI, M. Moderní beton. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009, 342 s. ISBN 978-80-87093-75-7
- [15] TROLI, R., COLLEPARDI, M., Shrinkage-Compensating Concretes For Special Structures, [cit. Říjen 2018] dostupné na www.scribd.com
- [16] TOMKO, M., Granulometrické skladby samonivelačních podlahových hmot, interní metodický dokument LB Cemix s.r.o., 11.2011
- [17] Mehta, P. K., Monteiro, P. J., Concrete: Microstructure, Properties and Materials – Expansive Cements, výuková presentace The Univesity Of California / USA, [cit. listopad 2018] dostupné na www.printfu.com
- [18] Bühler, E., Zurbruggen, R., Mechanism of early shrinkage and expansion of setting flooring compounds , Brožura Elotex AG - nedatováno, poskytnuto z Archivu technických podkladů spol. Profibaustoffe CZ s.r.o.
- [19] Greim, M., Ďuriš, M., Objemové zmeny v počiatčnom štádiu tvrdnutia betónu, Konference Podlahy 2007 – sborník příspěvků, Praha 17. – 18. 9. 2007, ISBN 978-80-254-0144-6, Betokonsult s.r.o.
- [20] Fára, F., Wolf, J., NAPJATOST OD OBJEMOVÝCH ZMĚN ADHEZÍ S PODKLADEM SPOJENÝCH PODLAHOVIN A POTĚRŮ LZE MĚŘIT - metodika a přístroj TGF, příspěvek na konferenci PODLAHY 2014. Archiv technické dokumentace AdMaS VUT FAST Brno

- [21] Podlahové potěry – příručka pro správný výběr a provádění, BAUMIT 2005, Archiv technické dokumentace spol. Profibaustoffe CZ s.r.o.
- [22] EVJU, C., HANSEN, S. Expansive properties of ettringite in a mixture of calcium aluminate cement, Portland cement and β -calcium sulfate hemihydrate, Cement and Concrete Research, Volume 31, Issue 2, February 2001, Pages 257-261, ISSN 0008-8846
- [23] ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku ČNI 11.2003
- [24] ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry – Vlastnosti a požadavky - 2003
- [25] ČSN 744505, Podlahy – Společná ustanovení, ČNI 7.2008
- [26] ČSN EN 12 706, Lepidla - Zkušební metody pro hydraulicky tuhnoucí podlahové stěrkové hmoty - Stanovení charakteristik rozlití, ČNI 10.2000
- [27] ČSN EN 13872 - Metody zkoušení hydraulických vytvrzovacích podlahových stěrkových hmot – stanovení rozměrových změn, ČNI 10.2004
- [28] STABILMAC – technický list produktu, BASF Construction Chemicals Italia SPA – 1.2007/113593 Archiv technické dokumentace spol. Profibaustoffe CZ s.r.o.
- [29] MasterLife SRA 150 – technický list produktu, BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o., 11.2016 [cit. říjen 2018] dostupné na: www.master-builders-solutions.basf.cz
- [30] EXPAN 25 – technický list produktu, DRACO Italiana S.p.A., 2010, [cit. listopad 2018] dostupné na www.draco-edilizia.it
- [31] DRACO GENERAL CATALOGUE, DRACO Italiana S.p.A., [cit. listopad 2018] dostupné na www.draco-edilizia.it
- [32] FÁRA, F., WOLF, J. Napjatost od objemových změn adhezí s podkladem spojených podlahovin. Metodika a technická příručka k přístroji Tensograf TGF-02
- [33] Podlahové potěry – příručka pro správný výběr a provádění, BAUMIT 2005, Archiv technické dokumentace spol. Profibaustoffe CZ s.r.o.

8 Seznam obrázků

- Obrázek 1:** Metoda měření vázaného smrštění dle ASTM 845-19 resp. UNI 8148 [14]), forma a odformovaný vzorek
- Obrázek 2:** Metoda měření vázaného smrštění dle ASTM 845-19 resp. UNI 8148 [14]), měření délky zabudované tyče
- Obrázek 3:** Fotodokumentace z výstavby Muzea XXI. století v Římě (2004-2006) [15], příklad výztuže typické stěny [15]
- Obrázek 4:** Fotodokumentace z výstavby Muzea XXI. století v Římě (2004-2006) [15], pohled na zakřivené stěny beze spár [15]
- Obrázek 5:** DRACO BASSO SPESSORE - aplikace [31]
- Obrázek 6:** DRACO BASSO SPESSORE - detail [31]
- Obrázek 7:** Vize spol. NEWCHEM AG o průmyslových podlahách s mimořádným rozponem dilatačních celků [3]
- Obrázek 8:** Normativní a volitelné zkoušky, pro jednotlivé druhy potěrů dle ČSN EN 13813 [24]**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**
- Obrázek 9:** Zvednutí rozlivného kužele
- Obrázek 10:** Měření průměru rozlivného „koláče“
- Obrázek 11:** Zarovnání potěru vibrační latí, foto autor
- Obrázek 12:** Sdružený samonivelační potěr
- Obrázek 13:** Samonivelační potěr na oddělovací vrstvě
- Obrázek 14:** Plovoucí samonivelační potěr
- Obrázek 15:** Plovoucí samonivelační potěr s podlahovým vytápěním
- Obrázek 16:** Schéma měření délkových změn dle ČSN EN 13872 [22]
- Obrázek 17:** Pohled na přístroj TLLMS [2]
- Obrázek 18:** Schéma přístroje TLLMS a měření [1]
- Obrázek 19:** Pohled na optický dilatometr VUT FAST [1].
- Obrázek 20:** Schéma přístroje a měření optickým dilatometrem VUT FAST [1]
- Obrázek 21:** Schéma Tensografu TGF-02 Coming [20]

- Obrázek 22:** Pohled na Tensograf TGF-02 Coming (bez bočnic a dokompletovaných čel) [20]
- Obrázek 23:** Doporučení výrobce sádrového samonivelačního potěru k provádění řízených dilatací [21]
- Obrázek 24:** Praskliny potěru z „blokovaného smrštění“ sloupem [2]
- Obrázek 25:** Praskliny potěru z „blokovaného smrštění“ rohem [2]
- Obrázek 26:** Fotografie míchacího zařízení
- Obrázek 27:** Fotografie Hagermannova trychtýře
- Obrázek 28:** Fotografie potěru aplikovaného do kovové standardní formy dle ČSN EN 13892-2
- Obrázek 29:** Fotografie potěru aplikovaného do elastické PUR formy
- Obrázek 30:** Fotografie použitého zkušebního lisu
- Obrázek 31:** Vzhled ovládací jednotky zkušebního lisu
- Obrázek 32:** Fotografie měřicí sestavy pro měření délkových změn trámečkovou metodou s kalibračním tělesem
- Obrázek 33:** Fotografie měřicí sestavy pro měření délkových změn trámečkovou metodou s měřeným vzorkem
- Obrázek 34:** Fotografie měřícího zařízení optické dilatometrie
- Obrázek 35:** Původní neupravená forma přístroje TGF-02
- Obrázek 36:** Upravená forma přístroje TGF-02
- Obrázek 37:** Fotografie REM vzorku AFE-K, zvětšení 15 000 x
- Obrázek 38:** Fotografie REM vzorku AFE-E, zvětšení 15 000 x
- Obrázek 39:** Fotografie REM vzorku AFE-K, zvětšení 5 000 x
- Obrázek 40:** Fotografie REM vzorku AFE-E, zvětšení 5 000 x
- Obrázek 41:** Fotografie REM vzorku AFE-K, zvětšení 2 000 x
- Obrázek 42:** Fotografie REM vzorku AFE-E, zvětšení 2 000 x
- Obrázek 42:** Fotografie REM vzorku AFE-K, zvětšení 500 x
- Obrázek 43:** Fotografie REM vzorku AFE-E, zvětšení 500 x
- Obrázek 44:** Fotografie REM vzorku SZFE-K, zvětšení 15 000 x

- Obrázek 45:** Fotografie REM vzorku SZFE-E, zvětšení 15 000 x
- Obrázek 46:** Fotografie REM vzorku SZFE-K, zvětšení 5 000 x
- Obrázek 47:** Fotografie REM vzorku SZFE-E, zvětšení 5 000 x
- Obrázek 48:** Fotografie REM vzorku SZFE-K, zvětšení 2 000 x
- Obrázek 49:** Fotografie REM vzorku SZFE-E, zvětšení 2 000 x
- Obrázek 50:** Fotografie REM vzorku SZFE-K, zvětšení 500 x
- Obrázek 51:** Fotografie REM vzorku SZFE-E, zvětšení 500 x
- Obrázek 52:** Fotografie REM vzorku ZFE-K, zvětšení 15 000 x
- Obrázek 53:** Fotografie REM vzorku ZFE-E, zvětšení 15 000 x
- Obrázek 54:** Fotografie REM vzorku ZFE-K, zvětšení 5 000 x
- Obrázek 55:** Fotografie REM vzorku ZFE-E, zvětšení 5 000 x
- Obrázek 56:** Fotografie REM vzorku ZFE-K, zvětšení 2 000 x
- Obrázek 57:** Fotografie REM vzorku ZFE-E, zvětšení 2 000 x
- Obrázek 58:** Fotografie REM vzorku ZFE-K, zvětšení 500 x
- Obrázek 59:** Fotografie REM vzorku ZFE-E, zvětšení 500 x
- Obrázek 60:** Fotografie REM vzorku REF-K, zvětšení 15 000 x
- Obrázek 61:** Fotografie REM vzorku REF-E, zvětšení 15 000 x
- Obrázek 62:** Fotografie REM vzorku REF-K, zvětšení 5 000 x
- Obrázek 63:** Fotografie REM vzorku REF-E, zvětšení 5 000 x
- Obrázek 64:** Fotografie REM vzorku REF-K, zvětšení 2 000 x
- Obrázek 65:** Fotografie REM vzorku REF-E, zvětšení 2 000 x
- Obrázek 66:** Fotografie REM vzorku REF-K, zvětšení 500 x
- Obrázek 67:** Fotografie REM vzorku REF-E, zvětšení 500 x

9 Seznam tabulek

- Tabulka 2:** Ceníkové ceny 2018 samonivelačních potěrů Maxit (výrobce Franken Maxit s.r.o.) a PROFI (výrobce PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o.) – v Kč/t bez DPH materiálu volně loženého v síle.
- Tabulka 2:** Značení, názvy a princip pojivových bází zkoušených potěrů
- Tabulka 3:** Obvyklé názvosloví a členění podlahových hmot deklarovaných dle ČSN EN 13813 včetně podlahových desek [24]
- Tabulka 4:** Rámcové informativní složení samonivelačních potěrů s kompenzovaným smrštěním
- Tabulka 5:** Ettringitová pojivová koncepce na bázi hlinitanového a portlandského cementu a sádry (s úpravou dle M. Štenko - 2012 [2])
- Tabulka 6:** Ettringitová pojivová koncepce na bázi C\$A slínku, portlandského cementu a sádry (s úpravou dle M. Štenko 2012 [2])
- Tabulka 7:** Ettringitové pojivo na bázi CA slínku a sádry (s úpravou dle M. Štenko - 2012 [2])
- Tabulka 8:** Příklad výchozích výrobních frakcí vytříděného kameniva ve výrobních suchých stavebních směsí
- Tabulka 9:** Způsoby aplikace, parametry a vhodnost aplikačních způsobů pro samonivelační potěry
- Tabulka 10:** Nejmenší návrhové tloušťky plovoucích potěrů při stlačitelnosti podkladních vrstev ≤ 3 mm (≤ 5 mm pro plošné zatížení ≤ 2 kN/mm² a ≤ 3 kN/mm²) dle ČSN 74 4505, květen/2012 [25]
- Tabulka 11:** Název, značení a popis pojivových koncepcí zkoušených potěrů
- Tabulka 12:** Zadání základních parametrů zkoušených samonivelačních potěrů
- Tabulka 13:** Receptura potěru REF
- Tabulka 14:** Receptura potěru ZFE
- Tabulka 15:** Receptura potěru SZFE
- Tabulka 16:** Receptura potěru AFE
- Tabulka 17:** Vzorek SZFE – 1denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 18:** Vzorek SZFE – 7denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 19:** Vzorek SZFE – 28denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 20:** Vzorek SZFE – 1denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 21:** Vzorek SZFE – 7denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem

- Tabulka 22:** Vzorek SZFE – 28denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 23:** Vzorek AFE – 1denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 24:** Vzorek AFE – 7denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 25:** Vzorek AFE – 28denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 26:** Vzorek AFE – 1denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 27:** Vzorek AFE – 7denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 28:** Vzorek AFE – 28denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 29:** Vzorek ZFE – 1denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 30:** Vzorek ZFE – 7denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 31:** Vzorek ZFE – 28denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 32:** Vzorek ZFE – 1denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 33:** Vzorek ZFE – 7denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 34:** Vzorek ZFE – 28denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 35:** Vzorek REF – 1denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 36:** Vzorek REF – 7denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 37:** Vzorek REF – 28denní pevnosti při aplikaci do kovových forem
- Tabulka 38:** Vzorek REF – 1denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 39:** Vzorek REF – 7denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 40:** Vzorek REF – 28denní pevnosti při aplikaci do elastických PUR forem
- Tabulka 41:** Porovnání poklesů pevností v tlaku vzorků vytvrzených v elastické PUR formě oproti formě kovové
- Tabulka 42:** Porovnání poklesů pevností v tahu za ohybu vzorků vytvrzených v elastické PUR formě oproti formě kovové
- Tabulka 43:** Naměřené hodnoty objemových změn trámečkovou metodou
- Tabulka 44:** Porovnání objemových změn u vzorků při tloušťce 40 mm dle ČSN EN 13 872 a optickou dilatometrií
- Tabulka 45:** Porovnání plastického smrštění a expanze při měření na přístroji Tensograf TGF-02 a optickém dilatometru

- Tabulka 46:** Porovnání plastického smrštění s napjatostí v bodě maximálního smrštění
- Tabulka 47:** Porovnání expanze s napjatostí v bodě maximální expanze
- Tabulka 48:** Porovnání smrštění po 164 hodinách
- Tabulka 49:** Porovnání počátku a vrcholu expanze v časovém měřítku

10 Seznam grafů

- Graf 1:** Ceníkové ceny 2018 samonivelačních potěrů Maxit (výrobce Franken Maxit s.r.o.) a PROFI (výrobce PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o.) – v Kč/t bez DPH materiálu volně loženého v síle
- Graf 2:** Ternární diagram možného mísení portlandského cementu, hlinitanového cementu a sádry dle L. Amathieu a kol. [7] s doplněním od M. Štenko [2]
- Graf 3:** Ternární diagram závislosti počátku tuhnutí na poměrném zastoupení složek v pojivovém systému CAC–OPC–C\$Hx , Calucem [9]
- Graf 4:** Ternární diagram závislosti 24 hodinové pevnosti v tlaku na poměrném zastoupení složek v pojivovém systému CAC–OPC–C\$Hx , Calucem [9]
- Graf 5:** Ternární diagram vlastností pojivového systému C\$A–OPC–C\$Hx dle proměnlivého poměrného zastoupení složek [10]
- Graf 6:** Vývoj pevností v tlaku samonivelační stěrky s binární pojivovou směsí Ternal EV/anhydrit (2/1) při různém dávkování [11]
- Graf 7:** Délkové změny samonivelační stěrky s pojivovou směsí Ternal EV/sádra (2/1) s různými typy sáder [11]
- Graf 8:** Vliv expanzních přísad na bázi CaO a na bázi ettringitu na rozpínání betonu [14]
- Graf 9:** Délkové změny betonu s expanzivní přísadou na bázi CaO a v kombinaci CaO a SRA [14]
- Graf 10:** Průběh délkových změn zrajících vzorků dle ASTM s různými expanzními přísadami [28]
- Graf 11:** Vázané rozpínání referenčního vzorku a vzorku S MasterLife SRA 150 [29]
- Graf 12:** Porovnání délkových změn zrajícího betonu DRACO BASSO SPESSORE a tradičního betonu [31]
- Graf 13:** Průběh délkových změn zrajících vzorků s různými expanzními přísadami. [3]
- Graf 14:** Schematické znázornění průběhu objemových změn zrajících betonů na bázi portlandského cementu a expanzního cementu typu „K“ – s překladem do češtiny dle [17].

- Graf 15:** Schematické znázornění průběhu objemových změn zrající samonivelační stěrky bázi ternárního systému OPC-CAC-C $\$$ Hx s majoritou portlandského cementu – s překladem do češtiny dle [18].
- Graf 16:** Změny mineralogického složení a expanze ternární směsi OPC-CAC-C $\$$ H_{0,5} s majoritou hlinitanového cementu s překladem do češtiny dle [22]
- Graf 17:** Vyobrazení pevností v tlaku u kovových a elastických PUR forem materiálu SZFE a poklesů pevností v závislosti na době zrání
- Graf 18:** Vyobrazení pevností v tahu za ohybu u kovových a elastických PUR forem materiálu SZFE v závislosti na době zrání
- Graf 19:** Vyobrazení pevností v tlaku u kovových a elastických PUR forem materiálu AFE a poklesů pevností v závislosti na době zrání
- Graf 20:** Vyobrazení pevností v tahu za ohybu u kovových a elastických PUR forem materiálu AFE v závislosti na době zrání
- Graf 21:** Vyobrazení pevností v tlaku u kovových a elastických PUR forem materiálu ZFE a poklesů pevností v závislosti na době zrání
- Graf 22:** Vyobrazení pevností v tahu za ohybu u kovových a elastických PUR forem materiálu ZFE v závislosti na době zrání
- Graf 23:** Vyobrazení pevností v tlaku u kovových a elastických PUR forem materiálu REF a poklesů pevností v závislosti na době zrání
- Graf 24:** Vyobrazení pevností v tahu za ohybu u kovových a elastických PUR forem materiálu REF v závislosti na době zrání
- Graf 25:** Vyobrazení porovnání pevností v tlaku u kovových forem všech měřených vzorků
- Graf 26:** Vyobrazení porovnání pevností v tlaku u elastických forem všech měřených vzorků
- Graf 27:** Vyobrazení porovnání pevností v tahu za ohybu u kovových forem všech měřených vzorků
- Graf 28:** Vyobrazení porovnání pevností v tahu za ohybu u elastických forem všech měřených vzorků
- Graf 29:** Znázornění naměřených objemových změn metodou dle ČSN EN13 872
- Graf 30:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku AFE po 24 hodinách měření
- Graf 31:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku AFE po 164 hodinách měření
- Graf 32:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku SZFE po 24 hodinách měření
- Graf 33:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku SZFE po 164 hodinách měření

- Graf 34:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku ZFE po 24 hodinách měření
- Graf 35:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku ZFE po 164 hodinách měření
- Graf 36:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku REF po 24 hodinách měření
- Graf 37:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku REF po 164 hodinách měření
- Graf 38:** Porovnání objemových změn u všech vzorků při měření trámečkovou metodou dle ČSN EN 13 872
- Graf 39:** Porovnání objemových změn u všech vzorků tl. 40 mm při měření optickou dilatometrií - počátek 24 hodin od odlití
- Graf 40:** Porovnání objemových změn u všech vzorků tl. 40 mm při měření optickou dilatometrií - měření z čerstvého stavu
- Graf 41:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku AFE po 24 hodinách měření
- Graf 42:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku AFE po 164 hodinách měření
- Graf 43:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku SZFE po 24 hodinách měření
- Graf 44:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku SZFE po 164 hodinách měření
- Graf 45:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku ZFE po 90 hodinách měření
- Graf 46:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku ZFE po 164 hodinách měření
- Graf 47:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku REF po 24 hodinách měření
- Graf 48:** Vyobrazení objemových změn ve vzorku REF po 164 hodinách měření
- Graf 49:** Vyobrazení napětí ve vzorku AFE po 24 hodinách měření
- Graf 50:** Vyobrazení napětí ve vzorku AFE po 164 hodinách měření
- Graf 51:** Vyobrazení napětí ve vzorku SZFE po 24 hodinách měření
- Graf 52:** Vyobrazení napětí ve vzorku SZFE po 164 hodinách měření
- Graf 53:** Vyobrazení napětí ve vzorku ZFE po 24 hodinách měření
- Graf 54:** Vyobrazení napětí ve vzorku ZFE po 164 hodinách měření
- Graf 55:** Vyobrazení napětí ve vzorku REF po 32 hodinách měření
- Graf 56:** Vyobrazení napětí ve vzorku REF po 164 hodinách měření

11 Přehled použitých zkratk a symbolů

Symbolika chemických a mineralogických složek cementů a putzolánů:

C	CaO – oxid vápenatý
A	Al ₂ O ₃ – oxid hlinitý
S	SiO ₂ – oxid křemičitý
F	Fe ₂ O ₃ – oxid železitý
M	MgO – oxid hořečnatý
K	K ₂ O – oxid draselný
N	Na ₂ O – oxid sodný
T	TiO ₂ – oxid titaničitý
\$	SO ₃ – oxid sírový
H	H ₂ O – voda
\bar{C}	CO ₂ – oxid uhličitý
C ₃ S	3CaO.SiO ₂ trikalciurn-silikát / alit
C ₂ S	2CaO.SiO ₂ dikalciurn-silikát / belit
C ₃ A	3CaO.Al ₂ O ₃ trikalciurn-aluminát
CA	CaO.Al ₂ O ₃ kalciurn-aluminát
C ₂ (AF)	2CaO.(Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃) kalciurnaluminát-ferit
C ₄ AF	4CaO.(Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃) tetrakalciurnaluminát-ferit / brownmillerit
C ₄ A ₃ \$	3CaO.3Al ₂ O ₃ .CaSO ₄ kalciurn sulfoaluminát / Kleinit, Ye ´elimit
C ₅ S ₂ \$	5CaO.2SiO ₂ .SO ₃ kalciurn sulfosilikát / sulfospurrit
C ₁₂ A ₇	12CaO.7Al ₂ O ₃ / mayenit
C ₂ AS	Ca ₂ Al ₂ SiO ₇ / gehlenit
C\$H _x	CaSO ₄ – síran vápenatý / x=0 anhydrit, x=1/2 hemihydrát, x=2 sádrovec

Symbolika hydratačních produktů a fází hydratace cementů:

C ₆ A ₃ H ₃₂	3CaO. Al ₂ O ₃ . 3CaSO ₄ . 32 H ₂ O / ettringit (zkráceně též C ₃ A.3C\$.H ₃₂)
C ₄ A\$H ₁₂	3CaO. Al ₂ O ₃ . CaSO ₄ . 12 H ₂ O / monosulfát (zkráceně též C ₃ A.C\$.H ₁₂)
CH	Ca(OH) ₂ / portlandit
CSH	vápenaté hydrosilikáty
AH ₃	γAl(OH) ₃ / gibbsit
C ₂ ASH ₈	2CaO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂ .8H ₂ O / strätlingit = gehlenit hydrát

Zkratky fyzikálních a chemických veličin:

R _c	pevnost v tlaku [N/mm ²]
R _f	pevnost v tahu za ohybu [N/mm ²]