

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



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

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

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

DURABILITY AND MAINTENANCE OF EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS

**TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE**  
DOCTORAL THESIS

**VĚDNÍ OBOR** 3911V006 Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství

**AUTOR PRÁCE** Ing. HYNEK REMEŠ

AUTHOR

**VEDOUCÍ PRÁCE** Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2012

Klíčová slova:

ETICS, trvanlivost, sanace, koloidní oxid křemičitý

Keywords:

ETICS, durability, redevelopment, colloidal silica

Název pracoviště:

Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## OBSAH

ÚVOD.....	4
<b>1 SHRUTÍ STÁVAJÍCÍCH POZNATKŮ .....</b>	<b>4</b>
1.1 ETICS .....	4
1.2 Práškové hmoty s anorganickým pojivem .....	5
1.3 Pastovité hmoty .....	5
1.4 PU pěny .....	6
1.5 Trvanlivost .....	7
1.6 Sanace .....	8
1.7 Modifikace .....	8
<b>2 CÍL PRÁCE .....</b>	<b>9</b>
<b>3 METODIKA PRÁCE.....</b>	<b>9</b>
3.1 Modifikace .....	9
3.2 Sanace .....	13
<b>4 VÝSLEDKY A ZJIŠTĚNÍ.....</b>	<b>13</b>
4.1 Modifikace lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým.....	13
4.2 Modifikace lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem .....	14
4.3 Modifikace pastovité omítky koloidním oxidem křemičitým .....	16
4.4 Sanace ETICS .....	17
4.4.1 Posouzení aktuálního stavu stavebně technickým průzkumem .....	17
4.4.2 Návrh sanace .....	19
4.4.3 Provedení přípravných prací a sanace .....	19
4.5 Dodatečné kotvení ETICS s využitím PU lepidla .....	21
4.5.1 Stanovení soudržnosti a přídržnosti PU lepidla k podkladu.....	21
4.5.2 Ověření možnosti dodatečného kotvení ETICS s využitím PU lepidla .....	22
4.5.3 Využití modifikovaných součástí ETICS pro sanaci .....	24
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>24</b>
<b>POUŽITÉ ZDROJE .....</b>	<b>25</b>
<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	<b>26</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>27</b>

## ÚVOD

Hlavní důvody uplatnění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (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.

## 1 SHRNU TÍ STÁVAJÍCÍCH POZNATKŮ

### 1.1 ETICS

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

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.

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, jež je opatřena pastovitou omítkou. V ojedinělých případech se pro zvláštní účely používá pastovitá lepicí stěrková hmota nebo polyuretanové (PU) lepidlo

## 1.2 Práškové hmoty s anorganickým pojivem

Práškové hmoty s anorganickým pojivem pro použití v ETICS lze rozdělit do dvou základních skupin: lepicí a stěrkové hmoty, minerální omítky. Hlavním pojivem těchto hmot je nejčastěji portlandský cement.

Cementové lepicí a stěrkové hmoty se po řádném smísení s vodou nanášejí na tepelný izolant, případně podklad, ve stanoveném množství a definovaným způsobem. Základní fyzikálně-mechanické vlastnosti se výrazně mění v prvních dnech po nanesení a jsou závislé především na obsahu cementu, modifikujících přísad a příměsí, zejména však na obsahu redispergovatelného polymerního prášku a derivátů etheru celulózy. 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.

K tuhnutí a tvrdnutí těchto hmot dochází chemickou reakcí cementu s vodou v důsledku hydratačních procesů. Vytvrzená hmota vykazuje zvýšený obsah hydroxidu vápenatého. 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.

Redispergovatelný polymerní prášek v cementových hmotách slouží především jako doplňující pojivo. Redispergovatelnost 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 [1]. Polymerní pojivo vnáší do cementových hmot zvýšenou přídržnost k podkladu, vyšší flexibilitu, nižší nasákavost a úpravu reologických vlastností čerstvé hmoty [2].

Ethery celulózy jsou vyráběny etherifikací celulózy, která je připravena 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 minimální filmotvornou teplotu (MFT) polymerního pojiva, zvyšují přídržnost k podkladu a tvorbu vzduchových pórů [3]. Nejběžněji používané deriváty celulózy jsou methylhydroxyethyl celulóza (MHEC), methylhydroxypropyl celulóza (MHPC), a hydroxyethyl celulóza (HEC).

## 1.3 Pastovité hmoty

Pastovité hmoty určené pro použití v ETICS jsou 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. Hlavním pojivem v těchto hmotách je obvykle polymerní disperze. Ke zpevnění těchto hmot dochází koalescencí polymeru.

Disperzní lepicí a stěrkové hmoty se vyrábějí smísením vodné polymerní disperze, plniv a dalších přísad upravujících konzistenci, stabilitu, nasákavost, biocidní ochranu, tvorbu filmu a pěnovost. Konečná povrchová úprava kromě estetické funkce zvyšuje odolnost systému proti povětrnostním vlivům. Základním pojivem pastovitých konečných povrchových úprav je polymerní disperze,

**Komentář [H1]:** Kolooidní křemík a jejej

kteřá 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.

Pojiva vnáší 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 lze rozdělit do tří skupin: polymerní disperze, silikonové emulze a silikátová pojiva.

Silikonové emulze jsou vyráběny polykondenzací silanů. Jejich přítomnost v omítkovinách a nátěrových hmotách přináší těmto hmotám lepší vlastnosti, zejména nižší nasákavost, vyšší propustnost vodní páry, odolnost vůči UV záření, odolnost vůči nízkým a vysokým teplotám. Nevýhodou silikonových emulzí je jejich omezená pojivová schopnost [4], kterou lze eliminovat kombinací s ostatními druhy pojiv, zejména se styren-akrylátovými disperzemi.

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 °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 organickými pojivy nebo přísadami a rovněž omezuje použití organických pigmentů. V běžně používaných silikátových hmotách určených pro ETICS je vodní draselné sklo kombinováno s dalšími pojivy, zejména se styren-akrylátovými disperzemi.

#### 1.4 PU pěny

V několika posledních letech se v ETICS prosazuje použití jednokomponentních PU lepidel jako lepicích hmot. Tuhnutí PU lepidel probíhá ve třech krocích [6]. 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.

## 1.5 Trvanlivost

Předpokládaný životní cyklus certifikovaných systémů je na základě aktuální technické specifikace stanoven na minimálně 25 let. Uvedený předpoklad je ovlivněn kvalitou použité skladby, návrhem, způsobem montáže, údržbou a užíváním. Závady vzniklé chybným návrhem, montáží nebo údržbou jsou již obecně známy a popsány v řadě publikací [7]. Na trvanlivost ETICS mají vliv další faktory [8]:

1. UV záření - Poškození povrchové úpravy, zejména polymerních pojiv a organických pigmentů působením UV záření. Degradace pojiv způsobuje kapilární trhliny, jež 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.

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. Za přítomnosti organických látek mohou na povrchu ETICS růst plísně, které jsou především estetickým defektem. V případě růstu řas, které v trhlínách 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 poškozuje povrch ETICS [9].

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 [10]. Podle doby vzniku rozdělujeme výkvěty primární vznikající v procesu tvrdnutí cementových hmot a sekundární vzniklé v důsledku nedostatku nebo přebytku vody [9].

Koroze povrchu pastovitých hmot probíhá fyzikálně chemickým procesem, kde hlavními činiteli jsou UV záření, povětrnostní vlivy, zvýšená alkalita podkladu. Degradace pojiva povrchové úpravy je spojená s vyplavováním pigmentů a jemných plniv, které lze otěrem odstranit z povrchu hmoty [11]. 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.

Polymerní disperze přináší povrchové úpravě určitou lepivost po vytvrzení, což ve svém důsledku zvyšuje náchylnost k zašpinění působením nečistot v ovzduší. Tato lepivost je závislá na typu a množství polymerní disperze. Určujícím faktorem ovlivňujícím lepivost polymerní disperze je teplota skelné přechodu kdy platí, že čím nižší  $T_g$  polymerního pojiva, tím vyšší její lepivost. Potlačení této nepříznivé vlastnosti lze docílit vhodným výběrem pojivového systému nebo jeho modifikací [4].

## 1.6 Sanace

Životnost a funkční vlastnosti ETICS závisí na údržbě a případné sanaci poruch [12]. Pravidelná údržba se stává zajímavou zejména při pohledu na náklady spojené s případným provedením nového zateplení. Pravidelnou údržbou lze značně prodloužit životnost systémů [13]. 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.

## 1.7 Modifikace

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

Koloidní oxid křemičitý je disperzní soustava obsahující částice oxidu křemičitého o velikosti 1 nm až 500 nm. 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 [14].

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

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. Ionově 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. Přímou 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 % SiO<sub>2</sub>. Tímto postupem, který má účinnosti 88 %, lze získat částice o velikosti od 55 nm do 245 nm.

Sepiolit (Mg<sub>4</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>15</sub>(OH)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) je jílový minerál vyskytující se ve formě vláknitých krystalů nebo ve formě amorfního materiálu. Vlákničitá forma tvoří protáhlé částice o velikosti 1 μm až 2 μm a šířce 0,01 μm, které obsahují otevřené kanály s rozměry 3,6 x 10,6 Å podél jejich osy. Sepiolit má největší měrný povrch ze všech jílových minerálů (přibližně 300 m<sup>2</sup>/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.



## 2 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem teoretické části bylo 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 byla 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.

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.

## 3 METODIKA PRÁCE

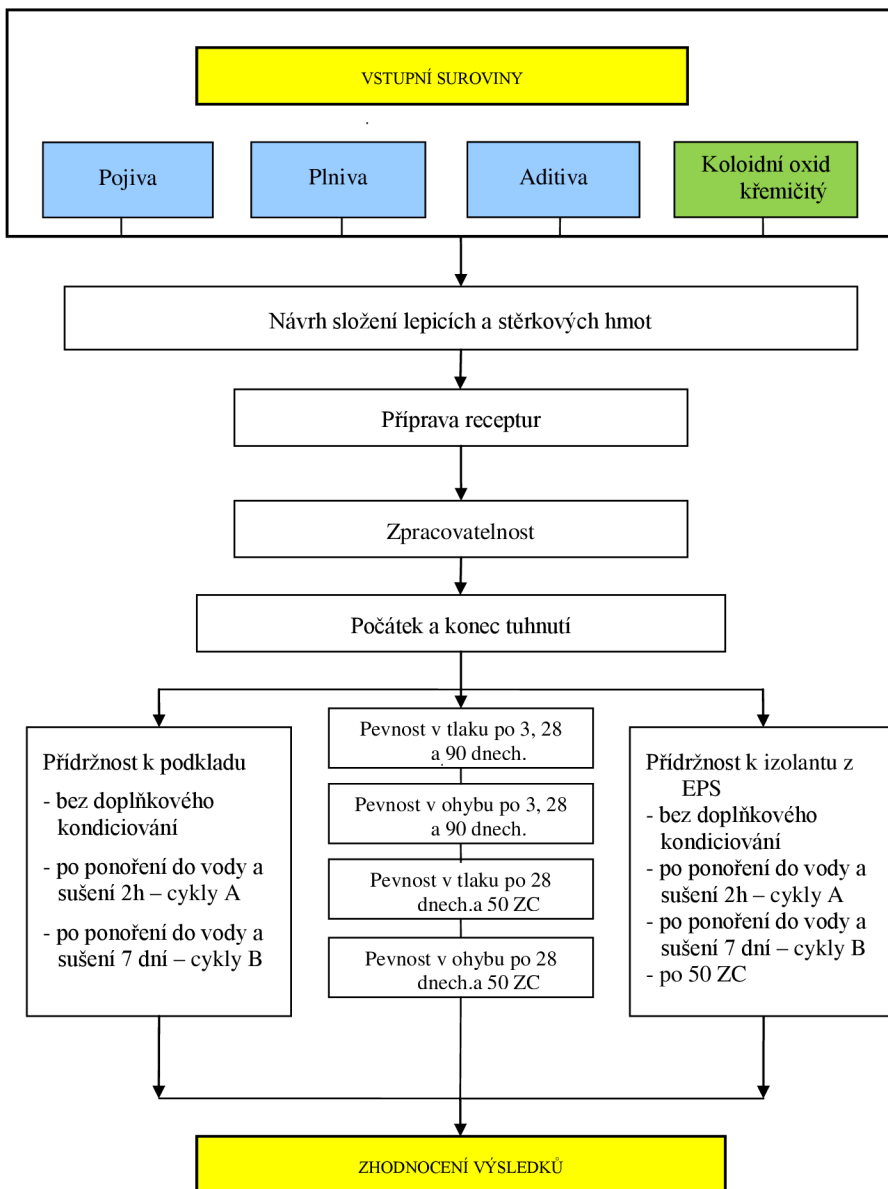
Modifikované směsi lepicích a stěrkových hmot s obsahem koloidního oxidu křemičitého jsou porovnány s referenčním vzorkem. Součástí těchto zkoušek je i ověření možnosti náhrady etheru celulózy sepiolitem z důvodu snížení ceny vstupních surovin. Koloidní oxid křemičitý je rovněž použit pro modifikaci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

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

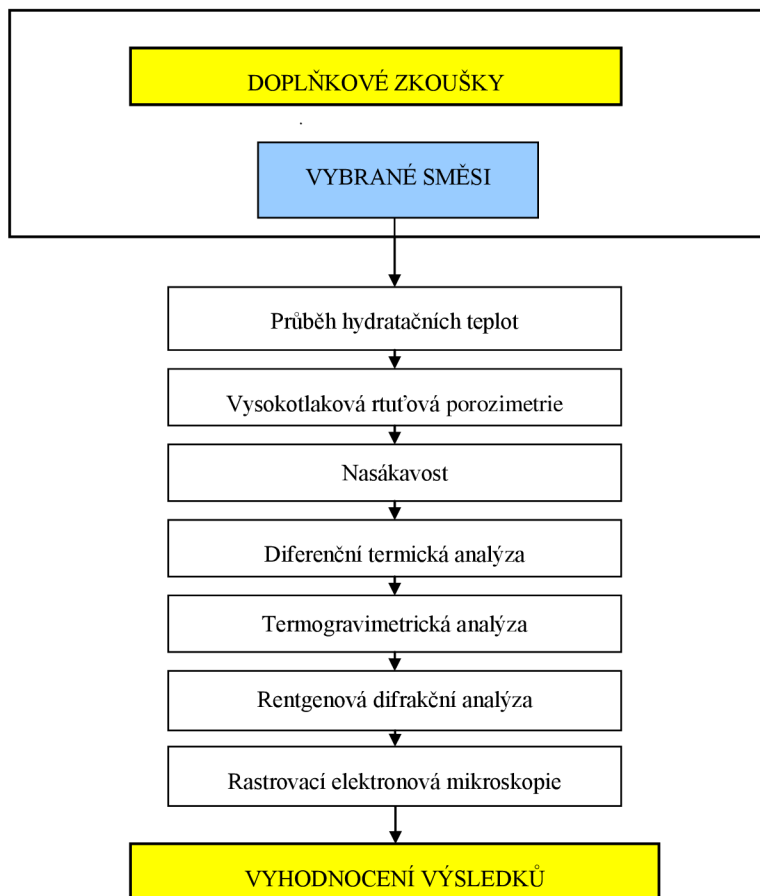
### 3.1 Modifikace

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

Před započítím modifikace cementové lepicí a stěrkové hmoty byla vytvořena referenční směs na základě startovací receptury. Dávkování redispersovatelného polymerního prášku a etheru celulózy bylo stanoveno na základě jednoduchých postupových zkoušek. Zkušební směsi se vytvořily přidáním koloidního oxidu křemičitého do referenční směsi. Poté proběhly stanovené základní zkoušky. Na základě stanovených zkoušek se vybraly směsi pro provedení doplňkových zkoušek a analýz. Součástí této fáze bude rovněž ověření využití sepiolitu jako náhrady etheru celulózy.



Obr.1 Znárodnění postupu zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým

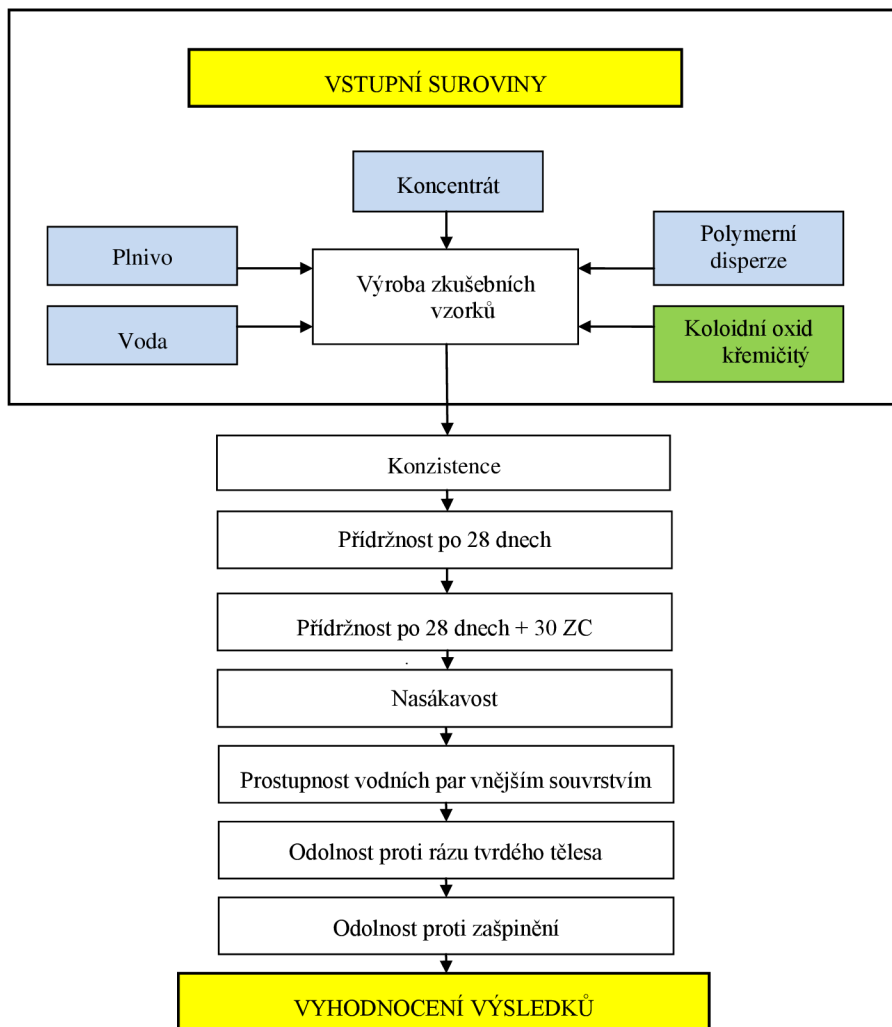


Obr. 2 Znáznornění postupu dodatečných zkoušek při modifikaci lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým

### Modifikace pastovité omítky

Pro modifikaci pastovité omítky bylo použito běžně vyráběné pastovité omítky, která byla 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.

Zkušební směsi modifikace pastovité omítky jsou připraveny homogenizací koncentrátu, plniv, polymerní disperze, vody a koloidního oxidu křemičitého. Postup prováděných zkoušek je znázorněn na obr. 3.



Obr. 3 Znázornění postupu zkoušek pastovité omítky

### 3.2 Sanace

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

## 4 VÝSLEDKY A ZJIŠTĚNÍ

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.

### 4.1 Modifikace lepicí a stěrkové hmoty koloidním oxidem křemičitým

Před započítím modifikace cementové lepicí a stěrkové hmoty byla vytvořena referenční směs. 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 vápenc nahrazen popílkem.

Tab.1 Složení navržených směsí lepicí a stěrkové hmoty s koloidním oxidem křemičitým

Složení směsi na 100 [g]				
Označení směsí	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

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 rozlité 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. Vzrůstající 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 vzrůstajícím obsahem koloidního oxidu křemičitého rostla objemová hmotnost a klesala celková pórovitost a nasákavost.

Tab. 2 Stanovení pórovitosti

Označení směsí	Celková objem pórů [mm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> ]	Celková plocha pórů [m <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> ]	Objemová hmotnost [g.cm <sup>-3</sup> ]	Měrná hmotnost [g.cm <sup>-3</sup> ]	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

Rentgenová difrakční analýza a diferenční termické analýza prokázaly přítomnost portlanditu a kalcitu ve všech směsích. Vzorky stáří 28 dnů vykazovaly rozdílné složení. Se vzrůstajícím obsahem koloidního oxidu křemičitého klesalo množství portlanditu a obsah CaCO<sub>3</sub> ve vzorku.

Tab. 3 Stanovení obsahu portlanditu u vzorků stáří 28 dnů.

Označení směsí	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

## 4.2 Modifikace lepicí a stěrkové hmoty sepiolitem

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.

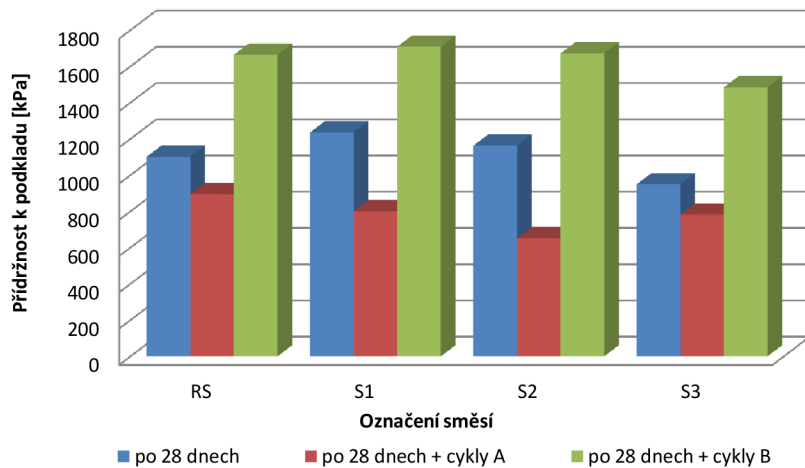
Tab. 4 Složení navržených směsí lepicí a sěrčkové hmoty s koloidním oxidem křemičitým a sepiolitem.

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

Limitní vlastností aplikace sepiolitu v cementových lepicích a sěrčkových hmotách je schopnost hmoty zadržet vodu v průběhu vyzrání.

Tab. 5 Zadrž vody

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



Obr. 4 Přidrženost k podkladu.

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.

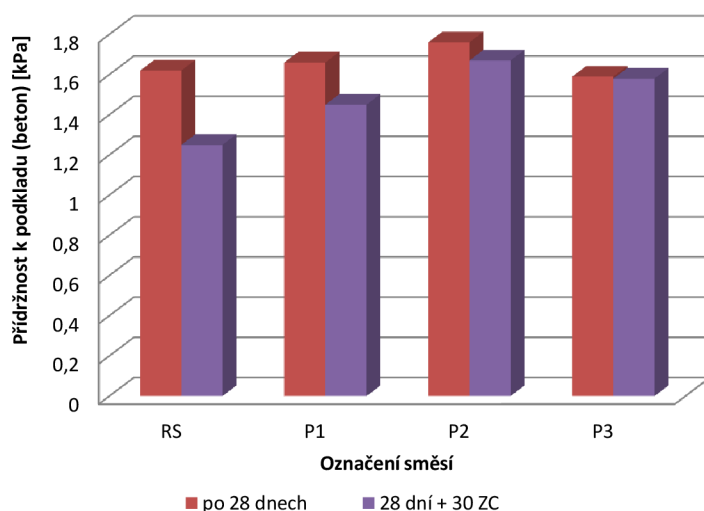
### 4.3 Modifikace pastovité omítky koloidním oxidem křemičitým

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, zahušťky, hydrofobní přísadu a regulátor pH. Zkušební směsi byly připraveny smísením koncentrátu, plniv, vody, polymerní disperze a koloidního oxidu křemičitého a byla provedena kontrola konzistence.

Tab. 6 Složení zkušebních směsí pastovité omítky.

Složení směsi na 100 [g]				
Označení směsí	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

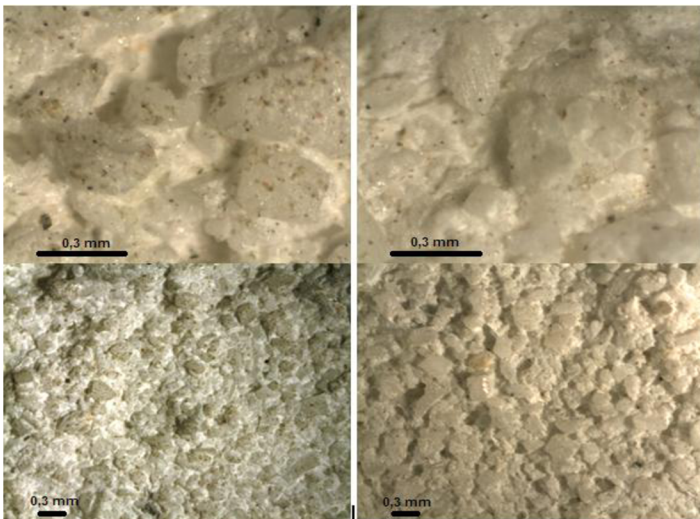
Z výsledků vyplývá, že přidavek koloidního oxidu křemičitého ve zkušebních směsích neměl přímý vliv na konzistenci, přídržnost zkušebních směsí k podkladu a nasákavost.



Obr. 5 Přidržnost k podkladu



S růstem obsahu koloidního křemíku ve zkušebních směsích rostla prostupnost vodních par vnějším souvrstvím, výrazný vliv přídavku na odolnost proti rázu tvrdého tělesa nebyl sledán. Snížením obsahu organického podílu lze dosáhnout zvýšení požární odolnosti a odolnosti proti zašpinění povrchu.



Obr. 6 Znečištění povrchu vzorku po zmrazovacích cyklech. Vlevo povrch vzorku RP a vpravo povrch vzorku P1

Lze předpokládat, že stabilita vůči UV záření u povrchových úprav obsahujících koloidní oxid křemičitý bude vyšší než v případě použití čistě organických pojiv.

#### 4.4 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.

##### 4.4.1 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.
  - 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.
  - 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.
  - 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.

#### 4.4.2 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 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.

#### 4.4.3 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. 7 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, provedení 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.

## 4.5 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 dodatečné 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.

### 4.5.1 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 kohezni pevnost aplikovaného PU lepidla. Stanovení přídržnosti lepicí hmoty k podkladu je v rámci ověření vlastností ETICS prováděna podle metodiky uvedené v ETAG 004. 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. 7).



Obr. 7 Příprava vzorků.

Po 24 hodinách byl izolant z EPS odstraněn a odhrnové terče (50x50 mm) připevněny PU lepidlem shodným s ověřovaným PU lepidlem (obr. 8). Po 24 hodinách byly vzorky PU lepidla oříznuty kolem odhrnových terčů až k podkladu a následně byly provedeny odtrhy. Stanovené hodnoty přídržnosti PU lepidla k zkušebnímu podkladům jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Přídržnost PU lepidla k zkušebním podkladům

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



Obr. 8 Přilepení odtrhových terčů a vzorek po provedení odtrh.

#### 4.5.2 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 naneseno PU lepidlo. Po 24 hodinách zrání PU lepidla bylo provedeno stanovení stříhového zatížení.

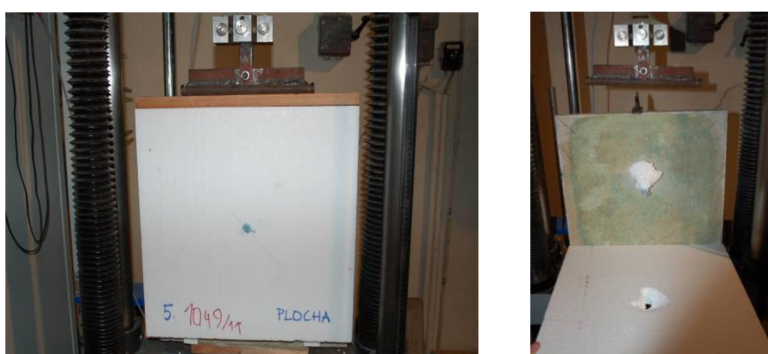


Obr. 9 Příprava vzorků

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 (obr. 9).

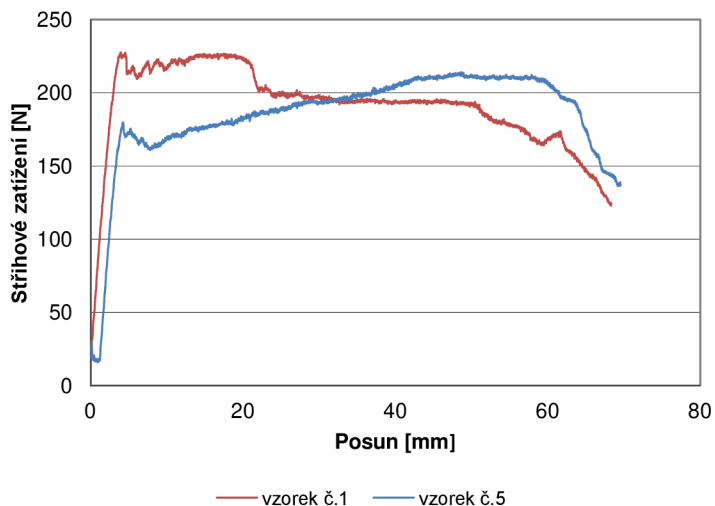
Tab. 9 Maximální hodnoty stříhového zatížení

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



Obr. 10 Vzorek připravený ve zkušebním lisu a po ukončené zkoušce

Stanovené hodnoty maximálního stříhového zatížení pro dodatečné kotvení pomocí PU lepidla jsou uvedeny v tab. 9. Průběh závislosti stříhového zatížení na dráze posunu zkušebního lisu je znázorněn na obr. 11.



Obr. 11 Závislost smykové síly na dráze posunu zkušebního lisu

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 nižší, nicméně pravdivěji reflektují způsob aplikace PU lepidel a jejich vlastnosti.

### 4.5.3 Využití modifikovaných součástí ETICS pro sanaci

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.

## ZÁVĚR

Cílem této práce 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.

## POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Ohama, Y. Polymer-based Admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 1998, vol. 20, s. 189-212.
- [2] Ohama, Y. Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars, Properties and Process Technology. Elsevier, 1995. 246 s. ISBN 978-0-8155-1358-2.
- [3] Brandt, L. Cellulose Ethers. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, 1986.
- [4] Schwartz, M., Baumstark, R. Waterbased Acrylates for Decorative Coatings. Hannover: Vincentz Verlag, 2001.
- [5] Hlaváč, J. Základy technologie silikátů. Praha : SNTL, 1981.
- [6] Felixberger, J.K. Polymer-modified thin-bed tile adhesive. Augsburg : BASF SE, 2008.
- [7] J Šála, J., Machatka, M. Snížení spotřeby tepla na vytápění zateplených stěn bytových a rodinných domů, Díl I. Praha : CZB ČR.
- [8] Daniotti, B., Paolini, R. Evolution of degradation and Decay in performance of ETICS. International conference on durability of building materials and components, Istanbul, 2008.
- [9] Pytlík, K. Technologie betonu. Brno : VUT, 1997.
- [10] Aberle, T., Keller, A., Zurbriggen, R. Efflorescence Mechanism of Formation and ways to Prevent. ELOTEx, 2005.
- [11] Schwartz, M., Baumstark, R. Waterbased Acrylates for Decorative Coatings. Hannover: Vincentz Verlag, 2001.
- [12] 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.
- [13] Kunzel, H., Kunzel H.M., Sedlbauer K. Long-term performance of external thermal insulation systems (ETICS). *Architectura*, 2006, vol. 1, s. 11-24.
- [14] 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. s. 2117-2123.

## CURRICULUM VITAE

### Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Ing. Hynek Remeš  
Datum a místo narození: 16. 9. 1974, Jeseník  
Trvalé bydliště: Husova 714/23, 790 01 Jeseník

### Dosažené vzdělání:

1992 – 1997 VŠCHT Praha – Fakulta chemické technologie, Ústav inženýrství pevných látek  
1988 – 1992 Střední průmyslová škola chemická Ostrava, obor chemické technologie

### Pracovní zkušenosti:

2011 – dosud SELENA FM S.A., technický manažer, vývoj stavebních hmot a systémů.  
2009 – 2012 SELENA Bohemia, s. r. o., technický pracovník divize zateplovací systémy, certifikace a technická podpora prodeje.  
2004 - 2008 STOMIX, spol. s r. o., pracovník technického úseku, vývoj stavebních hmot a systémů, certifikace, vedení podnikových laboratoří.  
2001 - 2003 Qualichem, spol. s r.o., technolog, výroba protipožárních nátěrů a přípravků na ochranu dřeva a zdiva.  
1998 - 1999 Moravolesk, a.s., chemik, vývoj materiálů pro leštění olovnatého skla.

### Publikační činnost:

- [1] REMEŠ, H.; ŽIŽKOVÁ, N. Vliv klimatických podmínek při provádění ETICS na soudržnost základní vrstvy. In *Zborník príspevkov zo XVII. konferencie s medzinárodnou účasťou*. Košická Belá, Technická univerzita v Košiciach. 2011. p. 168 - 171. ISBN 978-80-553-0685-8.
- [2] ŽIŽKOVÁ, N.; REMEŠ, H.; KOLÁŘ, J. Hmoty pro ETICS se zvýšenou odolností vůči působení vyšších teplot. In *Zborník príspevkov zo XVII. konferencie s medzinárodnou účasťou*. Košická Belá, Technická univerzita v Košiciach. 2011. p. 197 - 202. ISBN 978-80-553-0685-8.
- [3] REMEŠ, H.; ŽIŽKOVÁ, N. Modifikace polymercementové stěrky koloidním oxidem křemičitým. In *Sborník příspěvků SANACE 2012*. Brno, SSBK, 2012, p. 128 – 131. ISSN 1211-3700.
- [4] REMEŠ, H. Ověření vlastností PU lepidla pro dodatečné kotvení vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů, In *Juniorstav 2012*. VUT Brno, Fakulta stavební. 2012. p. 353. ISBN 978-80-214-4393-8.
- [5] ŽIŽKOVÁ, N.; REMEŠ, H. Lepicí a stěrková hmota pro ETICS využívající odpadní křemelinu a popílek. In *Zborník príspevkov z XVIII. medzinárodnej konferencie*. 1. Žilina, Žilinská univerzita. 2012. p. 160 - 164. ISBN 978-80-554-0528-5.
- [6] REMEŠ, H.; ŽIŽKOVÁ, N. Využití koloidního oxidu křemičitého v polymercementových stěrkách. In *Zborník príspevkov z XVIII. mezinárodnej konferencie*. 1. Žilina, Žilinská univerzita. 2012. p. 149 - 152. ISBN 978-80-554-0528-5.

- [7] REMEŠ, H. Stanovení přídržnosti PU lepidla k podkladu v rámci ověření vlastností vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS), In. *Zkoušení a jakost ve stavebnictví*, Brno, VUT Brno. 2011. p. 322 - 324. ISBN 978-80-214-3438-9.
- [8] REMEŠ, H. Zateplovací systémy (ETICS) s využitím PU lepidel, *Povrchové úpravy*, Press Agency, Praha, 2011, p. 27 – 28, ISSN 0551 - 7354
- [9] REMEŠ, H. Vnější tepelně izolační kompozitní systémy (ETICS) s využitím nízkoexpanzčních polyuretanových lepidel. In *Sborník příspěvků SANACE 2011*. Brno, SSBK, 2011, p. 76 – 78. ISSN 1211-3700.
- [10] REMEŠ, H. Ověření charakteristik PU lepidla jako lepicí hmoty pro vnější tepelně izolační kompozitní systémy. *Tepelná ochrana budov*, ČKAIT, Praha, v recenzním řízení – tisk 2013. ISSN 1213-0907.

## 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, jež jsou součástí ETICS.

Úkolem etapy věnované sanaci ETICS bylo navržení postupu posuzování stavu a postupu sanace jednotlivých poruch. Součástí této etapy bylo ověření využití PU lepidla pro dodatečné kotvení ETICS. Zvolený postup se ukázal jako vhodný pro simulaci podmínek zatížení ETICS vlastní vahou a výsledky přinesly potvrzení možnosti této aplikace.

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  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  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 s využitím modifikovaných součástí může přinést zlepšení jeho fyzikálně-mechanických vlastností, prodloužení trvanlivosti a snížení rizika vzniku estetických závad.