



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# ANALÝZA METOD HODNOCENÍ ŠPINIVOSTI ETICS

ANALYSIS OF METHODS FOR EVALUATION ETICS DIRTINESS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Krejčík

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

BRNO 2019



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jakub Krejčík
Název	Analýza metod hodnocení špinivosti ETICS
Vedoucí práce	doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

---

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

---

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

## **PODKLADY A LITERATURA**

Amaro, B. at al. Inspection and diagnosis system of ETICS on walls, Construction and Building Materials, Vol. 47, 2013, p. 1257–1267

ČSN 73 2901 Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS), 2017.

ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, 2011.

Další příslušné technické normy a odborná literatura.

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

První vnější tepelně izolační kompozitní systémy ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) se začaly v Evropě výrazně uplatňovat koncem sedmdesátých let minulého století, v České republice koncem devadesátých let. V současnosti se jedná o velmi často využívanou technologii s různými finálními povrchovými úpravami, kde jedno z aktuálních témat představuje problematika hodnocení špinivosti resp. samočistící schopnosti ETICS. Tato práce bude zpracována ve spolupráci s firmou STAVEBNINY DEK.

V diplomové práci proveďte:

1. Za použití tuzemské a zahraniční odborné literatury zpracujte rešerši zaměřenou na problematiku špinivosti a samočistící schopnosti povrchových úprav ETICS.
2. Na základě získaných informací navrhnete metodiku hodnocení míry zašpinění povrchové úpravy ETICS a prakticky ověřte.
3. Dále navrhnete metodiku umělého zašpinění ETICS, která by umožnila hodnocení odolnosti povrchových úprav ETICS vůči zašpinění. Tuto metodiku rovněž prakticky ověřte.
4. Proveďte zhodnocení dosažených výsledků a rozbor problematiky s doporučením týkajícím se vhodnosti použití navržených postupů ve stavební praxi.

Rozsah práce 60–80 stran.

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou špinivosti povrchových vrstev systému ETICS (External thermal insulation contact system). V teoretické části jsou popsány činitelé způsobující zašpinění a procesy probíhající při ulpívání nečistot. Praktická část poté hodnotí vliv níže popsaných aspektů na jejich špinivost. A zároveň sleduje rozdíly ve špinění v závislosti na druhu materiálu a výrobci. Byla vypracována metodika na provedení umělého špinění s kontrolovatelnými a opakovatelnými podmínkami ve speciálním simulátoru, tato metodika byla zároveň ověřena prakticky. Souběžně byly jednotlivé omítky vystaveny působení přirozenému prostředí, pro srovnání laboratorních a skutečných podmínek.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Omítka, ETICS, špinění, hodnocení, fasáda, metodika

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with problems of dirtiness of surface layers of ETICS (External thermal insulation contact system). In the theoretical part, soil damping agents and processes occurring when adhering dirt are described. The practical part then evaluates the impact of the aspects described below on their dirtiness. At the same time, it monitors the differences in staining depending on the type of material and the manufacturer. A methodology for artificial staining with controllable and repeatable conditions was developed in a special simulator, and this methodology was also verified practically. Simultaneously, individual plasters were exposed to the natural environment, for comparison of laboratory and actual conditions.

## **KEYWORDS**

Plaster, ETICS, staining, evaluation, facade, methodology

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

BC. KREJČÍK, Jakub. *Analýza metod hodnocení špinivosti ETICS*. Brno, 2019. 84 s., 0 s. příl.  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Analýza metod hodnocení špinivosti ETICS* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 4. 1. 2019

---

Bc. Jakub Krejčík  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Analýza metod hodnocení špinivosti ETICS* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 4. 1. 2019

---

Bc. Jakub Krejčík  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě chci poděkovat paní doc. Ing. Nikol Žižkové, Ph.D za odborné vedení, ochotu a trpělivost při vypracovávání této diplomové práce. Dále chci také poděkovat panu Ing Antonínu Žákovi, Ph.D za cenné rady a nápady, konzultace a trpělivost. Dále také Ing. Tomáši Klossovi a Ing. Lukáši Rundtovi za pomoc s přípravou praktické části a v neposlední řadě patří díky Ústavu automatizace a měřící techniky, FEKT VUT za pomoc s vytvořením simulátoru.



## OBSAH

ÚVOD.....	13
CÍL PRÁCE.....	13
TEORETICKÁ ČÁST.....	15
1 ZNEČIŠTĚNÍ FASÁD.....	15
1.1 Charakteristika materiálu fasády.....	15
1.1.1 Vlastnosti materiálu.....	16
1.2 Znečišťující činitelé.....	17
1.2.1 Biologické znečištění.....	17
1.2.2 Výkvěty.....	19
1.2.3 Vápenné výkvěty.....	20
2 NEBIOLOGICKÉ ZNEČIŠTĚNÍ.....	20
2.1 Ulpívání nečistot.....	20
2.1.1 Mechanické ulpívání nečistot.....	21
2.1.2 Termoprecipitace.....	21
2.1.3 Elektrostatické působení.....	23
2.1.3.1 Vliv elektrostatického náboje na špinění omítek.....	24
2.2 Znečišťující činitele.....	26
2.2.1 Oxid siřičitý.....	26
2.2.2 Oxidy dusíku.....	26
2.2.3 Přízemní ozon.....	26
2.2.4 Prachové částice.....	27
2.2.4.1 Charakteristika a chování v atmosféře.....	27
2.2.4.2 Měření znečištění.....	27

2.2.4.3	Prachové částice antropogenního původu .....	29
2.2.4.4	Prachové částice environmentálního původu .....	31
3	SAMOČISTÍCÍ SCHOPNOST OMÍTEK.....	31
3.1	Fotokatalýza.....	31
3.1.1	Reakce fotokatalýzy .....	32
3.2	Fotokatalýza ve stavebnictví.....	33
4	VYBRANÉ VLASTNOSTI OMÍTEK.....	35
4.1	Luminiscenční referenční hodnota .....	35
4.2	Objemová hmotnost .....	35
4.3	Tepelná vodivost.....	35
4.4	Permeabilita vody.....	36
4.5	Faktor difuzního odporu.....	36
	<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>37</b>
	<b>ETAPA I.....</b>	<b>38</b>
5	VÝBĚR MATERIÁLŮ.....	38
5.1	Omítky skupiny A.....	39
5.1.1	A1S.....	39
5.1.2	A2PO .....	39
5.2	Omítky skupiny B .....	40
5.2.1	B1S.....	40
5.2.2	B2MO .....	40
5.3	Omítky skupiny C .....	41
5.3.1	C1S.....	41
5.3.2	C2PO .....	41

5.4	Omítky skupiny D.....	41
5.4.1	D1S .....	41
5.4.2	D2SO .....	42
5.5	Omítky skupiny E .....	42
5.5.1	E1S.....	42
5.5.2	E2SO .....	42
5.6	Omítky skupiny F.....	43
5.6.1	F1S.....	43
5.6.2	F2MO.....	43
ETAPA II.....		45
6	PŘIROZENÉ ŠPINĚNÍ.....	45
6.1	Příprava vzorků .....	46
6.1.1	Vzorky fasád.....	47
6.1.2	Referenční vzorky.....	48
6.1.2.1	Příprava referenčních vzorků.....	48
6.2	Osvětlovací zařízení.....	49
6.3	Metody a postupy .....	50
ETAPA III .....		51
7	UMĚLÉ ŠPINĚNÍ.....	51
7.1	Příprava vzorků .....	51
7.2	Postupy a metody.....	52
7.2.1	Simulátor špinění .....	53
7.2.2	Postup zkoušení .....	53
ETAPA IV .....		56

8	VYHODNOCENÍ .....	56
8.1	Vzorky po simulaci špinění .....	57
8.1.1	Vzorky skupiny A .....	57
8.1.2	Vzorky skupiny B .....	59
8.1.3	Vzorky skupiny C .....	60
8.1.4	Vzorky skupiny D .....	61
8.1.5	Vzorky skupiny E .....	62
8.1.6	Vzorky skupiny F .....	63
8.2	Snímky z mikroskopu .....	66
8.3	Snímky přirozeného špinění .....	68
8.3.1	Vzorky skupiny A .....	68
8.3.2	Vzorky skupiny B .....	69
8.3.3	Vzorky skupiny C .....	70
8.3.4	Vzorky skupiny D .....	71
8.3.5	Vzorky skupiny E .....	72
8.3.6	Vzorky skupiny F .....	72
8.4	Diskuze výsledků .....	74
8.5	Závěr .....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	81
	SEZNAM TABULEK .....	84
	ZDROJE .....	84

## ÚVOD

V posledních letech došlo k velkému rozvoji použití pastovitých omítek jako finální vrstvy zejména na bytových stavbách. S rozvojem těchto omítek souvisí i zvýšená nespokojenost, v krajním případě i reklamace, spojená s estetickým vzhledem fasády již po několika málo letech. Rostoucí průmyslová výroba představující stacionární zdroje znečištění a autodoprava reprezentující významné mobilní zdroje znečištění zvyšují podíl znečišťujících látek v ovzduší, které nám mohou negativně ovlivnit vzhled fasády.

Výrobci stavebních hmot musí reagovat na stále se zvyšující požadavky týkající se prodloužení životnosti stavebního díla. Investoři kladou důraz nejen na funkční ale i estetické hledisko a finální vzhled stavby po celou dobu užívání je tak důležitým parametrem. Proto je potřeba pochopit a popsat procesy vedoucí ke znečišťování povrchových vrstev staveb, abychom mohli nežádoucí projevům zašpinění fasády předcházet, v ideálním případě jim úplně zabránit.

V případě omítek lze na trhu najít produkty, které jsou výrobci deklarovány jako samočisticí. S ohledem na aktuálnost tohoto tématu plyne ze stavební praxe požadavek na možnost jednoduchého testování odolnosti povrchových úprav vůči zašpinění.

## CÍL PRÁCE

Cílem práce je hodnocení špinivosti povrchových vrstev systému ETICS, které jsou vystaveny působení okolního prostředí. V současnosti se jedná o velmi diskutované téma. Avšak zatím nebyly dostatečně popsány procesy probíhající při špinění omítek fasádních systémů. Tato práce si kládla za cíl zjištění důvodu ulpívání nečistot na povrchu fasád a popsání samočisticích schopností těchto vrstev.

Jednotlivé cíle práce jsou rozděleny následovně:

- Za použití tuzemské a zahraniční odborné literatury zpracovat rešerši zaměřenou na problematiku špinivosti a samočistící schopnosti povrchových úprav ETICS.
- Na základě získaných informací navrhnout metodiku hodnocení míry zašpinění povrchové úpravy ETICS a prakticky ověřit.
- Dále navrhnout metodiku umělého zašpinění ETICS, která by umožnila hodnocení odolnosti povrchových úprav ETICS vůči zašpinění a tuto metodu rovněž prakticky ověřit.
- Zhodnotit dosažené výsledky a provést rozbor problematiky s doporučením týkajícím se vhodnosti použití navržených postupů ve stavební praxi.

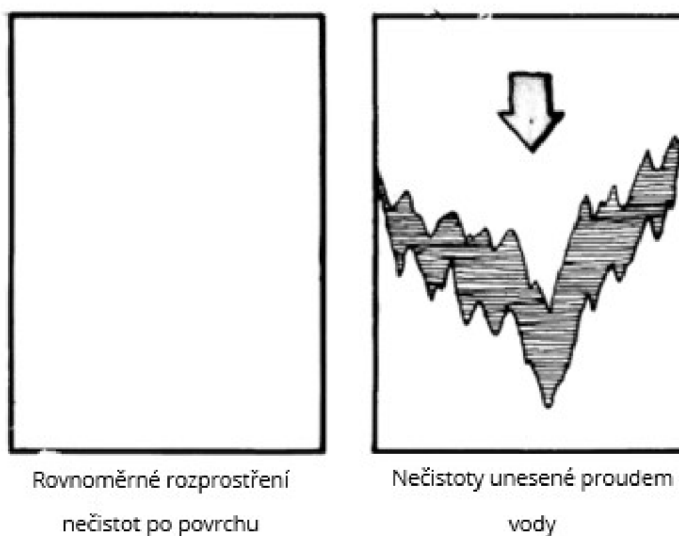
## TEORETICKÁ ČÁST

### 1 Znečištění fasád

Znečištění fasád je určeno třemi základními faktory:

- Biologickými a nebiologickými činiteli
- Charakteristikou materiálu fasády
- Působením větru a srážek

Důležitou součástí špinění fasád je tok vody. Bez tohoto faktoru by k usazování nečistot na fasádách nedocházelo tak často. Při pohybu kapaliny po povrchu dochází k zachytávání nečistot a jejich opětovnému usazení, jak můžeme vidět na Obrázek č. 1. Tento jev se dá přirovnat k toku řeky, kdy proud unáší pevné částice a ty se opět usazují ve chvíli, kdy proud vody zeslábne. [1]



Obr. č. 1 - Pohyb nečistot vlivem proudění vody [1]

#### 1.1 Charakteristika materiálu fasády

Špinění fasády z hlediska materiálů je ovlivněno:

- Původem použitých materiálů

- Množstvím a typem znečišťujících elementů
- Větreem a srážkami [1]

### 1.1.1 Vlastnosti materiálu

Ne jenom typ materiálu, ale také jeho povrchové charakteristiky mají značný vliv na jeho špinění, ať už z hlediska adheze či viditelnosti znečišťujících látek.

Vlastnosti povrchu materiálů se mohou výrazně lišit od samotných vlastností materiálu jako celku. Například povrch betonu může během vystavení ovzduší značně změnit své povrchové vlastnosti (karbonatace, vytváření nových sloučenin...).

Fasádní materiály můžeme rozdělit do dvou skupin:

- Pórovité – beton, cihly, kámen a dřevo
- Nepórovité – sklo, plast, kovy

Na tomto rozdělení závisí další faktory ovlivňující špinění a těmi jsou

- Nasákavost – nám vyjadřuje, jaké maximální množství vody je materiál schopen pojmout
- Absorpční schopnost – rychlost s jakou je materiál schopen přijímat vlhkost

**Zadržování nečistot.** Jako nečistoty můžeme klasifikovat širokou škálu částic, které se podílejí na špinění fasád. Množství těchto částic bude záležet na:

- Velikosti částic
- Jejich adhézních schopnostech

Lze předpokládat, že pórovité materiály budou přijímat a zadržovat větší množství nečistot než nepórovité. Z hlediska adheze na konstrukci máme dva základní druhy:

- Mechanickou – kdy dojde k usazení nečistot do pórů na konstrukci
- Specifickou – ta nastává, pokud je povrch mokrá a dokáže tuto vlhkost předat nečistotě; tato vazba se posiluje s rostoucí fyzikální vlhkostí



**Textura.** Textura povrchu je diskutovaným tématem, zda napomáhá či zhoršuje špinění fasád. Na jednu stranu dochází díky hrubé textuře povrchu k přerušování toku vody po povrchu, čímž nesmývá nečistoty na jedno místo a nevytváří jasný kontrast mezi čistou a špinavou částí fasády. Na druhou ovšem hrubost povrchu poskytuje větší plochu a více možnosti k usazení nečistot.

**Barva.** U fasád se světlejšími barvami bylo pozorováno větší znečištění než u fasád s tmavšími barvami. Obzvláště u betonu byl prokázán značný kontrast mezi vyčištěnou a nevyčištěnou částí povrchu.

**Rozpustnost.** U některých materiálů může vlivem proudící vody dojít k jejich rozplavení. Nejčastěji tento jev můžeme pozorovat u střech, kde voda stékající z měděných prvků na fasádu vytváří zelený povlak na povrchu konstrukce. [1]

## 1.2 Znečišťující činitelé

Činitele, kteří způsobují znečištění, lze rozdělit do dvou základních skupin, a to biologické a nebiologické.

### 1.2.1 Biologické znečištění

Biologické znečištění bývá velmi často mylně zaměňováno se znečištěním, způsobeným nejrůznějšími minerály.

Typy biologických organismů:

- **Bakterie** – jedná se o organismy, které žijí jako samostatné buňky nebo v koloniích, mohou být přítomny téměř všude, většinou pochází ze zeminy nebo z vody. Je téměř nemožné je vidět na fasádě ale způsobují změnu barvy a rozklad kovů.
- **Řasy** – přijímají energii ze slunce a volně se pohybují ve vzduchu ve formě spórů. Existuje mnoho druhů, které se liší svojí schopností odolávat různým prostředím a také barvou. Mohou způsobovat zelené, hnědé, ale taky červené zbarvení. I když potřebují k růstu vlhkost, jsou schopny bez přísunu

vody přežít až rok a poté opět při obnovení vlhkosti narůst. I když dojde k odumření řas, mohou sloužit jako zdroj pro růst hub a bakterií.

- **Houby** – Tyto organismy potřebují k růstu vlhkost ale ne sluneční světlo. Některé druhy mohou vylučovat organické kyseliny, které jsou schopny narušovat nátěry a omítky [1]

Po delší době, kdy mohou volně růst bakterie a houby na fasádě, se mohou zformovat další organismy. Příkladem mohou být lišejníky, které vznikají symbiozou určitého druhu houby a řasy. Největším nebezpečím, vyjma estetického, je schopnost lišejníku zachycovat vodu, která může při zmrznutí narušit konstrukci prasklinami. Dalším organismem, který může vzniknout na napadené fasádě je mech. Mechy vznikají na povrchích, ve kterých je obsažena sůl, zemina a hlíny. Proto jsou často nacházeny na střeších, zašpiněných cihlách a ve žlabech.

V průběhu času, pokud nedojde k čištění a ochraně fasády, dochází k dalšímu vývoji organismů, který přechází k postupně složitějším uskupením až do formy, rostlin a keřů. [1]

Podmínky pro růst organismů:

- Hodnota pH (optimální hodnota 5-9)
- Vlhkost (35 – 70 %)
- Teplota (optimální teplota závisí podle druhu bakterie)
- Světlo (UV záření většinou napomáhá rozkladu bakterií) [1]

## 1.2.2 Výkvěty

Proces tvorby výkvětů byl v minulosti již několikrát popsán. K tomuto jevu dochází, pokud se v pórové struktuře materiálu nachází rozpustné soli. Díky migraci vody s obsaženými soli k povrchu konstrukce dojde k jejímu odpaření. Po vykrystalizování těchto solí dojde k vytvoření bílého povlaku na konstrukci. Jedná se pouze o estetickou vadu nikoliv o nebezpečnou pro konstrukci. Ve většině případů, se tento jev projevuje u nových objektů viz obrázek č. 2 a obrázek č. 3 a během zhruba 1 roku dojde k odstranění těchto „solných map“ díky dešti. Avšak pokud je v konstrukci, nebo



*Obr. č. 2 - Ukázka výkvětů na cihlovém zdivu [1]*



*Obr. č. 3 - Ukázka výkvětů na cihlovém zdivu [1]*

v okolí zdroj těchto solí, může v průběhu času docházet k opětovnému vytvoření těchto výkvětů, dokud nedojde k vyčerpání zdroje solí.

### **1.2.3 Vápenné výkvěty**

Jedná se o velmi podobnou závadu, jako jsou výkvěty. Tento jev nastává, pokud v konstrukci dojde k prosakování vody a vápence z cementu a dalších komponent konstrukce je vyplavován na povrch konstrukce, kde přechází do nerozpustné formy, při kontaktu s oxidem uhličitým z atmosféry. Na rozdíl od výkvětů se nejedná o dočasný problém a jeho odstranění může být leckdy obtížné, často vyžadující chemický zásah. Vyhnout se tomuto problému je velmi těžké, a to z důvodu obsahu vápna v cementu a ve většině malt a omítek. Jediným způsobem, jak se vyhnout tomuto projevu je kontrolovat pohyb vlhkosti v konstrukci a dbát na kvalitu provedení prací u detailů, kde je předpokládán zvýšený výskyt vlhkosti. [1]

## ***2 Nebiologické znečištění***

### **2.1 Ulpívání nečistot**

Princip ulpívání nečistot, které se nacházejí v atmosféře, na fasádách může být způsoben několika faktory, nebo dokonce jejich kombinací. Usazování nečistot je způsobeno pravděpodobně jedním ze tří níže popsaných procesů:

- Mechanické ulpívání nečistot
- Termoprecipitace
- Elektrostatické působení

## 2.1.1 Mechanické ulpívání nečistot

Mechanické ulpívání nečistot na povrchu je nejjednodušším procesem usazování nečistot. Jedná se o usazení nečistot v nerovnostech vytvořených v materiálu fasády. Největší měrou se na tomto způsobu podílí textura použitého materiálu. Ve fasádních systémech ETICS (external thermal insulations contact system) s použitím omítky vždy vzniknou nerovnosti způsobené zrnitostí omítky, jak můžeme vidět na obrázku č. 4.



*Obr. č. 4 - Struktura fasádní omítky [4]*

Čím hladší bude povrch fasády, tím menší množství nečistot na něm ulpí. A však i přesto vidíme nečistoty ulpívat i na skleněných fasádách nejrůznějších objektů. Z tohoto lze usuzovat, že mechanické ulpívání nečistot, se podílí na znečištění fasád, avšak nejedná se o jediný důvod ulpívání nečistot na povrchu.

## 2.1.2 Termoprecipitace

Vše kolem nás je neustále ohříváno a opět chlazeno, ať už přírodními nebo umělými zdroji. Z tohoto důvodu vyplývá, že ne vše kolem nás má stejnou teplotu, v závislosti na čase a prostoru. Tento jev má za následek vznik teplotních gradientů,

keré posléze zapřičiňují pohyb okolního vzduchu. Tento pohyb se nazývá termodifúze či termoforéza, při kterých se částice pohybují ve směru klesající teploty. Termodifúze je prostup tepla přes pórovitou hmotu (v našem případě stavební materiál konstrukce) a termoforéza závisí jen na rozdílu teplot. V místě aerosolu s vyšší teplotou přijímají molekuly vzduchu více kinetické energie a dochází ke zvýšení jejich kmitání. Tento pohyb molekul ovlivňuje pevné částice aerosolu a ty jsou unášeny do míst s nižší teplotou. Pokud je toto místo na povrchu nějakého objektu, částice tomuto objektu předají svojí kinetickou energii a dojde k jejich usazení. Tento děj se odehrává od teplotních rozdílů v řádech desetin stupně a nazývá se termoprecipitace. Projevem termoprecipitace mohou být znečištěná místa nad otopnými tělesy a průduchy, prokreslení spár nebo kotev a zejména prokreslení systému nosné konstrukce objektu. Dále pak v místě tepelných mostů,



*Obr. č. 5 - Prokreslení konstrukce vlivem termoprecipitace [2]*

kde je na povrchu konstrukce vyšší teplota než v okolních částech vlivem ohřívání konstrukce z interiéru.

Z výše popsaného vyplývá, že bude docházet k usazování nečistot na konstrukci, kde je povrchová teplota nižší (konstrukce s nižším součinitelem tepelné vodivosti). Jak můžeme vidět na obrázku č. 5, kde došlo k prokreslení železobetonové nosné konstrukce oproti výplňovému cihelnému zdivu. Například na příhradové konstrukci ze železa s výplní z izolačního materiálu by došlo k opačnému prokreslení (tedy zateplená místa by byla více zašpiněna).

Příčinou ulpívání nečistot je tedy rozdíl teplot na povrchu fasády objektu. Tyto rozdíly jsou způsobeny cyklickým ohříváním a ochlazováním fasády (střídáním dne a noci). V nočních hodinách může dojít ke zchlazení povrchu fasády až pod teplotu okolního prostředí, vlivem radiace. Tato část fasády bude následně déle ohřívána, naproti tomu v místě tepelného mostu, kde dochází k oteplování konstrukce z interiéru, narůstá teplota za dne rychleji a dojde k vytvoření teplotního gradientu na povrchu fasády, což zapříčiní výše zmíněný pohyb aerosolu. [2]

### **2.1.3 Elektrostatické působení**

Se statickou elektřinou se lze setkat téměř všude. Přesto, že většina věcí na Zemi jsou neutrální, což znamená, že má stejný počet protonů a elektronů může dojít několika způsoby k přesunům elektronů mezi objekty a tím zapříčinit vznik nabitých částic. Nejběžnější způsob vzniku elektrostatického náboje je třením jednoho objektu o druhý. Elektrostatický náboj je pouze dočasný. Délka jeho trvání je závislá na vodivosti materiálu. Příkladem mohou být dva extrémy plast a kovy. Plasty mají vysoký odpor, což znamená, že si náboj udrží velmi dlouho. Narozdíl od kovů, kde dojde k jeho ztrátě téměř okamžitě.

Možností, jak přivést náboj na neutrální těleso je více. Pomocí tepla (pyroelektrický efekt), tlaku (piezoelektrický efekt), elektrostatickou indukcí, separací a výše zmíněným třením (triboelektrickým efektem). Při tření dvou těles o sebe dochází k přesunu elektronů z jednoho objektu na druhý.



Obr. č. 6 - Triboelektrická řada [17]

Všechny materiály se nechovají stejně, ale některé jsou náchylnější k přijímání elektronů, zatímco jiné k jejich ztrátě. Při tomto procesu dojde k vytvoření náboje na obou tělesech. Na Obrázek č. 6 můžeme vidět materiály seřazené podle jejich schopnosti přijímat/odevzdávat elektrony do takzvané triboelektrické řady.

Další možností vzniku náboje na tělese je indukce. Indukcí se rozumí vyvolání elektrostatického náboje na tělese, které se nachází v blízkosti elektrického pole. V závislosti na hodnotě náboje se těleso nabije buďto kladně nebo záporně. [24]

### 2.1.3.1 Vliv elektrostatického náboje na špinění omítek

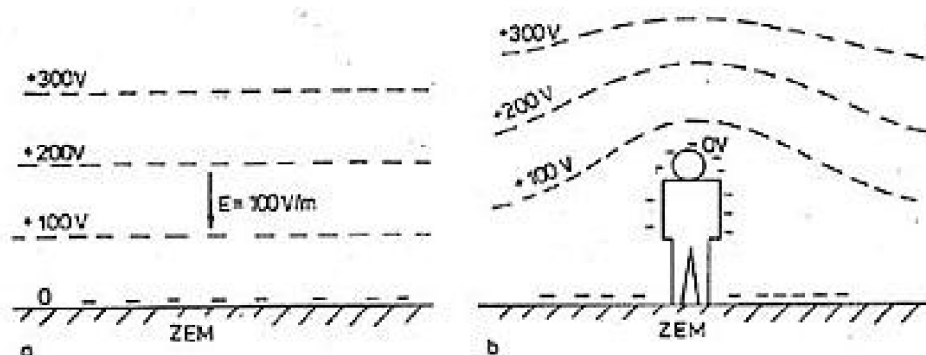
Na omítkách fasád objektů se hromadí elektrostatický náboj, který zde vzniká třením a indukci. Tento náboj působí na vsudypřítomné částice v okolním prostředí. Tyto částice také nesou elektrický náboj ať kladný, či záporný. Při tomto vzájemném



působení dochází k odpuzování (při souhlasném náboji) nebo k přitahování (při opačných nábojích) a následnému ulpívání nečistot na povrchu omítek.

K hromadění náboje na omítkách dochází v průběhu celé životnosti fasády. Od vytváření struktury v procesu nanášení omítky, kdy dochází ke tření mezi zrny omítky a plastovým hladítkem, čímž dochází k triboelektrickému efektu a předávání elektronů mezi materiály. Dále během životnosti fasády dochází k neustálému tření okolního aerosolu o omítku a vzniku náboje na povrchu omítky.

Dalším faktorem pro vznik náboje na omítce je indukce. Jak bylo popsáno výše, při vzniku náboje indukci dojde při vystavení materiálu elektrickému poli. Povrch



Obr. č. 7 - Ekvipotenciální hladiny [18]

omítek je neustále vystavován působení elektrických polí. Od nejrůznějších elektrických spotřebičů nebo například bludných proudů. Největší podíl však má působení atmosféry. Zemský povrch a atmosféra se chovají jako dvě desky kondenzátoru. Povrch Země je při klidné atmosféře záporně nabitý a atmosféra kladně. Se vzrůstající výškou dochází k nárůstu potenciálu atmosféry, jak můžeme vidět na Obrázek č. 7 zhruba s intenzitou 100 V/m. Toto elektrické pole působí na fasádu, na které může indukci vznikat elektrický náboj. Kombinací těchto jevů může dojít ke vzniku náboje s hodnotou až 30 kV, díky nízké kapacitě materiálu, ze kterých je omítka vytvořena. [24] [18]

## 2.2 Znečišťující činitele

### 2.2.1 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ) je bezbarvý plyn s pronikavým zápachem. Přírodním zdrojem je vulkanická činnost (nachází se v sopečných plynech) a také se nachází v podzemních vodách rozpuštěný jako kyselina siřičitá. Uměle vzniká při spalování fosilních paliv za přítomnosti kyslíku, hlavním producentem jsou teplárny a elektrárny. V atmosféře oxiduje na kyselinu sírovou a s kyselinou siřičitou je příčinou kyselých dešťů. [19]

### 2.2.2 Oxidy dusíku

Oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) jsou obecně označovány sloučeniny kyslíku s dusíkem. Pokud je dusík uvolněný, při procesu spalování do atmosféry, reaguje zde s kyslíkem a vytváří oxid dusnatý (NO), který se následně oxiduje na oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ). Oxidy dusíku jsou příčinou vzniku kyselých dešťů a smogu. Zároveň též přispívají ke vzniku jemných částic (PM) a přízemního ozónu. Zdrojem těchto oxidů je jakýkoliv proces spalování za přítomnosti kyslíku, zejména při vysokých teplotách. Toto znečištění je velmi úzce spjata s automobilovou dopravou, zejména ve velkých městech, kde při dopravních špičkách dochází k velkému zvýšení koncentrace  $\text{NO}_x$  v atmosféře. V přírodě vznikají tyto oxidy například při výboji blesku. [20]

### 2.2.3 Přízemní ozon

Přízemní ozon ( $\text{O}_3$ ) vzniká reakcí oxidů dusíku s těkavými organickými sloučeninami za přítomnosti UV záření ve spodních vrstvách atmosféry. Největší koncentrace je v letních měsících, kdy je zvýšená sluneční aktivita. Přízemní ozon je jednou z hlavních příčin vzniku smogu. Přízemní ozon je nebezpečný jak pro lidi, tak

například pro rostliny, u kterých potlačuje schopnost vytvářet chlorofyl, zrychluje proces stárnutí a zhoršuje schopnost absorpce oxidu uhličitého. [21]

## **2.2.4 Prachové částice**

### **2.2.4.1 Charakteristika a chování v atmosféře**

Zdrojů prachových částic je nespočet. Největším producentem je proces spalování fosilních paliv. Avšak ne zdaleka jediným, na znečištění se podílí doprava (spalování, oděrky pneumatika a brzdových destiček), průmysl (výroba stavebních materiálů), ale i přírodní jevy jako jsou sopečné erupce, eroze zemin apod. Pro člověka se jeví, jako nejnebezpečnější s velikosti do 10  $\mu\text{m}$ . [5]

### **2.2.4.2 Měření znečištění**

Prvotním způsobem, jak monitorovat znečištění ovzduší byl takzvaný prašný spad. Jednalo se zachytávání všeho, co spadlo k zemskému povrchu (včetně hmyzu apod.). Dalším krokem bylo využití plynoměru čerpadla a filtru. Kdy se zkoušený vzduch pomocí čerpadla hnal na filtr, kde se zachytávali prachové částice a následně došlo ke gravimetrickému vyhodnocení. Tato metoda se používá dodnes jako referenční pro modernější metody měření. Současné postupy měření jsou založeny jednak na gravimetrickém vyhodnocení, ale hlavně na laserové difrakci, kdy jsou zároveň vyhodnocovány množství jednotlivých velikostí částic. Zejména pak  $\text{PM}_{1,0}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  a  $\text{PM}_{10}$ . V tabulce č. 1 můžeme vidět přehled aerosolových částic. [15]

Tab. č. 1 - Základní typy aerosolových částic [5]

Základní typy aerosolových částic	
1.	TSP – veškeré vzdušné částice
2.	PM <sub>10</sub> – částice s průměrem < 10 μm
3.	PM <sub>2,5</sub> – částice s průměrem < 2,5 μm
4.	Hrubá frakce obsahující částice s průměrem mezi 2,5 a 10 μm
5.	Sekundární částice tvořené chemickými a fyzikálními pochody v atmosféře s průměrem 0,1 – 1 μm
6.	Termín pro ultrajemné částice je vyhrazen částicím s průměrem < 0,1 μm

Částice jsou zdrojem emitovány (emise – množství částic vyprodukované zdrojem za časové období – nejčastěji uváděny v t/rok). V ovzduší jsou rozptýleny a stávají se z nich imise (koncentrace částic množství částic v určitém objemu vzduchu nejčastěji μg·m<sup>-3</sup>) [15]. V tabulce č. 2 můžeme vidět vývoj množství emisí od roku 2005 až do roku 2015.

Tab č. 2 - Vývoj emisí v ČR [14]

	Emise (tun)			
	Částice PM	Oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> )	Oxidy dusíku (NO <sub>X</sub> )	Oxid uhelnatý (CO)
2005	63 865,7	208 106,8	279 071,2	655 987,4
2006	61 762,4	203 138,2	271 362,6	633 095,9
2007	61 253,9	208 618,7	268 537,8	639 091,8
2008	58 572,0	168 541,9	251 878,2	581 493,5
2009	52 404,9	165 733,2	230 183,8	539 502,7
2010	52 659,8	160 265,5	220 123,8	569 513,9
2011	47 748,9	160 402,0	206 845,2	516 896,3
2012	47 190,9	154 677,5	193 304,3	516 325,1
2013	47 026,8	139 115,7	181 158,3	523 758,2
2014	43 530,3	127 197,0	170 572,7	461 952,0
2015	43 876,0	123 056,2	164 419,2	503 067,1

### 2.2.4.3 Prachové částice antropogenního původu

Tyto zdroje jsou registrované v registru REZZO (Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší). Registr emisí a zdrojů znečišťování emisí (REZZO) je centrálním registrem, v němž jsou evidovány údaje o emisích a další technické údaje o provozu zdrojů znečišťování ovzduší. Registr emisí a zdrojů znečišťování zajišťuje ministerstvo životního Údaje o provoznách a provozu zdrojů, jejich emisích a dalších technických údajích jsou vedeny v samostatných registrech (databázích). Podle tohoto rozdělení jsou v rámci Informačního systému kvality ovzduší (ISKO), provozovaného v ČHMÚ, zavedeny jednotlivé databáze REZZO 1 - 4, které slouží k archivaci a prezentaci údajů o stacionárních a mobilních zdrojích znečišťování ovzduší. V následující tabulce č. 3 jsou vypsány jednotlivé zdroje znečištění. [15]

Tab č. 3 - Rozdělení zdrojů znečišťování [15]

Zdroj	Zvláště velké a velké zdroje znečišťování	Střední zdroje znečišťování	Malé zdroje znečišťování
Označení	REZZO 1	REZZO 2	REZZO 3
Obsahuje	Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a zařízení zvláště závažných technologických procesů	Stacionární zařízení ke spalování paliv o výkonu od 0,2 do 5 MW, zařízení závažných technologických procesů, uhelné lomy a plochy s možností hoření, zapaření nebo úletu znečišťujících látek	Stacionární zařízení ke spalování paliv o výkonu do 0,2 MW, zařízení technologických procesů nespádajících do kategorie velkých a středních zdrojů plochy, na kterých jsou prováděny práce, které mohou způsobovat znečišťování ovzduší, skládky paliv
Charakter zdrojů	Bodové zdroje	Bodové zdroje	Plošné zdroje (pouze vytápění domácností)
Způsob evidence	Zdroje jednotlivě sledované	Zdroje jednotlivě sledované	Zdroje hromadně sledované

#### 2.2.4.4 Prachové částice environmentálního původu

Jedná se zejména o sopečnou činnost, písečné bouře, požáry, eroze půdy apod. U těchto zdrojů není možná žádná regulace ani jejich náprava. Proto probíhá pouze kontrolní měření množství těchto částic. [5]

### 3 *Samočistící schopnost omítek*

#### 3.1 Fotokatalýza

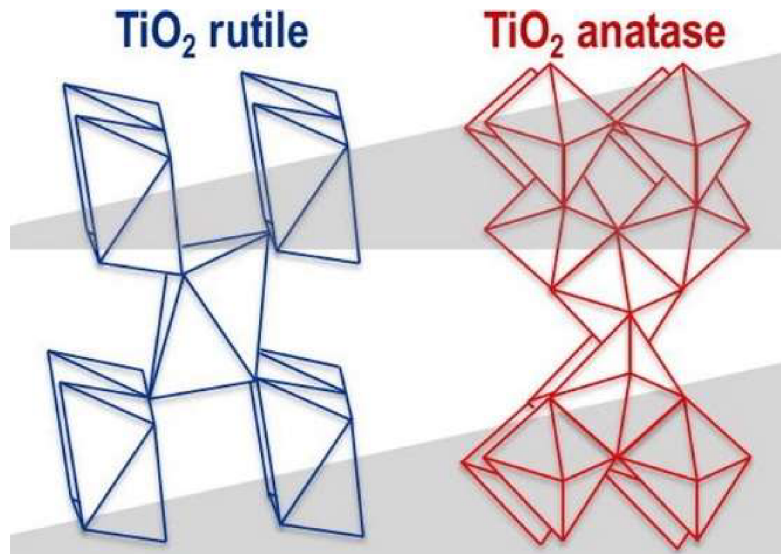
Fotokatalýze se vědci věnují téměř 30 let. Jako nejslibnější variantou se jeví její použití v oblasti čištění životního prostředí. Technologie fotokatalýzy umožňuje zabránit zašpinění mnoha nejrůznějších předmětů od domácností přes lékařství až po kryty světel v silničních tunelech. Fotokatalytické reakce totiž neodstraňují pouze nečistoty, ale též ničí bakterie a odstraňují nepříjemný zápach.

Tento proces jednoduše řečeno „čištění pomocí světla“ zahrnuje dva faktory. Prvním z faktorů je ultrafialové záření (UV). Ultrafialové záření je záření, které má vlnovou délku kratší než 400 nm. Toto záření se k nám dostává ze slunce, i když jen ve velmi malém množství zhruba 1 % z celkového slunečního výkonu.

Druhým faktorem fotokatalýzy je oxid titaničitý ( $\text{TiO}_2$ ). Jedná se o jeden z nezákladnějších materiálů v našem životě. Tento oxid můžeme nalézt v barvách, kosmetických přípravcích a potravinách. Spotřeba oxidu titaničitého ve světě překračuje 3 miliony tun ročně.

Oxid titaničitý je polovodič, který je aktivován světelnou energií. Fotokatalýza je známa už delší dobu, avšak byla z počátku považována za problém. Zejména při použití jako pigmentu do barev, kdy po delší době vystavení barvy UV záření došlo ke „zkrídlovatění“ barvy. Fakt, že oxid titaničitý rozkládá organické látky, lze však využít v náš prospěch. Při fotokatalytické reakci dochází k rozkladu nečistot, špíny, chemikálií, kouřových zbytků, bakterií apod. Oxid titaničitý se vyskytuje v několika modifikacích, jejichž struktury můžeme vidět na Obrázek č. 8.

- Rutilová – stabilní při vysokých teplotách
- Anatasová – stabilní při nižších teplotách
- Brukitová – je přítomná pouze v minerálech, má ortorombickou strukturu [3]

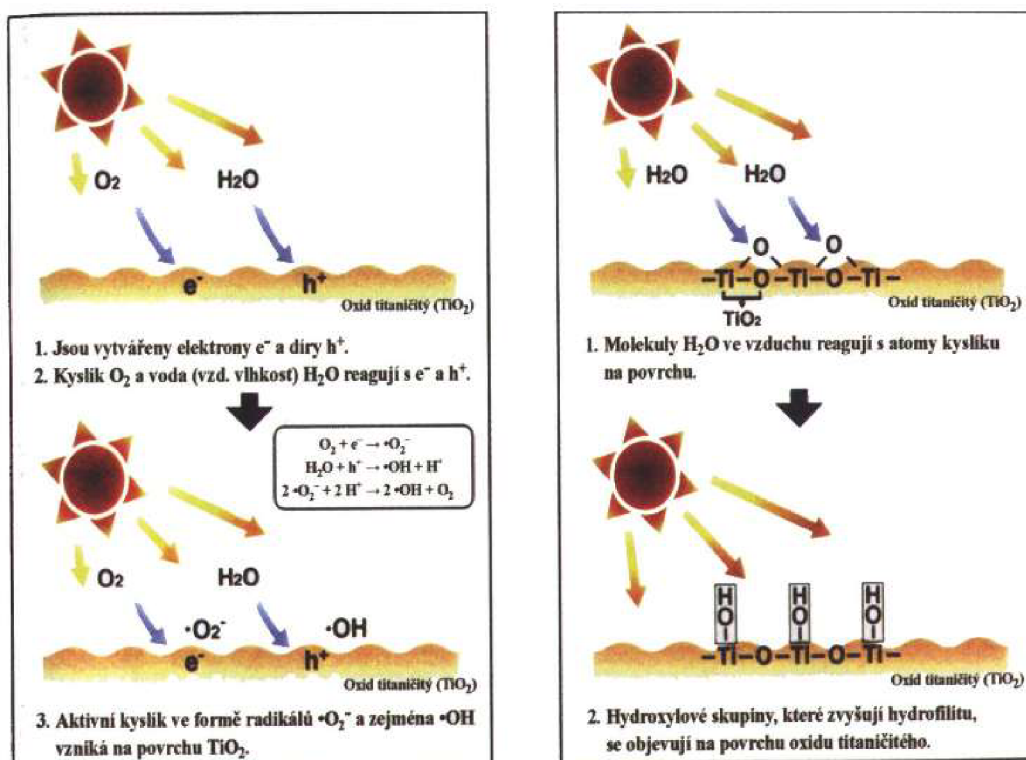


Obr. č. 8 - Krystalická struktura  $TiO_2$  [7]

### 3.1.1 Reakce fotokatalýzy

Reakce začíná při kontaktu oxidu titaničitého se světlem za přítomnosti kyslíku. Oxid se chová jako polovodič a při kontaktu se světlem se vytváří dva nosiče nábojů elektrony a díry. Na rozdíl u vodičů, kde jsou tyto nosiče nábojů ihned rekombinovány, u polovodičů můžeme měřit jejich životnost v hodinách. Na povrchu katalyzátoru se nachází jedna vrstva adsorbovaných molekul vody. Tyto molekuly po zoxidování dírami vytváří OH hydroxylové radikály. Hydroxylové radikály následně reagují s organickými sloučeninami za vzniku volných radikálů, s jedním volným elektronem. Tyto radikály ochotně reagují se vzdušným kyslíkem a vytváří peroxidové radikály, které se mohou účastnit řetězových reakcí, při kterých dochází k postupnému rozkladu organických látek na oxid uhličitý a vodu, jak můžeme vidět na Obrázek č. 9. [3]





Obr. č. 9 - Charakteristika fotokatalytických procesů [3]

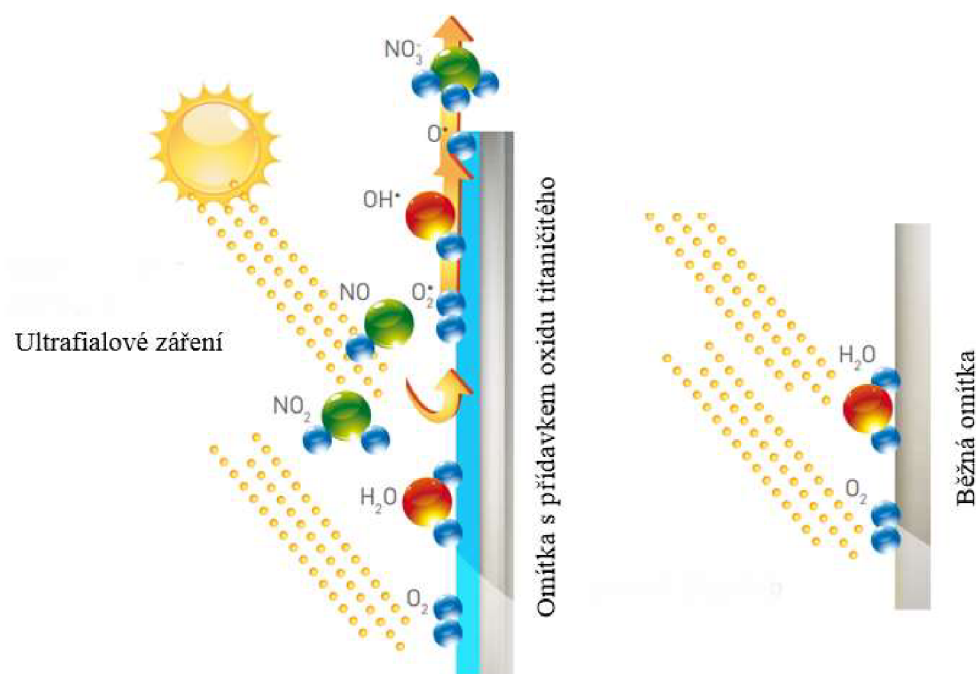
## 3.2 Fotokatalýza ve stavebnictví

Jednou z možností je použití fotokatalytického  $TiO_2$  ve formě prášku s vhodnou maticí do stavebních materiálů. Lze jej přidat do betonu, do omítek a nátěrů. Při použití jako příměsí do betonu je možné ho přidat do 15 % hmotnosti cementu bez omezení fyzikální a mechanických vlastností.

Hlavním impulsem pro přidávání  $TiO_2$  do stavebních materiálů bylo nařízení Evropské unie 1999/30/ES o snížení množství oxidů dusíku v ovzduší, které fotokatalytický  $TiO_2$  napomáhá odstraňovat. Přídavek  $TiO_2$  se jeví jako nejúčinnější a neekonomičtější pro splnění tohoto cíle.

$TiO_2$  může být také použit jako příměsí do omítkových směsí. Omítky s přídavkem  $TiO_2$  mohou být použity jak v interiéru, tak v exteriéru. Mohou být aplikovány na stávající i na novou konstrukci. Přídavek  $TiO_2$  nijak nesnižuje mechanické vlastnosti

omítek, tím je tedy nezměněná zpracovatelnost, přídržnost apod. V dnešní době jsou běžnou praxí nejrůznější přídavky proti růstu hub a bakterií na omítkách. Což v kombinaci s přídavkem  $\text{TiO}_2$  značně snižuje možnost znečištění fasády. Díky přídavku  $\text{TiO}_2$  dochází k rozkladu anorganických látek a jejich následnému odplavení, čímž je zabráněno, aby se na anorganických nečistotách zachytávaly spóry řas a hub. Důležitým faktorem pro použití omítek s přídavkem  $\text{TiO}_2$  jsou i snížené náklady na údržbu, kdy je díky  $\text{TiO}_2$  prodlužován čas mezi nutným čištěním omítek. Při výrobě různých odstínů omítek s přídavkem  $\text{TiO}_2$  je nutné použít anorganické pigmenty. V případě použití organických by došlo vlivem fotokatalytické reakce k jejich rozkladu a vyblednutí barev. [6]



Obr. č. 10 - Procesy probíhající na omítkách s a bez přídavku  $\text{TiO}_2$  [6]

Další možností využití  $\text{TiO}_2$  je jako přídavek do nátěrů a barev. Opět mohou být nátěry použity jak v interiéru, tak v exteriéru. Fotokatalytický efekt lze aplikovat i na vnitřní prostředí, kde může ve výrobních procesech pohlcovat a následně rozkládat nebezpečné plyny (zmiňované  $\text{NO}_x$ , formaldehyd, amoniak apod.) Barvy vynikají dobrou absorpcí k povrchu, odolností proti abrazi

a působení srážek. V exteriéru se nejlépe osvědčila kombinace rutilového pigmentu a anatasových nanočástic. Rutilové pigmenty chrání hlubší vrstvy proti působení UV záření a anatasové částice se starají o fotokatalytickou reakci na povrchu, jak můžeme vidět na Obrázek č. 10. Stejně jako u omítek i v nátěrech musí být použit anorganický základ nátěru, v opačném případě by docházelo k rozkladu organických složek. [6]

## **4 Vybrané vlastnosti omítek**

### **4.1 Luminiscenční referenční hodnota**

Luminiscenční referenční hodnota (světelnost) je stupeň odrazu barevného odrazu barevného tónu mezi černým bodem (=0) a bílým bodem (=100). Tato hodnota vyjadřuje odchýlení barvy od tmavého nebo bílého bodu. Je to vlastnost barvy, kterou vnímáme jako zářící či rozjasňovací složku daného barevného odstínu. [16]

### **4.2 Objemová hmotnost**

Objemová hmotnost je definována jako poměr hmotnosti tělesa k objemu tělesa včetně póru, mezer a dutin. Tedy objem stanovený z vnějších rozměrů. Jednotkou objemové hmotnosti je  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . [23]

### **4.3 Tepelná vodivost**

Tepelná vodivost je vlastnost materiálu, která nám určuje, jak daným materiálem prostupuje teplo. Jednotkou součinitele tepelné vodivosti je  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . [23]

## 4.4 Permeabilita vody

Permeabilita vody v kapaln  f zy n m popisuje schopnost vody prostupovat p rovou strukturou materiálu. Zkoušen y materiál je vystaven působení vodu a po určitých časových intervalech je sledována jeho hmotnost. Na základě nárustu hmotnosti v závislosti na ploše vzorku a čase se vypo t  hodnota permeability. Na základě hodnot je poté vzorek zatř zen do jedné z tří kategori W1-W3 jejichž popis můžeme vidět v tabulce č. 4 . Jednotkou permeability je  $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{0,5}$ . [22]

Tab  . 4 - Třídy permeability vody materiálů [22]

Třída	Hodnota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{0,5}$ ]
W1	>0.5
W2	0,1-0,5
W3	<0,1

## 4.5 Faktor difuzního odporu

Faktor difuzního odporu s ozna en m  $\mu$ . Jedná o poměrnou materiálovou veličinu, kter  ráků, kolikrát je součinitele difuze vodn ch par ve vzduchu větší, neŹ součinitele difuze vodn ch par v daném materiálu. Jedná se o bezrozměrnou veličinu.

## PRAKTICKÁ ČÁST

Tato diplomová práce vznikla ve spolupráci s firmou DEK, a. s.. Hlavním cílem bylo zjistit příčinu ulpívání nečistot na omítkách budov. Se stále rostoucí zástavbou ve městech a hlavně jejím okolí se tento problém stává diskutovanější a palčivější.

Spolu s rostoucí zástavbou přibývá i zdrojů znečištění ovzduší. Po silnicích jezdí stále více aut, a i když dochází v posledních letech k regulacím ohledně škodlivin ve vzduchu, vždy budou v ovzduší nečistoty, které nám budou negativně ovlivňovat vzhled budov.

V doposud provedených testech nebyly dostatečně popsány důvody ulpívání nečistot. Ačkoliv pro zamezení tohoto ulpívání je naprosto nezbytné znát jeho důvod a podmínky, při kterých k němu dochází. Pokud zjistíme důvod ulpívání nečistot, ať už to bude elektrostatický, chemický nebo pouze mechanický, můžeme bojovat proti ulpívání nečistot. Už například v procesu výroby omítkových směsí, nebo návrhem konstrukce, či změnou procesu provádění finální vrstvy obvodového pláště.

V této diplomové práci bylo testováno 18 vzorků fasád od různých výrobců. Pro tento experiment byly zvoleny silikonové a silikonsilikátové omítky, aby bylo možné mezi sebou jednotlivé druhy omítek porovnat. Od každého výrobce byly zvoleny dva odstíny HBV 25 a HBV 80 (odstíny bílé a hnědé).

Tyto vzorky byly následně podrobeny testování na uplívání nečistot v přirozeném prostředí a v uměle simulovaném. Závěrem jsou tyto omítky porovnané a vyhodnocené.

## ETAPA I

### 5 Výběr materiálů

V tabulce č. 5 jsou vyjmenovány všechny druhy omítek použitých při experimentech. Tyto omítky byly vybrány od nejprodávanějších dodavatelů na českém trhu.

Tab. č. 5 - Seznam použitých omítek

Označení vzorku	Typ omítky	Odstín omítky	Činitel HBV
A	A1S - 1	bílá	75,6
	A2PO - 1		
	A3S - 2	hnědá	23,9
	A4S - 2	hnědá	-
B	B1S - 1	bílá	89
	B2MO - 1		
	B3S - 2	hnědá	23
C	C1S - 1	bílá	89
	C2PO - 1		
	C3S - 2	hnědá	25
D	D1S - 1	bílá	77
	D2SO - 1	bílá	77
	D3S - 2	hnědá	24
E	E1S - 1	bílá	77
	E2SO - 1	bílá	77
F	F1S - 1	bílá	75
	F2MO - 1	bílá	75

S - Silikonové pojivo

1 - Bílý odstín

P - Silikonsilikátové pojivo

2 - Hnědý odstín

M - Minerální pojivo

O - Příklad oxidu titaničitého

V dalších odstavcích jsou detailně popsány vlastnosti jednotlivých použitých omítek. A v závěrečné tabulce jsou uvedeny číselné hodnoty jednotlivých vybraných vlastností.

## **5.1 Omítky skupiny A**

### **5.1.1 A1S**

Jednoduše zpracovatelná probarvená pastovitá omítka obsahující organické pojivo a silikonovou disperzi připravená k přímému použití se systémovou penetrací. Konečná povrchová úprava omítkových systémů a kontaktních zateplovacích systémů. Slouží k ochraně stavby a jejímu barevnému a strukturálnímu ztvárnění při vytváření nových fasád, jejich rekonstrukcích, modernizacích a renovacích. Tato omítka je vhodná pro použití do exteriéru i interiéru. [8]

### **5.1.2 A2PO**

Jednoduše zpracovatelná tenkovrstvá probarvená pastovitá omítka s fotokatalytickým efektem. Připravená k přímému použití se systémovou penetrací. Díky modifikovanému silikátovému pojivu má omítka vlastnosti blízké silikátové omítce, není však tak citlivá na klimatické podmínky při zpracování a zrání. Unikátní receptura omítky s fotokatalytickým efektem zajišťuje dlouhodobou čistotu povrchu omítky a vysoký stupeň ochrany omítky proti růstu mikroorganismů. Přispívá také k lepšímu životnímu prostředí tím, že na povrchu omítky dochází k reakci, která rozkládá zplodiny a sloučeniny škodící lidskému zdraví obsažené ve vzduchu. [8]

## **5.2 Omítky skupiny B**

### **5.2.1 B1S**

Průmyslově vyráběná tenkovrstvá pastovitá omítka se škrábanou nebo rýhovanou strukturou. Jedná se o systémovou součást zateplovacích systémů dle ETAG 004.

V omítce jsou obsaženy modifikované silikonové pryskyřice, organická pojiva, minerální plniva, barevné a bílé pigmenty, vlákna, přísady a voda. Omítka je odolná proti povětrnostním vlivům, vysoce vodoodpudivá, paropropustná, omyvatelná, univerzálně použitelná, odolná znečištění, univerzálně použitelná, snadno zpracovatelná. [9]

### **5.2.2 B2MO**

Samočisticí vysoce paropropustná pastovitá omítka s nanokrystalickou strukturou, dlouhodobě odolává přirozenému znečišťování, s fotokatalytickým efektem.

V omítce jsou obsaženy inovovaná minerální pojiva, vodní sklo, minerální plniva, organické pojivo, barevné a bílé pigmenty, mikrovlákna, přísady a voda.

Omítka je vysoce odolná klimatickým podmínkám a přirozenému znečišťování, vysoce propustná vodním parám a CO<sub>2</sub>, vysychající bez vytváření nepříznivých napětí, vybavená fotokatalytickým efektem, snadno ručně i strojově zpracovatelná.

[9]



## **5.3 Omítky skupiny C**

### **5.3.1 C1S**

Silikonová omítka slouží k vytváření finálních povrchových úprav stavebních konstrukcí ve vnějším i vnitřním prostředí. Lze jí použít jako krycí dekorativní a ochrannou vrstvu všech typů vnějších kontaktních zateplovacích systémů (ETICS). Omítka vykazuje vynikající stálost barev a vynikající odolnost proti špinění povrchu. Zajišťuje velmi paropropustný a vodoodpudivý povrch s vysokou pevností a pružností. [10]

### **5.3.2 C2PO**

Silikonsilikátová omítka slouží k vytváření finálních povrchových úprav stavebních konstrukcí ve vnějším i vnitřním prostředí. Lze jí použít jako krycí, dekorativní a ochrannou vrstvu všech typů vnějších kontaktních zateplovacích systémů (ETICS). Omítka vykazuje vynikající stálost barev. Zajišťuje velmi paropropustný a vodoodpudivý povrch s vysokou pevností. [10]

## **5.4 Omítky skupiny D**

### **5.4.1 D1S**

Silikonová tenkovrstvá pastovitá omítka se zatřenou strukturou je vhodná pro vnitřní i vnější použití. Silikonovou omítku lze použít i k dekorativním účelům. Fasádní omítku lze použít jak u novostaveb, tak u rekonstrukcí, k ochraně stavby a rovněž je určena pro konečnou úpravu zateplovacího systému z tepelně izolačních fasádních desek z bílého nebo šedého polystyrenu či minerální vlny. Po vytvrzení je

tenkovrstvá silikonová omítka odolná vůči vodě, mrazu a agresivitě vnějšího prostředí (silný déšť, kouř, agresivní průmyslové zplodiny). Výhodou fasádní omítky je vysoká paropropustnost, mimořádná stálobarevnost, odolná UV záření. [11]

## **5.4.2 D2S0**

Omítka obsahuje zakapslované, pozvolna se uvolňující širokospektrální biocidy čímž je zajištěna velmi vysoká ochrana proti růstu řas a plísní navíc obsahuje fotokataliticky aktivní TiO<sub>2</sub> čímž je zajištěná odolnost vůči zašpinění. Omítka disponuje vysokou přilnavostí k podkladu a výbornou zpracovatelností. Po vytvrzení je odolná vůči vodě, mrazu a agresivitě vnějšího prostředí (silné deště, kouř, agresivní průmyslové zplodiny). Omítka má vysokou vodoodpudivost. Pro zvýšení mechanické odolnosti je vyztužená vlákny. Omítka disponuje vysokou propustností vodních par a CO<sub>2</sub>. Klasifikace reakce na oheň A2. [11]

## **5.5 Omítky skupiny E**

### **5.5.1 E1S**

Tuto omítku lze použít jako vnější vrstvu na veškeré neošetřené omítky a beton, i na pevně držící nekřídující minerální a disperzní podkladové plochy. Omítky jsou vhodné jako krycí vrstva na kombinované tepelně izolační systémy a na systémy sanačních omítek. Strukturní omítky jsou vysoce difúzní a po vyschnutí hydrofobní. Proto mají velmi značnou odolnost vůči znečištění a jsou do maximální míry odolné proti průmyslovým odpadním plynům a primárnímu napadení mikroorganismy. [12]

### **5.5.2 E2S0**

Jedná se o dekorativní omítku na bázi hybridní silikonové disperze se strukturou „zrno na zrno“ podobnou škrábané omítce. Je určena pro povrchové

úpravy fasád. Vhodná jako krycí vrstva na kontaktní tepelně izolační systémy a na sanační omítkové systémy. Tato omítka je plněna uhlíkovými vlákny, díky nimž mají vysokou difúzní schopnost a jsou vodoodpudivé (výrazný „perličkový“ efekt). Díky fotokatalytickému účinku se strukturované omítky Capatect CarboPor vyznačují aktivním samočisticím efektem a zvýšenou ochranou omítky proti primárnímu napadení mikroorganismy (řasami a houbami). Uhlíková vlákna v omítce působí jako rozptýlená výztuž a omítka je díky tomu mimořádně mechanicky odolná. [12]

## **5.6 Omítky skupiny F**

### **5.6.1 F1S**

Omítka slouží k provádění tenkovrstvých omítkových vrstev na betonových podkladech, tradičních omítkách, při vnitřním použití také na sádrových podkladech, na dřevotřískových či sádrokartonových deskách atp. Omítku lze rovněž použít jako fasádní povrchovou úpravu v kontaktních systémech zateplení budov za použití desek z polystyrénu nebo minerální vlny. Omítka je vhodná pro použití na místech, kde je žádoucí vysoká paropropustnost. [13]

### **5.6.2 F2MO**

Omítka slouží ke zhotovení tenkovrstvých omítek na vrstvě vyztužené armovací sítí v kontaktním systému zateplení budov. Omítka je zvláště vhodná na místa, kde je vyžadována vysoká odolnost proti mechanickému poškození (např. sokly budov, vjezdy garáží, parkoviště apod.). Omítka si udržuje vysokou elasticitu i v podmínkách, kdy běžné omítky vykazují trhliny a praskliny. Obsahuje kombinaci uhlíkových, skelných a polyakrylamidových vláken, které zvyšují odolnost proti mechanickému poškození a nárazu. Vlastnosti disperzních elastomerů a silikonových modifikátorů umožňují extrémní mechanické zatížení omítky a zaručují dlouhodobě estetický vzhled. Omítku lze používat i ve velmi tmavých

a intenzivních odstínech (index odrazu světla  $\geq 5\%$ ), kdy je použití tradičních pastovitých omítek omezeno. Elastomerovou omítku lze nanášet i na betonové povrchy, tradiční cementové a vápennocementové omítky, dřevotřískové a sádrokartonové desky apod. [13]

V tabulce č. 6 můžeme vidět vybrané vlastnosti všech použitých omítek při experimentech.

*Tab. č. 6 - Vybrané vlastnosti omítek z technických listů*

Obchodní název	Vlastnosti omítek				
	Objemová hmotnost	Soudržnost [MPa]	Tepelná vodivost	Permeabilita vody [-]	Faktor difuzního
A1S	-	$\geq 0,3$	0,75	W3	-
A2PO	-	$\geq 0,3$	0,8	W3	-
B1S	1,80	$\geq 0,3$	0,70	-	40-60
B2MO	1,80	$\geq 0,3$	0,70	W2	15-25
C1S	1,80	$\geq 0,3$	0,74	W2	130
C2PO	1,80	$\geq 0,3$	0,74	W2	24
D1S	1,80	$\geq 0,3$	0,74	W3	-
D2SO	1,70	$\geq 0,3$	0,74	W3	.
E1S	1,95	$\geq 0,3$	-	W3	-
E2SO	1,80	$\geq 0,3$	-	W3	-
F1S	1,70	$\geq 0,3$	0,60	W3	-
F2MO	1,75	$\geq 0,3$	-	W3	-

## ETAPA II

### **6** *Přirozené špinění*

Součástí diplomové práce je dlouhodobé vystavení omítek přirozenému prostředí, které trvalo 28 měsíců. Tento experiment je realizován na experimentální budově v Brně, která patří k oddělení výzkumu a vývoje společnosti DEK, a. s.. Na jižní, východní a severní byly postupně za pomoci aplikačních techniků jednotlivých firem aplikovány finální vrstvy systému ETICS, základní vrstva a omítka, na předem připravené vrstvy systému ETICS jak můžeme vidět na obrázku č 11.



*Obr. č. 11 - Příprava vzorků fasád*

Na východní fasádě byly aplikovány všechny vzorky fasád od výrobců, zatímco na jižní fasádě pouze tmavé odstíny omítek (HBV 80 ). Naopak na severní fasádě byly nanесeny omítky bílé (HBV 25) se samočistící schopností, abychom byli schopní je porovnat mezi sebou. Viz Obrázek č. 12 a 13.



*Obr. č. 12 - Celkový pohled na severní (vlevo) a jižní (vpravo) fasádu*



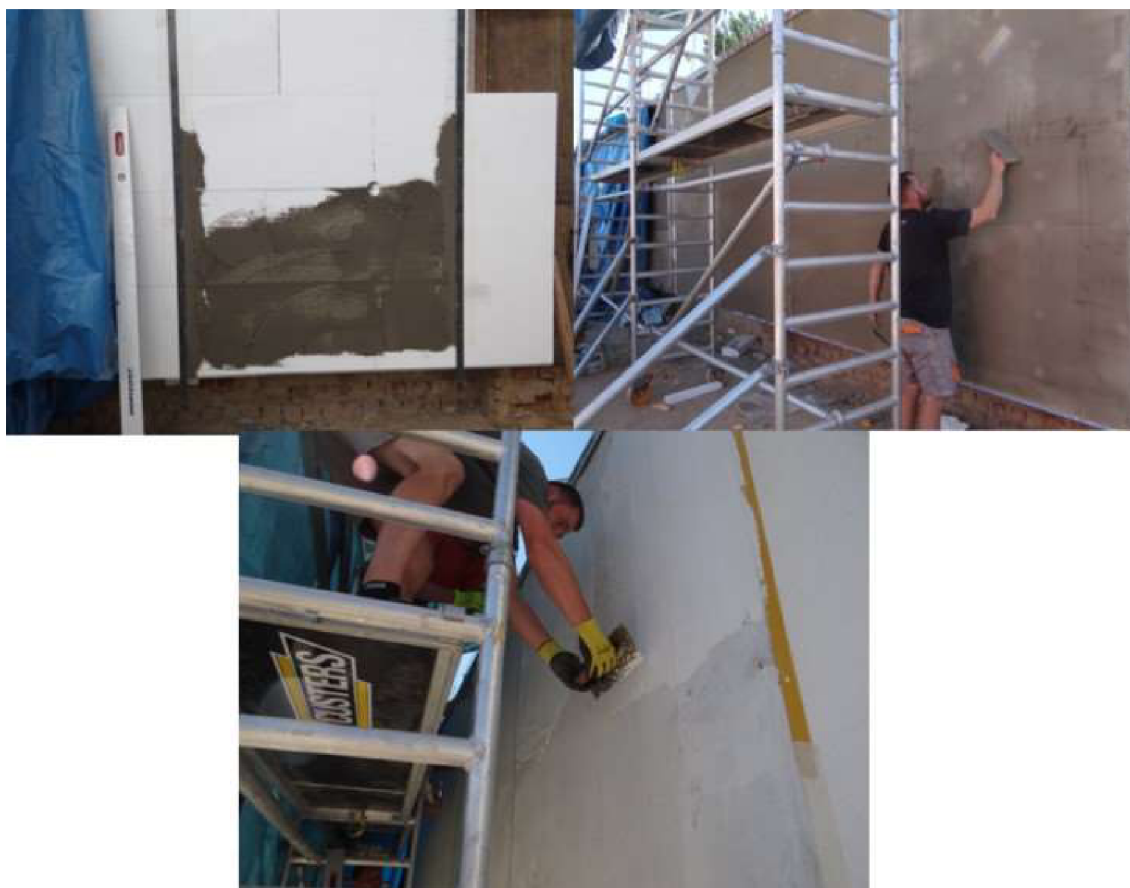
*Obr. č. 13 - Celkový pohled na východní fasádu*

## **6.1 Příprava vzorků**

V další části je popsána příprava jak vzorků vystavených přirozenému prostředí, tedy vzorků omítek na fasádě budovy, tak i referenčních vzorků určených pro stanovení míry zašpinění. Postup prací je viditelný na obrázku č 14.

## 6.1.1 Vzorky fasád

V případě vzorků na budově se jedná o klasický systém ETICS. Tedy izolant v tomto případě tvoří fasádní polystyren EPS 70 F přilepený speciální polyuretanovou lepicí hmotou DEKFOAM ETICS a přikotven hmoždinkami. Na izolantu je nanесena 4 mm tlustá vrstva lepidla s výztužnou tkaninou, dle druhu dodavatele omítky. A jako finální vrstvy jsou nanесeny omítky od výše zmíněných výrobců se zrnitostí 1,5 mm.



*Obr. č. 14 - Postup vytváření vzorků fasády*

## 6.1.2 Referenční vzorky

Zároveň s omítkami, které byly aplikovány na experimentální budovu, byly vytvořeny referenční vzorky pro stanovení míry znečištění omítek. Tyto vzorky jsou nanесeny na cementovláknité desce POWERPANEL H2O Fermacell o tloušťce 12,5 mm a rozměrech 200 × 400 mm. Tyto vzorky byly uloženy v bedně, aby bylo zabráněno jejich znečištění. Následně byly tyto referenční vzorky porovnávány se vzorky na fasádě.

### 6.1.2.1 Příprava referenčních vzorků

Cementovláknitá deska byla nařezána na rozměry 400 × 200 mm a následně napenetrována penetrací WEBER.PAS podklad uni. Na takto připravenou desku byly nanесeny všechny testované druhy omítek a od každého typu omítky byly vytvořeny 3 vzorky. Celkem bylo tedy vytvořeno 54 referenčních vzorků. Na třech okrajích desky byl ponechán volný pruh pro lepší manipulaci se vzorky. Pouze jedna hrana byla přetřena omítkou pro lepší možnost porovnávání. Příprava vzorků je vidět na obrázcích č. 16 – 19.



*Obr. č. 16 - Referenční vzorky před penetrací*

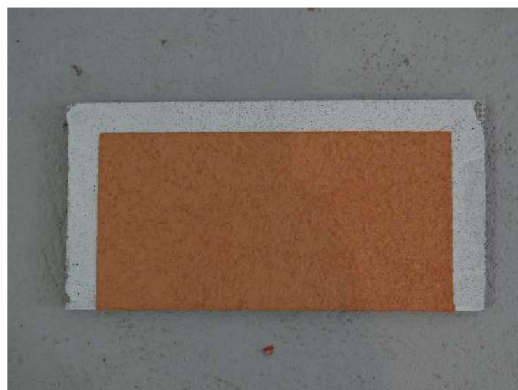


*Obr. č. 15 - Referenční vzorek po napenetrování*





*Obr. č. 18 - Aplikace omítky na referenční vzorek*



*Obr. č. 17 - Referenční vzorek po aplikaci omítky*



*Obr. č. 19 - Aplikace omítky na referenční vzorek*

## **6.2 Osvětlovací zařízení**

Referenční vzorky byly vloženy do speciální jehlanovité komory, kterou můžete vidět na Obrázek č. 20, vytvořené z OSB desek s led svítilnou na osvětlení. Na okraji komory jsou upevněny ukončovací lišty na sádrokarton pro upevnění referenčních vzorků. Následně byla tato komora přiložena k fasádě, osvětlena a vyfocena.



*Obr. č. 20 - Osvětlovací komora*

### **6.3 Metody a postupy**

Úkolem této části je zhodnocení zašpinění jednotlivých druhů omítek a srovnání jejich chování v závislosti na materiálové bázi. Princip zkoušení je v příkládání referenčních vzorků omítek na odpovídající část fasády se stejným typem omítky. Nejdříve se uvažovalo o příkládání referenčních vzorků v osvětlovacím zařízení popsaném výše viz obrázek č. 21. Ale po provedení testovacího měření bylo od tohoto postupu odstoupeno a fotky byly pořízeny za běžných podmínek pouze přiložením na fasádu a pořízením fotografie. A tyto fotografie následně makroskopicky vizuálně porovnány.



*Obr. č. 21 - Navrhovaná metodika určení znečištění omítky*

## ETAPA III

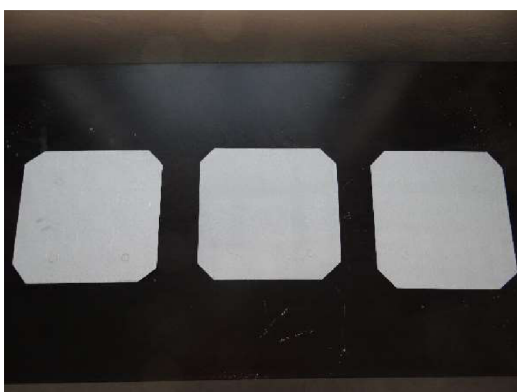
### **7 Umělé špinění**

Důvodem zařazení této zkoušky je umožnění simulace prostředí podle potřeby a abychom zkoušku mohli provádět opakovaně a za stejných podmínek. Zkouška je založena na výše popsaných možnostech ulpívání nečistot, a to elektrostatickým působením, termoprecipitací a mechanickým ulpíváním, nečistot. Zkoumané vzorky byly vloženy do špinícího zařízení, vystaveny prostředí s vysokou prašností a v závislosti na změnách velikosti elektrické pole a gradientu teploty, bylo sledováno ulpívání nečistot. Takto otestované vzorky byly následně porovnány se vzorky, které jsou vystaveny přirozenému prostředí a bylo sledováno, zda je mezi nimi závislost.

#### **7.1 Příprava vzorků**

Do špinícího zařízení musely být použity vzorky na vodivém materiálu, kvůli hromadění námi chtěného elektrického náboje. Zkoušené omítky byly nanесeny na pozinkovaný plech tloušťky 0,8 mm. Pro zkoušení byl jako nejvhodnější zvolen tvar čtverce o straně 300 mm se zkosenými rohy z důvodu ztráty náboje na hranách plechu. Vzorky lze vidět na obrázcích č. 22 - 24.

Na plech byla nanесena Penetrace WEBER.PAS podklad uni a následně na něho byly aplikovány zkoušené omítky. Na zadní stranu vzorku byl napájen elektrický kabel.



*Obr. č. 23 - Vzorky do simulátoru po  
napenetrování*



*Obr. č. 22 - Vzorek do simulátoru po  
nanesení omítky*



*Obr. č. 24 - Vzorky do simulátoru*

## **7.2 Postupy a metody**

Principem zkoušky je otestování všech tří výše popsaných variant ulpívání nečistot. Vzorky omítek nanesené na pozinkovaném plechu jsou vloženy do speciálního zařízení, kde jsou vystaveny prašnému prostředí. Následně jsou vzorky propojeny se zdrojem napětí v simulátoru a na jejich povrchu je hromaděn elektrický náboj. Tento elektrický náboj reaguje s prachem v simulátoru a je sledováno jeho ulpívání. Zároveň s elektrostatickým působením je testován vliv

termoprecipitace. Dva vzorky jsou přiloženy ke speciálním chladícím deskám, které snižují jejich teplotu. V neposlední řadě je sledován mechanický vliv na ulpívání nečistot, a to na vzorcích, které nejsou nikterak ovlivňovány. Celkem byly vytvořeny 3 zkušební vzorky od každého druhu omítky, abychom mohli otestovat všechny tři možnosti ulpívání nečistot na povrchu.

## 7.2.1 Simulátor špinění

Simulátor je půdorysně koncipovaný jako osmiúhelník s možností osazení až 8 vzorků najednou. Postaveným z desek Powerpanell H2O Fermacell tloušťky 12,5 mm. Celé zařízení je uzavíratelné průhledným víkem z polykarbonátu kvůli prašnosti. Vzorky jsou upevněny k simulátoru pomocí příchytěk ve tvaru F speciálně vytisknutých na 3D tiskárně, viz obrázek č. 26. Součástí zařízení je zdroj elektrického napětí s možností regulace jeho velikosti 200, 400, 600, 800 a 1000 V, viz obrázek č. 28. Toto napětí je následně přiváděno na vzorky pomocí elektrických kabelů, kde se hromadí elektrický náboj. Ve dvou stěnách simulátoru jsou umístěny chladící desky (obrázek č. 25) s regulátorem pro libovolné nastavení teploty na povrchu vzorku (obrázek č. 27). Prašnost je zajištěna použitím popílku z třineckých železáren. Tento popílek je unášen proudem vzduchu, který vyvolává ventilátor umístěný ve víku zařízení. Ovládací zařízení ventilátoru můžeme vidět na obrázku č. 28. Pod víkem a na dně zařízení jsou umístěny uzeměné měděné desky, které vytváří opačný elektrický náboj proti vzorkům. Celý simulátor lze vidět na obrázku č. 29.

## 7.2.2 Postup zkoušení

Při jednom měření bylo do simulátoru vloženo celkem 8 vzorků. Jeden vzorek byl vždy referenční, tedy bez dalšího vlivu. Tento vzorek sloužil k porovnání, zda jednotlivá měření proběhla stejně. Na 3 vzorky bylo přiváděno napětí, tedy byl testován vliv elektrostatických sil. Přiváděné napětí mělo velikost 1000 V. Další 3 vzorky byly testovány na mechanické ulpívání nečistot. A poslední vzorek byl vždy

zchlazen na 10 °C a na tomto vzorku byl sledován vliv termoprecipitace. Celkové množství prachu bylo  $11 \pm 0,01$  g. Prach byl přidáván postupně. V první fázi bylo přidáno 5 g na dno simulátoru a nechal se rozvířit po dobu 5 minut. Následně byl spad prachu shrnut do středu simulátoru a přidány další 2 g, opět se prach nechal rozvířit po dobu 5 minut. Proces se opět opakoval, prach byl shrnut a přidány další 2 g, která se opět nechali vířit 5 minut. V posledním opakování se přidali poslední 2 g prachu a prach se opět nechal vířit. Celková doba jednoho testování byla 20 minut.



*Obr. č. 25 – Chladící deska*



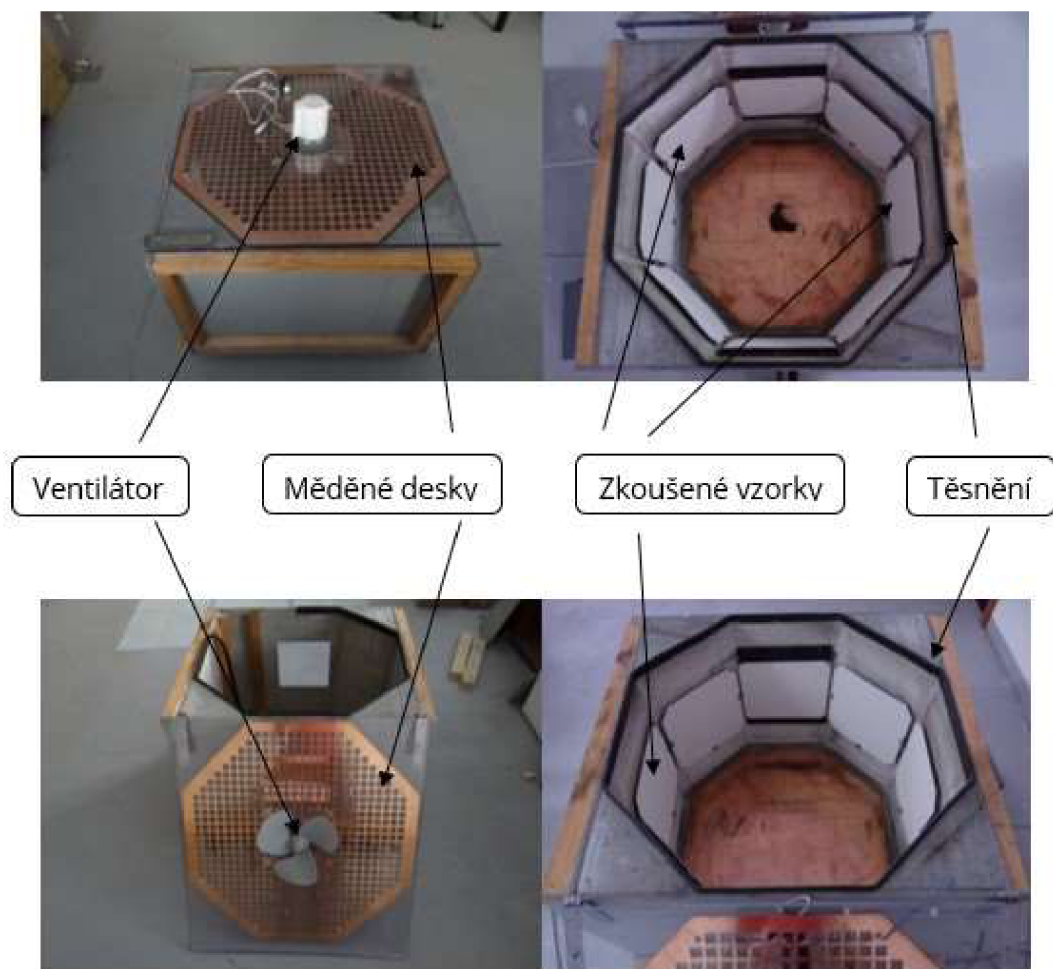
*Obr. č. 26 – Systém upevnění vzorků*



*Obr. č. 27 – Regulátor teplot na chladících deskách*



*Obr. č. 28 – Regulátor velikosti napětí (vlevo) ovládání ventilátoru (vpravo)*



Obr. č. 29 - Simulátor

## ETAPA IV

### **8** *Vyhodnocení*

V tabulce č. 7 lze vidět navržené hodnocení míry znečištění vzorků po testování.

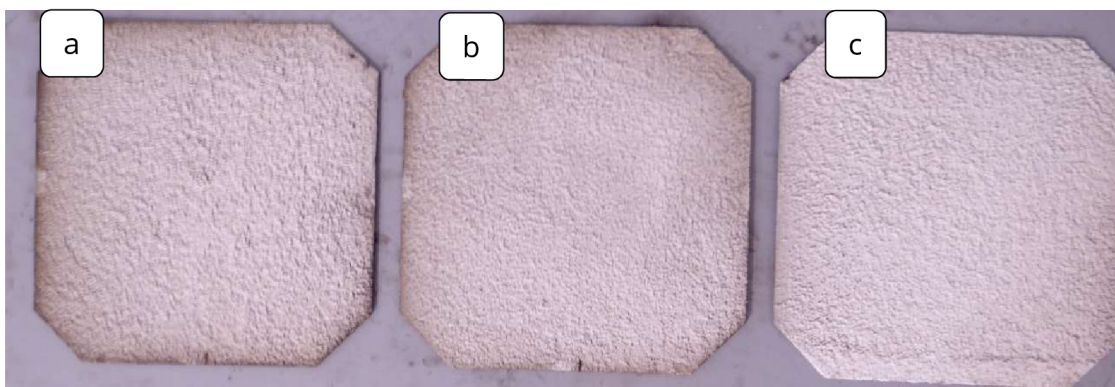
*Tab č. 7 - Systém hodnocení zašpinění*

Stupeň znečištění		Popis
I	Žádné nebo nízké	Bez nečistot nebo viditelné pouze mikroskopem
II	Nízké	Viditelné okem, nesouvislé pokrytí povrchu nečistotami
III	Střední	Souvislé pokrytí povrchu nečistotami
IV	Vysoké	Viditelná změna odstínu barvy

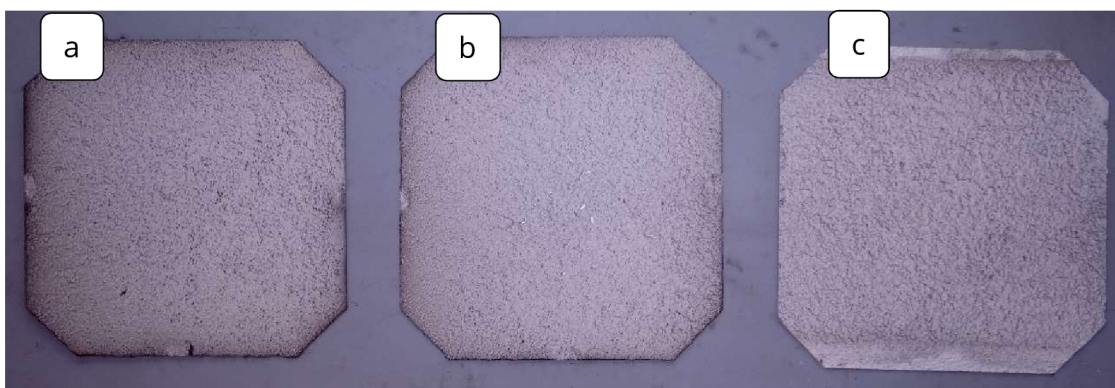


## 8.1 Vzorky po simulaci špinění

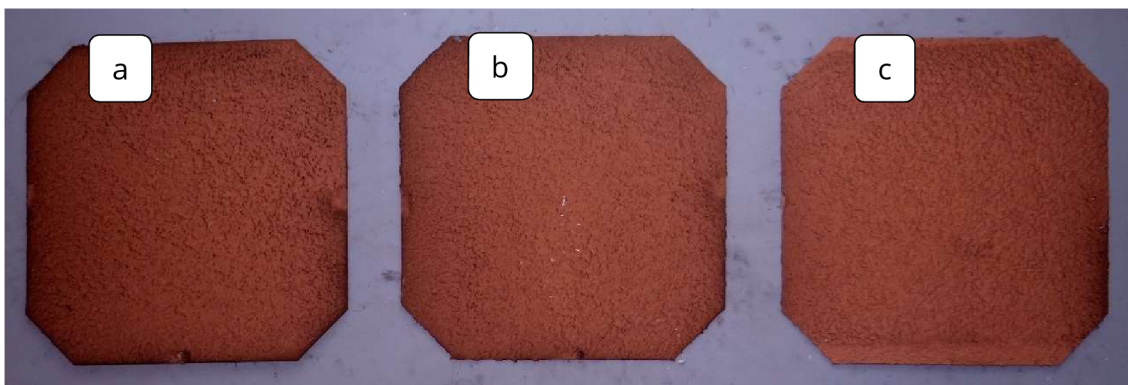
### 8.1.1 Vzorky skupiny A



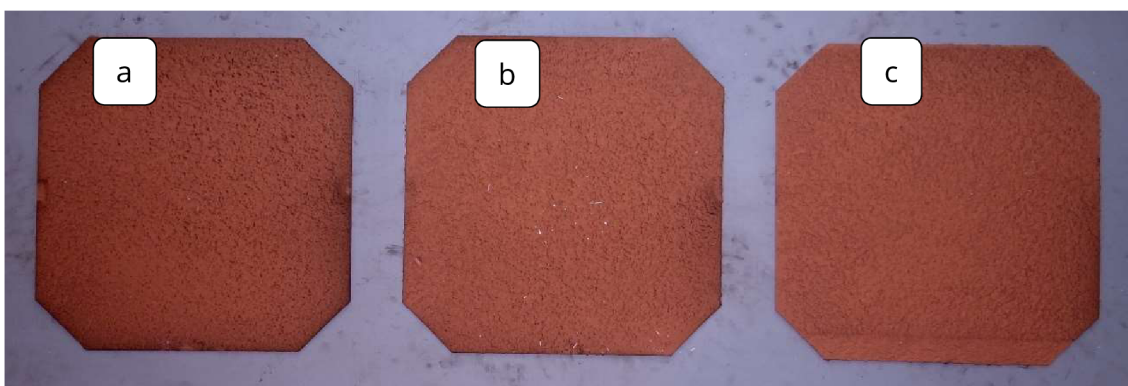
*Obr. č. 30 - Omítka A1S - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*



*Obr. č. 31 - Omítka A2PO - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

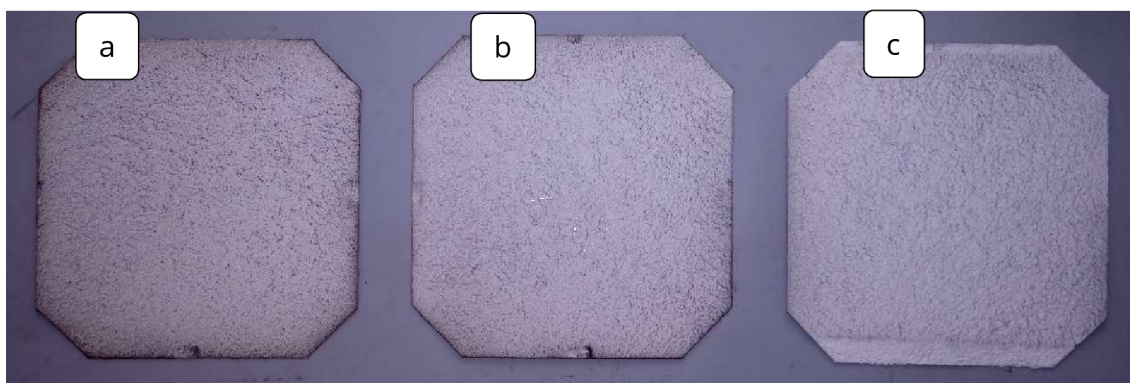


*Obr. č. 32 - Omítka A3S - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*



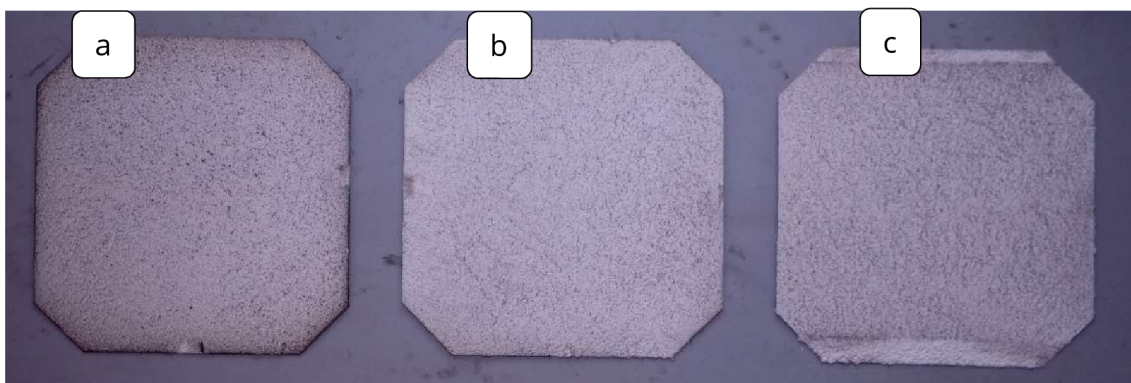
*Obr. č. 33 - Omítka A4S - 2 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

## 8.1.2 Vzorky skupiny B



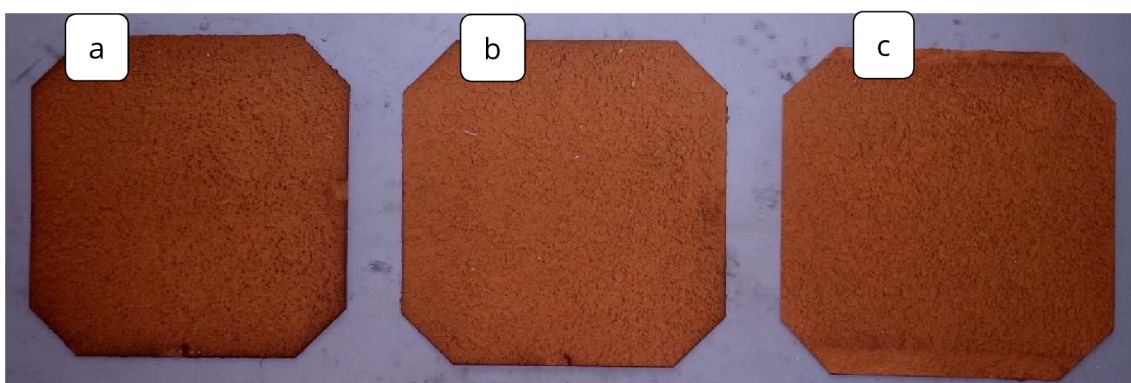
*Obr. č. 34 - Omítka B1S - 1 po procesu umělého špinění*

*a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*



*Obr. č. 35 - Omítka B2MO - 1 po procesu umělého špinění*

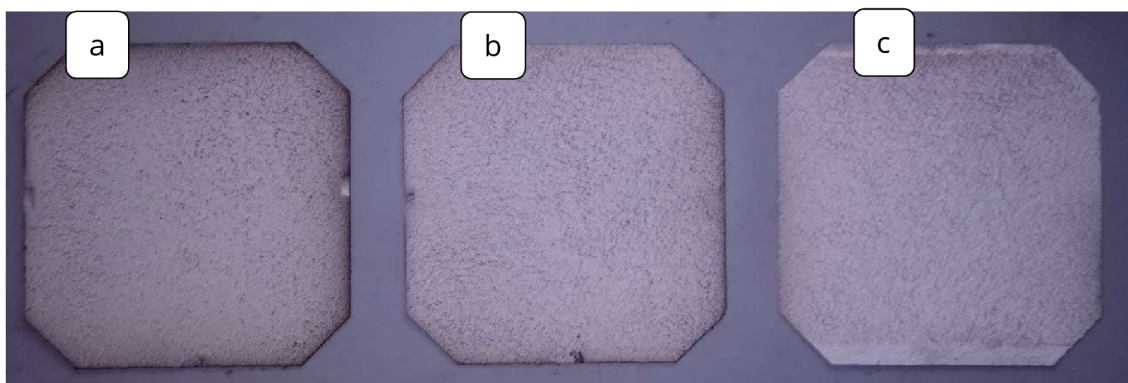
*a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*



*Obr. č. 36 - Omítka B3S - 2 po procesu umělého špinění*

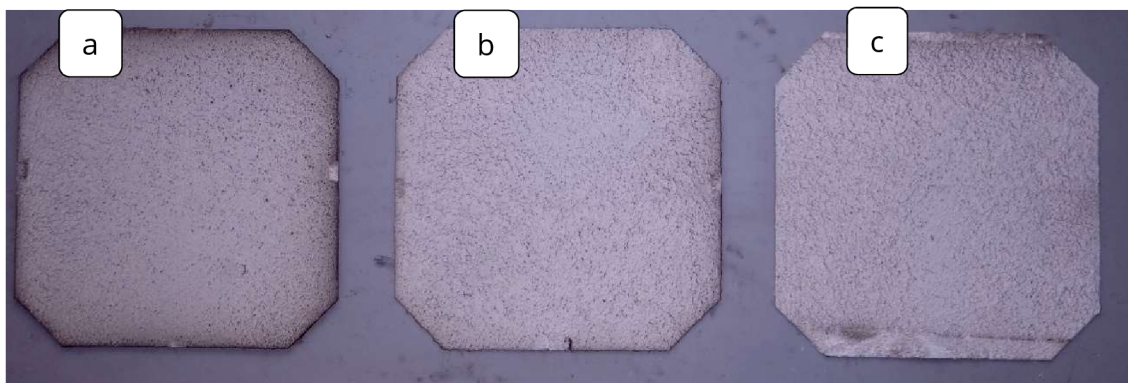
*a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

### 8.1.3 Vzorky skupiny C



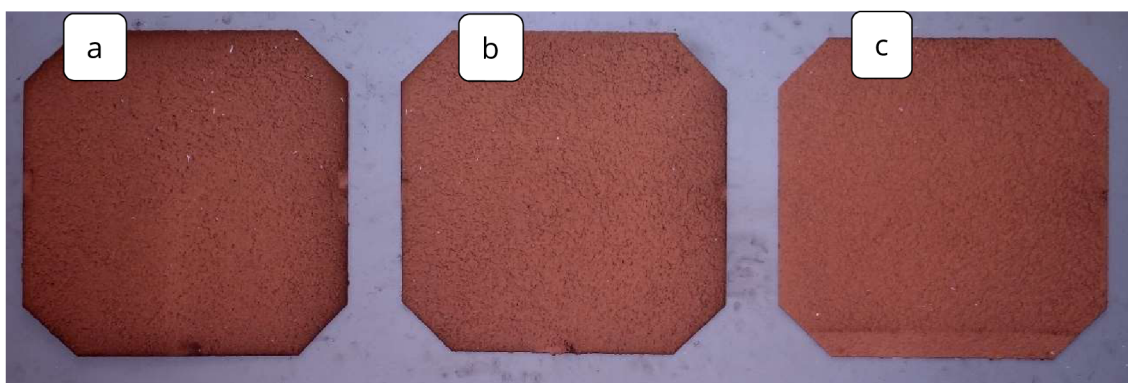
*Obr. č. 37 - Omítka C15 - 1 po procesu umělého špinění*

*a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*



*Obr. č. 38 - Omítka C2PO - 1 po procesu umělého špinění*

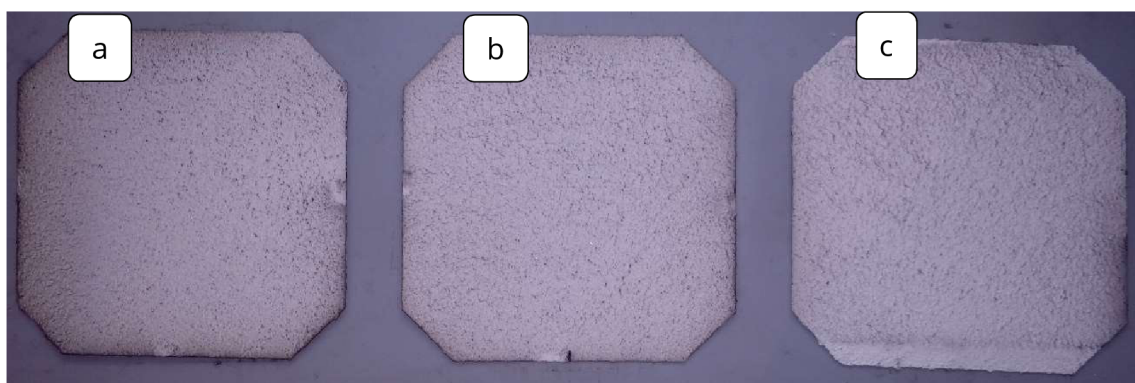
*a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*



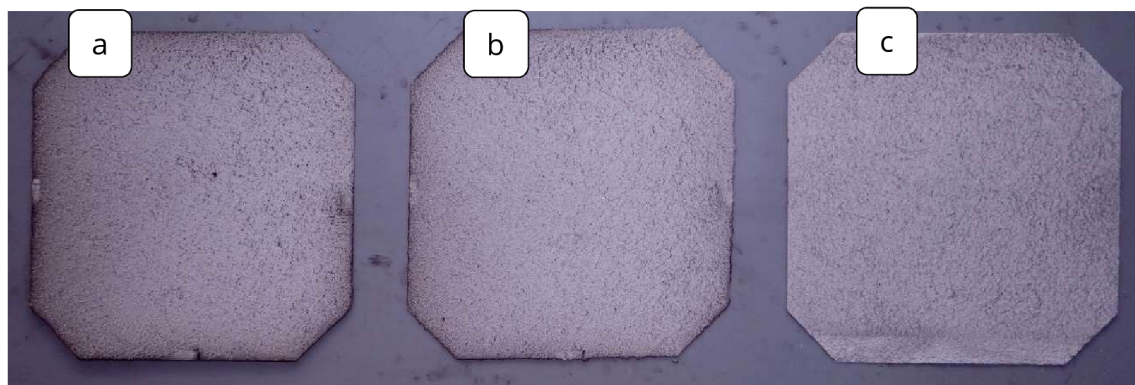
*Obr. č. 39 - Omítka C3S - 2 po procesu umělého špinění*

*a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

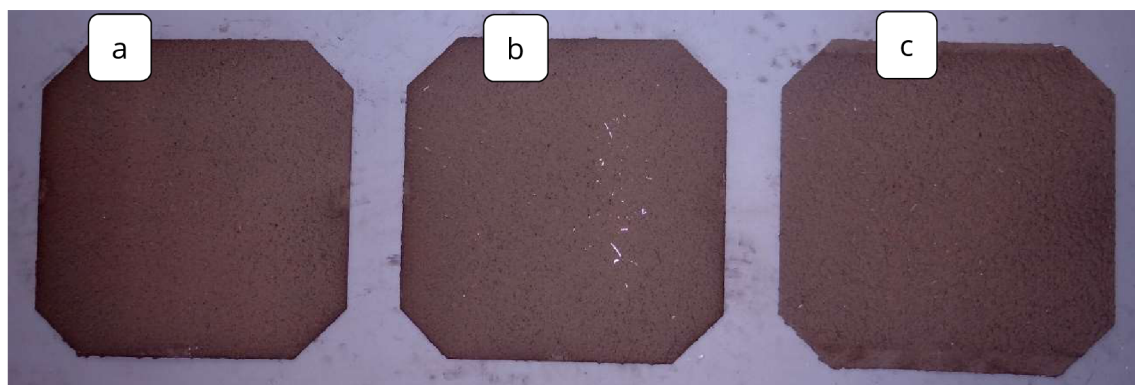
## 8.1.4 Vzorky skupiny D



*Obr. č. 40 - Omítka D15 - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

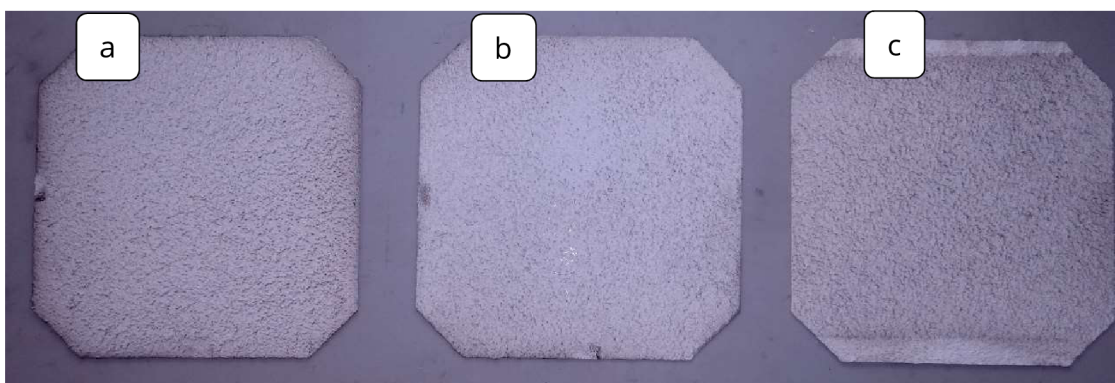


*Obr. č. 41 - Omítka D250 - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

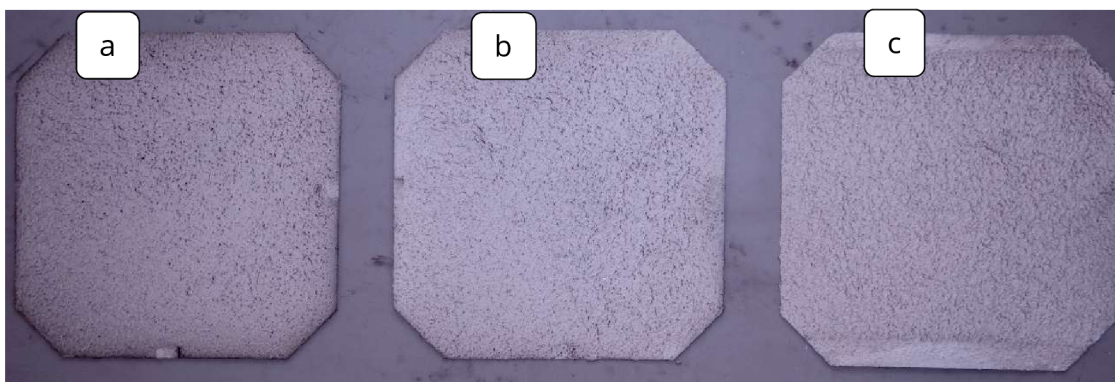


*Obr. č. 42 - Omítka D3S - 2 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

## 8.1.5 Vzorky skupiny E

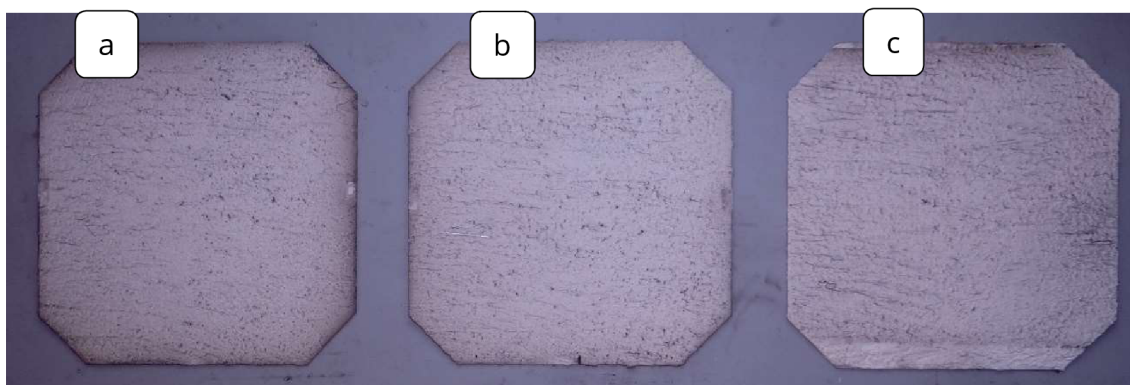


*Obr. č. 43 - Omítka E15 - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

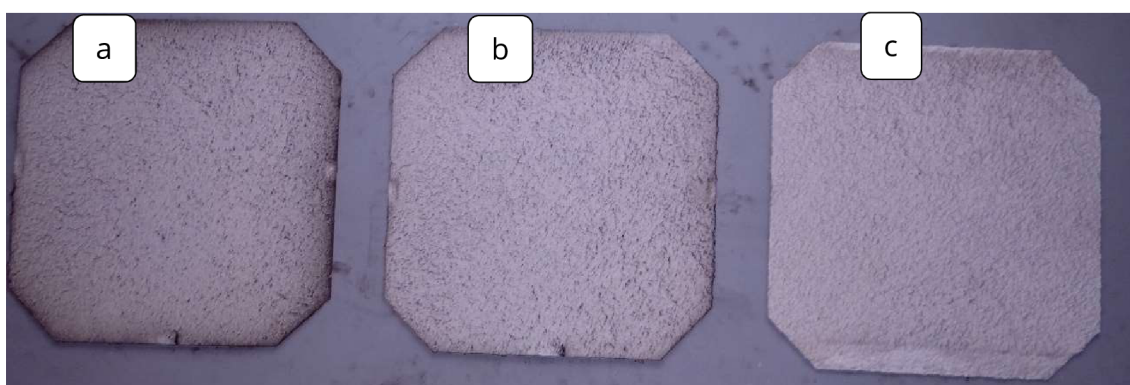


*Obr. č. 44 - Omítka E250 - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*

## 8.1.6 Vzorky skupiny F



*Obr. č. 45 - Omítka F1S - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*



*Obr. č. 46 - Omítka F2MO - 1 po procesu umělého špinění  
a) elektrostatický vliv b) mechanický vliv c) vliv termoprecipitace*



*Obr. č. 47 - Souhrnný pohled na testované vzorky po procesu umělého špinění*



V tabulce č. 8 můžeme vidět vyhodnocení míry znečištění po provedení simulace špinění.

*Tab. č. 8 - Hodnocení stupně zašpinění vzorků po umělém zašpinění*

Druh omítky	Stupeň znečištění		
	Elektrostatický vliv	Mechanický vliv	Vliv termoprecipitace
A1S - 1	III	II	II
A2PO -1	III	II	II
A3S - 2	III	II	II
A4S - 2	III	II	II
B1S - 1	III	II	II
B2MO - 1	III	II	II
B3S - 2	III	II	II
C1S - 1	III	II	II
C2PO - 1	III	II	II
C3S - 2	III	II	II
D1S - 1	III	II	II
D2SO -1	III	II	II
D3S - 2	III	II	II
E1S - 1	III	II	III
E2SO - 1	III	II	III
F1S - 1	III	II	II
F2MO - 1	III	II	II

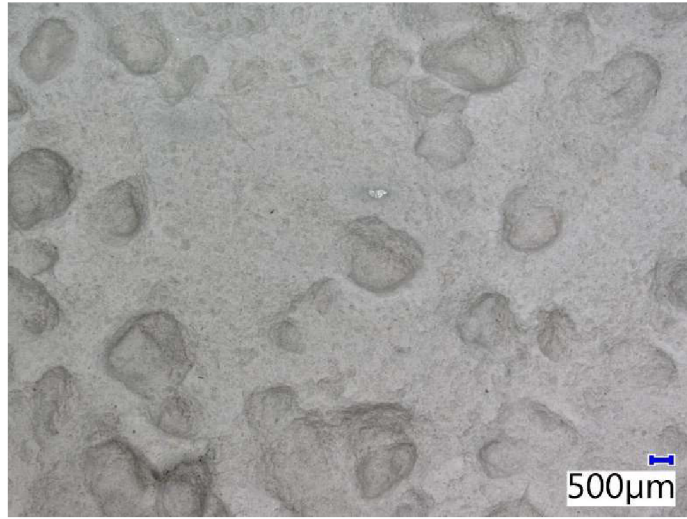
## 8.2 Snímky z mikroskopu



*Obr. č. 48 - Snímek vzorku zašpiněného vlivem  
elektrostatických sil, zvětšeno 20x*



*Obr. č. 49 - Snímek vzorku zašpiněného vlivem  
mechanického ulpívání, zvětšeno 20x*



*Obr. č. 50 - Snímek vzorku zašpiněného vlivem  
termoprecipitace, zvětšeno 20x*

## 8.3 Snímky přirozeného špinění

### 8.3.1 Vzorok skupiny A



*Obr č. 51 - Omítka A1S - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*



*Obr č. 52 - Omítka A2PO -1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*



*Obr č. 53 - Omítka A3S - 2 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*



*Obr č. 54 - Omítka A4S - 2 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*

### 8.3.2 Vzorky skupiny B



*Obr. č. 55 - Omítka B1S - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo  
referenční vzorek)*



*Obr. č. 56 - Omítka B2MO - 2 po  
expozici přirozenému prostředí (vlevo  
referenční vzorek)*



*Obr. č. 57 - Omítka B3S - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*

### 8.3.3 Vzorky skupiny C



*Obr. č. 58 - Omítka C1S - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo  
referenční vzorek)*



*Obr. č. 59 - Omítka C2PO - 2 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo  
referenční vzorek)*



*Obr. č. 60 - Omítka C3S - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*

### 8.3.4 Vzorky skupiny D



*Obr. č. 61 - Omítka D1S - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*



*Obr. č. 62 - Omítka D2SO - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*



*Obr. č. 63 - Omítka D3S - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek)*

### 8.3.5 Vzorky skupiny E



*Obr. č. 64 - Omítka E1S - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*



*Obr. č. 65 - Omítka E2SO - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*

### 8.3.6 Vzorky skupiny F



*Obr. č. 66 - Omítka F1S - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*



*Obr. č. 67 - Omítka F2MO - 1 po expozici  
přirozenému prostředí (vlevo referenční  
vzorek)*



V tabulce č. 9 můžeme vidět vyhodnocení míry zašpinění po vystavení vzorků přirozenému prostředí.

*Tab. č. 9 - Hodnocení stupně zašpinění vzorků po vystavení přirozenému prostředí*

Druh omítky	Stupeň znečištění
A1S - 1	II
A2PO - 1	I
A3S - 2	II
A4S - 2	I
B1S - 1	II
B2MO - 1	I
B3S - 2	II
C1S - 1	II
C2PO - 1	II
C3S - 2	II
D1S - 1	II
D2SO - 1	II
D3S - 2	II
E1S - 1	II
E2SO - 1	II
F1S - 1	II
F2MO - 1	II

## 8.4 Diskuze výsledků

Po provedení testovacích a kalibračních měření simulátoru zašpinění, byly podrobeny všechny vzorky testovaných omítek zkouškám, jejichž výsledky můžete vidět výše na obrázcích č. 30 - 46.

Jak je možno vidět na fotkách vzorků, není zde viditelný rozdíl mezi jednotlivými druhy omítek, ale je znatelný rozdíl v jednotlivých testovaných způsobech ulpívání nečistot. Na vzorcích, na které byl přiváděn elektrický náboj můžeme vidět největší míru znečištění, oproti dvěma dalším způsobům, kterými jsou mechanický a termoprecipitační.

U vzorků testovaných na elektrostatický vliv ulpívání nečistot je možno pozorovat výskyt nečistot nejen na jednotlivých zrnech, ale i ve struktuře omítky. Narozdíl od mechanického znečištění, kde je většina nečistot zachycena na povrchu vystupujících zrn, jak dokumentují fotky z mikroskopu na obrázcích č. 47 - 49.

Co se týče vzorků testovaných na termoprecipitaci, zde byl také pozorován větší výskyt nečistot. Opět došlo k mechanickému zachycení nečistot na vystupujících zrnech, ale stejně tak bylo zvýšené množství nečistot ve struktuře, avšak v menším měřítku, nežli u vzorků vystavených elektrostatickému ulpívání nečistot.

Vliv působení klimatických podmínek na vzorky omítek trvajících cca 2,5 roku, můžeme vidět na obrázcích č. 51 - 67. Po této době expozice už můžeme vidět rozdíl ve znečištění omítky oproti referenčním vzorkům. Ovšem nebyly zde zaznamenány výraznější rozdíly ve znečištění v závislosti na výrobcí a typu omítky.

Jediný výrobce, u kterého můžeme pozorovat menší míru znečištění je ze skupiny E s omítkou E1S - 1. Toto menší znečištění však může být způsobeno odlišností odstínu bílé, který je u toho výrobce velmi zářivý s nádechem do modra. Toto zbarvení může mít za následek opticky pozorovatelnou menší míru znečištění omítky. Naopak u omítky A1S - 1 je velké znečištění a značný rozdíl oproti referenčnímu vzorku. U omítky A2PO - 1, je patrné velké znečištění. U vzorků omítek

A3S - 2 a A4S - 2, které mají hnědý odstín není možné znečištění dostatečně pozorovat.

Obdobný trend vidíme i u omítek skupiny B. Omítka typu B1S - 1 je znečištěna podobně jako A1S - 1. Kdežto u omítky B2MO - 1 není znatelný rozdíl oproti referenčnímu vzorku a opět u hnědého odstínu B3S - 2 není dost dobře možné sledovat míru znečištění.

Co se týče omítek skupiny C u obou typů C1S - 1 i C2PO - 2 je velmi podobný průběh zašpinění a opět u omítky C3S - 2, která má hnědý odstín nelze zašpinění dostatečně pozorovat.

U omítek skupiny D je větší znečištění u omítky D2SO - 1 oproti D1S - 1 I v tomto případě se projevuje vliv hnědé barvy omítky na konečné zhodnocení míry zašpinění.

U omítek skupiny F je podobné znečištění u obou typů omítek, a to i přes to, že omítka F1S - 1 je provedena jako rýhovaná omítka, přesto není u této omítky pozorováno výraznější ulpívání nečistot, než u ostatních točených omítek.

I přes to že omítky A2PO, B2MO, C2PO, D2SO, E2SO a F2MO byly deklarovány jako samočistící s přísávkem oxidu titaničitého, je tento efekt viditelný pouze u omítek A2PO a B2MO. Na ostatních vzorcích je viditelný rozdíl v odstínu omítky oproti referenčnímu vzorku.

## **8.5 Závěr**

Cílem této práce bylo popsání procesů, které nastávají při ulpívání nečistot na povrchových vrstvách fasádních systému. Dalším cílem bylo navrhnutí a ověření metodiky pro testování odolnosti omítek proti ulpívání nečistot. Tato metodika zároveň sloužila k ověření teoretických poznatků, které byly zpracovány v teoretické části práce. Pro zajištění této metodiky byl sestaven simulátor, kde jsme mohli testovat vlivy způsobující ulpívání nečistot. Přesto že byl simulátor kalibrován a testován na opakovatelnost měření a tato měření byla vyhovující lze doporučit

další vývoj a zdokonalení simulátoru. Navržená metodika se jeví jako vhodná pro budoucí testování omítek a jejich odolnost proti špinění. Jednotlivé typy způsobů znečištění byly na principu elektrostatickém, mechanickém a v neposlední řadě vliv termoprecipitace.

Po provedení měření byly potvrzeny naše předpoklady. Z dosažených výsledků vyplývá, že na ulpívání nečistot na povrchu omítek má největší vliv elektrostatické působení. Ať už se jednalo o jakoukoli testovanou omítku jakékoli barvy, vždy bylo znečištění největší u vzorků, které byly vystaveny působení elektrostatických sil. Dále můžeme konstatovat, že nebyly znatelné rozdíly v míře zašpinění u výrobků různých výrobců.

Mechanický vliv, tedy ulpívání nečistot v nerovnostech se také potvrdil jako jeden z faktorů, který má značný podíl na míře znečištění omítek. Avšak tento aspekt není možné ovlivnit, pokud se jedná o pastovitou omítku. Při jejím vytváření vždy dojde ke vzniku struktury.

Vliv termoprecipitace tedy vliv rozdílů teplot na ulpívání nečistot nebyl v rámci této diplomové práce prokazatelně ověřen. Proto je doporučeno další přezkoumání a testování.

Na základě dílčích závěrů lze navrhnout předběžná opatření, která musí být ovšem podrobena zkušebnímu testování. Co se týče elektrostatického působení, jedním z možných postupů, jak mu předcházet je zvýšení vodivosti povrchových vrstev, aby docházelo k rychlejšímu odvádění náboje z povrchu. Tento jev by mohl být zajištěn například přidávkem vodivých vláken do směsi omítky, které by po aplikaci vytvořily vodivou síť, jež by měla za úkol odvádět náboj pryč do země přes uzemnění. Další variantou by mohlo být použití výztužné tkaniny do základní vrstvy z vodivého materiálu, která by byla rovněž uzemněna a odváděla by náboj pryč z omítky. U mechanického vlivu je doporučení použití omítky s co nejjemnější strukturou, která zajistí co nejhladší povrch. Avšak v tomto případě už se jedná o změnu estetické stránky omítky. Tato změna nemusí být vždy žádoucí ze strany zákazníka.

Ačkoliv v této práci nebyl zvoleným postupem vliv termoprecipitace jednoznačně prokázán u určitých staveb byl tento jev pozorován. Předcházení tomuto jevu je velmi obtížné v první řadě je třeba správně navrhnout tepelnou izolaci objektu, ale i toto mnohdy nemusí stačit. I když je provedena izolace s vyhovujícím součinitelem tepelné vodivosti, tento jev může nastat. Dalším faktorem je důsledné dodržování technologických postupů při aplikaci tepelného izolantu, zejména detailů.

Při vyhodnocování výsledků týkající se přirozeného špinění. Je velmi podobný výsledek jako u předchozí části. Při porovnání jednotlivých omítek mezi sebou, i mezi jednotlivými výrobci, není znatelný rozdíl ve zjištěné míře zašpinění. Samočistící schopnost oxidu titaničitého, která byla rovněž sledována, se prokázala, avšak výsledek není jednoznačný. Tento jev byl pozorován pouze u dvou druhů omítek. U tmavších odstínů omítek, ty opticky vypadají jako méně znečištěné díky své barvě. Proto je výhodnější použít tmavší odstíny, pokud chceme udržet delší dobu opticky „čistější“ omítku.

## ZDROJE

- [1] PARNHAM, Phil. *Prevention of Premature Staining of New Buildings*. Londýn: E & FN SPON, 1997. ISBN 0-203-47391-4.
- [2] KAULICH, Viktor Ing. *Termoprecipitace a její vliv na kvalitu povrchů fasád* [online]. 2010, 2010, 2010 [cit. 2018-10-07]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/termoprecipitace-jeji-vliv-na-kvalitu-povrchu-fasad-627>
- [3] *TiO<sub>2</sub> Fotokatalýza: základy a aplikace*. Praha: T.R.S. Praha, 2002. ISBN 80-903113-3-4.
- [4] *KM - Color* [online]. 2013 [cit. 2018-10-09]. Dostupné z: <https://www.km-color.cz/omitky-a-barvy-caparol>
- [5] *Virtuální centrum: Informace o životním prostředí* [online]. [cit. 2018-10-09]. Dostupné z: <http://www.virtualnicentrum.cz/>
- [6] *PRETIOX: Application of photocatalytic titanium dioxide in various areas* [online]. In: . 2016, s. 8 [cit. 2018-10-27].
- [7] DE MATTEIS, Valeria, Mariafrancesca CASCIONE, Virgilio Brunetti BRUNETTI, Chiara Cristina TOMAABROSARIA RINALDIAB a Rosaria Rinaldiab RINALDIAB. Toxicity assessment of anatase and rutile titanium dioxide nanoparticles: The role of degradation in different pH conditions and light exposure. *Toxicology in Vitro*. 2016, , 201-210.
- [8] *Weber - Terranova* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: <https://www.weber-terranova.cz/vnejsi-fasady-a-omitky/vyrobky/tenkovrstve-pastovite-omitky/>
- [9] *Baumit* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: <https://www.baumit.cz/produkty/povrchove-upravy/fasadni-omitky/>
- [10] *Cemix* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: <https://www.cemix.cz/produkty/fasadni-omitky/pastovite-omitky>
- [11] *PCI Cz* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: [https://www.pci-cz.cz/cz/produkty.html?tx\\_mmdb%5Bcat%5D=53605&cHash=c7524aeb42881c3997efe190c572ee4e](https://www.pci-cz.cz/cz/produkty.html?tx_mmdb%5Bcat%5D=53605&cHash=c7524aeb42881c3997efe190c572ee4e)

- [12] *Caparol* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z:  
<http://www.caparol.cz/produkty/omitky/fasadni/silikonove.html>
- [13] *Ceresit* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z:  
<http://www.ceresit.cz/cz/produkty/omitky-a-zateplovaci-systemy/tenkovrstve-omitky.html>
- [14] *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z:  
<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt-parametry&pvo=ZPR03&pvoc=&sp=A&katalog=30842&z=T>
- [15] Virtuální centrum: Informace o životním prostředí. *Virtuální centrum: Vznik a původ znečišťujících látek* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z:  
<http://www.virtualnicentrum.cz/vzdelavaci-moduly/modul-ovzdusi/znecesteni-ovzdusi/prach/kde-vznika/>
- [16] *Weber - Terranova* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: <https://www.weber-terranova.cz/informace/pomoc/slovník.html>
- [17] *Fyzmatik* [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/411-triboelektricka-rada.html>
- [18] *InAstroNoviny: Pozorování - Atmosférická elektřina* [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: [https://www.ian.cz/archiv/data/ian1/iannew/173\\_p.htm](https://www.ian.cz/archiv/data/ian1/iannew/173_p.htm)
- [19] *Encyklopédia Britannice: Sulfur dioxide* [online]. [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/sulfur-dioxide>
- [20] *Icopal: Noxite* [online]. [cit. 2018-12-07]. Dostupné z: <http://www.icopal-noxite.co.uk/nox-problem/nox-pollution.aspx>
- [21] PLEIJEL, Heken. *Ground-Level Ozone: A Threat to Vegetation*. Trelleborg: Swedish Environmental Protection Agency, 1999. ISBN 91-620-4970-4.
- [22] ČSN EN 1062-3. *Nátěrové hmoty - Povlakové materiály a povlakové systémy pro vnější zdivo a betony: Část 3: Stanovení permeability vody v kapalné fázi*. 2008.
- [23] JOSEF, Remeš, Utíkalová IVANA, Kacálek PETR, Kalousek LUBOR a Petříče TOMÁŠ. *Stavební příručka*. 2. dopl. vyd. Praha: Grada publishing, 2014. ISBN 978-80-247-5142-9.

[24] Statický náboj: Vznik a eliminace. In: *Limex - techník* [online]. [cit. 2019-01-05].  
Dostupné z: [http://www.limex-  
technik.cz/images/download/meech/Staticky\\_naboj\\_vznik\\_a\\_eliminance.pdf](http://www.limex-technik.cz/images/download/meech/Staticky_naboj_vznik_a_eliminance.pdf)



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr č. 1 - Pohyb nečistot vlivem proudění vody [1].....	15
Obr č. 2 – Ukázka výkvětů na cihlovém zdivu [1] .....	19
Obr č. 3 - Ukázka výkvětů na cihlovém zdivu [1] .....	19
Obr č. 4 - Struktura fasádní omítky [4] .....	21
Obr č. 5 - Prokreslení konstrukce vlivem termoprecipitace [2].....	22
Obr č. 6 - Triboelektrická řada [17].....	24
Obr č. 7 - Ekvipotenciální hladiny [18] .....	25
Obr č. 8 - Krystalická struktura TiO <sub>2</sub> [7].....	32
Obr č. 9 - Charakteristika fotokatalytických procesů [3] .....	33
Obr č. 10 - Procesy probíhající na omítkách s a bez přídavku TiO <sub>2</sub> [6].....	34
Obr č. 11 - Příprava vzorků fasád .....	45
Obr č. 12 - Celkový pohled na severní (vlevo) a jižní (vpravo) fasádu .....	46
Obr č. 13 - Celkový pohled na východní fasádu .....	46
Obr č. 14 - Postup vytváření vzorků fasády.....	47
Obr č. 15 - Referenční vzorek po napenetrování .....	48
Obr č. 16 - Referenční vzorky před penetrací .....	48
Obr č. 17 - Referenční vzorek po aplikaci omítky .....	49
Obr č. 18 - Aplikace omítky na referenční vzorek .....	49
Obr č. 19 - Aplikace omítky na referenční vzorek .....	49
Obr č. 20 - Osvětlovací komora.....	50
Obr č. 21 – Navrhovaná metodika určení znečištění omítky.....	50
Obr č. 22 - Vzorek do simulátoru po nanesení omítky.....	52
Obr č. 23 - Vzorky do simulátoru po napenetrování .....	52
Obr č. 24 - Vzorky do simulátoru .....	52
Obr č. 25 – Chladicí deska.....	54
Obr č. 26 – Systém upevnění vzorků.....	54
Obr č. 27 – Regulátor teplot na chladících deskách.....	54

Obr č. 28 – Regulátor velikosti napětí (vlevo) ovládání ventilátoru (vpravo).....	54
Obr č. 29 – Simulátor .....	55
Obr č. 30 - Omítka A1S - 1 po procesu umělého špinění.....	57
Obr č. 31 - Omítka A2PO - 1 po procesu umělého špinění.....	57
Obr č. 32 - Omítka A3S - 1 po procesu umělého špinění .....	58
Obr č. 33 - Omítka A4S - 2 po procesu umělého špinění .....	58
Obr č. 34 - Omítka B1S - 1 po procesu umělého špinění.....	59
Obr č. 35 - Omítka B2MO - 1 po procesu umělého špinění.....	59
Obr č. 36 - Omítka B3S - 2 po procesu umělého špinění .....	59
Obr č. 37 - Omítka C1S -1 po procesu umělého špinění .....	60
Obr č. 38 - Omítka C2PO - 1 po procesu umělého špinění.....	60
Obr č. 39 - Omítka C3S - 2 po procesu umělého špinění .....	60
Obr č. 40 - Omítka D1S - 1 po procesu umělého špinění.....	61
Obr č. 41 - Omítka D2SO - 1 po procesu umělého špinění.....	61
Obr č. 42 - Omítka D3S - 2 po procesu umělého špinění.....	61
Obr č. 43 - Omítka E1S - 1 po procesu umělého špinění .....	62
Obr č. 44 - Omítka E2SO - 1 po procesu umělého špinění .....	62
Obr č. 45 - Omítka F1S - 1 po procesu umělého špinění.....	63
Obr č. 46 - Omítka F2MO - 1 po procesu umělého špinění .....	63
Obr č. 47 - Souhrnný pohled na testované vzorky po procesu umělého špinění....	64
Obr č. 48 - Snímek vzorku zašpiněného vlivem elektrostatických sil, zvětšeno 20x	66
Obr č. 49 - Snímek vzorku zašpiněného vlivem mechanického ulpívání, zvětšeno 20x.....	66
Obr č. 50 - Snímek vzorku zašpiněného vlivem termoprecipitace, zvětšeno 20x....	67
Obr č. 51 - Omítka A1S - 1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	68
Obr č. 52 - Omítka A2PO -1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	68

Obr č. 53 - Omítka A3S - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	68
Obr č. 54 - Omítka A4S - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	68
Obr č. 55 - Omítka B1S -1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	69
Obr č. 56 - Omítka B2MO - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	69
Obr č. 57 - Omítka B3S - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	69
Obr č. 58 - Omítka C1S -1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	70
Obr č. 59 - Omítka C2PO - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	70
Obr č. 60 - Omítka C3S - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	70
Obr č. 61 - Omítka D1S - 1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	71
Obr č. 62 - Omítka D2SO - 1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	71
Obr č. 63 - Omítka D3S - 2 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	71
Obr č. 64 - Omítka E1S -1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	72
Obr č. 65 - Omítka E2SO - 1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	72
Obr č. 66 - Omítka F1S - 1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	72

Obr. č. 67 - Omítka F2MO - 1 po expozici přirozenému prostředí (vlevo referenční vzorek) .....	72
--	----

## SEZNAM TABULEK

Tab. č. 1 - Základní typy aerosolových částic [5].....	28
Tab. č. 2 - Vývoj emisí v ČR [14].....	29
Tab. č. 3 - Rozdělení zdrojů znečišťování [15].....	30
Tab. č. 4 - Třídy permeability vody materiálů [22].....	36
Tab. č. 5 - Seznam použitých omítek.....	38
Tab. č. 6 - Vybrané vlastnosti omítek z technických listů .....	44
Tab. č. 7 - Systém hodnocení zašpinění.....	56
Tab. č. 8 - Hodnocení stupně zašpinění vzorků po umělém zašpinění.....	65
Tab. č. 9 - Hodnocení stupně zašpinění vzorků po vystavení přirozenému prostředí .....	73