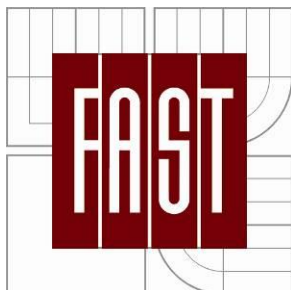


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT**  
**A DÍLCŮ**

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

# **TRVANLIVOST A SANACE VNĚJŠÍCH TEPELNĚ IZOLAČNÍCH KOMPOZITNÍCH SYSTÉMŮ**

DURABILITY AND MAINTENANCE OF EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE  
SYSTEMS

## **DISERTAČNÍ PRÁCE**

DOCTORAL THESIS

## **AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Ing. HYNEK REMEŠ**

## **VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.**

Brno 2012

**Abstrakt**

Vnější tepelně izolační kompozitní systém (ETICS) je rozšířený způsob řešení fasád stávajících i nových občanských a průmyslových staveb. Z důvodu časté aplikace tohoto systému je problematika zabývající se jeho trvanlivostí a případnou sanací velmi aktuální. Prvky ovlivňující trvanlivost ETICS jsou stále předmětem zkoumání, rovněž tak i systematický a v praxi použitelný způsob sanace.

Hlavním tématem této práce je shrnutí poznatků v problematice ETICS, zejména z pohledu pastovitých omítek a lepicích a stěrkových hmot na bázi portlandského cementu. V teoretické části je prodiskutována skladba ETICS, složení jeho součástí, technické požadavky a faktory ovlivňující trvanlivost. Experimentální část je věnována sanaci ETICS a ověření využití koloidního oxidu křemičitého k modifikaci stavebních hmot, jenž jsou součástí ETICS.

**Klíčová slova**

ETICS, trvanlivost, sanace, koloidní oxid křemičitý.

**Abstract**

External thermal insulation composite system (ETICS) is a widespread method appearance of the facades of existing and new civil and industrial buildings. With its frequent application becomes engaged his durability issues and possible rehabilitation and more topical. Influences affecting durability ETICS is still under investigation, as well as systematic and practical way to usable redevelopment.

The main theme of this work is to summarize knowledge in ETICS issue, particularly from the viewpoint adhesive and leveling materials based on Portland cement and final finishes. The theoretical part is discussed ETICS composition, the composition of its components, technical requirements and factors affecting durability. The experimental part focuses on the redevelopment of ETICS and verification using colloidal silica for modification of construction materials, which are part of the ETICS.

**Key words**

ETICS, durability, redevelopment, colloidal silica.

## **Bibliografická citace**

Remeš, H. Trvanlivost a sanace vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů: disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Brno, 2012. 129 s. Vedoucí disertační práce: Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně po studiu odborné literatury, jejíž seznam je uveden na konci této práce. Výsledky a závěry uvedené v práci jsou stanoveny na základě samostatného výzkumu a praktických experimentů.

V Jeseníku dne 9. 12. 2012

Ing. Hynek Remeš

**Poděkování:**

Především bych chtěl poděkovat školitelce Ing. Nikol Žižkové, Ph.D. za její trpělivost, podporu a odborné vedení při řešení disertační práce. Mé poděkování rovněž patří dalším pracovníkům Ústavu technologie stavebních hmot a dílců za jejich vstřícný přístup a cenné rady.

**Obsah:**

<b>A. ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>B. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
1. Vnější tepelně izolační kompozitní systémy .....	10
1.1. Návrh ETICS.....	11
1.2. Montáž.....	11
<b>2. Skladba ETICS .....</b>	<b>12</b>
2.1. Práškové hmoty s anorganickým pojivem .....	12
2.1.1. Cementové lepicí a stěrkové hmoty .....	12
2.1.2. Minerální omítky.....	13
2.1.3. Pojivo .....	13
2.1.4. Plnivo .....	13
2.1.5. Přísady a příměsi.....	13
2.1.5.1. Redispergovatelné polymerní prášky .....	14
2.1.5.2. Etheru celulózy .....	16
2.1.5.3. Hydrofobizační přísady .....	17
2.2. Pastovité hmoty .....	17
2.2.1. Lepicí a stěrkové pastovité hmoty.....	18
2.2.2. Pastovité omítky .....	18
2.2.2.1. Pojivo .....	20
2.2.2.2. Pigmenty a plniva.....	21
2.2.2.2. Ostatní přísady.....	22
2.2.3. PU pěny .....	24
<b>3. Technické požadavky.....</b>	<b>25</b>
3.1. ETICS.....	25
3.2. Lepicí a stěrkové hmoty .....	25
3.3. Omítky .....	26
<b>4. Trvanlivost .....</b>	<b>26</b>
4.1. Biocidní napadení .....	29
4.2. Výkvěty .....	29
4.3. Vliv redispergovatelného polymerního prášku na trvanlivost cementových hmot.....	31
4.4. Trvanlivost a pastovité omítky .....	31

<b>5. Sanace</b> .....	<b>32</b>
<b>6. Modifikace</b> .....	<b>33</b>
6.1. Koloidní oxid křemičitý .....	33
6.2. Sepiolit.....	35
<b>C. CÍL</b> .....	<b>37</b>
<b>D. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>38</b>
<b>7. Ověření možnosti využití koloidního oxidu křemičitého</b> .....	<b>38</b>
7.1. Metodika práce .....	38
7.2. Postup prováděných zkoušek .....	38
7.2.1. Modifikace cementové lepicí a stěrkové hmoty .....	38
7.2.2. Modifikace lepicí a stěrkové hmoty s využitím sepiolitu.....	38
7.2.3. Modifikace pastovité omítky.....	43
7.3. Popis prováděných zkoušek.....	44
7.4. Rozbor vstupních surovin.....	50
7.4.1. Rozbor vstupních surovin - lepicí a stěrkové hmoty .....	52
7.4.2. Rozbor vstupních surovin - pastovité omítky.....	59
7.5. Dosažené výsledky .....	61
7.5.1. Výběr referenční směsi lepicí a stěrkové hmoty.....	61
7.5.1.1. Stanovení vlivu redispergovatelného polymerního prášku.....	61
7.5.1.2. Stanovení vlivu etheru celulózy .....	65
7.5.1.3. Shrnutí výsledků .....	66
7.5.2. Modifikace lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým .....	67
7.5.2.1. Zkouška zpracovatelnosti .....	67
7.5.2.2. Průběh hydratačních teplot .....	68
7.5.2.3. Počátek a konec tuhnutí.....	68
7.5.2.4. Pevnost v tlaku.....	69
7.5.2.5. Pevnost v ohybu .....	70
7.5.2.6. Přídržnost k izolantu z EPS a betonu .....	71
7.5.2.7. Stanovení pórovitosti.....	74
7.5.2.8. Nasákavost .....	75
7.5.2.9. Diferenční termická analýza a termogravimetrická anlyza .....	76
7.5.2.10. Rentgenová difrakční analýza .....	81
7.5.2.11. Rastrovací elektronová mikroskopie.....	87
7.5.2.12. Shrnutí výsledků .....	89

7.5.3. Modifikace lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem .....	90
7.5.3.1. Stanovení zpracovatelnosti .....	90
7.5.3.1. Stanovení zádrže vody .....	91
7.5.3.2. Přidržnost k podkladu .....	92
7.5.3.3. Přidržnost k izolantu z EPS .....	93
7.5.3.4. Rentgenová difrakční analýza .....	94
7.5.3.6. Rastrovací elektronová mikroskopie .....	96
7.5.3.7. Shrnutí výsledků .....	96
7.5.4. Modifikace pastovité omítky koloidním oxidem křemičitým .....	97
7.5.4.1. Konzistence .....	97
7.5.4.2. Přidržnosti k podkladu .....	98
7.5.4.3. Nasákavost .....	99
7.5.4.4. Prostupnost vodních par vnějším souvrstvím .....	100
7.5.4.5. Odolnost proti nárazu tvrdého tělesa .....	101
7.5.4.6. Doplnková zkouška - odolnost proti zašpinění .....	101
<b>8. Sanace .....</b>	<b>103</b>
8.1. Sanace ETICS .....	103
8.1.1. Posouzení aktuálního stavu stavebně technickým průzkumem .....	103
8.1.2. Návrh sanace .....	105
8.1.3. Provedení přípravných prací a sanace .....	106
8.2. Dodatečné kotvení ETICS s využitím PU lepidla .....	108
8.2.1. Identifikace PU lepidla .....	108
8.2.2. Stanovení přidržnosti PU lepidla k podkladu .....	109
8.2.3. Ověření možnosti dodatečného kotvení ETICS s využitím PU lepidla .....	110
<b>E. DISKUZE A SHRNUÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>113</b>
<b>F. VÝZNAM PRÁCE PRO ROZVOJ VĚDECKÉHO OBORU A PRAXI .....</b>	<b>116</b>
<b>G. ZÁVĚR .....</b>	<b>117</b>
<b>H. POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>118</b>
<b>I. SEZNAM CITOVANÝCH NOREM .....</b>	<b>122</b>
<b>J. SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>124</b>
<b>K. SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>126</b>
<b>L. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>129</b>



## A. Úvod

Roku 1839 německý lékárník Eduard Simon poprvé izoloval tehdy ještě neznámou látku, kterou byl kapalný monomer styrenu z pryskyřice borovice. Uložený vzorek náhodně polymeroval, čímž vznikl základ v současné době nejčastěji používaného tepelně izolačního materiálu pro vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS). Samotný pěnový polystyren (EPS) byl objeven v roce 1959 a od této doby lze již datovat první aplikace ETICS.

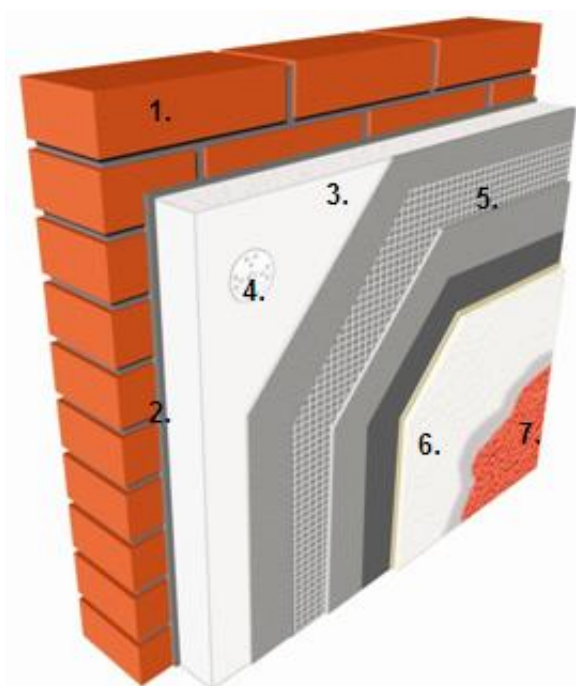
Hlavní důvody uplatnění ETICS jsou jednak ekonomické, ale i technické. Snaha o snížení spotřeby primární energie budov je spojena s požadavkem ochrany stavební konstrukce proti povětrnostním vlivům a rovněž i s nutností odstranění případných tepelně technických závad. Neméně důležitým důvodem uplatnění ETICS je požadavek nového vzhledu vnějšího opláštění stavební konstrukce. Proto lze předpokládat, že i v budoucnu bude uplatnění ETICS často využíváno a problematika zabývající se trvanlivostí a sanací ETICS stále aktuální.

## B. Teoretická část

Cílem teoretické části je shrnutí poznatků o vnějších tepelně izolačních kompozitních systémech s konečnou povrchovou úpravou tvořenou omítkou, zejména však z pohledu lepicích a stěrkových hmot a pastovitých omítek. V teoretické části je prodiskutována skladba ETICS, složení jeho součástí, technické požadavky a faktory ovlivňující trvanlivost. Tato část bude rovněž věnována koloidnímu oxidu křemičitému a minerálu sepiolitu, látkám použitým v praktické části pro modifikaci stavebních hmot určených pro použití v ETICS.

### 1. Vnější tepelně izolační kompozitní systémy

ETICS je stavební výrobek, který má pevně definované součásti. Tepelně izolační vlastnosti systému zajišťují deskové izolační materiály, které se k podkladu připevňují lepicí hmotou nebo se mechanicky kotví, eventuálně se kombinují oba druhy připevnění. Povrch izolantů je opatřen základní vrstvou, která se skládá ze stěrkové hmoty a skelné síťoviny. Základní vrstva zajišťuje mechanickou stabilitu systému, je kryta konečnou povrchovou úpravou, nejčastěji omítkou. Ta může být opatřena egalizačním nátěrem.



1. Podklad
2. Lepicí hmota
3. Izolační materiál
4. Mechanické kotvení
5. Základní vrstva  
(stěrková hmota a skelná síťovina)
6. Omítka
7. Egalizační nátěr

Obr. 1 Schéma skladby ETICS

## 1.1. Návrh ETICS

Návrh ETICS by měl zajistit dlouhodobou životnost systému a jeho koncepční zásady by měly zohledňovat [1]:

- Tepelné technické vlastnosti.
- Spolehlivost připevnění.
- Rovinnost podkladu.
- Povrchovou úpravu podkladu.
- Rozměry zateplovaneho podkladu.
- Přídržnost lepicí hmoty k podkladu.
- Požární bezpečnost.
- Odolnost ETICS proti mechanickému poškození.
- Světelnou odrazivost konečné povrchové úpravy.

Návrh ETICS by měl rovněž obsahovat tepelně technický výpočet s celkovou roční bilancí vlhkosti a výkresovou dokumentaci s řešením rozhodujících detailů. Dimenzování tepelně izolační vrstvy se v České republice provádí podle ČSN 73 0540 [80].

## 1.2. Montáž

Montáž systému by měla probíhat v souladu s návrhem ETICS a další technickou dokumentací, respektující vlastnosti jednotlivých součástí. Základním předpisem pro provádění zateplovacích systémů je v České republice ČSN 73 2901 [81] a ČSN 73 2902 [82].

Rozhodujícími technologickými operacemi při montáži ETICS jsou [2]:

- Příprava podkladu.
- Založení systému.
- Lepení desek tepelné izolace.
- Kotvení hmoždinkami.
- Provádění základní vrstvy.
- Provedení konečné povrchové úpravy.

Po dobu provádění montáže ETICS musí být splněny požadavky na klimatické podmínky, zejména v době aplikace a zrání základní vrstvy a konečné povrchové úpravy.

## 2. Skladba ETICS

Skladba ETICS může být značně různorodá v závislosti na druhu podkladu, způsobu připevnění, typu tepelně izolačního materiálu, druhu základní vrstvy a povrchové úpravy. V České republice se skladba ETICS ustálila na systémech obsahujících tepelně izolační deskové materiály, na bázi pěnového polystyrenu a minerální vlny, které jsou k podkladu připevněny cementovou lepicí hmotou a mechanicky kotveny plastovými hmoždinkami. Základní vrstvu obstarává cementová stěrka se skelnou síťovinou, která je opatřena pastovitou omítkou. V ojedinělých případech se pro zvláštní účely používá pastovitá lepicí štěrková hmota nebo polyuretanové (PU) lepidlo. Konečná povrchová úprava tvořená minerální omítkou a egalizačním nátěrem se stává v České republice méně populární z důvodu vyšší pracnosti při aplikaci. V místech vystavených zvýšené vlhkosti se užívají tepelně izolační deskové materiály se sníženou nasákavostí.

### 2.1. Práškové hmoty s anorganickým pojivem

Práškové hmoty s anorganickým pojivem pro použití v ETICS můžeme rozdělit do dvou základních skupin: lepicí a stěrkové hmoty, minerální omítky. Hlavním pojivem těchto hmot je nejčastěji portlandský cement. K jejich zpevnění dochází chemickou reakcí cementu s vodou. Výsledné vlastnosti jsou značně ovlivněny množstvím a druhem jednotlivých přísad a příměsí. Práškové hmoty s anorganickým pojivem jsou schopny splnit nejpřísnější požární požadavky. Použití jiných anorganických pojiv je záležitostí pouze okrajovou. Vápní je ve hmotách pro ETICS použito hlavně z důvodu úpravy zpracovatelnosti.

#### 2.1.1. Cementové lepicí a stěrkové hmoty

Cementové lepicí a stěrkové hmoty se po řádném smísení s vodou nanášejí na tepelný izolant, případně podklad, ve stanoveném množství a definovaným způsobem. Ilustrační složení lepicí a stěrkové hmoty je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Ilustrační skladba suchých lepicích a stěrkových hmot [3]

Název suroviny	Funkce	Obsah [% hm.]
Portlandský cement	pojivo	25 – 35
Písek (0,1 mm – 0,5 mm)	plnivo	60 – 70
Mletý vápenec (100 µm)	plnivo	5 – 10
Práškový redispergovatelný polymer	přísada	0,8 – 3,6
Modifikovaný ether celulózy	přísada	0,20 – 0,30

Základní fyzikálně-mechanické vlastnosti se významně mění v prvních dnech po nanesení a jsou především závislé na obsahu cementu, modifikujících přísad a příměsí, zejména však na obsahu redispergovatelného polymerního prášku a derivátů etheru celulózy.

### **2.1.2. Minerální omítky**

Složení minerálních omítek je do značné míry podobné cementovým lepicím a stěrkovým hmotám. Skladba plniv definuje výsledný vzhled konečné povrchové úpravy. Pojivem je obvykle bílý cement, ve formulacích se častěji objevují hydrofobní přísady a pigmenty [3, 4].

### **2.1.3. Pojivo**

Nejčastějším pojivem v lepicích a stěrkových hmotách a minerálních omítkách určených pro ETICS je portlandský cement, v menší míře se používají rovněž cementy směsné. Cement se vyrábí z vápence, hlíny nebo jílu [5] výpalem v rozmezí teplot 1350 °C až 1450 °C. Složení cementu a jeho specifikaci stanovuje norma ČSN EN 197-1 [83]. Cement je hydraulické pojivo, které po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne v důsledku hydratačních procesů. Vytvrzená hmota vykazuje zvýšený obsah hydroxidu vápenatého. Cementy s obsahem strusky nebo dalších latentně hydraulických přísad přináší jeho snížení a tím i zvýšení chemické odolnosti [6].

### **2.1.4. Plnivo**

Hlavní funkcí plniv je vytvoření pevné kostry hmoty. Plniva pro lepicí a stěrkové hmoty a minerální omítky jsou především přírodní křemenné písky, drcené a mleté vápence. Pro dosažení specifických konečných vlastností hmot se používají i další typy plniv.

### **2.1.5. Přísady a příměsi**

Přísady jsou chemické sloučeniny, které se přidávají do cementových hmot za účelem modifikace vlastností čerstvé i zatvrdlé hmoty. Příměsi jsou látky přidávané do hmot za účelem dosažení specifických vlastností [6].

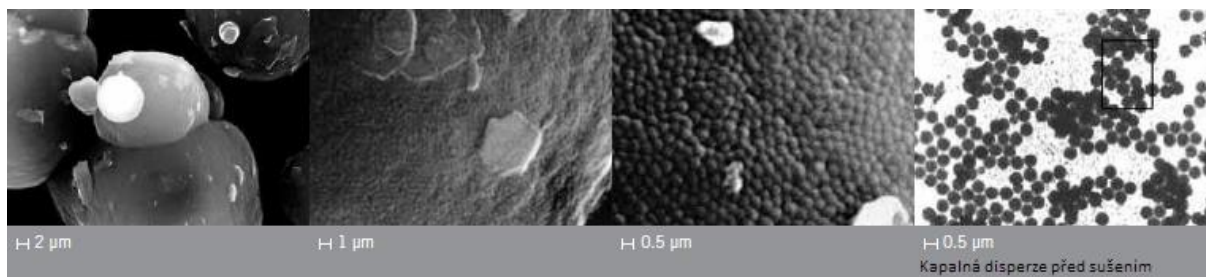
Chemické přísady jsou obvykle dávkovány do 1 % hm., dávkování příměsí je obvykle vyšší. V případě současného použití více přísad a příměsí musí být ověřena jejich vzájemná kompatibilita.

Přísady a příměsi obsahující cementové hmoty určené pro použití v ETICS můžeme rozdělit do těchto skupin:

- Redispergovatelné polymerní prášky.
- Přísady upravující konzistenci a stabilizující.
- Přísady odzdušňující nebo provzdušňující.
- Přísady urychlující tuhnutí nebo tvrdnutí.
- Přísady zpomalující tuhnutí.
- Přísady hydrofobizační.
- Latentní hydraulické příměsi a pigmenty.

### 2.1.5.1. Redispergovatelné polymerní prášky

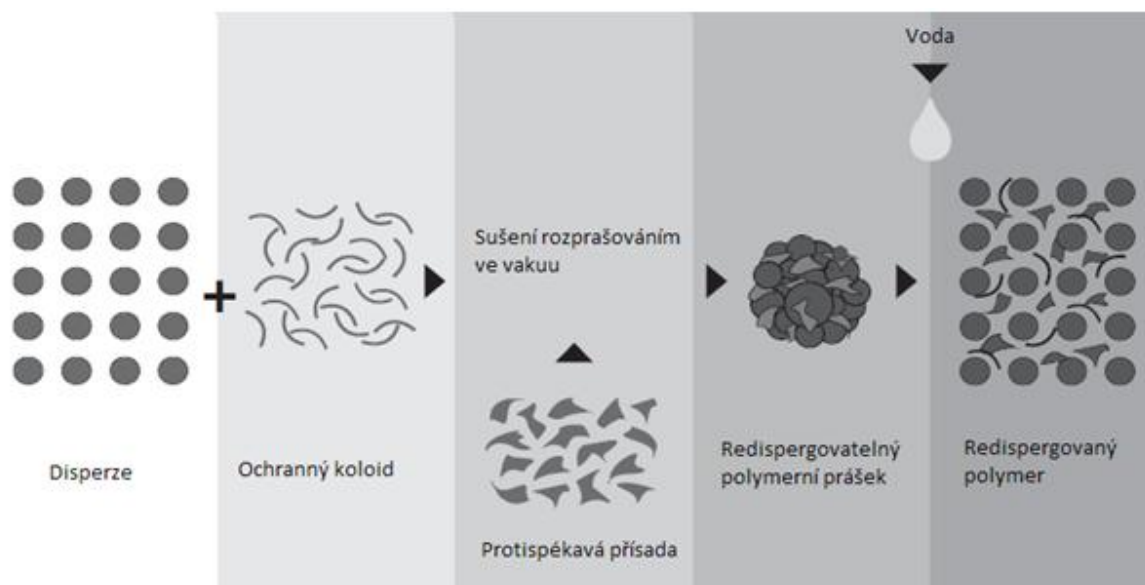
Redispergovatelný polymerní prášek v cementových hmotách slouží především jako doplňující pojivo. Redispergovatelností polymerních prášků se rozumí jejich schopnost v přítomnosti vody přejít opět do stavu kapalné polymerní emulze. Ke vzájemnému působení mezi polymerem a cementovou maticí dochází především na úrovni mezimolekulárních sil, některé teorie hovoří také o možnosti vzniku chemické vazby [7]. Polymerní pojivo vnáší do cementových hmot zvýšenou přídržnost k podkladu, vyšší flexibilitu, nižší nasákavost a úpravu reologických vlastností čerstvé hmoty [8].



Obr. 2 Snímek redispergovatelného polymerního prášku [9]

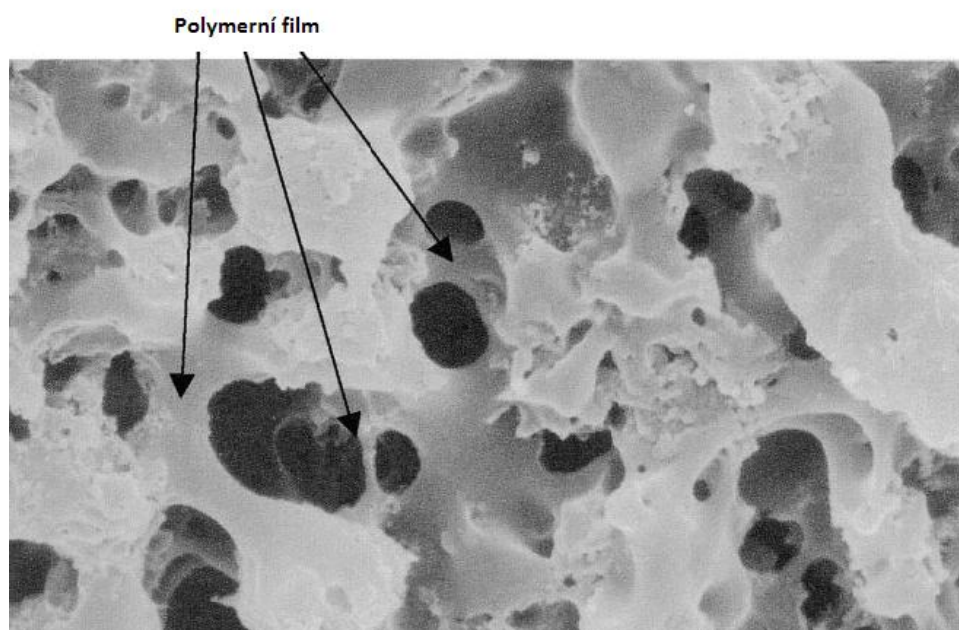
Výroba redispergovatelných polymerních prášků probíhá emulzní polymerací [8]. Nejčastěji užívané monomery jsou vinyl acetát, vinylester versatikových kyseliny, etylen, styren, estery kyseliny metakrylové.

Polymerace probíhá za účasti smáčedel a ochranných koloidů přidáním iniciátoru do emulze monomerů za vzniku polymerní disperze. Sušení probíhá rozprašováním polymerní disperze ve vakuu.



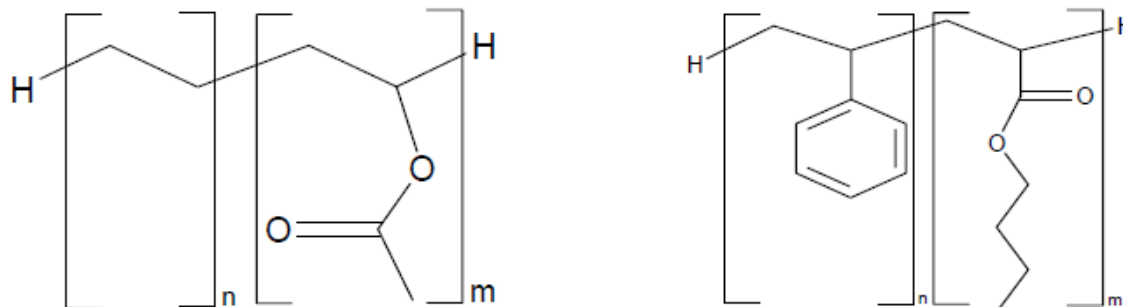
Obr. 3 Schéma zjednodušeného modelu přípravy redispergovatelného polymerního prášku [9].

Redispergovatelný polymerní prášek je schopen vytvořit homogenní film. Tvorba filmu z polymerních částic nastává procesem, při kterém dochází v důsledku odpaření vody k překročení limitní vzdálenosti jednotlivých částic polymeru a spontánní flokulaci s následnou koalescencí [6]. Zdárný průběh koalescence ovlivňuje teplota. V případě, že koalescence probíhá nad minimální filmotvornou teplotou (MFT), vytváří se kompaktní polymerní film. K úpravě MFT polymerní disperze se používají koalescenty. Dalším charakteristickým parametrem polymeru je teplota skelného přechodu ( $T_g$ ), pod touto teplotou je polymer transparentní a tvrdý, nad touto teplotou je polymer vláčný. K úpravě  $T_g$  jsou používána změkčovadla.



Obr. 4 Snímek polymerního filmu v cementové matrici (zvětšeno 7000 x) [10]

Nejběžněji používané redispersgovatelné polymerní prášky jsou polymery na bázi etylen-vinyl acetátu (EVA), styren-butyl akrylátu (SAE), polyvinylester kyseliny versatikové (Veova).



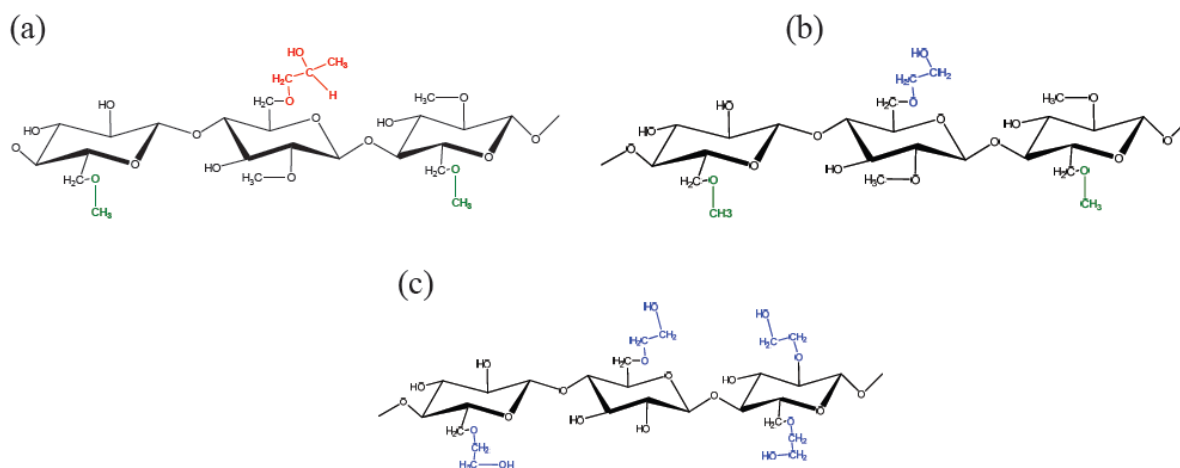
Obr. 5 Struktura polyetylen-vinylacetátu (vlevo) a polystyren-butylakrylátu (vpravo)

Obvyklé dávkování redispersgovatelných polymerních prášků je v lepicích a stěrkových hmotách a minerálních omítkách do 5 % hm. Vliv redispersgovatelných polymerních prášků na trvanlivost je dále prodiskutován v kapitole 4.3.

### 2.1.5.2. Ethersy celulózy

Ethersy celulózy se vyrábějí etherifikací celulózy, která se připravuje z přírodních surovin jako je dřevo, bavlna a len. Jejich působení je v cementových hmotách široké. Zvyšují zádrž vody a tím zlepšují průběh hydratace cementu, upravují zpracovatelnost a konzistenci, zpomalují tuhnutí, ovlivňují MFT polymerního pojiva, zvyšují přídržnost k podkladu a tvorbu vzduchových pórů [11].

Nejběžněji používané deriváty celulózy jsou methylhydroxyethyl celulóza (MHEC), methylhydroxypropyl celulóza (MHPC), a hydroxyethyl celulóza (HEC).



Obr. 6 Struktura etheru celulózy (a: MHPC, b: MHEC, c: HEC) [12]



Deriváty celulózy jsou dodávány v práškové formě. Pro použití v cementových hmotách jsou často modifikovány dalšími příměsmi, které upravují zpracovatelnost (např. bramborový škrob), dobu tuhnutí (např. mravenčnan vápenatý), stabilitu čerstvé hmoty (např. polyakrylamid).

Kritickým parametrem derivátů celulózy je teplota flokulace. Obecně platí, že čím vyšší je modifikace a délka polymerního řetězce etheru celulózy, tím vyšší je teplota flokulace [13]. Viskozita roztoku derivátu celulózy a tím i vliv na konzistenci cementové hmoty se odvíjí od molekulové hmotnosti. Zvýšení zádrže vody je obzvláště důležité u hmot určených pro ETICS, kde díky jejich aplikaci v tenkých vrstvách hrozí zvýšené nebezpečí ztráty hydratační vody odpařením nebo odsátím podkladu.

Obvyklé dávkování derivátů celulózy je do 0,3 % hm. v závislosti na celkové formulaci lepicích a stěrkových hmot a minerálních omítek [3].

### **2.1.5.3. Hydrofobizační přísady**

Hydrofobizační přísady zvyšují povrchovou energii částic, zvětšují smáčecí úhel. Většinou se jedná o nepolární látky, jejichž hydrofobní část je fixována na povrchu pevných částic chemisorbcí [6]. Hydrofobní přísady lze rozdělit do těchto skupin:

1. Vyšší mastné kyseliny – oleáty, stearáty.
2. Redispergovatelné silikony.
3. Mikronizované vosky.

Nejúčinnější hydrofobní přísadou pro hmoty s anorganickým pojivem se jeví redispergovatelné silikony, bohužel jejich nevýhodou je vyšší cena [14].

## **2.2. Pastovité hmoty**

Pastovité hmoty určené pro použití v ETICS jsou výrobci dodávány ve formě vhodné k přímé aplikaci, jedná se většinou o systémy vodou ředitelné. Pastovité hmoty můžeme rozdělit na lepicí a stěrkové hmoty, omítkoviny, penetrační nátěry a fasádní barvy. Pojivem v těchto hmotách jsou obvykle polymerní disperze.

### 2.2.1. Lepicí a stěrkové pastovité hmoty

Ke zpevnění těchto hmot dochází koalescencí polymeru (viz. redispersgovatelné polymerní prášky) odpařením vody nad MFT. Disperzní lepicí hmoty se vyrábějí smísením vodné polymerní disperze, plniv (především křemenných písků, drcených a mletých vápenců) a dalších přísad upravujících konzistenci, stabilitu, nasákavost, biocidní ochranu, tvorbu filmu a pěnivost.

Tab. 2 Ilustrační skladba pastovité lepicí a stěrkové hmoty [3]:

Název suroviny	Funkce	Obsah [% hm.]
Voda	úprava konzistence a zpracovatelnosti	19
Záhustky	úprava konzistence a stability, zpracovatelnosti, rychlosti tuhnutí hmoty	1,8
Biocid	ochrana proti mikrobiálnímu a biocidnímu napadení	0,2
Koalescent	úprava minimální filmotvorné teploty, úprava rychlosti tuhnutí hmoty, pomocná filmotvorná přísada pojiva	2
Odpěňovač	snížení pěnivosti disperze při výrobě hmoty a aplikaci	0,2
Hydrofobní přísada	úprava nasákavosti	0,8
Polymerní disperze	pojivo	10
Mletý a drcený vápenec, křemenný písek	plnivo	67

Lepicí hmoty na bázi vodných disperzí se vyznačují vysokou flexibilitou a zvýšenou přídržností k podkladu. Jejich nevýhodou je vyšší cena a nižší požární odolnost.

### 2.2.2. Pastovité omítky

Konečná povrchová úprava kromě estetické funkce zvyšuje odolnost systému proti povětrnostním vlivům. Základním pojivem pastovitých omítek je polymerní disperze, která může být modifikována silikonovou emulzí nebo silikátovým pojivem. Typ použitého plniva určuje konečnou tloušťku omítky, strukturu a způsob nanášení. Pastovité omítky se před

aplikací mohou probarvovat pigmentovými pastami obsahujícími organické nebo anorganické pigmenty.

Skladba pastovitých omítek může být značně rozmanitá, použité suroviny lze rozdělit do těchto základních skupin [15]:

1. Voda.
2. Pojiva.
3. Plniva.
4. Přísady:
  - a) Dispergátory a smáčedla.
  - b) Záhustky a reologické přísady.
  - c) Odpěňovače.
  - d) Konzervanty a biocidní přísady.
  - e) Filmotvorná činidla a změkčovadla.
  - f) Hydrofobizanty.

Tab. 3 Ilustrační skladba akrylátové disperzní omítky s velikostí plniva do 1,5 mm [16].

Název suroviny	Funkce	Obsah [% hm.]
Voda	úprava konzistence a zpracovatelnosti	9
Biocidní přísada	ochrana proti mikrobiálnímu a biocidnímu napadení	0,6
Odpěňovač	snížení pěnovosti disperze při výrobě hmoty a aplikaci	0,2
Záhustky	úprava konzistence a stability, zpracovatelnosti, rychlosti tuhnutí hmoty	0,7
Dispergátor	zvýšení smáčivosti plniv a úprava stability hmoty	1
Titanová běloba	pigment	5
Hydroxid sodný (20%)	úprava pH	0,1
Mletý vápenec	plnivo	5
Polymerní disperze	pojivo	15

Koalescent	úprava minimální filmotvorné teploty, úprava rychlosti tuhnutí hmoty, pomocná filmotvorná přísada pojiva	1
Drcený vápenec (0,2 – 0,5)	plnivo	25
Drcený vápenec (0,5 – 1,0)	plnivo	12
Drcený vápenec (1,0 – 1,5)	plnivo	20

### 2.2.2.1. Pojivo

Pojiva vnášejí do pastovitých hmot kohezní pevnost, odolnost proti povětrnostním vlivům, flexibilitu a tvrdost. Měly by rovněž mít dobrou chemickou odolnost, nízkou nasákavost, dobrou propustnost pro vodní páru a vysokou odolnost proti UV záření. Pojiva v těchto hmotách můžeme rozdělit do tří skupin: polymerní disperze, silikonové emulze a silikátová pojiva.

Nejběžněji používané typy polymerních disperzí [15] pro konečné povrchové úpravy ETICS jsou:

- Akrylátové kopolymery
- Styren-akrylátové kopolymery
- Vinylacetátové kopolymery nebo homopolymery

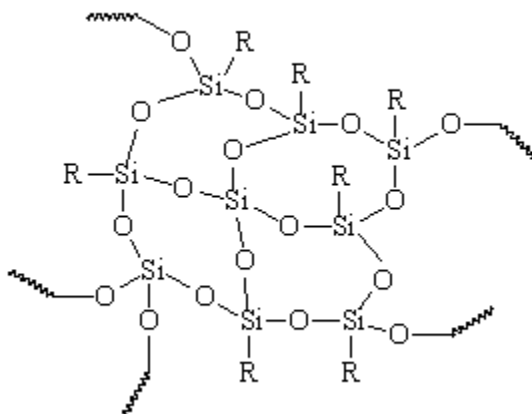
#### Polymerní disperze

Polymerní disperze, syntetické organické makromolekulární pojivo se zpevňuje koalescencí nad minimální filmotvornou teplotou (viz. kap. 2.1.5.1.). Jednotlivé typy polymerních disperzí lze charakterizovat podle těchto parametrů:

1. Obsah polymeru.
2. Velikost částic.
3. Viskozita.
4. pH.
5. MFT a Tg.
6. Způsob stabilizace polymeru v kapalném prostředí.

### Silikonové emulze

Silikonové emulze, nejčastěji methylsilikonové emulze [17], jsou vyráběny polykondenzací silanů. V omítkovinách a barvách přináší hmotám zlepšené vlastnosti, zejména nižší nasákavost, vyšší prostupnost vodní páry, odolnost vůči UV záření, odolnost vůči nízkým a vysokým teplotám. Nevýhodou silikonových emulzí je jejich omezená pojivová schopnost [16], kterou lze eliminovat kombinací s ostatními druhy pojiv, zejména se styren-akrylátovými disperzemi.



Obr. 7 Struktura silikonové emulze,  $R = CH_3, H, OH$  [18]

### Silikátové pojivo

Nejčastěji používané silikátové pojivo v pastovitých omítkách je vodní sklo. Vodní sklo je koloidní roztok alkalických křemičitanů vznikající rozpuštěním alkalicko-křemičitého skla ve vodě [5]. Podstatou tuhnutí vodního skla je chemická reakce, kdy působením vlhkosti a oxidu uhličitého vzniká křemičitý hydrogel. Při teplotách nižších než  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  se tato reakce prakticky zastavuje. Hmoty na bázi vodního skla se vyznačují zvýšenou propustností vodní páry, dobrou odolností proti UV záření, zvýšenou přídržností k minerálním podkladům. Jejich nevýhodou je zvýšená nasákavost, citlivost na  $\text{Ca}^{2+}$  ionty v podkladu a vysoké pH. Vysoké pH způsobuje jistá omezení při formulaci hmot v případě kombinace s dalšími pojivy nebo přísadami a rovněž omezuje použití organických pigmentových past. V běžně používaných silikátových hmotách určených pro ETICS je vodní draselné sklo kombinováno s dalšími pojivy, zejména se styren-akrylátovými disperzemi.

#### **2.2.2.2. Pigmenty a plniva**

Pigmenty a plniva modifikují mechanické a užitné vlastnosti pastovitých hmot, snižují jejich cenu a upravují optické parametry. Pigmenty a plniva jsou materiály přírodního nebo syntetického původu dodávané ve formě drtí, prášku nebo ve formě past. Tvar a velikost plniv

upravují výsledné vlastnosti hmot. Rozdělení mezi pigmenty a plnivy lze provést na základě indexu lomu světla, který určuje jejich kryvost. Pigmenty hrají roli hlavně estetickou, zajišťují kryvost a barevný odstín. Pigmenty lze rozdělit do dvou skupin, na organické a anorganické. Pro hmoty určené pro použití v zateplovacích systémech se doporučují pigmenty anorganické, které vykazují vyšší stabilitu vůči UV záření a dobrou odolnost proti vysokému pH. Jejich nevýhodou je nižší barvicí síla a omezená barevná škála.

### **2.2.2.2. Ostatní přísady**

#### Dispergační přísady a smáčedla

Dispergační přísady a smáčedla umožňují jednodušší zpracování plniv a pigmentů do pojiva a napomáhají vytvořit stabilní soustavu pastovité hmoty.

Funkci dispergačních přísad a smáčedel můžeme rozdělit do třech oblastí:

1. Smáčení – odstranění vzduchu na povrchu pigmentů a plniv a jeho nahrazení pojivem.
2. Dispergace – dispergace aglomerátů pigmentů a plniv na jednotlivé částice.
3. Stabilizace – zabránění flokulace jednotlivých částic pigmentů a plniv.

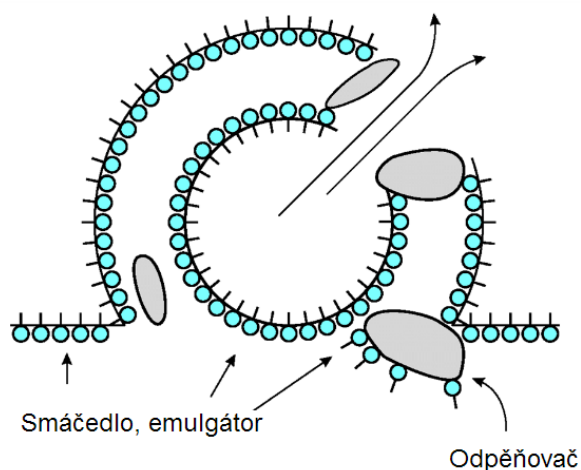
Používaných dispergačních přísad a smáčedel je celá řada, přesto v pastovitých hmotách jsou nejčastěji aplikovány tyto:

1. Polyfosfáty.
2. Soli polykarboxylových kyselin.

Z ekonomických a technických důvodů se v praxi obě hlavní skupiny kombinují. Nevýhodou polyfosfátů je jejich nižší stabilita zapříčiněná možnou hydrolyzou na monofosfáty.

#### Odpěňovače

Použití emulgátorů pro stabilizaci polymerních disperzí a aplikace dispergačních činidel a smáčedel přináší s sebou zvýšenou pěnivost pastovitých hmot. Pěna, bubliny plynu v kapalině, může v době vyztváření prasknout a tím vytvořit defekty na povrchu pastovitých hmot. Pro potlačení tohoto efektu je nutné aplikovat odpěňovače. Nejdůležitější typy představují minerální a silikonové oleje. Dávkování odpěňovačů musí být provedeno citlivě vzhledem k možnosti vzniku defektů pojivového systému.



Obr. 8 Model působení odpěňovače [19]

### Záhustky

Záhustky přinášejí pastovitým hmotám požadované reologické vlastnosti a mají vliv na chování při výrobě, skladování a aplikaci. V pastovitých hmotách se používají organické i anorganické zahuštky. Jejich členění lze provést do následujících skupin:

1. Polysacharidy – deriváty celulózy, škroby, xantamová nebo guarová guma.
2. Akrylátové a polyuretanové.
3. Jílové minerály – montmorillonity (bentonity) a hectority.

### Koalescenty, filmotvorná a plastifikační činidla

Ke zpevnění pastovité hmoty dochází odpařením disperzního prostředí a koalescencí polymeru. Polymerní film při běžných podmínkách musí být relativně pevný,  $T_g$  polymeru by měla být vyšší než 20 °C. S ohledem na možné klimatické podmínky při aplikaci pastovitých hmot by minimální filmotvorná teplota měla být nižší než 5 °C. Pro dosažení těchto parametrů se u běžných polymerních disperzí používají filmotvorná činidla, která snižují jejich minimální MFT. Vedle vlivu na snížení MFT mají tyto přísady rovněž vliv na průběh koalescence a výsledné fyzikální a mechanické vlastnosti.

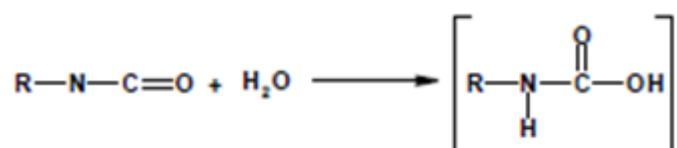
### Biocidní přísady

V pastovitých hmotách jsou používány baktericidy, fungicidy a algicidy. Příklad přísady, které slouží pro ochranu hmoty v průběhu výroby a skladování, ale rovněž i pro ochranu nanesené a vytvrzené hmoty. Běžně používané biocidní přípravky jsou částečně rozpustné ve vodě, proto jejich účinnost časem klesá z důvodu vymytí deštěm. Ověření odolnosti biocidních přípravků proti působení UV záření a nižšímu pH by mělo být předmětem kontrolních zkoušek v průběhu vývoje hmot. Rozpustnost biocidního přípravku determinuje délku jeho účinnosti.

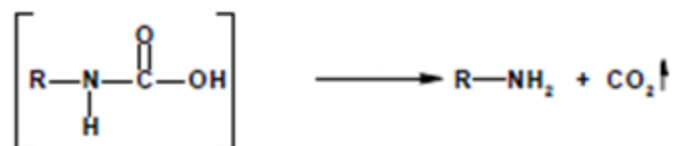
Neustálá snaha o snížení vlivu biocidních prostředků na životní prostředí přináší s sebou i snížení ochrany povrchových úprav ETICS.

### 2.2.3. PU pěny

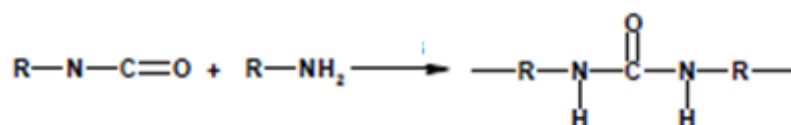
V několika posledních letech se v ETICS prosazuje použití jednokomponentních PU lepidel jako lepicích hmot. Tuhnutí PU lepidel probíhá ve třech krocích [20]. V prvním kroku dochází k reakci izokyanátu s vodou za vzniku nestabilní kyseliny karbamové.



Druhým krokem je rozpad kyseliny karbamové na oxid uhličitý a amin.



V třetím kroku dochází k reakci aminu a izokyanátu za vzniku polyuretanové vazby.



Využití PU pěn jako lepicích hmot pro ETICS přináší s sebou několik výhod, zejména nízkou tepelnou vodivost, větší rozsah aplikačních teplot, vysokou přídržnost k podkladům a krátkou dobu vytvrzení. Nevýhody jsou zejména dodatečná expanze v průběhu tuhnutí a jistá požární omezení z důvodu vysokého organického podílu. Jejich širšímu použití jako lepicí hmoty pro ETICS rovněž brání problematické ověřování jejich vlastností z důvodu neexistence obecně uznávané metodiky.



### 3. Technické požadavky

#### 3.1. ETICS

ETICS patří mezi stanovený stavební výrobek a proto před uvedením na trh musí být provedeno jeho posouzení shody s danými požadavky. V České republice lze provést posouzení shody ETICS buď podle evropského modulu shody, (NV č. 190/2002 Sb.) Evropského technického schválení (ETA), nebo podle národního systému, (NV č. 163/2002 Sb. ve znění 312/2005 Sb) Stavebně-technického osvědčení (STO). Při zpracování ETA se postupuje dle pokynů ETAG 004 [88], při zpracování STO se postupuje podle technických návodů, do kterých jsou zapracovány evropské technické pokyny ETAG 004. Pokud ETICS splňuje požadavky podle evropských dokumentů a byl podroben posouzení shody, je označen CE.

Posouzení a vyhodnocení ETICS se provádí podle následujících funkčních charakteristik:

- Reakce na oheň.
- Nasákavost vody.
- Odolnost proti zmrazování.
- Odolnost proti mechanickému poškození.
- Propustnost vodních par.
- Bezpečnost při užívání.
- Tepelný odpor.
- Trvanlivost a provozuschopnost.

#### Reakce na oheň

Klasifikace systému se provádí podle EN 13501-1 [64] na základě výsledků zkoušek kritického reprezentanta ETICS provedených podle EN 13823 [65] a EN 11925-2 [66]. Výběr kritického reprezentanta, tzn. skladby systému s největším organickým podílem, se provádí na základě stanovení spalných tepel podle ISO 1716 [67].

#### 3.2. Lepicí a stěrkové hmoty

##### Lepicí hmota

V rámci posouzení technických vlastností ETICS se pro lepicí hmoty stanoví následující charakteristiky:

- Přídržnost k podkladu za sucha a po uložení ve vodě.
- Přídržnost k tepelně izolačnímu materiálu za sucha a po uložení ve vodě.

### Stěrková hmota

Charakteristiky stěrkové hmoty se stanoví v rámci ověření vlastností základní vrstvy, vnějšího souvrství a celého systému. Jedná se o níže uvedené vlastnosti:

- Přídržnost k tepelně izolačnímu materiálu za sucha a po uložení ve vodě.
- Nasákavost základní vrstvy.
- Šíře trhliny při protažení základní vrstvy.
- Tepelně vlhkostní chování základní vrstvy.
- Prostupnost vodních par vnějším souvrstím.
- Reakce na oheň celého systému.

### **3.3. Omítky**

Základní vlastnosti omítek se stanoví v rámci ověření vnějšího souvrství a celého systému:

- Přídržnost vnějšího souvrství po umělém stárnutí.
- Nasákavost vnějšího souvrství.
- Tepelně vlhkostní chování základní vrstvy.
- Odolnost proti zmrazování a rozmrazování.
- Prostupnost vodních par vnějším souvrstím.
- Odolnost proti mechanickému poškození systému.
- Reakce na oheň systému.

Metodika vybraných zkoušek bude popsána v kapitole 7.3.1.

## **4. Trvanlivost**

Předpokládaný životní cyklus certifikovaných systémů je na základě aktuální technické specifikace stanoven na nejméně 25 let. Uvedený předpoklad je ovlivněn kvalitou použité skladby, návrhem, způsobem montáže, údržbou a užíváním. Z výsledků dlouhodobých pozorování tepelně izolačních kompozitních systémů vyplývá [21]:

1. Závady způsobené působením povětrnostních vlivů jsou obecně zanedbatelné. Na rozdíl od běžného zdíva se u ETICS vyskytují poruchy z důvodu oddělení izolační vrstvy od podkladu.
2. Větší náchylnost ETICS k biocidnímu napadení z důvodu působení povětrnostních vlivů, povrchové kondenzaci a snížení povrchové teploty. Tato závada nepřináší ve většině případů snížení životnosti systému, nicméně je nepřijatelná hlavně po vizuální stránce.

3. Pro systémy, které byly předmětem dlouhodobých pozorování a jejich stáří bylo 35 let a více, jsou náklady a četnost údržby rovnocenné s konvenční stěnovou konstrukcí. Trvanlivost většiny kontrolovaných systémů se na základě těchto pozorování odhaduje na 60 let.

Tato studie rovněž zmapovala jednotlivé součásti ETICS a její výsledky jsou uvedeny v tab. 4. Na základě tohoto pozorování lze předpokládat, že trvanlivost systémů může být delší, než se v rámci ověřovacích zkoušek předpokládá a to zejména v případech, kdy byla provedena odborná montáž a je zajištěna pravidelná údržba.

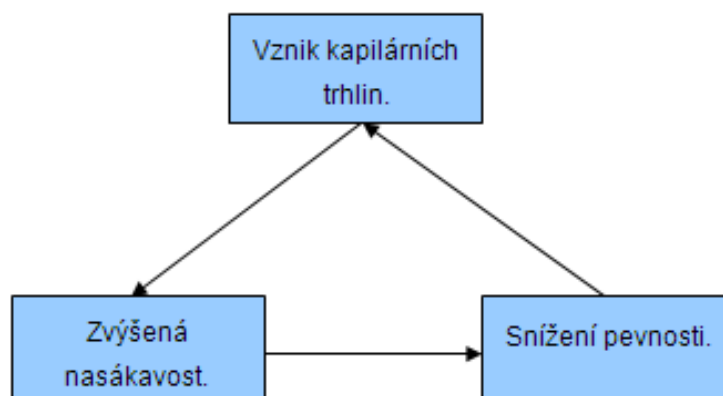
Tab. 4 Trvanlivost součástí ETICS

Název součásti ETICS	Trvanlivost (roky)	
	Limitní hodnoty	Střední hodnota
Minerální omítka	15 – 50	35
Fasádní barva	5 – 20	10
Pastovitá omítka	10 – 25	18
Cementová stěrková hmota	10 – 30	20

Závady vzniklé chybným návrhem, montáží nebo údržbou jsou již obecně známé a popsány v řadě publikací [2]. Na trvanlivost ETICS mají vliv další faktory [22]:

1. UV záření - Poškození povrchové úpravy, zejména polymerních pojiv a organických pigmentů působením UV záření. Degradace pojiv způsobuje kapilární trhliny, jenž dále tento proces urychlují.
2. Zimní cykly - Na povrchu vnějšího souvrství v důsledku teplotních změn vznikají kapilární praskliny, do kterých vniká působením povětrnostních vlivů voda. Vlhké vnější souvrství systému má nižší výztužný efekt a v případě zmrazovacích cyklů dochází k dalšímu poškození.
3. Letní teplotní cykly - Základní vrstva s konečnou povrchovou úpravou se díky působení tahových a tlakových sil způsobených teplotně vlhkostními cykly vzájemně odděluje a praská.

Celý cyklus degradace konečné povrchové úpravy ETICS, zejména pastovitých hmot, lze schematicky znázornit následovně:



Obr. 9 Schéma degradace konečné povrchové úpravy ETICS

Na základě další studie byly zjištěny následující četnosti jednotlivých poruch, které jsou uvedeny v tab. 5 [23].

Tab. 5 Četnost poruch ETICS

Závažnost	Typ poruchy	Četnost výskytu [%]
Velmi nízká	Barevné změny	19
Nízká	Biotické napadení	12
	Mechanické poškození	12
	Poškození v místech ukončení ETICS	12
Střední	Poškození v místech napojení ETICS na otvorové výplně	17
	Praskliny na povrchu ETICS	15
	Odlupující se konečná povrchová úprava	7
	Vyduťtí izolačních desek	7
Vážné	Odpadnutí systému	3

#### 4.1. Biocidní napadení

Mnohé povrchy ETICS nesou po určité době známky biocidního napadení. Tento fakt je spojen se zvýšenou vlhkostí povrchu a tím i vyšším potenciálem růstu biocidního napadení na rozdíl od konstrukcí s vyšší tepelnou setrvačností.

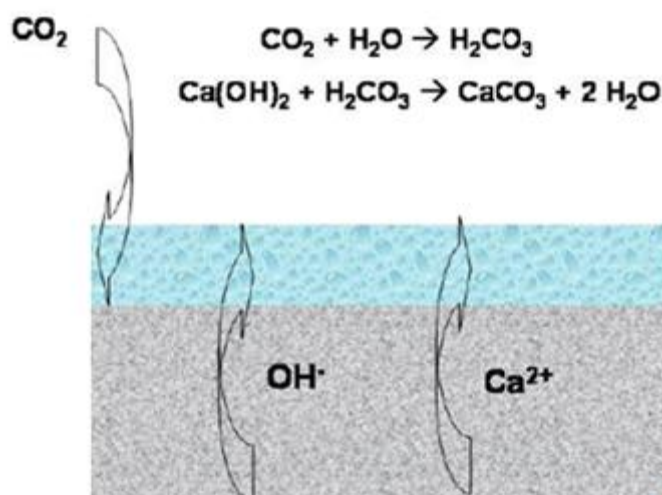
Kromě vlivu vnějšího prostředí na vznik biocidního napadení hraje významnou roli i orientace ETICS vůči světovým stranám. Pro stěny orientované jižně (platí pro severní polokouli) se ukazuje, že významným faktorem vzniku biocidního napadení je odstín povrchové úpravy, u stěn orientovaných na sever hraje významnější roli tepelná setrvačnost vnějšího souvrství [24].

Růst biocidního napadení rovněž závisí na obsahu organických látek v jednotlivých typech podkladů. Podklady s anorganickými pojivy vykazují vyšší odolnost oproti ostatním pojivovým systémům. Vliv hygrotermických vlastností povrchových úprav nebyl prokázán [25] .

Za přítomnosti organických látek mohou na povrchu ETICS růst plísně, které jsou především estetickým defektem. V případě růstu řas, které v trhlinách vyvolávají napětí, může docházet již k poškození povrchové úpravy. Ve vlhkém prostředí se setkáváme s růstem lišejníků, které obsahují vyšší množství vody. Vlivem mrazivého počasí přechází tato voda v led, který v důsledku zvětšení objemu poškozují povrch ETICS [6].

#### 4.2. Výkvěty

Výkvěty na povrchu ETICS jsou zejména tvořeny uhličitánem vápenatým. Hydroxid vápenatý obsažený v cementové stěrkové hmotě nebo minerální omítce je působením vody transportován na vnější povrch ETICS, kde reaguje s oxidem uhličitým za vzniku uhličitánu vápenatého [26].

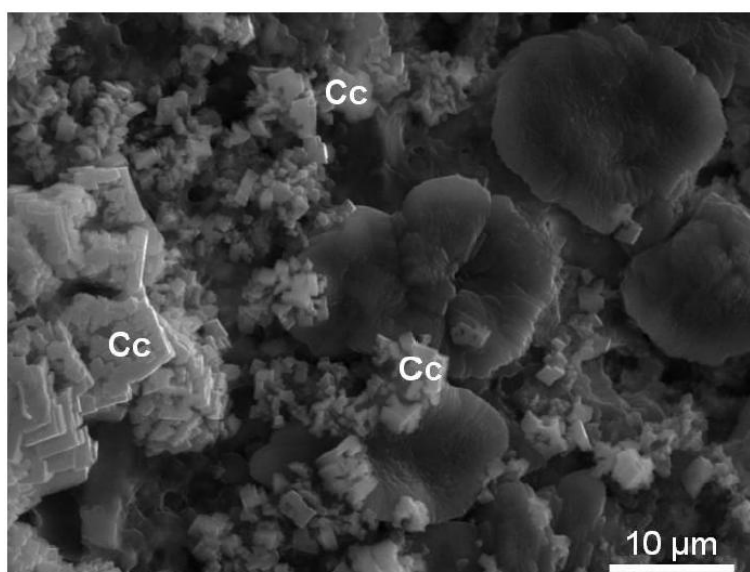


Obr. 10 Schéma vzniku vápenných výkvětů [27]

Podle doby vzniku rozdělujeme výkvěty primární vznikající v procesu tvrdnutí cementových hmot a sekundární vzniklé v důsledku nedostatku nebo přebytku vody [6].

Pro snížení tvorby výkvětů se doporučuje [26]:

1. Impregnace povrchu - relativně nákladný způsob prevence výkvětu snížením adsorbované vody. Kromě nákladů na materiál potřebný na impregnaci je nutná další pracovní operace.
2. Zablokování kapilárních pórů jemným plnivem.
3. Přidání látek, které jsou schopny vázat ionty  $\text{Ca}^{2+}$  ve hmotě.
4. Hydrofobizace hmoty.



obr. 11 Snímek vápenných výkvětů (Cc -  $\text{CaCO}_3$ ) na pastovité hmotě

### 4.3. Vliv redispergovatelného polymerního prášku na trvanlivost cementových hmot

Modifikující polymery v cementových hmotách ovlivňují zejména přídržnost k podkladu, flexibilitu a nasákavost. Ze studie, která sledovala stabilitu modifikujícího polymeru (EVA) vyplývá, že polymerní film je v cementové hmotě stabilní a jeho morfologie se stářím nemění a to i v případě nepříznivého působení povětrnostních vlivů [10]. Cement a polymer vykazují synergický efekt. Cement, jako anorganické pojivo, je zodpovědný za pevnosti v tlaku a polymer, jako organická část pojiva, působí jako výztuž a je zodpovědný za výši vnitřní pevnost v tahu a přídržnost na rozhraní.

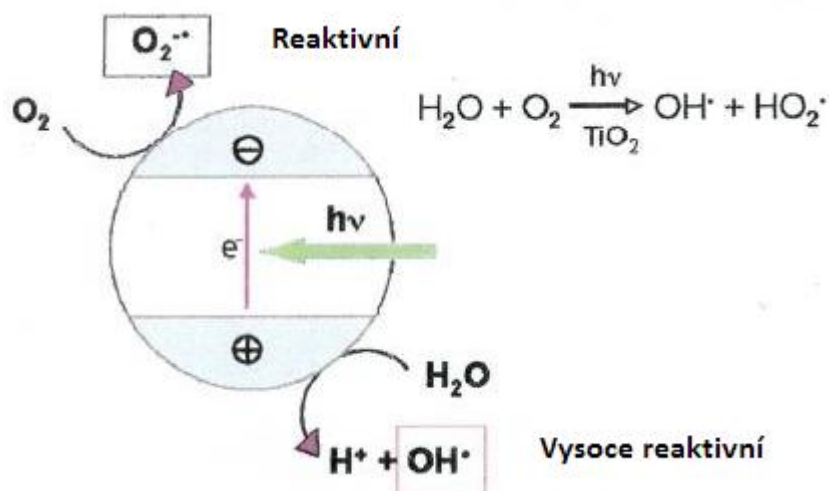
V průběhu vystavení cementových hmot modifikovaných redispergovatelným polymerním práškem povětrnostním vlivům lze zpočátku pozorovat zlepšení mechanicko-fyzikálních vlastností, což může souviset s nízkým stupněm počáteční hydratace těchto hmot. Vzhledem k tomu, že cement pokračuje v hydrataci, dochází ke zlepšení pevnostních charakteristik. Současně s tímto dějem se polymerní film při zvlhčení částečně aktivuje a zvyšuje se jeho styčná plocha k částicím ve hmotě, což může pomoci odstranit mikrodefekty. Další látky, jako například ethery celulózy, nejsou odolné proti působení vody a proto nemají žádný vliv na pevnost za mokra. Působením vody hmotou migrují [28].

Difuzní odpor se v průběhu stárnutí cementových hmot zvyšuje [29]. S růstem obsahu modifikujícího polymeru roste difuzní odpor, což může být vysvětleno vyplněním pórů polymerem. Mezi množstvím pórů a difuzním odporem existuje určitá závislost, nicméně tato závislost se snižuje s růstem množství polymeru v cementové hmotě [30]. Od určitého množství polymeru nemá již pórovitost zásadní vliv na modul pružnosti a pevnost v tahu za ohybu. Přísadami, která zejména ovlivňují tvorbu pórů v těchto hmotách, jsou ethery celulózy.

### 4.4. Trvanlivost a pastovité omítky

Koroze povrchu pastovitých hmot probíhá fyzikálně chemickým procesem, kde hlavními činiteli jsou UV záření, povětrnostní vlivy, zvýšená alkalita podkladu. Pórovitost pastovitých hmot vystavených povětrnostním vlivům se zvyšuje, zejména u pórů o rozměrech 3,5 – 100 nm [31]. Degradace pojiva povrchové úpravy je spojená s vyplavováním pigmentů a jemných plniv, které lze otěrem odstranit z povrchu hmoty [15].

Stabilita odstínu probarvených pastovitých hmot je z velké části závislá na odolnosti proti působení fotochemické degradace. Ukazuje se, že povrchy ETICS jsou na tuto reakci citlivější, zřejmě díky prodloužení doby vlhkosti povrchu. Použití anorganických pigmentů pomáhá tento problém částečně řešit.



Obr. 12 Schéma vzniku radikálových skupin

Polymerní disperze přináší povrchové úpravě určitou lepidlost po vytvrzení, což ve svém důsledku zvyšuje náchylnost k zašpinění působením nečistot v ovzduší. Tato lepidlost je závislá na typu a množství polymerní disperze. Určujícím faktorem ovlivňujícím lepidlost polymerní disperze je teplota skelného přechodu kdy platí, že čím nižší Tg polymerního pojiva, tím vyšší její lepidlost. Potlačení této nepříznivé vlastnosti lze docílit vhodným výběrem pojivového systému nebo jeho modifikací [16].

## 5. Sanace

Životnost a funkční vlastnosti ETICS závisí na údržbě a případné sanaci poruch [23]. Pravidelná údržba se stává zajímavou zejména při pohledu na náklady spojené s případným provedením nového zateplení. Pravidelnou údržbou lze značně prodloužit životnost systémů [21]. Pravidla údržby již existují a výrobci ETICS je ve většině případů uvádí ve své technické dokumentaci na rozdíl od pravidel pro sanaci ETICS, jenž na své systematické řešení stále čeká.



## 6. Modifikace

Část této disertační práce je věnována ověření možnosti modifikace cementových lepicích a stěrkových hmot a pastovitých omítek koloidním oxidem křemičitým a sepiolitem, zejména s přihlédnutím na jejich aplikaci při sanaci ETICS. Modifikace hmot by měla přinést:

1. Zlepšení mechanických vlastností.
2. Snížení ceny vstupů.
3. Prodloužení stability odstínu.
4. Snížení náchylnosti k biotickému napadení.
5. Prodloužení trvanlivosti.
6. Zlepšení požárních vlastností.

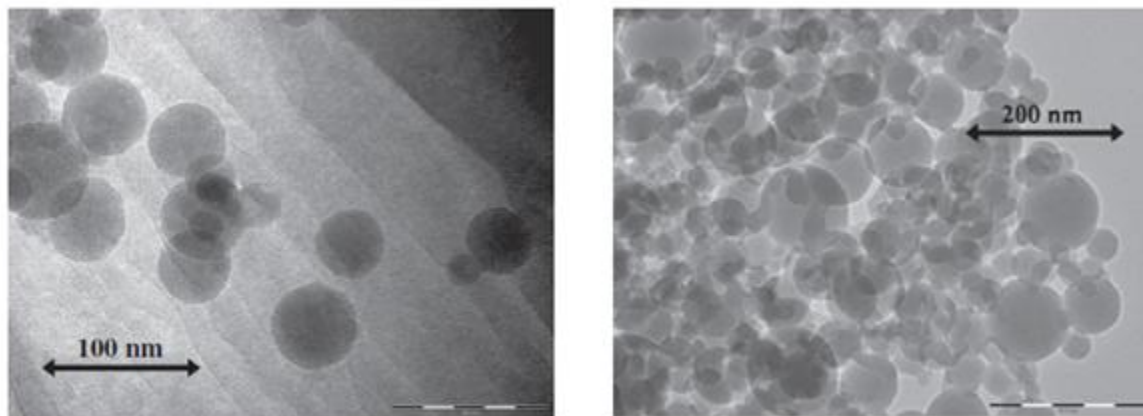
### 6.1. Koloidní oxid křemičitý

Koloidní oxid křemičitý je disperzní soustava obsahující částice oxidu křemičitého o velikosti 1 nm až 500 nm. Částice pod 1 nm nazýváme analytické disperze a částice nad 500 nm jsou hrubé disperze [18]. Částice v daném rozmezí udělují soustavě specifické vlastnosti. Koloidní oxid křemičitý je lyofobní disperze, kdy částice oxidu křemičitého jsou rozptýlené v disperzním prostředí a jejich stabilizace je provedena elektrostaticky. Vlastnosti koloidního oxidu křemičitého se odvíjejí od jeho způsobu výroby [32] a přináší nové možnosti při výrobě stavebních hmot [33].

V současné době existuje několik různých způsobů přípravy nanočástic oxidu křemičitého [34]:

1. Sol-gel procesem, který probíhá reakcí např. tetramethylethoxysilanu (TMOS) nebo tetraethoxysilanu (TEOS) za přítomnosti rozpouštědla za vzniku koloidní suspenze oxidu křemičitého, který se úpravou pH přemění na gel. Sušením gelu je získán xerogel, který se dále rozpouští za účasti stabilizátoru za vzniku koloidního roztoku.
2. Iontově výměnnou reakcí, např. křemičitanu sodného, hořečnatého, kterou se koloidní oxid křemičitý vysráží z roztoku při teplotách od 50 do 100 °C.
3. Mletím a následnou peptizací silikagelů nebo pyrogenního oxidu křemičitého.
4. Přímoou oxidací silikonů.
5. Při výrobě ferosilicia vzniká jako vedlejší produkt oxid křemičitý v práškové formě skládající se z kulovitých částic o průměru 150 nm s vysokým specifickým povrchem 15 až 25 m<sup>2</sup>/g.
6. Odpařováním oxidu křemičitého při teplotách 1500 až 2000 °C.

7. Biologickou cestou založenou na zpracování biologického materiálu vzniklého rozkladem organického odpadu (např. rýžové plevy) žížalou hnojní. Biologický odpad obsahuje 22 %  $\text{SiO}_2$ . Tímto postupem, který má účinností 88 %, lze získat částice o velikosti od 55 nm do 245 nm.



Obr. 13 Koloidní oxid křemičitý [35]

Koloidní oxid křemičitý působí v cementových hmotách jednak jako „nano“ plnivo a dále díky puculánové reakci s hydroxidem vápenatým zvyšuje obsah C-S-H fáze [33, 32]. V případě aplikace křemičitých úletů a popílků spolu s koloidním oxidem křemičitým bylo v cementových hmotách dosaženo zlepšených fyzikálně-mechanických vlastností, zejména pevností v tlaku, v porovnání se vzorky, které koloidní oxid křemičitý neobsahovaly [36, 37]. V případě srovnání vlivu koloidního oxidu křemičitého a křemičitých úletů na pevnost cementových hmot [38] byl vliv koloidního oxidu křemičitého shledán významnějším. V případě aplikace koloidního oxidu křemičitého spolu s popílkem lze v cementových hmotách sledovat významný nárůst počátečních pevností v porovnání se vzorky, které koloidní křemík neobsahovaly.

Koloidní oxid křemičitý urychluje průběh tuhnutí a tvrdnutí cementu s jistým vlivem na hydratační teplo [37]. Dobře rozptýlené nanočástice oxidu křemičitého mohou působit jako nukleační centra při hydrataci cementu a následného vzniku hydrosilikátů a hydroaluminátů vápenatých [32].

Modifikace cementových hmot koloidním oxidem křemičitým má kladný vliv na snížení tvorby výkvětů [39]. Jeho působení v cementové hmotě lze rozdělit na tři úrovně:

- Snížení pórovitosti cementové hmoty.
- Puculánová reakce s hydroxidem vápenatého a vzniku C-S-H fáze.
- Modifikace struktury C-S-H fáze prodloužením průměrné délky silikátového řetězce.

Snížení pórovitosti vede k obtížnějšímu vstupu vody do struktury cementové hmoty a tím i snížení úrovně koroze. Puculánovou reakcí dojde k snížení obsahu hydroxidu vápenatého zodpovědného za tvorbu vápenných výkvětů. Modifikací vnitřní struktury C-S-H fáze se zvýší její odolnost proti rozkladu a tím i dalšímu uvolnění hydroxidu vápenatého.

S růstem obsahu koloidního oxidu křemičitého v cementové hmotě roste viskozita čerstvé cementové hmoty, mění se její zpracovatelnost a zvyšuje se odolnost cementové hmoty proti odlučování vody [35], výsledný vliv koloidního oxidu křemičitého na cementové hmoty je závislý na způsobu jeho přípravy [40].

Hlavní působení koloidního oxidu křemičitého v cementových hmotách lze shrnout do následujících bodů:

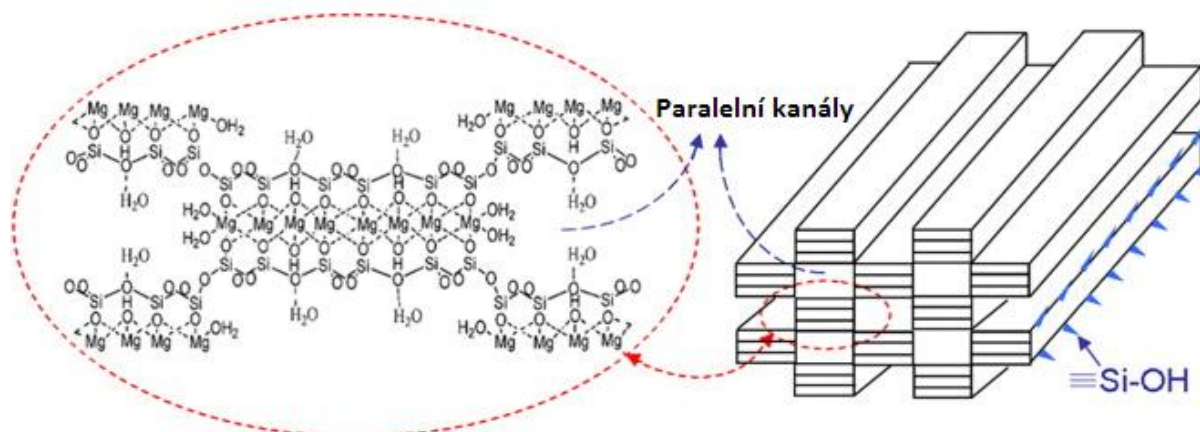
- Stabilizuje čerstvou hmotu proti odsednutí a upravuje zpracovatelnost.
- Urychluje tuhnutí a tvrdnutí cementu.
- Upravuje pevnostní charakteristiky cementové hmoty.
- Zvyšuje odolnost cementových hmot proti korozi.

Modifikace pastovitých nátěrových hmot a omítek obsahujících disperzní pojivo, popřípadě vodní sklo, koloidním oxidem křemičitým pozitivně ovlivňuje zejména tyto vlastnosti [41, 42, 43]:

- Nasákavost.
- Přídržnost k podkladu.
- Odolnost proti oděru.
- Lepivost vytvrzené hmoty.
- Požární odolnost.

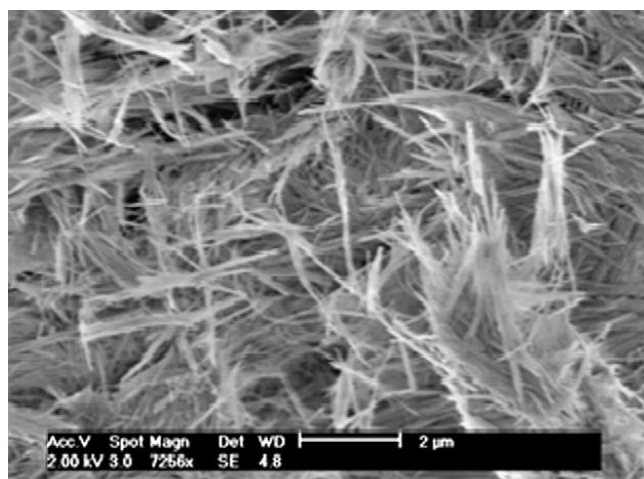
## 6.2. Sepiolit

Sepiolit ( $\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) je jílový minerál vyskytující se ve formě vláknitých krystalů nebo ve formě amorfního materiálu. Vlákniatá forma tvoří protáhlé částice o velikosti 1  $\mu\text{m}$  až 2  $\mu\text{m}$  a šířce 0,01  $\mu\text{m}$ , které obsahují otevřené kanály s rozměry 3,6 x 10,6 Å podél jejich osy (viz. obr. 14). Sepiolit má největší měrný povrch ze všech jílových minerálů (přibližně 300  $\text{m}^2/\text{g}$ ), je stabilní do teploty 300 °C a v rozsahu pH 3 – 14. Jeho komerční využití lze nalézt v řadě průmyslových aplikací. Většina světové produkce pochází z naleziště v blízkosti Madridu ve Španělsku.



Obr. 14 Schéma struktury sepiolitu [44].

Některé studie prokázaly pozitivní vliv na redukci mikrotrhlin ve vytvrzených cementových hmotách [45], nicméně chemická reakce sepiolitu a portlandského cementu nebyla popsána [46]. Sepiolit lze použít jako přísadu upravující reologické vlastnosti cementových a pastovitých stavebních hmot, kdy kromě stérického efektu vláken minerálů dochází působením vodíkových vazeb mezi jednotlivými částicemi k tixotropnímu a pseudoplastickému chování [47].



Obr. 15 Vlákna sepiolitu [48].

## C. Cíl

Experimentální část je zaměřena především na dvě témata. První téma představuje ověření možnosti modifikace lepicí a stěrkové hmoty a pastovité omítky koloidním oxidem křemičitým, druhé téma bude věnováno sanaci ETICS.

Cílem experimentální části bude modifikace ETICS a jeho součástí s požadavkem na:

- Použití pro sanaci ETICS.
- Zlepšení mechanických vlastností.
- Prodloužení trvanlivosti.
- Snížení rizika vzniku estetických závad.

Modifikované směsi lepicích a stěrkových hmot s obsahem koloidního oxidu křemičitého budou porovnány s referenčním vzorkem. Součástí těchto zkoušek bude i ověření možnosti náhrady etheru celulózy sepiolitem z důvodu snížení ceny vstupních surovin. Koloidní oxid křemičitý bude rovněž použit pro modifikaci pastovité omítky jako náhrady pojiva, polymerní disperze.

Druhé téma experimentální části se věnuje sanaci ETICS. Cílem této etapy bylo navržení postupu posuzování stavu a postupu sanace jednotlivých poruch. Součástí této části bude ověření využití PU lepidla pro dodatečné kotvení ETICS.

## **D. Experimentální část**

Experimentální část se zabývá dvěma hlavními tématy: ověření možnosti využití koloidního oxidu křemičitého pro modifikaci hmot určených pro ETICS a sanací ETICS.

### **7. Ověření možnosti využití koloidního oxidu křemičitého**

#### **7.1. Metodika práce**

##### Modifikace lepicí a stěrkové hmoty na bázi portlandského cementu

Před započítím modifikace cementové lepicí a stěrkové hmoty bude vytvořena referenční směs na základě startovací receptury. Dávkování redispergovatelného polymerního prášku a etheru celulózy bude stanoveno na základě jednoduchých postupových zkoušek. Zkušební směsi budou vytvořeny přidávkem koloidního oxidu křemičitého do referenční směsi. Poté proběhnou stanovené základní zkoušky. Na základě stanovených zkoušek budou u vybraných směsí provedeny doplňkové zkoušky a analýzy. Součástí této fáze bude rovněž ověření využití sepiolitu jako náhrady etheru celulózy.

##### Modifikace pastovité omítky

Pro modifikaci pastovité omítky je použita běžně vyráběná pastovitá omítka, která bude výrobcem rozdělena do čtyř částí: koncentrát, polymerní disperzi, plnivo a vodu. Zkušební směsi budou připraveny smísením koncentrátu, plniv, vody, polymerní disperze a koloidního oxidu křemičitého. S takto připravenými zkušebními směsmi budou provedeny stanovené zkoušky, jenž jsou uvedeny v postupu prováděných zkoušek.

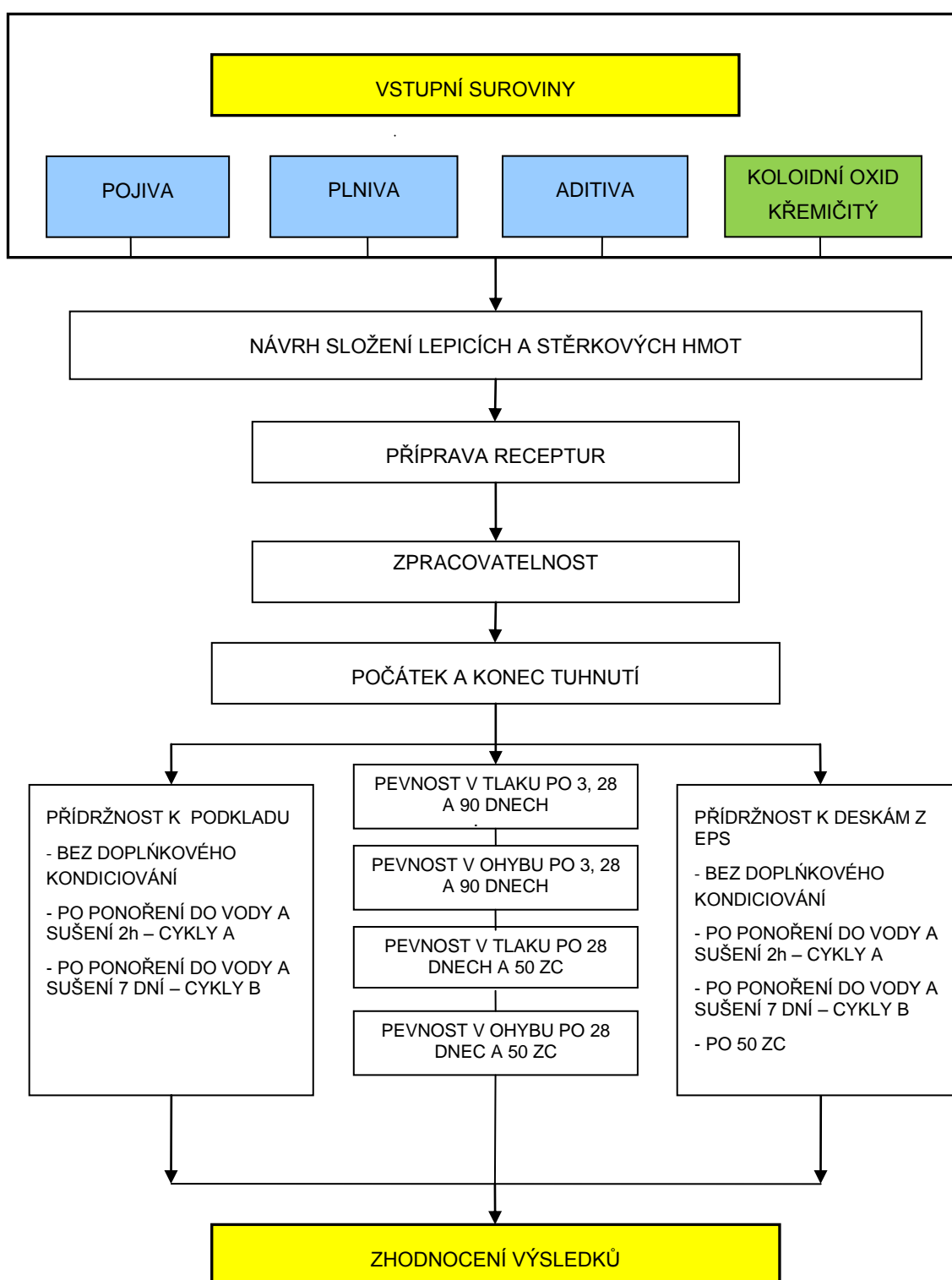
#### **7.2. Postup prováděných zkoušek**

##### **7.2.1. Modifikace cementové lepicí a stěrkové hmoty**

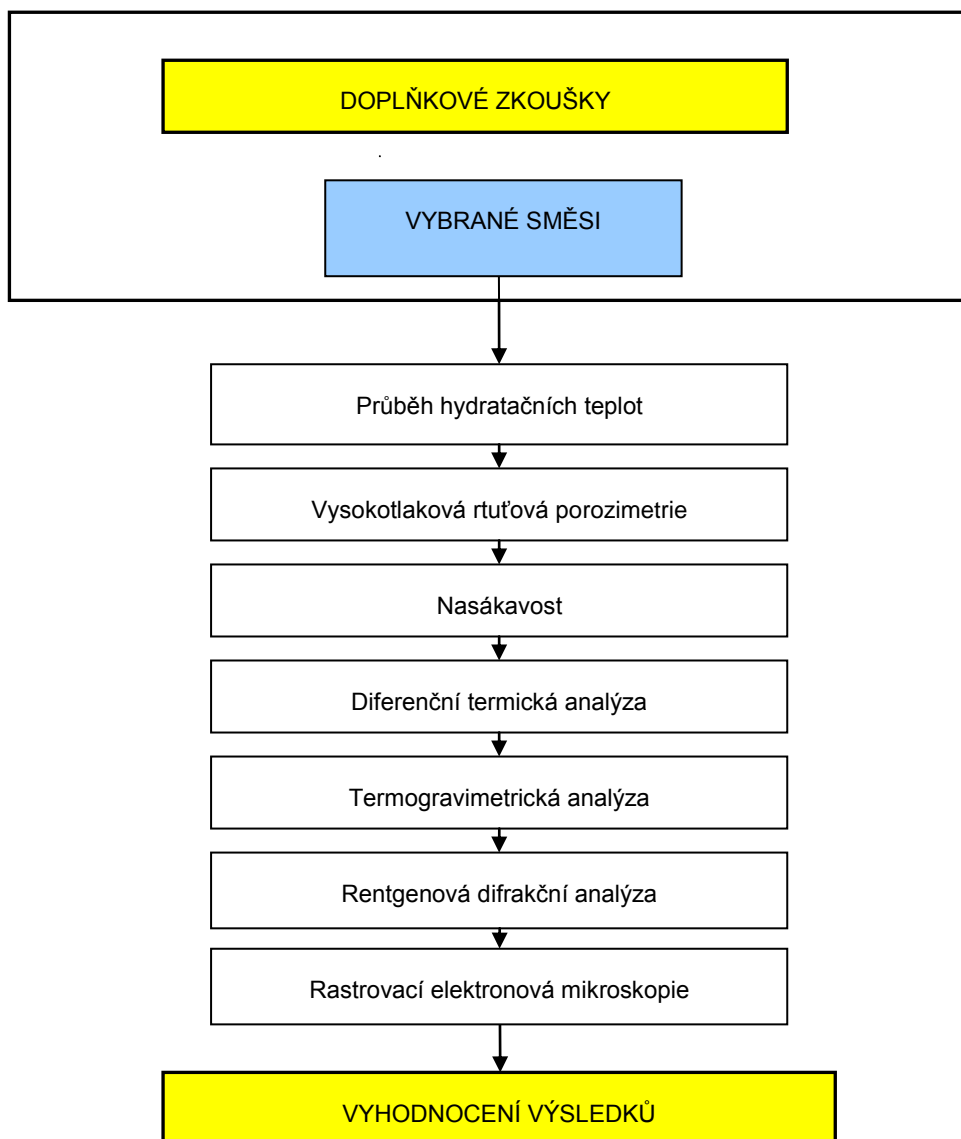
Postup prováděných zkoušek modifikace lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým je znázorněn na obr. 16. Doplňkové zkoušky modifikace lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým jsou znázorněny na obr. 17.

##### **7.2.2. Modifikace lepicí a stěrkové hmoty s využitím sepiolitu**

Postup prováděných zkoušek modifikace lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem je graficky znázorněn na Obr. 18. U vybraných směsí modifikace lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem budou provedeny doplňkové zkoušky znázorněné na obr. 19.

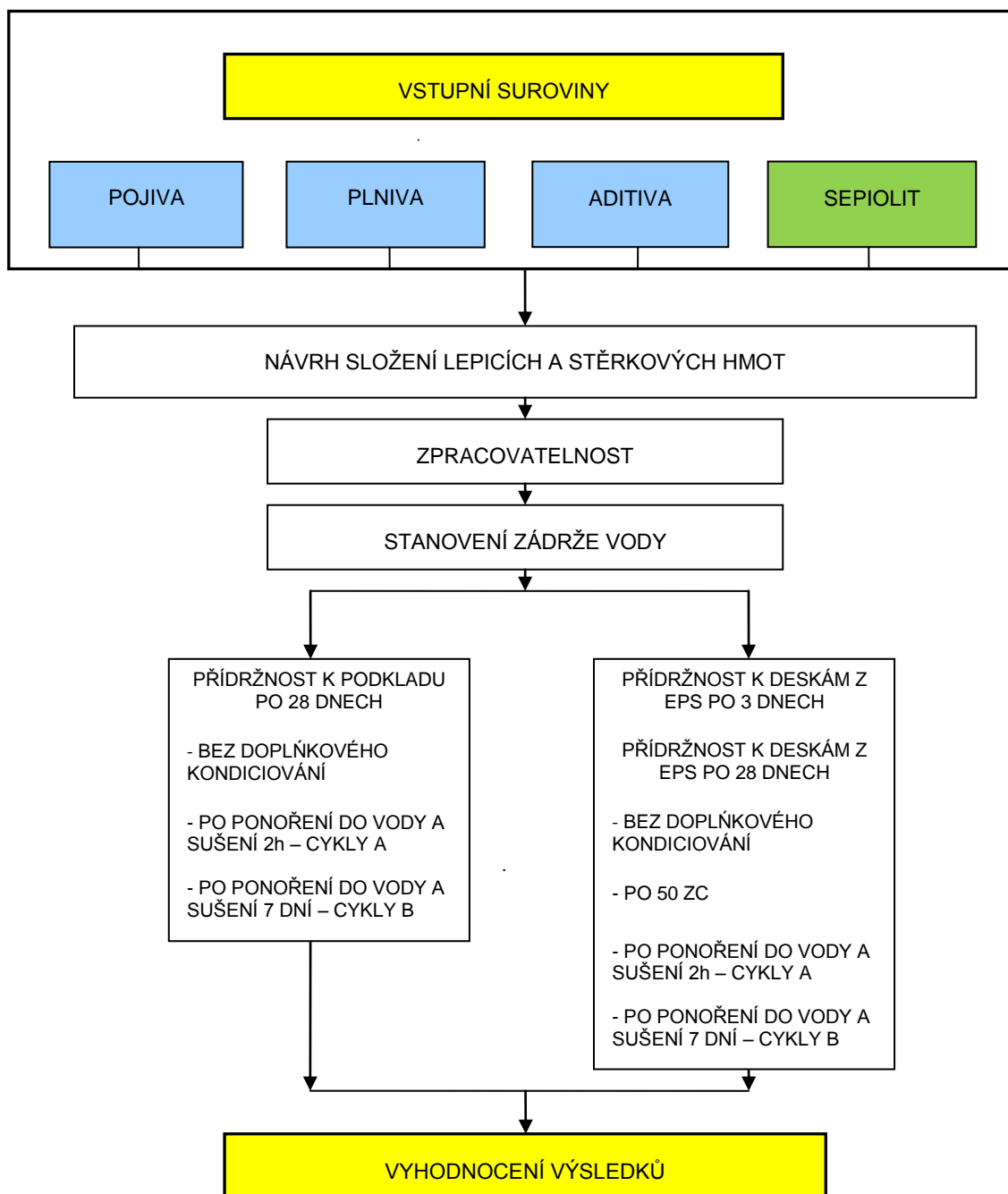


Obr. 16 Znáznornění postupu zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým

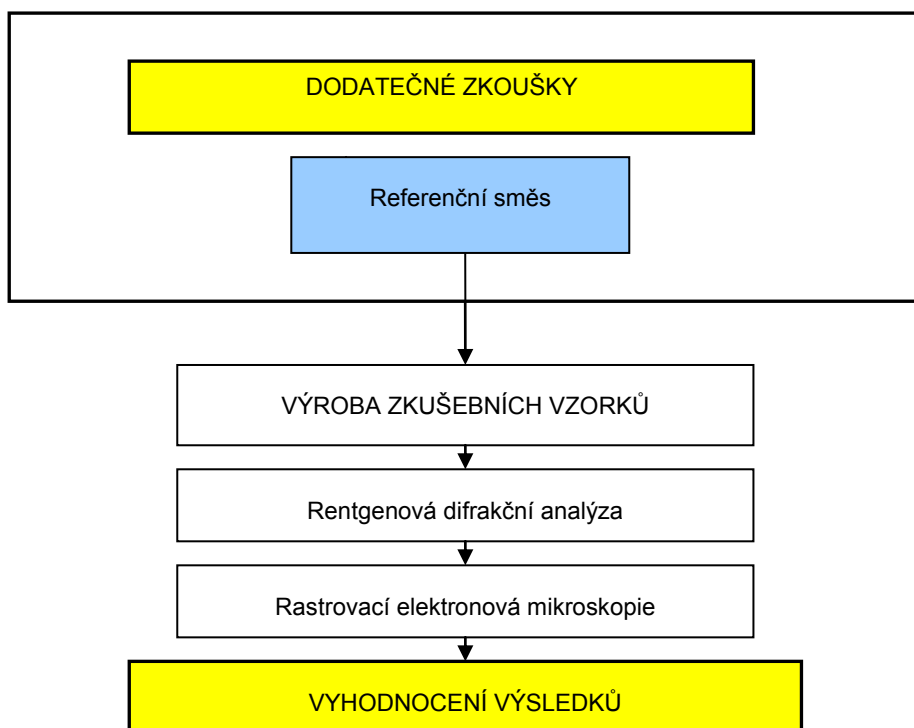


Obr. 17 Znáznornění postupu dodatečných zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým





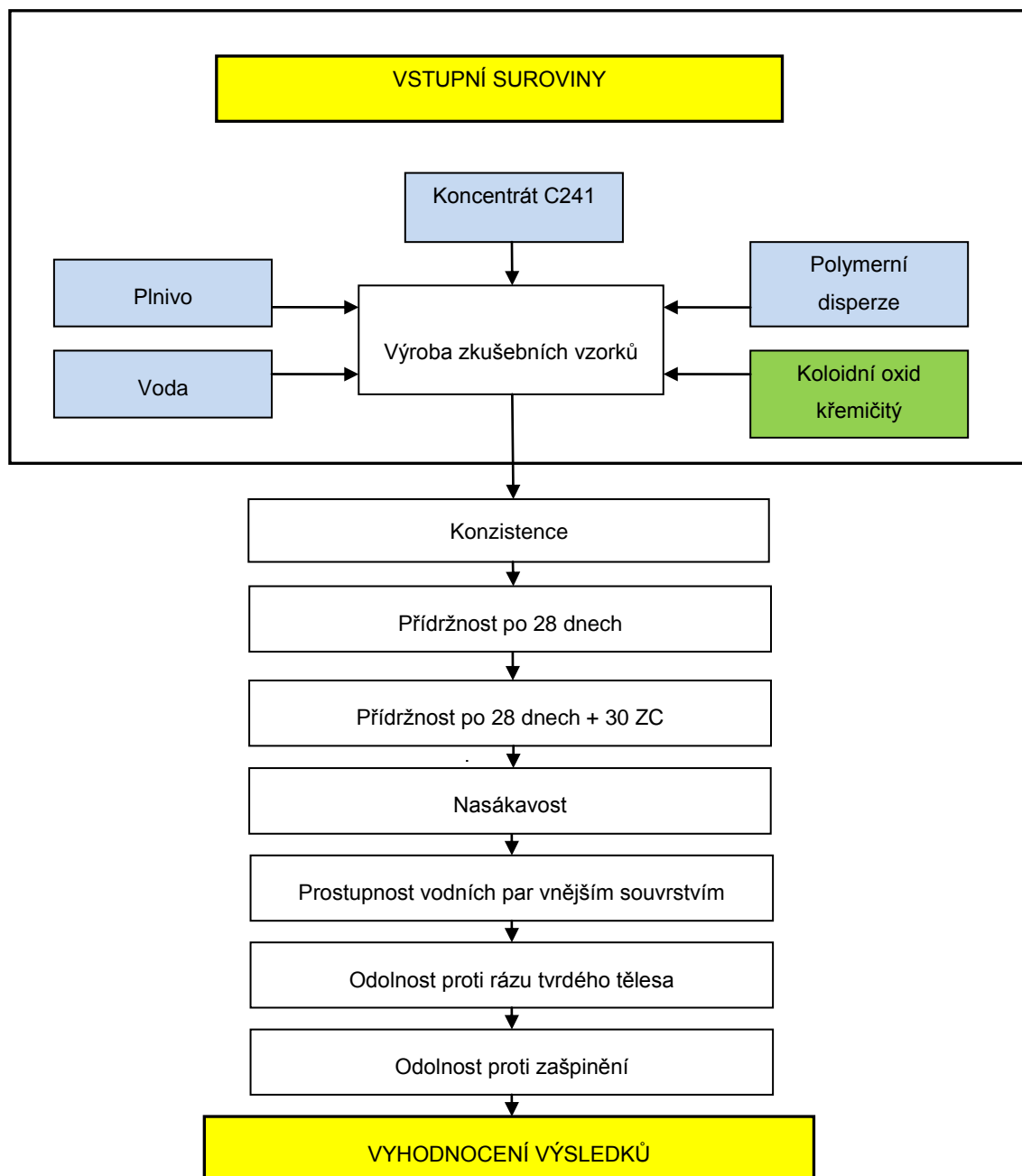
Obr. 18 Znárodnění postupu zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem



Obr. 19 Znáornění postupu dodatečných zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem

### 7.2.3. Modifikace pastovité omítky

Zkušební směsi modifikace pastovité omítky jsou připraveny homogenizací koncentrátu, plniv, polymerní disperze, vody a koloidního oxidu křemičitého. Postup prováděných zkoušek je znázorněn na obr. 20.



Obr. 20 Znázornění postupu zkoušek pastovité omítky

### 7.3. Popis prováděných zkoušek

#### Zkouška konzistence (ČSN EN 1015-3) [84]

Principem stanovení konzistence čerstvé malty podle její plasticity je stanovení velikosti rozlité komolého kužele z malty vystaveného otřesům na střešacím stolku. Průměr vzniklého koláče je změřen ve dvou na sebe kolmých průměrech.

#### Zkouška zpracovatelnosti čerstvé malty (ČSN 72 2441) [85]

Kuželová nádoba je naplněna zkoušenou hmotou a zhutní se 25-ti vpichy tyče a 5-ti nárazy nádoby o podložku, vyvozenými pádem z výšky 2 cm. Hladina po zhutnění musí sahat 1 cm pod okraj nádoby (tj. po označenou rysku). Hrot kužele je nasazen na hladinu vzorku a ponechán ponořit se vlastní tíhou do vzorku. Hloubka vniku kužele je odečtena po době 10-ti sekund s přesností na 0,2 mm. Pro stanovení výsledku jedné zkoušky se provádí dvě měření. Pro druhé měření je po vyjmutí kužele vzorek v kuželové nádobě promísen ocelovou tyčí, podle potřeby je množství doplněno po rysku a následně provedeno druhé měření. Výsledek je aritmetickým průměrem dvou měření, jednotlivě naměřené hodnoty se nesmí lišit o více než 10 mm.

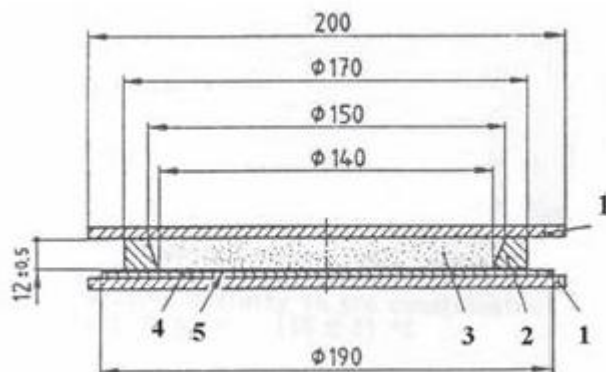
#### Zadrž vody (DIN 18555-7) [86]

Zkouška je založena na stanovení hmotnostního úbytku čerstvé malty, jenž je po dobu 5 minut uložena na filtračním papíře. Konický prstenec uložený na filtračním papíře je naplněn čerstvou maltou a po zvažení je zakryt plastovým talířem a ponechán volně 5 minut. Dle změny váhy je vypočtena zadrž vody podle následujícího vzorce:

$$WR (\%) = 100 - \frac{m_7 - m_6}{(m_5 - m_4) \times W_1} \times 100$$

Kde:

- $m_4$  je hmotnost (plastový talíř + filtrační papír + netkaná textilie + plastový prstenec)
- $m_5$  je hmotnost (plastový talíř + filtrační papír + netkaná textilie + plastový prstenec + čerstvá malta)
- $m_6$  je hmotnost (plastový talíř + filtrační papír)
- $m_7$  je hmotnost (plastový talíř + vlhký filtrační papír)
- $W_1$  je obsah vody v hmotě.



Obr. 21 Schéma zkušebního zařízení. 1: plastový talíř, 2: plastový prsteneček, 3: čerstvá hmota, 4: filtrační papír, 5: netkaná textilie.

### Stanovení počátku a konce tuhnutí (ČSN EN 196-3) [87]

Po rozmíchání cementové stěrky ve vodě je kaší naplněný Vicatův prsteneček položený na skleněnou destičku a povrch je zarovnan. Vicatův přístroj s penetračním válečkem je nastaven do nulové polohy. Váleček je nasazen na povrch cementové kaše a rychle uvolněn. Po 30 sekundách vnikání válečku je odečtena výška jeho spodní plošky nad skleněnou destičkou. Pokud není dosaženo  $6 \pm 1$  mm, zkušební postup je zopakován s nově připravenou cementovou kaší s upraveným množstvím vody.

Stanovení počátku tuhnutí se provádí nahrazením válečku jehlou. Její poloha je nastavena na nulovou hodnotu. Hrot jehly je přiložen na povrch cementové kaše a rychle se uvolní. Na stupnici je odečtena hloubka vniknutí. Postup se opakuje každých 10 minut, dokud se jehla nezastaví  $4 \pm 1$  mm nad skleněnou destičkou. Tento okamžik je považován za počátek tuhnutí.

Pro stanovení konce tuhnutí se Vicatův prsteneček obrátí. Použita je jehla s kruhovým nástavcem, postup je obdobný, jako u stanovení počátku tuhnutí. Interval vpichů činí 5 minut. Koncem tuhnutí se rozumí doba od smíchání cementu s vodou do okamžiku, kdy se jehla zaboří jen do hloubky 0,5 mm pod povrchem kaše.

### Přídržnost (ETAG 004) [88]

Zkušební tělesa se kondicionují při teplotě  $(23 \pm 2)$  °C a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5)$  % po dobu 28 dní. Poté se ve hmotě vyříznou otvory k podkladu (betonu nebo tepelnému izolantu) a přilepí odtrhové terče. Zkouška přídržnosti se provádí na vzorcích:

- bez doplňkového kondicionování (v suchém stavu),
- po ponoření adheziva do vody na 2 dny a sušení 2 hodiny při teplotě  $(23 \pm 2)$  °C a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5)$  %,

- po ponoření adheziva do vody na 2 dny a sušení 7 dní při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5) \%$ .

#### Přídržnost po zmrazení – rozmrazení (ETAG 004) [88]

Zkušební tělesa se nejdříve kondicionují při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5) \%$  po dobu 28 dní, poté je provedena série cyklů jenž zahrnují:

- vystavení vodě na 8 hodin při teplotě  $(+20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  ,
- zmrazení na teplotu  $(-20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  na dobu 16 hodin.

Ve hmotě se vyříznou otvory k podkladu (betonu nebo tepelnému izolantu) nalepí odtrhové terče a provede měření.

#### Stanovení objemové hmotnosti malty (ČSN EN 1015-10) [90]

Objemová hmotnost je definována jako hmotnost objemové jednotky včetně dutin a pórů. Podstatou zkoušky je změřením objemu zkušební tělesa a stanovení jeho hmotnosti. Objemová hmotnost byla zjišťována na trámečcích  $40 \times 40 \times 160$  mm uložených při laboratorních podmínkách.

#### Pevnost v ohybu (ČSN EN 12 808-3) [91]

Pevnost v ohybu se stanovuje výpočtem mezního napětí malty v tahu za ohybu za předpokladu, že se malta chová pružně. Pevnost v tahu za ohybu je zjišťována na trámečcích  $40 \times 40 \times 160$  mm umístěných symetricky na podpěry a rovnoměrně zatěžovaných hydraulickým lisem kolmo na směr hutnění. Hodnota pevnosti v ohybu byla vypočtena jako průměr ze tří stanovených hodnot. U této zkoušky byla stanovena:

- Počáteční pevnost po 28 dnech – zkouška je prováděna po uložení vzorku 28 dní za standardních podmínek v laboratoři.
- Pevnost po zmrazovacích cyklech (ZC) (dle ČSN EN 12 808-3) - zkušební tělesa se 28 dní ponechají za standardních laboratorních podmínek. Před zmrazovacími a rozmrazovacími cykly se vzorky ponoří do vody o teplotě  $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Tělesa se vyjmou z vodního uložení a vloží se do cyklovacího zařízení, v němž jsou vystavovány 25 cyklům při střídavé teplotě  $-20 ^\circ\text{C}$  a  $+20 ^\circ\text{C}$  (za spolupůsobení vody), a to v přesně stanovených intervalech. Po skončení těchto intervalů se tělesa vyjmou ze zařízení a zkouší se jejich pevnost v tahu za ohybu.

### Pevnost v tlaku (ČSN EN 12 808-3) [91]

Pevnost v tlaku se zkouší na zlomcích zkušebních trámečků po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Hodnota pevnosti v tlaku je vypočtena jako aritmetický průměr hodnot stanovených na 6 zlomcích zkušebních trámečků. U této zkoušky byla stanovena:

- Počáteční pevnost po 28 dnech – zkouška je prováděna po uložení vzorku 28 dní za standardních podmínek v laboratoři.
- Pevnost po zmrazovacích cyklech (ZC) (dle ČSN EN 12 808-3) - zkušební tělesa se 28 dní ponechají za standardních laboratorních podmínek. Před zmrazovacími a rozmrazovacími cykly se vzorky ponoří do vody o teplotě  $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Tělesa se vyjmou z vodního uložení a vloží se do cyklovacího zařízení, v němž jsou vystavovány 25 cyklům při střídavé teplotě  $-20 ^\circ\text{C}$  a  $+20 ^\circ\text{C}$  (za spolupůsobení vody), a to v přesně stanovených intervalech. Po skončení těchto intervalů se tělesa vyjmou ze zařízení a zkouší se jejich pevnost v tlaku.

### Stanovení nasákavosti malty (ETAG 004) [88]

Vzorky se připraví na izolantu o ploše povrchu nejméně 200 mm x 200 mm, na který se nanese stěrková hmota případně celé omítkové souvrství. Připravené vzorky se kondicionují 7 dní při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5) \%$ . Hrany vzorků, včetně izolačního výrobku, se utěsní proti vodě, aby se zajistilo, že během následujícího zkoušení bude nasákavosti vystaven pouze povrch stěrkové hmoty nebo omítkového souvrství. Vzorky se pak podrobí sérii 3 cyklů zahrnujících tyto fáze:

- Ponoření do vodní lázně o teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  na 24 hodin. Vzorky se ponoří povrchovou úpravou dolů do hloubky 2 až 10 mm.
- Sušení při teplotě  $(50 \pm 5) \%$  po dobu 24 hodin.

Po cyklech se vzorky uloží nejméně na 24 hodin při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5) \%$ . Zjištění nasákavosti se provádí se vzorky po kondicionování opětovným ponořením povrchovou úpravou dolů. Po 3 minutách ponoření v lázni se vzorky zváží (referenční hmotnost) a dále se zváží po uplynutí 1 hodiny a 24 hodin. Před druhým a následujícím vážením je voda ulpívající na povrchu vzorku setřena vlhkým měkkým hadříkem.

### Propustnost pro vodní páru (EN 12086) [92]

Vzorky se připraví nanesením stěrkové hmoty případně omítkového souvrství na tepelně-izolační desku a ponechají se kondicionovat 28 dní při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5) \%$ . Stěrková hmota případně omítkové souvrství se oddělí od podkladu a po vyřezání zkušebních vzorků se umístí do zkušebního zařízení. Zkouška je provedena při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5) \%$ . Zkušební těleso obsahuje nasycený roztok dihydrogenfosforečnanu amonného ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ).

### Odolnost proti rázu tvrdého tělesa (ISO 7892:1988) [93]

Rázy tvrdým tělesem (10 Joulů) se provádějí pádem ocelové koule o hmotnosti 1 kg z výšky 1,02 m. Rázy tvrdým tělesem (3 Jouly) se provádějí pádem ocelové koule o hmotnosti 0,500 kg z výšky 0,61 m. Sleduje se průměr vtisku a výskyt všech mikrotrhlin nebo trhlin v místě rázu.

### Rentgenová difrakční analýza

Tato analytická metoda umožňuje identifikaci minerálů měřením spekter vznikajících lomem rentgenového záření na jejich krystalové mřížce. Soudobé počítačově řízené přístroje jsou schopny kvantitativní analýzy hlavních fází i složitých směsí, jakými jsou např. malty.

Difrakční metody strukturální analýzy jsou založeny na interferenci rentgenového záření a vycházejí z toho, že se v pevné látce nachází vzájemně rovnoběžné roviny, které jsou od sebe vzdáleny o tzv. mezimřížkovou vzdálenost  $d$ . Na těchto rovinách dochází k interferenci (zesílení) rentgenového záření. Zesílení záření krystalovou mřížkou se projeví nárůstem intenzity záření  $I$ . Každá krystalická látka obsahuje mnoho různých rovin o mezimřížkových vzdálenostech  $d$ , na kterých vzrostou hodnoty intenzit záření na  $I$ . Tyto hodnoty jsou charakteristické pro každou krystalickou látku.

Rentgenovou difrakční analýzou (RDA) lze ve sledovaných vzorcích stanovit přítomnost jak minerálů tvořících matici daného materiálu, tak přítomnost krystalických fází, které tvoří jeho plnivo. Tato metoda byla prováděna v souladu s metodickým postupem VUT FAST, č. 30-33/1.

### Diferenční termická analýza

Diferenční termická analýza (DTA) je tepelně analytická metoda založená na měření rozdílů teplot v závislosti na teplotě mezi zkoušeným a standardním vzorkem současně vyhřívanými konstantní rychlostí v peci. Tepelné zbarvení reakce se ve výsledné křivce projeví maximy a minimy v exotermní a endotermní oblasti. Je spojena s termogravimetrií (TG), která sleduje kvantitativně změnu hmotnosti vzorku jako funkci lineárně se měnící teploty. Na záznamu je rovněž zachycena derivační křivka (DTG), vyjadřující závislost rychlosti změny hmotnosti vzorku na teplotě.

Do očištěného platinového kelímku se naváží vzorek tak, aby kelímek byl i po mírném setřepání zaplněn po okraj. Po zasunutí do přístroje se pomocí protizávaží vykompenzují hmotnostní váhy. Nejvhodnější citlivost pro křivku DTA je 1/5. Rozsah pro TG je zvolen podle ztráty žíháním. Doporučený nárůst teplot v peci je  $100\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . V souladu s křivkou DTA při daných určených teplotách lze na křivce TG zjistit hmotnostní úbytek, který odpovídá vždy určité reakci. Zřetelněji je změna hmotnosti charakterizována na křivce DTG. Tato metoda byla prováděna v souladu s Metodickým postupem VUT FAST, č. 30-33/1.



### Rastrovací elektronová mikroskopie

Analýza mikrostruktury vzorků byla prováděna rastrovacím elektronovým mikroskopem (REM) v souladu s Metodickým postupem VUT FAST, č. 30-33/1.

### Vysokotlaká rtuťová porozimetrie

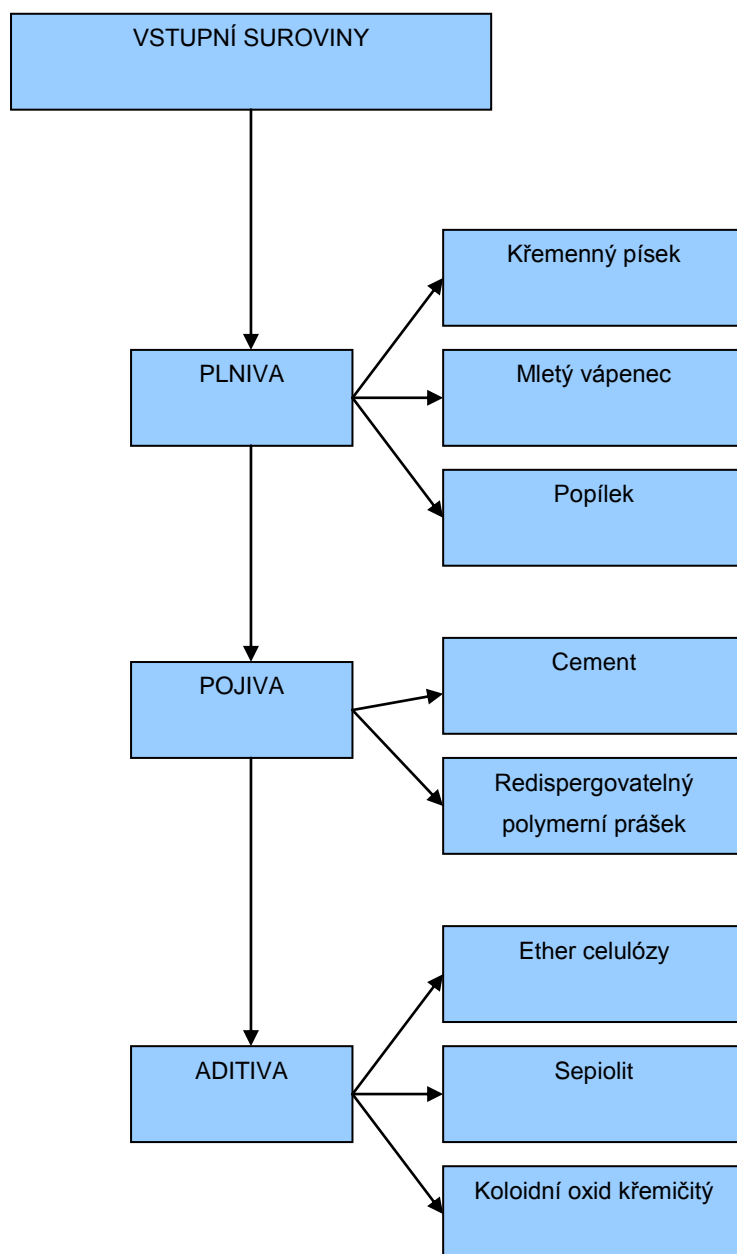
Metoda vysokotlaké rtuťové porozimetrie byla prováděna pro stanovení velikosti a objemu mikropórů ve zkušebních vzorcích. Metoda je založena na principu vnikání rtuti do mikropórů vzorku vlivem definovaného tlaku. Měření objemu mikropórů bylo prováděno ve skleněné baňce na vzorku o objemu cca 1 cm<sup>3</sup>.

### Kalorimetrie

Jedná se o termickou analýzu, která je postavena na sledování teplotních změn doprovázejících sledovanou chemickou reakci. Vývin hydratačního tepla je charakterizován průběhem teplot při hydrataci cementu. Sledování teplot je přímým ukazatelem exotermických reakcí odehrávajících se mezi slínkovými minerály a vodou. Naměřené hodnoty představují vliv veškerých reakcí, které probíhají při tuhnutí a tvrdnutí směsí, smáčení, rozpouštění jednotlivých složek, krystalizaci, reakce nových hydratačních produktů, které se tvoří ve směsi atd. Tato metoda byla prováděna v souladu s Metodickým postupem VUT FAST, č. 30-33/1.

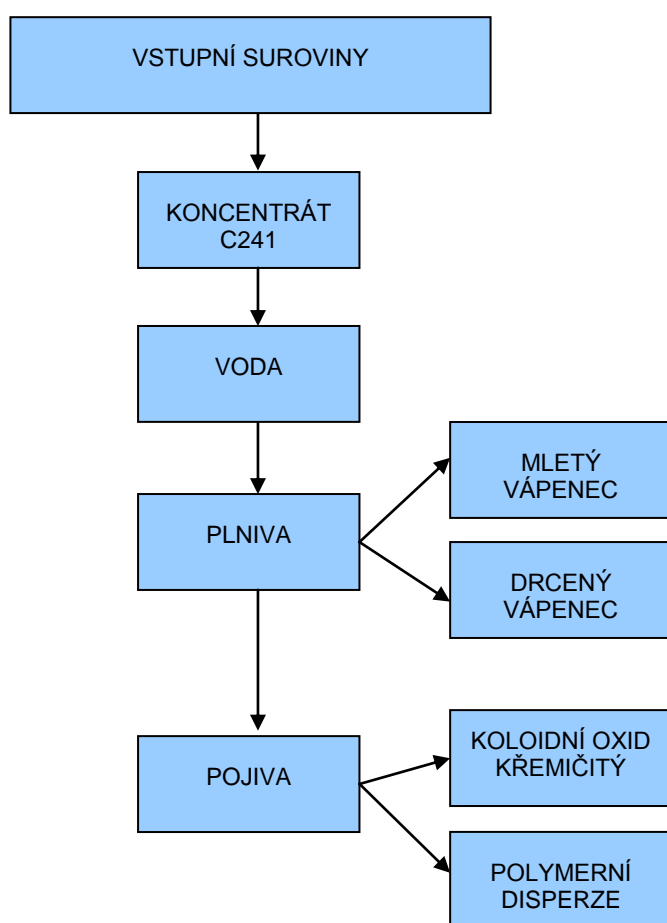
## 7.4. Rozbor vstupních surovin

Na počátku experimentální části byla provedena charakterizace vstupních surovin. V případě plniv a cementu byly provedeny základní chemické, fyzikální a mechanické zkoušky. Vlastnosti ostatních vstupů byly porovnány s dodanými identifikačními a technickými listy. Skladba vstupních surovin je znázorněna na obr. 22 a na obr. 23.



Obr. 22 Skladba vstupních surovin pro modifikaci lepicí a stěrkové hmoty

V experimentální části věnované modifikaci pastovité omítky jsou použity zkušební směsi připravené smísením koncentrátu, plniv, vody, polymerní disperze a koloidního oxidu křemičitého. Koncentrát byl připraven z běžně používané omítky, která byla rozdělena do čtyř částí na koncentrát, polymerní disperzi, plniva a vodu. Takto získaný koncentrát, který stále obsahoval část plniv, polymerní disperze a vody obsahoval také pojivo, pigment, filmotvorné činidlo, odpěňovač, biocidní přípravek, dispergátor, záhustky, hydrofobní přísadu a regulátor pH, byl použit pro přípravu zkušebních směsí.



Obr. 23 Skladba vstupních surovin pro modifikaci pastovité omítky

### 7.4.1. Vstupní suroviny - lepicí a stěrkové hmoty

#### Cement

Pro všechny směsi byl použit cement CEM I 42,5 R z cementárny Hranice. Vlastnosti a složení použitého cementu jsou uvedeny v tab. 6 a tab. 7.

Tab. 6 Vlastnosti použitého cementu

Vlastnost	Hodnota
Měrný povrch [ $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ]	366,6
Počátek tuhnutí [min.]	2:22
Konec tuhnutí [min.]	3:20
Pevnost v tlaku - 2 dny [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ]	31,8
Pevnost v tlaku - 28 dnů [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ]	58,5

Tab. 7 Chemické složení použitého cementu

SiO <sub>2</sub> [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	CaO [%]	MgO [%]	Na <sub>2</sub> O [%]	K <sub>2</sub> O [%]	SO <sub>3</sub> [%]	Cl <sup>-</sup> [%]	Cr [%]	ZŽ [%]
20,14	4,65	3,14	64,17	1,30	0,15	0,92	3,30	0,015	0,019	1,62

#### Redispergovatelná prášková disperze

Pro všechny směsi byl použit redispergovatelný polymerní prášek Elotex FX2330 společnosti ELOTEX. Vlastnosti použitého polymerního prášku jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Vlastnosti použitého redispergovatelného polymerního prášku

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ ]	450 - 650
Popelnatost [%]	10,5
Minimální filmotvorná teplota [°C]	0
Ochranný koloid	polyvinylalkohol
Polymerní báze	VAc-E

Koloidní oxid křemičitý

Pro všechny směsi byl použit koloidní oxid křemičitý Cembinder 8 od společnosti EKA Chemicals. Vlastnosti použitého koloidního oxidu křemičitého jsou uvedeny v tab. 9 .

Tab. 9 Vlastnosti použitého koloidního oxidu křemičitého

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	1400
pH	9 - 11
Obsah sušiny [% hm.]	50
Velikost částic [nm]	19 - 156
Střední velikost částic [nm]	35
Specifický povrch [ $\text{m}^2/\text{g}$ ]	50

Křemenný písek

Další použitou surovinou byl křemenný písek. Stanovené vlastnosti jsou uvedeny v tab. 10.

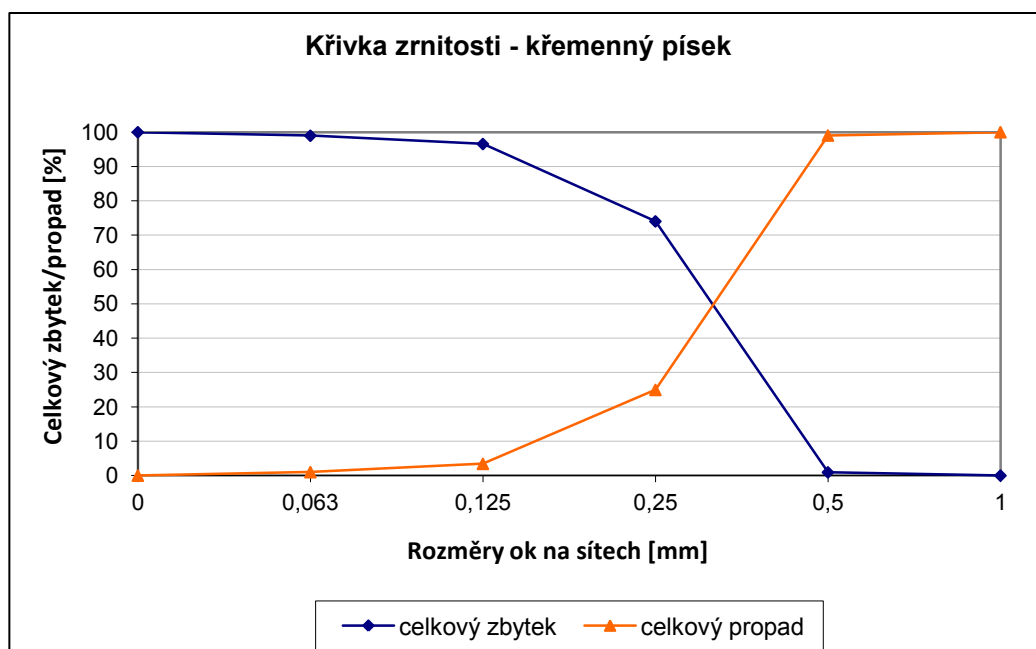
Tab. 10 Zjištěné vlastnosti křemenného písku

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	2650
Sypná hmotnost volně sypaná [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	1370
Sypná hmotnost setřesená [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	1580
Nasákavost [%]	23,4

Sítový rozbor písku je uveden v tab. 11, graficky znázorněn na obr. 24.

Tab. 11 Sítový rozbor křemenného písku

Kontrolní síto [mm]	Zbytek na síť [g]	Zbytek na síť [%]	Celkový zbytek [%]	Celkový propad [%]
1	0,00	0,00	0,00	100,00
0,5	1,89	0,95	0,95	99,05
0,25	148,19	74,09	75,04	24,96
0,125	43,05	21,53	96,57	3,43
0,063	4,84	2,42	98,98	1,01
pod 0,063	2,02	1,01	100,00	0,00
$\Sigma$	200,00			



Obr. 24 Celkový zbytek/propad na sítích: písek

Chemické složení křemenného písku je uvedeno v tab. 12.

Tab. 12 Chemické složení křemenného písku

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	TiO <sub>2</sub> [%]
0,18	0,95	98,50	0,21

### Popílek

Použitý popílek pochází z elektrárny Dětmorovice, vzniklý spalováním černého uhlí.

Vlastnosti a složení popílku jsou uvedeny tab. 13.

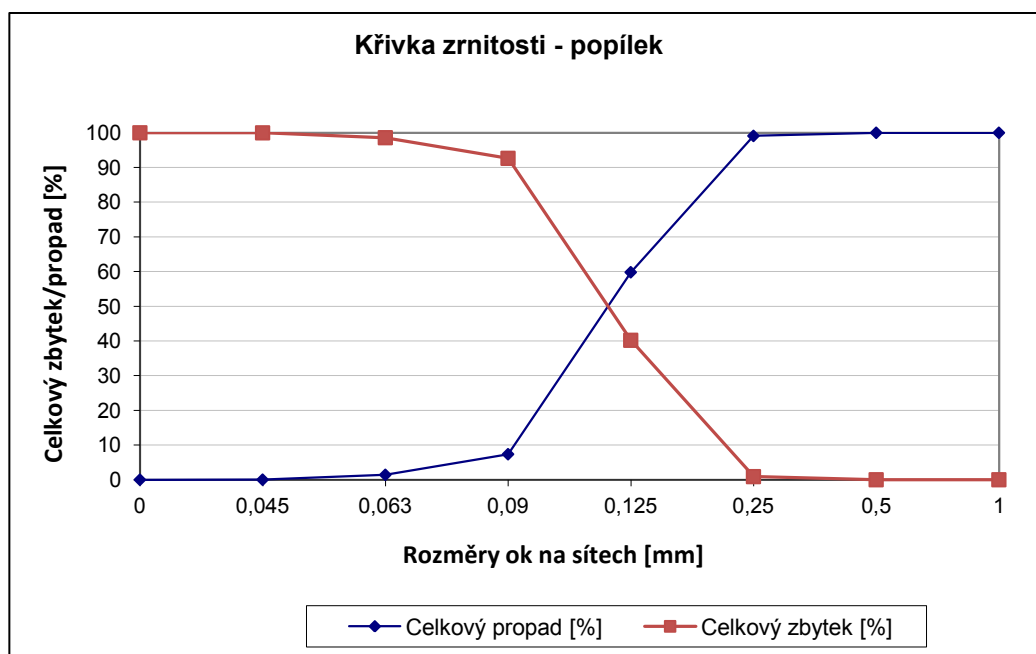
Tab. 13 Vlastnosti použitého popílku

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	2040
Měrný povrch [m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> ]	242,6
Ztráta žíháním [%]	3,42

Sítový rozbor popílku je uveden v tab. 14 a graficky znázorněn na obr. 25.

Tab. 14 Sítový rozbor elektrárenského popílku

Kontrolní síto [mm]	Zbytek na síti [g]	Zbytek na síti [%]	Celkový zbytek [%]	Celkový propad [%]
1	0,000	0,000	0,000	100,000
0,5	0,000	0,000	0,000	100,000
0,25	1,800	0,900	0,900	99,100
0,125	78,600	39,300	40,200	59,800
0,09	104,880	52,440	92,640	7,360
0,063	11,890	5,945	98,585	1,415
0,045	2,790	1,395	99,980	0,020
pod 0,045	0,040	0,020	100,000	0,000
Σ	200,00			

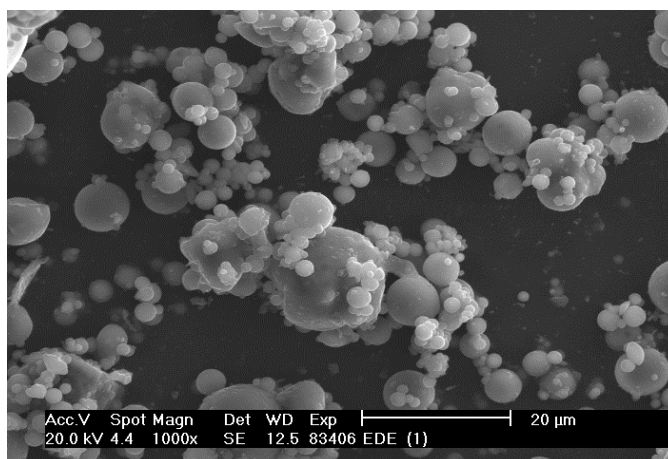


Obr. 25 Celkový zbytek/propad na sítích: popílek

Chemické složení popílku je uvedeno v tab. 15.

Tab. 15 Chemické složení popílku

CaO [%]	MnO [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	SO <sub>3</sub> [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	Na <sub>2</sub> O [%]	MgO [%]	K <sub>2</sub> O [%]	TiO <sub>2</sub> [%]	S [%]
4,2	0,1	24,9	6,1	0,2	52,2	0,2	2,1	2,9	1,03	0,74



Obr. 26 Snímek popílku Dětmarovice.

### Mletý vápenec

Dalším plnivem, které bylo použito, je mletý vápenec z Omycarb 40 od společnosti OMYA a.s., který vzniká mletím vysokoprocentního vápence s vysokým obsahem kalcitu. Stanovené vlastnosti jsou uvedeny v tab. 16.

Tab. 16 Zjištěné vlastnosti mletého vápence Omycarb 40

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	2630
Sypná hmotnost volně sypaná [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	1040
Sypná hmotnost setřesená [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	1480
Nasákavost [%]	30,2

Chemické složení mletého vápence je uvedeno v tab. 17.

Tab. 17 Chemické složení mletého vápence Omycarb 40

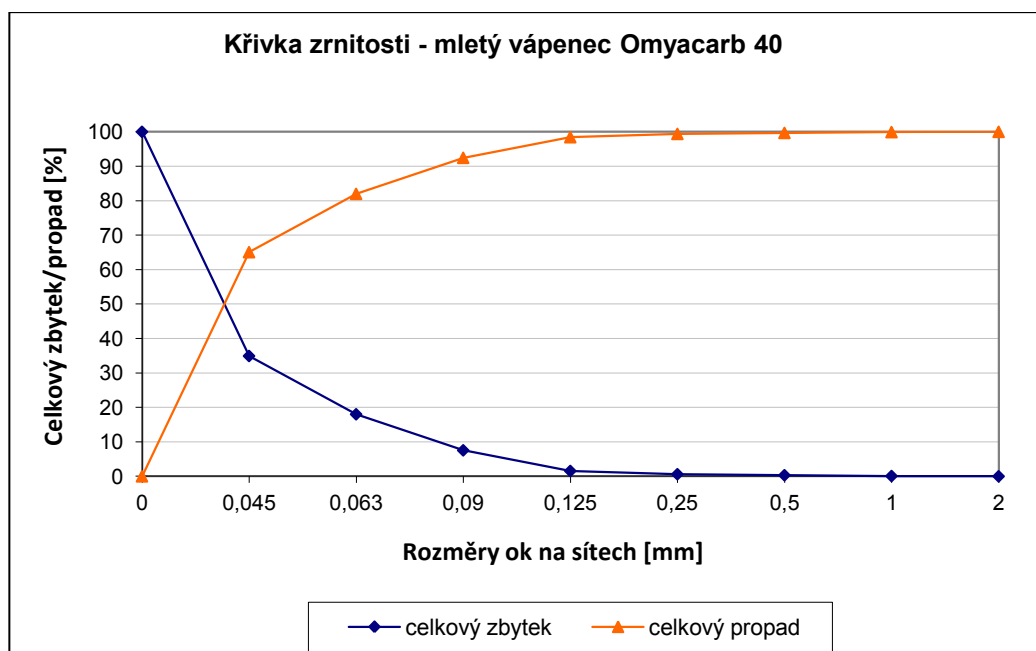
CaO [%]	MnO [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Sírany [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	TiO <sub>2</sub> [%]	MgO [%]	K <sub>2</sub> O [%]
55,25	0,01	0,09	0,12	0,80	0,06	0,01	0,65	0,02



Sítový rozbor mletého vápence je uveden v tab. 18 a graficky znázorněn na obr. 27.

Tab. 18 Sítový rozbor: mletý vápenec Omyacarb 40

Kontrolní síto [mm]	Zbytek na síť [g]	Zbytek na síť [%]	Celkový zbytek [%]	Celkový propad [%]
2	0,000	0,00	0,00	100,00
1	0,182	0,09	0,09	99,91
0,5	0,468	0,23	0,32	99,68
0,25	0,589	0,29	0,61	99,39
0,125	1,890	0,95	1,56	98,44
0,09	11,982	5,99	7,55	92,45
0,063	20,921	10,46	18,01	81,99
0,045	33,836	16,92	34,93	65,07
pod 0,045	130,132	65,07	100,00	0,00
$\Sigma$	200,000			



Obr. 27 Celkový zbytek/propad na sítích: mletý vápenec Omyacarb 40

Ether celulózy

Ve všech cementových směsích byl použit ether celulózy s obchodním označením Tylose MB 15009 P2 od společnosti ShinEtsu. Základní charakteristika suroviny je uvedena v tab. 19.

Tab. 19 Vlastnosti použitého éteru celulosy

Vlastnost	Hodnota
Typ etheru celulózy	Metyl hydroxyetyl celulóza
Viskozita (Brookfield, 1,9%, 20°C) [mPa.s]	10000 – 17000
Měrná hmotnost [g.dm <sup>-3</sup> ]	400
Velikost částic <180 μm [%]	min. 85
Velikost částic <100 μm [%]	min. 25

Sepiolit

Ve všech cementových směsích byl použit sepiolit s obchodním označením Pangel S9 od společnosti Tolsa. Základní charakteristika suroviny je uvedena v tab. 20.

Tab. 17 Vlastnosti použitého sepiolitu

Vlastnost	Hodnota
Obsah sepiolitu [%]	min. 85
Vlhkost [%]	max. 10
Viskozita (Brookfield, 6%, 20°C) [mPa.s]	30000 – 60000
Měrná hmotnost [g.dm <sup>-3</sup> ]	60
Velikost částic <44 μm [%]	100
Velikost částic <10 μm [%]	95
Velikost částic >5 μm [%]	90

## 7.4.2. Vstupní surovin - pastovité omítky

### Polymerní disperze

Pro všechny směsi v rámci modifikace pastovité omítky byla použita styren akrylátová disperze s obchodním označením Ucar Latex DL 424 společnosti DOW. Základní charakteristika použité disperze je uvedena v tab. 21.

Tab. 21 Vlastnosti použité polymerní disperze

Vlastnost	Hodnota
Obsah sušiny [%]	50
pH	8,5
Minimální filmotvorná teplota [°C]	14
Teplota skelného přechodu [°C]	18
Viskozita (Brookfield RV, spindle 5, 25°C) [mPa.s]	1000 - 4000

### Koloidní oxid křemičitý

Pro všechny směsi byl použit koloidní oxid křemičitý Bindzil CC301 od společnosti EKA Chemicals. Vlastnosti použitého koloidního oxidu křemičitého jsou uvedeny v tab. 22.

Tab. 22 Vlastnosti použitého koloidního oxidu křemičitého

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	1200
pH	8
Obsah sušiny [% hm.]	29
Střední velikost částic [nm]	7

### Mletý vápenec

Uvedeno v kapitole 1.4.1. mletý vápenec Omyacarb 40.

Drcený vápenec

Drcený vápenec z firmy Omya, obchodní název Carolith 0,2 – 0,5 vzniká drcením vysokoprocenního vápence s vysokým obsahem kalcitu. Stanovené vlastnosti jsou uvedeny v tab. 23.

Tab. 23 Zjištěné vlastnosti drceného vápence Omyacarb 0,2 – 0,5

Vlastnost	Hodnota
Měrná hmotnost [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]	2700
Sypná hmotnost volně sypaná [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]	1378
Sypná hmotnost setřesená [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]	1462
Propad na síť 1,0 mm	100 %
Propad na síť 0,5 mm	94 %
Propad na síť 0,1 mm	5 %

Chemické složení drceného vápence Carolith 0,2 – 0,5 je uvedeno v tab. 24.

Tab. 24 Chemické složení drceného vápence Carolith 0,2 – 0,5

CaO [%]	MnO [%]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Sírany [%]	SiO <sub>2</sub> [%]	TiO <sub>2</sub> [%]	MgO [%]	K <sub>2</sub> O [%]
55,25	0,01	0,09	0,12	0,80	0,06	0,01	0,65	0,02

## 7.5. Dosažené výsledky

### 7.5.1. Výběr referenční směsi lepicí a stěrkové hmoty

Před samotnou modifikací cementové lepicí a stěrkové hmoty byly provedeny zkoušky sloužící k výběru vhodné referenční směsi. Vzhledem k tomu, že vlivu obsahu cementu a popílku v cementových lepicích a stěrkových hmotách byla věnována řada předcházejících prací, ze kterých bylo možné čerpat, byla tato část zaměřena především na vliv redispergovatelného polymerního prášku a etheru celulózy.

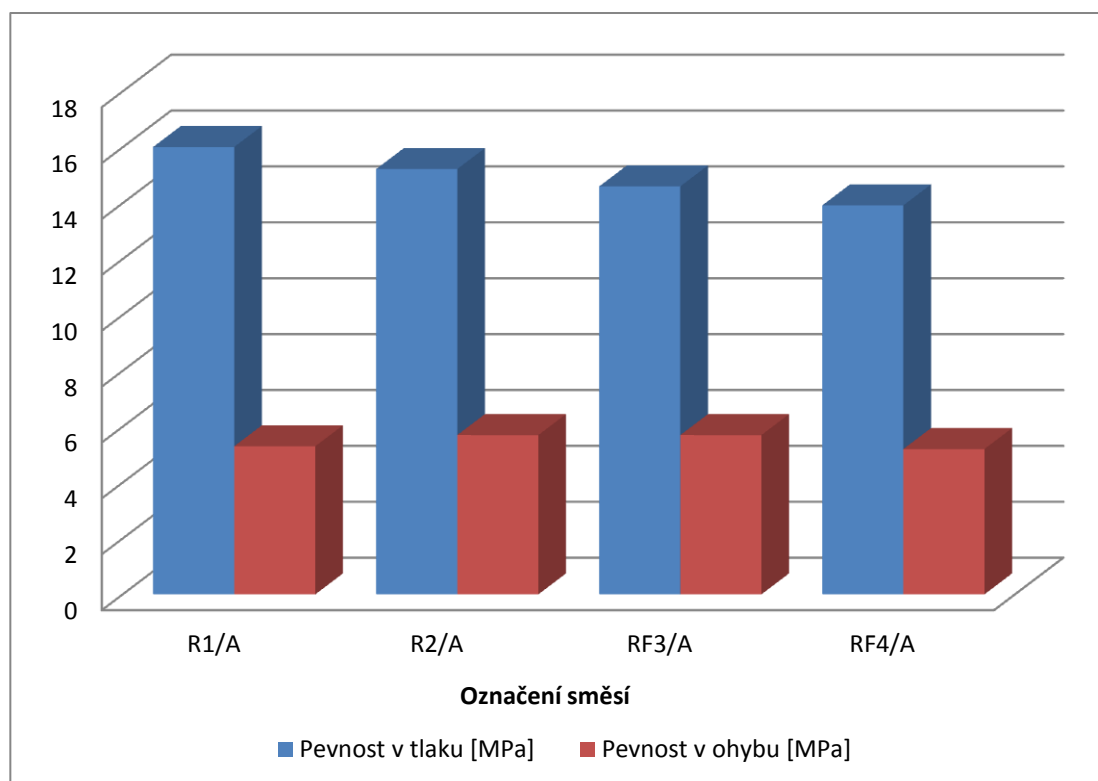
#### 7.5.1.1. Stanovení vlivu redispergovatelného polymerního prášku

Vliv obsahu redispergovatelného polymerního prášku na základní charakteristiky, jako je pevnost v tlaku, pevnost v ohybu a přídržnost k podkladu byl sledován u směsí uvedených v tab. 25.

Tab. 25 Složení navržených referenčních směsí

Složení směsi na 100 g				
Označení směsí	R1/A [g]	R2/A [g]	R3/A [g]	R4/A [g]
Cement	30	30	30	30
Redispergovatelný polymerní prášek	0	1	2	3
Křemenný písek	61,7	60,7	59,7	58,7
Mletý vápenec	4	4	4	4
Popílek	4	4	4	4
Ether celulózy	0,3	0,3	0,3	0,3
Dávkování vody				
Voda [g]	24	24	24	24

Vliv obsahu redispergovatelného polymerního prášku na pevnosti v tlaku a v ohybu [91] jsou uvedeny na obr. 28 a tab. 26.



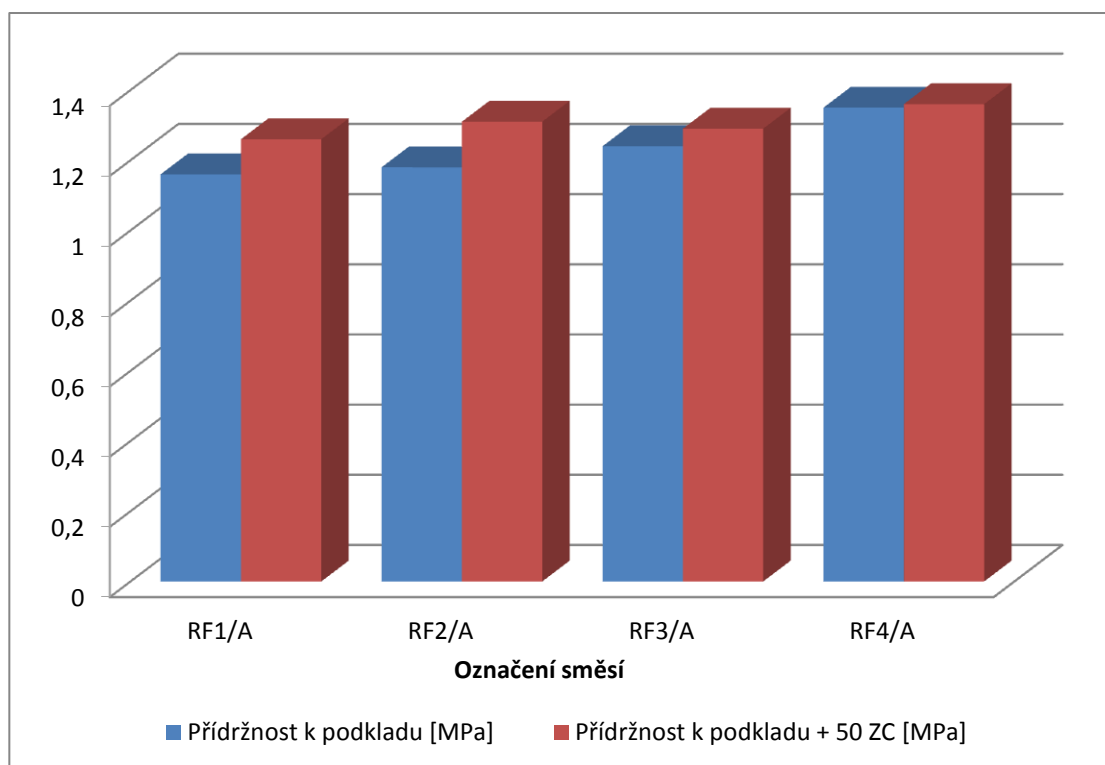
Obr. 28 Pevnost v tlaku a v ohybu.

Nejvyšší pevnost v tlaku byla zjištěna u vzorku, jenž neobsahoval redispergovatelný polymerní prášek. Pevnosti v ohybu byly pro všechny směsi podobné.

Tab. 26 Pevnost v tlaku a v ohybu.

Parametr	Označení směsi			
	R1/A	R2/A	R3/A	R4/A
Pevnost v tlaku [MPa]	16,0	15,2	14,6	13,9
Pevnost v ohybu [MPa]	5,3	5,7	5,6	5,2

Ověření vlivu obsahu redispergovatelného polymerního prášku na přídržnost k podkladu (betonu) [88] bylo provedeno pro směsi zohledňující kohezní pevnost izolantu. Tyto směsi jsou uvedeny v tab. 27 a na obr. 29.



Obr. 29 Přidržnost k podkladu

Nejvyšší přidržnost k podkladu (beton) byla zjištěna u vzorku RF4/A obsahující nejvyšší dávkování redispergovatelného polymerního prášku.

Tab. 27 Přidržnost k podkladu

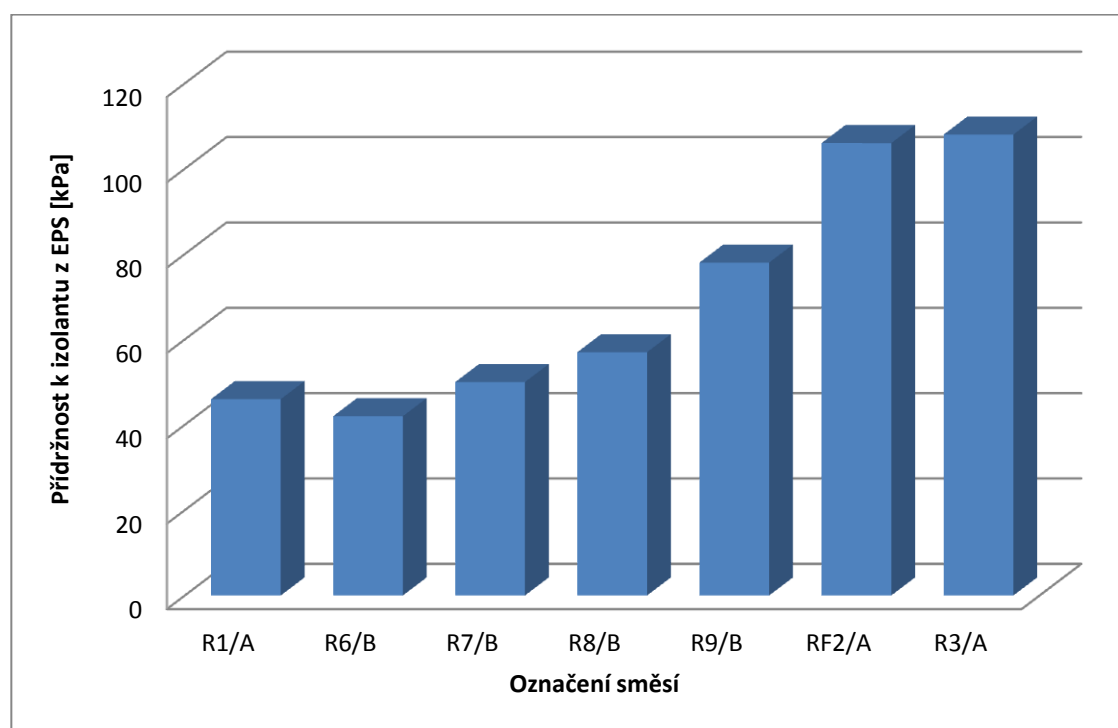
Parametr	Označení směsí			
	R1/A	R2/A	R3/A	R4/A
Přidržnost k podkladu (beton) [MPa]	1,16	1,18	1,24	1,35
	B	B	B	B
Přidržnost k podkladu (beton) + 50 ZC [MPa]	1,26	1,31	1,29	1,36
	B	B	B	B
Porušení: A ....v podkladu, A/B....mezi podkladem a hmotou, B....ve hmotě				

Ověření vlivu obsahu redispergovatelného polymerního prášku na přidržnost k izolantu z EPS [88] bylo provedeno pro směsi zohledňující kohezni pevnost izolantu. Tyto směsi jsou uvedeny v tab. 28.

Tab. 28 Složení navržených referenčních směsí

Složení směsi na 100 g							
Označení směsi	R1/A [g]	R6/B [g]	R7/B [g]	R8/B [g]	R9/B [g]	R2/A [g]	R3/A [g]
Cement	30	30	30	30	30	30	30
Redispergovatelný polymerní prášek	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0
Křemenný písek	61,7	61,5	61,3	61,1	60,9	60,7	59,7
Mletý vápenec	4	4	4	4	4	4	4
Popílek	4	4	4	4	4	4	4
Ether celulózy	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Dávkování vody							
Voda [g]	24	24	24	24	24	24	24

Přidržnost směsí k izolantu z EPS je uvedena na obr. 30 a v tab. 29.



Obr. 30 Přidržnost k izolantu z EPS

S růstem obsahu redispergovatelného prášku ve směsi roste přidržnost k izolantu z EPS.



Tab. 29 Přídržnost k izolantu z EPS

Parametr	Označení směsi						
	R1/A	R6/B	R7/B	R8/B	R9/B	R2/A	R3/A
Přídržnost k izolantu z EPS [kPa]	46	42	52	57	78	106	108
	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A	A
Porušení:							
A ....v podkladu, A/B....mezi podkladem a hmotou, B....ve hmotě							

### 7.5.1.2. Stanovení vlivu etheru celulózy

Vliv obsahu etheru celulózy na zádrž vody [86] byl proveden pro směsi, které jsou uvedené v tab. 30.

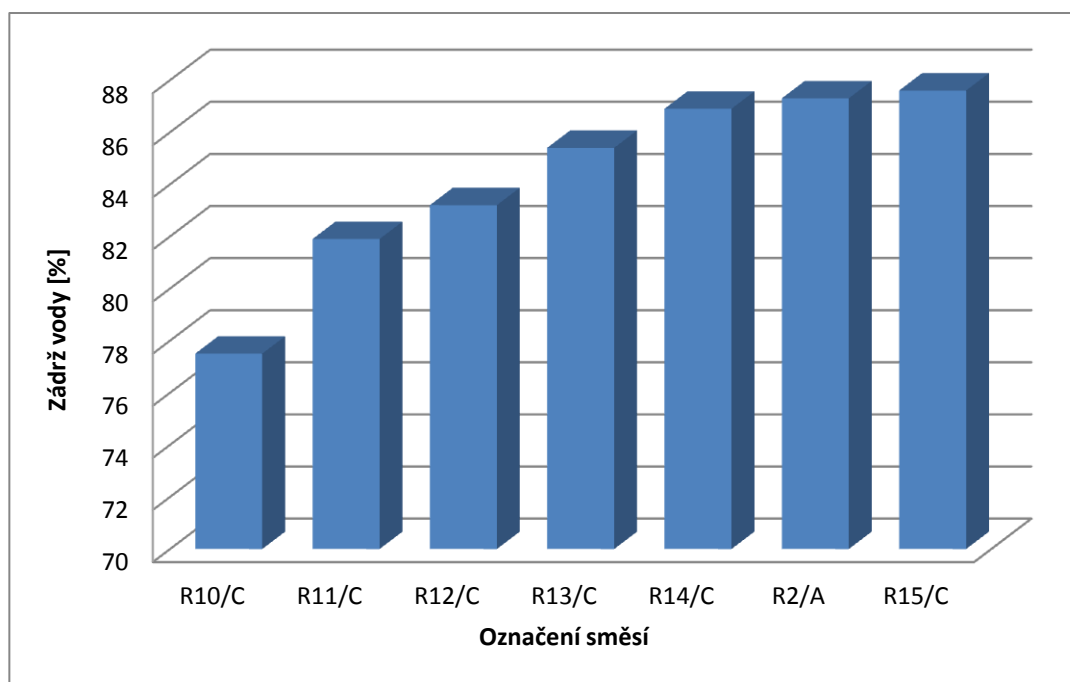
Tab. 30 Složení navržených směsí lepicí a stěrkové hmoty

Složení směsi na 100 g							
Označení směsi	R10/C [g]	R11/C [g]	R12/C [g]	R13/C [g]	R14/C [g]	R2/A [g]	R15/C [g]
Cement	30	30	30	30	30	30	30
Redispergovatelný polymerní prášek	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Křemenný písek	61,35	61,3	61,25	61,2	61,15	61,1	61,05
Mletý vápenec	4	4	4	4	4	4	4
Popílek	4	4	4	4	4	4	4
Ether celulózy	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
Dávkování vody							
Voda [g]	24	24	24	24	24	24	24

Výsledky ověření vlivu obsahu etheru celulózy na zádrž vody jsou uvedeny na obr. 31 a v tab. 31.

Tab. 31 Zádrž vody

Parametr	Označení směsi						
	R10/C	R11/C	R12/C	R13/C	R14/C	R2/A	R15/C
Zádrž vody [%]	77,5	81,9	83,2	85,4	86,9	87,3	87,6



Obr. 31 Zadrž vody

Nejvyšší zadrž vody měla směs s nejvyšším množstvím etheru celulózy. Od množství 0,25 % hm. etheru celulózy ve směsi nebyl již nárůst množství zadržené vody výrazný.

### 7.5.1.3. Shrnutí výsledků

Zvyšující se obsah redispergovatelného polymerního prášku ve zkušebních směsích měl negativní vliv na pevnost v tlaku. Pevnost v ohybu nebyla obsahem redispergovatelných prášku ve směsi ovlivněna. Přídržnost zkušebních směsí k podkladu se zvyšovala se zvyšujícím se obsahem redispergovatelného polymerního prášku, a to i v případě podrobení vzorků zmrazovacím cyklům. Přídržnost zkušebních směsí k izolantu z EPS výrazně rostla od obsahu 0,6% hm. redispergovatelného polymerního prášku ve směsi, od 1 % hm. již docházelo při odtrhu k poškození izolantu.

Se vzrůstajícím obsahem etheru celulózy roste množství zadržené vody ve vzorku. Od množství 0,25% hm. etheru celulózy ve zkušební směsi nárůst již nebyl výrazný a větší množství etheru celulózy ve směsi již nemělo zásadní vliv na množství zadržené vody.

### 7.5.2. Modifikace lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým

Na základě výsledků předcházející části byla vytvořena referenční směs, která byla modifikována koloidním oxidem křemičitým. Z důvodu možnosti využití rentgenové difrakční analýzy a diferenční vážkové analýzy k popisu dějů probíhajících mezi cementem a koloidním oxidem křemičitým byl nahrazen mletý vápenec v referenční směsi popílkem.

Vliv přídavku koloidního oxidu křemičitého byl sledován u směsí uvedených v tab. 32. Modifikované směsi byly porovnávány s referenční směsí.

Tab. 32 Složení navržených směsí lepicí a stěrkové hmoty s koloidním oxidem křemičitým

Složení směsi na 100 [g]				
Označení směsi	RK	K1	K2	K3
Cement	30	30	30	30
Redispergovatelná prášková disperze	0,6	0,6	0,6	0,6
Křemenný písek	61,15	61,15	61,15	61,15
Popílek	8	8	8	8
Ether celulózy	0,25	0,25	0,25	0,25
Koloidní oxid křemičitý [g]	0	1,5	3	4,5
Voda [g]	25	25	25	25

#### 7.5.2.1. Zkouška konzistence

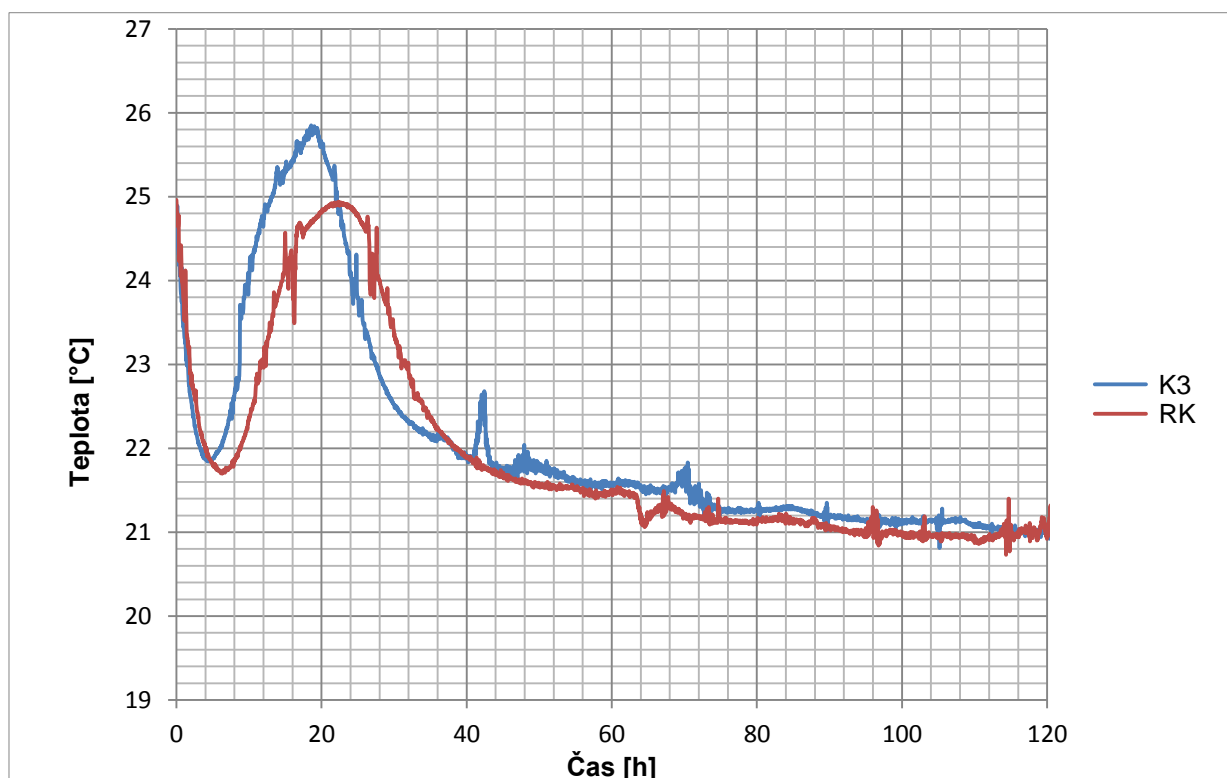
V této části jsou uvedené výsledky stanovení konzistence [84] (viz. tab. 33). Se zvyšujícím se obsahem koloidního oxidu křemičitého se snižovalo rozlité koláče. Pro ověření zpracovatelnosti byly směsi rovněž aplikovány jako stěrková hmota na izolant z EPS. Všechny směsi při tomto ověření měly dobrou zpracovatelnost, jejich povrch byl hladký a hmota se při nanášení netrhala. Po vytvrzení povrch nevykazoval trhliny.

Tab. 33 Průměr koláče

Parametr	Označení směsi			
	RK	K1	K2	K3
Průměr koláče [mm]	153	148	145	139

### 7.5.2.2. Průběh hydratačních teplot

Pro ilustraci a doplnění výsledků bylo provedeno srovnání závislosti hydratační teploty na obsahu koloidního křemíku. K této zkoušce byly použity směsi nesoucí označení RK a K3. Výsledky jsou uvedeny na obr. 32.



Obr. 32 Vliv obsahu koloidního oxidu křemičitého ve směsi na teplotu hydratace

### 7.5.2.3. Počátek a konec tuhnutí

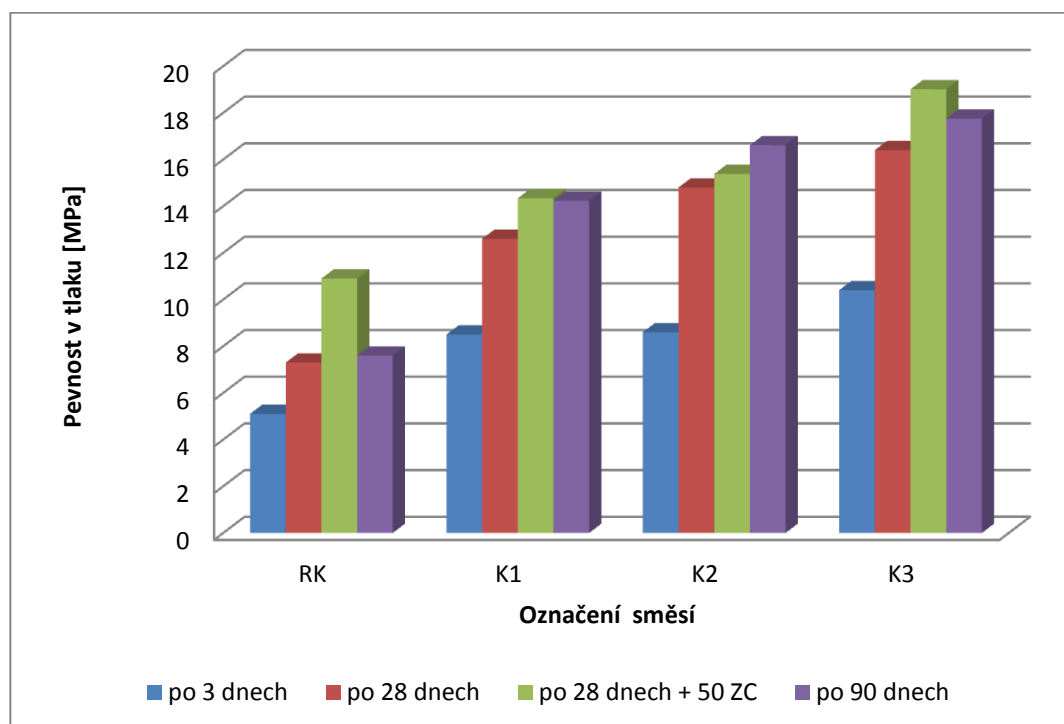
Počátek a konec tuhnutí zkušebních směsí [87] je uveden v tab. 34. Z naměřených hodnot je patrné, že obsah koloidního oxidu křemičitého urychluje počátek tuhnutí.

Tab. 34 Počátek a konec tuhnutí.

Označení směsi	RK	K1	K2	K3
Počátek tuhnutí	8 h 5 min	7 h 25 min	6 h 40 min	6 h 25 min
Konec tuhnutí	12 h 10 min	10 h 55 min	10 h 25 min	9 h 55 min

### 7.5.2.4. Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku [88] byla stanovena u vzorků stáří 3, 28 a 90 dní a u vybraných vzorků stáří 28 dní bylo provedeno 50 zmrazovacích cyklů. Výsledky měření jsou uvedeny na obr. 33 a v tab. 35.



Obr. 33 Pevnost v tlaku

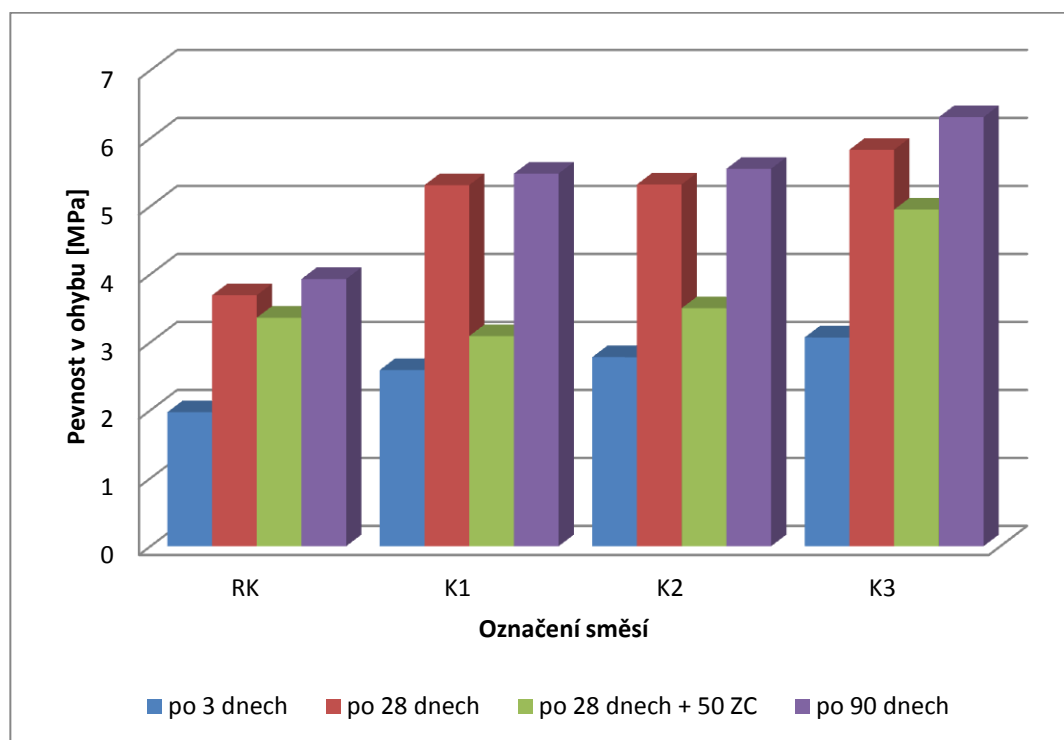
Nejvyšší hodnoty pevnosti v tlaku vykazovala směs s nejvyšším obsahem koloidního oxidu křemičitého. Veškeré směsi po provedených zmrazovacích cyklech vykazovaly vyšší hodnoty pevnosti v tlaku ve srovnání se vzorky stejného stáří, které nebyly podrobeny cyklování.

Tab. 35 Pevnost v tlaku

Parametr	Označení směsi			
	RK	K1	K2	K3
Pevnost v tlaku po 3 dnech [MPa]	5,1	8,5	8,6	10,4
Pevnost v tlaku po 7 dnech [MPa]	7,3	12,6	14,8	16,4
Pevnost v tlaku po 28 dnech + 50 ZC [MPa]	10,9	14,3	15,4	15,4
Pevnost v tlaku po 90 dnech [MPa]	7,6	14,2	16,6	17,8

### 7.5.2.5. Pevnost v ohybu

Pevnost v ohybu [88] byla stanovena u vzorků stáří 3, 28 a 90 dní a u vybraných vzorků stáří 28 dní bylo provedeno 50 zmrazovacích cyklů. Výsledky měření jsou uvedeny na obr. 34 a v tab. 36.



Obr. 34 Pevnost v ohybu

Nejvyšší hodnoty pevnosti v ohybu vykazovala směs s nejvyšším obsahem koloidního oxidu křemičitého. Veškeré směsi po provedených zmrazovacích cyklech vykazovaly nižší hodnoty pevnosti v ohybu v porovnání se vzorky stejného stáří, které nebyly podrobeny cyklování.

Tab. 36 Pevnost v ohybu

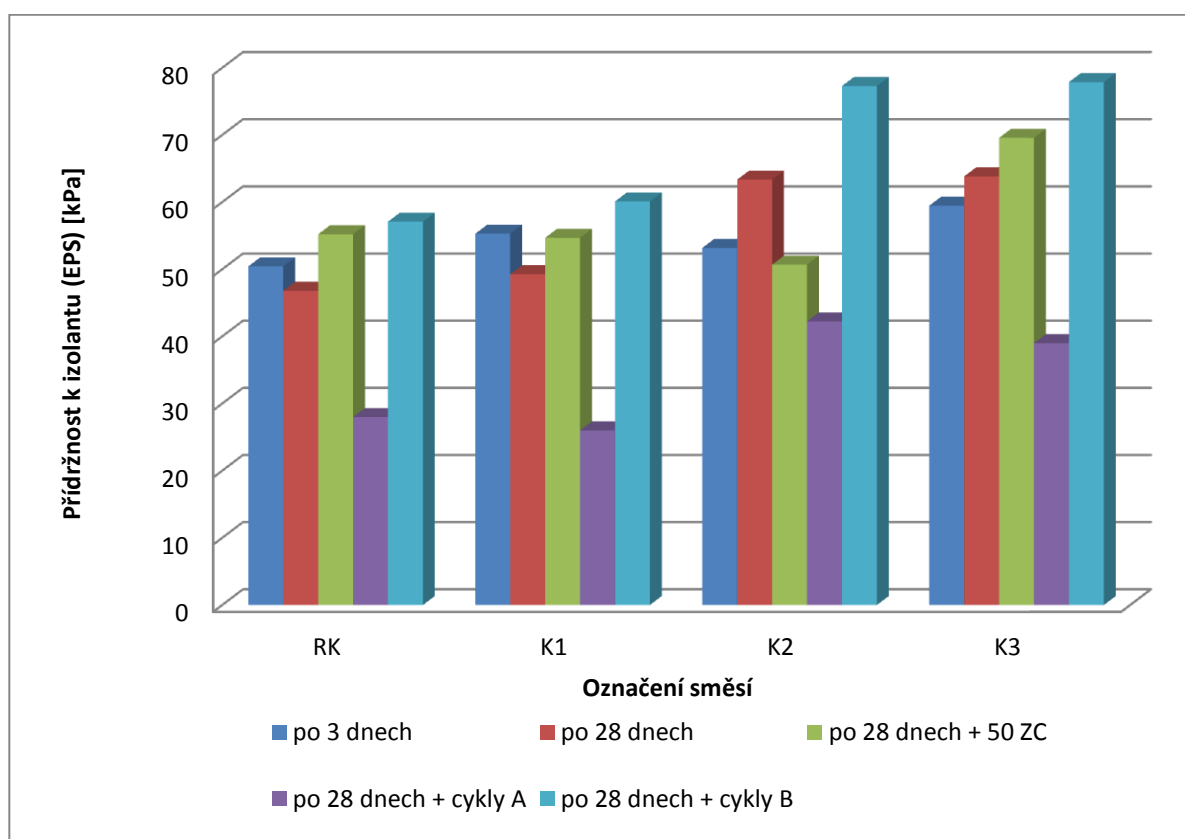
Parametr	Označení směsi			
	RK	K1	K2	K3
Pevnost v ohybu po 3 dnech [MPa]	1,97	2,59	2,78	3,07
Pevnost v ohybu po 7 dnech [MPa]	3,69	5,31	5,32	5,83
Pevnost v ohybu po 28 dnech + 50 ZC [MPa]	3,36	3,09	3,50	4,95
Pevnost v ohybu po 90 dnech [MPa]	3,93	5,48	5,55	6,31

### 7.5.2.6. Přídržnost k izolantu z EPS a betonu

Přídržnost k tepelnému izolantu EPS [88] byla stanovena u vzorků stáří 3 a 28 dní. U vybraných vzorků bylo provedeno následující cyklování:

1. U vybraných vzorků stáří 28 dní bylo provedeno 50 zmrazovacích cyklů.
2. Cykly A - Vzorky stáří 28 dní byly ponořeny do vody na 48 hodin. Po vyjmutí z vody byly volně (23 °C, 50 %) ponechány 2 hodiny a poté byly provedeny odtrhy.
3. Cykly B - Vzorky stáří 28 dní byly ponořeny do vody na 48 hodin. Po vyjmutí z vody byly volně (23 °C, 50 %) ponechány 7 dnů a následně byly provedeny odtrhy.

Výsledné hodnoty přídržnosti jsou uvedeny na obr. 35 a v tab. 37.



Obr. 35 Přídržnost k izolantu z EPS

Přídavek koloidního oxidu křemičitého nesnížil přídržnost směsí k izolantu z EPS. Veškeré vzorky jenž byly podrobeny cyklování B měly vyšší přídržnou, než vzorky stejného stáří, jenž nebyly podrobeny cyklování.

Tab. 37 Přídržnost k izolantu z EPS

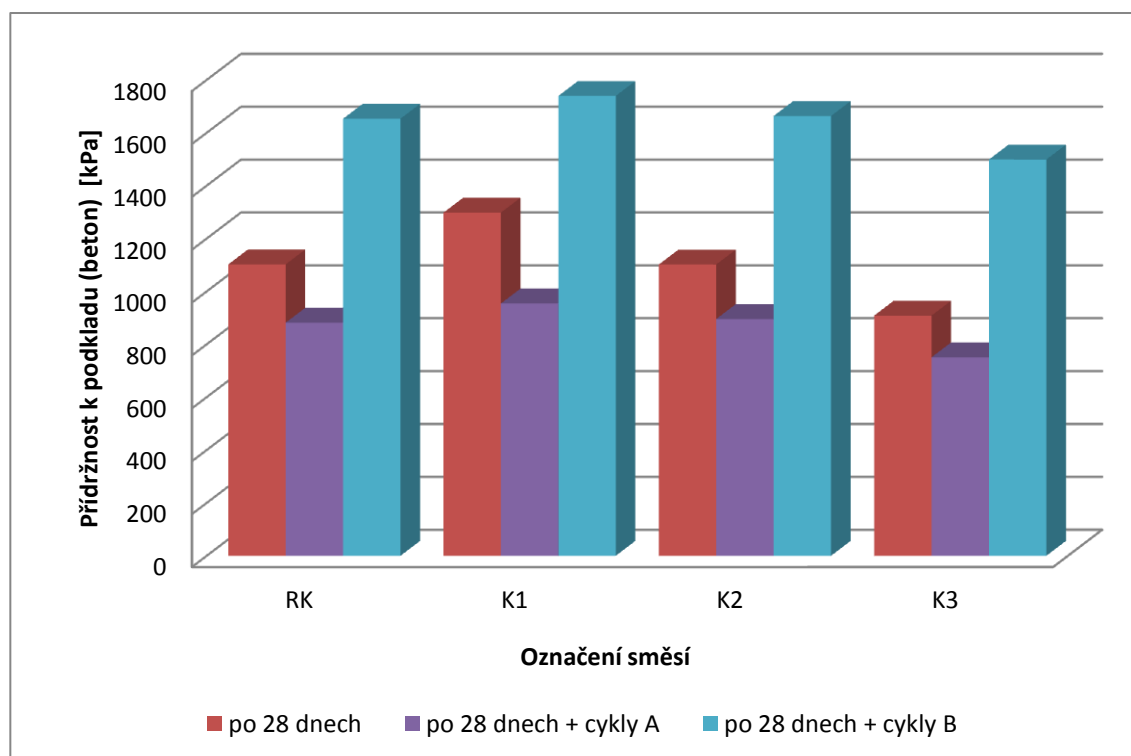
Parametr	Označení směsi			
	RK	K1	K2	K3
Přídržnost k izolantu z EPS po 3 dnech [kPa]	50	55	53	59
	A/B	A/B	A/B	A/B
Přídržnost k izolantu z EPS po 28 dnech [kPa]	47	49	63	64
	A/B	A/B	A/B	A/B
Přídržnost k izolantu z EPS po 28 dnech + 50 ZC [kPa]	55	55	51	70
	A/B	A/B	A/B	A/B
Přídržnost k izolantu z EPS po 28 dnech + cykly A [kPa]	28	26	42	39
	A/B	A/B	A/B	A/B
Přídržnost k izolantu po z EPS 28 dnech + cykly B [kPa]	57	60	77	78
	A/B	A/B	A/B	A/B
Porušení: A ...v podkladu, A/B....mezi podkladem a hmotou, B....ve hmotě				

Přídržnost k podkladu (beton) [88] byla zjištěna u vzorků stáří 28 dní a u vybraných vzorků bylo provedeno následující cyklování:

1. Cykly A - Vzorky stáří 28 dní byly ponořeny do vody na 48 hodin. Po vyjmutí z vody byly volně (23 °C, 50 %) ponechány 2 hodiny a následně byly provedeny odtrhy.
2. Cykly B - Vzorky stáří 28 dní byly ponořeny do vody na 48 hodin. Po vyjmutí z vody byly volně (23 °C, 50 %) ponechány 7 dnů a následně byly provedeny odtrhy.

Výsledné hodnoty přídržnosti k podkladu jsou uvedeny na obr. 36 a v tab. 38.





Obr. 36 Přídržnost k podkladu

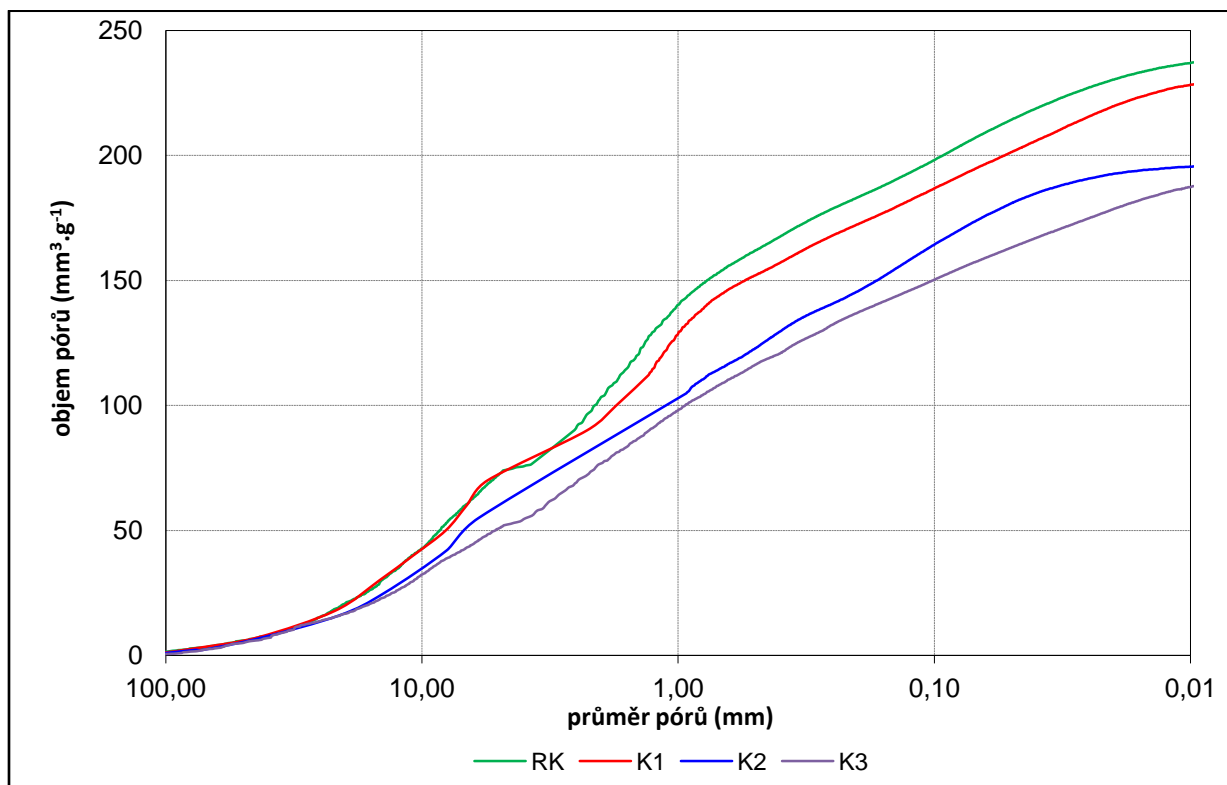
Nejvyšší hodnoty přídržnosti k podkladu vykazovala směs s označením K1. Po cyklech B přídržnost k podkladu u všech směsí vzrostla.

Tab. 38 Přídržnost k podkladu (beton)

Parametr	Označení směsi			
	RK	K1	K2	K3
Přídržnost k podkladu po 28 dnech [kPa]	1102	1298	1102	1042
	A/B, B	A/B, B	A/B, B	A/B, B
Přídržnost k podkladu po 28 dnech + cykly A [kPa]	882	954	896	861
	A/B, B	A/B, B	A/B, B	A/B, B
Přídržnost k podkladu po 28 dnech + cykly B [kPa]	1653	1739	1664	1719
	B	B	B	B
Porušení: A ....v podkladu, A/B....mezi podkladem a hmotou, B....ve hmotě				

### 7.5.2.7. Stanovení pórovitosti

Stanovení pórovitosti bylo provedeno na vzorcích stáří 28 dní. Výsledky jsou uvedeny na obr. 37 a v tab. 39.



Obr. 37 Závislost objemu pórů na průměru pórů

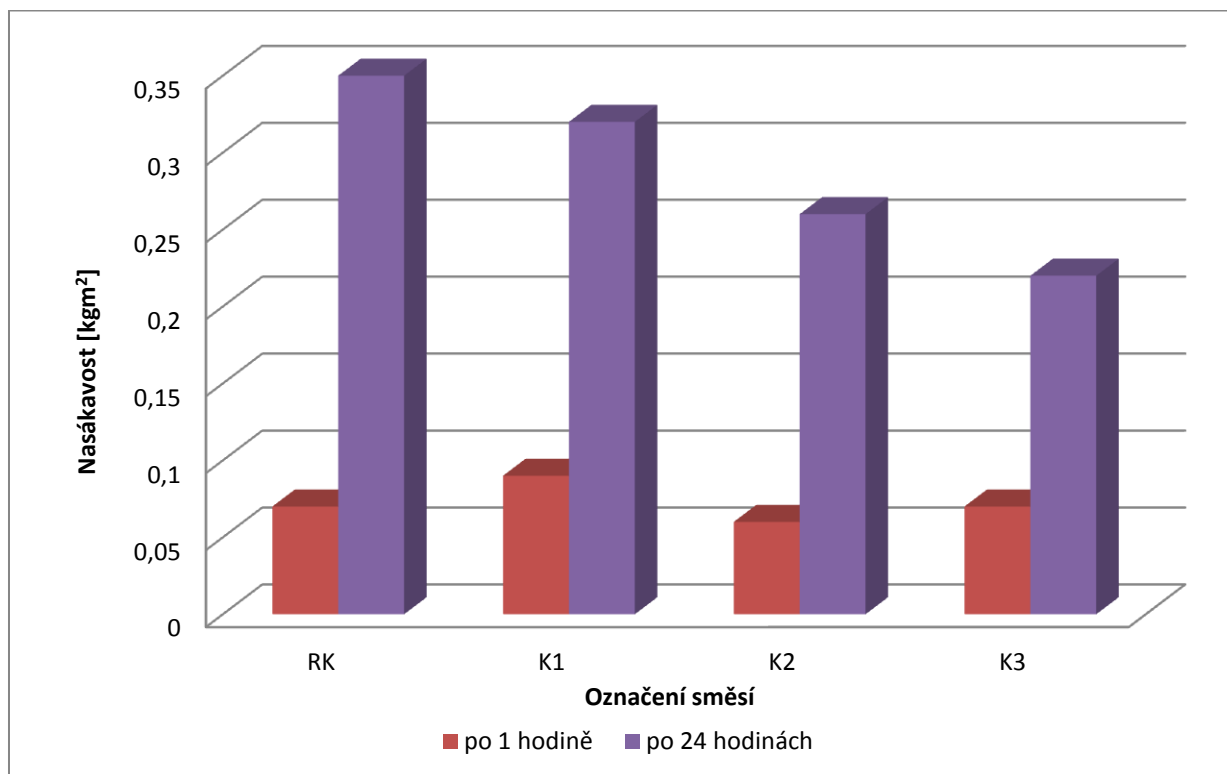
Přídavek koloidního oxidu křemičitého má vliv na objemovou hmotnost a celkovou pórovitost zkušebních směsí. S rostoucím obsahem koloidního oxidu křemičitého roste objemová hmotnost a klesá pórovitost.

Tab. 18 Stanovení pórovitosti

Označení směsi	Celková objem pórů [mm³·g⁻¹]	Celková plocha pórů [m²·g⁻¹]	Objemová hmotnost [g·cm⁻³]	Měrná hmotnost [g·cm⁻³]	Celková pórovitost [%]
RK	237,57	6,04	1,54	2,44	36,72
K1	228,67	6,84	1,59	2,50	36,45
K2	198,82	5,74	1,62	2,38	31,82
K3	188,14	6,39	1,64	2,39	30,97

### 7.5.2.8. Nasákavost

Nasákavost [88] směsí byla stanovena u vzorků stáří 28 dní. Vliv přidavku koloidního křemíku na nasákavost směsí je uveden na obr. 38 a v tab. 40.



Obr. 38 Nasákavost

S růstem obsahu koloidního oxidu křemičitého ve směsi klesá nasákavost po 24 hodinách. Nasákavost po 1 hodině byla u všech zkoušených směsí podobná.

Tab. 40 Nasákavost

Parametr	Označení směsí			
	RK	K1	K2	K3
Nasákavost po 1 hodině [kg·m <sup>2</sup> ]	0,07	0,09	0,06	0,07
Nasákavost po 24 hodinách [kg·m <sup>2</sup> ]	0,35	0,32	0,26	0,22

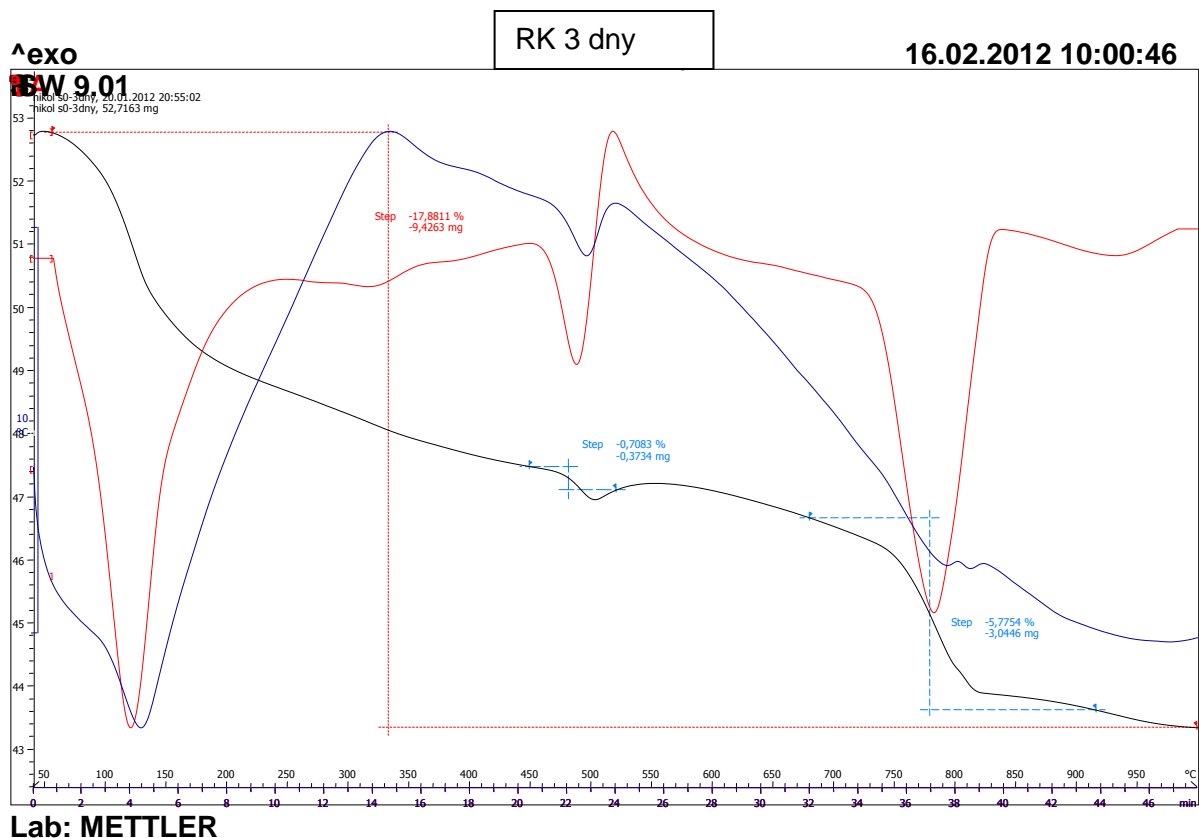
### 7.5.2.9. Diferenční termická analýza a termogravimetrická analýza

Diferenční termická analýza (DTA) a termogravimetrická analýza (TG) byla provedena pro vzorky stáří 3 dny a 28 dnů. Termogramy vzorků stáří 3 dny byly podobné pro všechny zkoušené směsi (viz. obr. 39 až obr. 42). V první fázi růstu teploty do 230 °C lze sledovat výrazný úbytek hmotnosti. Pravděpodobně se jedná o odloučení vody volné či fyzikálně vázané a rozklad C-S-H fáze případně ettringitu.

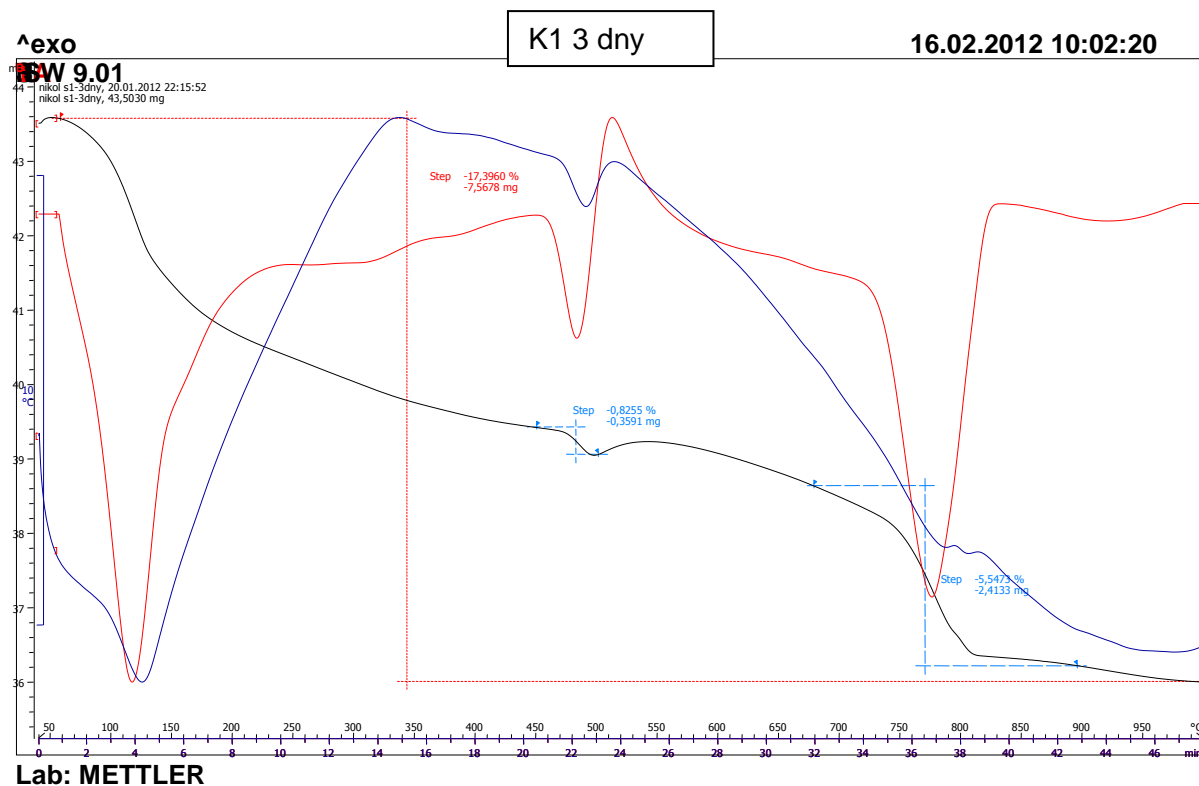
Od teploty 230°C do teploty 450°C lze sledovat úbytek hmotnosti, jenž je způsoben rozkladem polymerního filmu a etheru celulózy. V intervalu teplot 450°C až 550°C pravděpodobně probíhá dehydratace portlanditu. V poslední části termogramů je u všech směsí kolem teploty 770°C patrná dekarbonizace  $\text{CaCO}_3$ .

Termogramy vzorků stáří 28 dnů (viz. obr. 43 až obr. 46) byly již vzájemně odlišné v závislosti na obsahu koloidního oxidu křemičitého. V první fázi růstu teploty do 450 °C lze sledovat výrazný úbytek hmotnosti, shodný s úbytkem hmotnosti vzorků stáří 3 dny, který je dán odloučením vody. Následuje pravděpodobně rozklad C-S-H fáze a případně ettringitu. V intervalu teplot 450 °C až 550 °C zřejmě probíhá dehydratace portlanditu. Množství portlanditu je nepřímo úměrné dávkování koloidního oxidu křemičitého. V poslední části termogramů je u referenční směsi při teplotě 770 °C patrný rozklad kalcitu. U směsí, které obsahují koloidní oxid křemičitý, se pravděpodobně vyskytuje více forem  $\text{CaCO}_3$ , jenž způsobují od teploty 650 °C na křivce DTA několik endoeffektů.

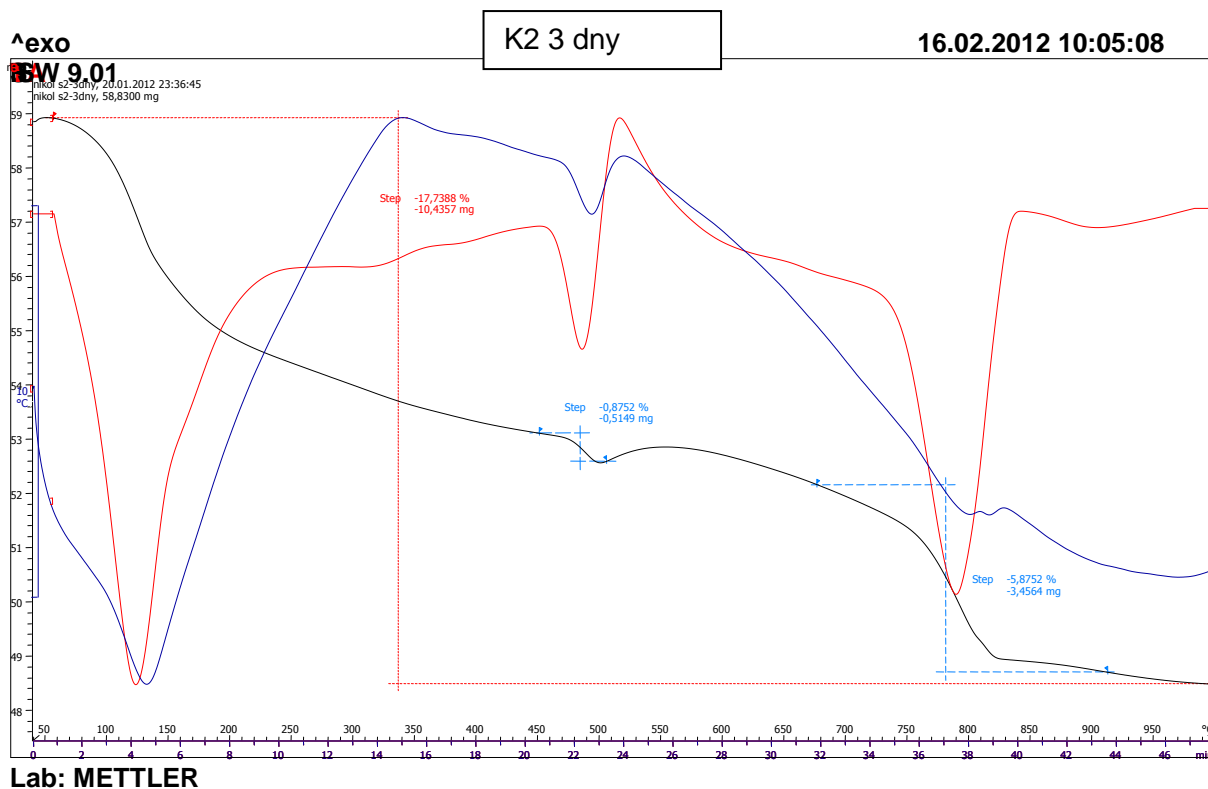
Stanovení obsahu portlanditu termogravimetrickou analýzou je uvedeno pro vzorky stáří 3 dny v tab. 41 a pro vzorky stáří 28 dní v tab. 42.



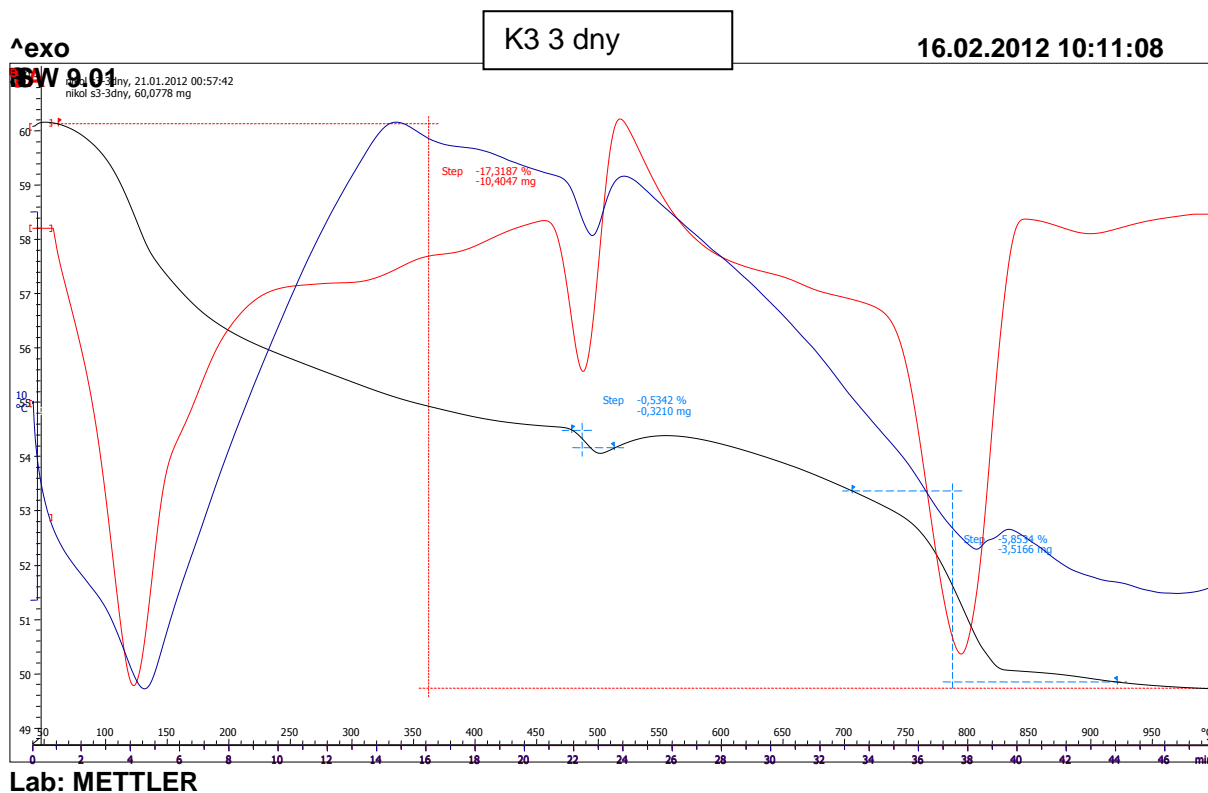
Obr. 39 Termogram referenční směsi RK stáří 3 dny.



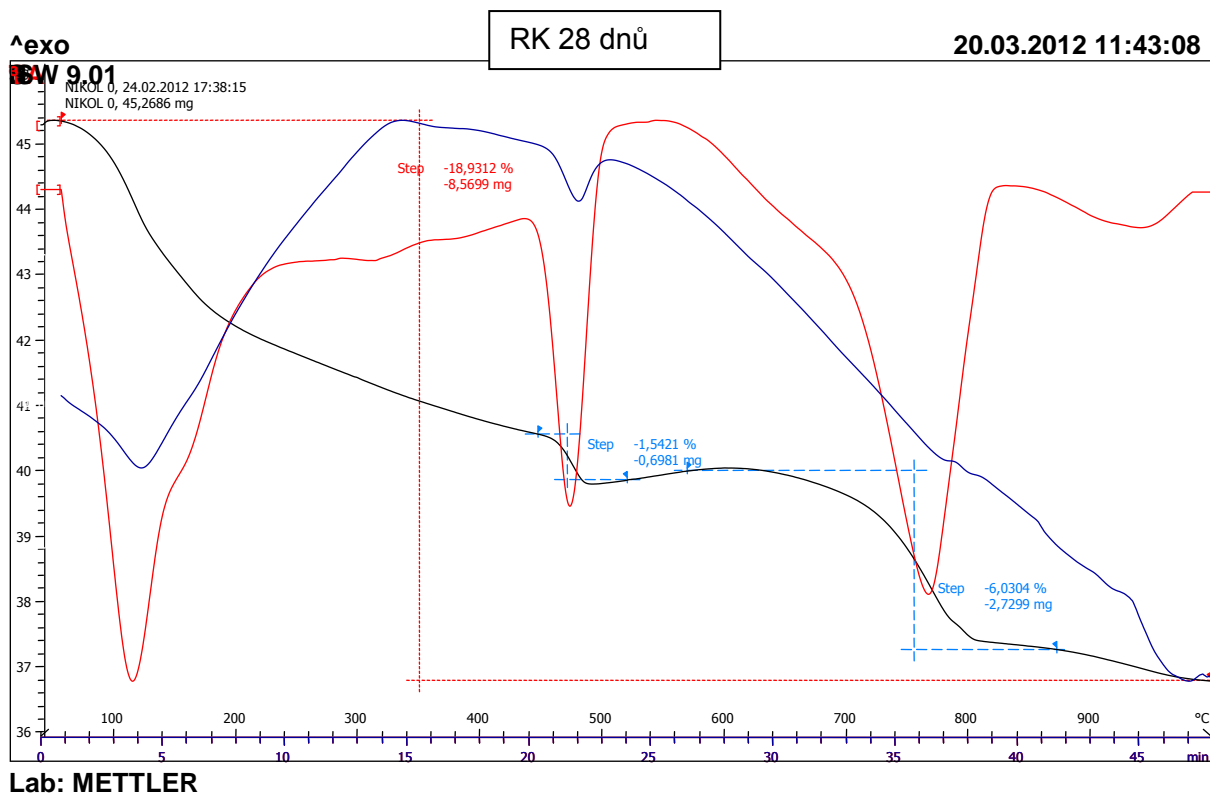
Obr. 40 Termogram směsi K1 stáří 3 dny



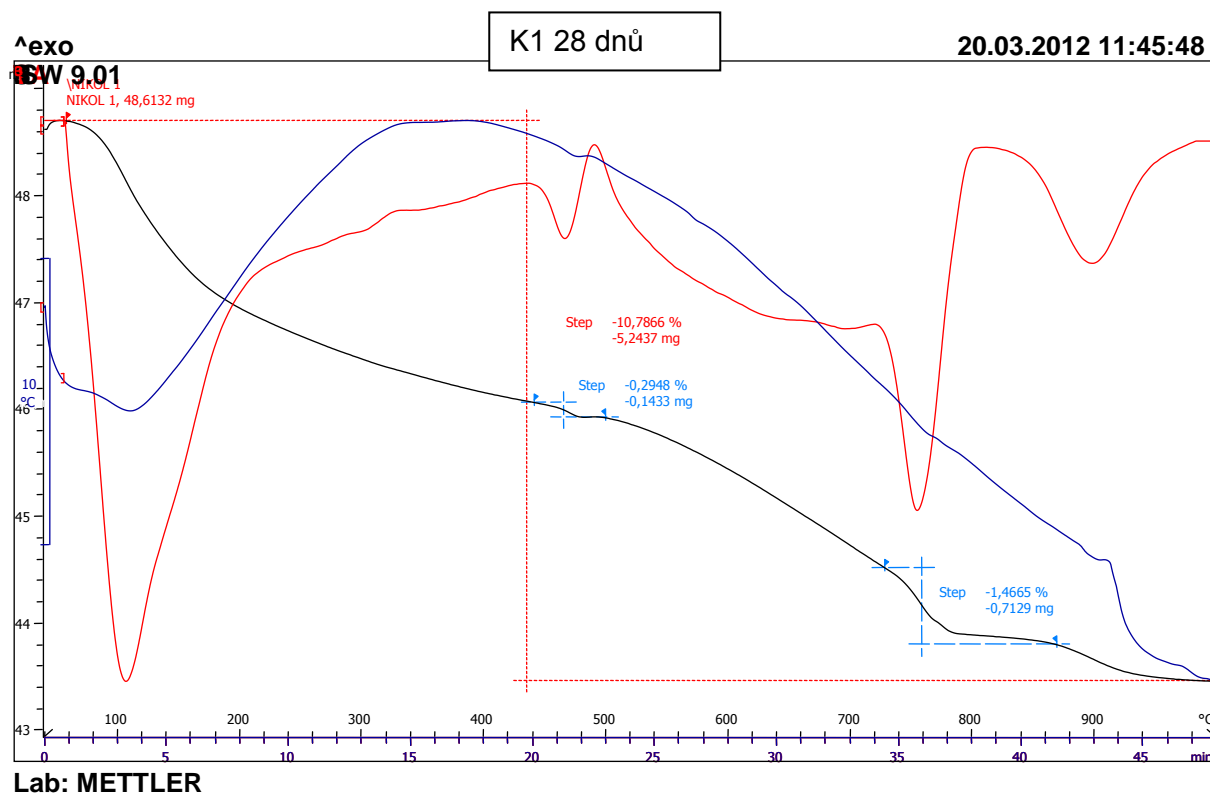
Obr. 41 Termogram směsi K2 stáří 3 dny



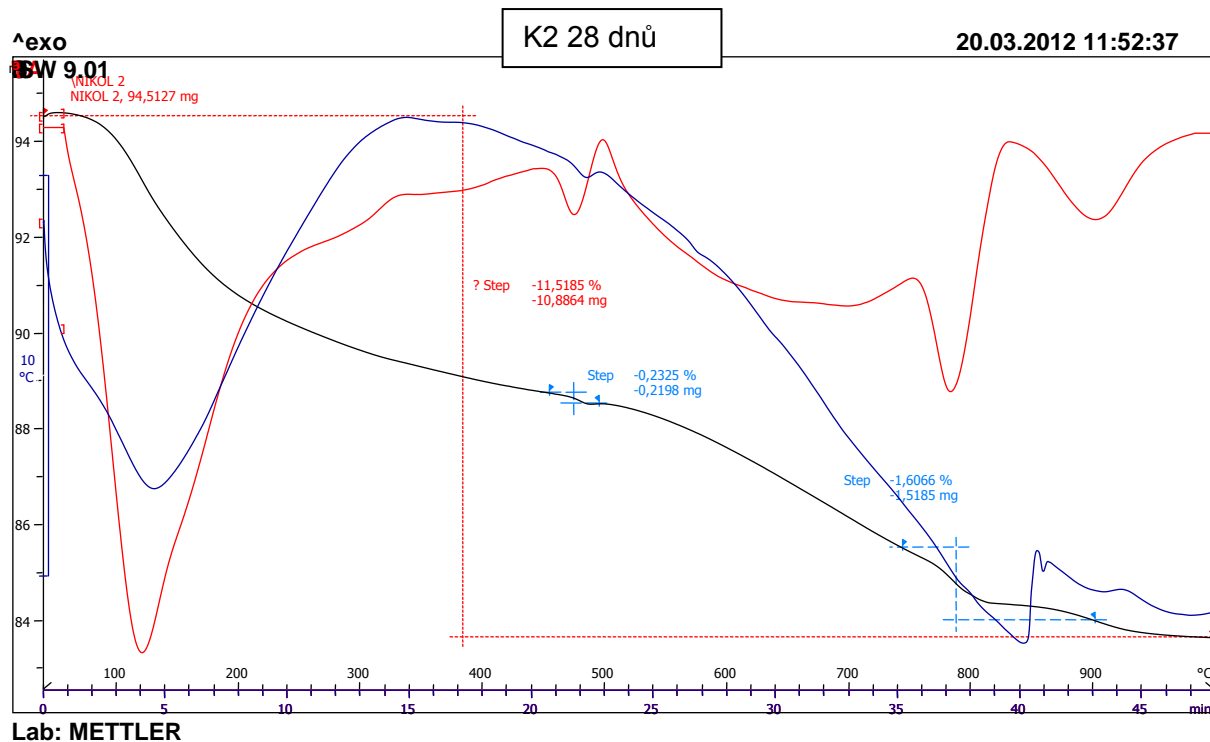
Obr. 42 Termogram směsi K3 stáří 3 dny



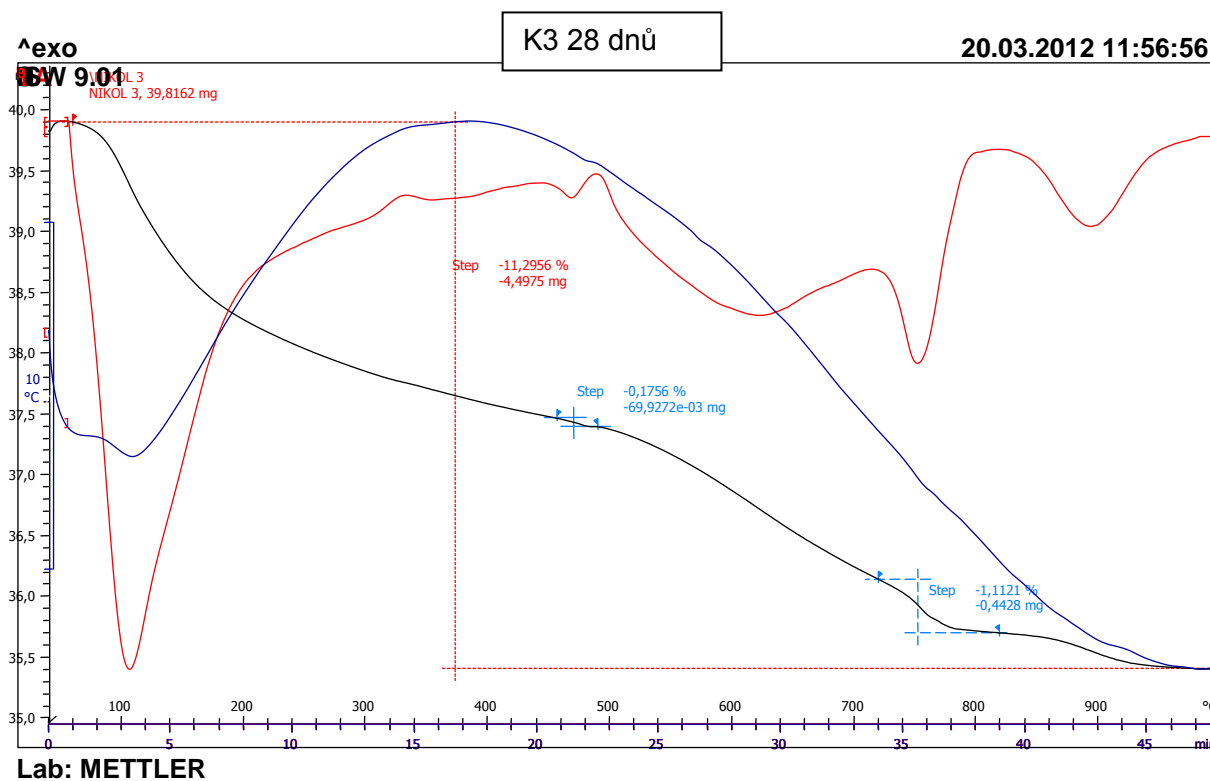
Obr. 43 Termogram referenční směsi RK stáří 28 dnů.



Obr. 44 Termogram směsi K1 stáří 28 dnů.



Obr. 45 Termogram směsi K2 stáří 28 dnů.



Obr. 46 Termogram směsi K3 stáří 28 dnů.



Tab. 19 Stanovení obsahu portlanditu u vzorků stáří 3 dny.

Označení směsi	Celková hmotnost navážky [mg]	Úbytek hmotnosti dehydratací portlanditu [mg]	Obsah portlanditu ve vzorku [mg]	Obsah portlanditu ve vzorku [%]
RK	52,72	0,37	1,54	2,91
K1	43,50	0,36	1,48	3,39
K2	58,83	0,51	2,12	3,60
K3	60,08	0,32	1,32	2,20

Tab. 42 Stanovení obsahu portlanditu u vzorků stáří 28 dnů.

Označení směsi	Celková hmotnost navážky [mg]	Úbytek hmotnosti dehydratací portlanditu [mg]	Obsah portlanditu ve vzorku [mg]	Obsah portlanditu ve vzorku [%]
RK	45,27	0,70	2,87	6,34
K1	48,61	0,14	0,59	1,21
K2	94,51	0,22	0,90	0,96
K3	39,82	0,07	0,29	0,72

### 7.5.2.10. Rentgenová difrakční analýza

Z difraktogramu lze vyčíst, že u všech směsí jsou zastoupeny krystalické fáze kalcitu, křemene, ettringitu, portlanditu, mullitu a také dikalciumsilikátu.

Identifikovány byly tyto minerály:

E .. Ettringit -  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$

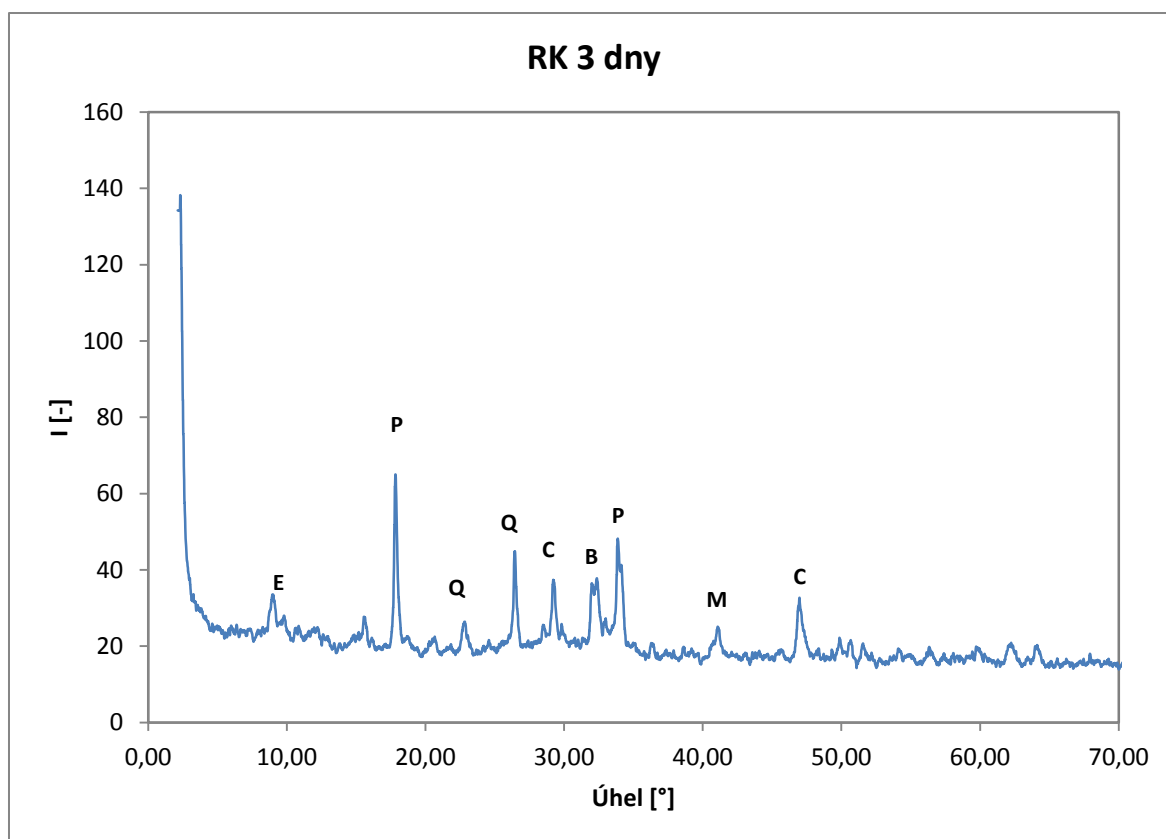
C .. Kalcit -  $\text{CaCO}_3$

Q ..  $\beta$ -křemen -  $\text{SiO}_2$

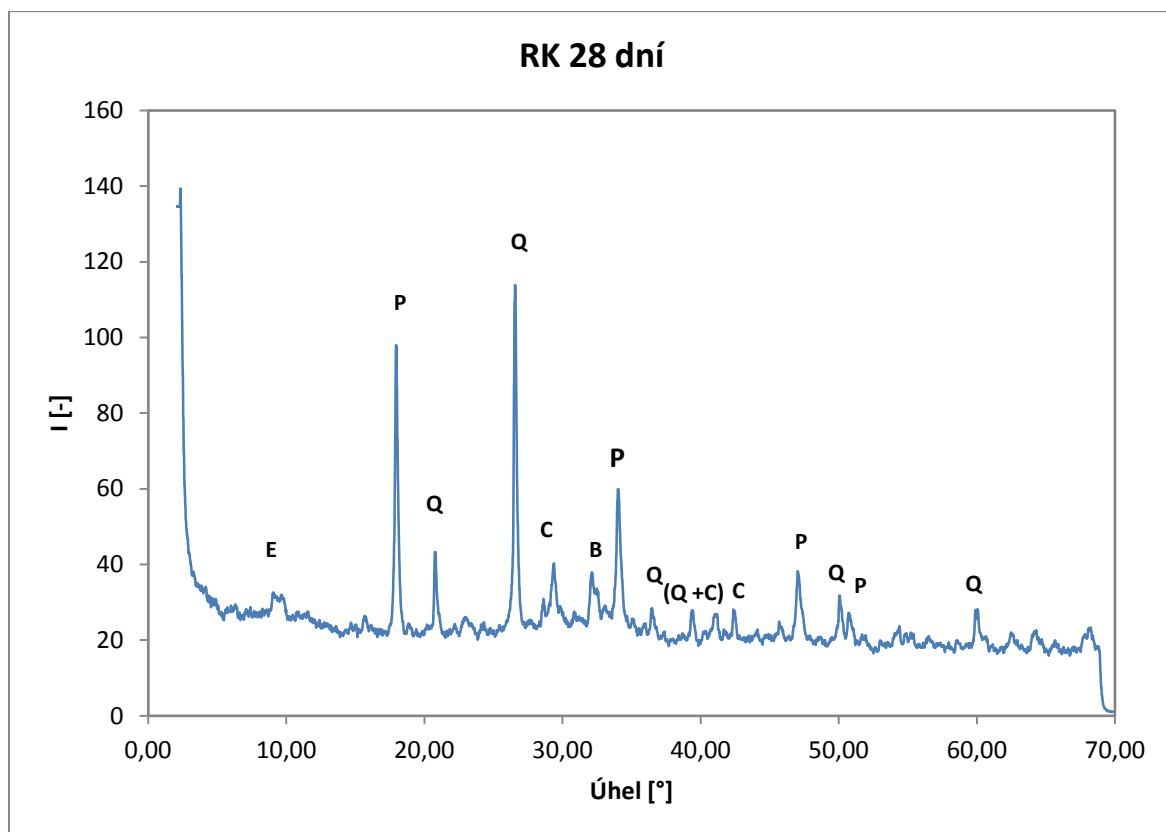
B ..  $\beta$ -dikalciumsilikát -  $\beta$ -  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$

P .. Portlandit -  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

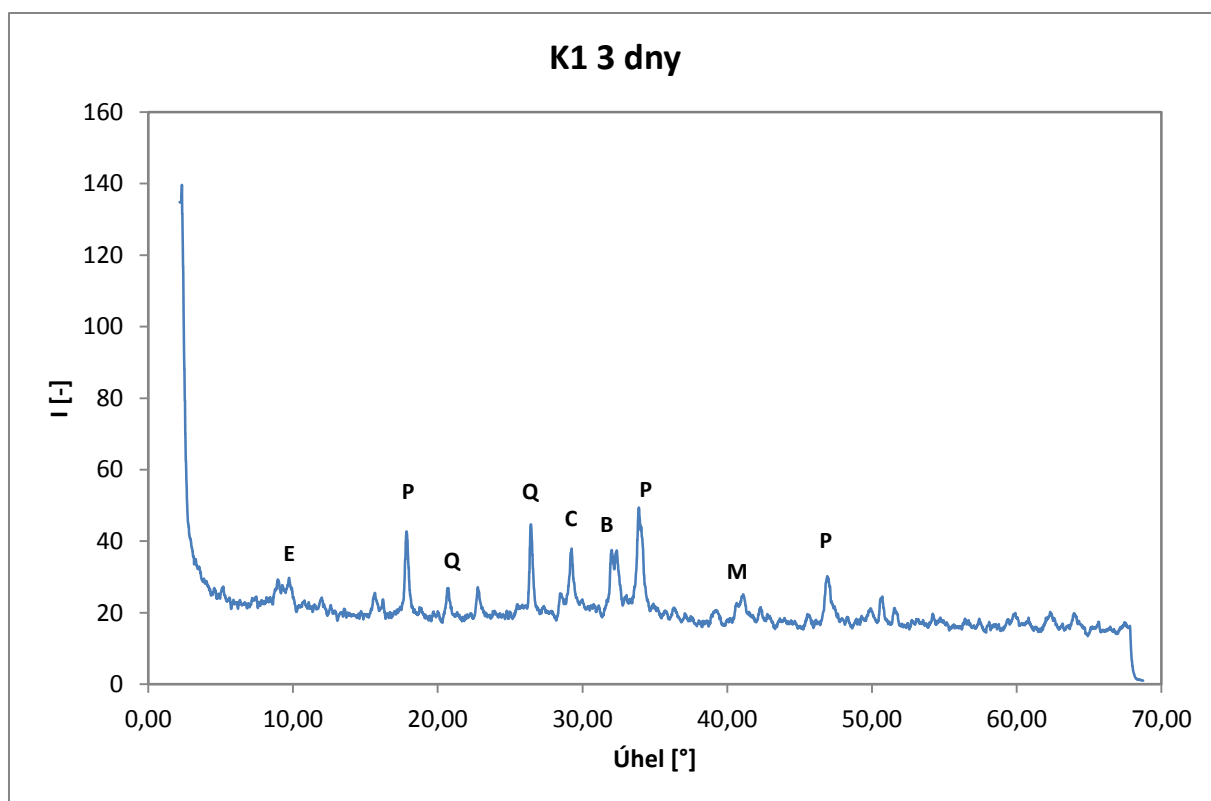
M ..Mullit -  $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot2\text{SiO}_2$



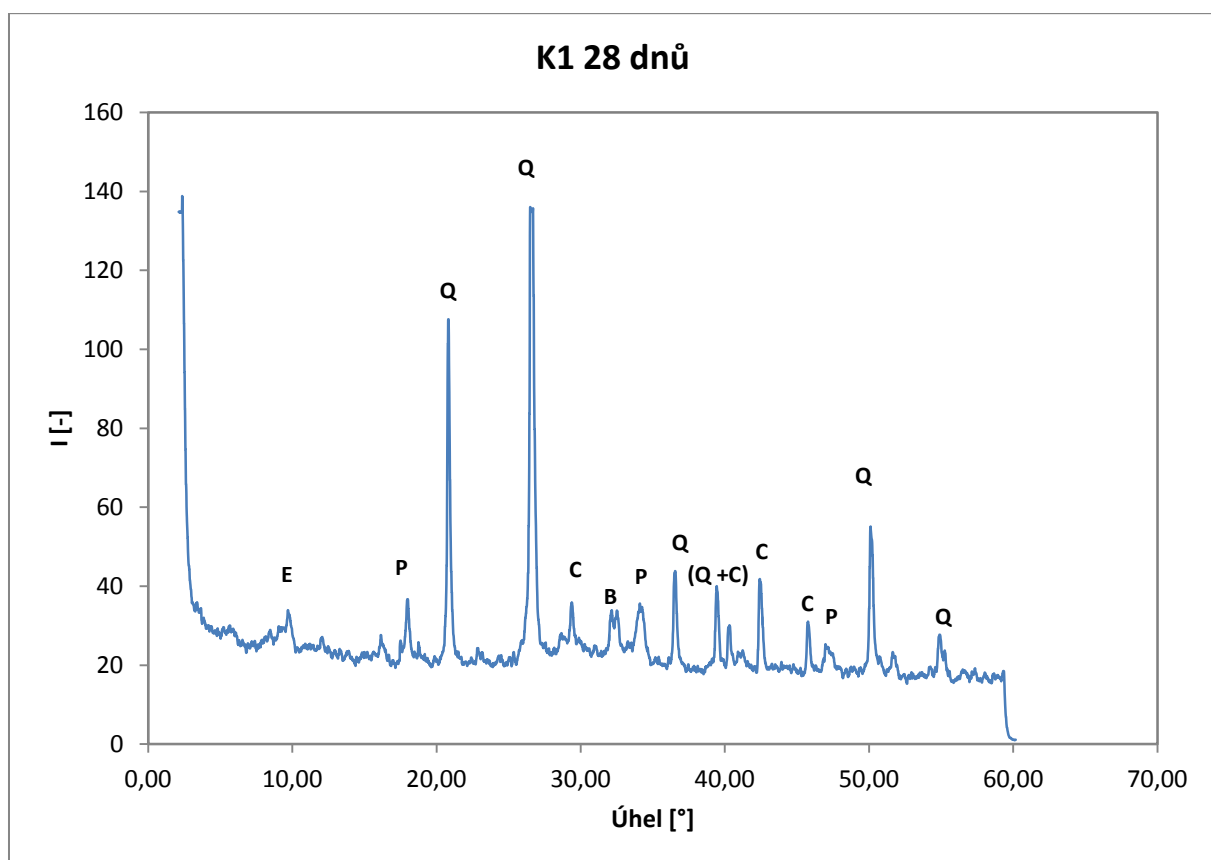
Obr. 47 Difraktogram vzorku referenční směsi RK stáří 3 dny.



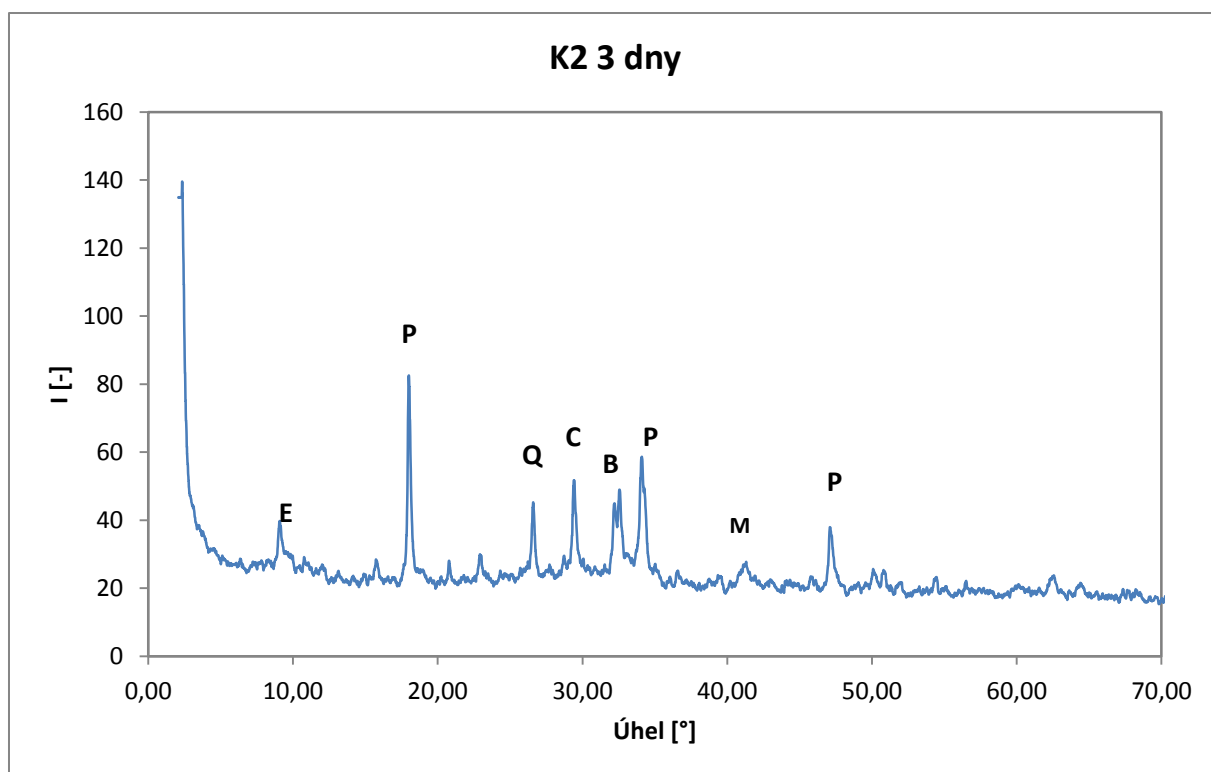
Obr. 48 Difraktogram vzorku referenční směsi RK stáří 28 dnů.



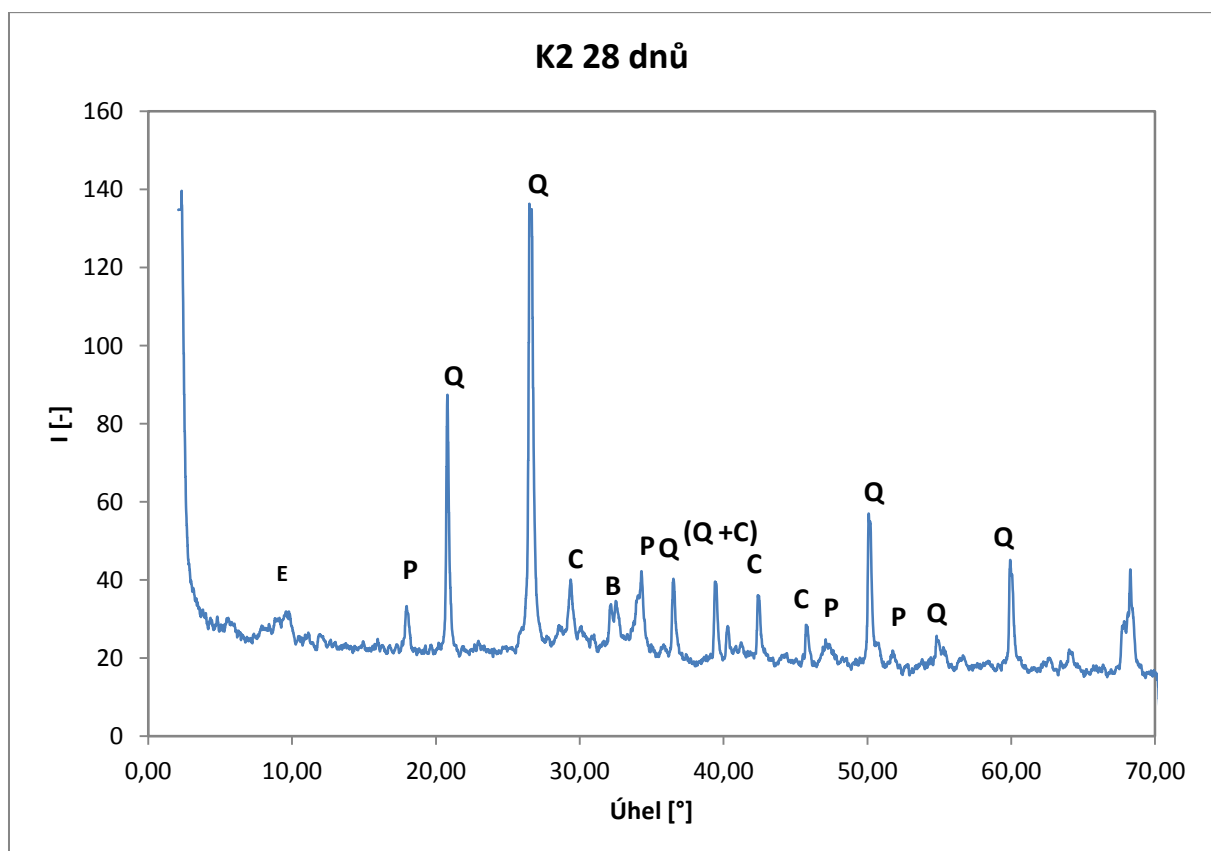
Obr. 49 Difraktogram vzorku směsi K1 stáří 3 dny.



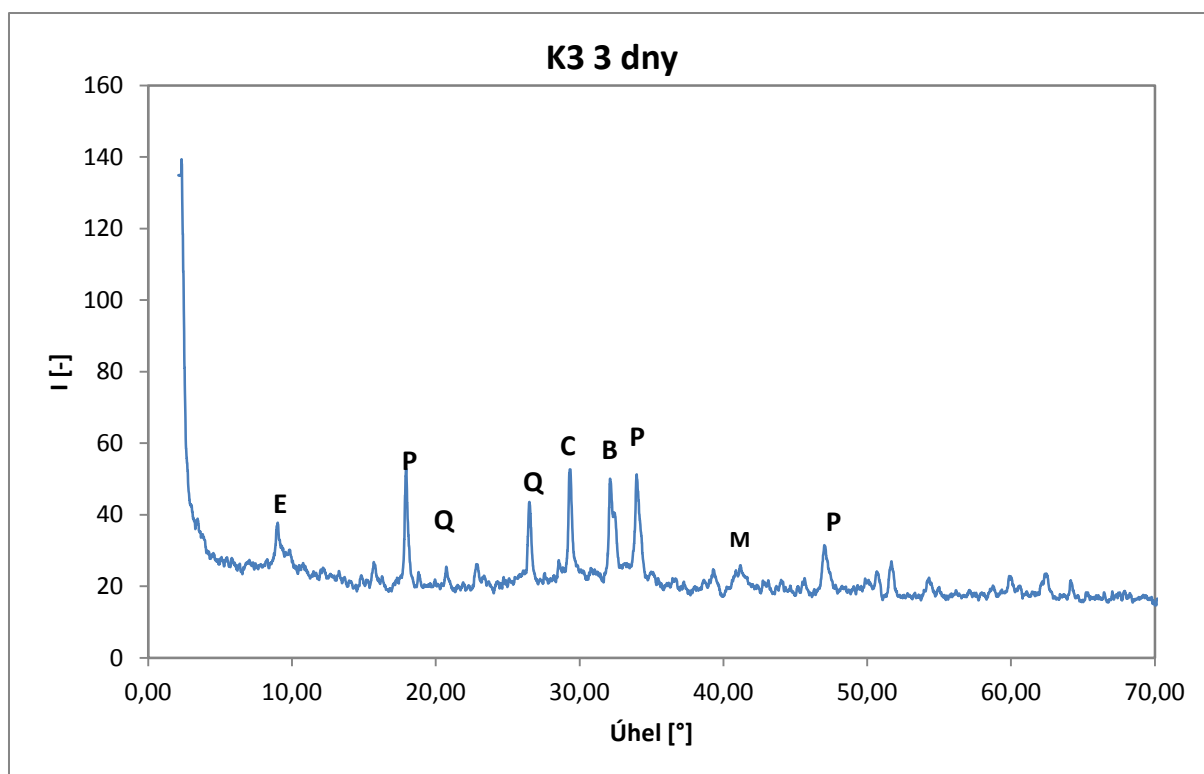
Obr. 50 Difraktogram vzorku směsi K1 stáří 28 dnů.



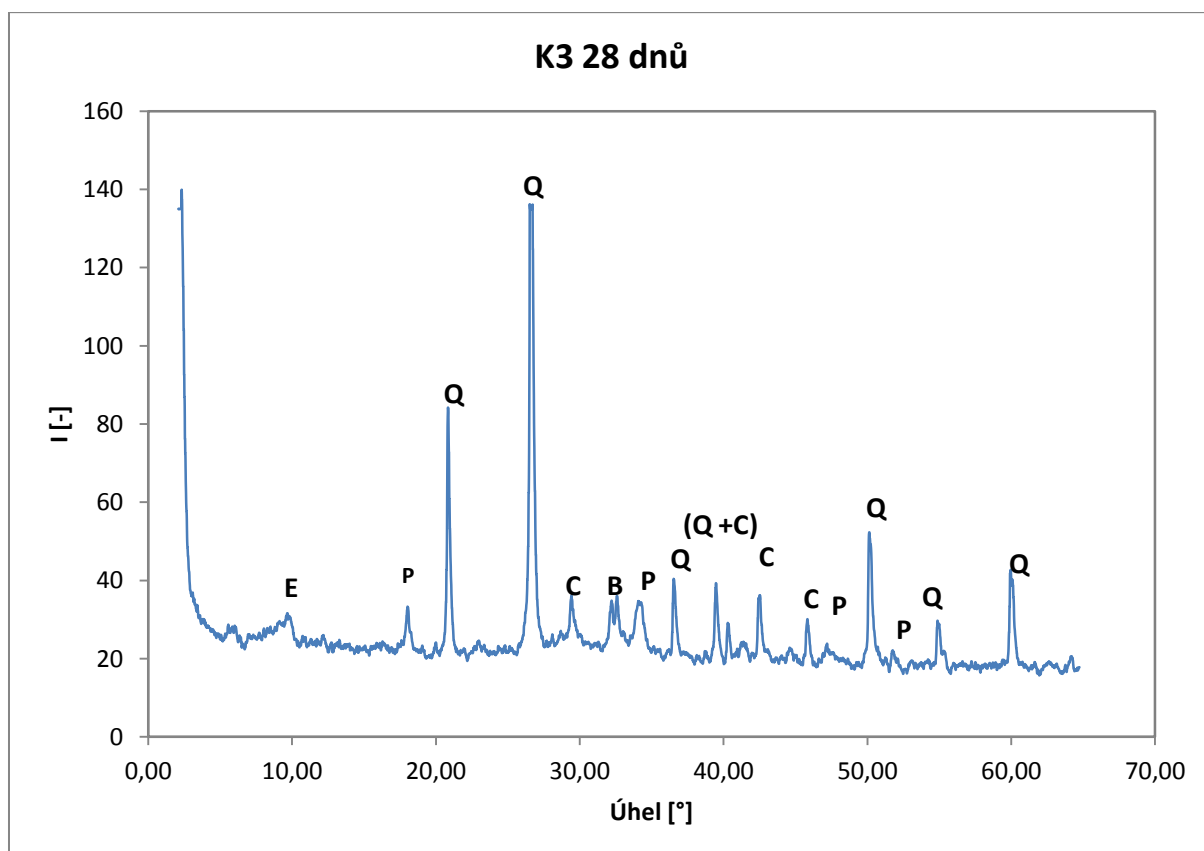
Obr. 51 Difraktogram vzorku směsi K2 stáří 3 dny.



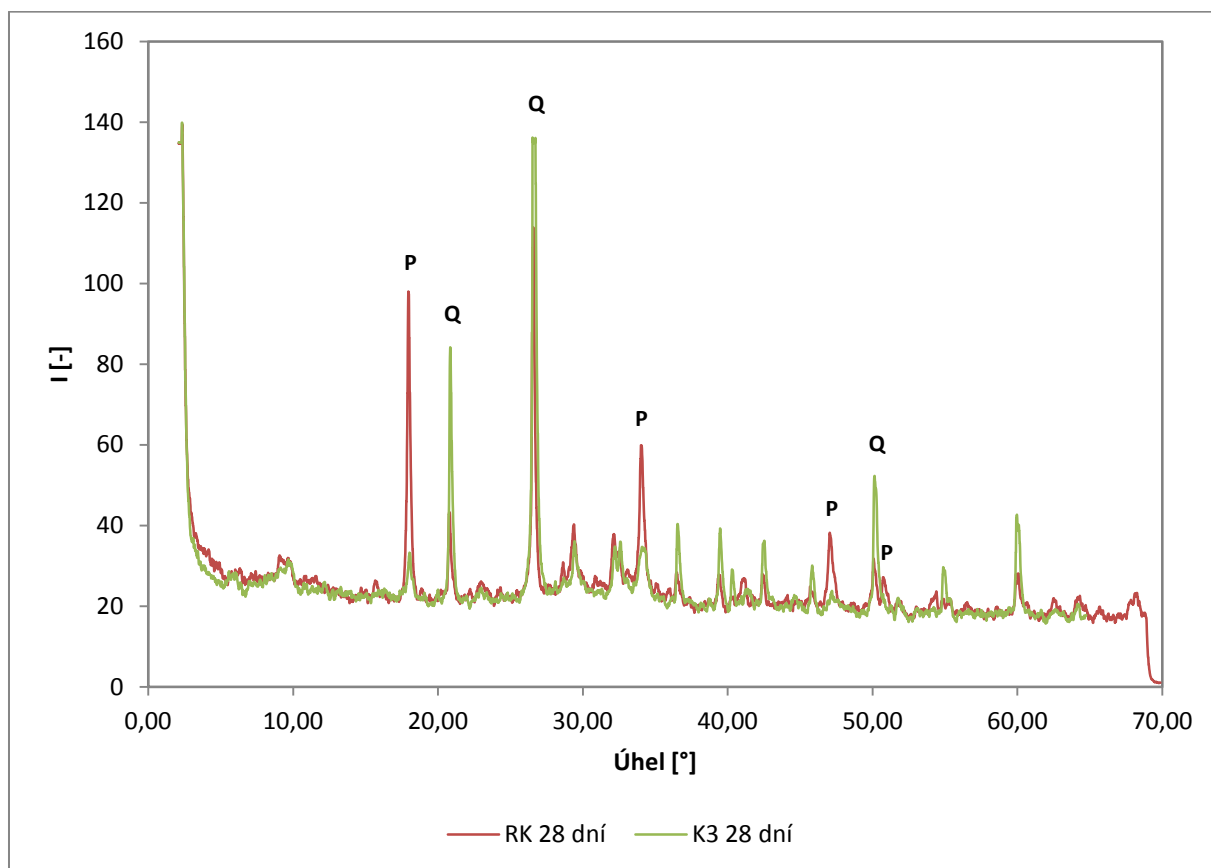
Obr. 52 Difraktogram vzorku směsi K2 stáří 28 dnů.



Obr. 53 Difraktogram vzorku směsi K3 stáří 3 dny.



Obr. 54 Difraktogram vzorku směsi K3 stáří 28 dnů.

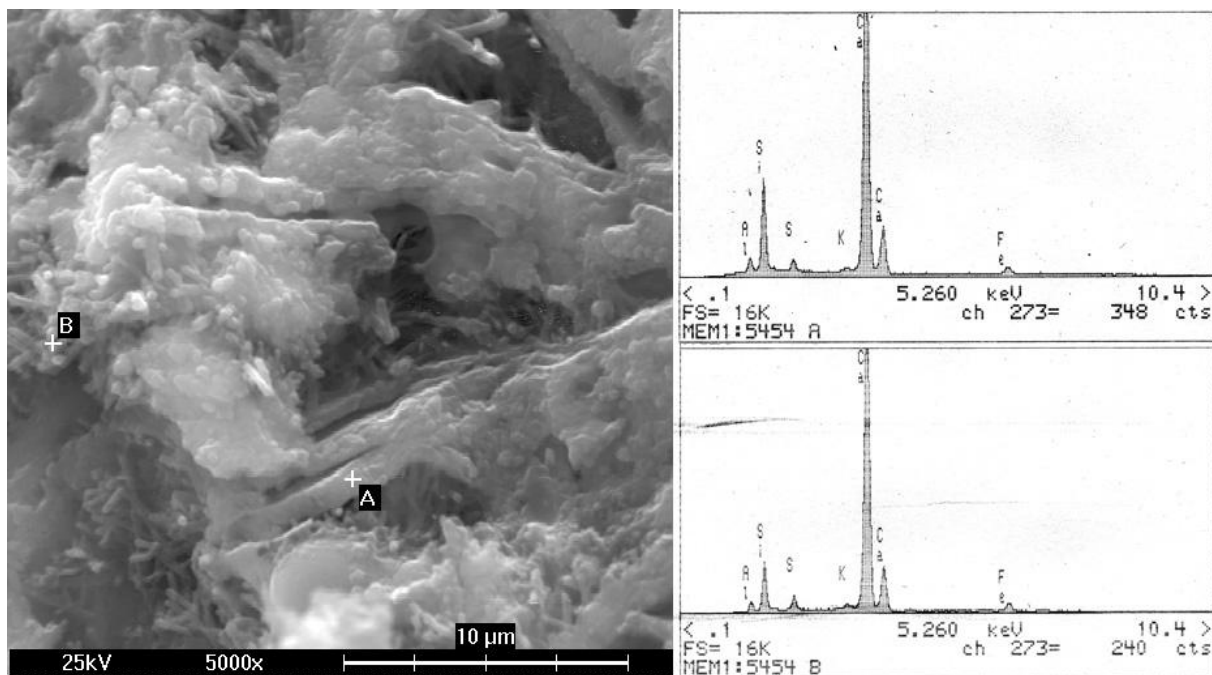


Obr. 55 Difraktogram vzorků směsí RK a K3 stáří 28 dnů

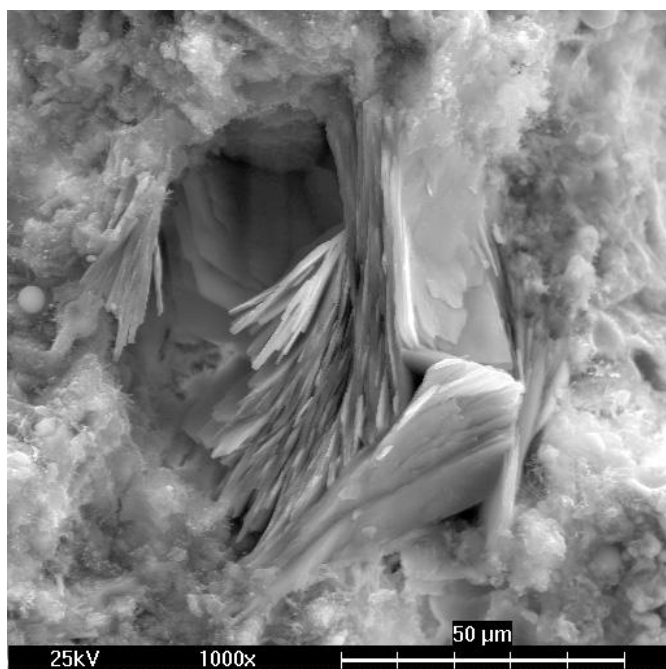
Výsledky rentgenové difrakční analýzy jsou téměř totožné, nejintenzivnější píky představují  $\beta$ -křemen. Nepatrné rozdíly způsobuje především portlandit.

### 7.5.2.11. Rastrovací elektronová mikroskopie

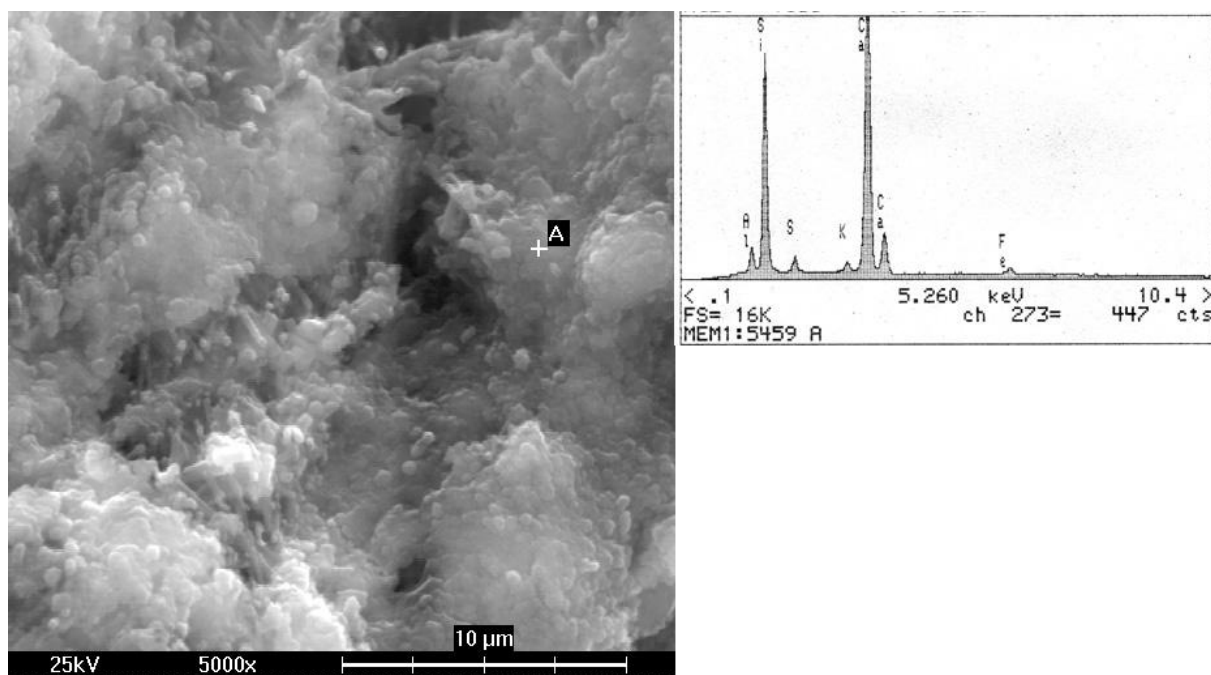
Za účelem objasnění výsledků dříve uvedených zkoušek byla provedena rastrovací elektronová mikroskopie. Vzorky referenční směsi RK stáří 60 dní byly porovnány se vzorky zkušební směsi K3 stejného stáří. Rozdíly v mikrostruktuře jsou uvedeny na obr. 56 až obr. 59.



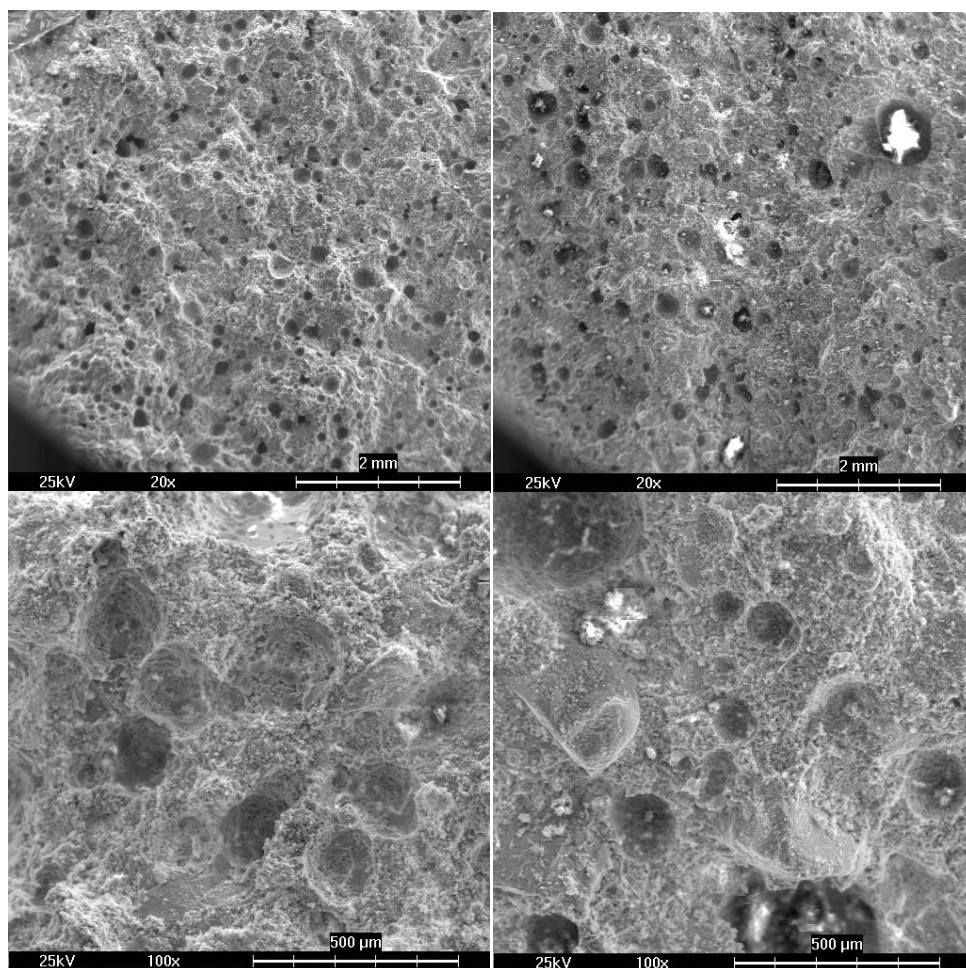
Obr. 56 Snímek z REM vzorek RK stáří 60 dní. Body A a B ukazují místa se zvýšeným obsahem  $\text{Ca}^{2+}$ .



Obr. 57 Snímek z REM vzorek RK stáří 60 dní. Pór obsahující krystalky portlanditu a C-S-H fázi.



Obr. 58 Snímek z REM vzorek K3 stáří 60 dní. Bod A ukazuje zřejmě místo se vzniklou C-S-H fází.



Obr. 59 Snímky z REM vzorek RK vlevo a vzorek K3 vpravo stáří 60 dní. Pórovitá struktura.



### **7.5.2.12. Shrnutí výsledků**

S růstem obsahu koloidního oxidu křemičitého dochází ke snížení rozlití koláče a urychlení počátku tuhnutí zkušebních směsí.

Pevnosti v tlaku a v ohybu rostou s obsahem koloidního oxidu křemičitého. Vliv na přídržnou k podkladu a k izolantu z EPS nebyl významný.

Se zvyšujícím se obsahem koloidního oxidu křemičitého klesá celková pórovitost vytvrzených vzorků, stejně tak nasákavost po 24 hodinách.

Obsah portlanditu ve vzorcích stáří 28 dní klesá se zvyšujícím se obsahem koloidního oxidu křemičitého.

### 7.5.3. Modifikace lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem

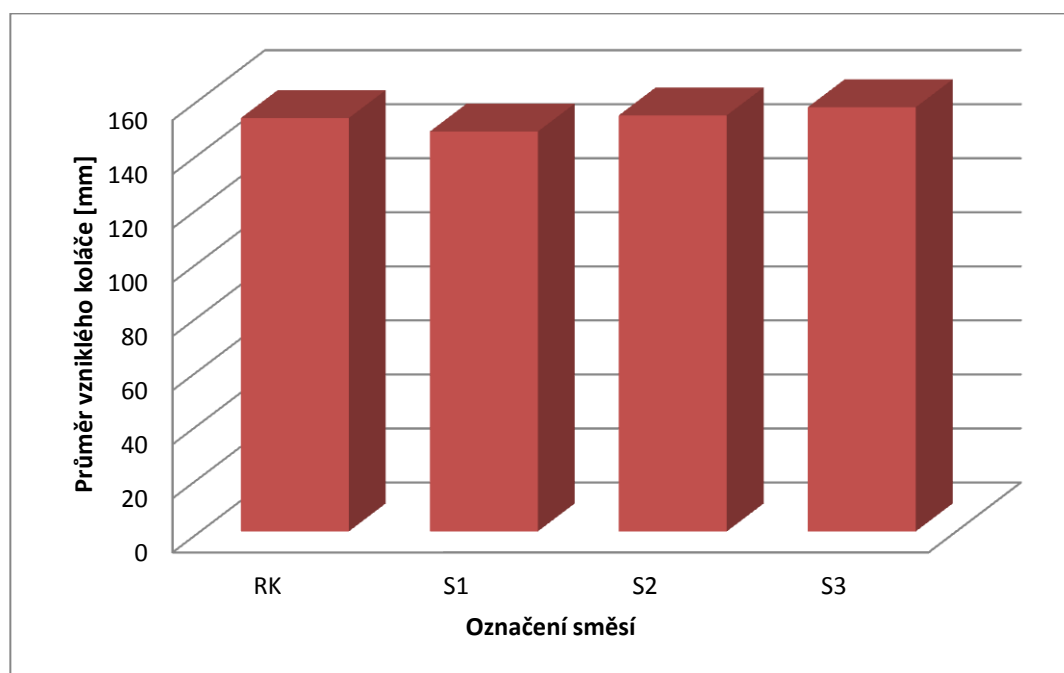
V této části práce byla provedena částečná náhrada etheru celulózy vybrané směsi sepiolitem. Zkušební směsi jsou uvedeny tab. 43.

Tab. 43 Složení navržených směsí lepicí a stěrkové hmoty s koloidním oxidem křemičitým a sepiolitem.

Složení směsi na 100 [g]				
Označení směsi	RS	S1	S2	S3
Cement	30	30	30	30
Redispergovatelná prášková disperze	0,6	0,6	0,6	0,6
Křemičitý písek	61,15	61,1	61,05	61,0
Popílek	8	8	8	8
Ether celulózy	0,25	0,2	0,15	0,1
Sepiolit		0,1	0,2	0,3
Dávkování vody a koloidního oxidu křemičitého				
Koloidní oxid křemičitý [g]	3	3	3	3
Voda [g]	24	24	24	24

#### 7.5.3.1. Stanovení konzistence

Stanovení konzistence čerstvých směsí [84] bylo provedeno podle jejich plasticity stanovením velikosti rozlité komolého kužele vystaveného otřesům na střešacím stolku. Zjištěné výsledky jsou uvedeny v tab. 44 a na obr. 60.



Obr. 60 Průměr vzniklého koláče

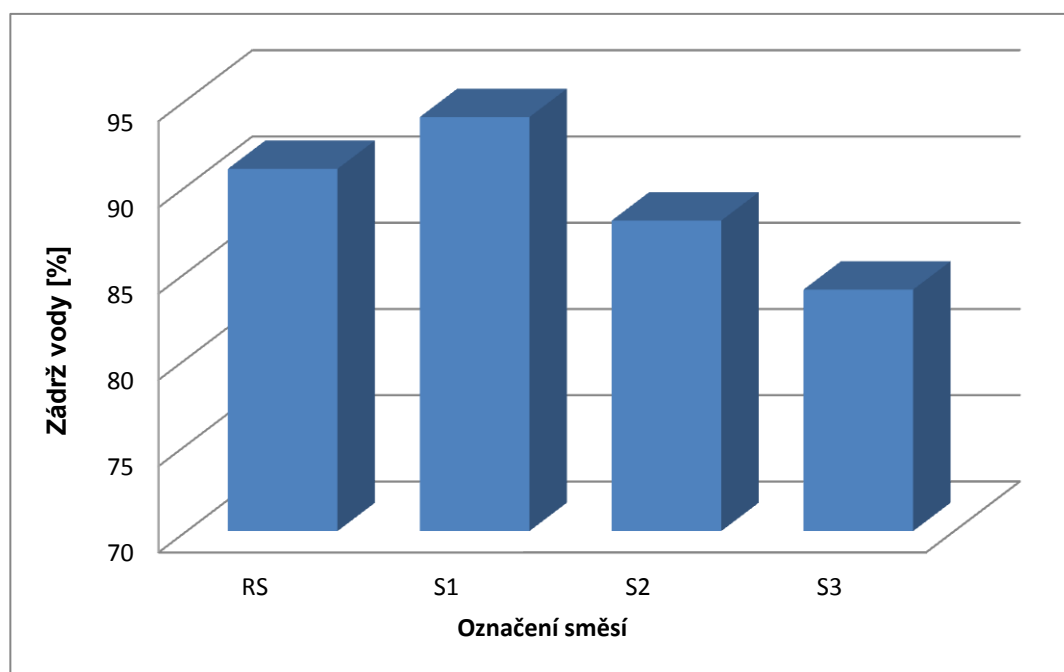
Částečná náhrada etheru celulózy neměla významný vliv na konzistenci čerstvých směsí.

Tab. 44 Průměr vzniklého koláče

Parametr	Označení směsi			
	RS	S1	S2	S3
Průměr vzniklého koláče [mm]	145	146	144	153

### 7.5.3.1. Stanovení zádrže vody

Výsledky stanovení zadržené vody [86] v čerstvých směsích jsou uvedeny na obr. 61 a v tab. 45.



Obr. 61 Zadrž vody.

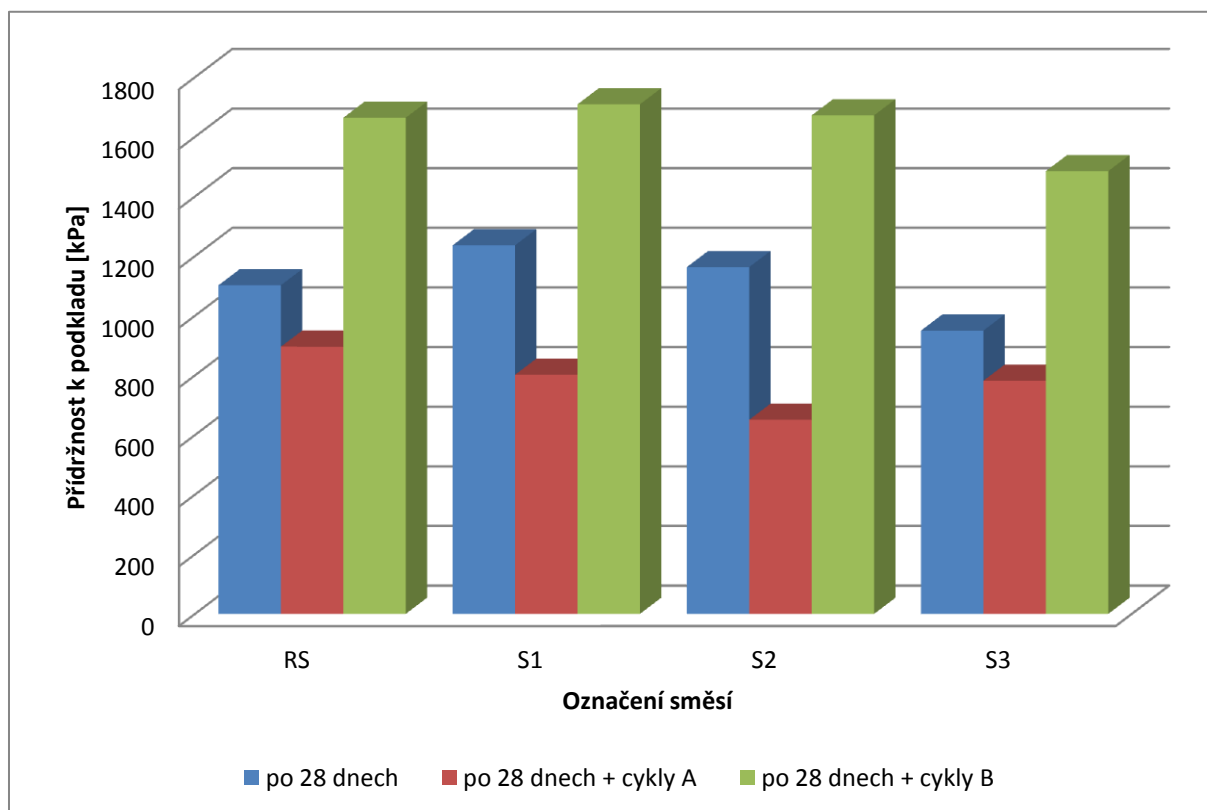
Nejvyšší zádrž vody měla směs s označením S1 obsahující 0,2 % hm. etheru celulózy a 0,1 % hm. sepiolitu.

Tab. 45 Zadrž vody

Parametr	Označení směsi			
	RS	S1	S2	S3
Zadrž vody [%]	91	94	88	84

### 7.5.3.2. Přídržnost k podkladu

Stanovení přídržnosti k podkladu (beton) [88] bylo provedeno u zkušebních směsí po 28 dnech, po 28 dnech s cykly A a po 28 dnech s cykly B. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny na obr. 62 a v tab. 46.



Obr. 62 Přídržnost k podkladu.

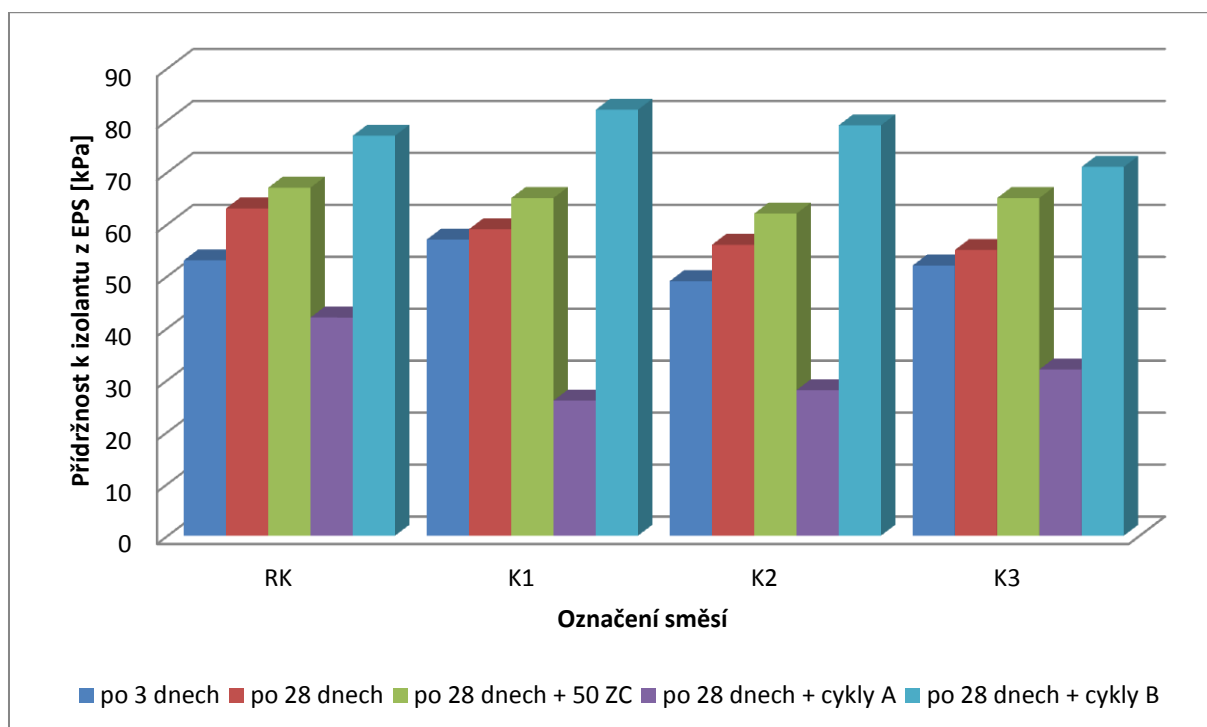
Tab. 20 Přídržnost k podkladu.

Parametr	Označení směsi			
	RS	S1	S2	S3
Přídržnost k podkladu po 28 dnech [kPa]	1102	1236	1163	950
	A/B, B	A/B, B	A/B, B	A/B, B
Přídržnost k podkladu po 28 dnech + cykly A [kPa]	896	802	651	782
	A/B, B	A/B, B	A/B, B	A/B, B
Přídržnost k podkladu po 28 dnech + cykly B [kPa]	1664	1709	1676	1485
	B	B	B	B
Porušení:				
A ....v podkladu, A/B....mezi podkladem a hmotou, B....ve hmotě				

Nejvyšší přídržnost k podkladu po 28 dnech vykazoval vzorek S1, po 28 dnech s cykly A referenční směs a po 28 dnech s cykly B opět vzorek s označením S1.

### 7.5.3.3. Přídržnost k izolantu z EPS

Stanovení přídržnosti k izolantu z EPS [88] bylo provedeno u zkušebních směsí po 28 dnech, po 28 dnech a 50 ZC, po 28 dnech s cyklováním A a po 28 dnech s cyklováním B. Výsledky jsou uvedeny na obr. 63 a v tab. 47.



Obr. 63 Přídržnost k izolantu z EPS.

Přídavek sepiolitu do zkušebních směsí příliš neovlivnil přídržnost k izolantu z EPS, hodnoty přídržnosti jsou podobné pro veškeré zkušební směsi.

Tab. 21 Přídržnost k izolantu z EPS

Parametr	Označení směsi			
	RS	S1	S2	S3
Přídržnost k izolantu z EPS po 3 dnech [kPa]	53	57	49	52
	A/B	A/B	A/B	A/B
Přídržnost k izolantu z EPS po 28 dnech [kPa]	63	59	56	55
	A/B	A/B	A/B	A/B
Přídržnost k izolantu z EPS po 28 dnech + 50 ZC [kPa]	67	65	62	65
	A/B	A/B	A/B	A/B
Přídržnost k izolantu z EPS po 28 dnech + cykly A [kPa]	42	26	28	32
	A/B	A/B	A/B	A/B
Přídržnost k izolantu po z EPS 28 dnech + cykly B [kPa]	77	82	79	71
	A/B	A/B	A/B	A/B
Porušení: A ....v podkladu, A/B....mezi podkladem a hmotou, B....ve hmotě				

#### 7.5.3.4. Rentgenová difrakční analýza

U vybraného vzorku S3 byla provedena rentgenová difrakční analýza. Z difraktogramu (viz. obr. 64) lze vyčíst, že ve směsi jsou zastoupeny krystalické fáze kalcitu, křemene, ettringitu a portlanditu.

Identifikovány byly tyto minerály:

Identifikovány byly tyto minerály:

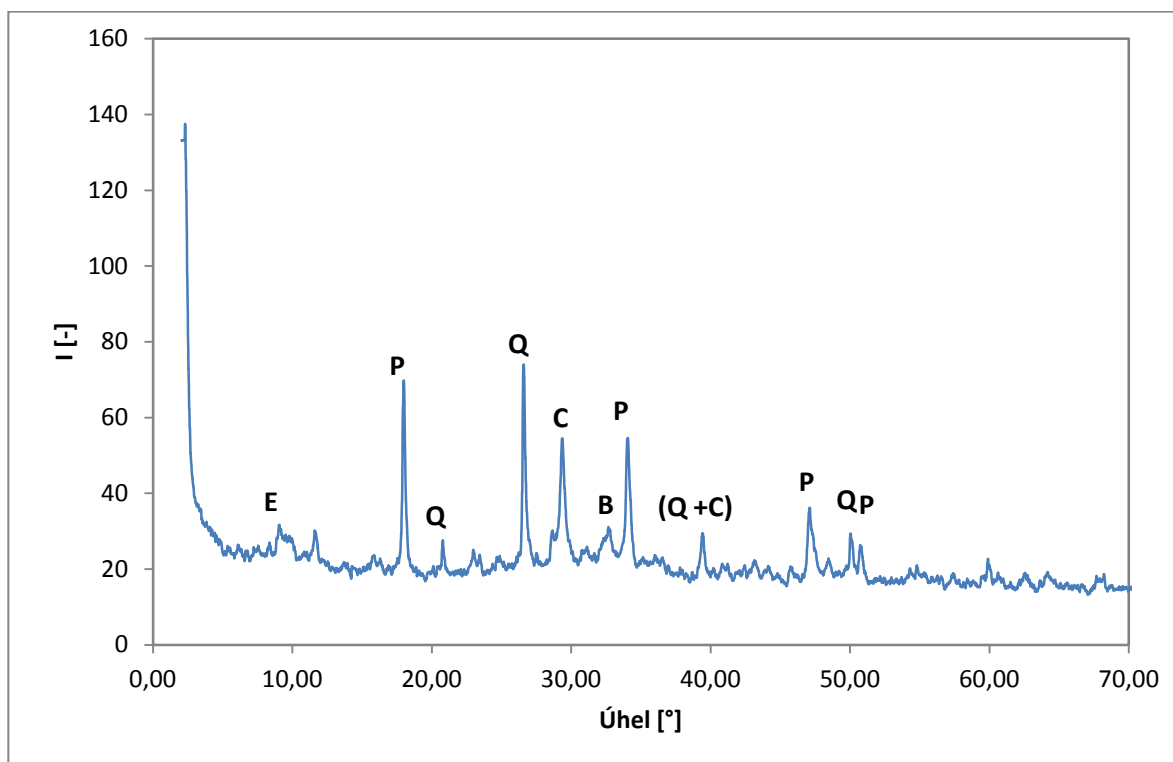
E .. Ettringit -  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$

C .. Kalcit -  $\text{CaCO}_3$

Q ..  $\beta$ -křemen -  $\text{SiO}_2$

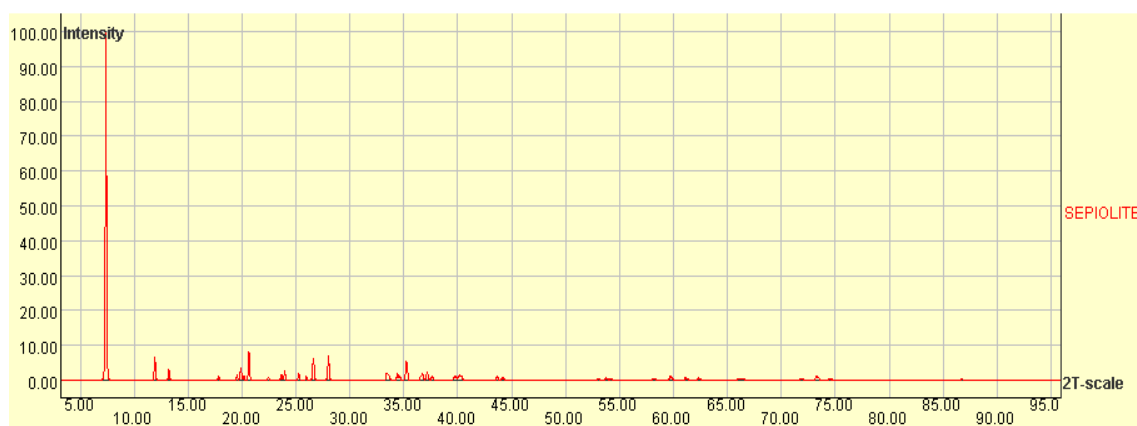
B ..  $\beta$ -dikalciumsilikát -  $\beta$ -  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

P .. Portlandit -  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Obr. 64 Difraktogram vzorku S3 stáří 28 dní

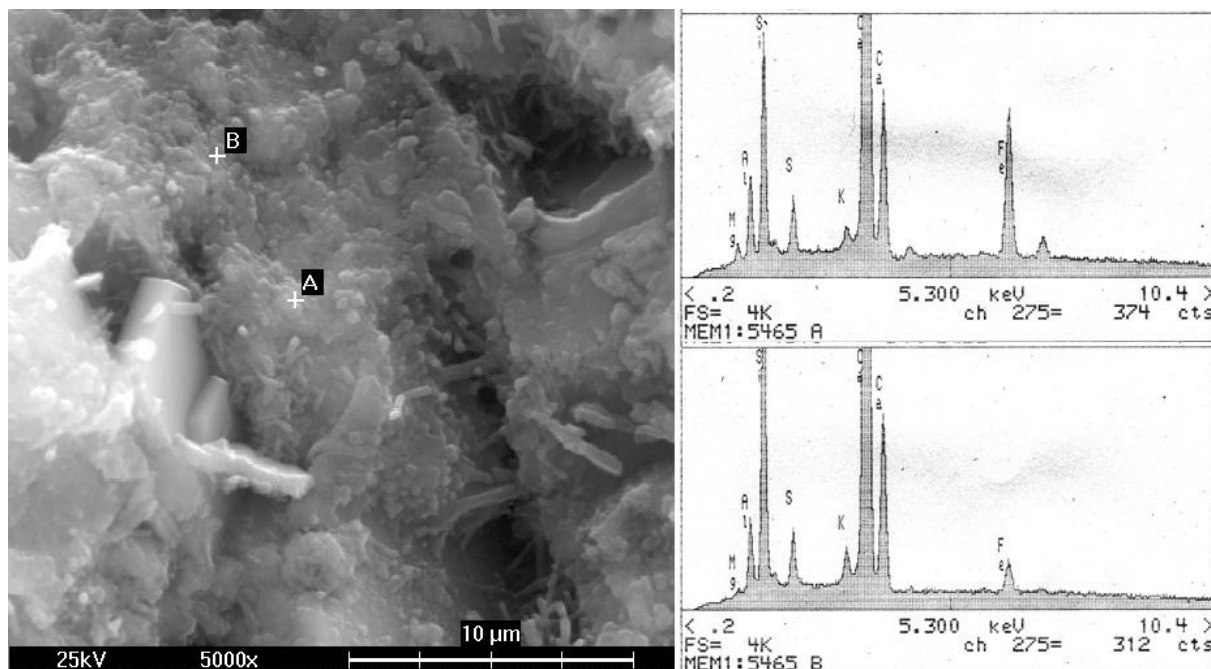
Rentgenová difrakční analýza nepotvrdila inertnost sepiolitu vůči cementu, což může být zapříčiněno nízkým obsahem tohoto minerálu ve zkušební směsi. Difraktogram sepiolitu je uveden na obr. 65.



Obr. 65 Difraktogram sepiolitu

### 7.5.3.6. Rastrovací elektronová mikroskopie

Rastrovací elektronová mikroskopie byla provedena na závěr této části u vzorku S3 stáří 90 dní. Na snímku obr. 66 jsou patrná místa se zvýšeným obsahem  $Mg^{2+}$ .



Obr. 66 Snímek z REM vzorek S3 stáří 60 dní. Body A a B ukazují místa se zvýšeným obsahem  $Mg^{2+}$ .

### 7.5.3.7. Shrnutí výsledků

Částečná náhrada etheru celulózy sepiolitem nemá zásadní vliv na konzistenci. Zádrž vody byla nejvyšší u směsi S1, ostatní směsi s obsahem sepiolitu již vykazovaly nižší zádrž vody než referenční směs.

Přidržnost k podkladu a k izolantu směsí S1 a S2 není negativně ovlivněna částečnou náhradou etheru celulózy sepiolitem.

Rentgenová difrakční analýza nepotvrdila inertnost sepiolitu vůči cementu.



#### 7.5.4. Modifikace pastovité omítky koloidním oxidem křemičitým

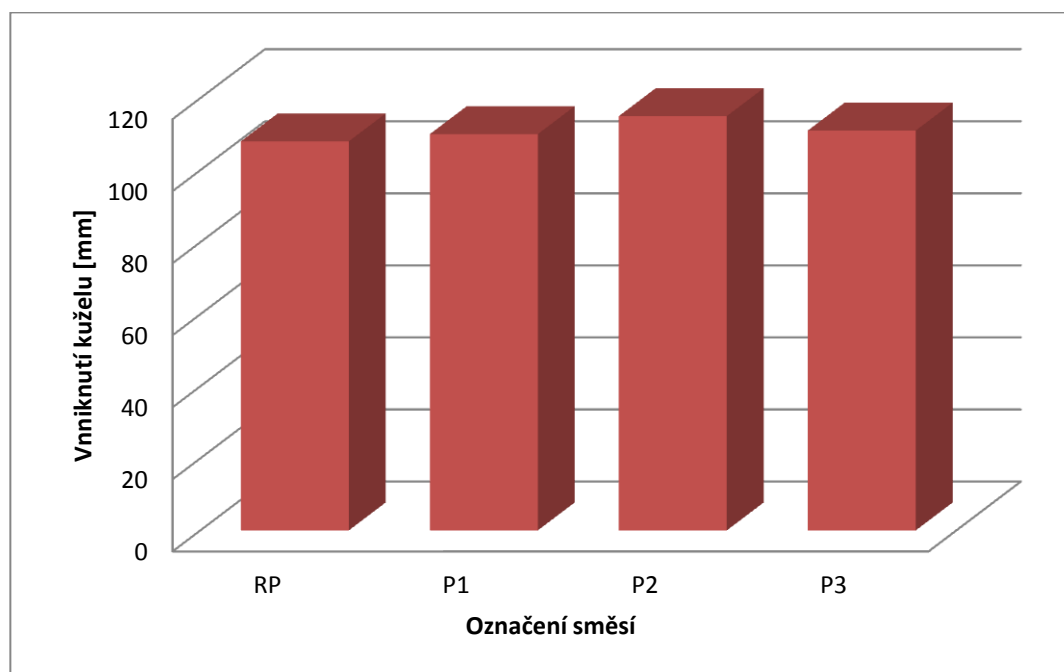
Ověření využití koloidního oxidu křemičitého pro modifikaci pastovité omítky jako náhrady styren akrylátové disperze bylo provedeno za pomoci koncentráту C241 připraveného společností Selen Bohemia s.r.o. Zkušební směsi jsou uvedeny v tab. 48.

Tab. 48 Složení zkušebních směsí pastovité omítky.

Složení směsi na 100 [g]				
Označení směsi	RP	P1	P2	P3
Koncentrát C241	56	56	56	56
Mletý vápenec	13	13	13	13
Drcený vápenec	20	20	20	20
Styren – akrylátová disperze	8	6,5	5	3,5
Koloidní oxid křemičitý	-	2,5	5	7,5
Voda	3	2	1	0

##### 7.5.4.1. Konzistence

Porovnání konzistence zkušebních směsí s referenční směsí bylo provedeno podle ČSN 72 241 [85]. Výsledné hodnoty jsou uvedeny na obr. 67 a v tab. 49.



Obr. 67 Vniknutí kužele do zkušební nádoby obsahující zkušební směsi.

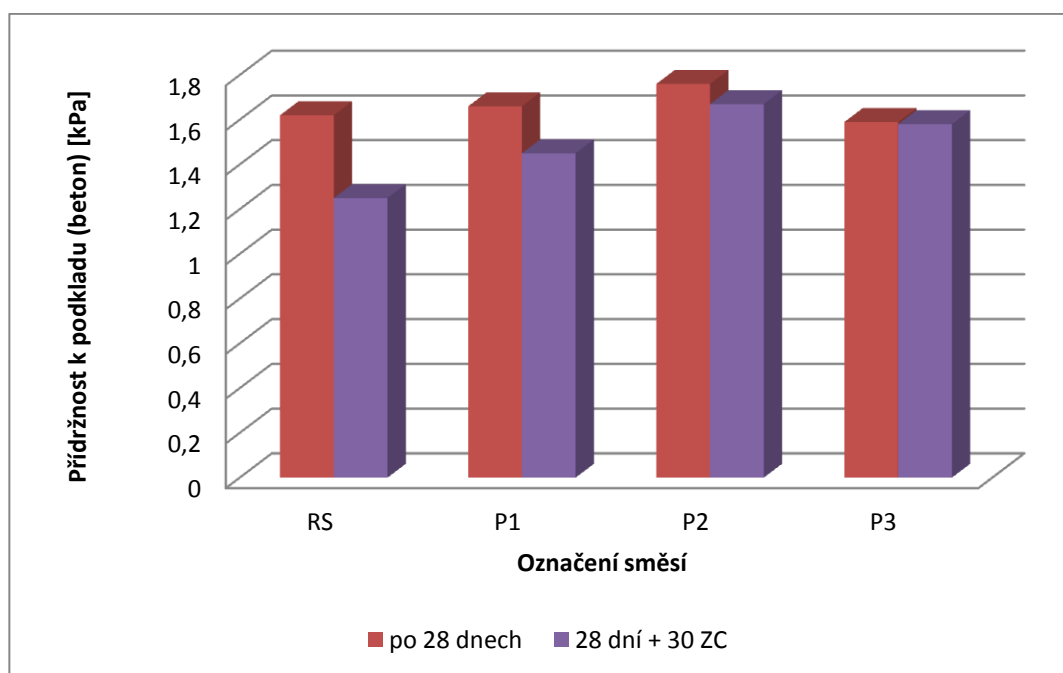
Všechny zkušební směsi měly podobnou konzistenci.

Tab. 49 Vniknutí kužele

Parametr	Označení směsi			
	RP	P1	P2	P3
Vniknutí kužele [mm]	108	110	115	111

#### 7.5.4.2. Přídržnosti k podkladu

Stanovení přídržnosti zkušebních směsí k podkladu (beton) [95] bylo provedeno pro vzorky stáří 28 dní a pro vzorky stáří 28 dní s 30 zmrazovacími cykly. Výsledné hodnoty jsou uvedeny na obr. 68 a v tab. 50.



Obr. 68 Přídržnost k podkladu

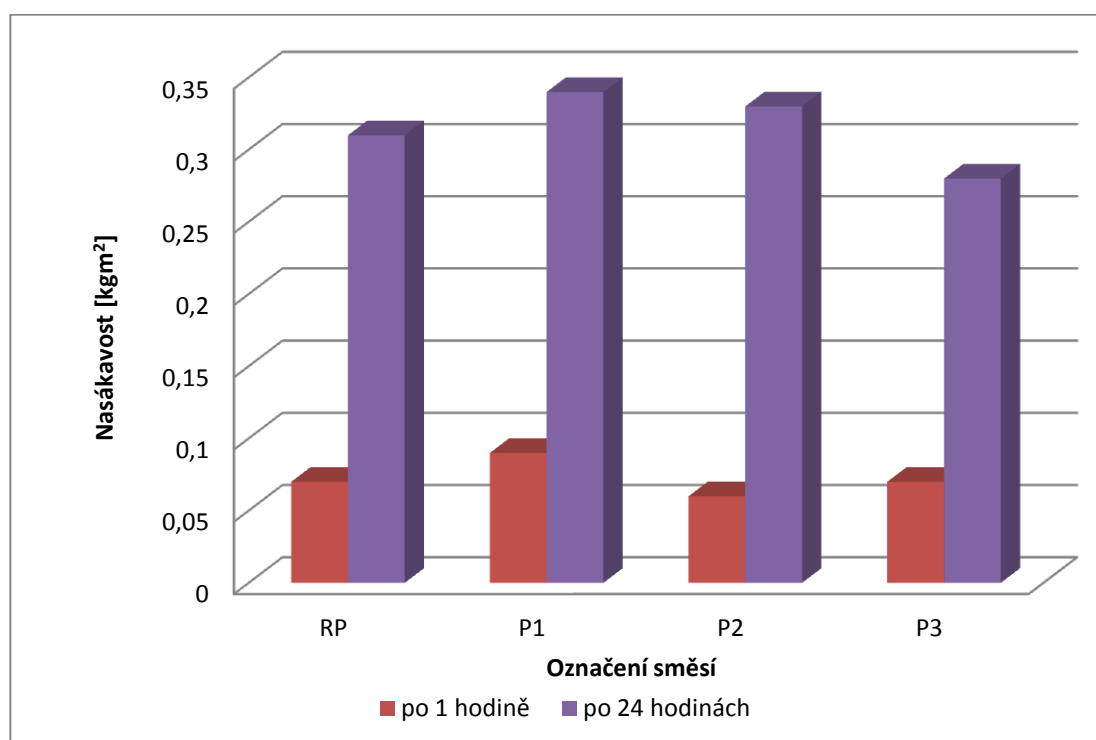
Nejvyšší hodnoty přídržnosti vykazovala směs P2.

Tab. 22 Přídržnost k podkladu.

Parametr	Označení směsi			
	RP	P1	P2	P3
Přídržnost k podkladu po 28 dnech [MPa]	1,62	1,66	1,76	1,59
Přídržnost k podkladu po 28 dnech + 30 ZC [MPa]	1,25	1,45	1,67	1,58

### 7.5.4.3. Nasákavost

Nasákavost zkušebních směsí byla provedena podle metodiky uvedené v ETAG 004 [88]. Jako podklad sloužil izolant z EPS, na kterém byla nanesena základní vrstva obsahující cementovou lepicí a sěrkovou hmotu (RK) a skelnou síťovinu. Zjištěné hodnoty nasákavosti jsou uvedeny na obr. 69 a v tab. 51.



Obr. 69 Nasákavost.

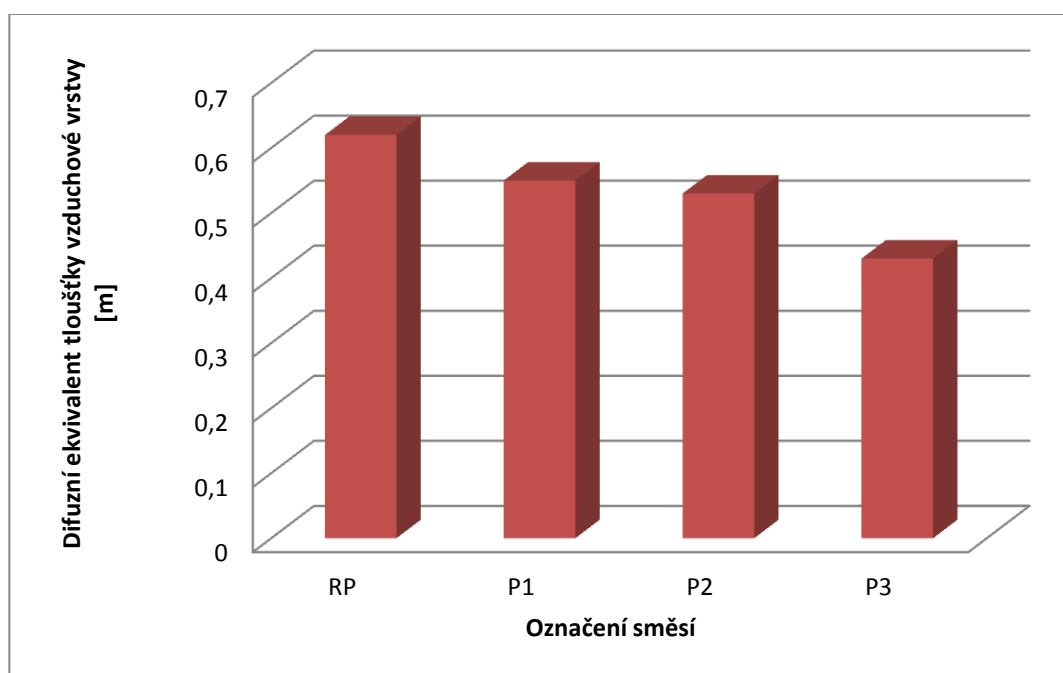
Nejnižší hodnota nasákavosti po 24 hodinách byla zjištěna u směsi s označením P3, nicméně jednotlivé výsledné hodnoty nasákavostí jsou velmi podobné.

Tab. 23 Nasákavost.

Parametr	Označení směsi			
	RP	P1	P2	P3
Nasákavost po 1 hodině [kg.m <sup>2</sup> ]	0,07	0,09	0,06	0,07
Nasákavost po 24 hodinách [kg.m <sup>2</sup> ]	0,31	0,34	0,33	0,28

#### 7.5.4.4. Prostupnost vodních par vnějším souvrstvím

Prostupnost vodních par zkušebních směsí byla provedena podle metodiky uvedené v ETAG 004 [88]. Jako podklad pro přípravu sloužil izolant z EPS, na kterém byla nanesena základní vrstva obsahující cementovou lepicí a stěrkovou hmotu (RK) a skelnou síťovinu. Před zkouškou byl izolant odstraněn. Zjištěné hodnoty prostupnosti vodních par se vztahují na celé vnější souvrství a jsou uvedeny na obr. 70 a v tab. 52.



Obr. 70 Difuzní ekvivalentní tloušťka vzduchové vrstvy

Nejnižší hodnotu ekvivalentní difuzní tloušťky vzduchové vrstvy vykazovaly vzorky obsahující zkušební směs nesoucí označení P3.

Tab. 52 Difuzní ekvivalentní tloušťka vzduchové vrstvy.

Parametr	Označení směsi			
	RP	P1	P2	P3
Difuzní ekvivalentní tloušťka vzduchové vrstvy [m]	0,62	0,55	0,53	0,43

#### 7.5.4.5. Odolnost proti nárazu tvrdého tělesa

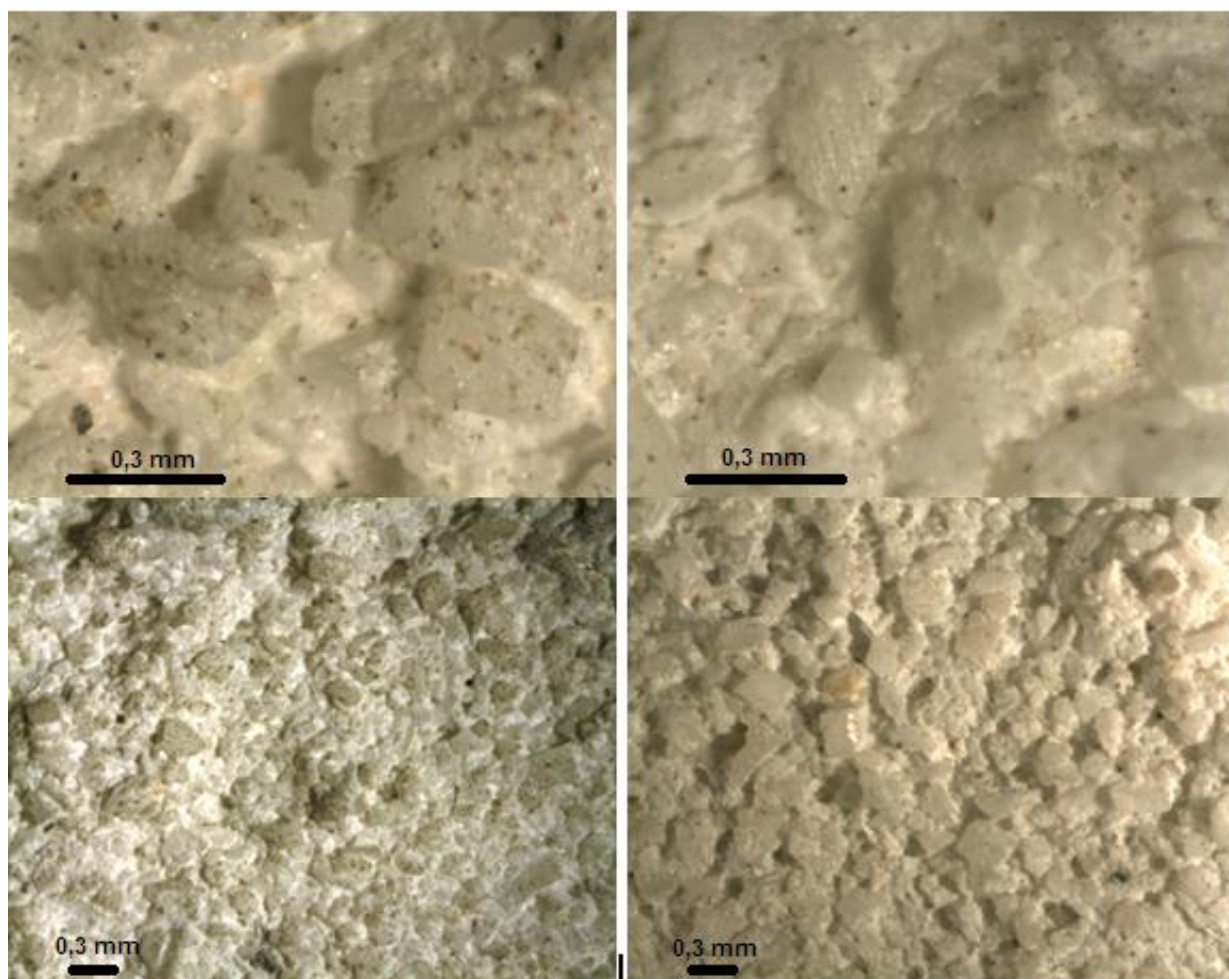
Vzorky pro porovnání odolnosti proti nárazu tvrdého tělesa [93] byly připraveny shodně s metodikou přípravy vzorků pro zkoušku nasákavosti. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tab. 53.

Tab. 24 Odolnost proti nárazu tvrdého tělesa.

Označení směsi	10 J		3 J	
	Průměr vtisku [mm]	Způsob porušení	Průměr vtisku [mm]	Způsob porušení
RP	30	Praskliny po obvodu otlačku	20	Vytvořený otlaček
P1	30	Praskliny po obvodu otlačku	20	Vytvořený otlaček
P2	30	Praskliny po obvodu otlačku	15	Vytvořený otlaček
P3	30	Praskliny po obvodu otlačku	15	Vytvořený otlaček

#### 7.5.4.6. Doplnková zkouška - odolnost proti zašpinění

V rámci ověření přídržnosti pastovité omítky k podkladu byly vzorky podrobeny zmrazovacím cyklům umístěním do zkušebního zařízení. Voda obsažená ve zkušebním zařízení obsahovala rez a další nečistoty. Po ukončení zmrazovacích cyklů byl povrch omítek analyzován optickým mikroskopem z důvodů zjištění případných poruch. Nanesené zkušební směsi nevykazovaly na svém povrchu poruchy z důvodů vystavení zmrazovacím cyklům, nicméně omítky se zvyšujícím se obsahem koloidního křemíku ve směsi vykazovaly vzrůstající odolnost proti znečištění povrchu (obr. 71). Lze předpokládat, že tento efekt je spojen s nižší lepivostí pojivového systému v případě použití koloidního oxidu křemičitého.



Obr. 71 Znečištění povrchu vzorku po zmrazovacích cyklech. Vlevo povrch vzorku RP a vpravo povrchu vzorku P1.

## 8. Sanace

Experimentální část věnující se sanaci ETICS bude rozdělena do dvou témat. První bude zaměřeno na postup sanace ETICS. Druhé téma se bude zabývat ověřením možnosti využití PU lepidla pro dodatečné kotvení ETICS.

### 8.1. Sanace ETICS

Hlavním cílem provádění sanace ETICS je prodloužení trvanlivosti odstraněním závad vedoucích k degradaci systému a zpomalení působení korozivních vlivů. V neposlední řadě se provádí zásahy vedoucí k obnovení přijatelného estetického vzhledu fasády zateplených objektů.

Postup sanace ETICS můžeme rozdělit do tří etap:

1. Posouzení aktuálního stavu stavebně technickým průzkumem.
2. Návrh sanace ETICS.
3. Provedení přípravných a sanačních prací.

#### 8.1.1. Posouzení aktuálního stavu stavebně technickým průzkumem

Cílem posouzení aktuálního stavu stavebně technickým návrhem ETICS je zjištění příčin poruch a jejich rozsahu, stanovení skladby systému a jeho způsobu montáže, rovněž tak i získání relevantních údajů pro vytvoření vhodného návrhu sanace.

Základní příčiny vzniku poruch ETICS mohou být :

- Poruchy vzniklé chybným návrhem, výběrem skladby a montáží ETICS.
- Užíváním ETICS.
- Korozí jednotlivých součástí ETICS.

Poruchy způsobené chybným návrhem mohou vznikat z řady důvodů, např. vlivem chybného tepelně technického návrhu, nezohledněním stavu podkladové konstrukce, stanovením chybné skladby. Poruchy vzniklé v průběhu montáže jsou svázány s jednotlivými kroky montáže, respektive mohou vznikat v průběhu přípravy podkladu, lepení desek tepelné izolace, mechanického kotvení, nanesení základní vrstvy a provedení konečné povrchové úpravy. Poruchy vzniklé užíváním ETICS jsou většinou závady způsobené mechanickým poškozením nebo změnou využití objektu a s tím spojenou změnou teplotně vlhkostních

poměrů v konstrukci. Poruchy zapříčiněné korozí mohou vznikat fyzikálním nebo chemickým působením. Do této skupiny lze zařadit poruchy zapříčiněné působením škůdců.

Posouzení aktuálního stavu stavebně technickým průzkumem lze rozdělit na:

1. Posouzení stavu povrchových úprav (vizuální kontrola).
  - a) Přítomnost trhlin.
  - b) Stanovení vlhkosti.
  - c) Přítomnost prachu a dalších nečistot.
  - d) Přítomnost výkvětů.
  - e) Přítomnost biotického napadení.
  - g) Posouzení degradace povrchové úpravy.
2. Posouzení stability ETICS (vizuální kontrola a fyzikálně-mechanické metody).
  - a) Posouzení přídržnosti základní vrstvy k izolačnímu materiálu.
  - b) Posouzení provedení základní vrstvy.
  - c) Posouzení stavu izolačního materiálu a jeho připevnění k podkladu.
  - d) Posouzení mechanického kotvení.
  - e) Posouzení přídržnosti lepicí hmoty k podkladu.
  - f) Posouzení způsobu nanesení lepicí hmoty a stanovení styčné plochy.
  - g) Posouzení stavu podkladu.
  - f) Posouzení přídržnosti povrchové úpravy k základní vrstvě.
3. Stanovení celkového stavu ETICS (vizuální kontrola, doplňkové zkoušky a výpočty).
  - a) Přítomnost mechanického poškození.
  - b) Posouzení způsobu založení a ukončení ETICS.
  - c) Posouzení stavu ETICS v místech napojení na otvorové výplně.
  - d) Ověření tepelně vlhkostních charakteristik.
  - e) Ověření požárních vlastností a posouzení řešení požárních detailů.

Posouzení se provádí vizuální kontrolou, fyzikálně-mechanickými metodami a využitím doplňkových zkoušek a výpočtů. Pro posouzení stability ETICS lze v nezbytných případech provést analýzu vnitřní sondou.

Stabilitu ETICS je možno posoudit následujícími postupy:

1. Posouzení přídržnosti nátěrů mřížkovou zkouškou podle ČSN ISO 2409 [94].
2. Posouzení přídržnosti povrchových úprav k izolantu podle ETAG 004 [88].
3. Posouzení přídržnosti lepicí hmoty k podkladu podle ČSN EN 1542 [95].
4. Posouzení odolnosti hmoždinky proti vytržení podle ETAG 014 [89].
5. Posouzení vlhkosti podkladu podle ČSN EN ISO 12570 [96].



6. Posouzení připevnění ETICS podle ČSN EN 1991 [97], ČSN 73 2902 [82], a technické dokumentace výrobce ETICS.
7. Posouzení soudržnosti poklepem.
8. Posouzení míry degradace vrypem.
9. Posouzení přilnavosti povrchových úprav lepicí páskou.
10. Posouzení podkladu otěrem.

### 8.1.2. Návrh sanace

Na základě relevantních údajů se provádí návrh sanace ETICS. Podklady pro vytvoření návrhu mohou být získány jednak ze stavebně technického průzkumu a dále ze stavebně technické dokumentace k původnímu ETICS. Stavebně technická dokumentace může být dokumentace projektová, technická zpráva, výkresová dokumentace a stavební dokumentace.

Návrh sanace by měl zohledňovat podmínky plynoucí z:

ČSN EN 1991 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí.

ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov.

ČSN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty.

ČSN 73 0804 – Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty.

ČSN 73 0810 – Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení.

ČSN 73 0834 – Požární bezpečnost staveb – Změny staveb.

ČSN EN 1991 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí

ČSN 73 2902 – Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) – Navrhování a použití mechanického upevnění pro spojení s podkladním materiálem.

Návrh provedení sanace by měl zejména obsahovat:

1. Návrh technologického postupu sanace obsahující:
  - a) Údaje o stávajícím ETICS a nutných úpravách před sanací.
  - b) Specifikaci použitých hmot a materiálů.
  - c) Popis technického řešení.
  - d) Popis technologického postupu.
  - e) Kontrolní plán.
2. Výkresovou dokumentaci obsahující rovněž řešení rozhodujících detailů.
3. Doložené tepelně-technické vlastnosti.
4. Požárně technické řešení.
5. Statické řešení.

V případě aplikací nového ETICS na původním sanovaném by dokumentace měla obsahovat rovněž veškerou standardní dokumentaci, jenž je požadována pro přípravu a provedení ETICS.

### 8.1.3. Provedení přípravných prací a sanace

Přípravné práce a samotná sanace by měly být provedeny v souladu s návrhem sanace. Provedení sanačních prací by měly předcházet přípravné práce, které jsou v souladu s úrovní sanace. Přípravné práce mohou zahrnovat např. očištění sanovaných ploch, odstranění poškozených míst, stabilizace systému. Před provedením přípravných prací a sanace je žádoucí ověřit vzájemnou snášenlivost jednotlivých materiálů, které mohou být vystaveny vzájemnému působení.

#### Sanace lze rozdělit do třech úrovní:

##### 1. Sanace malého rozsahu.

Jedná se o zásahy, které jsou řešeny ošetřením podkladu a opětovnou aplikací konečné povrchové úpravy, omítky nebo fasádní nátěrové hmoty.

##### 2. Sanace středního rozsahu.

Sanace již vyžaduje opětovnou aplikaci základní vrstvy s možností lokálního odstranění původního vnějšího souvrství nebo izolačního materiálu.

##### 3. Sanace velkého rozsahu

a) Zásahy zajišťující zvýšení stability ETICS.

b) Provedení nového ETICS na původním zateplení.

Očištění sanovaných ploch je provedeno mechanicky nebo omytím za použití tlakové vody. V případě nanesení následné povrchové úpravy musí být respektována vzájemná snášenlivost jednotlivých materiálů, jejich mechanické vlastnosti nebo aplikační omezení. Aplikace nové konečné povrchové úpravy je doporučena jednak pro obnovu estetického vzhledu povrchové úpravy nebo v rámci sanace biotického napadení a drobných neaktivních trhlin. Dodatečná výztuž základní vrstvou se provádí v místech mechanického poškození povrchu ETICS, v případech sanací trhlin nebo z důvodu odlupujícího se vnějšího souvrství. Provedení nového ETICS na stávajícím je doporučováno pro případy sanace tepelných mostů a defektů.

Tab. 54 Typy poruch a doporučené způsoby sanace

Typ poruchy	Doporučený způsob sanace
Biocidní napadení	Očištění tlakovou vodou, ošetření biocidním přípravkem a provedení egalizačního nátěru se zvýšenou biocidní ochranou.
Vápenné výkvěty	Očištění tlakovou vodou, ošetření hloubkovou penetrací, provedení egalizačního nátěru.
Statické praskliny v ploše ETICS	Provedení základní vrstvy a konečné povrchové úpravy.
Statické praskliny v místech otvorových výplní	Provedení nového ETICS na původním zateplení.
	Provedení základní vrstvy a konečné povrchové úpravy.
Degradace pigmentů v konečné povrchové úpravě	Ošetření hloubkovou penetrací, provedení egalizačního nátěru.
Odlupující konečná povrchová úprava	Odstranění nesoudržné povrchové úpravy, provedení základní vrstvy a nové konečné povrchové úpravy.
Vyrýsování izolačních desek na povrchu ETICS „polštářový efekt“	Provedení nového ETICS na původním zateplení.
	Provedení dodatečného kotvení, základní vrstvy a konečné povrchové úpravy.
Mechanické poškození ETICS	Odstranění poškozeného místa, vložení nového tepelného izolantu, napojení nové základní vrstvy v místě poškození na původní základní vrstvu, provedení lokální povrchové úpravy.
Praskliny nebo poškození ETICS v místě založení	Odstranění spodní části ETICS, provedení nového ETICS v místě založení, celoplošné nebo lokální provedení základní vrstvy s konečnou povrchovou úpravou.
Nedostatečné tepelně izolační vlastnosti ETICS	Provedení nového ETICS na původním zateplení.
	Provedení nového ETICS.

## 8.2. Dodatečné kotvení ETICS s využitím PU lepidla

Příčiny vzniku poruch v oblasti připevnění ETICS k podkladu mohou být různé. Na vině může být například nevhodný výběr lepicí hmoty, nedodržení technologické kázně při přípravě a aplikaci lepicí hmoty, nedodržení minimální lepené plochy. Oprava těchto typů poruch je obtížná, v případě použití běžných postupů i nemožná. Jedním ze způsobů sanace této závady může být dodatečného kotvení ETICS s využitím PU lepidla s kovovou sítkou ve tvaru válce. Poslední část práce je proto věnována ověření možnosti využití PU lepidla pro dodatečné kotvení ETICS.



Obr. 72 Vybavení pro dodatečné kotvení ETICS. PU lepidlo s aplikační pistolí a kovová síťka ve tvaru válce.

### 8.2.1. Identifikace PU lepidla

Pro ověřovací zkoušky bylo použito nízkoexpanzní PU lepidlo STYRO 753 B1/E výrobce SELENA určené pro lepení ETICS. Vlastnosti PU lepidla jsou uvedeny v tab. 55.

Tab. 25 Základní fyzikální vlastnosti PU lepidla

Vlastnost	Parametr
Aplikační teplota	+0°C až +30°C
Otevřený čas	<5 min.
Čas pro úpravu pozice desek	<15 min.
Kotvení izolačních desek	2 h
Čas úplného vytvrzení	24 h
Teplotní odolnost (po vytvrzení)	-60°C až + 100°C
Hustota (ve spáře)	19 - 26 kg/m <sup>3</sup>

Kovová síťovina ve tvaru válce FIS H určená pro chemické kotvy do dutých materiálů a tvárnic byla dodána společností FISCHER, její průměr činí 16 mm, délku bylo možné přizpůsobit podle potřeby tloušťce izolantu úpravou 1 m dlouhých vzorků.

### 8.2.2. Stanovení soudržnosti a přídržnosti PU lepidla k podkladu

Z důvodu neexistence obecně akceptovatelného způsobu ověření základních fyzikálně-mechanických vlastností PU lepidla v rámci užití pro upevnění ETICS bylo nejdříve provedeno ověření fyzikálně-mechanických vlastností použitého PU lepidla alternativní metodikou jenž ověřila přídržnost k podkladu a současně i kohezní pevnost aplikovaného PU lepidla. Stanovení přídržnosti lepicí hmoty k podkladu je v rámci ověření vlastností ETICS prováděna podle metodiky uvedené v ETAG 004 [88]. Tento postup je primárně určen pro cementové nebo pastovité hmoty, v případě PU lepidel se ukazuje jako nevhodný z důvodů odlišných vlastností těchto hmot.

Ověření bylo provedeno nanesením PU lepidla na podklad s následným přiložením izolantu z EPS. Tloušťka PU lepidla byla definována pomocí distančních tělísek vysokých 8 mm. Izolant byl zatížen tak, aby nemohlo docházet k posunu vlivem dodatečné expanze při tuhnutí PU lepidla (obr. 73). Po 24 hodinách byl izolant z EPS odstraněn a odrhové terče (50x50 mm) připevněny PU lepidlem shodným s ověřovaným PU lepidlem (obr. 74). Po 24 hodinách byly vzorky PU lepidla oříznuty kolem odtrhových terčů až k podkladu a následně byly provedeny odtrhy.



Obr. 73 Příprava vzorků.



obr. 74 Přilepení odtrhových terčů a vzorek po provedení odtrh.

Stanovené hodnoty přídržnosti PU lepidla k zkušebním podkladům jsou uvedeny v tab. 56.

Tab. 26 Přídržnost PU lepidla k zkušebním podkladm.

Podklad	Přídržnost k podkladu [MPa]	Způsob porušení
Cetris deska	0,13	A/B
Deska Fermacell	0,19	A/B
Beton	0,18	A/B
Porušení: A ....v podkladu, A/B....mezi podkladem a hmotou, B....ve hmotě		

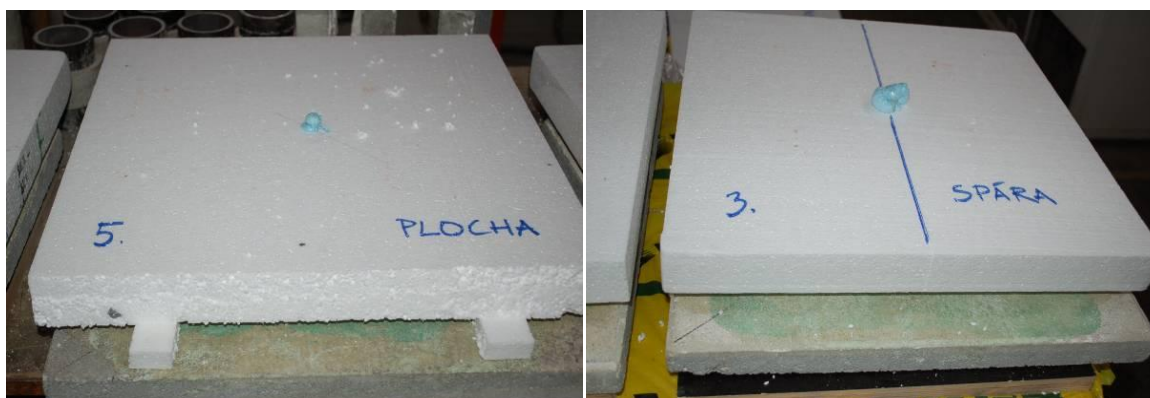
### 8.2.3. Ověření možnosti dodatečného kotvení ETICS s využitím PU lepidla

Stanovení maximálního stříhového zatížení dodatečného kotvení bylo provedeno použitím izolačních desek z pěnového polystyrenu EPS 70 F o rozměrech 500x500x50 mm. Jako podklad byly použity betonové desky. Pomocí distančních tělísek byla vymezena vzdálenost 20 mm mezi izolantem a podkladem. Do předvrtaného otvoru o průměru 16 mm s kotevní hloubkou 40 mm v podkladu byla vložena kovová síťka ve tvaru válce o průměru 16 mm. Do vložené kovové sítěky ve tvaru válce bylo pomocí aplikační pistole nanášeno PU lepidlo. Po 24 hodinách zrání PU lepidla bylo provedeno stanovení stříhového zatížení.

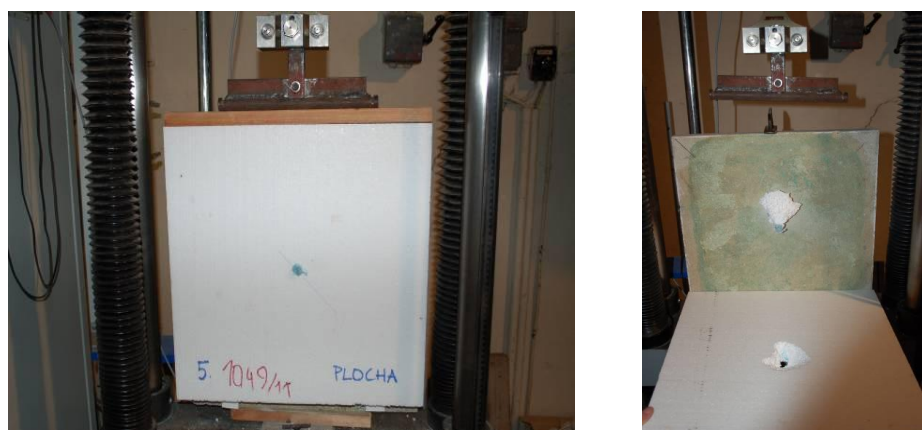


Obr. 75 Aplikace PU lepidla

Při praktické aplikaci dodatečného kotvení ETICS může docházet k použití PU lepidla na styku jednotlivých izolačních desek, proto byly připravené rovněž vzorky jenž měly imitovat tuto variantu použitím dvou izolačních desek z EPS rozměrech 250 x 500 x 50 mm za vzniku spáry ve středu vzorku (viz. obr. 76).

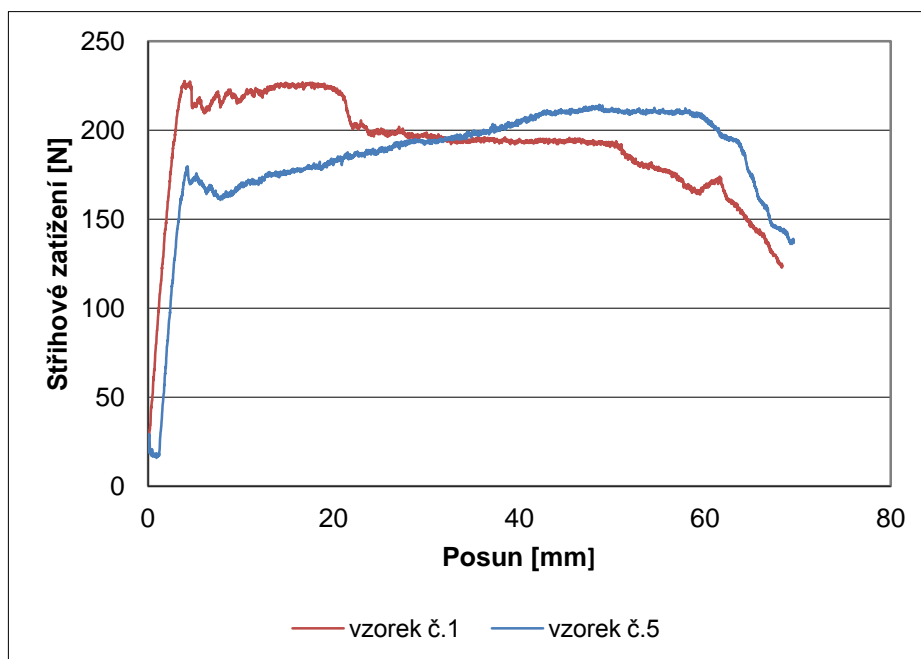


Obr. 76 Příprava vzorků



Obr. 77 Vzorek připravený ve zkušebním lisu a po ukončené zkoušce

Stanovené hodnoty maximálního stříhového zatížení pro dodatečné kotvení pomoci PU lepidla jsou uvedeny v tab. 57. Průběh závislosti stříhového zatížení na dráze posunu zkušebního lisu je znázorněn na obr. 78.



Obr. 78 Závislost smykové síly na dráze posunu zkušební lisu

Tab. 27 Maximální hodnoty střihového zatížení

Označení vzorku	č.1 (plocha)	č.2 (plocha)	č.3 (plocha)	č.4 (spára)	č.5 (spára)	č.6 (spára)
Maximální hodnota střihového zatížení [N]	233	214	191	160	227	188

Zjištěné hodnoty maximálního střihového zatížení, které jsou schopny přenést vlastní váhu ETICS, ukazují na jednoduchý a efektivní způsob sanace poruch v oblasti kotvení ETICS.



## E. Diskuze a shrnutí výsledků

Experimentální část této práce byla zaměřena na dvě hlavní témata: první téma představuje využití koloidního oxidu křemičitého pro modifikaci stanovených hmot, druhým tématem byla sanace ETICS.

Využití koloidního oxidu křemičitého pro modifikaci lepicích a stěrkových hmot a pastovitých omítek bylo provedeno s ohledem na doposud známé výsledky dřívějších výzkumů v oblasti modifikace cementových malt, betonů a nátěrových hmot. Hlavním cílem bylo ověření vlivu přídavku koloidního oxidu křemičitého pro stanovené hmoty a posouzení jeho vlivu na fyzikálně-mechanické vlastnosti a trvanlivost.

Na počátku experimentální části byla provedena charakterizace vstupních surovin. V případě plniv a cementu byly provedeny základní chemické, fyzikální a mechanické zkoušky. Vlastnosti ostatních vstupů byly porovnány s dodanými identifikačními a technickými listy.

Rozsah ověřovacích zkoušek byl staven s ohledem na cíle práce se snahou o podrobné zmapování vlastností modifikovaných směsí a zkoušených hmot. Koloidním oxidem křemičitým byla modifikována cementová lepicí a stěrková hmota a pastovitá omítka. Výsledky ověření modifikovaných směsí byly porovnávány s výsledky referenčních hmot.

Před započítím modifikace cementové lepicí a stěrkové hmoty byla vytvořena referenční směs na základě receptury uvedené v teoretické části. Vzhledem ke snaze o jasné zmapování vlivu koloidního oxidu křemičitého na lepicí a stěrkovou hmotu bylo dávkování redispergovatelného polymerního prášku a etheru celulózy redukováno na nejnižší možnou úroveň při zachování základních funkčních vlastností hmoty. Z důvodu možnosti využití rentgenové difrakční analýzy a diferenční termické analýzy pro sledování vlivu koloidního oxidu křemičitého na průběhu hydratace cementu a zkušební směsi obecně byl mletý vápenec nahrazen popílkem.

Po výběru vhodného složení referenční směsi bylo zvoleno dávkování koloidního oxidu křemičitého na základě výsledků předešlých prací. Poté byly provedeny základní zkoušky čerstvých směsí. Čerstvé směsi s přídavkem koloidního oxidu křemičitého v porovnání s referenční směsí vykazovaly nižší hodnoty rozlití koláče na setřásacím stolku. V případě ruční aplikace hmot byly vzájemné vlastnosti porovnatelné. V případě stanovení počátku tuhnutí bylo zjištěno, že se vzrůstajícím obsahem koloidního oxidu křemičitého se zkracovala doba počátku tuhnutí směsí.

Vytvrzené zkušební cementové směsi byly podrobeny základním fyzikálně-mechanickým ověřením. Vzárustající obsah koloidního oxidu křemičitého měl pozitivní vliv na pevnost v tlaku a pevnost v ohybu. Přídržnosti k podkladu z betonu a k izolantu z EPS nebyly přidavkem koloidního oxidu křemičitého příliš ovlivněny.

Obsah koloidního oxidu křemičitého ovlivňuje objemovou hmotnost zkušebních směsí. Se vzárustajícím obsahem koloidního oxidu křemičitého rostla objemová hmotnost a klesala celková pórovitost a nasákavost.

Rentgenová difrakční analýza a diferenční termické analýza prokázaly přítomnost portlanditu a kalcitu ve všech směsích. Vzorky stáří 28 dnů vykazovaly rozdílné složení. Se vzárustajícím obsahem koloidního oxidu křemičitého klesalo množství portlanditu a obsah  $\text{CaCO}_3$  ve vzorku.

Součástí modifikace lepicí a stěrkové hmoty bylo ověření možnosti náhrady etheru celulózy minerálem sepiolitem z důvodu potencionálního snížení ceny vstupů. Přibližná cena komerčně prodávaného sepiolitu je 45 tis. Kč/t v porovnání s cenou etheru celulózy, jenž činí přibližně 140 tis. Kč/t. Limitní vlastností aplikace sepiolitu v cementových lepicích a stěrkových hmotách je schopnost hmoty zadržet vodu v průběhu vyztváření. Vliv obsahu sepiolitu na konzistenci nebo na stanovené fyzikálně-mechanické vlastnosti nebyl u vybraných směsí zjištěn. Rentgenová difrakční analýza nepotvrdila inertnost sepiolitu vůči cementu. Nízké dávkování minerálu do zkušebních směsí však zabraňuje vyslovení tvrzení, že sepiolit reaguje s cementem. Na základě provedených zkoušek lze předpokládat, že v lepicích a stěrkových hmotách obsahujících cement a určených pro ETICS lze provést částečnou náhradu etheru celulózy bez negativního vlivu na konečné vlastnosti modifikované hmoty.

V experimentální části věnované modifikaci pastovité omítky bylo použito složení běžně vyráběné pastovité omítky, jenž bylo rozděleno na koncentrát, polymerní disperzi, plniva a vodu. Koncentrát obsahoval pojivo, vodu, polymerní disperzi, plniva, pigment, filmotvorné činidlo, odpěňovač, biocidní přípravek, dispergátor, záhustky, hydrofobní přísadu a regulátor pH. Zkušební směsi byly připraveny smísením koncentrátu, plniv, vody, polymerní disperze a koloidního oxidu křemičitého a byla provedena kontrola konzistence. Z výsledků vyplývá, že přidavek koloidního oxidu křemičitého ve zkušebních směsích neměl přímý vliv na konzistenci, přídržnost zkušebních směsí k podkladu a nasákavost. S růstem obsahu koloidního křemíku ve zkušebních směsích rostla prostupnost vodních par vnějším souvrstvím, výrazný vliv přídatku na odolnost proti rázu tvrdého tělesa nebyl shledán. Snížením obsahu organického podílu lze dosáhnout zvýšení požární odolnosti a odolnosti proti zašpinění povrchu. Lze předpokládat, že stabilita vůči UV záření u povrchových úprav obsahujících koloidní oxid

křemičitý bude vyšší než v případě použití čistě organických pojiv. Z těchto důvodů by bylo přínosné ověřit využití koloidního oxidu křemičitého pro pastovité stěrkové hmoty a fasádní nátěrové hmoty. V těchto případech koloidní oxid křemičitý může být vhodnou alternativou klasických pojiv.

Druhé téma experimentální části bylo věnováno sanaci ETICS. V této části byl navržen postup posuzování stavu a sanace jednotlivých poruch. Na základě výsledků experimentální části v rámci modifikace součástí ETICS lze pro sanaci využít nových poznatků. Pro sanaci malého rozsahu je možné využít pastovité omítky modifikované koloidním oxidem křemičitým. Snížení organického podílu polymerní disperze v pastovité omítce při zachování ostatních užitečných vlastností přináší:

1. Zvýšení odolnosti proti zašpinění - prodloužení akceptovatelného vzhledu povrchové úpravy.
2. Snížení spalných tepel – zvýšení požární bezpečnosti.

Pro sanace středního rozsahu lze využít modifikaci lepicí a stěrkové hmoty na bázi portlandského cementu koloidním oxidem křemičitým, která zajistí:

1. Zvýšení odolnosti proti tvorbě výkvětů – díky snížení obsahu  $\text{Ca(OH)}_2$  v cementové stěrkové hmotě.
2. Prodloužení trvanlivosti – vlivem nižší nasákavosti snížení rizika fyzikální koroze při zimních cyklech.
3. Zlepšení mechanických vlastností – pravděpodobně v důsledku vlivu puculánové reakce koloidního oxidu křemičitého.

V případě závad v oblasti kotvení při sanaci velkého rozsahu s požadavkem na statickou stabilizaci ETICS je možné provést dodatečné kotvení s využitím PU lepidla.

Ověření využití PU lepidla k dodatečnému kotvení ETICS prokázalo dostatečné maximální stříhové zatížení, které je schopné přenést. Výsledky ukazují na jednoduchý a efektivní způsob sanace poruch v oblasti kotvení ETICS. Využití PU lepidel v rámci ETICS přináší řadu výhod. Jejich širšímu použití brání komplikace s ověřením jejich vlastností. V experimentální části bylo provedeno ověření alternativní metodiky pro stanovení přídržnosti PU lepidla k podkladu. Získané hodnoty přídržnosti jsou v porovnání s výsledky přídržnosti k podkladu získaných podle metodiky uvedené v ETAG 004 [88] nižší, nicméně pravdivěji reflektují způsob aplikace PU lepidel a jejich vlastnosti.

## F. Význam práce pro rozvoj vědeckého oboru a praxi

Tato práce přinesla poznatky o vlivu koloidního oxidu křemičitého na lepicí a stěrkové hmoty a pastovité omítky používané jako součásti ETICS a prokázala jednoduchý a efektivní způsob docílení zlepšení vlastností hmot na bázi portlandského cementu a polymerní disperze.

Zjištěné výsledky potvrdily, že přidavek koloidního oxidu křemičitého ve hmotě obsahující portlandský cement urychluje počátek tuhnutí, a to i v případě obsahu redispergovatelného polymerního prášku a etheru celulózy. Celková pórovitost cementové hmoty s obsahem koloidního oxidu křemičitého klesá, stejně tak nasákavost. V modifikované vytvrzené hmotě dochází ke snížení obsahu  $\text{Ca(OH)}_2$  zřejmě vlivem puculánové reakce s koloidním oxidem křemičitým, jejíž produkty příznivě ovlivňují vlastnosti modifikovaných hmot.

Částečná náhrada pojiva v modifikované pastovité omítce styren-akrylátové disperze koloidním oxidem křemičitým zásadně neovlivňuje ověřované vlastnosti, jako je přídržnost k podkladu, nasákavost a prostup vodních par. Snížení organického podílu v pastovité omítce a v pastovitých stavebních hmotách obecně může přinést řadu dalších výhod.

Využití PU lepidla pro dodatečné kotvení bylo ověřeno a přineslo potvrzení možnosti této aplikace. Zvolený postup se ukázal jako vhodný pro simulaci podmínek zatížení ETICS vlastní vahou. V rámci ověření vlastností PU lepidla byla použita alternativní metodika pro stanovení přídržnosti PU lepidla k podkladu. Její výsledky přinesly reálné hodnoty přídržnosti těchto hmot k podkladu v rámci kotvení ETICS.

## G. Závěr

Cílem teoretické části bylo shrnutí poznatků o ETICS s konečnou povrchovou úpravou tvořenou omítkou, zejména z pohledu lepicích a stěrkových hmot a pastovitých omítek. Byla prodiskutována skladba ETICS, složení jeho součástí, technické požadavky a faktory ovlivňující trvanlivost.

V experimentální části byly hmoty, které jsou součástí ETICS, modifikovány a porovnávány s referenčními vzorky. Požadavkem bylo modifikovat hmoty tak, aby v případě jejich použití v rámci ETICS byly jejich nepříznivé vlastnosti potlačeny a případné závady se již opětovně nevyskytovaly.

Využití koloidního oxidu křemičitého pro modifikaci cementových lepicích a stěrkových hmot může přinést zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností a rovněž díky snížení nasákavosti, pórovitosti a obsahu  $\text{Ca(OH)}_2$  prodloužení trvanlivosti a snížení rizika tvorby vápenných výkvětů.

Modifikace pastovité omítky koloidním oxidem křemičitým neprokázala zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností a nasákavosti, nicméně lze předpokládat, že snížením podílu organického pojiva ve vytvrzené hmotě jsou pozitivně ovlivněny požární vlastnosti a odolnost povrchu proti zašpinění.

Sanace ETICS je bezesporu perspektivní stavební činností, kterou je nutné chápat v celé šíři příčin a důsledků, jenž s ohledem na současné legislativní prostředí zůstane činností, která bude v nejbližší době i nadále řešena individuální projektovou dokumentací. Aplikace PU lepidel pro dodatečné kotvení je teoreticky možná. Jeho využití v praxi bude záviset na stanovení požadavků pro dodatečné kotvení a nalezení metodiky jeho posouzení.

Sanace ETICS s využitím modifikovaných součástí může přinést zlepšení jeho fyzikálně-mechanických vlastností, prodloužení trvanlivosti a snížení rizika vzniku estetických závad.

## H. Použitá literatura

- [1] Šála, J. Technická pravidla - Tepelně technický návrh vnějších tepelně izolačních kontaktních systémů (ETICS). Praha : CZB ČR, 2007.
- [2] Šála, J., Machatka, M. Snížení spotřeby tepla na vytápění zateplených stěn bytových a rodinných domů, Díl I. Praha : CZB ČR.
- [3] Katalog SE Tylose GmbH &Co. KG. Wiesbaden (Germany) : SE Tylose GmbH &Co. KG, 2005.
- [4] Firemní sborník Elotex 2010.
- [5] Hlaváč, J. Základy technologie silikátů. Praha : SNTL, 1981.
- [6] Pytlík, K. Technologie betonu. Brno : VUT, 1997.
- [7] Ohama, Y. Polymer-based Admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 1998, vol. 20, s. 189-212.
- [8] Ohama, Y. Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars, Properties and Process Technology. Elsevier, 1995. 246 s. ISBN 978-0-8155-1358-2.
- [9] Katalog Dow 2010, DLP REDISPERSIBLE POLYMER POWDERS APPLICATION AND USAGE GUIDE. USA : Dow.
- [10] Schultze, J., Killermann O. Long-term performance of redispersible powders in mortars. *Cement and concrete research*, 2001, vol. 31, s. 357-362.
- [11] Brandt, L. Cellulose Ethers. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, 1986.
- [12] Patural, L., Grosseau, P., Govin, A., Pourchez, J., Ruot, B. Water transport in freshly-mixed mortars containing cellulose ethers. *Journal du CEREM*, 2010, s. 1 - 14.
- [13] Morgenothe, Ch., Firemní prezentace ASHLAND, 2011.
- [14] Lanzón, M., García-Ruiz, P.A. Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additives. *Construction and Building Materials*, 2009, vol. 23, s. 3287-3291.
- [15] Schwartz, M., Baumstark, R. Waterbased Acrylates for Decorative Coatings. Hannover : Vincentz Verlag, 2001.
- [16] Firmení literatura – fa Wacker, [online], [cit. 19. 10. 2012.]. Dostupné z: <<http://www.srep.com/srep/en/siliconharzfarben/siliconchemie/siliconharzchemie/siliconharzchemie.jsp>>
- [17] Schwartz, M., Baumstark, R. Waterbased Acrylates for Decorative coatings. Hannover : Vincent Verlag, 2001.
- [18] Wikipedie. [online], [Cit. 19. 11. 2012.]. Dostupné z: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)>

- [19] Firemní literatura – fa MÜNZING CHEMIE GMBH [online], [cit. 15. 10 2012]. Dostupné z: <<http://www.rom.co.il/article/Additives-for-paints-and-varnishes>>
- [20] Felixberger, J.K. Polymer-modified thin-bed tile adhesive. Augsburg : BASF SE, 2008.
- [21] Kunzel, H., Kunzel H.M., Sedlbauer K. Long-term performance of external thermal insulation systems (ETICS). *Architectura*, 2006, vol. 1, s. 11-24.
- [22] Daniotti, B., Paolini, R. Evolution of degradation and Decay in performance of ETICS. International conference on durability of building materials and components, Istanbul, 2008.
- [23] Silva, J., A., R., M., Falorca, J. A model plan for buildings maintenance with application in the performance analysis of a composite facade cover. *Construction and building materials*, 2009, vol. 23, s. 3248-3257.
- [24] Johansson, S., Wado, L., Sandin, K. Estimation of mould growth levels on renders facades based on surface relative humidity and surface temperature measurements. *Building and Environment*, 2010, vol. 45, s. 1153 - 1160.
- [25] D'Orazio, M., Lalladini, M., Aquilanti, L., Clemnti, F. Experimental evaluation of growth rate of mould finishes for indoor housing environments: Effect of the 2002/91/EC directive. *Building and Environment*, 2009, vol. 44, s. 1668-1674.
- [26] Aberle, T., Keller, A., Zurbriggen, R. Efflorescence Mechanism of Formation and ways to Prevent. ELOTEx, 2005.
- [27] Dow, C., Glasser, F.P. Calcium carbonate efflorescence on Portland cement and building materials. *Cement and Concrete Research*, 2003, vol. 33, s. 147-154.
- [28] Jenni, A., Zurbriggen, R., Holzer, .L., Herwegh, M. Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage. *Cement and concrete research*, 2006, vol. 36, s. 79-90.
- [29] Ramli, M., Tabassi, M., A. Effect of polymer modification on the permeability of cement mortars under different curing conditions: A correlational study that include pore distributions, water absorption and compressive strength. *Construction and building materials*, 2012, vol. 28, s. 561-570.
- [30] Balayssac J.P., Nicot, P., Ruot, B., Deves, O., Detriche, C.H. Influence of admixtures on the cracking sensitivity of mortar layers applied to a mineral substrate. *Construction and building materials*, 2011, vol. 25, s. 2828-2836.
- [31] Bochen, J. Study on the microstructure of thin-layer facade plasters of thermal insulating system during artificial weathering. *Construction and building materials*, 2009, vol. 23, s. 2559-2566.

- [32] Sobolev, K., Flores, I., Hermosillo, R., Torres-Martínez, L.M. Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites. Proceedings of ACI Session on "Nanotechnology of Concrete: Recent Developments and future perspectives", Denver, 2006.
- [33] Senff, L., Labrincha, J.A., Ferreira, V.M., Hotza, D., Repette, W.L. Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars. *Cement and building materials*, 2009, vol. 23, s. 2487-2491.
- [34] Quercia, G., Brouwers, H.J.H. Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures. 8th fib PhD Symposium in Kgs. Lyngby, Denmark, 2010.
- [35] Quercia, G., Husken, G., Brouwers, H.J.H. Water demand of amorphous nano silica and its impact on the workability of cement paste. *Cement concrete research*, 2012, vol. 42, s. 344-357.
- [36] Senff, L., Hotza, D., Repette, W., Ferreira, V., Labrincha, J.A. Mortars with nano-SiO<sub>2</sub> and micro-SiO<sub>2</sub> investigated by experimental design. *Construction and Building Materials*, 2010, vol. 24, s. 1432-1437.
- [37] Tobón, J.I., Restrepo, O.J., Payá, J. Comparative Analysis of Performance of Portland Cement. *Dyna*, 2010, vol. 163, s. 37-46.
- [38] Li, H., Xiao, H-G., Yuan, J., Ou, J. Microstructure of cement mortar with nanoparticles, *Composites: Part B-engineering*, 2004, vol. 35, s. 186-188.
- [39] Gaitero, J.J., Campillo, I., Guerrero, A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition. *Cement and Concrete Research*, 2008, vol. 38, s. 1112-1118.
- [40] Lim, H. M., Lee, J., Jeong, J.H., Oh, S.G., Lee, S. Comparative Study of Various Preparation Methods of Colloidal Silica. *Scientific research*, 2010, vol. 2, s. 998-1005.
- [41] Mizutani, T., Arai, K., Miyamoto, M., Kimura, Y. Application of silica-containing nano-composite emulsion to wall paint: A new environmentally safe paint of high performance. *Progress in Organic Coatings*, 2006, vol. 55, s. 276-283.
- [42] Hofmann, P. Improving Soiling Resistance with the Aid of Nanoparticles. YKI, Institute for Surface Chemistry, 2009.
- [43] Firemní literatura – fa AzkoNobel [online], [cit. 12. 10. 2012] Dostupné z: <<http://www.akzonobel.com/colloidalsilica/>>
- [44] Kang, H.J., Song, M.S., Kim, Y.S. Effects of sepiolite on the properties on Portland cement mortar. *Journal Korean Ceramic Society*, 2008, vol. 45, s. 443-452.
- [45] He, C., Makovicky, E., Osbaeck, B. Thermal treatment pozzolanic activity of sepiolite. *Applied Clay Science*, 1996, vol. 10, s. 337-349.
- [46] Kavas, T., Sabahb, E., Celikc., M.S. Structural properties of sepiolite-reinforced cement composite. *Cement and Concrete Research*, 2004, vol. 34, s. 2139-2139.



- 
- [47] Yu, Y., Qi, S, Zhan, J., Wu, Z., Yang, X., Dezhen, W. Polyimide/sepiolite nanocomposite films: Preparation, morphology and properties. *Materials Research Bulletin*, 2011, vol. 46, s. 1593-1599.
- [48] Fuente, E., Jarabo, R., Moral, A., Blanco, Á., Izquierdo, L., Negro, C. Effect of sepiolite on retention and drainage of suspensions. *Construction and Building Materials*, 2010, vol. 24, s. 2117-2123.
- [49] Bielman, J. Aditives for Coatings. Weinheim : Wiley-VCH, 2001.
- [50] Škvára, F. Technologie anorganických pojiv II. Praha : VŠCHT Praha, 1995.

## I. Seznam citovaných norem

- [80] ČSN 73 0540 - Tepelná ochrana budov.
- [81] ČSN 73 2901 - Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) – Provádění systémů s tepelnou izolací z pěnového polystyrenu (EPS) nebo z minerální vlny (MW) a s konečnou povrchovou úpravou omítky.
- [82] ČSN 73 2902 - Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) – Navrhování a použití mechanického upevnění pro spojení s podkladním materiálem.
- [83] ČSN EN 197-1 - Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.
- [84] ČSN EN 1015-3 - Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku).
- [85] ČSN 72 2441 - Zkouška zpracovatelnosti čerstvé malty.
- [86] DIN 18555-7 - Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel; Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens nach dem Filterplattenverfahren.
- [87] ČSN EN 196-3 - Metody zkoušení cementu - Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti.
- [88] ETAG 004 - Řídící pokyny pro evropské technické schválení vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů s omítkou.
- [89] ETAG 014 - Řídící pokyny pro evropské technické schválení plastových hmoždinek pro připevnění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů.
- [90] ČSN EN 1015-10 - Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty.
- [91] ČSN EN 12 808-3 - Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 3: Stanovení pevnosti v ohybu a v tlaku.
- [92] EN 12086 - Tepelně-izolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení propustnosti pro vodní páru.
- [93] ISO 7892:1988 - Vertical building elements - Impact resistance tests -- Impact bodies and general test procedures.
- [94] ČSN ISO 2409 - Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška.
- [95] ČSN EN 1542 - Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Zkušební metody - Stanovení soudržnosti odtrhovou zkouškou.
- [96] ČSN EN ISO - 12570 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě.
- [97] ČSN EN 1991 - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí.
- [98] ČSN 73 0540 - Tepelná ochrana budov.
- [99] ČSN 73 0802 - Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty.

- [100] ČSN 73 0804 - Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty.
- [101] ČSN 73 0810 - Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení.
- [102] ČSN 73 0834 - Požární bezpečnost staveb – Změny staveb.

**J. Seznam tabulek**

Tab. 1 Ilustrační skladba suchých lepicích a stěrkových hmot .....	12
Tab. 2 Ilustrační skladba pastovité lepicí a stěrkové hmoty .....	18
Tab. 3 Ilustrační skladba akrylátové disperzní omítky s velikostí plniva do 1,5 mm .....	19
Tab. 4 Trvanlivost součástí ETICS .....	27
Tab. 5 Četnost poruch ETICS.....	28
Tab. 6 Vlastnosti použitého cementu.....	52
Tab. 7 Chemické složení použitého cementu .....	52
Tab. 8 Vlastnosti použitého redispergovatelného polymerního prášku .....	52
Tab. 9 Vlastnosti použitého koloidního oxidu křemičitého .....	53
Tab. 10 Zjištěné vlastnosti křemenného písku .....	53
Tab. 11 Sítový rozbor křemenného písku .....	53
Tab. 12 Chemické složení křemenného písku .....	54
Tab. 13 Vlastnosti použitého popílku .....	54
Tab. 14 Sítový rozbor elektrárenského popílku.....	55
Tab. 15 Chemické složení popílku.....	55
Tab. 16 Zjištěné vlastnosti mletého vápence Omyacarb 40 .....	56
Tab. 17 Chemické složení mletého vápence Omyacarb 40 .....	56
Tab. 18 Sítový rozbor: mletý vápenec Omyacarb 40.....	57
Tab. 19 Vlastnosti použitého etheru celulózy.....	58
Tab. 20 Vlastnosti použitého sepiolitu .....	58
Tab. 21 Vlastnosti použité polymerní disperze .....	59
Tab. 22 Vlastnosti použitého koloidního oxidu křemičitého.....	59
Tab. 23 Zjištěné vlastnosti drceného vápence Omyacarb 0,2 – 0,5.....	60
Tab. 24 Chemické složení drceného vápence Carolith 0,2 – 0,5 .....	60
Tab. 25 Složení navržených referenčních směsí .....	61
Tab. 26 Pevnost v tlaku a v ohybu.....	62
Tab. 27 Přidržnost k podkladu.....	63
Tab. 28 Složení navržených referenčních směsí .....	64
Tab. 29 Přidržnost k izolantu z EPS .....	65
Tab. 30 Složení navržených směsí lepicí a stěrkové hmoty.....	65
Tab. 31 Zádrž vody .....	665
Tab. 32 Složení navržených směsí lepicí a stěrkové hmoty s koloidním oxidem křemičitým... 67	67
Tab. 33 Průměr koláče .....	67
Tab. 34 Počátek a konec tuhnutí. ....	68
Tab. 35 Pevnost v tlaku .....	69

---

Tab. 36 Pevnost v ohybu.....	70
Tab. 37 Přidržnost k izolantu z EPS .....	72
Tab. 38 Přidržnost k podkladu (beton).....	73
Tab. 39 Stanovení pórovitosti.....	74
Tab. 40 Nasákavost .....	75
Tab. 41 Stanovení obsahu portlanditu u vzorků stáří 3 dny .....	81
Tab. 42 Stanovení obsahu portlanditu u vzorků stáří 28 dnů .....	81
Tab. 43 Složení navržených směsí lepicí a stěrkové hmoty s koloidním oxidem křemičitým a sepiolitem .....	90
Tab. 44 Průměr vzniklého koláče .....	91
Tab. 45 Zadrž vody .....	91
Tab. 46 Přidržnost k podkladu.....	92
Tab. 47 Přidržnost k izolantu z EPS .....	944
Tab. 48 Složení zkušebních směsí pastovité omítky .....	97
Tab. 49 Vniknutí kužele .....	98
Tab. 50 Přidržnost k podkladu.....	99
Tab. 51 Nasákavost .....	100
Tab. 52 Difuzní ekvivalentní tloušťka vzduchové vrstvy .....	101
Tab. 53 Odolnost proti nárazu tvrdého tělesa .....	101
Tab. 54 Typy poruch a doporučené způsoby sanace .....	107
Tab. 55 Základní fyzikální vlastnosti PU lepidla .....	108
Tab. 56 Přidržnost PU lepidla k zkušebním podkladům.....	110
Tab. 57 Maximální hodnoty stříhového zatížení.....	112

**K. Seznam obrázků**

Obr. 1 Schéma skladby ETICS.....	10
Obr. 2 Snímek redispergovatelného polymerního prášku .....	14
Obr. 3 Schéma zjednodušeného modelu přípravy redispergovatelného polymerního prášku. 15	
Obr. 4 Snímek polymerního filmu v cementové matrici (zvětšeno 7000 x).....	155
Obr. 5 Struktura polyethylen-vinylacetátu (vlevo) a polystyren-butylakrylátu (vpravo).....	16
Obr. 6 Struktura etheru celulózy (a: MHPC, b:MHEC, c: HEC) .....	166
Obr. 7 Struktura silikonové emulze, R = CH <sub>3</sub> , H, OH.....	21
Obr. 8 Model působení odpěňovače.....	23
Obr. 9 Schéma degradace konečné povrchové úpravy ETICS .....	28
Obr. 10 Schéma vzniku vápenných výkvětů .....	30
Obr. 11 Snímek vápenných výkvětů (Cc - CaCO <sub>3</sub> ) na pastovité hmotě, fasádní barvě. ....	30
Obr. 12 Schéma vzniku radikálových skupin .....	32
Obr. 13 Koloidní oxid křemičitý .....	34
Obr. 14 Schéma struktury sepiolitu.....	36
Obr. 15 Vlákna Sepiolitu.....	36
Obr. 16 Znázornění postupu zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým.....	39
Obr. 17 Znázornění postupu dodatečných zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým .....	40
Obr. 18 Znázornění postupu zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem .....	41
Obr. 19 Znázornění postupu dodatečných zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem .....	42
Obr. 20 Znázornění postupu zkoušek pastovité omítky .....	43
Obr. 21 Schéma zkušebního zařízení.....	45
Obr. 22 Skladba vstupních surovin pro modifikaci lepicí a stěrkové hmoty .....	50
Obr. 23 Skladba vstupních surovin pro modifikaci lepicí a stěrkové hmoty .....	51
Obr. 24 Celkový zbytek/propad na sítích: písek.....	54
Obr. 25 Celkový zbytek/propad na sítích: popílek.....	55
Obr. 26 Snímek popílku Dětmárovice. ....	56
Obr. 27 Celkový zbytek/propad na sítích: mletý vápenec Omyacarb .....	57
Obr. 28 Pevnost v tlaku a v ohybu.....	62
Obr. 29 Přídržnost k podkladu .....	63
Obr. 30 Přídržnost k izolantu z EPS .....	64
Obr. 31 Zadrž vody.....	66
Obr. 32 Vliv obsahu koloidního oxidu křemičitého směsi na teplotu hydratace .....	68

Obr. 33 Pevnost v tlaku .....	69
Obr. 34 Pevnost v ohybu .....	70
Obr. 35 Přidržnost k izolantu z EPS .....	71
Obr. 36 Přidržnost k podkladu .....	73
Obr. 37 Závislost objemu pórů na průměru pórů.....	74
Obr. 38 Nasákavost.....	75
Obr. 39 Termogram referenční směsi RK stáří 3 dny.....	77
Obr. 40 Termogram směsi K1 stáří 3 dny .....	77
Obr. 41 Termogram směsi K2 stáří 3 dny .....	78
Obr. 42 Termogram směsi K3 stáří 3 dny .....	78
Obr. 43 Termogram referenční směsi RK stáří 28 dnů. ....	79
Obr. 44 Termogram směsi K1 stáří 28 dnů.....	79
Obr. 45 Termogram směsi K2 stáří 28 dnů.....	80
Obr. 46 Termogram směsi K3 stáří 28 dnů.....	80
Obr. 47 Difraktogram vzorku referenční směsi stáří 3 dny .....	82
Obr. 48 Difraktogram vzorku referenční směsi stáří 28 dnů .....	82
Obr. 49 Difraktogram vzorku směsi K1 stáří 3 dny.....	83
Obr. 50 Difraktogram vzorku směsi K1 stáří 28 dnů .....	83
Obr. 51 Difraktogram vzorku směsi K2 stáří 3 dny.....	84
Obr. 52 Difraktogram vzorku směsi K2 stáří 28 dnů .....	84
Obr. 53 Difraktogram vzorku směsi K3 stáří 3 dny.....	85
Obr. 54 Difraktogram vzorku směsi K3 stáří 28 dnů .....	85
Obr. 55 Difraktogram vzorků směsí RK a K3 stáří 28 dnů .....	86
Obr. 56 Snímek z REM vzorek RK stáří 60 dní.....	87
Obr. 57 Snímek z REM vzorek RK stáří 60 dní.....	87
Obr. 58 Snímek z REM vzorek K3 stáří 60 dní. ....	88
Obr. 59 Snímky z REM vzorek RK vlevo a vzorek K3 vpravo stáří 60 dní.....	88
Obr. 60 Průměr vzniklého koláče.....	90
Obr. 61 Zadrž vody.....	91
Obr. 62 Přidržnost k podkladu .....	92
Obr. 63 Přidržnost k izolantu z EPS .....	93
Obr. 64 Difraktogram vzorku S3 stáří 28 dní.....	95
Obr. 65 Difraktogram sepiolitu .....	95
Obr. 66 Snímek z REM vzorek S3 stáří 60 dní .....	96
Obr. 67 Vniknutí kužele do zkušební nádoby obsahující zkušební směsi. ....	97
Obr. 68 Přidržnost k podkladu .....	98
Obr. 69 Nasákavost.....	99

---

Obr. 70 Difuzní ekvivalentní tloušťka vzduchové vrstvy .....	100
Obr. 71 Znečištění povrchu vzorku po zmrazovacích cyklech.....	102
Obr. 72 Vybavení pro dodatečné kotvení ETICS – PU lepidlo s aplikační pistolí a kovová síťka ve tvaru válce.....	108
Obr. 73 Příprava vzorků. ....	109
Obr. 74 Přilepení odtrhových terčů a vzorek po provedení odtrhu. ....	110
Obr. 75 Aplikace PU lepidla.....	111
Obr. 76 Příprava vzorků.....	111
Obr. 77 Vlevo vzorek připravený ve zkušebním lisu, vpravo po ukončené zkoušce.....	111
Obr. 78 Závislost smykové síly na dráze posunu zkušebního lisu .....	112



## L. Seznam použitých zkratek

ETICS	vnější tepelně izolační kompozitní systémy
PU	polyuretanové
MFT	minimální filmotvorná teplota
Tg	teplota skelného přechodu
EVA	etylen-vinyl acetát
SAE	styren-butyl akrylát
Veova	polyvinylester kyseliny versatikové
MHEC	methylhydroxyethyl celulóza
MHPC	methylhydroxypropyl celulóza
HEC	hydroxyethyl celulóza
UV	ultrafialové záření
ETA	Evropského technického schválení
STO	Stavebně-technického osvědčení
TMOS	tetramethylethoxysilan
TEOS	tetraethoxysilanu
RDA	rentgenová difrakční analýza
DTA	diferenční termická analýza
TG	termogravimetrie
EPS	pěnový polystyren
E	ettringit - $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$
C	kalcit - $\text{CaCO}_3$
Q	$\beta$ -křemen - $\text{SiO}_2$
B	$\beta$ -dikalciumsilikát - $\beta$ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
P	portlandit - $\text{Ca}(\text{OH})_2$
M	mullit - $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot2\text{SiO}_2$
ZC	zmrazovací cykly