



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT  
A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND  
COMPONENTS

## VÝVOJ KOMPOZITNÍCH MALTOVÝCH A CEMENTOVÝCH SMĚSÍ

DEVELOPMENT OF COMPOSITE MORTAR AND CEMENT MIXTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. EVA HLAVINKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. MARCELA FRIDRICHOVÁ, CSc.

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	<b>Bc. EVA HLAVINKOVÁ</b>
<b>Název</b>	Vývoj kompozitních maltových a cementových směsí
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2013
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Vedoucí ústavu

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



## Podklady a literatura

Dílčí zpráva záměru VVZ MSM 0021630511 - DT1 2008,2009,2010

DUDA, H., W., Cement Data-book, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 1975

HLAVÁČ, J., Základy technologie silikátů, 1. vydání. Praha: SNTL, 1981.

VAVŘÍN, F., Maltoviny, 3. vydání. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1987.

ŠAUMAN, Z., Maltoviny I, VUT v Brně, 1993

LACH, V., DAŇKOVÁ, M., Mikrostruktura stavebních látek, 2. vydání, VUT Brno, ISBN 80-214-0309-8.

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci práce budou studovány binární a ternární pojivové systémy na bázi cementu, vápenného hydrátu a doplňujících netradičních pojivových složek. Tyto pojivové systémy budou přednostně zkoušeny pro využití v průmyslové výrobě suchých omítek a samonivelačních směsí.

Práce bude provedena v souladu s následujícími pokyny:

- rešerše současného stavu poznání na základě studia tuzemské a zahraniční literatury
- vyhotovení metodických postupů
- návrh binárního a ternárního pojivového systému
- příprava omítkových a samonivelačních směsí
- stanovení aplikačních a základních technologických vlastností navržené pojivové směsi
- celkové shrnutí dosažených výsledků a návrh doporučení pro další výzkum

Rozsah práce cca 60 stran formátu A4 včetně příloh.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



.....  
prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem složení a studiem vlastností ternárního pojivého systému na bázi účelového vzniku ettringitu, následně užitého k přípravě samonivelačních podlahových hmot typu potěr a stěrka. U navržených skladeb daných směsí je posléze zaměřena pozornost na optimalizaci dávkování dvou druhů plastifikační přísady s následným posouzením jejich vlivu na technologické vlastnosti těchto hmot.

## **Klíčová slova**

Ternární pojivý systém, ettringit, podlaha, suché maltové a cementové směsi, samonivelační stěrka, samonivelační potěr, plastifikační přísada

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the design of composition and the study of properties of the ternary binding system based on purposeful ettringite formation, which was subsequently used for the preparation of self-leveling floor materials, specifically self-levelling underlay and thin-layer floor screed. In the designed compositions of the mixtures is then focused attention on optimizing the dosage of two kinds of plasticizer agents, followed by assessing their impact on the technological properties of these materials.

## **Keywords**

Ternary binding system, ettringite, floor, dry cement and mortar mixtures, thin layer self-levelling floor screed, self-levelling underlay, plasticizer agent

## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. HLAVINKOVÁ, Eva. *Vývoj kompozitních maltových a cementových směsí*. Brno, 2014. 66 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 14. 1. 2014

.....  
Bc. Eva Hlavinková

**Poděkování:**

Na tomto místě chci poděkovat zejména paní prof. Ing. Marcele Fridrichové, CSc., za odborné a pedagogické vedení, dále pak Ing. Dominiku Gazdičovi, Ph.D., Ing. Karlu Dvořákovi, Ph.D. a všem zaměstnancům z ÚTHD FAST VUT Brno, kteří mi v průběhu diplomové práce pomáhali.

# **OBSAH**

<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>11</b>
<b>1. Suché maltové a cementové směsi</b>	<b>11</b>
<b>2. Podlahové hmoty</b>	<b>11</b>
2.1 Podlaha z cementové mazaniny	12
2.2 Litá podlaha	12
<b>3. Samonivelační potěry a stěrky</b>	<b>13</b>
3.1 Vymezení pojmů, společné znaky a odlišnosti	13
3.2 Problematika objemové stability samonivelačních hmot	15
3.2.1 Cementové pojivové koncepce s účelovou tvorbou ettringitu	17
3.3 Vybrané druhy samonivelačních hmot dle pojivové báze	20
3.3.1 Anhydritový litý potěr	20
3.3.2 Cementový litý potěr	22
3.4 Konstrukční systémy samonivelačních hmot	23
3.4.1 Spojený potěr	23
3.4.2 Potěr na oddělovací vrstvě	24
3.4.3 Plovoucí potěr	24
3.4.4 Potěr s podlahovým vytápěním	25
3.4.5 Samonivelační stěrky v podlahových skladbách	25
3.5 Technické parametry a požadavky	26
3.5.1 Povinné zkoušky pro cementové a síranové potěry	26
3.5.2 Volitelné zkoušky pro cementové a síranové potěry	28
<b>II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b>	<b>29</b>
<b>Cíl práce</b>	<b>29</b>
<b>1. Metodika</b>	<b>29</b>

1.1	Mikrostruktura a fyzikálně chemické vlastnosti navrženého ternárního systému	29
1.2	Ztekucení samonivelačních směsí vybranými plastifikátory	30
1.3	Technologické vlastnosti samonivelačních směsí	32
<b>2.</b>	<b>Postup prací</b>	<b>32</b>
2.1	Mikrostruktura a fyzikálně chemické vlastnosti navrženého ternárního systému	32
2.2	Ztekucení samonivelačních směsí vybranými plastifikátory	33
2.3	Technologické vlastnosti samonivelačních směsí	33
<b>3.</b>	<b>Použité suroviny a přístroje</b>	<b>34</b>
3.1	Použité suroviny	34
3.2	Použité přístroje	35
<b>4.</b>	<b>Vyhodnocení zkoušek</b>	<b>37</b>
4.1	Mikrostruktura a fyzikálně chemické vlastnosti navrženého ternárního systému	37
4.1.1	Fázové složení hydratovaných vzorků	37
4.1.2	Objemová stálost hydratovaných vzorků	51
4.1.3	Technologické vlastnosti hydratovaných vzorků	51
4.2	Ztekucení samonivelačních směsí vybranými plastifikátory	53
4.3	Technologické vlastnosti samonivelačních směsí	57
<b>5.</b>	<b>Diskuze výsledků</b>	<b>59</b>
	<b>Závěr</b>	<b>61</b>
	Seznam použité literatury	62
	Seznam tabulek	64
	Seznam obrázků	65

## Úvod

Použití suchých maltových a cementových směsí je v tuzemsku běžnou součástí stavební praxe již relativně dlouhý čas, avšak ve snaze vyhovět co nejširšímu okruhu požadavků na jejich vlastnosti a využití dochází v současné době k tvorbě dalších, inovativních koncepcí. Tyto moderní směsi, přinášející ve srovnání s tradičními postupy nové možnosti, se díky svým nesporným výhodám dostávají do popředí ve stále větším měřítku, a to zejména při přípravě samonivelačních podlahových hmot, jež nalézají uplatnění především v občanské a bytové výstavbě. Typické zástupce těchto výrobků představují samonivelační cementové potěry a stěrky, jejichž základní pojivou koncepcí je tzv. ternární pojivý systém, jehož hlavní složky tvoří portlandský cement, hlinitanový cement a síran vápenatý v různých poměrech, přičemž k zajištění požadovaných vlastností budoucí podlahy je možné daný systém dále modifikovat aditivy. Tento koncept je založen na cílené tvorbě ettringitu jakožto prevence nežádoucích objemových změn, doprovázejících hydratační procesy pojivé směsi. Aby však forma a množství vzniklého ettringitu odpovídala zvoleným parametrům, je nezbytné navrhnout vhodné poměry jednotlivých složek. Je-li tohoto dosaženo, představuje výsledná směs kvalitní, trvanlivý a estetický způsob řešení podlahové skladby.

# I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1. Suché maltové a cementové směsi

Jedná se o směsi anorganických pojiv, plniv a zdravotně nezávadných chemických zušlechťujících přísad, které z velké míry nahradily dřívější tradiční způsob přípravy malt, omítek a betonových potěrů, spočívající ve smíchání písku, cementu, vápna a vody přímo na staveništi. Nacházejí široké využití při realizaci podlah, omítek, sanačních i betonářských prací. V současné době existuje na trhu hojné množství výrobců s pestrou nabídkou produktů, jež zahrnuje zejména cementové potěry a samonivelační podlahové stěrky, zdicí malty a štukové, jádrové či minerální šlechtěné omítky. Mezi největší výhody suchých směsí patří záruka kvality a certifikovaných vlastností daného výrobku a možnost volby produktu „na míru“ v závislosti na požadovaných podmínkách jednotlivých konstrukcí. Rovněž není při zpracování nutné přidávat žádné další chemické a jiné komponenty, pouze předepsané množství vody. Benefitem pak bezesporu je také snížení pracnosti a zkrácení doby výstavby.

Suché maltové a cementové směsi jsou dodávány buď balené v papírových pytlech s PE folií, nebo volně ložené v zásobních silech, a jsou určeny pro ruční i strojní aplikaci. [1]

## 2. Podlahové hmoty

**Podlaha** je sestava podlahových vrstev (souvrství) uložených na nosném podkladu a zabudovaných podlahových prvků, dilatačních a pracovních spár, které společně zajišťují požadované funkční vlastnosti podlahy. [2] Může být také tvořena pouze jednou kompaktní vrstvou, vyhovuje-li tato koncepce podmínkám provozu. Základní souvrství podlahy vícevrstvé se skládá z vrstvy podkladní, izolační, roznášecí a nášlapné; dále pak může být doplněna o vrstvu vyrovnávací, spojovací, oddělovací či spádovou:

- podkladní vrstva – je tvořena podkladním betonem nebo nosnou částí konstrukce;
- izolační vrstva – odděluje konstrukci podlahy od ostatních konstrukcí a dle své funkce se dále dělí na izolace zvukové, tepelné a proti vodě a vlhkosti;
- roznášecí vrstva – roznáší bodové zatížení z nášlapné vrstvy do větší plochy na akustickou či tepelnou izolaci a provádí se ve formě násypů, mazanin či prefabrikovaných desek;
- nášlapná vrstva – je vrstvou užitkovou, tvořící vlastní povrch podlahy, a musí mít určité vlastnosti odpovídající charakteru provozu. Patří do ní také spojovací materiál

(tmel, malta, lepidlo), jímž se tato vrstva připevňuje na vyrovnávací, izolační vrstvy nebo přímo na podklad. Dle technologie provádění nášlapné vrstvy pak rozlišujeme podlahy skládané (dřevěné, dlažby) a podlahy celistvé (mazaniny, povlaky). [3, 4]

Jelikož podlaha představuje významnou část každé stavební konstrukce, je před její realizací nezbytný pečlivý výběr vhodných podlahových hmot pro zabezpečení její optimální funkce a dlouhé životnosti. Při řešení návrhu podlahových skladeb zejména v občanské a bytové výstavbě se v současnosti dostávají do popředí skladby využívající tzv. samonivelační hmoty. Oproti dříve rozšířeným, klasickým rozprostíraným cementovým potěrům vynikají tyto materiály především rychlostí aplikace, vysokou rovinností a vyšší objemovou stabilitou. Nejširší uplatnění dnes nacházejí samonivelační stěrky a potěry na bázi síranu vápenatého, zjednodušeně označované jako anhydritové, avšak ve snaze vyvážit jejich nedostatky vzrůstá poptávka trhu po samonivelačních potěrech na bázi cementových pojiv.

[5]

### **2.1 Podlaha z cementové mazaniny**

Tradiční, doposud užívané řešení představuje „betonová“ podlaha z cementové mazaniny, neboli betonový potěr, avšak způsob jeho pokládky je velmi náročný na čas i zpracování. Zpravidla jsou tyto potěry připravovány přímo na staveništi, proto jejich kvalita značně kolísá. Transport je realizován pomocí koleček a pokládka se provádí ručně, v minimální vrstvě 50 mm, přičemž lze takto zhotovit pouze cca 200 m<sup>2</sup> podlahy denně. Z důvodu minimálního či žádného hutnění dochází ke snížení pevnosti v tlaku až o 90 %, proto je nutné vyztužení armovací sítí. Skrze značné smrštění materiálu při zrání musí být provedeny tzv. smršťovací spáry, přičemž objemové změny rovněž vedou k nutnosti dodatečného vyspravení povrchu podlahy nivelačními stěrkami pro dosažení rovinnosti. [6]

### **2.2 Litá podlaha**

Litý potěr je takový materiál, který samovolným rozlitím čerstvé směsi vytváří roznášecí vrstvu podlahového souvrství. Díky přísadce ztekucovadel se účinkem gravitačních sil rozprostírá a téměř samovolně vytváří vodorovný povrch, což umožňuje ve srovnání s klasickou cementovou mazaninou snadnější a rychlejší pokládku. Na stavbu bývá obvykle dopravována autodomíchávačem již hotová směs, která je gumovými hadicemi čerpána na určené místo, kde je po rozlití do požadované tloušťky zhutněna a finálně srovnána rozvlňováním, čímž je zároveň zajištěna i homogenita a odvodušnění potěru, což má pozitivní vliv na pevnostní charakteristiky podlahy. Vlastnosti litých podlah dovolují snížení tloušťky

podlahy a v případě užití potěrů na bázi síranu vápenatého vykazují dobrou objemovou stálost, což umožňuje provádět souvislé, nedilatované plochy, díky nimž se výrazně zjednodušuje nejen konečná úprava povrchu, ale zejména pak pokládka finálních podlahovin.

[2, 7, 8]

### 3. Samonivelační potěry a stěrky

Tyto materiály, jež jsou dostupné na trhu suchých stavebních směsí relativně krátkou dobu, poskytují bezesporu mnohé výhody při realizacích stavebních prací, jsou však také limitovány svými specifickými vlastnostmi danými zejména schopností samonivelace a objemovou stabilitou. Materiálová skladba těchto výrobků je zpravidla založena na binární či ternární pojivové koncepci, doplněné o modifikující komponenty, přičemž nejčastěji užívaná pojiva lze obecně rozčlenit na:

- cementová s účelovou tvorbou ettringitu, tvořená směsí portlandského nebo hlinitanového cementu nebo speciálních slínek s nezbytným podílem síranu vápenatého;
- sádrová pojiva reprezentovaná  $\alpha$ -hemihydrátem a anhydritem.

Při tvorbě receptur samonivelačních hmot je pak obecně pojivová složka doplněna o kamenivo vhodné frakce (nejčastěji těžené písky či drcené vápence), plniva reprezentovaná jemně mletým vápencem, případně odprachy z drtíren lomového kamene (tzv. kamenná moučka) a aditiva, nezbytná pro dosažení tekuté aplikační formy a speciálních požadavků. Mezi tyto modifikující komponenty patří plastifikátory, odpěňovače, zpomalovače tuhnutí (retardéry) a urychlovače tvrdnutí (akcelerátory), dispergátory, protismršťovací přísady, reologická aditiva (záhustky), hydrofobizéry, latentně-hydraulická mikroplniva a redispergovatelné polymerní prášky. [5]

#### 3.1 Vymezení pojmů, společné znaky a odlišnosti

Dle ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry [21] neexistuje konkrétní rozlišení materiálů na jednotlivé kategorie – oba produkty, stěrky i potěry, jsou zahrnuty ve společné skupině výrobků nesoucí označení Potěrové materiály. Norma ČSN 74 4505 [2] pak definuje samotný podlahový potěr jako vrstvu ztuhlého materiálu, obvykle směs pojiva, vody a plniva s maximálním zrnem menším než 8 mm, nanesená na daném místě ve vhodné tloušťce. Jistou kategorizaci potěrů a stěrek lze provést na základě slovního odlišení ve smyslu tradičního chápání členění podlahových hmot, jenž se užívá v tuzemsku

i zahraničí, a které se zpravidla odvíjí od jejich aplikované tloušťky a max. velikosti zrna. Ve střední a západní Evropě (německy mluvící) jsou oba materiály vymezeny následovně:

- stěrka je jemnozrný materiál s max. velikostí zrna většinou do cca 0,6 mm, výjimečně do 1,2 mm, aplikovaný obvykle v tloušťkách 4 – 8 mm;
- potěr je materiál s max. velikostí zrna obvykle do 4 mm, výjimečně do 8 mm, aplikovaný nejčastěji v tloušťkách 15 – 60 mm;

přičemž na základě těchto parametrů je možno se orientovat rovněž v sortimentu nabízených tuzemskými firmami. Srovnáme-li slovní označení potěrových materiálů v jednotlivých jazycích, výrazu samonivelační stěrka odpovídají v němčině pojmy „Selbstnivellierende Boden Spachtelmasse“ či „Selbstverlaufende Fussbodenausgleichsmasse“ a potěru termín „Estrich“. Ačkoli je v anglicky mluvících zemích zakořeněný společný název pro potěry i stěrky – „screed“, blíže specifikovaný výrazy „Self-leveling Floor Screed“ (SLFS) nebo „Self-levelling Underlay“ (SLU), stěrku lze zpravidla rozpoznat na základě označení thin layer (tenkovrstvý). [5, 9]

Další z odlišovacích parametrů má souvislost se znakem, jenž je oběma materiálům společný – samonivelace, tedy schopnost materiálu se v čerstvém stavu vlastní tíhou rozlít a vytvořit tak hladký vodorovný povrch. Tato schopnost však začíná až nad hranicí tzv. přirozené rozlivné tloušťky, jež závisí na povrchovém napětí materiálů daným jeho konzistencí, množstvím, charakterem pojiva a obsažených přísad a také max. velikostí zrna použitého kameniva. Orientační hodnoty rozlivných tlouštěk samonivelačních stěrek činí 3 – 6 mm, pro potěry odpovídají údaje 10 – 15 mm.

Potěry a stěrky se rovněž do jisté míry mohou odlišovat způsobem aplikačního postupu, jehož volba závisí přednostně na projektované jednotkové spotřebě materiálu a velikosti pracovní plochy. Poslední zmíněný faktor je nezbytné zohlednit v případě potěrů, neboť velikost pracovní plochy je u nich závislá mimo jiné zejména na tloušťce potěrové vrstvy, jež je omezena dobou zpracovatelnosti. U stěrek naopak z důvodu obvyklé aplikace pouze na rozlivnou tloušťku stanovení limitu plošné výměry není nutné. Z hlediska technologie aplikace je v případě obou materiálů možné ruční či strojní lití, přičemž v případě stěrek se jedná o zpracování výhradně pytlovaného materiálu, u samonivelačních potěrů pak zcela převládají dovážené hotové potěry z betonáren.

Nezanedbatelným rozlišovacím hlediskem je taktéž míra objemové stability potěrů a stěrek ve vztahu k jejich materiálové bázi jakožto rozhodující údaj při volbě postupu

ošetřování a tvorbě dilatačních celků podlahy. Dle již dříve uvedeného lze obecně potěry a stěrky rozčlenit dle převládajícího typu pojiva na cementové a sádrové. V případě samonivelačních potěrů mají většinové zastoupení „sádrová pojiva“, tedy anhydrit,  $\alpha$ -hemihydrát či jejich směsi; v menšině a ze značné části ve fázi vývoje pak potěry „cementové“, na bázi směsných cementových pojiv se sádrou. U stěrek zcela dominuje ternární pojivová koncepce směsného pojiva na bázi portlandského cementu, vhodného typu sádry ( $\alpha$ -hemihydrát nebo anhydrit) a hlinitanového cementu, jehož obsah bývá ze všech tří složek nejvyšší. Vyrábí se rovněž stěrky „sádrové“, na bázi anhydritu,  $\alpha$ -hemihydrátu či jejich směsí, avšak v menší míře. Problematika nutných smršťovacích dilatací za účelem předcházení poruch se z důvodu větší aplikační tloušťky týká přednostně potěrů, přičemž cementové potěry vyžadují podstatně vyšší nároky na jejich provádění než potěry sádrové, neboť při zrání vykazují vyšší smrštění. Doporučené největší rastry smršťovacích dilatací pro potěry na sádrové bázi činí 20 x 20 m, tedy 400 m<sup>2</sup>, ve srovnání s hodnotou 7 x 7 m, čili 49 m<sup>2</sup> u potěrů cementových. Typickými poruchami spojenými s pojivovou bází potěru jsou praskliny z tzv. blokového smrštění či konkávní deformace neboli „porucha zvednutých rohů“. Stěrky, na rozdíl od potěrů vždy prováděné jako pevně spojené se svým podkladem, však taktéž vykazují poruchy z důvodu objemových změn, mají-li cementový základ. Patří k nim konkávní a konvexní deformace, způsobené nadměrným smrštěním či expanzí. Jelikož objemová stabilita má zejména z hlediska aplikačně – funkčních vlastností zásadní význam, bude jí podrobněji věnována samostatná kapitola. [5]

### **3.2 Problematika objemové stability samonivelačních hmot**

Na samonivelační hmoty, jakožto materiály s vysokou tekutostí v čerstvém stavu, jsou kladeny velké nároky ve vztahu k jejich objemové stabilitě ve smyslu minimalizace jejich objemových změn v průběhu a po ukončení zrání v návaznosti na jejich objem v čerstvém stavu. Tento požadavek je však komplikován několika faktory, jež na jedné straně zajišťují požadované vlastnosti materiálu ve vztahu k jejich schopnosti samonivelace, avšak na straně druhé podporují smršťování materiálu a zvyšují tak riziko poruch s ním spojenými.

Jedním z těchto rizikových faktorů, majících vliv na smrštění materiálu, je nutnost užití relativně vysokého obsahu záměsové vody pro dosažení požadované míry tekutosti, díky čemuž vodní součinitel  $w$ , tedy poměr hmotnosti vody  $m_w$  a v případě samonivelačních hmot k hmotnosti celého směsného hydraulického pojiva  $m_c$ , i přes použití tzv. superplastifikačních přísad zpravidla neklesá pod hodnotu 0,6. Vyšší spotřeba záměsové vody je taktéž podmíněna

jemnozrnnou skladbou samonivelačních hmot (max. velikost zrna u stěrek je zpravidla 0,6 mm, u potěrů 4 mm), neboť s rostoucím měrným povrchem částic vzrůstají i nároky na obsah vody potřebné k jejich solvataci. Mezi negativa lze rovněž zařadit komplikovanost ošetřování těchto hmot v průběhu jejich zrání, neboť klasické způsoby ošetřování (krytí folií, vlhkou textilií apod.) jsou u velkoplošných výměř, ve kterých jsou podlahy tohoto druhu zpravidla prováděny, obtížně realizovatelné, tak jako aplikace ochranných přípravků, jež mají za úkol omezovat potenciální poruchy v důsledku rychlého vysychání.

Ve snaze vyvážit či alespoň do co nejvyšší míry eliminovat tyto nedostatky je při přípravě samonivelačních hmot prioritou navrhovat jejich materiálové skladby tak, aby jejich objemový nárůst ve fázi hydratace kompenzoval předchozí, ale i následně probíhající smršťovací procesy, tedy aby konečná objemová změna materiálu byla co nejmenší. Smršťovací procesy lze demonstrovat na chování tzv. cementového kamene, jakožto produktu hydratace cementu s vodou a zároveň jakožto té komponenty samonivelačních hmot, jejíž objemové chování vyžaduje více pozornosti než v případě síranových pojiv. Základními typy smrštění, mající vztah k obsaženému množství vody či okolní vlhkosti, jsou:

- autogenní smrštění – nazýváno též chemické; jedná se o důsledek mineralogických a chemických změn cementového gelu v průběhu hydratace, přičemž ve srovnání s výchozími složkami je objem hydratačních produktů z důvodu navázání vody do jejich struktury menší;
- plastické smrštění – při tomto jevu dochází k rychlému odpařování vody z povrchu materiálu ihned po jeho aplikaci v důsledku vysoké teploty či proudění vzduchu, přičemž jej lze eliminovat dostatečným ošetřováním povrchu (vlhčením);
- smrštění vysycháním – nastává postupným únikem vody po zahájení tuhnutí a tvrdnutí, nachází-li se materiál v prostředí s nižší vlhkostí, než je jeho vlastní. Při vysychání dochází ke zvětšování povrchového napětí v kapilárním systému materiálu, což má za následek zúžení kapilár a tím i makroskopické zmenšení objemu. [5, 10, 11, 12]

V případě samonivelačních hmot ze sádrových pojiv je ke vztahu k dosažení požadavku na objemovou stálost materiálu využíváno nárůstu jejich objemu v průběhu hydratace síranu vápenatého ( $\alpha$ -hemihydrát:  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ), resp. anhydritu ( $\text{CaSO}_4$ ). Tyto procesy lze popsat rovnicemi [13]:



Běžně uváděná hodnota změny objemu hydratující sádry je 1 %, avšak při výrobě samonivelačních hmot se tato hodnota podstatně snižuje díky přidavku aditiv a také obsahu samotného pojiva v celkové směsi, jež činí přibližně 30 – 40 %.

U materiálů na bázi ternárního pojivového systému, tvořeného převážně portlandským cementem s přidavkem hlinitanového cementu nebo speciálních slínek a síranu vápenatého, je podstatou objemového nárůstu vznik ettringitu  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ , jehož vznik z disociovaných složek lze obecně popsat pomocí rovnice [14]:



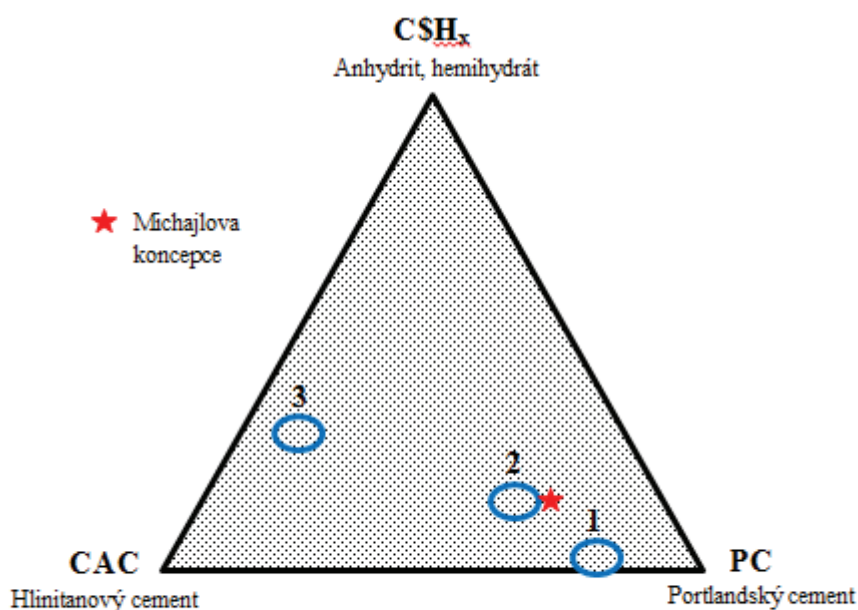
Vhodným návrhem skladby směsi lze tak kromě rozměrové stability dosáhnout očekávané rovnováhy mezi dobou tuhnutí a nárůstem pevností, a to skrze regulaci množství zformovaného ettringitu. Takové pojivové koncepce lze označit jako materiály s účelovou tvorbou ettringitu, přičemž jejich vývoj souvisí s dlouholetou snahou o přípravu rozpínavých, resp. nesmrštivých pojiv, ale zároveň je tématem velmi aktuálním, neboť v oblasti „cementových“ pojiv probíhá řada výzkumných prací s novými typy cementů a speciálních slínek.

### 3.2.1 Cementové pojivové koncepce s účelovou tvorbou ettringitu

V současnosti představuje dosud nejrozšířenější model materiálové skladby, zejména samonivelačních stěrek, ternární pojivová koncepce s účelovou tvorbou ettringitu na bázi směsi portlandského cementu, hlinitanového cementu a vhodné formy sádry. Tato koncepce je základem pro výrobu tzv. „M cementů“, jež se společně s „K cementy“ a „S cementy“ řadí do trojice expanzních cementů, definovaných národní normou ASTM C845 - jedná se tedy o cementy určené ke kompenzaci smrštění hmot z nich připravených v raných stádiích jejich hydratace. [15]

„M cement“ byl jako materiál vyvinut v 60. letech 20. století, přičemž největší přínos na této skutečnosti měli Michajlov (1960, SSSR) a Budnikov s Kravčenkem (1968, SSSR) [16, 17]. Tato koncepce, nesoucí jméno dle Michajlova, sestává z kombinace portlandského cementu (PC), hlinitanového cementu (CAC) a sádry či hemihydrátu (C\$) v poměru 66:20:14, a bývá také označována jako ternární pojivový systém s majoritou portlandského cementu.

Zóny možného mísení jednotlivých složek pojivové koncepce PC-CAC-CŠ lze v ternárním diagramu dle Amathieu a kol. [18] zobrazit následovně:



**Obr. 1:** Použitelné ternární pojivové koncepce PC-CAC-CŠ [18]

**Zóna 1:** Představuje binární systém tvořený portlandským cementem a malým podílem hlinitanového cementu, zajišťující rychlejší tuhnutí směsi. Tato směs je určena pouze k výrobě některých typů urychlených výrobků (fixační malty, spárovací hmoty apod.); pro samonivelační hmoty je nevhodná, neboť nedokáže zajistit jejich dostatečnou objemovou stabilitu.

**Zóna 2:** Odpovídá ternární pojivové koncepci portlandského cementu, hlinitanového cementu a vhodné formy sádry s klasickým souborem modifikátorů, přičemž poměry obsažených složek se nejvíce blíží původní Michajlově koncepci expanzního cementu z r. 1960.

**Zóna 3:** Vymezuje systém, v němž dominuje hlinitanový cement v kombinaci se síranem vápenatým. Tato koncepce je při výrobě suchých maltových směsí hojně využívána, a to s maximálním benefitem z potenciálu technologií s hlinitanovým cementem. Při použití tak splňují i náročné požadavky – dosahují dobré zpracovatelnosti, rychlého vytvrzení i vysychání a rovněž vykazují dobrou mechanickou pevnost. [19]

Chemické reakce vzniku ettringitu v daném ternárním systému lze pak popsat z hlediska zdroje  $Al^{3+}$  složky v „M cementech“ rovnicemi (4) a (5), dle Taylora [17]:

- s dominantním zdrojem  $\text{Al}^{+3}$  ve formě kalcium aluminátu z hlinitanového cementu:  

$$3(\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3) + 3\text{CaSO}_4 + 32\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O} \quad (4)$$
- s minoritním zdrojem  $\text{Al}^{+3}$  ve formě trikalciurního aluminátu z portlandského cementu:  

$$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 + 3(\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 26\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}. \quad (5)$$

Při výrobě samonivelačních hmot, ať už s majoritou portlandského nebo hlinitanového cementu, je tedy možné výběrem vhodných poměrů systému dosáhnout konkrétních požadavků, které jsou však u jednotlivých výrobních receptur těchto druhů směsných pojiv rovněž ovlivňovány vlastnostmi samotných použitých pojivových složek, zejména jejich mineralogicko-chemickým složením, jemností a pevnostní třídou cementů.

Druhý typ rozpínavého cementu – K, představuje doposud nejrozšířenější typ expanzního cementu v USA a jeho základní složku tvoří slínek s majoritou kalcium-sulfoaluminátu  $3\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaSO}_4$ , minerálu nazývaného Kleinův komplex neboli kleinit. „K cementy“ lze připravit dvěma způsoby: v prvním případě je nejprve samostatně připraven kalcium-sulfoaluminátový slínek, jenž se následně ve finální výrobě mele nebo mísí se slínkem portlandského cementu a určitým podílem sádrovce nebo anhydritu (jedná se tedy o ternární koncepci), v případě druhém je pak možno jediným společným výpalem surovinové směsi vhodného složení připravit slínek, který je poté rovněž semílán s vhodným množstvím sádrovce či anhydritu, přičemž tento premix (binární koncepce) bývá označován jako expanzní přísada k portlandským cementům, s nimiž je při finální výrobě mísen v množství závislém na požadované rozpínavé schopnosti. Příčinou expanzního efektu u K cementů je vznik ettringitu při vzájemné reakci slínkových minerálů po smíchání pojiva s vodou, obecně vyjádřeného rovnicí [20]:



Je-li pak v systému přítomno vápno (oxid vápenatý – CaO), ať již jako produkt hydratace kalcium-silikátů pocházejících ze směsi běžného portlandského cementu s kalcium-sulfoaluminátovými slínky či z modifikovaných portlandských cementů s obsahem kleinitu namísto trikalciurního aluminátu  $\text{C}_3\text{A}$  ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ), je vznik ettringitu možno popsat taktéž rovnicí [20]:



Koncepce na bázi kalcium-sulfoaluminátu mají v současnosti při výrobě samonivelačních

hmot ve srovnání s převládající ternární koncepcí PC-CAC-C\$ značný potenciál, a to především z hlediska ekologických i ekonomických benefitů z důvodu nižší energetické náročnosti výpalu a menší materiálové nákladovosti. [5, 17, 19]

Poslední zmíněný typ expanzního cementu, „S cement“, se vyrábí ze silikátového slínku se zvýšeným obsahem trikalciumaluminátu  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , semletím s odpovídajícím podílem sádrovce. Jelikož je u tohoto typu cementu obtížné regulovat mechanismus expanze, nenašel významnější uplatnění. [5]

### 3.3 Vybrané druhy samonivelačních hmot dle pojivové báze

Norma ČSN EN 13813 [21] označuje potěry ve vztahu k jejich pojivové bázi následovně:

CT – cementové potěrové materiály

CA – potěrové materiály ze síranu vápenatého

MA – potěrové materiály z hořečnaté maltoviny

AS – asfaltové potěrové materiály

SR – pryskyřičné potěrové materiály;

jelikož však asfaltové a pryskyřičné potěry spolu s potěry z hořečnaté maltoviny představují zřídka používané materiály, nebudou v této kapitole podrobněji popsány.

#### 3.3.1 Anhydritový litý potěr – označení CA

Lité samonivelační potěry a stěrky (podlahové hmoty) na bázi síranu vápenatého představují jednu z nejčastěji užívaných interiérových podlahových technologií jak při občanské, bytové, tak průmyslové výstavbě, a to zejména v prostorách s podlahovým vytápěním. Díky svým vlastnostem mohou být užity pod finální nášlapnou vrstvu, jíž může být libovolná podlahová krytina, anebo nášlapnou vrstvu po speciální úpravě, zpravidla epoxidovými stěrkami, přímo tvořit. Obecně mohou být součástí všech konstrukcí s užitným zatížením až do hodnoty  $5 \text{ kN/m}^2$ . S ohledem na materiálové složení anhydritových potěrů není vhodná jejich aplikace do trvale mokrých provozů (bazény, sauny, prádelny apod.), neboť působením vlhkosti klesá jejich pevnost až o 50 % původní hodnoty. Výjimku tvoří prostředí koupelen, WC a kuchyní v rodinných domech a bytech, avšak pouze za podmínky dodatečného ošetření povrchu potěru hydroizolačními materiály, aplikovanými na dostatečně vysušený potěr a před realizací obkladů. [7, 22]

Základními surovinami pro výrobu anhydritové směsi jsou síran vápenatý, písek, voda

a přísady pro dosažení patřičných vlastností. Síran vápenatý existuje v několika formách – jako bezvodý, tedy anhydrit, půlvodý, označovaný obecně jako sádra, a síran vápenatý dihydrát, přirozeně se vyskytující minerál sádrovec. Při výrobě nachází využití hemihydrát v podobě  $\alpha$ -sádry a umělý anhydrit, jenž se dále dělí na termický a syntetický. Ačkoli se anhydrit vyskytuje i v přírodní formě, prakticky se nevyužívá. Termický anhydrit je získáván z energosádrovce jakožto vedlejšího produktu vznikajícího při odsiřování v uhelných elektrárnách, syntetický anhydrit je vedlejším produktem při výrobě kyseliny fluorovodíkové. [6]

Bezesporu největší předností anhydritových podlahových hmot je jejich vhodnost v kombinaci s podlahovým vytápěním, což platí jak pro teplovodní a elektrické podlahové topení, tak i systémové podlahové desky, topné rozvody v lištách i rozvody v samostatných kotevních prvcích. Je tomu tak především z důvodu minimální tepelné roztažnosti anhydritu a jeho dobré vodivosti tepla – v současnosti je jako anhydritový potěr s nejlepší tepelnou vodivostí prezentován výrobek AnhyLevel společnosti CEMEX s hodnotou součinitele tepelné vodivosti = 1,8 W/m·K. Při realizaci podlahového topení anhydritový potěr díky svým samonivelačním schopnostem dokonale obtéká trubky topení, usnadňuje tak výstavbu a zajišťuje optimální rozvod tepla do ohřívajícího materiálu (klasický betonový potěr obalí trubky pouze z 50 – 60 %). Anhydritový potěr také zaručuje až o 40 % rychlejší prohřátí podlahy s podlahovým topením oproti podlahové vrstvě cementového potěru (betonové mazaniny) – u něj tato doba činí cca 3-4 hodiny, zatímco v případě anhydritu se doba zkracuje na přibližně 2 hodiny. Rovněž je dosaženo stejnoměrného přenosu tepla. S vytápěním a tím pádem i vysušováním hotové podlahy je při dodržení režimu pozvolného náběhu teplot možno začít již po 7 dnech, tedy o 2 týdny dříve než v případě podlahy z cementových hmot.

[6, 7, 23]

Mezi další výhody anhydritových podlah patří:

- dvojnásobná doba zpracovatelnosti oproti cementovému potěru (4 hod. vs. 2 hod.)
- pochůznost za 24 – 48 hod., zatížitelnost po 4 až 5 dnech
- ekonomický aspekt – možnost až o 40 % snížení tloušťky potěru oproti betonovým potěrům
- dokonale rovný povrch, na nějž může být přímo pokládána většina podlahových krytin
- je to ideální materiál pro realizaci těžké plovoucí podlahy (dle tvrzení mnoha výrobců)
- snížení zatížení stropní konstrukce díky menší tloušťce
- fakt, že není nutné používat výztuže, nedeformuje se a nepraská

- snadná manipulovatelnost, rychlá realizace
- vysoká pevnost
- možnost provádět až 600 m<sup>2</sup> plochy bez podlahového topení nebo 300 m<sup>2</sup> plochy s topením bez nutnosti dilatace při dodržení dilatačního poměru 3:1 z důvodu vynikající objemové stálosti (max. smrštění 0,03 mm/m)
- během zrání není nutné podlahy ošetřovat
- není nutné hutnění, a i přesto obsahuje velmi nízké procento dutin a pórů
- realizace většinou pomocí mobilního výrobního zařízení – TransMixu, ke smíchání dochází přímo na stavbě
- konstantní kvalita směsí díky dávkování řízenému technologickým systémem.

[6, 8, 24, 25]

### 3.3.2 Cementový litý potěr – označení CT

Potěry s cementovou pojivovou bází nalézají uplatnění jak v interiéru, tak exteriéru, a zejména pak všude tam, kde nelze použít anhydritové hmoty, tedy v trvale vlhkých prostorech. Hodí se jako podklad pro veškeré podlahové krytiny, neboť při správném zpracování lze dosáhnout rovinnosti povrchu 2 mm na 2 m, i jako finální pochozí vrstva pod speciální povrchové úpravy (epoxidové stěrky, broušení a napouštění povrchu). Rovněž je vhodný v kombinaci s podlahovým vytápěním. Na stavbu bývají tyto potěry obdobně jako anhydritové dodávány v podobě čerstvé směsi a díky své konzistenci umožňují snadnou a rychlou realizaci – až 1000 m<sup>2</sup> podlahy za směnu. Zhotovují se ve větších tloušťkách než anhydritové potěry (cca 50 mm), z důvodu nutnosti kompenzace nižší pevnosti krystalické vazby v mikroskopické stavbě cementového pojiva oproti anhydritovému. Díky vysokému stupni zhutnění vykazují dobré pevnostní charakteristiky, proto není nezbytné jejich vyztužení ocelovými sítěmi, i když není vyloučeno. Potěr je pochozí do 48 hod., zatížit jej je možné do jednoho týdne. K urychlení prací přispívá i fakt, že normou požadovaná pětiprocentní vlhkost podkladu před pokládkou dlažeb je dosažena již po 7-10 dnech od aplikace.

Jednou z hlavních nevýhod cementových potěrů jsou však jejich možné poruchy v důsledku objemových změn v průběhu hydratace. Všechny materiály s cementovým pojivem vykazují při zrání vysoké smrštění – 0,7 – 2,5 mm/m, přičemž velikost smrštění závisí na kvalitě a množství použitého pojiva, druhu kameniva, obsahu záměsové vody, způsobu ošetřování i tloušťce vrstvy. Kombinace těchto aspektů může vést k deformacím, především ke zvedání podlahy v rozích a tvorbě trhlin či nepřiměřenému namáhání podlahového topení v tahu, je-li instalováno. Za účelem eliminace těchto vad jsou dnes

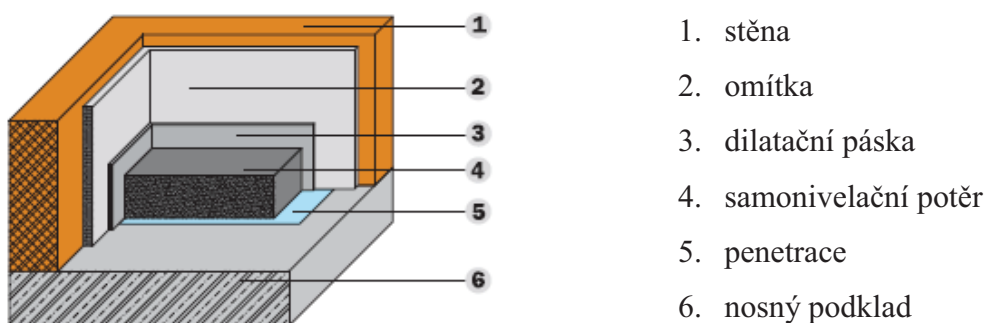
k prefabrikovaným směsím přidávány protismršťující látky, díky nimž lze docílit smrštění nepřevyšující hodnotu 0,5 mm/m, zejména pak při současném použití speciálního ochranného povrchového postřiku v průběhu ošetřování. I přes tato opatření je však nezbytné zhotovení dilatačních spár, přičemž dilatační celky by neměly být větší než 40 m<sup>2</sup> při zachování poměrů stran 4:1. U potěrů pevně spojených s podkladem se předpokládá vytvoření přirozených trhlin/spár. [6, 26, 27, 28]

### 3.4 Konstrukční systémy samonivelačních hmot

Samonivelační potěry, plnicí v podlahové skladbě zejména vyrovnávací a roznášecí funkci, lze z konstrukčního hlediska na základě jejich kontaktu s nosným podkladem realizovat třemi způsoby: jako potěr spojený, na oddělovací vrstvě či jako plovoucí potěr. Jeho součástí pak může být i podlahové vytápění.

#### 3.4.1 Spojený potěr

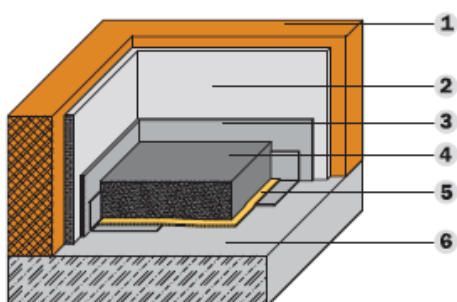
Jedná se o potěr, který se aplikuje přímo na podkladní betonovou vrstvu, díky čemuž je s ní bezprostředně v celé své ploše spojen a na rozhraní potěr/podklad je tak vyloučen vzájemný vodorovný posun. Kvalitně provedené spojení je nutností pro eliminaci napětí vznikajících v důsledku teplotních i technologických tvarových změn a provozu. Spojeného či rovněž sdruženého potěru se používá zejména při řešení podlah bez požadavku na tepelnou izolaci a kročejovou neprůzvučnost. Jeho tloušťka se volí dle užitného zatížení, avšak s nejnižší hodnotou 25 mm. Základní podmínkou pro realizaci je čistý, suchý, pevný a dostatečně vyzrálý podklad bez uvolňujících se částic, na nějž je nanesena penetrace k zamezení odsátí záměsové vody z čerstvého potěru do podkladu. Od svislých konstrukcí je potěr oddělen okrajovými dilatačními páskami. Spojený potěr je vhodný do všech provozů s následnou povrchovou úpravou – pokládka dlaždic, parket, linolea apod. [4, 6]



**Obr. 2:** Spojený potěr [4]

### 3.4.2 Potěr na oddělovací vrstvě

Oddělením potěru od nosného podkladu vhodnou separační vrstvou, nejčastěji tenkou PE nebo PVC folií či speciálním papírem, je umožněn vzájemný pohyb na rozhraní potěr/podklad a vodorovná napětí působící v jedné vrstvě tak nepůsobí na vrstvu druhou. Tento potěr je vhodný pro podlahové konstrukce, u jejichž podkladu nelze zaručit dostatečnou přídržnost, a na které nejsou kladeny nároky na tepelnou izolaci a kročejovou neprůzvučnost. Vrstva potěru na oddělovací vrstvě se aplikuje v závislosti na velikosti užitého zatížení, avšak v minimální tloušťce 30 mm, přičemž je nezbytné ji oddělit dilatačními páskami i od ohraničujících a prostupujících konstrukcí či otvorů. [4, 6]

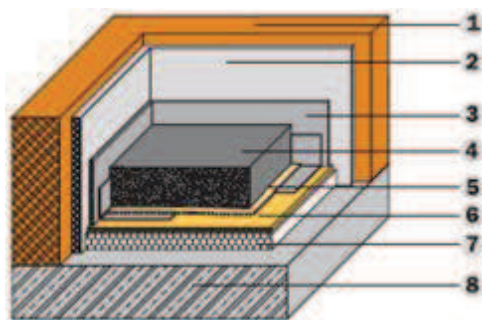


1. stěna
2. omítka
3. dilatační páska
4. samonivelační potěr
5. separační folie
6. nosný podklad

**Obr. 3:** Potěr na oddělovací vrstvě [4]

### 3.4.3 Plovoucí potěr

Tento typ potěru rovněž nepřichází do přímého kontaktu s nosným podkladem - oddělující vrstvu kromě separační folie tvoří tepelně či akusticky izolační desky, s nimiž pevná deska potěru vytváří kmitající mechanismus tlumící vibrace, což napomáhá zvýšení kročejové neprůzvučnosti podlahy. Při užití kombinace tepelně a zvukově izolačních materiálů se jako svrchní vždy ukládá vrstva zvuková. Pro optimální funkci je nutností oddělení potěru od ohraničujících, prostupujících konstrukcí a otvorů pomocí dilatačních pásek. Plovoucí potěry se zhotovují v tloušťce závisující na velikosti užitého zatížení a stlačitelnosti podkladních vrstev, minimálně však v tloušťce 35 mm. [4, 6]

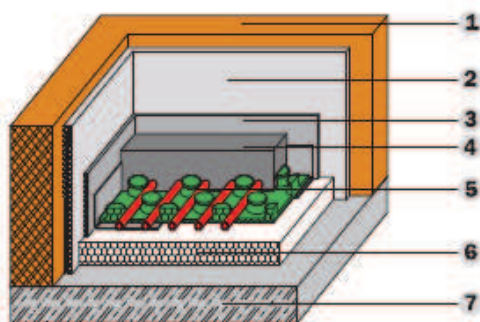


1. stěna
2. omítka
3. dilatační páska
4. samonivelační potěr
5. separační folie
6. kročejová izolace
7. tepelná izolace
8. nosný podklad

**Obr. 4:** Plovoucí potěr [4]

### 3.4.4 Potěr pro vytápěné podlahy

Má-li být součástí budoucí podlahy rovněž vytápění, navrhuje se skladba jako plovoucí potěr na tepelně izolační vrstvě. Takovýto potěr musí mít nejen odpovídající tepelně akumulaci vlastnosti, ale i dostatečnou tloušťku pro bezproblémové uložení rozvodů podlahového vytápění. Výstavbu podlahy lze realizovat dvěma způsoby – mokrým a suchým. Při suchém způsobu jsou trubky vytápění uloženy pod potěrovou deskou a oddělovací vrstvou, avšak z důvodu vyšší topné efektivity se častěji volí způsob mokrý. Při jeho provádění jsou nejprve trubky fixovány do upevňovacího mechanismu izolační systémové desky a následně přímo zalaty potěrem, přičemž při užití potěru anhydritového se doporučuje dvoufázové lití – první vrstva sahá přibližně do  $\frac{3}{4}$  výšky průřezu topných trubek a po jejím vytvrdnutí se doplní zbývající, svou funkcí roznášecí vrstva až do požadované tloušťky. Minimální tloušťka anhydritového potěru nad rozvody, s ohledem na užité zatížení a stlačitelnost podkladních vrstev, činí 35 mm. Je-li užit potěr cementový, realizace je možná pouze v jednom kroku a tloušťka vrstvy potěru se požaduje nejméně 45 mm. [4, 6, 29, 30]



1. stěna
2. omítky
3. dilatační páska
4. samonivelační potěr
5. systém podlahového topení
6. tepelná izolace
7. nosný podklad

**Obr. 5:** Potěr pro vytápěné podlahy [4]

### 3.4.5 Samonivelační stěrky v podlahových skladbách

Samonivelační stěrky lze v závislosti na jejich užití rozčlenit na:

- a) stěrky vyrovnávací (podkladní), užívané pod podlahové kryty, případně také pod svrchní (finální) stěrky;
- b) stěrky finální (vyrovnávací a zpevňující), pro přímé vyrovnání podkladů, resp. stěrek předchozího typu;
- c) stěrky speciální (rychletuhnoucí, sloužící k zalévání podlahového topení, s vláknitou výztuží na pretvárné podklady apod.).

Ve srovnání se samonivelačními potěry se od nich odlišují tím, že se vždy aplikují jako

sdružené, tedy v pevném spojení s podkladem. Rovněž se vyrábí v širší řadě pevnostních tříd (pevnost v tlaku  $R_c$  sádrových a cementových stěrek v rozmezí 15-30 MPa a 20-50 MPa oproti  $R_c = 20-30$  MPa u sádrových a cementových potěrů) a s různým stupněm modifikace redispergovatelnými polymery (RPP). Samonivelační stěrky nižších pevnostních tříd (20-25 MPa) nejčastěji tvoří podklad pod stěrky finální, které vykazují vysokou otěruvzdornost a jsou charakteristické vyššími pevnostmi (obvykle nad 30 MPa) a výraznější modifikací RPP (zpravidla 2-4 %). Tyto pak rovněž nacházejí využití při lepení a zalévání trhlin v podkladu a po přidání určitého množství písku vhodné zrnitosti (např. 0,6 – 2,0 mm) mohou být užity jako rychletuhnoucí výplňový materiál k sanaci výtluků v podkladu. [5, 31]

### 3.5 Technické parametry a požadavky

Samonivelační potěry a stěrky jsou posuzovány dle normy ČSN EN 13813: Potěrové materiály a podlahové potěry – Vlastnosti a požadavky – 2003. Jelikož norma blíže nespécifikuje jednotlivé druhy směsných pojivových koncepcí, ale uvádí pouze obecné rozlišení na potěry s cementovým či sádrovým pojivem, vycházejí tak veškeré požadavky na jednotlivé materiálové skladby ze společného zdroje. Rovněž pak z důvodu nerozlišení potěrů a stěrek v závislosti na jejich zrnitostní skladbě, nýbrž začlenění do jednotné skupiny s označením potěry, jsou požadované vlastnosti potěrů i stěrek posuzovány stejným měřítkem.

Norma předepisuje požadavky na potěrové výrobky a zkoušky na nich prováděné (v čerstvém i zatvrdlém stavu), z nichž některé jsou povinné a jiné volitelné s dodatkem „přichází-li v úvahu“. Taktéž uvádí způsob povinného označení potěrového materiálu užívaného pro podlahové potěry, který musí být určen alespoň svým druhem (značkou CT, CA, MA, AS nebo SR) a pevnostní třídou, a je-li to požadováno, pak i ve vztahu k dalším vlastnostem (např. odolnosti proti obrusu). V případě dalších speciálních vlastností (např. modifikace polymerem či užití tvrdých kameniv) pak ukládá povinnost je slovně uvést. [21]

#### 3.5.1 Povinné zkoušky pro cementové a síranové potěry

##### Pevnost v tlaku

Deklarována pro cementové potěry i potěrové materiály ze síranu vápenatého, přičemž je označována jako „C“ (Compression) v pevnostních třídách v jednotkách  $N/mm^2$  dle tab. 1. Zkouška se provádí v souladu s normou EN 13892-2.

**Tab. 1:** Pevnostní třídy potěrových materiálů [21]

Třída	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C40	C50	C60	C70	C80
Pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	5	7	12	16	20	25	30	40	50	60	70	80

#### Pevnost v tahu za ohybu

Předepsána pro cementové i sádrové potěry a označována jako „F“ (Flexural) v pevnostních třídách s jednotkou N/mm<sup>2</sup> dle tab. 2. Zkouška pro potěrové materiály určené pro nanesení v tloušťce vrstvy 5 mm a méně musí být stanovena dle EN ISO 178, v ostatních případech podle EN 13892-2.

**Tab. 2:** Třídy potěrového materiálu podle pevnosti v tahu za ohybu [21]

Třída	F1	F2	F3	F4	F5	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Pevnost v tahu za ohybu [N/mm <sup>2</sup> ]	1	2	3	4	5	7	10	15	20	30	40	50

#### Odolnost proti obrusu

Tato zkouška může být provedena jednou ze tří zkušebních metod, přičemž u cementových potěrů je povinná (avšak pouze pro potěrový materiál určený pro povrch odolný otěru), v případě materiálů na bázi síranů se jedná o zkoušku volitelnou. Možnými variantami jsou

- metoda Böhme, nesoucí označení „A“ (Abrasion), podle hodnoty množství obroušeného materiálu v cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>, viz tab. 3;
- metoda BCA, se značkou „AR“ (Abrasion Resistance), v závislosti na hloubce obroušeného materiálu ve 100 μm, viz tab. 4;
- odolnost proti obrusu valivým zatížením, značená „RWA“ (Rolling Wheel Abrasion), dle množství obrusu v cm<sup>3</sup>, podle tab. 5.

**Tab. 3:** Odolnost proti obrusu v třídách Böhme pro cementové a jiné potěrové materiály [21]

Třída	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Množství obrusu v cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>	22	15	12	9	6	3	1,5

**Tab. 4:** Odolnost proti obrusu v třídách BCA pro cementové a jiné potěrové materiály [21]

Třída	AR6	AR4	AR2	AR1	A30,5
Maximální hloubka obrusu v μm	6	4	2	1	0,5

**Tab. 5: Odolnost proti opotřebení valivým zatížením pro cementové a jiné potěrové materiály [21]**

Třída	RWA300	RWA100	RWA20	RWA10	RWA1
Množství obrusu v cm <sup>3</sup>	300	100	20	10	1

#### Hodnota pH

Povinně se stanovuje pouze v případě potěrů ze síranu vápenatého, a to dle EN 13454-2, přičemž hodnota pH musí být rovna nebo větší než 7.

### **3.5.2 Volitelné zkoušky pro cementové a síranové potěry**

#### Tvrдость povrchu

Označuje se jako „SH“ (Surface Hardness) a podle hodnoty tvrdosti povrchu v N/mm<sup>2</sup> se dělí do 7 tříd, SH30 až SH200.

#### Odolnost proti obrusu valivým zatížením potěru s podlahovou krytinou

Nese označení „RWFC“ (Rolling Wheel Floor Covering) a v závislosti na hodnotě opotřebení v N bylo vyčleněno 5 tříd, RWFC150 až RWFC 550.

#### Doba zpracovatelnosti

Je-li tato zkouška prováděna, musí následovat normu EN 13454-2.

#### Smrštění a rozpínání

Výsledná hodnota se uvádí se v jednotkách mm/m dle EN 13454-2 nebo EN 13872, je-li výrobek určen pro nanesení ve vrstvě menší než 10 mm.

#### Konzistence

Stanovuje se v mm dle EN 13454-2, případně podle EN 12706, přesahuje-li hodnotu 300 mm.

#### Modul pružnosti v tahu za ohybu

Zkouška se provádí podle EN ISO 178 a výsledný modul pružnosti v tahu za ohybu je označován jako „E“ (Elasticity), s hodnotou v jednotkách kN/mm<sup>2</sup> odpovídající třídám E1 až E20, pro vyšší hodnoty pak v násobku 5 (E25 – E30 – E35 atd.).

#### Odolnost proti rázu

Její hodnota se stanovuje v Nm a nese označení „IR“ (Impact Resistance).

#### Přidržnost

Značena jako „B“ (Bond); výsledné hodnoty v N/mm<sup>2</sup> náleží do příslušných tříd B0,2 až B2,0. [21]

### III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

#### Cíl práce

Cílem diplomové práce byla studie ternárního pojivého systému na bázi portlandského cementu, hlinitanového cementu a sádrovce, resp. doplňujících netradičních pojivých složek. Ternární pojivý systém byl následně zkoušen pro využití v průmyslové výrobě suchých maltových směsí, a to konkrétně samonivelačních stěrek a potěrů.

#### 1. Metodika práce

##### 1.1 Mikrostruktura a fyzikálně chemické vlastnosti navrženého ternárního systému

Pojiva samonivelačních směsí bývají v současné době nejčastěji realizována jako mono- či binární systémy. Monárním systémem je obvykle samotný portlandský cement anebo samotný hlinitanový cement, oba jsou dále modifikovány, především plastifikačními a disperzními přísadami. Binární systém bývá nejčastěji tvořen směsí anhydritu II a  $\alpha$ -sádry. I tento systém je nutné modifikovat, v první řadě regulátorem tuhnutí, dále plastifikační přísadou a disperzní přísadou. Jak monární, tak i binární systémy mají vedle svých nesporných výhod i určité nedostatky, kterými jsou horší technologické vlastnosti v případě monárního systému na bázi portlandského cementu a zvýšené finanční náklady u ostatních jmenovaných systémů.

Tyto nedostatky by měl řešit systém ternární, který je kompromisem mezi kvalitou a cenovou dostupností dosavadních systémů. Základem ternárního systému je portlandský cement, ke kterému je přidávána rozpínací složka tvořená hlinitanovým cementem a sádrovcem, event. vápenným hydrátem. Od tohoto systému se očekává, že portlandský cement dodá systému požadované pevnosti a rozpínač objemovou stálost.

Na základě uvedeného byl navržen ternární pojivý systém v základním složení vzorku A:

26 hm. dílů p-cementu CEM I 42,5 + 2 hm. díly sádrovce + 1 hm. díl Al-cementu.

Poměr mezi jednotlivými složkami ternárního systému byl navržen tak, aby ve výsledku představoval pojivo nesmršlivé, eventuálně jen mírně rozpínavé. Přitom dávkování hlinitanového cementu ku sádrovci bylo vypočteno na stechiometrické poměry v ettringitu, tj. 1 mol  $C_3A$  ku 3 molům  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ .

Dle tohoto návrhu připravené pojivo bylo podrobena sledování hydratačního procesu metodou rentgenové difrakční analýzy a elektronové rastrovací mikroskopie při expozici v laboratorním prostředí a v prostředí nasycené vodní páry. Mimo to byla u hydratovaných vzorků sledována objemová stálost metodou dle Le Chateliera a pevnost v tlaku a v tahu za ohybu. Na základě dosažených výsledků byla provedena korekce ternárního systému, a u takto vzniklého vzorku B byly následně uskutečněny výše uvedené analýzy sledování hydratačního procesu, ovšem již jen pro rané hydratační stádium v rozsahu do 7. dne hydratace. Vlastnosti a průběh hydratačního procesu obou vzorků ternárního systému byly porovnávány s referenčním vzorkem cementové pasty na bázi portlandského cementu CEM I 42,5. Přehled o složení vzorku A a vzorku B uvádí tabulka 6.

**Tab. 6:** Složení vzorků ternárního systému

Složka	Obsah složek [%]	
	Vzorek A	Vzorek B
CEM I 42,5	89,65	79,30
Hlinitanový cement	3,45	6,90
Sádrovec	6,90	6,90
Vápenný hydrát	-	6,90

## 1.2 Ztekucení samonivelačních směsí vybranými plastifikátory

Ve druhé části diplomové práce byla sledována účinnost plastifikátorů na ztekucení samonivelačních směsí, tj. stěrky a potěru, vybraných pro demonstraci vlastností a účinnosti ternárního pojiva.

Za tímto účelem se vyšlo z receptur odvozených pro oba dva druhy samonivelačních směsí v předchozí etapě práce, které byly nově upraveny na základě vyhodnocení předchozích poznatků. Jednalo se především o granulometrii plniva samonivelační stěrky a dále dávkování použitých aditiv u stěrky i potěru. Vynechána byla retenční přísada Ter Cell na bázi derivátů celulózy, která negativně ovlivňovala ztekucovací efekt plastifikátoru. Disperzní přísada Dairen, zvyšující adhezi stěrky k podkladu, byla zkoušena ve dvou koncentracích 0,15 % a 0,30 % na hmotnost suché maltové směsi. Zachováno bylo dávkování provzdušňující přísady Berolan. Pro takto navržené receptury byl sledován vliv ztekucení dvěma různými plastifikátory, Melflux 4930 F a Melflux 6681 F. Cílem bylo stanovit optimální dávku plastifikátoru, která by zabezpečila:

- u stěrky podíl záměsové vody cca 0,2 - 0,22 l vody/1 kg suché směsi při její normové konzistenci dle EN 12706, tj. při rozliti na 140±10 mm
- u potěru podíl záměsové vody cca 0,15 - 0,17 l vody/1 kg suché směsi při rozliti malty 230 – 250 mm dle Haegermanna. Navržené receptury uvádí tab. 7 a 8.

**Tab. 7:** Navržené receptury samonivelačních stěrek

Složka	Obsah složky [%]					
	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Cement PC 42,5	26	26	26	26	26	26
Hlinitanový cement	1	1	1	1	1	1
Sádrovec	2	2	2	2	2	2
Plnivo frakce 0-0,8 mm	71	71	71	71	71	71
Provdzdušňovací přísada Berolan	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Adhezní přísada Dairen	0,15	0,15	0,3	0,15	0,15	0,3
Plastifikátor Melflux 4930 F	0,3	0,35	0,35	-	-	-
Plastifikátor Melflux 6681 F	-	-	-	0,3	0,35	0,35

**Tab. 8:** Navržené receptury samonivelačních potěrů

Složka	Obsah složky [%]							
	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Cement PC 42,5	20	20	20	20	20	20	20	20
Hlinitanový cement	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Sádrovec	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Plnivo frakce 0-0,8 mm	29	29	29	29	29	29	29	29
Plnivo frakce 0,8-1,5 mm	18	18	18	18	18	18	18	18
Plnivo frakce 1,5-2 mm	24	24	24	24	24	24	24	24
Plnivo frakce 2-4 mm	7	7	7	7	7	7	7	7
Provdzdušňovací přís. Berolan	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Plastifikátor Melflux 4930 F	0,1	0,15	0,2	0,3	-	-	-	-
Plastifikátor Melflux 6681 F	-	-	-	-	0,1	0,15	0,2	0,3

V závěru experimentálních prací byl mj. vyhodnocován i vzhled samonivelačních malt. Při této příležitosti bylo konstatováno, že povrch je nerovný, vykazuje nejednotnou barvu a částečně se odlupuje. Jako důvod této poruchy bylo vyhodnoceno odměšování vody z tuhnutí malty. Pro odstranění této vizuální závady bylo nutné navrátit se k použití retenční přísady Ter Cell, která sice způsobuje nežádoucí zvýšení podílu záměsové vody, na druhé

straně však působí jako zahušťka, a tudíž zamezuje odměšování vody. Cílem pak bylo optimalizovat dávku uvedeného aditiva tak, aby se zabránilo odměšování záměšové vody, a přitom byl její podíl co nejnižší. Za tímto účelem byla provedena zkouška konzistence na předepsané hodnoty rozlití vzorků malt, jejichž suché směsi byly modifikovány 0,15 %, 0,10 % a 0,05 % přísady Ter Cell.

### **1.3 Technologické vlastnosti samonivelačních směsí**

Ve třetí části experimentálních prací byly zkoušeny normou předepsané technologické vlastnosti samonivelačních směsí. Konkrétně se jednalo o dva vzorky samonivelační stěrky, lišící se typem plastifikační přísady, a jeden vzorek samonivelačního potěru. Z normou předepsaných, event. dalších technologických vlastností bylo stanoveno množství záměšové vody, rozliv malty, přídržnost k podkladu po 28 dnech hydratace, pevnost v tlaku a tahu za ohybu a dále objemová hmotnost po době hydratace 1, 3, 7, 28 a 56 dnů.

## **2. Postup práce**

### **2.1 Mikrostruktura a fyzikálně chemické vlastnosti navrženého ternárního systému**

Vzorky ternárního systému byly připraveny nadávkováním jednotlivých komponent a jejich následnou důkladnou homogenizací. Poté byla u takto připravených vzorků ternárního pojiva a rovněž u referenčního vzorku portlandského cementu stanovena normální konzistence dle Vicata, tj. normovým postupem dle EN-196.

Na základě stanovení normální konzistence byly ze všech vzorků připraveny cementové pasty, které byly zafomovány do zkušebních trámeček rozměrů 20x20x100 mm. Po jejich odformování byla vždy jedna sada trámeček uložena do prostředí nasycené vodní páry a druhá sada byla exponována přímo v laboratorním prostředí. Z obou expozic byly trámečky odebírány po 1, 3, 7, 14, 28 a 56 dnech ke zkoušce pevnosti v tlaku, tahu za ohybu a objemové hmotnosti, zbytky trámeček po pevnostní zkoušce byly použity pro RTG-difrakční analýzu, event. elektronovou rastrovací mikroskopii. Vzorky pro obě uvedené analýzy byly upraveny chemickým přerušením hydratace způsobem dvojnásobného promytí v etylalkoholu a závěrečným promytím v acetonu.

Vedle výše popsaného byly cementové pasty zaformovány do Le Chatelierových objímek ke sledování objemových změn, probíhajících v raném stádiu hydratace při uložení

v laboratorním prostředí. Rozvor hrotů Le Chatelierových objímek byl sledován během prvního dne hydratace po hodinových intervalech, poté jedenkrát denně až do 6 dnů uložení.

## **2.2 Ztekucení samonivelačních směsí vybranými plastifikátory**

Suché směsi samonivelačních stěrtek i samonivelačních potěrů byly připraveny nadávkováním jednotlivých komponent dle navržených receptur S7 až S12, resp. P4 až P11 a jejich důkladnou homogenizací v množství á 2 kg.

Zkouška rozlivu u vzorků stěrtek byla realizována pro dvě hodnoty záměsové vody, a to 0,20 l vody/kg suché směsi a 0,21 l vody/kg suché směsi válečkovou metodou dle EN 12706. Stanovení rozlivu u vzorků potěrů bylo provedeno postupem dle Haegermanna pro množství záměsové vody ve výši 0,15 l vody/kg suché směsi. V obou případech byl pro zvolenou dávku záměsové vody měřen rozliv koláče ve dvou na sebe kolmých směrech.

## **2.3 Technologické vlastnosti samonivelačních směsí**

Na základě výsledků získaných v předchozí části experimentálních prací byly vybrány receptury samonivelační stěrky a potěru, které byly vyhodnoceny jako nejvhodnější nejen z hlediska normou požadovaných vlastností, ale i z hlediska ekonomické efektivity výroby. Pro samonivelační stěrku byly vybrány dvě receptury, a to vzorky S8 a S11, modifikované 0,15 % Dairenu a 0,35 % plastifikátoru Melflux 4930 F, resp. Melflux 6681 F. Pro samonivelační potěr byla zkoušena receptura jediná, a to vzorek P5 s 0,15 % plastifikátoru Melflux 4930 F. U obdobného vzorku P9 s plastifikátorem Melflux 6681 F bylo pozorováno natolik významné poškození povrchové vrstvy, že od zkoušek jeho technologických vlastností bylo upuštěno.

Suché směsi zkoušených vzorků byly normovým postupem rozmíchány na malty s takovým množstvím záměsové vody, které bylo stanoveno pro rozliv stěrky  $140 \pm 10$  mm a rozliv potěru 230 – 250 mm. Ze vzniklých malt byly zaformovány trámečky normových rozměrů 40x40x160 mm, které byly exponovány dle normou předepsaného postupu, tj. odformování trámeček po dvou dnech od jejich přípravy, poté 5ti denní uložení v prostředí nasycené vodní páry a následně uložení v laboratorním prostředí. Z předepsaných prostředí byly trámečky odbírány po 1, 3, 7, 28 a 56 dnech hydratace ke stanovení objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku a tahu za ohybu. Po 28 dnech hydratace byly vzorky malt podrobeny stanovení přídržnosti k podkladu normou předepsaným postupem.

### 3. Použité suroviny a přístroje

#### 3.1. Použité suroviny

Portlandský cement CEM I 42,5 R, používaný k přípravě vzorků, byl odebrán v množství 25 kg z cementárny Mokrá, jeho chemické složení uvádí tab. 9.

**Tab. 9:** Chemické složení cementu CEM I 42,5 R Mokrá [32]

Chemické složení [%]									
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	S <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
65	20	4	3	1	2,9	0,04	0,057	0,75	0,17

Hlinitanový cement SECAR 51 společnosti Kerneos byl dodán v množství 25 kg společností Průmyslová keramika. Jeho chemické složení je uvedeno v tab. 10:

**Tab. 10:** Chemické složení Al-cementu SECAR 51 [33]

Chemické složení [%]								
Hlavní složky				Vedlejší složky				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
49,5-51,5	51,5-53,5	37,5-39,5	4-6	< 4	< 3,5	< 1	< 0,4	< 0,3

Sádrovec Pregips byl odebrán v závodě Precheza Přerov. Jedná se o bílý průmyslový sádrovec s min. 95% obsahem CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O v sušině, získávaný jako vedlejší produkt při výrobě titanové běloby.

Vápenný hydrát třídy CL 90-S byl dodán společností Kotouč Štramberk v množství 25 kg. Jeho chemické vlastnosti jsou popsány v tab. 11:

**Tab. 11:** Chemické složení vápenného hydrátu CL 90-S [34]

Chemické složení [%]			
CaO+MgO	z toho MgO	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
96,8	1,1	0,1	0,9

Přísada Berolan LP 60 na bázi laurylsulfonanu sodného byla v množství cca 2 kg dodána firmou HSH Chemie Praha.

Přísada Ter Cell HPMC BCF B 75000 S PF na bázi derivátů celulózy byla v množství cca 2 kg dodána firmou HSH Chemie Praha.

Příspěvek Dairen DA 1400 na bázi kopolymerů vinyl acetát-etylénu byl v množství cca 2 kg dodána firmou HSH Chemie Praha.

Plastifikační přísady Melflux 4930 F a Melflux 6681 F na bázi modifikovaných polykarboxylových éterů byly dodány v množství cca 2 kg společností BASF Construction Polymers.

Kamenivo frakcí 0–0,8, 0,8–1,2, 1,2–2 a 2–4 bylo dodáno firmou Rosomac, s.r.o. Jedná se o drcené kamenivo typu svratecká ortorula z lokality Předklášteří.

### 3.2 Použité přístroje

V průběhu prací bylo využito následujících zařízení, náležejících k technickému vybavení laboratoří ÚTHD VUT Brno:

- rastrovací elektronový mikroskop Tescan Mira, viz obr. 11
- RTG analyzátor Panalytical Empyrean, viz obr. 10
- Vicatův přístroj, viz obr. 13
- přístroj na měření odtrhu Proceq Dyna Z16, viz obr. 16
- analytické váhy, viz obr. 8
- laboratorní míchačka, viz obr. 9
- Haegermannův trychtýř, viz obr. 14
- rozlivný váleček pro stanovení konzistence čerstvé malty, viz obr. 15
- Le Chatelierovy objímky, viz obr. 7
- formy na zkušební tělesa, viz obr. 6
- zatěžovací lis, viz obr. 12.



**Obr. 6:** *Formy na zkušební tělesa*



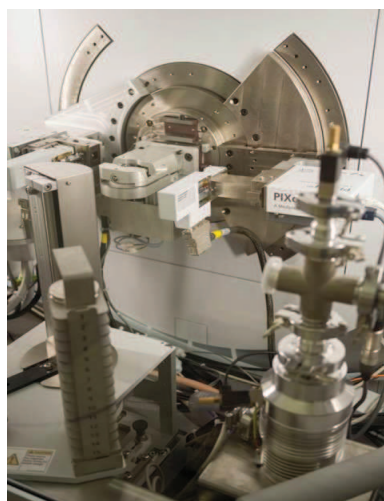
**Obr. 7:** *Le Chatelierovy objímky*



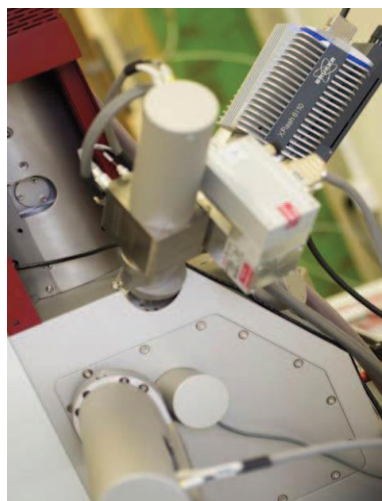
*Obr. 8: Analytické váhy*



*Obr. 9: Laboratorní michačka*



*Obr. 10: RTG analyzátor*



*Obr. 11: Elektronový mikroskop*



*Obr. 12: Zatěžovací lis*



*Obr. 13: Vicatův přístroj*



*Obr. 14: Haegermannův trychtýř*



*Obr. 15: Rozlivný váleček*



*Obr. 16: Proceq Dyna*

## 4. VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

### 4.1. Mikrostruktura a fyzikálně chemické vlastnosti navrženého ternárního systému

#### 4.1.1. Fázové složení hydratovaných vzorků

Fázové složení hydratovaných vzorků bylo sledováno metodou RTG-difrakční analýzy na přístroji Panalytical Empyrean za podmínek:

Použité záření: CuK- $\alpha$  1 (1,5405980Å)

Napětí/proud: 45 kV/40 mA

Skenovací rychlost: 1° 2 $\theta$ /min

Vyhodnocení: kartotéka ICSD FIZ Karlsruhe 2012, event. Rietveldovské vypřesnění.

V rentgenogramech vzorků byly identifikovány tyto minerály:

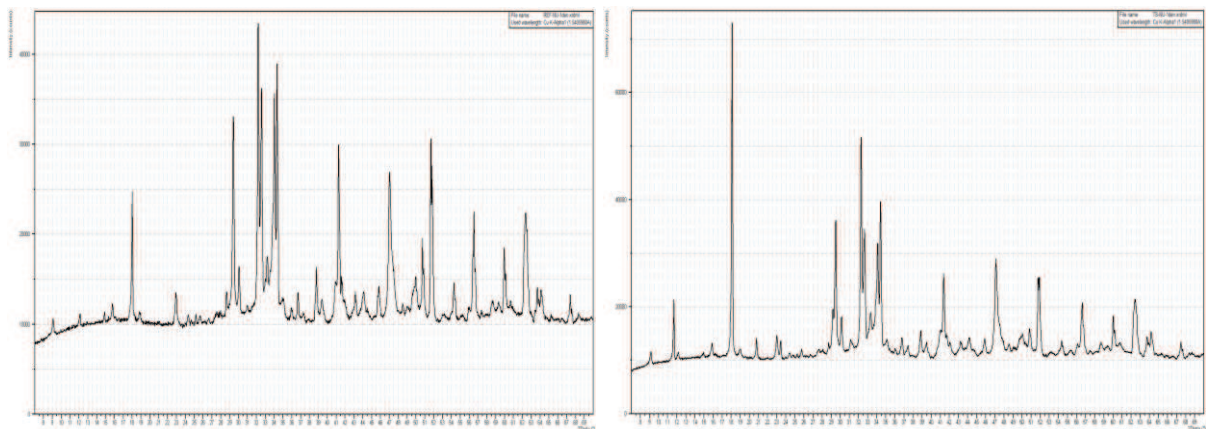
- Alit, C<sub>3</sub>S ( $d_{hkl} = 5,90, 2,78, 2,74 \text{ \AA}$ )
- belit,  $\beta$ -C<sub>2</sub>S ( $d_{hkl} = 2,78, 2,74, 2,405 \text{ \AA}$ )

- brownmillerit  $C_4AF$  ( $d_{hkl} = 7,24, 2,68, \text{Å}$ )
- trikalciualuminát,  $C_3A$  ( $d_{hkl} = 2,70\text{Å}$ )
- sádrovec,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  ( $d_{hkl} = 7,55, 4,21 \text{Å}$ )
- kalciumaluminát,  $CA$  ( $d_{hkl} = 4,66, 2,98 \text{Å}$ )
- mayenit  $C_{12}A_7$  ( $d_{hkl} = 4,46, 3,50, 2,60 \text{Å}$ )
- portlandit,  $Ca(OH)_2$  ( $d_{hkl} = 4,92, 2,627 \text{Å}$ )
- kalcit,  $CaCO_3$  ( $d_{hkl} = 3,86, 3,035 \text{Å}$ )
- ettringit,  $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 32H_2O$  ( $d_{hkl} = 9,8, 3,81 \text{Å}$ ).

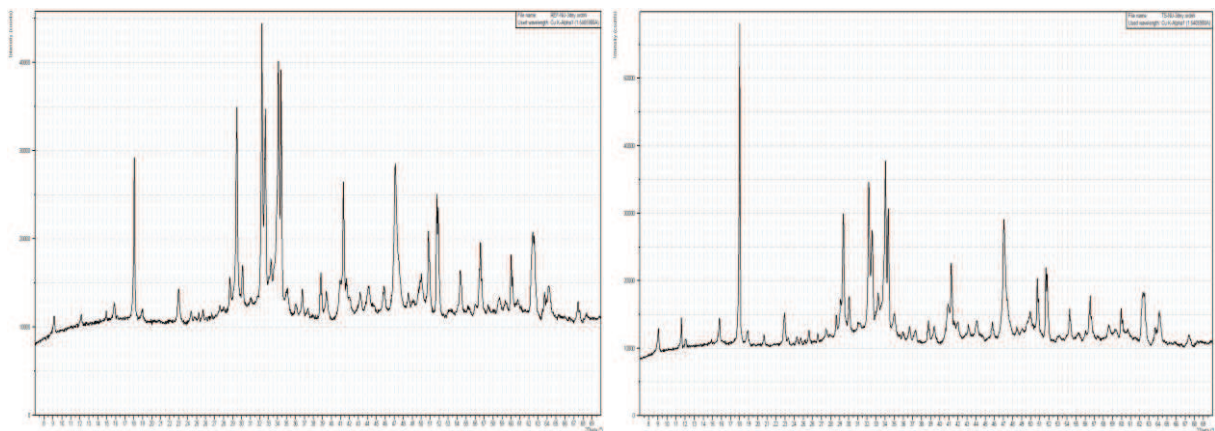
a) referenční vzorek

b) vzorek A

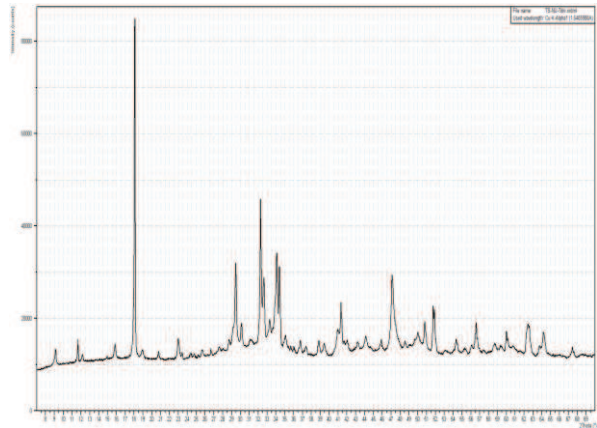
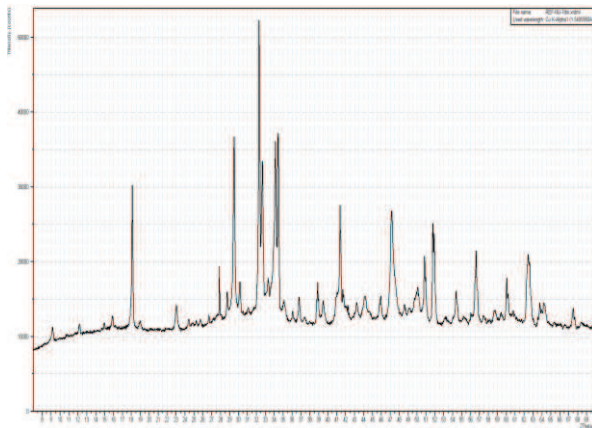
1 den laboratorní prostředí



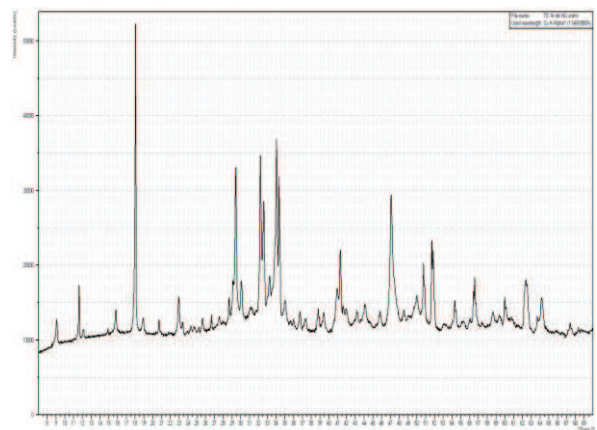
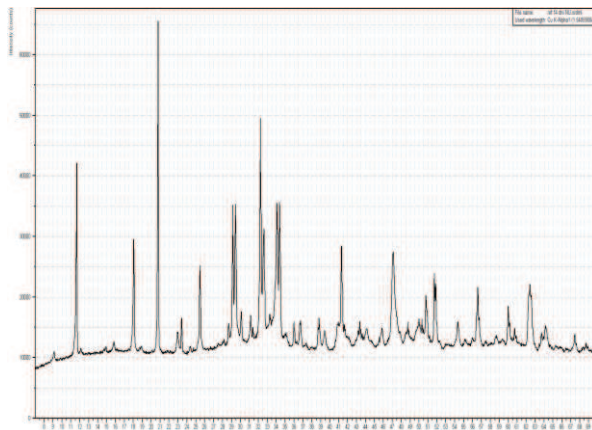
3 dny laboratorní prostředí



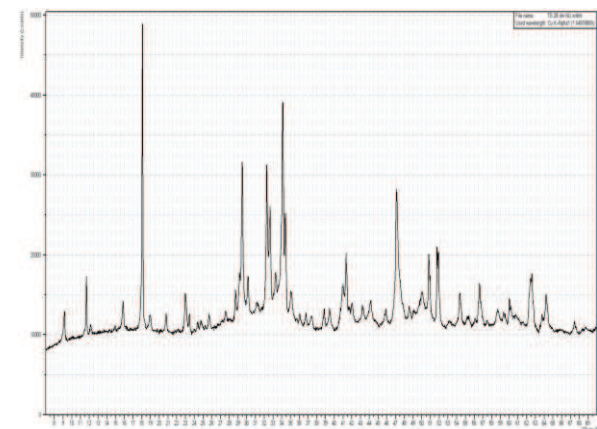
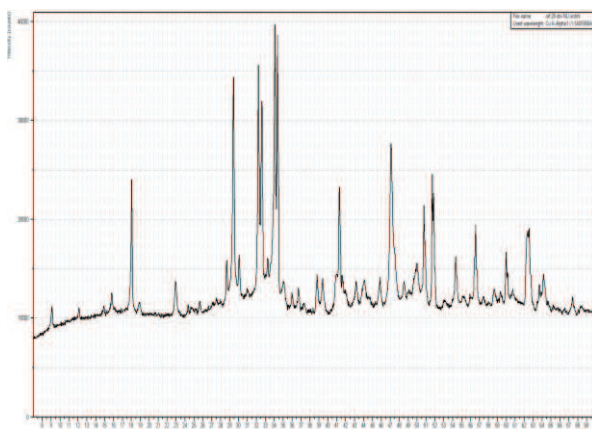
### 7 dnů laboratorní prostředí



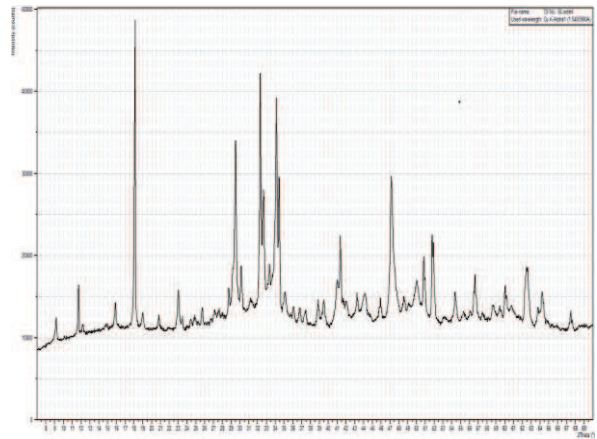
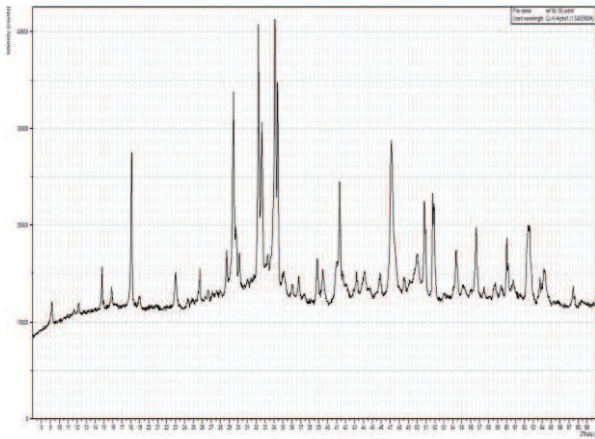
### 14 dnů laboratorní prostředí



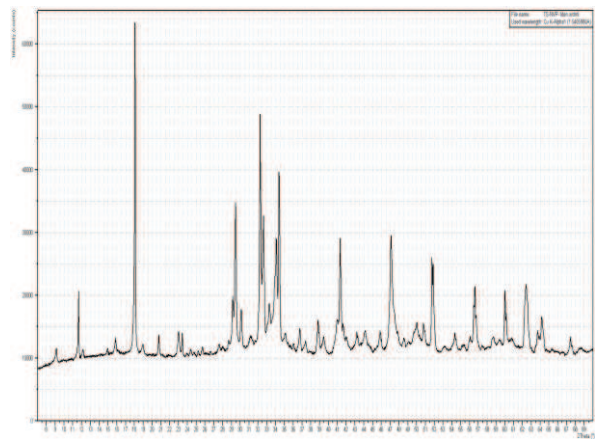
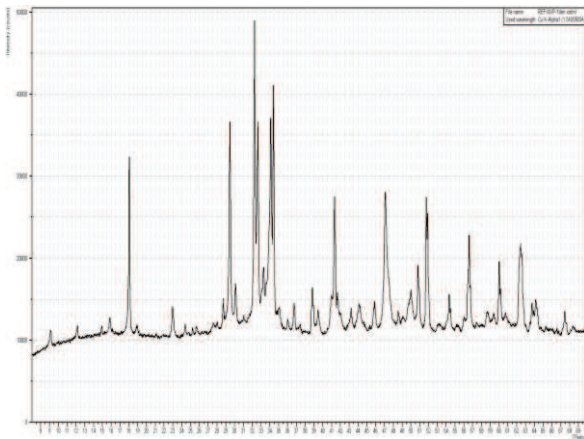
### 28 dnů laboratorní prostředí



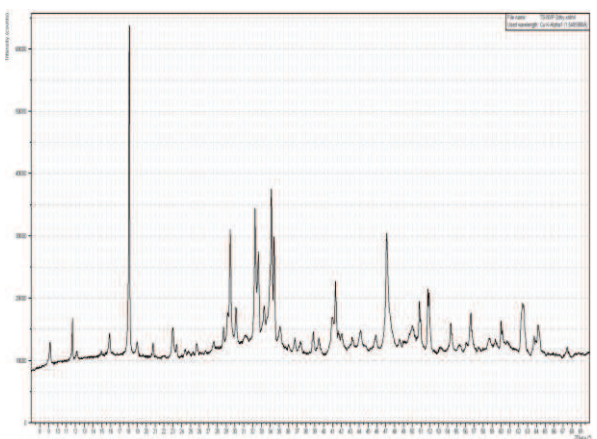
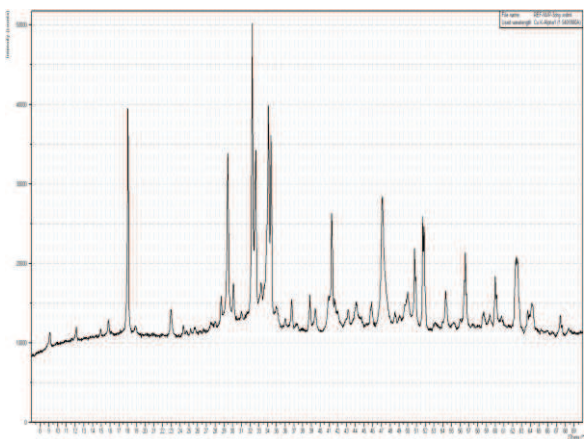
### 56 dnů laboratorní prostředí



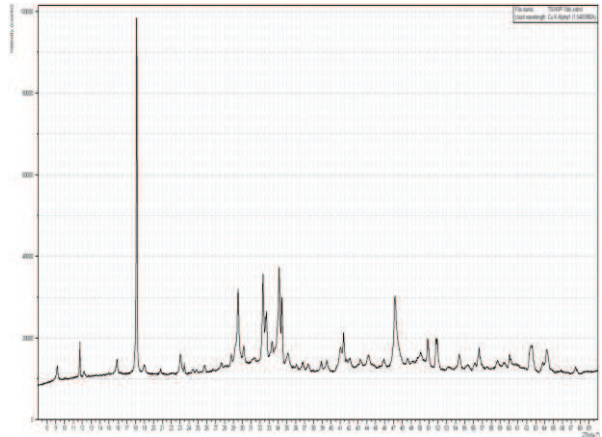
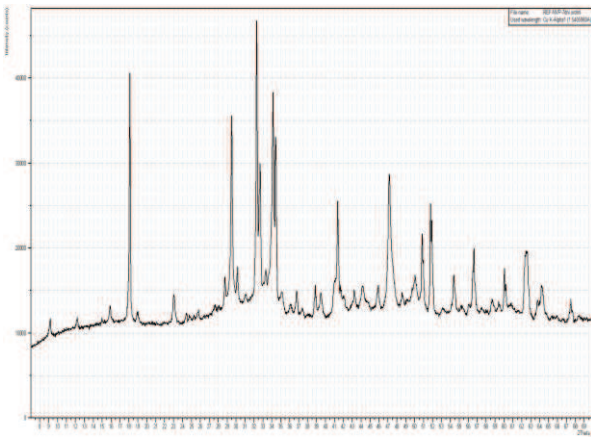
### 1 den nasycená vodní pára



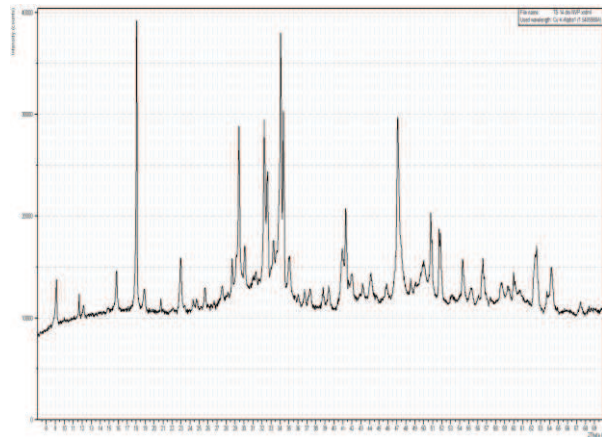
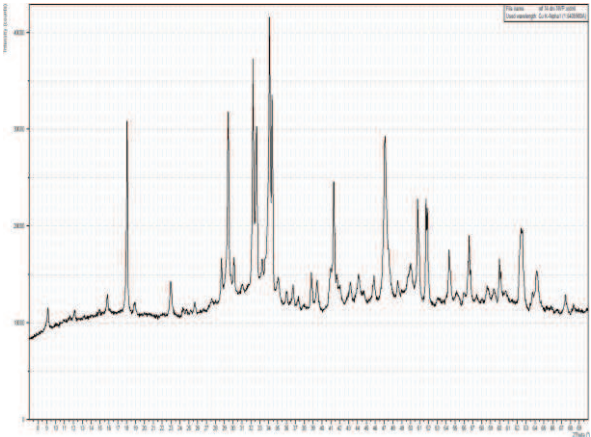
### 3 dny nasycená vodní pára



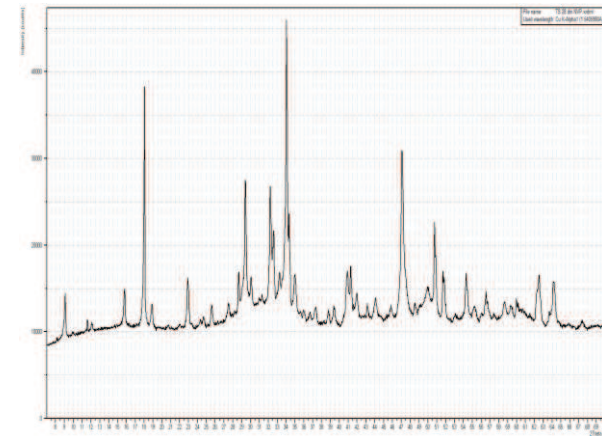
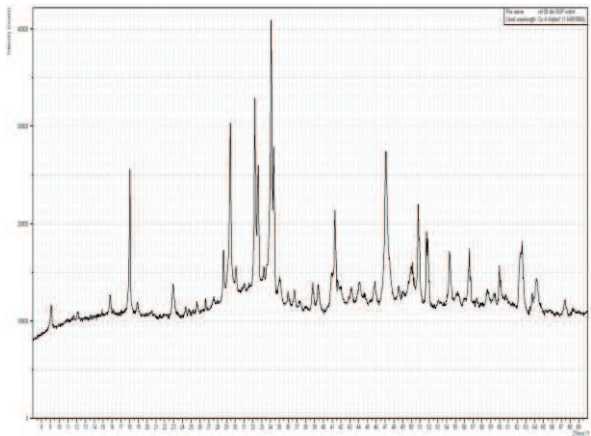
### 7 dnů nasycená vodní pára



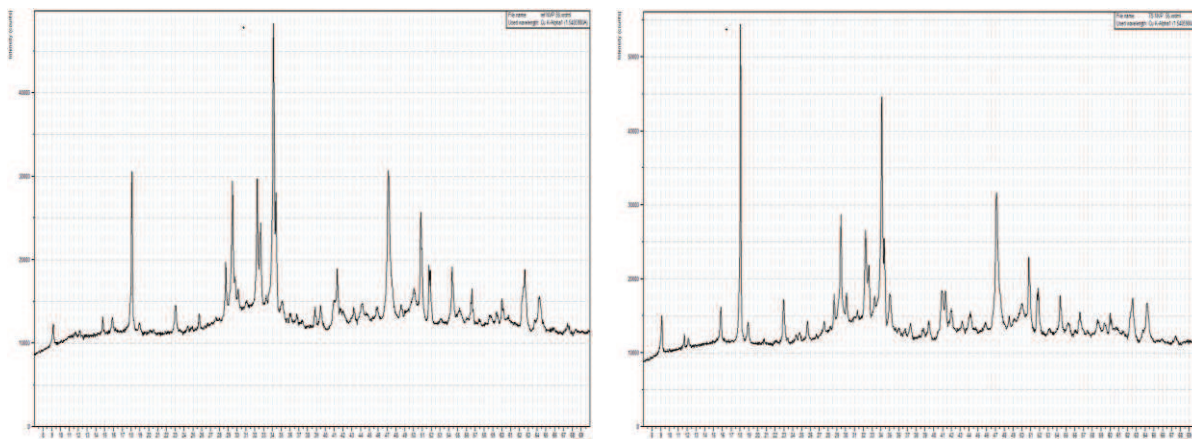
### 14 dnů nasycená vodní pára



### 28 dnů nasycená vodní pára



## 56 dnů nasycená vodní pára



**Obr. 17:** Rentgenogramy referenčního vzorku a vzorku A hydratovaných v laboratorním prostředí a v prostředí nasycené vodní páry

Zásadní rozdíl mezi vzorky čisté cementové pasty a hydratovaného vzorku A spočíval v obsahu ettringitu a sádrovce. Z dalších procesů, které byly identifikovány u obou vzorků, šlo o hydrataci slídkových minerálů, zvláště alitu, event. belitu, doprovázenou snížením jejich difrakčních linií a naopak identifikací a postupným nárůstem difrakcí portlanditu.

Při hydrataci v laboratorním prostředí docházelo jen velmi pozvolna k reakci sádrovce na ettringit, takže sádrovec byl velmi dobře identifikovatelný i po 28 dnech hydratace. Přesto však je z rentgenogramů zřejmé, že obsah ettringitu ve vzorku A byl oproti referenční cementové pastě vždy vyšší.

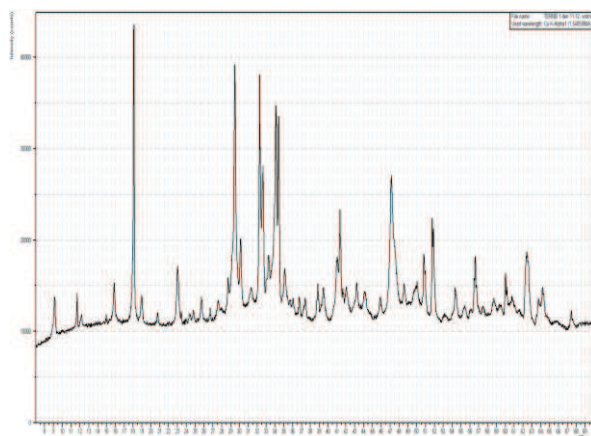
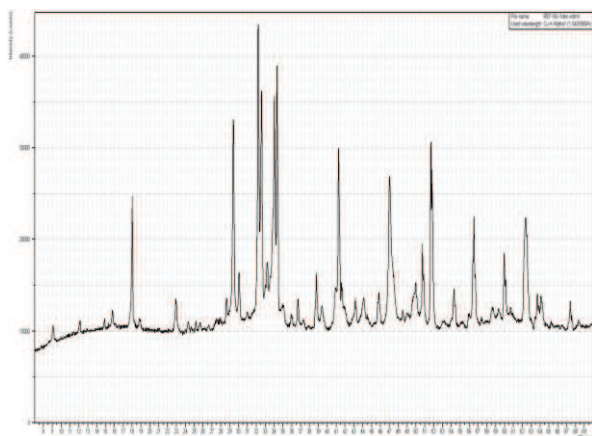
Při hydrataci v prostředí nasycené vodní páry probíhal proces tvorby ettringitu z přidaného sádrovce a hlinitanového cementu ve srovnání s předchozím podstatně rychleji. Zvýšená rychlost popsaného procesu se projevovala rychlým úbytkem sádrovce v období prvních sedmi dnů hydratace a intenzivním nárůstem ettringitových difrakcí od sedmého dne dále.

Na základě vyhodnocení průběhu a rychlosti tvorby ettringitu v ternárním systému vzorku A bylo konstatováno, že pro zvýšení rychlosti tohoto procesu bude vhodné jednak zvýšit dávku hlinitanového cementu a dále zvýšit podíl vápenatých iontů prostřednictvím malého přídatku vápeného hydrátu. Proto byl dodatečně navržen vzorek B, jehož složení je uvedeno v tab. 6 – kap. Metodika práce. Hydratační proces vzorku B byl z časových důvodů omezen již jen na sledování raného hydratačního stádia do doby uložení 7 dnů. Rentgenogramy vzorku B hydratovaného v jednotlivých časových intervalech uvádí obr. 18.

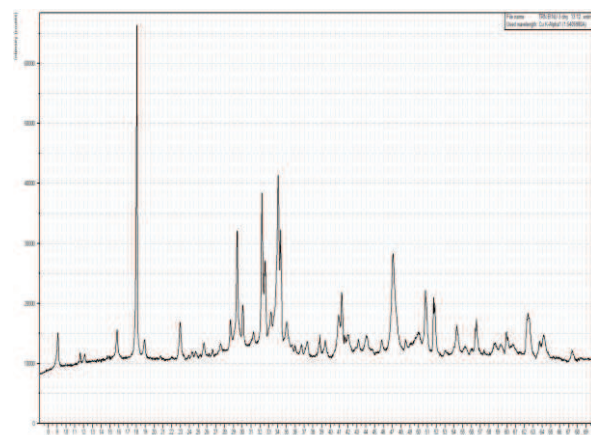
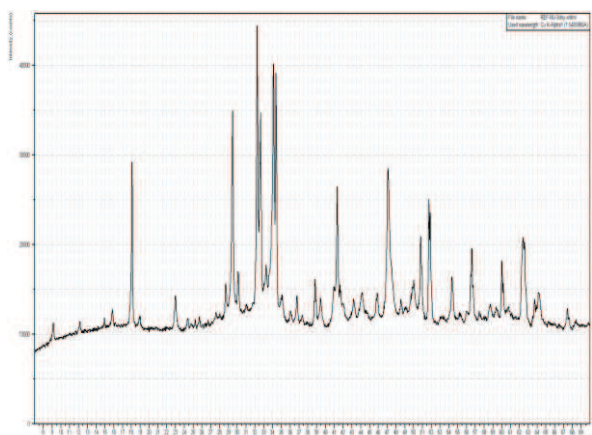
a) referenční vzorek

b) vzorek B

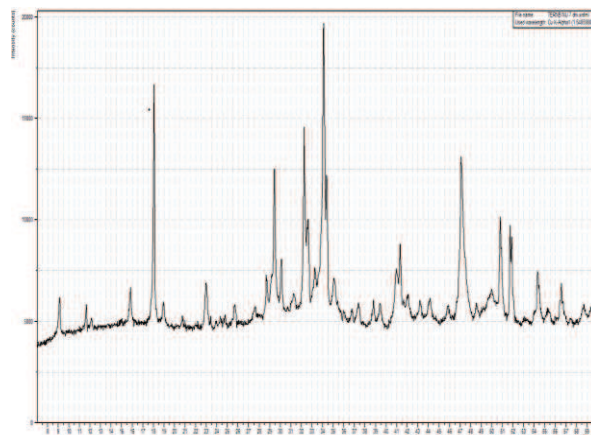
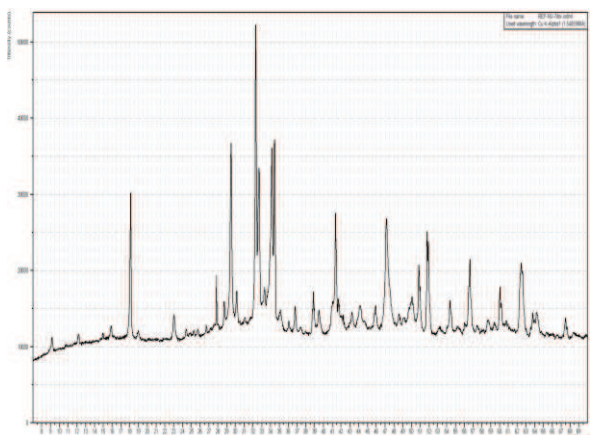
1 den laboratorní prostředí



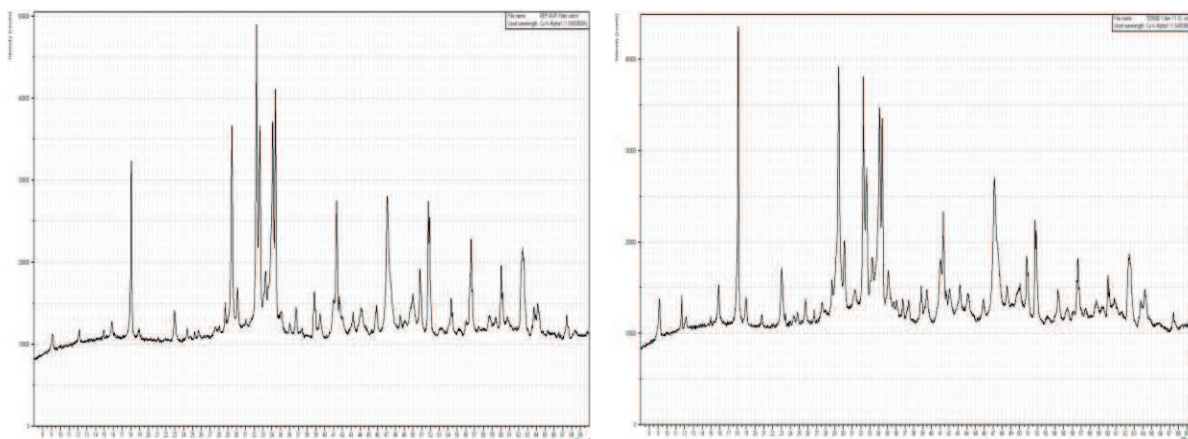
3 dny laboratorní prostředí



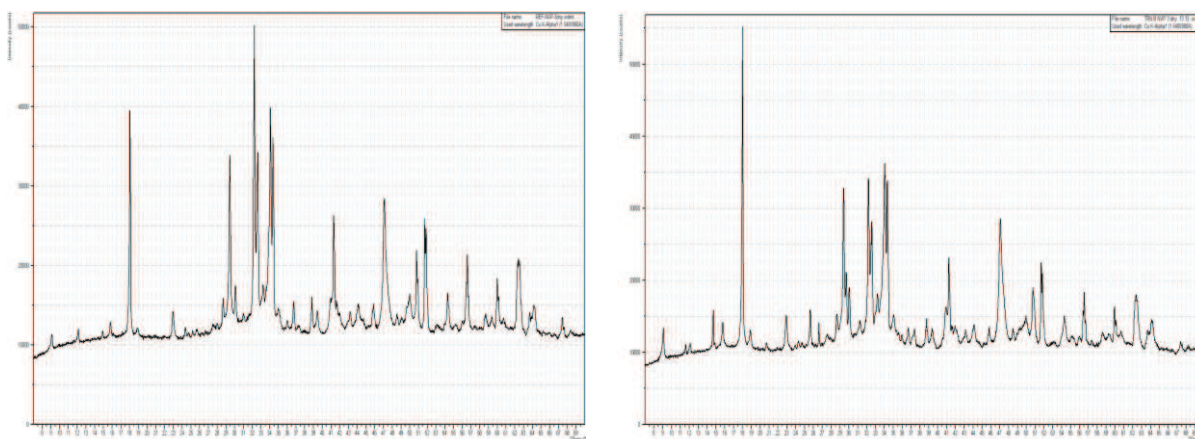
7 dnů laboratorní prostředí



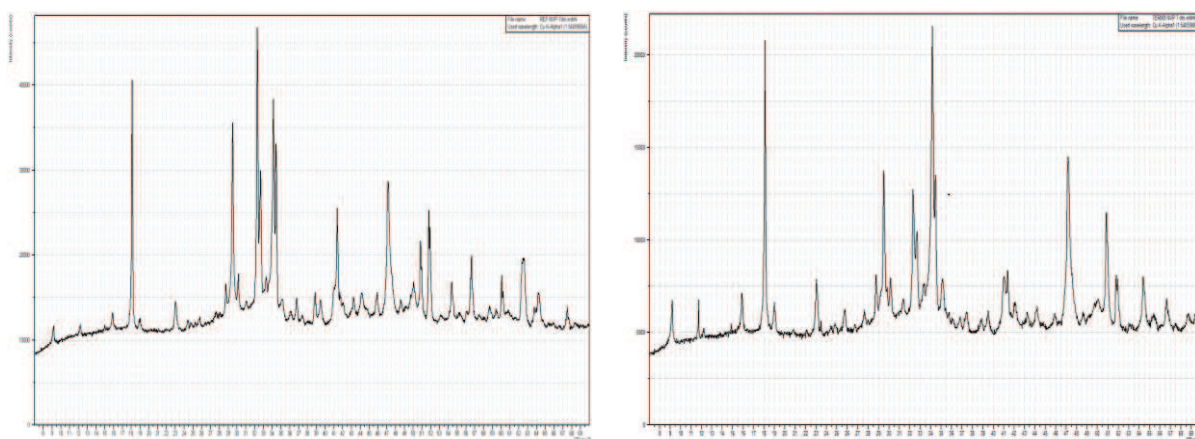
### 1 den nasycená vodní pára



### 3 dny nasycená vodní pára



### 7 dnů nasycená vodní pára



**Obr. 18:** Rentgenogramy referenčního vzorku a vzorku B hydratovaných v laboratorním prostředí a v prostředí nasycené vodní páry

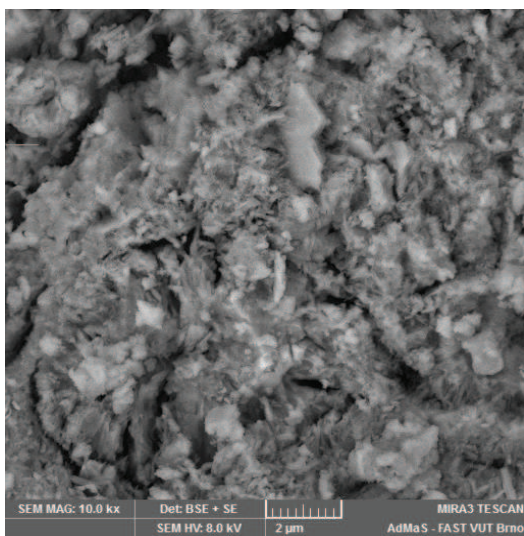
Difrakce sádrovce, u vzorku A patrné při laboratorním uložení ještě i po 28 dnech hydratace, jsou u vzorku B prakticky nezřetelné již po době uložení 3 dnů v obou sledovaných expozicích. Z toho jednoznačně vyplývá, že zvýšené dávkování hlinitanového cementu a přísadavek vápenného hydrátu u vzorku B podstatně zvýšilo rychlost tvorby ettringitu jak v prostředí nasycené vodní páry, tak i v problematičtějších podmínkách uložení laboratorního.

Výsledky mineralogických rozborů byly v dalším doplněny přímým sledováním morfologie hydratovaných vzorků pomocí elektronové rastrovací mikroskopie na přístroji TESCAN MIRA XMU při zvětšení 1.000x až 20.000x, viz obr. 19.

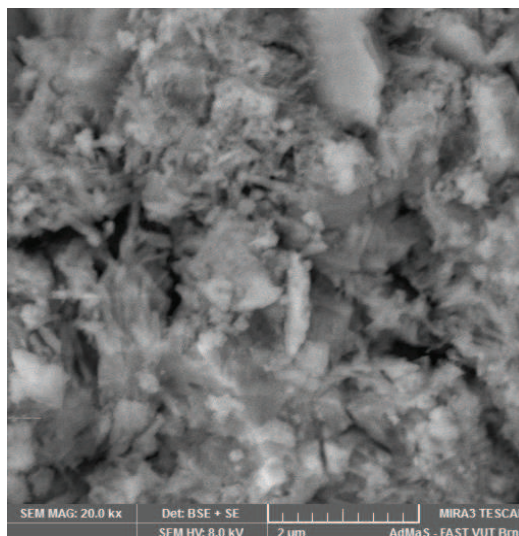
### ***Vzorek A***

*Nasycená vodní pára 7 dnů*

*10.000x*



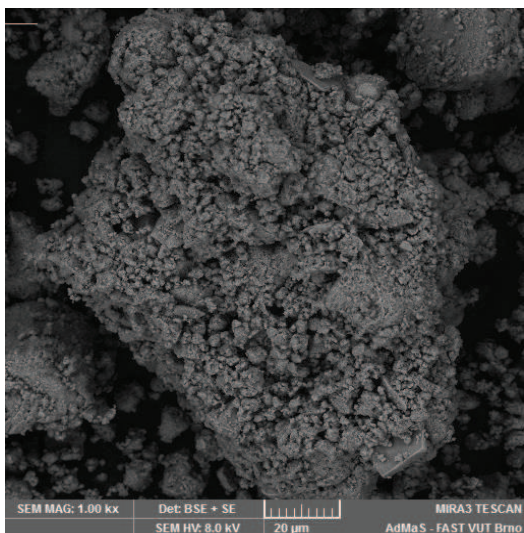
*20.000x*



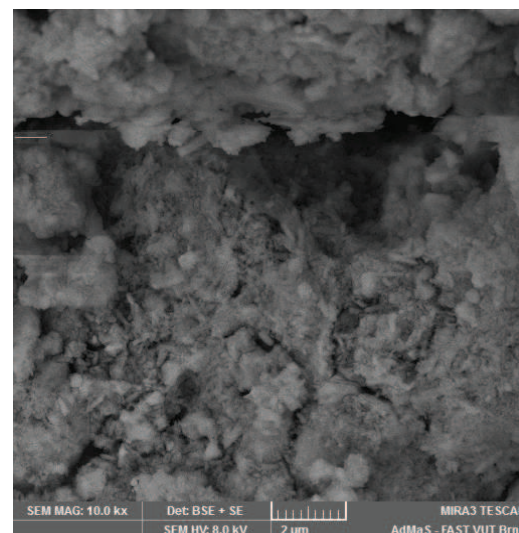
### ***Vzorek B***

*Nasycená vodní pára 1 den*

*1.000x*

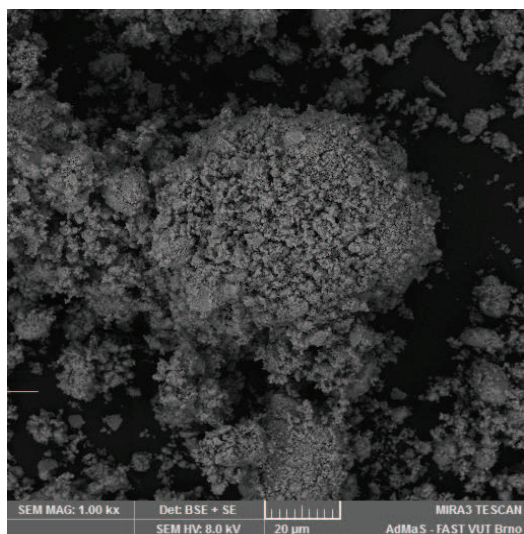


*10.000x*

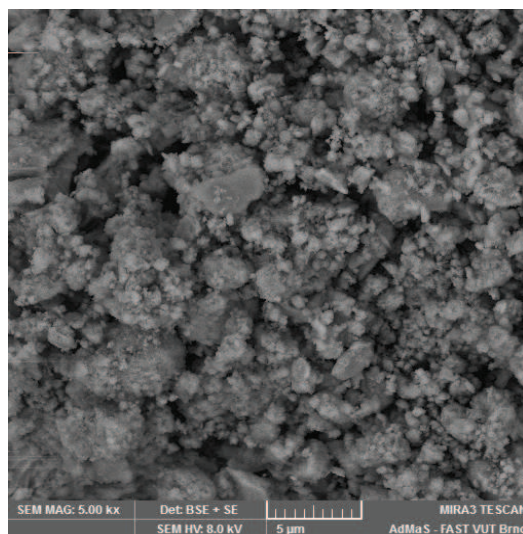


**Vzorek B**  
*Laboratorní prostředí 3 dny*

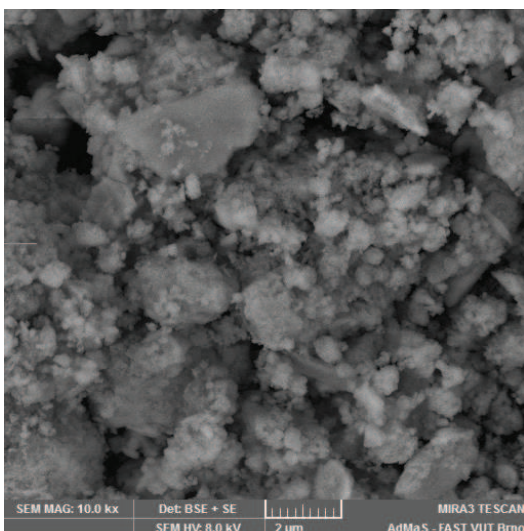
1.000x



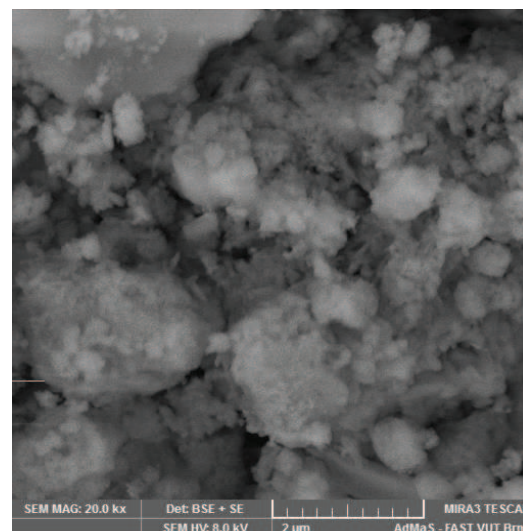
5.000x



10.000x

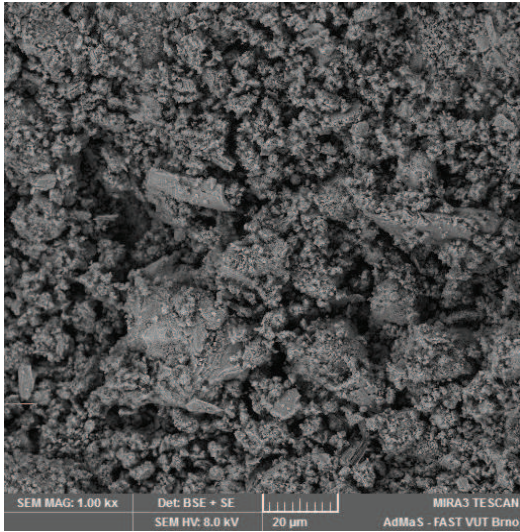


20.000x

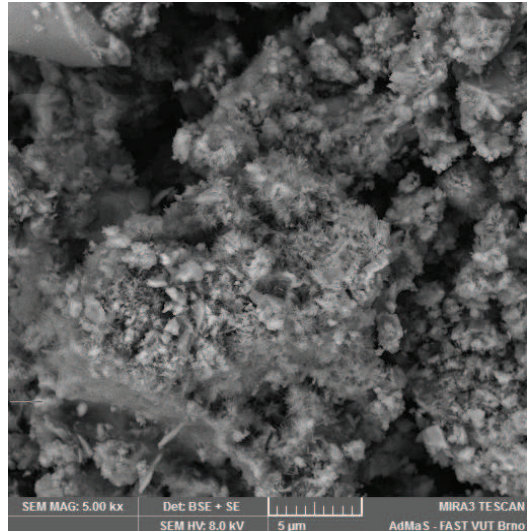


**Vzorek B**  
*Laboratorní prostředí 7 dní*

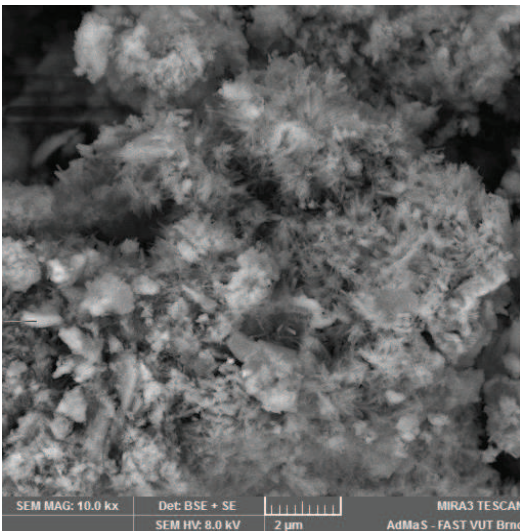
1.000x



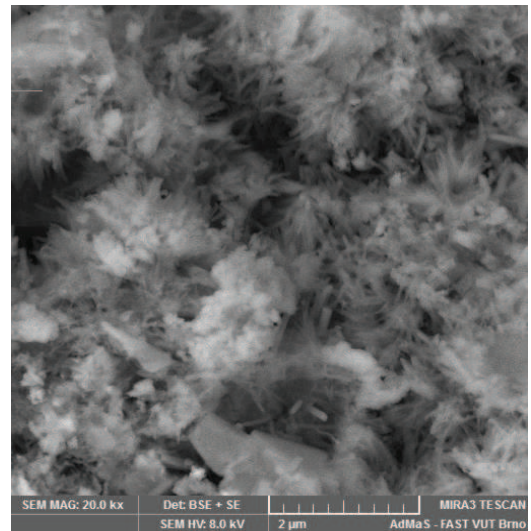
5.000x



10.000x

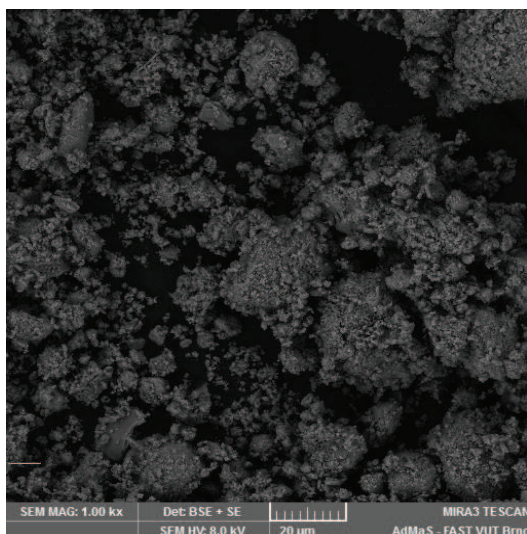


20.000x

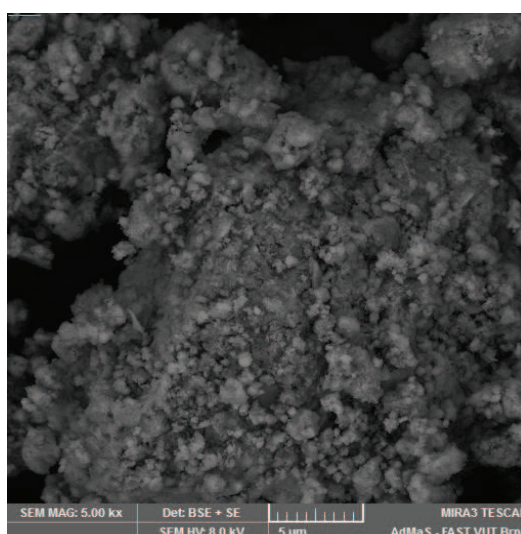


**Vzorek B**  
*Nasyčená vodní pára 3 dny*

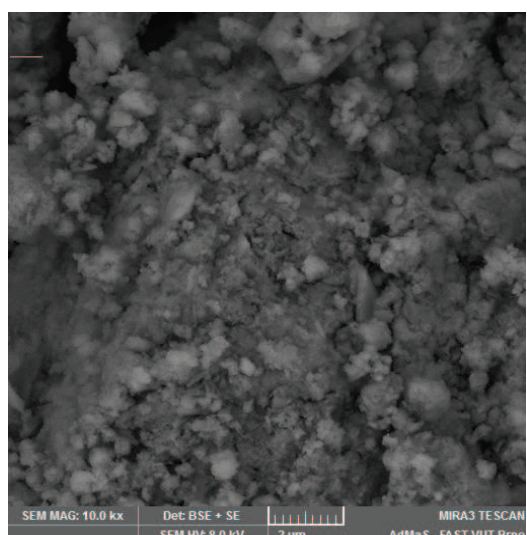
1.000x



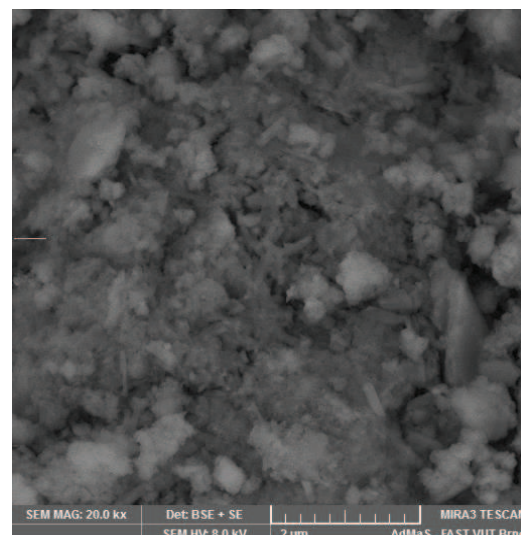
5.000x



10.000x

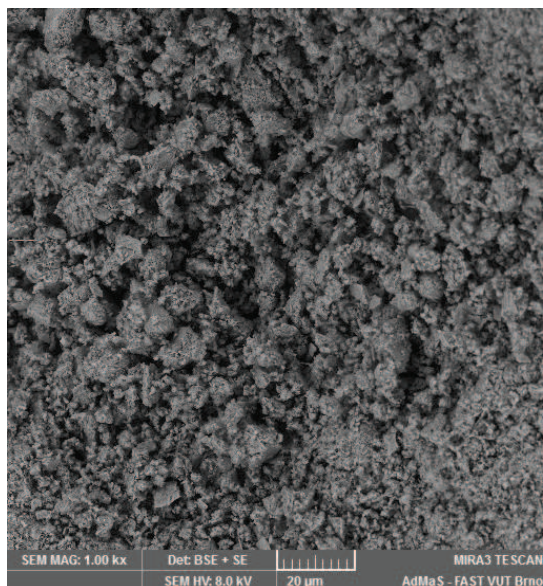


20.000x

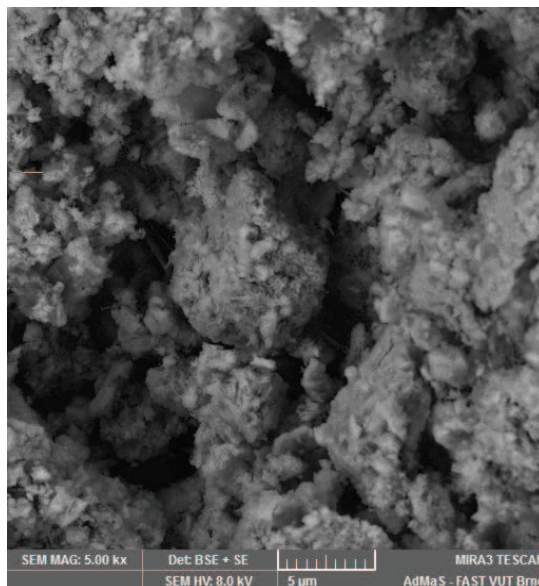


**Vzorek B**  
*Nasycená vodní pára 7 dnů*

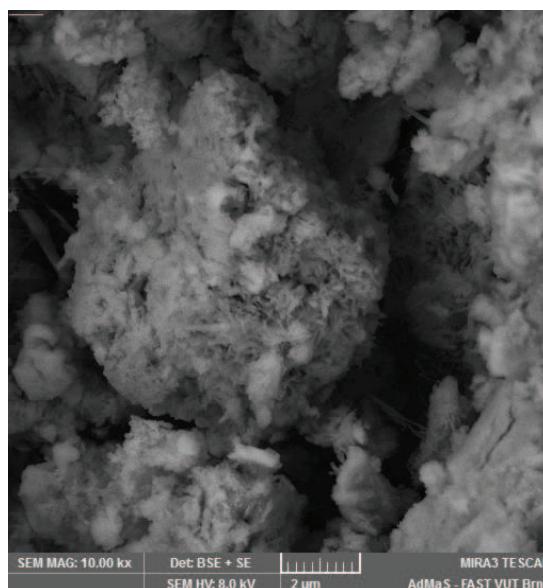
1.000x



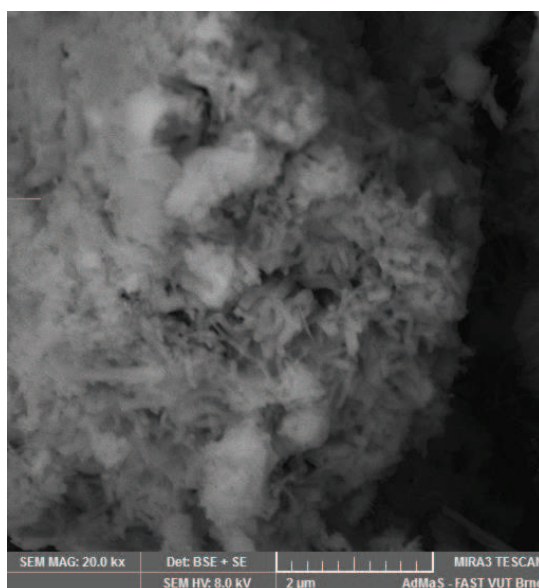
5.000x



10.000x



20.000x



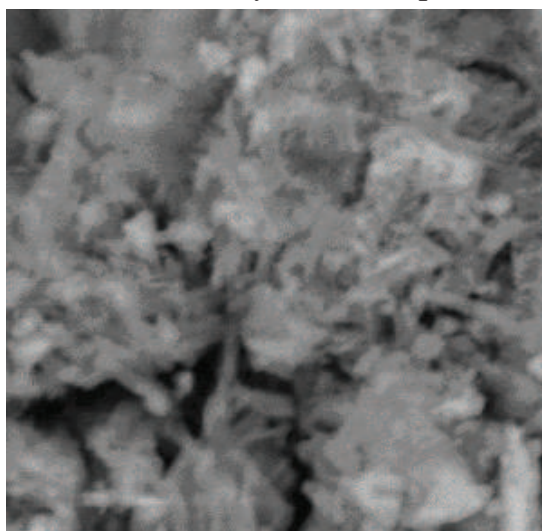
**Obr. 19:** *Morfologie hydratovaného vzorku A a vzorku B*

Jak je ze snímků patrné, je morfologie vznikajícího ettringitu závislá jednak na složení ternárního systému, dále na prostředí uložení a zároveň i na době hydratace. Co do složení ternárního systému bylo elektronovou mikroskopií potvrzeno, že tvorba ettringitu je v případě vzorku A zcela nevýrazná i při uložení v prostředí nasycené vodní páry. Co se týče morfologie vzorku B, je zde tvorba ettringitu podstatně evidentnější, a potvrzuje tak pozitivní vliv zvýšené dávky hlinitanového cementu a přídavku vápenného hydrátu na jeho tvorbu.

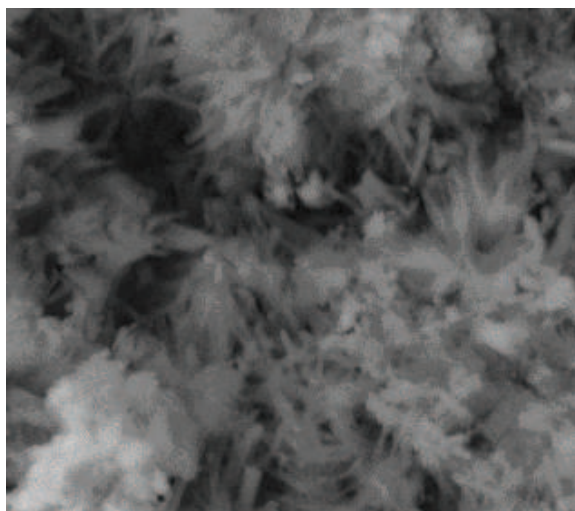
Současně lze pozorovat, že lepší morfologie dosahují krystaly ettringitu až po sedmi dnech hydratace, neboť do této doby je lze označit jen za xeno- až hypautomorfní. Zároveň je patrné, že lépe vyvinuté krystaly ettringitu vznikly u vzorku B při uložení v prostředí nasycené vodní páry.

Demonstrace rozdílů v morfologii vzorku A a vzorku B ve stáří 7 dnů a různém prostředí uložení je zřejmá v detailních záběrech na obr. 20.

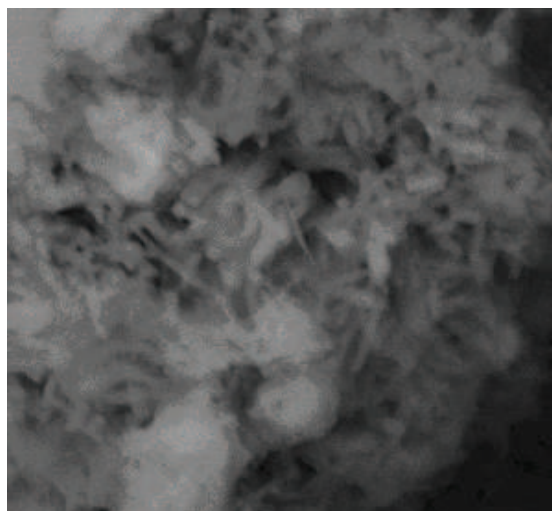
*Vzorek A, nasycená vodní pára*



*Vzorek B, laboratorní prostředí*



*Vzorek B, nasycená vodní pára*



**Obr. 20:** *Detaily morfologie hydratovaných vzorků ve stáří 7 dnů, zvětšení 20.000x*

#### 4.1.2 Objemová stálost hydratovaných vzorků

Výsledky stanovení objemové stálosti referenčního vzorku cementové pasty a zkoušeného vzorku A a vzorku B dle Le Chateliera, exponovaných v laboratorním prostředí, jsou uvedeny v tab. 12.

*Tab. 12: Stanovení objemové stálosti vzorků metodou dle Le Chateliera*

Doba hydratace	Objemová stálost					
	Referenční vzorek		Vzorek A		Vzorek B	
	Vzdálenost hrotů [mm]	Změna vzdálenosti hrotů [%]	Vzdálenost hrotů [mm]	Změna vzdálenosti hrotů [%]	Vzdálenost hrotů [mm]	Změna vzdálenosti hrotů [%]
počátek	12,5		8,8		13,9	
1 hodina	12,5		8,8		13,9	
2 hodiny	12,5		8,8		13,9	
3 hodiny	12,5		8,8		13,9	
4 hodiny	12,5		8,8		13,9	
5 hodin	12,5		8,8		14,1	+ 1,44
24 hodin	12,7	+ 1,6	9,7	+ 10,2	15,7	+ 12,9
48 hodin	12,7	+ 1,6	10,3	+ 17,0	16,7	+ 20,1
6 dnů	12,7	+ 1,6	10,3	+ 17,0	17,1	+ 23,0

Jak je z tabulky patrné, nejmenší, prakticky nulové objemové změny vykázal při uložení v laboratorním prostředí referenční vzorek čisté cementové pasty. Podstatně výraznější změny byly stanoveny pro vzorek A, u něhož po 6 dnech hydratace došlo ke zvětšení vzdálenosti hrotů  $\Delta l$  již o 17 %. Nejlepší výsledky vykázal upravený vzorek B. Jeho délková změna hrotů, prakticky shodná s výslednou změnou délky hrotů referenčního vzorku, byla pozorována jednak již po 5 hodinách hydratace a kromě toho celková změna délky hrotů po 6 dnech uložení byla vůbec největší. Současně však lze konstatovat, že ani tehdy nepřekročila maximálně přípustné délkové změny, předepsané pro cementové pasty dle ČSN EN 196 hodnotou  $\Delta l = 10$  mm.

#### 4.1.3 Technologické vlastnosti hydratovaných vzorků

Výsledky zkoušek vybraných technologických vlastností vzorku referenčního a zkoušeného vzorku A uvádí tab. 13.

**Tab. 13:** Základní technologické vlastnosti hydratovaných vzorků cementových past

Sledovaná vlastnost	Expozice vzorků			
	Laboratorní prostředí		Nasycená vodní pára	
	Referenční vzorek	Vzorek A	Referenční vzorek	Vzorek A
Vodní součinitel $w$ [-]	0,33	0,34	0,33	0,34
Pevnost v tlaku [MPa]				
1 den	19,8	17,9	23,5	17,7
3 dny	47,6	34,8	45,6	35,0
7 dnů	47,6	44,3	52,7	42,3
14 dnů	57,1	55,9	65,2	59,5
28 dnů	53,8	54,3	64,2	64,8
56 dnů	53,9	51,1	65,2	67,4
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]				
1 den	3,1	2,1	3,2	2,1
3 dny	4,5	4,3	4,7	4,7
7 dnů	5,2	5,4	6,0	6,0
14 dnů	5,2	4,4	5,8	5,4
28 dnů	5,8	5,1	5,7	5,2
56 dnů	5,3	5,6	5,0	5,5
Objemová hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]				
1 den	1975	1902	2063	1971
3 dny	1982	1967	2062	1985
7 dnů	2000	1960	2020	2000
14 dnů	1960	1890	2010	1920
28 dnů	1950	1970	2080	2070
56 dnů	1950	1820	2040	1970

Z tabulky je patrné, že:

- pevnosti vzorků jsou vždy vyšší při jejich expozici v prostředí nasycené vodní páry než v prostředí laboratorním
- vzorek A má v raném hydratačním stádiu nižší pevnosti než vzorek referenční, což je především způsobeno jeho poněkud zvýšenou hodnotou vodního součinitele. Konečné pevnosti, tj. od 28. dne hydratace dále, jsou však již u referenčního vzorku i zkoušeného vzorku A srovnatelně vysoké, a to jak v laboratorním prostředí, tak i v prostředí nasycené vodní páry
- objemová hmotnost referenčního vzorku je vždy vyšší než vzorku A, a to opět v důsledku rozdílu v jejich vodních součinitelích. Současně je zřejmé, že všechny vzorky

exponované v prostředí nasycené vodní páry mají vyšší objemovou hmotnost než odpovídající vzorky, uložené v laboratorním prostředí.

Závěrem lze k této části experimentálních prací konstatovat, že navržený ternární systém vyhovuje jak z hlediska dobré objemové stálosti, tak i z hlediska základních technologických vlastností.

#### 4.2. Ztekucení samonivelačních směsí vybranými plastifikátory

Ztekucení samonivelačních směsí bylo sledováno jako rozliv příslušné malty, tj. stěrky nebo potěru, v závislosti na dávkování plastifikačních přísad Melflux 4930 F a Melflux 6681 F, adhezni přísady Dairen a na množství záměsové vody. Výsledky měření uvádějí tabulky 14 a 15.

**Tab. 14:** Vliv dávkování modifikujících přísad a záměsové vody na rozliv stěrky

Sledovaná vlastnost	Označení vzorku							
	S7	S8	S8	S9	S10	S11	S11	S12
Obsah přísady Dairen [%]	0,15	0,15	0,15	0,30	0,15	0,15	0,15	0,30
Obsah přísady Melflux 4930 F [%]	0,30	0,35	0,35	0,35	-	-	-	-
Obsah přísady Melflux 6681 F [%]	-	-	-	-	0,30	0,35	0,35	0,35
Množství záměsové vody [l/kg]	0,20	0,20	0,21	0,21	0,20	0,20	0,21	0,21
Rozliv [mm]	125x125	135x134	140x140	130x130	132x132	132x134	137x140	129x130

Na základě dosažených výsledků bylo vyhodnoceno:

- zvyšující se dávka Dairenu snižuje při konstantní hodnotě vodního součinitele rozliv malty. Např. rozliv vzorku S8 s 0,15 % Dairenu měl při množství záměsové vody ve výši 0,21 l/kg rozliv 140x140 mm, kdežto vzorek S9 s 0,35 % Dairenu vykázal při stejném množství záměsové vody rozliv malty pouze ve výši 130x130 mm. Obdobný vliv byl prokázán i u vzorků S11 a S12, modifikovaných druhým typem plastifikátoru. Dairen tudíž působí vedle hlavní funkce adhezni přísady do určité míry i jako záhustka
- zvýšená dávka plastifikátoru působila poněkud lépe na zvýšení rozlivu malty v případě jeho druhu Melflux 4930 F, než druhu Melflux 6691 F

- nejvhodnější ztekucení při zachování co nejlepších ekonomických ukazatelů vykázaly vzorky S8 a S11, které při stále příznivé výši záměsové vody 0,21 litrů/kg směsi byly modifikovány 0,15 % adhezni přísady Dairen a 0,35 % plastifikátoru Melflux obou typů.

**Tab. 15:** *Vliv dávkování modifikujících přísad a záměsové vody na rozliv potěru*

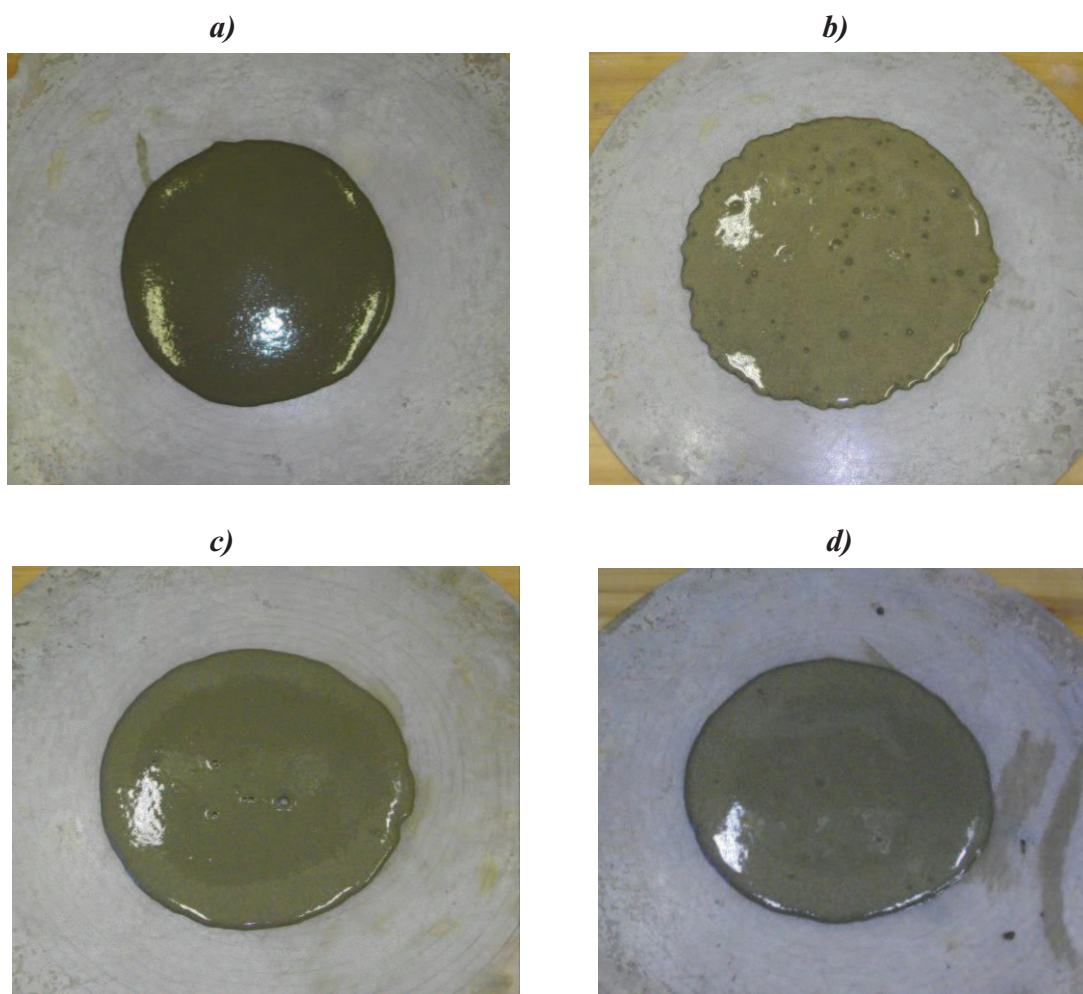
Sledovaná vlastnost	Označení vzorku							
	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Obsah přísady Melflux 4930 F [%]	0,10	0,15	0,20	0,30	-	-	-	-
Obsah přísady Melflux 6681 F [%]	-	-	-	-	0,10	0,15	0,30	0,30
Množství záměsové vody [l/kg]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Rozliv [mm]	229x226	237x239	241x242	255x260	225x215	236x240	237x242	247x252

Na základě dosažených výsledků je možné říci:

- stejně jako v případě stěrky působí i u samonivelačního potěru zvyšující se dávka plastifikátoru na zlepšení jeho tekutosti
- na rozdíl od vzorků stěrky nebyl u vzorků potěru pozorovatelný, resp. vyhodnotitelný prakticky žádný rozdíl mezi oběma zkoušenými typy plastifikátoru
- u vzorků potěru s plastifikátorem Melflux 6681 F bylo pozorováno výrazné odměšování záměsové vody, které upozornilo na to, že samonivelační potěr i stěrku bude nutné modifikovat záhustkou, v daném případě retenční přísadou Ter Cell. Tento předpoklad byl v závěru prací potvrzen doplňujícími zkouškami ztekucovacího efektu vzorků potěru i stěrky, modifikovaných nízkými dávkami přísady Ter Cell a současným vizuálním posouzením potenciálního odměšování záměsové vody, viz tab. 16 a 17 a obr. 21 a 22.
- na základě příslušných zkoušek byl jako nejvhodnější z hlediska technických vlastností i ekonomické efektivity vyhodnocen vzorek potěru P5 s 0,15 % plastifikátoru Melflux 4930 F.

**Tab. 16:** Vliv dávkování přísady Ter Cell a záměsové vody na rozliv stěrky

Sledovaná vlastnost	Označení vzorku								
	S8a	S8b	S8c	S8d	S11a	S11b	S11c	S11d	S11e
Obsah přísady Ter Cell [%]	0,15	0,10	0,05	0,05	0,15	0,10	0,10	0,05	0,05
Obsah přísady Melflux 4930 F [%]	0,35	0,35	0,35	0,35	-	-	-	-	-
Obsah přísady Melflux 6681 F [%]	-	-	-	-	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Množství záměsové vody [l/kg]	0,45	0,39	0,33	0,36	0,36	0,31	0,32	0,27	0,28
Rozliv [mm]	140x140	140x140	140x140	155x155	140x140	135x133	140x139	130x132	140x138

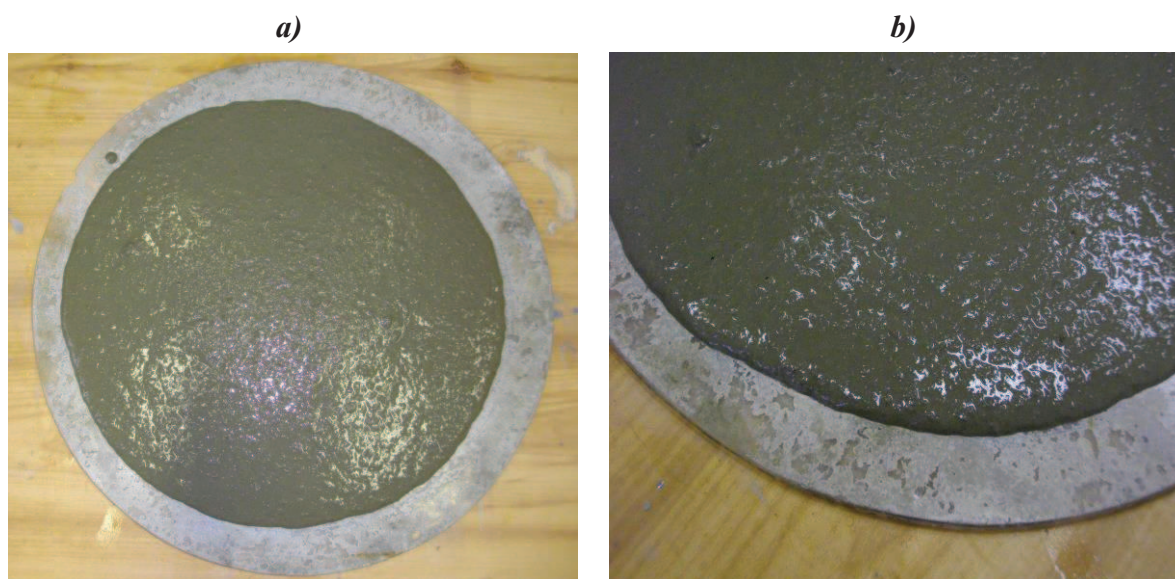


**Obr. 21:** Vizuální posouzení vzorků: a) S8a, b) S8c, c) S11a, d) S11e

Jak je z tabulky i obrazové dokumentace patrné, nejlepších výsledků z hlediska technologických vlastností, vzhledu i ekonomické efektivity bylo dosaženo u vzorku S11e, modifikovaného přidavkem 0,05 % Ter Cellu a s použitím plastifikátoru typu Melflux 6681. Množství záměsové vody u tohoto vzorku se však proti vzorku nemodifikovanému Ter Cellem zvýšilo dosti výrazně, a to z hodnoty 0,21 l/ kg suché směsi vzorku S11 na hodnotu 0,28 l/kg suché směsi vorku S11e. Podle vizuálního posouzení se však došlo k závěru, že u stěrky bude možné obsah Ter Cellu ještě dále snížit, event. tuto přísadu zcela vyloučit.

**Tab. 17:** Vliv dávkování přísady Ter Cell a záměsové vody na rozliv potěru

Sledovaná vlastnost	Označení vzorku					
	P5a	P5b	P5c	P5d	P5e	P5f
Obsah přísady Ter Cell [%]	0,15	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Obsah přísady Melflux 4930 F [%]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Množství záměsové vody [l/kg]	0,25	0,18	0,22	0,23	0,17	0,19
Rozliv [mm]	240x240	163x160	238x240	247x250	240x237	260x260



**Obr. 22:** Vizuální posouzení vzorků: a) P5a, b) P5e

Stejně jako u stěrky byl přidavek 0,05 % Ter Cellu postačující k tomu, aby se zamezilo odměšování vody z rozmíchaného vzorku potěru. Přitom se množství záměsové vody zvýšilo z původní hodnoty 0,15 l/kg suché směsi vzorku P5 bez Ter Cellu na jen o málo vyšší hodnotu 0,17 l/kg suché směsi vzorku P5e.

### 4.3 Technologické vlastnosti samonivelačních směsí

Na základě optimalizace fyzikálně chemických vlastností a ekonomické efektivity byly ke zkouškám technologických vlastností vybrány dva vzorky samonivelační stěrky S8 a S11, lišících se typem použitého plastifikátoru Melfluxu, a jeden vzorek potěru P5. Výsledky zkoušek uvádí tab. 18.

**Tab. 18:** Základní technologické vlastnosti vybraných vzorků samonivelačních směsí

Sledovaná vlastnost	Druh samonivelační směsi		
	stěrka		potěr
	Vzorek S8	Vzorek S11	Vzorek P5
Množství záměsové vody [l/kg]	0,21	0,21	0,15
Rozliv [mm]	140x140	137x140	237x239
Pevnost v tlaku [MPa]			
1 den	3,3	2,6	2,6
3 dny	14,8	13,8	9,7
7 dnů	20	18,6	11,7
28 dnů	27,3	27,4	20,3
56 dnů	27,9	27,7	20,4
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]			
1 den	1,1	1,2	0,9
3 dny	5,3	5,6	3,5
7 dnů	7,1	7,3	4,3
28 dnů	7,3	7,7	5,7
56 dnů	7,4	7,6	7,5
Přídržnost k podkladu [MPa]			
28 dnů	1,2	1,4	1,0
Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]			
1 den	2180	2100	1860
3 dny	2140	2090	1800
7 dnů	2120	2070	1840
28 dnů	2110	2090	1890
56 dnů	2160	2060	1880

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- technologické vlastnosti obou vzorků stěrek lze považovat za prakticky shodné, přičemž pozorované rozdíly je možné přisoudit spíše jen subjektivní chybě měření. Intenzivní nárůst pevností v závislosti na době hydratace byl patrný do 28. dne uložení, v pozdějším

termínu 56 dnů hydratace již spíše jen zanedbatelný. Objemové hmotnosti hydratovaných vzorků se s dobou uložení prakticky neměnily

- i přes nižší obsah záměsové vody byly pevnosti vzorku potěru ve srovnání s pevnostmi obou stěrek podstatně nižší. Důvodem je především nižší obsah cementu v potěru a dále i granulometrie použitého kameniva. Velmi jemnozrnné kamenivo stěrky vyžaduje vysoký podíl vody smáčecí, množství zbylé vody, připadající na vodu hydratační a pórovou, je potom relativně nízké. Opačně hrubozrnné kamenivo potěru spotřebovává podstatně nižší podíl vody smáčecí, tudíž množství vody hydratační a pórové je ve srovnání s předchozím výrazně vyšší. Z uvedeného a s přihlédnutím k nižším hodnotám objemových hmotností lze dedukovat, že hydratovaný potěr vykazuje ve srovnání s hydratovanou stěrkou vyšší porozitu, která rovněž částečně přispěla k poklesu pevností
- z porovnání s normovými hodnotami vyplývá, že vzorky stěrek vyhověly s dostatečnou rezervou předepsané třídě (28 denní) tlakové pevnosti ve výši 20 MPa i pevnosti vtahu za ohybu ve výši 4 MPa. Rovněž vzorek potěru uvedeným normovým požadavkům vyhověl, ovšem v případě tlakové pevnosti jen s velmi malou rezervou.

## 5. Diskuze výsledků

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat:

- navržený ternární systém na bázi portlandského cementu, hlinitanového cementu a sádrovce vedl v souladu s původní hypotézou ke zlepšení objemové stálosti hydratovaného cementového kamene, přičemž ve srovnání s čistým portlandským cementem nijak negativně neovlivnil základní normou sledované vlastnosti včetně 28 denních pevností
- podrobnou analýzou hydratačního procesu se dospělo k závěru, že pro dokonalou a rychlou tvorbu požadovaného ettringitu je v původním vzorku A zapotřebí upravit dávkování jednotlivých komponent. Tímto se dospělo ke vzorku B, který obsahoval ve srovnání s původním vzorkem A více hlinitanového cementu, navíc byl přidán vápenný hydrát pro zabezpečení dostatečného množství vápenatých iontů již v počátečním stádiu hydratace. Touto úpravou došlo k podstatnému zrychlení tvorby ettringitu, a tím ke zlepšení objemové stálosti i zvýšení stability systému již v raných stádiích hydratace
- z časových důvodů již nebylo možné stanovit u vzorku B jeho základní technologické vlastnosti, lze však odhadnout, že v počátečním stádiu hydratace budou jeho pevnosti poněkud nižší než u vzorku A, avšak do normou závazného termínu 28 dnů uložení se prakticky dorovnají
- modifikace plastifikátorem Melfluxem prokázala, že jeho optimální dávka činí u samonivelační stěrky 0,35 % a u samonivelačního potěru 0,15 % na hmotnost suché směsi, a to pro oba jeho typy Melflux 4930 F i Melflux 6681 F. Uvedený rozdíl v optimálním dávkování plastifikátoru do stěrky a potěru spočívá v jejich odlišné granulometrii, neboť požadované ztekucení vysoce jemnozrnné stěrky je podstatně náročnější než hrubozrnného potěru
- v souvislosti se ztekucením obou samonivelačních směsí bylo zjištěno, že nejen retenční přísada Ter Cell, ale i adhezní přísada Dairen působí do jisté míry jako záhustka, a zhoršuje tak účinek plastifikátoru, resp. má za následek nutnost vyššího dávkování plastifikační přísady
- bylo zjištěno a dodatečnými zkouškami potvrzeno, že retenční přísadu nelze ze systému samonivelačního potěru vynechat, neboť jinak dochází k výraznému odměšování

záměsové vody. Stačí však jen minimální množství retenční přísady Ter Cell, konkrétně 0,05 % na hmotnost suché směsi, aby se tomuto efektu zamezilo. Velmi pozitivní je pak i to, že toto velmi nízké dávkování Ter Cellu jen velmi málo ovlivňuje potřebné množství záměsové vody, a nebude proto způsobovat žádné podstatné zhoršení pevností

- na rozdíl od potěru došlo při použití i minimálního množství 0,05 % Ter Cellu do stěrky k podstatnému zvýšení záměsové vody. Praktický dopad tohoto zjištění je však zanedbatelný, neboť odměšování vody u stěrek bez Ter Cellu bylo jen nepatrné, a jeho přísada může být prakticky stopová anebo dokonce může být zcela vynechána
- co se týče zkoušek normou předepsaných vlastností, bylo zjištěno, že vzorky stěrek vyhověly s dostatečnou rezervou předepsané třídě tlakové pevnosti ve výši 20 MPa i pevnosti v tahu za ohybu ve výši 4 MPa. Rovněž vzorek potěru předepsaným normovým požadavkům vyhověl, ovšem v případě tlakové pevnosti jen s velmi malou rezervou. Z toho dále plyne, že v dalším pokračování výzkumu bude nutné u samonivelačního potěru buď zvýšit podíl ternárního pojiva, anebo při zachování podílu pojiva zvýšit dávkování plastifikátoru.

## **Závěr**

V souladu se zadáním bylo v diplomové práci navrženo složení ternárního pojivého systému, odzkoušeny jeho základní vlastnosti a průběh hydratačního procesu. Následně bylo ternární pojivo použito k přípravě samonivelačních směsí typu samonivelační stěrky a samonivelačního potěru. V této souvislosti bylo nejdůležitějším bodem experimentálních prací odzkoušení vlivu plastifikátoru Melfluxu a určení jeho optimální dávky. Závěrem pak byly stanoveny normou sledované technologické vlastnosti stěrky i samonivelačního potěru.

Lze konstatovat, že navržené ternární pojivo je dobrým základem pro objemově stále samonivelační směsi, respektující při dodržení požadovaného rozlivu i normou předepsané požadavky na pevnosti. Pro další vývoj v této oblasti se doporučuje odzkoušet modifikované ternární pojivo, v práci označené jako vzorek B, k přípravě obou druhů samonivelačních směsí. U samonivelačního potěru však bude nutné optimalizovat dávku pojiva, plastifikátoru či obojího a doplnit retenční přísadu Ter Cell. Dále se doporučuje provedení aplikačních zkoušek, na jejichž základě může dojít k dalším korekcím samonivelačních systémů.

## Seznam použité literatury:

- [1] *Bena-stavebniny.cz*. [online]. [cit. 2013-09-06].  
Dostupné z: <http://www.bena-stavebniny.cz/sluzby/suche-maltove-smesi/>.
- [2] ČSN 74 4505. *Podlahy - Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [3] *Podlahy*. In: [online]. Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební [cit. 2013-10-17].  
Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps2/podlahy.html>.
- [4] Technologický předpis pro podlahové potěry a samonivelační stěrky spol. BAUMIT, s r.o. Dostupné z: [www.baumit.cz](http://www.baumit.cz).
- [5] ŠTENKO, M. *Studium objemových změn samonivelačních podlahových hmot z hlediska jejich konečné objemové stability, ve vazbě na jejich materiálové složení a volbu vhodných měřicích metod*. Brno, 2011. 128 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.
- [6] *Speciální produkty.cz: Anhylevel*. CEMEX. [online]. [cit. 2013-10-06]. Dostupné z: <http://www.specialni-produkty.cz/anhylevel.html>.
- [7] Technologický předpis pro provádění anhydritových potěrů Anhylevel spol. CEMEX. Dostupné z: <http://www.specialni-produkty.cz>.
- [8] *Lité směsi.cz: Anhyment*. ČESKOMORAVSKÝ BETON. [online]. [cit. 2013-11-04]. Dostupné z: <http://www.lite-smesi.cz/znackove-produkty/anhyment-lity-anhydritovy-poter.html>.
- [9] *Bautech.eu*. [online]. [cit. 2013-11-24].  
Dostupné z: <http://www.bautech.eu/en/category/thin-layer-floor.html>.
- [10] BÁRTA, R. *Chemie a technologie cementu*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství československé akademie věd, 1961, 1107 s.
- [11] PYTLÍK, P. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s. ISBN 80-214-1647-5.
- [12] HAVLÁSEK, P. *Modely pro dotvarování a smršťování betonu*. Praha, 2009. Studentská vědecká a odborná činnost. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce prof. Ing. Milan Jirásek, DrSc.

- [13] FRIDRICHOVÁ, M. *Maltoviny II, přednášky 2012*.
- [14] FRIDRICHOVÁ, M. *Maltoviny I, přednášky 2010*.
- [15] ASTM C845/C845M. *Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2012. Dostupné z: [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [16] ŠAUMAN, Z. *Maltoviny I*. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1993, 198 s. ISBN 80-214-0509-0.
- [17] TAYLOR, H. F. *Cement chemistry*. 2nd ed. London: Telford, 1997, 459 s. ISBN 07-277-2592-0.
- [18] AMATHIEU, L., T. A. BIER a K. L. SCRIVENER. *Mechanisms of Set Acceleration of Portland Cement through CAC Addition*. In: Calcium aluminate cements 2001: proceedings of the International Conference on Calcium Aluminate Cements (CAC) held at Heriot-Watt University Edinburgh, Scotland, UK, 16 - 19 July 2001. London: IOM Communications, 2001. ISBN 18-612-5142-4.
- [19] SOKOLT, S. *Studium trvanlivosti hmot na bázi účelového vzniku ettringitu*. Brno, 2012. 77 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Nikol Žižková, PhD.
- [20] TELESCA, A., M. MARROCCOLI, M. TOMASULO, G. L. VALENTI a T. R. NAIK. *Expansive and non-expansive calcium sulfoaluminate-based cements*. In: [online]. Kyoto Research Park, Kyoto, Japan, 2013 [cit. 2013-12-11]. Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. Dostupné z: [www.claisse.info](http://www.claisse.info).
- [21] ČSN EN 13813. *Potěrové materiály a podlahové potěry - Potěrové materiály - Vlastnosti a požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [22] Technický list produktu Anhyment spol. Českomoravský cement. Dostupné z: <http://www.lite-smesi.cz/>.
- [23] *Lité směsi.cz: Podlahy*. ČESKOMORAVSKÝ BETON. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://www.lite-smesi.cz/poradenstvi/rodinne-domy/podlahy.html#tab2>.
- [24] *Anhypodlahy.cz*. [online]. [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: <http://www.anhypodlahy.cz/lite-podlahy.html>.
- [25] *Anydritovepodlahy.eu*. [online]. [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: <http://www.anydritovepodlahy.eu/anydritove-podlahy>.

- [26] *Speciální produkty.cz: Cemlevel*. CEMEX. [online]. [cit. 2013-12-29]. Dostupné z: <http://www.specialni-produkty.cz/cemlevel.html>.
- [27] *Lité směsi.cz: Cemflow*. ČESKOMORAVSKÝ BETON. [online]. [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.lite-smesi.cz/znackove-produkty/cemflow-lity-cementovy-poter.html>.
- [28] Lítý cementový potěr CemFlow. *Imateriály* [online]. [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://imaterialy.dumabyt.cz/Informace-vyrobcu/Lity-cementovy-poter-CemFlow.html>.
- [29] Dimenzování a realizace teplovodního podlahového vytápění. [online]. 11.5.2011 [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/>.
- [30] Mixin - Typy podlahových konstrukcí. [online]. [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://www.mixin.cz/typy-podlahovych-konstrukci.htm>.
- [31] ŠTENKO, M. Samonivelační stěrky – kvalita a použití 2. In: *Imateriály* [online]. [cit. 2014-01-05]. Dostupné z: <http://imaterialy.dumabyt.cz/Materialy/Samonivelacni-sterky-kvalita-anbspouziti-2.html>.
- [32] Technický list CEM I 42,5 R společnosti Českomoravský cement, HeidelbergCement Group, cementárna Mokrá. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.com/>.
- [33] Technický list produktu SECAR 51 společnosti Kerneos. Dostupné z: <http://www.kerneosinc.com/>.
- [34] Technický list produktu CL 90-S. Dostupné z: <http://www.cemix.cz/>.

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1:</b>	Pevnostní třídy potěrových materiálů	27
<b>Tab. 2:</b>	Třídy potěrového materiálu podle pevnosti v tahu za ohybu	27
<b>Tab. 3:</b>	Odolnost proti obrusu v třídách Böhme pro cementové a jiné potěrové materiály	27
<b>Tab. 4:</b>	Odolnost proti obrusu v třídách BCA pro cementové a jiné potěrové materiály	27
<b>Tab. 5:</b>	Odolnost proti opotřebení valivým zatížením pro cementové a jiné potěrové materiály	28
<b>Tab. 6:</b>	Složení vzorků ternárního systému	30

<b>Tab. 7:</b>	Navržené receptury samonivelačních stěrek	31
<b>Tab. 8:</b>	Navržené receptury samonivelačních potěrů	31
<b>Tab. 9:</b>	Chemické složení cementu CEM I 42,5 R Mokrý	34
<b>Tab. 10:</b>	Chemické složení Al-cementu SECAR 51	34
<b>Tab. 11:</b>	Chemické složení vápenného hydrátu CL 90-S	34
<b>Tab. 12:</b>	Stanovení objemové stálosti vzorků metodou dle Le Chateliera	51
<b>Tab. 13:</b>	Základní technologické vlastnosti hydratovaných vzorků cementových past	52
<b>Tab. 14:</b>	Vliv dávkování modifikujících přísad a záměsově vody na rozliv stěrky	53
<b>Tab. 15:</b>	Vliv dávkování modifikujících přísad a záměsově vody na rozliv potěru	54
<b>Tab. 16:</b>	Vliv dávkování přísady Ter Cell a záměsově vody na rozliv stěrky	55
<b>Tab. 17:</b>	Vliv dávkování přísady Ter Cell a záměsově vody na rozliv potěru	56
<b>Tab. 18:</b>	Základní technologické vlastnosti vybraných vzorků samonivelačních směsí	57

## **Seznam obrázků**

<b>Obr. 1:</b>	Použitelné ternární pojivové koncepce PC-CAC-C\$H	18
<b>Obr. 2:</b>	Spojený potěr	23
<b>Obr. 3:</b>	Potěr na oddělovací vrstvě	24
<b>Obr. 4:</b>	Plovoucí potěr	24
<b>Obr. 5:</b>	Potěr pro vytápěné podlahy	25
<b>Obr. 6:</b>	Formy na zkušební tělesa	35
<b>Obr. 7:</b>	Le Chatelierovy objímky	35
<b>Obr. 8:</b>	Analytické váhy	36
<b>Obr. 9:</b>	Laboratorní míchačka	36
<b>Obr. 10:</b>	RTG analyzátor	36
<b>Obr. 11:</b>	Elektronový mikroskop	36
<b>Obr. 12:</b>	Zatěžovací lis	36
<b>Obr. 13:</b>	Vicatův přístroj	36
<b>Obr. 14:</b>	Haegermannův trychtýř	37
<b>Obr. 15:</b>	Rozlivný váleček	37
<b>Obr. 16:</b>	Proceq Dyna Z16	37
<b>Obr. 17:</b>	Rentgenogramy referenčního vzorku a vzorku A hydratovaných v laboratorním prostředí a v prostředí nasycené vodní páry	42

<b>Obr. 18:</b> Rentgenogramy referenčního vzorku a vzorku B hydratovaných v laboratorním prostředí a v prostředí nasycené vodní páry	44
<b>Obr. 19:</b> Morfologie hydratovaného vzorku A a vzorku B	49
<b>Obr. 20:</b> Detaily morfologie hydratovaných vzorků ve stáří 7 dnů, zvětšení 20.000x	50
<b>Obr. 21:</b> Vizuální posouzení vzorků: a) S8a, b) S8c, c) S11a, d) S11e	55
<b>Obr. 22:</b> Vizuální posouzení vzorků: a) P5a, b) P5e	56