

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Návrh optimální chemické předúpravy před aplikací kataforetické  
nátěrové hmoty pro automobilový průmysl

Design of optimal chemical pretreatment before application of  
cataphoretic coating system in the automotive industry

**AUTOR:** Bc. David Lorenc

**STUDIJNÍ PROGRAM:** Výrobní a materiálové inženýrství

**VEDOUCÍ PRÁCE:** Ing. Jakub Svoboda

PRAHA 2020



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:  **Lorenc**  Jméno:  **David**  Osobní číslo:  **458488**   
Fakulta/ústav:  **Fakulta strojní**   
Zadávající katedra/ústav:  **Ústav strojírenské technologie**   
Studijní program:  **Strojní inženýrství**   
Studijní obor:  **Výrobní a materiálové inženýrství**

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh optimální chemické předúpravy před aplikací kataforetické nátěrové hmoty pro automobilový průmysl**

Název diplomové práce anglicky:

**Design of optimal chemical pre-treatment before application of cathophoretic coating system in the automotive industry**

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor problematiky
2. Návrh optimální chemické předúpravy před aplikací kataforetické nátěrové hmoty
3. Technicko – ekonomické zhodnocení.
4. Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jakub Svoboda, ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


**Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


Datum zadání diplomové práce:  **29.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce:  **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce:  **31.12.2020**

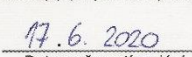
  
Ing. Jakub Svoboda  
podpis vedoucí(ho) práce


  
doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

  
 **17.6.2020**   
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne: .....

.....  
David Lorenc

## **Anotace**

**Abstrakt:** V teoretické části diplomové práce se pojednává o předúpravách povrchu, konverzních povlacích, zejména fosfátování a organosilanech, dále pak aplikaci nátěrových hmot a na závěr o kataforetickém lakování.

V experimentální části byly vytvořeny dvě chemické předúpravy zároveň zinkovaného povrchu, na které bylo následně aplikováno kataforetické lakování. Hlavním úkolem bylo porovnání těchto předúprav a jejich vliv na přilnavost a korozní odolnost. Experiment byl omezen počtem zkušebních vzorků a množstvím provedených testů kvůli pandemii COVID 19.

**Název práce:** Návrh optimální chemické předúpravy před aplikací kataforetické nátěrové hmoty pro automobilový průmysl

**Autor práce:** Bc. David Lorenc

**Vedoucí práce:** Ing. Jakub Svoboda

**Ústav:** 12133 – Ústav strojírenské technologie

**Vedoucí ústavu:** Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

**Univerzita:** České vysoké učení technické v Praze – Fakulta strojní

**Klíčová slova:** chemická předúprava, fosfátování, organosilany, kataforetické lakování, přilnavost

## **Annotation**

**Abstract:** The theoretical part of the diploma thesis deals with surface pretreatments, conversion coatings, especially phosphating and organosilanes, then the application of paints and finally with cathodic coating system.

In the experimental part, two chemical pretreatments of a hot - dip galvanized surface were created, to which a cathodic coating system was subsequently applied. The main task was to compare these pretreatments and their effect on adhesion and corrosion resistance. The experiment was limited by the number of test samples and the number of performed tests due to the COVID 19 pandemic.

**Title:** Design of optimal chemical pretreatment before application of cathodic coating system in the automotive industry

**Author:** Bc. David Lorenc

**Supervisor:** Ing. Jakub Svoboda

**Department:** 12133 – Department of Manufacturing Technology

**Head of department:** Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

**University:** Czech Technical University in Prague

**Keywords:** chemical pretreatment , phosphating, organosilanes, cathodic coating system, adhesion

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jakubovi Svobodovi za vedení, cenné rady a připomínky při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Kamilovi Hylákovi za pomoc v experimentální části.

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Předúpravy povrchu .....	10
2.1.1	Mechanické předúpravy .....	10
2.1.2	Chemické předúpravy .....	11
3	Konverzní vrstvy .....	13
3.1	Fosfátování .....	13
3.1.1	Technologický postup .....	14
3.1.2	Způsoby nanášení .....	14
3.1.3	Druhy fosfátových povlaků.....	14
3.1.4	Vlastnosti a využití.....	17
3.2	Chromátování .....	18
3.2.1	Technologický postup .....	18
3.2.2	Druhy chromátovacích povlaků .....	19
3.2.3	Chromátovací lázně.....	19
3.2.4	Vlastnosti a využití.....	20
3.3	Oxalátové konverzní vrstvy.....	21
3.4	Konverzní vrstvy na bázi ceru .....	21
3.5	Konverzní vrstvy na bázi titanu a zirkonu.....	22
3.6	Anodická oxidace .....	25
3.7	Organosilany .....	25
3.7.1	Historie .....	25
3.7.2	Struktura organosilanů .....	26
3.7.3	Výroba organosilanů .....	27
3.7.4	Způsoby nanášení .....	28
3.7.5	Metoda sol – gel .....	28
3.7.6	Vlastnosti a použití.....	29
4	Aplikace nátěrových hmot .....	32
4.1	Ruční nanášení .....	32
4.2	Mokrý způsob.....	32
4.2.1	Vzduchové stříkání.....	32
4.2.2	Bezvzduché stříkání .....	33

4.2.3	Výhody a nevýhody .....	33
4.3	Máčení .....	34
4.4	Navalování.....	34
4.5	Polévání .....	35
5	Kataforetické lakování .....	35
5.1	Princip a využití.....	35
5.2	Historie elektroforetického lakování .....	36
5.3	Technologický postup .....	36
5.4	Linky pro kataforetické lakování .....	38
5.4.1	Taktovací linky.....	38
5.4.2	Průběžné linky.....	38
5.5	Základní složky kataforetické lázně .....	39
5.6	Příklad spojení KTL – organosilany.....	39
5.6.1	Aplikace na zinkový podklad.....	39
5.6.2	Aplikace na hliníkový podklad .....	40
5.7	Výhody a nevýhody KTL.....	40
6	Experimentální část.....	42
6.1	Příprava zkušebních vzorků .....	42
6.2	Předúpravy povrchu žárového zinku .....	43
6.2.1	Fosfátování.....	43
6.2.2	Organosilany – PRAGOKOR Adhez.....	44
6.3	Kataforetické lakování.....	46
6.4	Označení zkušebních vzorků.....	48
6.5	Metody zkoušení vzorků .....	48
6.6	Testování fyzikálně – mechanických vlastností.....	49
6.6.1	Stanovení tloušťky povlaku .....	50
6.6.2	Určení přilnavosti.....	51
6.7	Výsledky zkoušek přilnavosti pro jednotlivé předúpravy.....	56
6.7.1	Výsledky referenčních vzorků pro fosfátování .....	56
6.7.2	Výsledky referenčních vzorků pro organosilany .....	57
6.7.3	Výsledky zkoušek přilnavosti vzorků z korozní komory.....	58
6.7.4	Výsledky zkoušek přilnavosti vzorků z kondenzační komory.....	68
6.8	Porovnání chemických předúprav .....	74



6.8.1	Hodnocení degradace povlaku .....	91
7	Technicko-ekonomické zhodnocení .....	93
8	Závěr .....	95
9	Seznam použitých zdrojů .....	97
10	Seznam obrázků .....	104
11	Seznam tabulek .....	105
12	Seznam grafů.....	107
13	Seznam použitých zkratk a jednotek .....	108
14	Přílohy .....	110

## 1 Úvod

Povrchové úpravy jsou nezbytnou součástí každého výrobku. Aby bylo docíleno dlouhé životnosti a spolehlivosti součásti, je zapotřebí kvalitní povrchové úpravy. Žárové pokovení je řazeno k běžně používaným technologiím. Mezi nejčastěji vylučovaný kov patří zinek, který chrání materiál především proti korozi. Žárové zinkování je vysoce účinné a životnost takto vytvořeného povlaku dosahuje až desítek let.

Každý materiál má negativní vlastnost, kterou je koroze. Abychom tomuto nežádoucímu prvku předešli, je nutné zvolit správnou úpravu povrchu, která se skládá z předúpravy a finální úpravy.

Tato diplomová práce se v teoretické části zaměřuje právě na předúpravy povrchu, konkrétně ty chemické. Jsou v ní podrobně popsány známé technologie chromátování a fosfátování a nové technologie chemických předúprav. Z ekologického hlediska a ekonomických aspektů však tyto předúpravy nejsou přívětivé, a tak je v současnosti kladen důraz na vývoj nových, ekologičtějších, energeticky méně náročnějších a levnějších technologií. Takovouto technologií jsou organosilany, které dosahují v povrchových úpravách v posledních letech velkého rozmachu. Teoretická část se také věnuje problematice kataforetického lakování, které je rovněž stěžejní pro tuto práci.

Kataforetické lakování je jednou ze základních vrstev celého systému protikorozní ochrany materiálu v automobilovém průmyslu, proto je důležité zvýšit přilnavost a korozní odolnost již základní vrstvy.

Náplní experimentální práce bylo aplikovat na zkušební vzorky s žárovým zinkem dvě chemické předúpravy (fosfátování, organosilany), na které bylo následně nanášeno kataforetické lakování. Vzorky byly poté vloženy do korozní a kondenzační komory a po určitých časových intervalech vyjmuty. Cílem této práce bylo zkušební vzorky podrobit zkouškám přilnavosti a následně porovnat chemické předúpravy mezi sebou. Současně se používá zejména fosfátování, proto v této práci došlo k testování organosilanů, zda mohou konkurovat běžně používaným předúpravám před aplikací KTL.

## **2 Předúpravy povrchu**

Předúprava povrchu je nezbytným a důležitým krokem povrchových úprav. Cílem je dosažení kvalitního povrchu, aby následující povrchová úprava mohla docílit žádoucí vlastnosti a mohla plnit svoji funkci. Předúpravy povrchu rozdělujeme na mechanické a chemické. [1]

### **2.1.1 Mechanické předúpravy**

Hlavním významem mechanických předúprav je zejména očistit povrch od nečistot (rez, okuje), zařídit podmínky pro vhodnou přilnavost následných vrstev a vytvořit takové podmínky, které vedou ke zvýšené odolnosti proti korozi a ke zlepšení mechanických vlastností. Mezi nejběžnější způsoby mechanických předúprav patří broušení, omílání, tryskání a kartáčování. [2]

#### **2.1.1.1 Broušení**

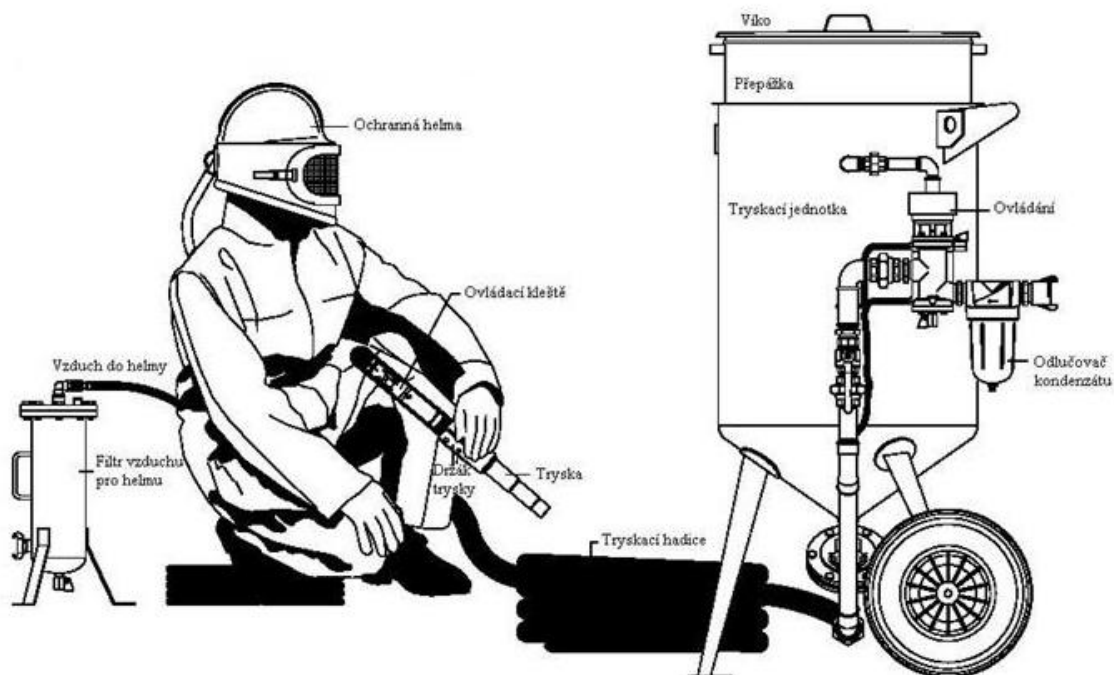
Technologie broušení se používá především před vytvořením povlaku či jako konečná mechanická předúprava. Hlavním úkolem broušení je postupný úběr materiálu, čímž dochází k odstranění nerovností povrchu. [3]

#### **2.1.1.2 Omílání**

Při omílání dochází k úběru materiálu a jeho vyhlazování vzájemným působením výrobků a omílacích prostředků (brusiva). Omílání se využívá především při velké sériovosti menších a tvarově náročnějších součástí. [3]

#### **2.1.1.3 Tryskání**

Tryskání je způsob technologie, kde je cílem odstranit z povrchu součásti korozní produkty. Tato metoda je velice produktivní a užívá se jako příprava povrchu pro nátěry či smalty a k získání potřebné drsnosti tryskaného předmětu. Princip spočívá v tryskání proudu částic – abraziva na povrch produktu. Jako abrazivo se nejčastěji používá litinová drť, broky, sekaný drát, skleněné kuličky či křemičitý písek. [2]



Obrázek 1: Schéma tryskání včetně obsluhy [7]

#### 2.1.1.4 Kartáčování

Kartáčování spočívá v opracování povrchu součásti, které se používá buď jako čistící úkon, nebo jako další krok po broušení k odstranění oxidických vrstev. Princip této technologie spočívá v odírání povrchu materiálu kartáči, které jsou z ocelového rovného či zvlněného drátku. Pro opracování neželezných kovů se využívají dráty z jiných materiálů (např. mosaz). Pomocí této technologie však většinou nelze odstranit všechny nečistoty. [3]

#### 2.1.2 Chemické předúpravy

Chemické předúpravy se používají k odstranění nečistot z povrchu materiálu před aplikací dalších úprav, které následují. Mezi technologie těchto předúprav spadá odmašťování, moření, odrezování a leštění. [2]

##### 2.1.2.1 Odmašťování

Odmašťováním se rozumí odstraňování všech utkvělých nečistot z povrchu kovu, které jsou k tomuto povrchu poutány pomocí adhezních sil (prach, anorganické nečistoty), nebo fyzikální adsorpci (tuky, oleje, mastné látky). Odmašťovací proces se uskutečňuje několika způsoby. Nejrozšířenějšími způsoby jsou odmašťování v organických rozpouštědlech a odmašťování v alkalických roztocích. [2, 3]

### 2.1.2.2 Moření

Moření je chemická předúprava povrchu, při které dochází k odstraňování nežádoucích oxidů a okujů z povrchu oceli. Důvodem moření je získání kovově čistého povrchu. Uskutečňuje se nejčastěji ponorem součásti do lázně s roztokem kyselin. Rychlost moření je závislá na složení oxidů ve vrstvě okujů. Používané kyseliny k moření jsou následující:

- Kyselina sírová ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Kyselina dusičná ( $\text{HNO}_3$ )
- Kyselina chlorovodíková ( $\text{HCl}$ )
- Kyselina fluorovodíková ( $\text{HF}$ )
- Kyselina fosforečná ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

Čas moření je možné snížit vhodnou koncentrací kyseliny nebo zvýšením teploty mořicí lázně. [4, 5, 6]



Obrázek 2: Ukázka moření [8]

### 2.1.2.3 Odrezování

Odrezování je technologie, při které dochází k odstraňování korozních produktů z povrchu, který je pokryt jen rží (bez okujů). Rez se z povrchu odstraňuje pomocí kyselin (používá se zejména kyselina fosforečná) nebo užitím odrezovačů, které obsahují inhibitory koroze, smáčedla a odmašťovačla. Odrezování je buď oplachové, nebo bez oplachu a lze ho aplikovat nátěrem, ponorem nebo postříkem. [2, 3]

#### 2.1.2.4 Chemické leštění

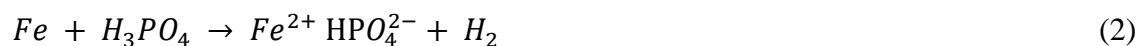
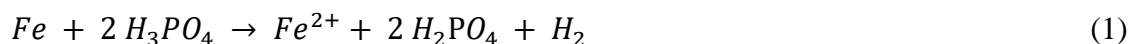
Chemické leštění je druh moření ve speciálních lázních za specifických podmínek. Jedná se o kvalitnější a rychlejší způsob oproti mechanickému leštění. Používá se u drobnějších a tvarově složitějších předmětů. [3]

### 3 Konverzní vrstvy

Konverzními vrstvami rozumíme nerozpustné anorganické vrstvy či filmy bez vnitřní struktury. Tyto vrstvy se vytvoří chemickým roztokem, v němž je na daný materiál aplikovaná konverzní vrstva ponorem. Na povrchu kovu tak dojde k vytvoření sloučenin, které jsou ukotveny v základním materiálu a dávají mu potřebné povrchové vlastnosti. Aplikace konverzní vrstvy na pozinkovaný materiál má kladný účinek z hlediska utvoření bariérové ochrany, což vede k lepší korozní odolnosti a přilnavosti nátěrových hmot. Nejčastěji se můžeme setkat se třemi způsoby konverzních povlaků, kterými jsou fosfátování, chromátování a anodická oxidace. V dnešní době se však rozmáhá i další způsob, kterým je aplikace organosilanů a aplikace technologie s použitím fluorozirkoničitanů (Ti, Zr). [2, 9]

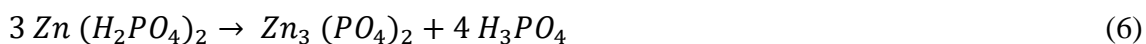
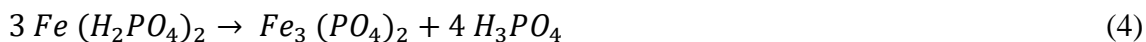
#### 3.1 Fosfátování

Pod pojmem fosfátování se skrývá nejrozšířenější chemická povrchová úprava ocelí, při které se na povrch povlakované součásti vylučují nerozpustitelné terciální fosforečnany železa, zinku, manganu a vápníku. Základním principem fosfátování je proměna rozpustného dihydrogenfosforečnanu, což je ústřední složka fosfatizační lázně, na hydrogenfosforečnan, který je nerozpustný, a na fosforečnan příslušného kovu. Tento fosforečnan vzniká pomocí reakce fosfatizačního roztoku s kovovým povrchem. Jako první probíhá reakce, při které dojde k rozpuštění kovu díky volné kyselině za současného vzniku vodíku:



Na styčné ploše kov – fosfátovací lázeň dojde k úbytku volné kyseliny v lázni, což znamená zvýšení pH a tím je porušena hydrolytická rovnováha lázně. To zapříčiní

disproporcionaci hydrogenfosforečnanu na nerozpustný běžný fosforečnan a volnou kyselinu fosforečnou.



Volná kyselina, která vznikne, obnoví rovnováhu v lázni. Nerozpustný terciální fosforečnan zinečnatý krystalizuje na povrch oceli a vytvoří ochrannou vrstvu. [2, 3, 12, 13]

### 3.1.1 Technologický postup

Technologický postup fosfátování se skládá z několika kroků. Prvním z nich, jako u většiny technologií povrchových úprav, je odmašťování. Po odmaštění následuje moření. Třetím krokem je aktivace, která může být vynechána, hlavně tehdy, kdy je využito odmašťování s aktivačním účinkem. Další operací je samotné fosfátování, po kterém následuje pasivace, která není vždy nutná, takže může dojít ke snížení počtu operací v technologickém postupu. Na konec je aplikováno sušení. Mezi jednotlivými kroky je nutné použít oplachy, aby nedošlo ke znehodnocení lázně. [2]

### 3.1.2 Způsoby nanášení

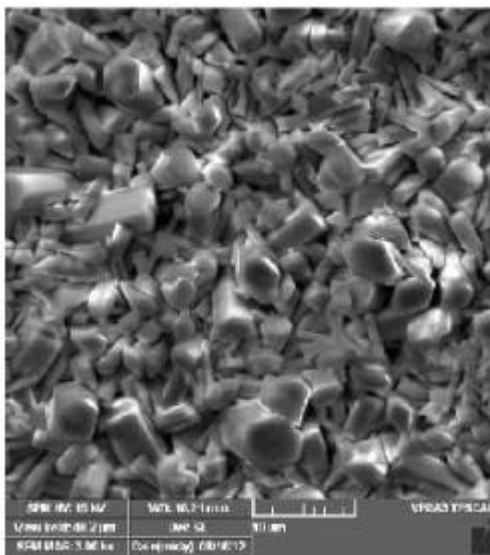
Fosfátování lze realizovat ponorem (častější varianta) nebo postřikem. Teplota procesu se pohybuje okolo 30 – 70 °C. Jakmile je aplikována metoda ponorem, je doba fosfátování 3 – 10 minut. Při využití postřiku je doba nižší, asi 1 – 3 minuty. Může však být využito prostředků, tzv. urychlovačů, které proces urychlí. Urychlovače se dělí na chemické a elektrochemické. Mezi nejběžnější chemické urychlovače spadají oxidační činidla. Z elektrochemických způsobů se používají jak anodické, tak katodické procesy. [14, 15]

### 3.1.3 Druhy fosfátových povlaků

Fosfátové povlaky můžeme dle kovového kationtu fosfatizačního roztoku dělit na manganaté, železnaté, zinečnaté a zinečnato-vápenaté. [16]

### 3.1.3.1 Manganaté fosfátování

Fosfatizační lázeň, jejíž teplota je 70 – 98 °C, obsahuje dihydrogenfosforečnan manganatý, vzniká tmavý povlak. Povlak se tvoří 5 – 10 minut. Tento způsob se využívá pro ozubená kola a tam, kde je potřeba snížit vlečné tření. [16, 17]

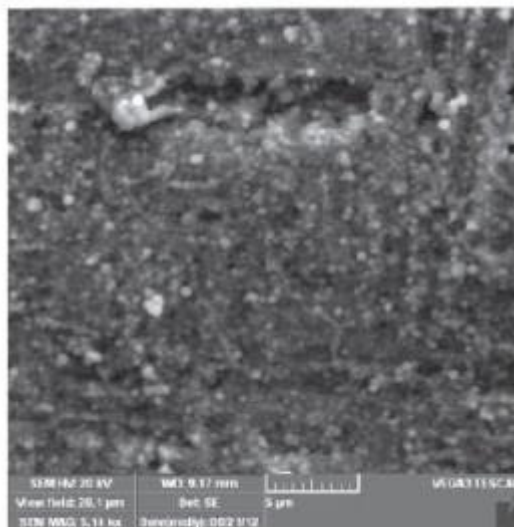


Obrázek 3: SEM snímek manganatého fosfátování [18]

### 3.1.3.2 Železnaté fosfátování

Při tomto způsobu fosfátování lázeň neobsahuje dihydrogenfosforečnan železnatý, neobvykle obsahuje dihydrogenfosforečnan amonný (eventuálně sodný). Fosfatovací lázeň má teplotu 50 – 60 °C, doba expozice v lázni je 1 – 5 minut. Konverzní vrstva, která vznikne, je velice tenká, tudíž poskytuje minimální ochranu, proto se většinou používá jako mezivrstva pod lakování nebo jako mezioperační ochrana. [16, 17]

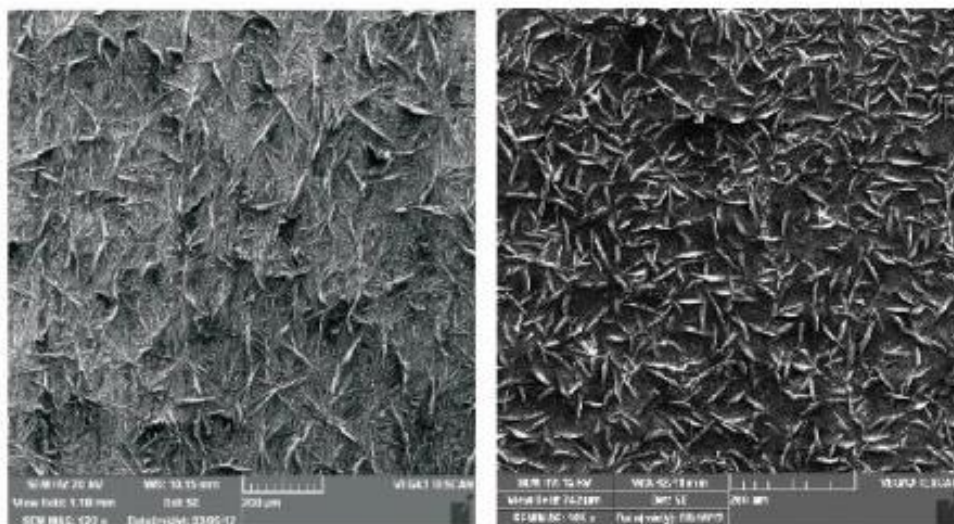




Obrázek 4: SEM snímek železnatého fosfátování [18]

### 3.1.3.3 Zinečnaté fosfátování

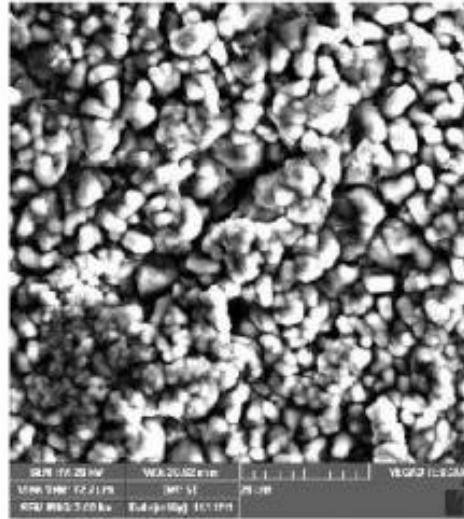
Při zinečnatém fosfátování obsahuje lázeň dihydrogenfosforečnan zinečnatý. Tvoří se silnější film s lupenitým zrnem. Pracovní lázeň dosahuje teplot v rozmezí 40 – 70 °C a vrstva se tvoří 3 – 10 minut. Zinečnatý fosfát, který má tmavě šedou až černou barvu, se nejčastěji používá jako podklad pod organické povlaky či pro zlehčení tažení drátů. [16, 17]



Obrázek 5: SEM snímky zinečnatého fosfátování (vlevo majoritní podíl fosfofylitu, vpravo majoritní podíl hopeitu [18])

### 3.1.3.4 Zinečnato-vápenaté fosfátování

Pracovní lázeň zinečnato-vápenatého fosfátování je podobná zinečnatému, avšak ještě navíc obsahuje dihydrogenfosforečnan vápenatý. Vzniká krystalická vrstva, která má velice jemnou globulární strukturu. Povlak se vytvoří po 5 – 10 minutách v lázni o teplotě 50 – 70 °C. Tento způsob fosfátování se používá jako podkladová vrstva nátěrových systémů nebo jako náhrada zinečnatého fosfátování. [16, 17]



Obrázek 6: SEM snímek zinečnato-vápenatého fosfátování [18]

### 3.1.4 Vlastnosti a využití

Vrstvy vytvořené fosfátováním jsou odolné proti korozi (i proti mořské vodě), ale přímá ochrana osamocenými fosfátovými povlaky nemá příliš velký význam. Pokud má být fosfátování využito jako ochrana před korozi pro hromadně vyráběné součásti, je zapotřebí spojit tuto technologii s impregnací. Mechanická pevnost povlaku je nízká, vrstva je měkká a nesmí být porušena. Obecně má fosfátová vrstva šedou až černou barvu a je vždy pórovitá. Podstatnou vlastností je jejich schopnost vázat na sebe některé organické látky.

Jak už bylo zmíněno, tak fosfátové povlaky mohou chránit materiály proti korozi, druh fosfátování se volí dle požadované plošné hmotnosti a podle typu podkladového kovu. Dalším běžným využitím v praxi je usnadnění tváření za studena (zejména zinečnatý fosfát), např. pro tažení trubek, protlačování či hluboké tažení. Fosfátové povlaky jsou vynikající nosiče olejů a mýdel. Fosfátování se používá jako podkladová vrstva pod

organické nátěry. Dále se využívá pro vytvoření izolačních vrstev (povrch trafoplechů) nebo za účelem zlepšení záběhu u strojních součástí. [3, 18, 19]



Obrázek 7: Příklady fosfátování [20]

## 3.2 Chromátování

Chromátování patří k nejrozšířenějším způsobům pasivace. Tato technologie se objevila na počátku 20. století. U nás došlo k největšímu rozmachu po druhé světové válce. V nynější době se jedná o poměrně rychlý a relativně jednoduchý proces, který je z cenového hlediska přívětivější než fosfátování. Nejčastěji se chromátuje zinek a hliník, méně časté je potom kadmium, cín, hořčík a oceli. Při chromátování se tvoří povlak, který obsahuje hydroxid chromitý a hydroxid upravovaného kovu. [2, 21]

### 3.2.1 Technologický postup

Ze všeho nejdříve je důležité upravovanou součást odmastit. Používají se zejména alkalické prostředky. Po odmaštění následuje moření, aby došlo k odstranění rzi. Třetím krokem je samotná pasivace – chromátování. Na konec se aplikuje sušení. Sušení má být co možná nejkratší. Teplota povrchu součástí by neměla přesáhnout 60 °C, jinak hrozí porušení povlaku popraskáním či odlupováním. Mezi každou následující operací je nutnost součásti opláchnout vodou, aby nedošlo ke znehodnocení chromátovací lázně. [2, 21, 22]

V následující tabulce je nastíněn možný technologický postup při chromátování hliníku. Obdobně se stejný postup používá i při chromátování zinku.

Tabulka 1: Technologický postup chromátování hliníku [21]

Operace	Pracovní teplota [°C]	Použitý přípravek	Čas [min]
Odmašťování	75 – 80	alkálie	5 – 10
Oplach	-	voda	1 – 2
Moření	40 – 50	hydroxid sodný	1
Oplach	-	voda	1 – 2
Zjasnění povrchu	-	kyselina dusičná 65%	-
Oplach	-	voda	1 – 2
Chromátování	20 – 25 (Pragofos 1800)	-	1 – 2
Oplach	-	voda	1 – 2
Sušení	60	vzduch	-

### 3.2.2 Druhy chromátovacích povlaků

Chromátovací povlaky lze rozdělit dle tloušťky nanesené vrstvy a barvy na 4 druhy:

- Lesklé či namodralé, tloušťka povlaku pod 0,1  $\mu\text{m}$
- Žluté nebo duhově zbarvené, tloušťka povlaku 0,1 – 0,2  $\mu\text{m}$
- Olivově zelené, tloušťka povlaku 1 – 5  $\mu\text{m}$
- Černé, tloušťka povlaku 0,1 – 1  $\mu\text{m}$  [22]

### 3.2.3 Chromátovací lázně

Lázně určené ke chromátování mohou být alkalické nebo kyselé (používá se  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). [3]

#### 3.2.3.1 Alkalické chromátovací lázně

Tyto lázně se dnes už moc nevyužívají. Kromě chromové soli obsahují také alkálie či zásadité soli, eventuálně křemičitany pro utěsnění pasivační vrstvy. Kov reaguje s chromany a vzniká hydroxid kovu, hydroxid chromitý, sodné soli kovu a vodíku. Z ostatních, nerozpustných hydroxidů se vytvoří nerozpustný chromátový povlak. [3]

### 3.2.3.2 Kyselé chromátovací lázně

Kyselé lázně jsou modernější a jejich hlavní složkou je kyselina chromová. Dále obsahují komplexotvorné látky pro vázání kovových iontů na urychlovače. Lázně pracují v kyselé oblasti, kde kyselost dosahuje hodnot pH 1 až 2,5. Tyto lázně se vyznačují stálostí, odolností v běžném provozu a mohou se regenerovat. Šestimocný iont chromu ( $\text{Cr}^{6+}$ ) reaguje s povrchem kovu v kyselé lázni a částečně redukuje na trojmocný iont chromu ( $\text{Cr}^{3+}$ ). Dojde k růstu pH a vytvoří se vrstva, jenž je složená ze směsi sloučenin chromu a základního kovu. Kvalitu chromátového povlaku lze ovlivnit složením chromátovací lázně a pracovními podmínkami při vytváření chromátového povlaku. [3]

### 3.2.4 Vlastnosti a využití

Chromátové povlaky zajišťují zvýšenou odolnost proti korozi pasivačním účinkem chromových sloučenin a též vytvořením fyzikálně bariérového efektu. Chromátování se používá často jako mezivrstva pod organické nátěry ke zlepšení jejich přilnavosti. Chromátové povlaky mohou mít i dekorativní funkci. Úprava zinkového povrchu chromátováním je velice rozšířená, ale v dnešní době je snaha nahrazovat tento způsob povlakování jinými alternativními technologiemi. Důvodem je obsah šestimocného chromu, který je považován za lidský karcinogen, proto se v současnosti v povrchových úpravách nepoužívá [23, 24, 25]



Obrázek 8: Lesklý až namodralý chromát [26]



Obrázek 9: Žlutý chromát [27]

### 3.3 Oxalátové konverzní vrstvy

Oxalátování se rovněž řadí mezi způsoby, jak vytvořit konverzní povrchovou úpravu. Na kovovém povrchu dojde ke vzniku anorganického nekovového povlaku kooperací aktivních iontů v lázni a iontů anodicky rozpuštěných z kovového základu. Touto technologií se může povlakovat zinek, nelegované a korozivzdorné oceli, tudíž se oxalátování dříve používalo při tváření, zejména u tažení, korozivzdorných ocelí. Při oxalátování vznikají na povrchu součásti šedé, zelenohnědé nebo černé povlaky, které jsou porézní a nejčastěji krystalové z hydratovaných šťavelanů kovů. Plošná hmotnost povlaku záleží hlavně na složení lázně, která obsahuje kyselinu šťavelovou a dosahuje hodnot od 2 až do 20  $g \cdot m^{-2}$ . Kromě kyseliny šťavelové může lázeň obsahovat dále kyselinu boritou a fosforečnou a podobně jako u fosfátování i různé urychlovače (dusitany, chlorečnany). Teplota pracovní lázně se pohybuje v rozmezí 55 – 65 °C. Obecně je konstatováno, že oxalátové konverzní vrstvy mají v alkalickém a kyselém prostředí menší odolnost než mají fosfátové vrstvy. V dnešní době nejsou známa žádná legislativní omezení, která zahrnují využití této technologie. Podle všeho je příčinou nevyužitelnost tohoto druhu konverzních povlaků v povrchových úpravách. [25]



Obrázek 10: Příklad oxalátování tažených trubek [28]

### 3.4 Konverzní vrstvy na bázi ceru

Jedná se o konverzní vrstvy na bázi kovů vzácných zemin (zejména ceru), které dosahují obdobné protikorozní vlastnosti jako chromátové povlaky s šestimocným chromem. Tyto povlaky vycházejí z lázní, které obsahují cerité ionty, zejména  $CeCl_3$  a kyselinu ortho-fosforečnou (případně dusičnou) pro úpravu pH na hodnoty cca 1,5 – 2,5. Pro zmenšení času a teploty bývají používány urychlovače procesu, např. peroxid vodíku. Před samotným vytvořením povlaku je doporučena aktivace povrchu. Pro aktivaci se nejčastěji používá glycinát mědi nebo boritany při době expozice v lázni 12 minut a při teplotě 50

°C. Konverzní vrstvy na bázi ceru jsou tvořeny hydratovanými oxidy ceru ve třetím či čtvrtém mocenství (čtvrté mocenství je stabilnější). S rostoucím obsahem  $\text{CeO}_2$  roste i korozivzdornost povlaků. Tloušťky těchto povlaků dosahují několik  $\mu\text{m}$ . Tímto typem povlaků lze upravovat povrch hořčíku, zinku, hliníku a jejich slitin. V dnešní době se tato technologie používá na nízkolegované slitiny hliníku na výrobu aerosolových plechovek. Povlaky, které jsou vyloučené na zinek, mají rozdílné vlastnosti než povlaky vyloučené na hliníku či na podkladu z hořčíku. [25]

### 3.5 Konverzní vrstvy na bázi titanu a zirkonu

Konverzní úprava na bázi titanu, případně titanu a zirkonia, je jednou z bezchromových technologií tvorby konverzních povlaků využívaných v průmyslové praxi, jenž se snaží nahrazovat i fosfátování, zejména kvůli ekologickým požadavkům. Je založena na působení kyselé lázně s obsahem komplexů titanu a zirkonia, většinou kyseliny hexafluorotitaničitě a hexafluorozirkoničitě, a dalších složek. Jednou z metod je použití oxidu zirkoničitého na povrchu za pomoci technologie sol – gel. Jedná se o metodu syntézy a stabilizace nanočástic. Zmiňovaná technologie je založena na rozpouštění organokovových sloučenin v příslušném rozpouštědle a jejich následné hydrolyze. Hydrolyza vede ke kondenzaci a polymerizaci systému a tím dochází ke vzniku gelu. [31, 32]

První generace konverzních povlaků na bázi zirkonu byla představena v roce 2005 v automobilovém průmyslu. Roku 2010 byla představena tzv. druhá generace povlaků na bázi zirkonu, která byla v porovnání s první generací 2,5 krát silnější.

Koncentrace titanu a zirkonu závisí na pH lázně. Čím vyšší pH v lázni, tím vyšší koncentrace titanu a zirkonu v konverzní vrstvě. Co se týká doby ponoru součásti v lázni, tak obecně platí, že delší doba ponoru zajišťuje rovnoměrnější a silnější povlak z hlediska tloušťky (např. dle této zahraniční studie při době ponoru 600 s byla tloušťka povlaku 70 nm). V některých studiích bylo zjištěno, že i když byly povlaky silnější při delší době ponoru, objevily se praskliny, které jsou pravděpodobně důsledkem vnitřního napětí, jak byla vrstva usušena. Zvýšení drsnosti vrstvy závisí rovněž na době ponoru a je důležitá z hlediska přilnavosti. Parametry pracovní lázně (složení, pH, teplota, míchání v lázni) tedy silně ovlivňují výsledné vlastnosti povlaku. Optimální podmínky jsou obvykle pH 4, doba ponoru mezi 2 a 5 minutami a teplota lázně mezi pokojovou teplotou a teplotou 50 °C. [62]

První typy těchto povlaků byly čistě anorganické. V dnešní době se ale dává přednost těm, které obsahují polymerní složky (např. kyselina polyakrylová nebo fenolové pryskyřice). Přidáním organických sloučenin k sloučeninám titanu a zirkonia se zvyšuje korozní odolnost vrstvy, její přilnavost k podkladu a přilnavost následně nanášených nátěrových povlaků. Mechanismus tvorby konverzních vrstev na bázi titanu a zirkonu je zcela odlišný od chromátování, které je na principu redoxní reakce mezi ionty šestimocného chromu v roztoku s podkladovým kovem a vznikají hydratované oxidy. Tvorbu povlaků na bázi titanu a zirkonia popisují následné rovnice podle toho, na jakém kovovém podkladu je povlak vytvářen. [33]

- Hliník



- Ocel

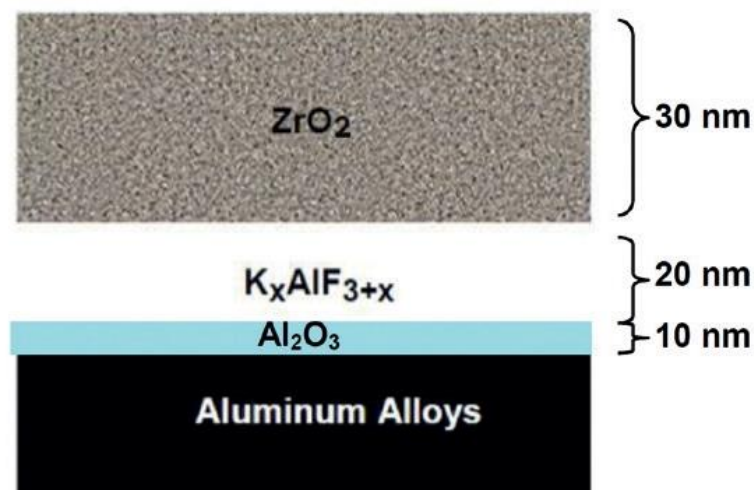


- Zinek

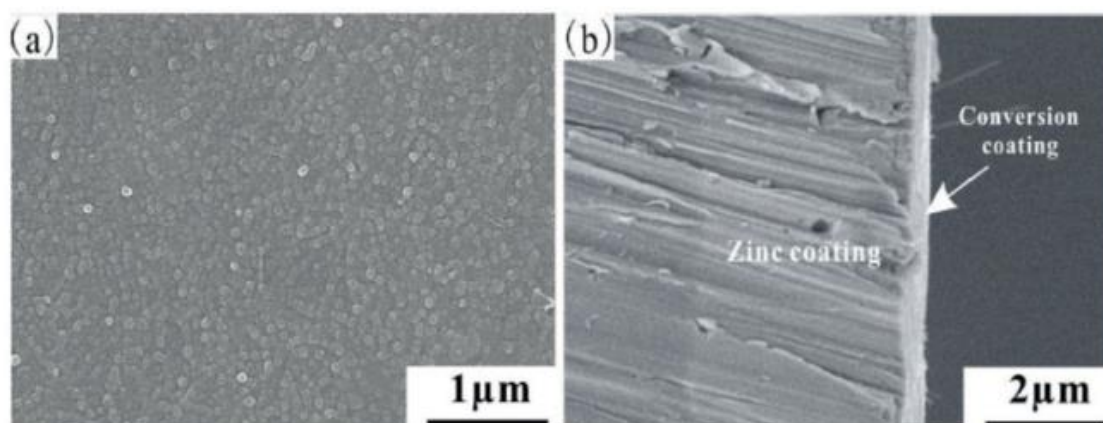


Vzniklé konverzní vrstvy jsou charakteristické vícevrstvou strukturou, většinou třívrstvou. První vrstva je oxid podkladového kovu, druhá vrstva je vrstva oxidu titaničitého a/nebo oxidu zirkoničitého a třetí, poslední vrstva je směs titanu a zirkonu, kyslíku a fluoru. Před samotnou předúpravou součásti se kovový povrch alkalicky odmašťuje, aby došlo k odstranění nečistot, které snižují reaktivitu povrchu s lázní. Konverzní vrstvy vykazují nerovnoměrnost a nízkou tloušťku. Vliv na výslednou tloušťku povlaku má mimo mikrostruktury podkladového kovu i pH roztoku a jeho míchání. Je známo, že povlaky oxidu zirkoničitého o tloušťkách 18 až 30 nm zaručují větší ochranu proti korozi ve srovnání s obvyklým fosfátem na nízkouhlíkových ocelích. Tyto metody lze také využít pro chemickou předúpravu zároveň pozinkovaných součástí. Uvádí se, že oxid zirkoničitý, jehož vrstva má do 50 nm, vykazuje obdobnou odolnost s běžnými chromáty a fosfáty. [33, 34, 35, 36]





Obrázek 11: Příklad vrstvy konverzního povlaku na bázi Zr na hliníkové slitině [33]



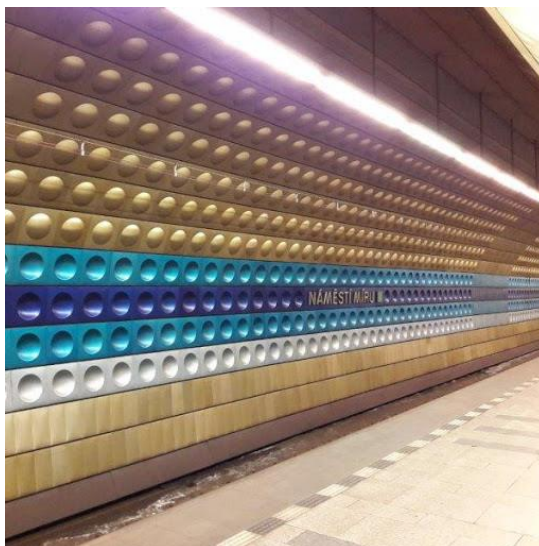
Obrázek 12: SEM povrchu a příčného řezu vrstvy povlaku Ti-Zr [33]

Místo polymerů lze k obohacení povlakové kompozice použít i různá chelatační činidla, např. aminotrimethylenfosfonovou kyselinu, která zlepšuje přilnavost laku a odolnost proti korozi povlaků na bázi titanu a zirkonu. Povlaky, které obsahují kyselinu fytoovou, vykazují sníženou smáčivost a vyšší přilnavost k epoxidovému vrchnímu povlaku než samotné konverzní vrstvy na bázi titanu a zirkonu. Ochrana proti korozi byla pouze v případě, že doba ponoru v lázni nepřesáhla 10 hodin. Delší ponoření vede ke zhoršení v důsledku rozpuštění organické složky. V této zahraniční studii byl zkoumán i vliv koncentrace síranu manganatého v konverzních lázních na vytvořený povlak. Pouze nejnižší koncentrace  $Mn_2^+$  zlepšila korozní vlastnosti. Manganové ionty přidané do konverzní lázně mohou působit jako katalyzátor pro formování konverzního povlaku. Povlaky modifikované niklem vykazují nižší proudovou hustotu a vyšší polarizační odpor než nemodifikované povlaky. Povlak na bázi titan a zirkonu modifikovaný vanadem se

vyznačuje vynikajícími elektrochemickými vlastnostmi a zlepšuje přilnavost organického epoxidového povlaku. [62]

### 3.6 Anodická oxidace

Anodická oxidace, neboli eloxování, je výraz pro elektrolytický proces, díky kterému dochází k vytvoření ochranné oxidické vrstvy. Vytvořená oxidová vrstva zlepšuje vlastnosti materiálu, zvyšuje korozivzdornost, tvrdost a ořezvzdornost a tato technologie je příznivá i z hlediska životního prostředí. Anodická oxidace má mimo ochranné funkce i funkci dekorační. Klasickým příkladem je černění oceli, které se využívá u povrchových úprav zbraní. Anodická oxidace se využívá v mnoha odvětvích, jako je automobilový, stavební, strojírenský nebo textilní průmysl, dále pak u sportovních potřeb či u spotřebitelských výrobků. [10]



Obrázek 13: Příklad anodické oxidace v pražském metru [11]

## 3.7 Organosilany

### 3.7.1 Historie

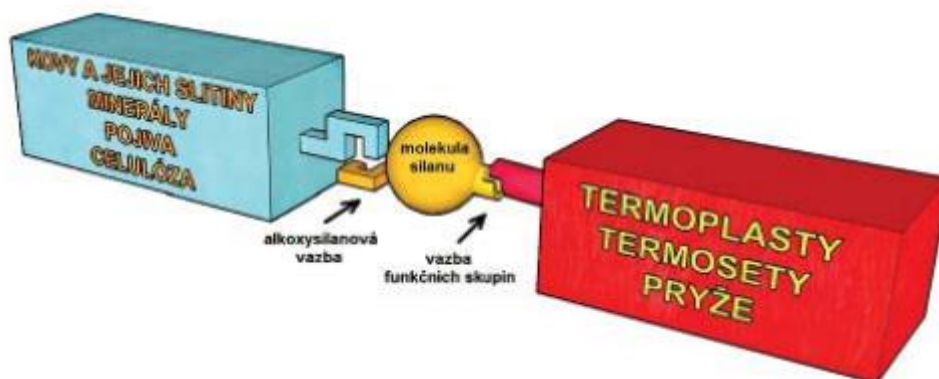
O organosilanech jsou známy první informace z roku 1863, kdy francouzský chemik Charles Friedel společně se svým přítelem Jamesem M. Craftsem syntetizovali tetraethylsilan, který byl vyroben zahřátím diethylzinku s chloridem křemíku v uzavřené trubici. Organofunkční silany jsou komerčně dostupné od začátku 40. let 20. století, kdy výrazný podíl má americký chemik Eugene George Rochow, který roku 1941 vyvinul syntézu silikonů, která je též známa jako Rochowův proces. Tehdy byly poprvé použity jako

spojovací činidla, která zlepšovala soudržnost mezi výztužnými skelnými vlákny a polyesterovou bází tohoto kompozitu. Dále se tyto materiály používaly k vyztužení pryskyřic a plastů. Organosilany se využívaly i jako výplň, jako jsou např. jíly nebo v zesíleném gumovém kabelu, který sloužil jako izolace, kde byl požadavek na spoj mezi plnivem a polymerem se zlepšenou hydrofobitou. V letech 1986 až 1999 došlo k výraznému růstu v počtu aplikací organosilanů. V Evropě byla spotřeba za rok 1999 asi 8000 tun. Hlavní spotřeba byla zahrnuta na pneumatiky / gumu (asi 56 %), zbytek tvořily plasty vyztužené skelnými vlákny (asi 23 %) a spojovací plasty pro plnivo (21 %). Vývoj v oblasti povrchových úprav s využitím organosilanů jde v posledních letech stále velice kupředu, dochází k rozšiřování zájmu a k rozvoji nabízených organosilanů, zejména u nátěrů, díky jejich vlastnostem, a také kvůli náhradě chromátování na bázi šestimocného chromu. [9, 47, 48]

### 3.7.2 Struktura organosilanů

V periodické tabulce patří uhlík a křemík do stejné skupiny prvků. Oba dva se váží na čtyři další atomy v jejich nejstabilnějším stavu. Chemikálie na bázi křemíku jsou ale v porovnání s těmi uhlíkatými odlišné ve fyzikálních a chemických vlastnostech. Jestliže se jedná o nízkomolekulární sloučeniny křemíku, jsou známy pod názvem silany (chemický vzorec  $\text{SiH}_4$ ). Pokud tyto sloučeniny obsahují minimálně jednu vazbu Si – C, pak jsou nazývány jako organosilany. Molekula organosilanu je složena ze tří hlavních částí. První část, jádro, má arylový nebo alkylový původ  $(\text{CH}_2)_n$ , kdy  $n = 0, 1$  nebo  $3$ . Na jednom z okrajů molekuly se nachází organická funkční část, např. amino, vinyl apod., která zajišťuje spojení s monomerní či polymerní molekulou (lak, nátěr, atd.). Na druhé straně molekuly se nachází alkoxyorganosilanová skupina  $\text{Si}(\text{OR})_n$ , kde  $n = 3$ , která se váže na materiály z hlediska prvkového složení a typu vazeb (kovy, minerály, celulóza). R skupina je organofunkční skupina, která je připojena ke křemíkovému atomu vazbou, která je hydrolyticky stabilní. [9, 49]

Na následujícím obrázku je zobrazeno schéma vazebných možností organosilanů.



Obrázek 14: Schéma vazebných možností organosilanů [9]

### 3.7.3 Výroba organosilanů

Organosilany se připravují pomocí třech způsobů, přímou syntézou, Grignardovou syntézou nebo pomocí hydrosilylace. [47]

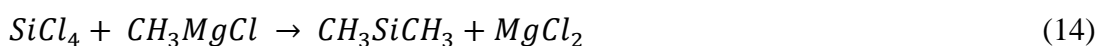
- **Přímá syntéza**

Tato metoda spočívá v syntetizaci křemíku přes methylchlorsilany. Jedná se o tzv. Muller – Rochůw proces. Směs křemíku a mědi je přiváděna do reaktoru s fluidním ložem katalyzátoru, kde se nachází plynný metylchlorid (jako katalyzátor se nejčastěji používá měď, antimon, cín, hliník, jako inhibitor slouží olovo). Principem je odštěpení reakčních složek od pevných částic za následného ochlazení, kdy dojde ke vzniku kapalné silanové směsi. Reakce je doprovázena vydáváním tepla, tudíž vyžaduje velice striktní řízení. Reakce probíhají při teplotě 250 – 300 °C a tlaku 0,2 – 0,5 MPa. Přímou syntézu popisuje následující rovnice. [47]



- **Grignardova syntéza**

Jedná se o metodu podle francouzského chemika Victora Grignarda, která se používá pro zavedení organické skupiny na křemík. Princip spočívá v chloraci křemíku, kdy dojde k náhradě některých atomů chloru organickými látkami s použitím organokovových činidel (např. organolithné sloučeniny, Grignardovo činidlo a další). Grignardovu syntézu popisuje níže uvedená rovnice. [47]



- **Hydrosilylace**

Třetím způsobem, jak připravit organosilany, je hydrosilylace. Jedná se o reakce, kdy dochází k adici (reakce, při které dochází k zániku násobných vazeb) silanů s vodíkem na části s dvojnou či trojnou vazbou. Při hydrosilylaci se zavádí organické skupiny do sloučenin křemíku. Tyto reakce se využívají jako syntéza organofunkčních křemíkových sloučenin, které obsahují amino skupinu a dochází k nukleofilní náhradě atomů chloru, vodíku nebo alkoxy skupiny. Hydrosilylace probíhá za vysokých teplot. [47]

### 3.7.4 Způsoby nanášení

Organosilany se dají na povrch součásti nanést několika způsoby. Mezi tyto způsoby spadá napařování, ponor do pracovní lázně, nanesení plasmou a elektrostatické nanášení. Jako nejvhodnější metoda z hlediska zvýšení korozní odolnosti se jeví elektrostatické nanášení. Mezi nejpoužívanější a nejpřívětivější metodu z ekonomického hlediska ale patří ponor součásti do pracovní lázně. Samotný proces nanášení je rychlý, kdy se už za několik sekund tvoří na povrchu kovu vrstva gelu. Ten je tvořen ze sítě vodíkových můstků. [25]

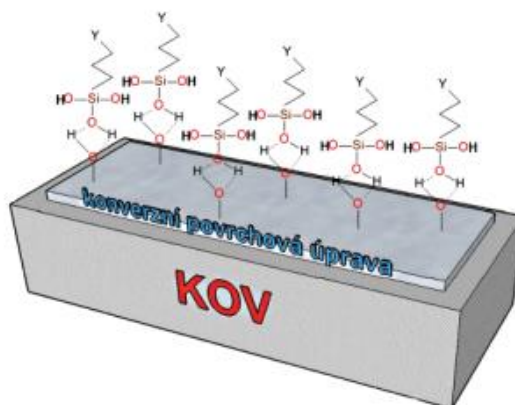
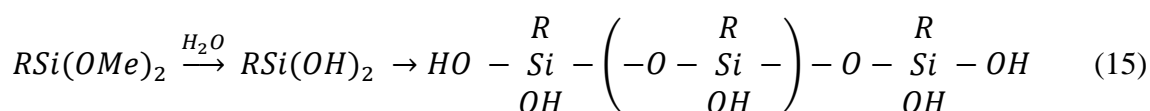
### 3.7.5 Metoda sol – gel

Metodou sol – gel se označuje proces, ve kterém dochází ke změně z kapalné fáze (solu) na fázi pevnou (gel). Soly jsou obecně definovány jako disperzní roztok koloidních částic, jedná se o pevné částice o velikosti 1 – 100 nm. Gel je propojená rigidní síť s póry v submikroskopickém měřítku. Celý proces je uskutečněn v několika krocích. V prvé řadě musí být vytvořen roztok, ve kterém dojde k hydrolýze (např. tekutý alkoxyasilan je smíchán s vodou). Při hydrolýze vznikají z alkoxyasilanů silanoly, které spolu kondenzují a tím vznikají siloxanové vazby. Molekuly vzniklé touto cestou spolu dále polykondenzují a vzniká křemičitá síť. Jestliže má sol nízkou viskozitu, je možné ho nalít do formy požadovaného tvaru nebo ho nanést na povrch předmětu, který má být upravován. Poté dojde ke gelaci, při které vzniká z roztoku pevná látka, která se suší. Důvodem sušení je odstranění přebytečných molekul vody a rozpouštědla. Konečný materiál je amorfni a strukturou velice podobný sklu, které se vyrábí tavením či spékáním křemene. Metoda sol – gel ale umožňuje daleko větší kontrolu nad povrchem materiálu a

proces probíhá za nižších teplot, než jaké jsou při výrobě skla (hydrolyza a kondenzace probíhá za pokojové teploty, vysoušení v rozmezí 100 – 180 °C). [65]

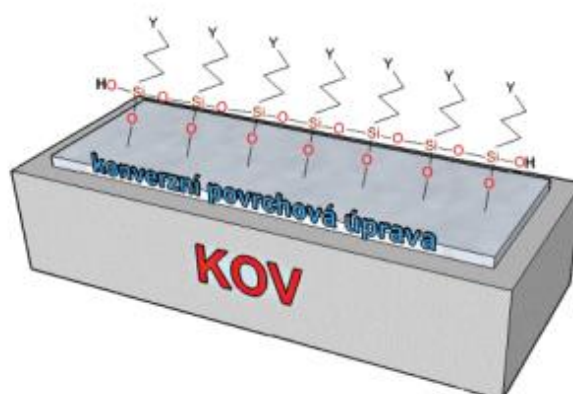
### 3.7.6 Vlastnosti a použití

Pro reakci organosilanů s kovy je velice důležitá jejich prvotní hydrolyza. Hydrolyza může být buď kyselá (iniciace vodou), nebo alkalická (iniciace  $\text{OH}^-$ ). Rychlost iniciace lze ovlivnit reaktivitou atomu křemíku, která závisí na typu navázané organoskupiny. Aby mohla vzniknout pevná vazba mezi podkladovým materiálem a organosilanem, je zapotřebí povrch tepelně zpracovat. Mechanismus vzniku vazby mezi hydroxylovými skupinami, hydrolyzovaného silanu a hydroxylovou skupinou konverzní povrchové úpravy je založen na jejich spojení vodíkovými můstky. Jedná se o tzv. silanolovou vazbu (viz obrázek 15). Při jeho dehydrataci (kondenzaci) dochází ke vzniku kovalentní vazby  $\text{Si} - \text{O}$  mezi podkladem a organosilanem. Totožným způsobem  $\text{O} - \text{Si} - \text{O}$  i mezi jednotlivými molekulami organosilanu, jedná se o tzv. siloxanovou vazbu. Rychlost hydrolyzy a kondenzace organosilanů určuje hodnota pH, je tedy nezbytné, aby pracovní lázně měly dopředu připravené vhodné pH. Kondenzace je ve srovnání s hydrolyzou (minuty) mnohem pomalejší (několik hodin). Při zvýšené koncentraci vody v systému dochází k hydrolytickému iniciovanému rozpadu vazeb, které se při kondenzaci částečně obnovují, což zapříčiňuje snížení pevnosti a modulu pružnosti v tahu. Následující rovnice popisuje proces hydrolyzy a kondenzace. [9, 49, 51]



Obrázek 15: Schéma silanolové vazby [9]

Na obrázku č. 16 je naznačeno schéma siloxanové vazby.



Obrázek 16: Schéma siloxanové vazby [9]

Organosilany reagují s povrchovými hydroxyly za vzniku stabilní vrstvy. Největší účinek mají tehdy, pokud reagují s materiály, které mají vysokou koncentraci reaktivních OH skupin, např. křemen, silikáty, oxidy a hydroxidy. Opakem jsou saze, na ty mají silany malý účinek a obecně jsou neúčinné na povrchy síranů a uhličitanů. [50]

Organosilany se aplikují zejména díky ekologičnosti, hygieně a šetrnosti k životnímu prostředí (oproti nebezpečnému chromu). Další předností v oblasti použití je úspora energie a práce. V dřívější době byly organosilany ekonomicky nákladné, ale postupem času s rostoucím zájmem a objemem výroby se cena snížila na přijatelnou. Co se samotných vlastností organosilanů týká, tak jsou těkavé a hořlavé, tudíž je nezbytně nutná, pro aplikaci v povrchových úpravách, jejich hydrolyzace. V současnosti je využití organosilanů a modifikovaných silikátů v povrchových úpravách značné a došlo k jejich vývoji především v těchto odvětvích povrchových úprav:

- Pasivace kovů
- Přílnavost nátěrových systémů
- Hydrofilní a hydrofobní úpravy
- Utěsňování konverzních vrstev
- Dispergace pigmentů a stabilizace emulzí
- Vazba mezi pigmenty, plnivy a pojivem u nátěrových hmot
- Zlepšení otěruvzdornosti [52]

Jak bylo už uvedeno, organosilany jsou v neustálém vývoji. V dnešní době se v oblasti povrchových úprav převážně používají tyto organosilany:

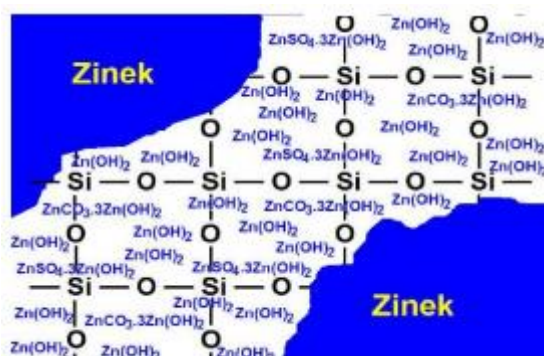


- tetraethoxysilan (TEOS)
- n-propyltrimethoxysilan
- n-oktyltrimethoxysilan
- vinyltrimethoxysilan

Jedná se zejména o organosilany s alkoxykupinami, které se vyznačují uvolněním příslušného alkoholu (methanol, ethanol, propanol) při kyselé či alkalické hydrolyze. [9]

Organosilany mohou poskytovat bariérovou ochranu. Pro zvýšení této ochrany vyloučeného povlaku se využívají lázně, do jejichž obsahu se přidávají nanočástice oxidu křemičitého. Na druhou stranu příliš velké množství těchto nanočástic může vést k praskání povlaku a ke snížení jejich bariérové ochrany. Organosilany dále poskytují výbornou předúpravu povrchu před nanášením nátěrů a laků a jsou rovněž výhodnou konverzní vrstvou z hlediska protikorozní ochrany, popřípadě volbou vhodného organosilanu může povrchu dodat hydrofobní vlastnosti, např. použitím oktyltriethoxysilanu je možné získat povrch, který odpuzuje prach. [9, 53]

Organosilany se používají i u zinkosilikátových nátěrových hmot, které se vytvářejí práškovým zinkem společně s anorganickým silikátovým pojivem. Jako základ se převážně používá tetraethoxysilan (TEOS) a po vytvrzení vznikne siloxanová síť, která spojuje částice zinku. Nevyplněný prostor se zaplní zplodinami zinku, které slouží ke zlepšení korozní odolnosti (viz obrázek 17). [53]



Obrázek 17: Zinkosilikátová nátěrová hmota [53]

Další možností, kdy lze organosilany využít, jsou nátěrové hmoty na bázi vody, které se vyznačují příznivým leskem a sníženým křídováním, ale přilnavost není tak vysoká. [47]



## **4 Aplikace nátěrových hmot**

Lakování je jedna z nejčastějších povrchových úprav. Povrchový film, který vytváří lak, plní jak ochrannou funkci, tak i funkci estetickou. Před aplikací samotného laku je zapotřebí materiál řádně připravit, což znamená důkladně očistit, případně odmastit. [54]

### **4.1 Ruční nanášení**

Ruční nanášení se řadí k nejdostupnější možnosti při zhotovování nátěrů. Kvůli své jednoduchosti a univerzálnosti je možno zpracovávat výrobky libovolného tvaru a velikosti. Uplatňuje se především na montážích a u renovačních nátěrů. Nevýhodou je nízká produktivita, takže se v průmyslové výrobě tolik nevyužívá, jen tam, kde není možné aplikovat výkonnější způsob. Pro tuto technologii jsou nevhodné rychle zasychající látky. Do ručního nanášení spadají aplikace pomocí štětce, válečku, stěrky či pomocí nanášecí rukavice. [2, 55]

### **4.2 Mokrý způsob**

Z pokročilých technologií lakování je mokré tou nejrozšířenější. Aby mohla být tato technologie aplikována, je důležité součást zbavit nečistot a povrch odmastit. Podle potřeby se dále upravuje, kdy se pod finální vrstvu nanese vrstva plniče, která vyplní rýhy a všechny ostatní defekty od broušení. Mokrý lakování se nejčastěji využívá v automobilovém průmyslu. Další využití je např. ve stavebnictví. Nanášení je realizováno stříkacími pistolemi. Tato technologie využívá proud vzduchu, tzv. vzduchové stříkání. [57]

#### **4.2.1 Vzduchové stříkání**

Tato technologie se používá zejména pro dosažení co možná nejlepší kvality povrchu. Principem je stlačený vzduch, který proudí ze zásobníku pomocí hadice do stříkací pistole. Při použití stříkací pistole se vzduch dostává do kanálků až k jehle, která je zatlačena dozadu. V jehle vzniká otvor v ústí trysky, který je vyplněný stlačeným vzduchem a nátěrovou hmotou. Nátěrová hmota je pomocí podtlaku nasáta k trysce, kde dojde ke smíšení se stlačeným vzduchem a je rozprášena. Zařízení pro vzduchové stříkání využívá velký objem vzduchu při tlaku 0,2 – 0,7 MPa, což vede k velice dobrému rozprášení barvy, ale dochází k vyšším ztrátám, protože se barva rozptýlí po okolí. Čím více vzduchu je použito pro rozprášení barvy, tím je lepší jakost povrchu, ale na druhou

stranu čím méně vzduchu, tím docílíme nižších přestříků. Vzduchové stříkání se dělí na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké. [57]



Obrázek 18: Příklad stříkací pistole [56]

#### 4.2.2 Bezvzduché stříkání

Bezvzduché stříkání nebo též airless je metoda nanášení, kdy se materiál rozprašuje do malých kapiček bez použití stlačeného vzduchu. Zařízení pracuje na principu čerpadla, které žene materiál přes trysku v pistolí, čímž dojde ke vzniku tlaku. Průtok nátěrové hmoty je dán velikostí trysky a tlaku. Zařízení pro airless stříkání poskytuje snadný a ekonomický způsob nanášení bez ohledu na množství sušiny. [59]

#### 4.2.3 Výhody a nevýhody

Mezi výhody mokrého lakování lze zařadit:

- Lze použít na jakýkoliv povrch
- Vysoká odolnost proti olejům a kyselinám
- Možnost jakéhokoliv odstínu a zároveň snadná změna odstínu
- Dlouhá životnost povlaku
- Snadná reparace poškozeného nátěru
- Estetičnost
- Možnost nanesení i na obtížně dostupná místa

Mezi nevýhody mokrého lakování patří:

- Délka vytvrzení povlaku
- Náchylnost ke stečení barvy
- Poměrně velké prostříky [57, 58]

### 4.3 Máčení

Máčení je považováno za jeden z nejnehospodárnějších způsobů nanášení nátěrové hmoty. Principem této technologie je ponoření součásti do připravené vany obsahující nátěrovou hmotu. Po vyndání předmětu přebytečná nátěrová hmota steče zpět do vany. Pro tuto technologii musí být výrobky tvarově vhodné, např. problémy nastávají u předmětů s malými otvory, proto jsou výhodné jednoduché tvary se svisle orientovanými plochami. Velikost a tvar vany musí být přiměřený rozměrům součástí, protože velké vany nejsou vhodné kvůli enormní spotřebě nátěrové hmoty. Dalším důvodem je i zvětšení odpařovací plochy a tím tak nastávají ztráty rozpouštědel vlivem odpařování. Obsah vany musí být promícháván, aby se předešlo usazování pevných částic nátěrových hmot. Rozlišujeme ruční máčení, máčení pomocí dopravníkových linek, máčení v odstředivkách a stacionární máčení. [2]

### 4.4 Navalování

Tento způsob nanášení nátěrových hmot se vyznačuje nízkými ztrátami, protože zde nedochází ke znečištění bočních ploch. Navalovací zařízení bývá opatřeno nanášecím a stíracím válcem. Nátěrová hmota je ze zásobníku dodávána k nanášecímu válci pomocí čerpadla. [55]



Obrázek 19: Navalovací stroj [60]

## 4.5 Polévání

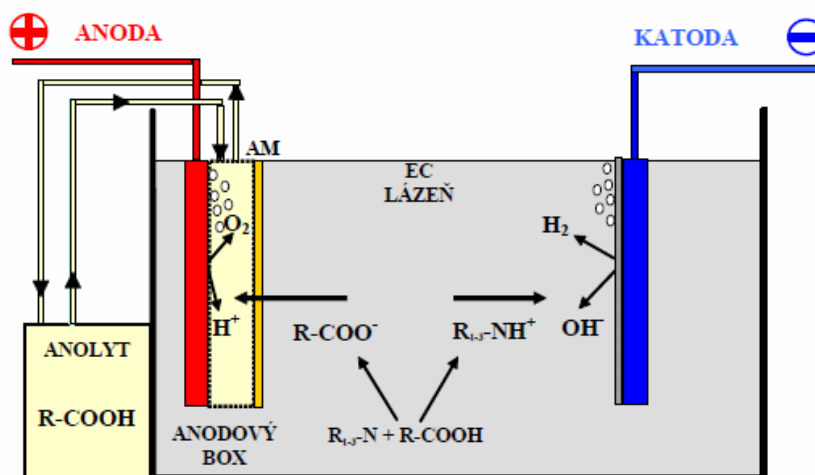
Polévání nebo též clonování je technologie, která využívá gravitační spád tixotropní kapaliny. Principem je vytvoření souvislé clony nátěrové hmoty, kterou prochází upravovaný dílec. Nátěrová hmota, která mine dokončovací plochu, stéká do sběracího žlabu a zpátky do zásobní nádrže, kde je přes filtr znovu čerpána. Výhodou clonování je nízká ztráta nátěrové hmoty a stejnoměrný nános. [55]

## 5 Kataforetické lakování

### 5.1 Princip a využití

Kataforetické lakování (kataforéza, KTL) se bere jako jedna z nejmodernějších metod povrchových úprav kovových součástí. Jedná se též o velice hospodárnou a ekologickou technologii. KTL je jedním ze způsobů elektroforetického lakování (druhým způsobem je anaforetické lakování, neboli ATL). Principem kataforézy je využívání kationické nátěrové hmoty rozpustné ve vodě na epoxidové bázi s nízkým obsahem rozpouštědel. Předmět je zapojen jako katoda a při aplikaci bývá ponořen do lakovací lázně. Lázeň obsahuje demineralizovanou vodu a nátěrovou hmotu. Je nezbytné obsah vany neustále míchat, aby nedošlo k usazení pevných částic. Díky stejnosměrnému napětí mezi předmětem a anodou dochází k tvorbě elektrického pole. To vede k přesunu polykationtů ke katodě. Při tomto procesu dochází i k elektrolyze vody průchodem elektrického proudu elektrodami a lázní. S rostoucí tloušťkou vytvářeného povlaku se zmenšuje rychlost vylučování a to vede k vytvoření rovnoměrného povlaku na celém povrchu. Při této technologii se dosahuje tlouštěk od 15 do 30  $\mu\text{m}$  (ve speciálních případech až 50  $\mu\text{m}$ , jedná se o tzv. silnovrstvou kataforézu). Po vyjmutí součástí z lázně se dají do pece, kde probíhá vypalování za teploty 180 °C po dobu 20 minut. Tímto úkonem dostává povlak výsledné vlastnosti vlivem polymerace. Ta je velice důležitou částí celé kataforézy. Adhezi kataforezního povlaku k podkladu významně ovlivňují předúpravy povrchu. Při patřičné předúpravě povrchu dosahuje kataforetická nátěrová hmota přilnavosti 10 až 15 MPa. Kataforetické lakování se používá např. v automobilovém průmyslu, u domácích spotřebičů, u zemědělských a stavebních strojů, u klimatizací či ventilátorů, atd. [38, 39]

Na obrázku č. 20 je naznačeno schéma pracovní lázně pro kataforézu.



Obrázek 20: Schéma kataforetického lakování [40]

## 5.2 Historie elektroforetického lakování

Začátky anafórézy začaly v 60. letech minulého století v USA, kdy jí jako první začala využívat americká automobilová firma Ford u drobných dílů karoserie. V Evropě se začala používat v roce 1967, o což se postarala francouzská automobilka Peugeot. V poměrně krátkém čase došlo k rozvoji organických pryskyřic. Počátkem 70. let americká firma PPG začala vyvíjet kataforetické nátěrové hmoty a roku 1975 byly uvedeny do provozu. Postupem času většina firem upustila od anafórézy a začala se věnovat pouze kataforetickému lakování. [44]

## 5.3 Technologický postup

Stejně jako řada dalších technologií se i technologický postup kataforetického lakování skládá ze tří hlavních částí. Jednotlivé části zahrnují předúpravu povrchu, samotný proces povlakování a poslední fázi jsou dokončovací operace. [41]

- **Předúprava povrchu**

1. Chemické odmaštění
2. Oplach
3. Moření
4. Oplach
5. Aktivace
6. Zinečnaté fosfátování

7. Oplach
8. Pasivace
9. Oplach [41]

- **Povlakování**

10. Kataforézní uzel

Kataforézní uzel je soubor technologických operací, které zajišťují správný průběh kataforézy. Skládá se z následujících částí:

- Kataforézní vana
- Cirkulace, míchání, filtrace nátěrové hmoty
- Anolytový okruh
- Chlazení nátěrové hmoty
- Zdroj stejnosměrného proudu
- Dávkování komponent nátěrové hmoty
- Rezervní nádrž na nátěrovou hmotu
- Ultrafiltrace
- Oplachový systém
- Okruh ucpávkové kapaliny [42]
- **Dokončovací operace**
  11. Oplach
  12. Vypalovací pec
  13. Chlazení [41]

Tabulka 2: Příklad technologického postupu KTL [41]

<b>Operace</b>	<b>Teplota [°C]</b>	<b>Čas [min]</b>
Chemické odmaštění	55-60	5-10
Oplach	20	1-2
Moření	40-50	1
Oplach	20	1-2
Zinečnaté fosfátování	48-55	1-3

Oplach	20	1-2
Pasivace	-	-
Oplach	20	1-2
Vypalovací pec	180	20
Chlazení	-	-
Kontrola	-	-

Pasivace je nutný a velice žádoucí proces, protože výrazně zlepšuje korozní odolnost a přilnavost kataforezních povlaků. V současné době se provádí pasivace chromovými nebo bezchromovými prostředky. V případě bezchromových prostředků se jedná např. o soli zirkonu. [61]

## 5.4 Linky pro kataforetické lakování

Linky pro kataforetické lakování se rozdělují na dva základní typy. Prvním typem jsou linky taktovací, druhým linky průběžné. Volba linky je závislá na vícero faktorech, např. charakter zboží, výkon linky, tloušťka a kvalita nátěru. [44]

### 5.4.1 Taktovací linky

Taktovací linky se vyznačují dopravními manipulátory mezi jednotlivými stanovišti. Používají se tehdy, kdy se často mění velikosti, tvary a materiály součástí. Využívají se v tzv. zakázkových lakovnách, kde se vyskytují součásti z různých firem či odvětví průmyslu. [45]

### 5.4.2 Průběžné linky

Průběžné linky jsou charakteristické tím, že mají řetězový dopravník a zboží prochází linkou kontinuálně. Používají se pro velké série a vysoké výkony linky, vyznačují se tedy vysokou produktivitou, což vede ke snížení ceny povlakovaných součástí a ke snížení nákladů na řízení provozu. [46]

## 5.5 Základní složky kataforetické lázně

Lázně pro kataforetické lakování obsahují tři základní složky. První z nich je voda, která se používá vyčištěná pomocí iontově výměnných stanic. Důvodem je obsah minerálů, které by mohly mít nepříznivý vliv na vzhled, popřípadě vlastnosti. Druhou složkou je pryskyřice, která slouží jako pojivo a zajišťuje flexibilitu, rovnoměrné rozložení a stálost povlaku. Pryskyřice obsahuje asi 36 % sušiny, část zaujímají organická rozpouštědla a zbytek je tvořen vodou. Třetí složku tvoří pigmentová pasta. Ta udává finální barvu nátěrové hmoty. Jedná se o jemně rozemleté pigmenty a minerální plniče, které jsou spojeny pojivem. [40]

## 5.6 Příklad spojení KTL – organosilany

### 5.6.1 Aplikace na zinkový podklad

Karoserie automobilu se skládá z různých kovových materiálů, jako je žárově zinkovaná ocel, galvanizovaná ocel a slitiny hliníku. Pro zvýšení přilnavosti a ochrany proti korozi je nutné před kataforetickým povlakem součást podrobit předúpravě povrchu. Film organosilanu zkoumaný v této studii je založen na směsi tří různých molekul organosilanu aplikovaný na zinkový podklad. Jsou to glycidoxypropyltrimethoxysilan (GPS), tetraethoxysilan (TEOS) a methyltriethoxysilan (MTES). Tento silanový roztok byl připraven zředěním v deionizované vodě. Po alkalickém odmaštění byly zkušební vzorky ponořeny do lázně po dobu 2 minut. Hodnota pH roztoku byla upravena přidáním kyseliny chlorovodíkové. Řízením hodnoty pH a dob hydrolyzy bylo možné připravit více sérií vzorků s různými tloušťkami povlaků. První sada vzorků měla pH 4 a hydrolyza organosilanu TEOS byla provedena odděleně od ostatních molekul po dobu 120 minut, zatímco další dvě molekuly organosilanů GPS a MTES byly hydrolyzovány společně po dobu 90 minut. Další sada vzorků měla pH roztoku 3,5 a hydrolyza probíhala u všech organosilanů společně. Molekuly byly hydrolyzovány 900 min. Vzorky byly následně ponořeny do roztoku organosilanů po dobu 2 minut a následně byly vytvrzovány v peci při teplotách 120 a 180 ° C po dobu 15 minut. Různá teplota vytvrzování ovlivňuje kondenzační reakce mezi molekulami organosilanů. Jako anoda při KTL byla použita korozivzdorná ocel, vzorky s chemickou předúpravou organosilanů byly použity jako katoda. Kataforetický lak se skládal z bezolovnatého epoxidového polymeru.



Bylo prokázáno, že silnější filmy vytvořené organosilany podléhaly znatelné degradaci, pravděpodobně v důsledku vznikání vodíku a bublání. Tenčí silanový film vytvrzený při 180 ° C poskytuje povlak s homogenní kataforézou bez makro defektů. Kromě toho byla provedena zkouška solným postřikem, která prokázala zvýšení odolnosti proti korozi. [63]

### 5.6.2 Aplikace na hliníkový podklad

Ve druhé zahraniční studii byly testy prováděny na hliníkové slitině 6016. Cílem bylo prostudovat a zdokonalit ochranu systému vůči filiformní korozi (koroze, ke které dochází, když se voda dostane pod povlak) pro hliníkový materiál, na který byla aplikována předúprava technologií sol – gel organosilanů na vodní bázi, který byl směsí tří různých látek – glycidylxypropyltrimethoxysilan (GPS), tetraethoxysilan (TEOS) a methyltriethoxysilan (MTES). GPS je organofunkcionalizovaný silan složený z krátkého uhlíkového řetězce s epoxifunkcionalizovaným koncem a substituovaného atomu Si se skupinami (-O-CH<sub>3</sub>). Poté proběhlo kataforetické lakování při třech různých teplotách (195, 175 a 155 ° C) po dobu 25 minut. Přítomnost mnoha hydroxylových skupin na povrchu hliníku indukuje dobrou smáčivost. To má za následek dobré pokrytí povrchu předmětu při nanesení organosilanových vrstev. Tloušťky filmů při pH 2 a 3,5 dosahovaly hodnot 270 a 280 nm. Čas a teplota vytvrzení byly optimalizovány, aby se dosáhlo homogenní vrstvy. Při pH 2 byla vrstva méně hustá než při pH 3,5 v důsledku nižší kondenzace organosilanu. Při teplotě vytvrzování 195 ° C docházelo k degradaci, organosilanová vrstva částečně kondenzovala a měla vyšší citlivost na filiformní korozi. Teplota vytvrzování 155 ° C se jevila jako nejpříjemnější, neboť došlo ke zlepšení vlastností a zvýšila se odolnost hliníku vůči filiformní korozi. [64]

## 5.7 Výhody a nevýhody KTL

- **Výhody**
  - technologie zatěžuje v menší míře životní prostředí (nízký obsah rozpouštědel a pevných odpadů)
  - při malé tloušťce vyšší korozivzdornost povlaku
  - dobrá mechanická odolnost a přilnavost povlaku
  - hospodárnost, díky recyklovatelnosti nátěrové hmoty (prakticky 100 %)
  - povlak je rovnoměrný na celém povrchu
  - jednoduchá automatizace procesu

- bezpečnost
- **Nevýhody**
  - složitá výměna odstínu
  - vysoké náklady na pořízení
  - lze aplikovat jen na materiály s elektrickou vodivostí [38]

## 6 Experimentální část

Náplní experimentální části této diplomové práce bylo zhotovit dvě chemické předúpravy povrchu materiálu s žárovým zinkem, jenž napomáhají ke zvýšení přilnavosti KTL a zvyšují korozní odolnost celého systému. Potřebné chemikálie a přípravky poskytla firma Progochema spol. s.r.o, zkušební žárově pozinkované vzorky dodala firma ACO Industries, k.s. Příbyslav. Po aplikaci chemických předúprav byla na zkušební vzorky nanášena kataforetická nátěrová hmota. Následně došlo k ověření fyzikálně – mechanických vlastností jednotlivých předúprav povrchu. Závěrečná část experimentu se věnuje technicko – ekonomickému zhodnocení a porovnání jednotlivých předúprav s kataforetickým lakováním na žárově pozinkovaných vzorcích.

### 6.1 Příprava zkušebních vzorků

K experimentu bylo použito čtyřicet žárově pozinkovaných vzorků z materiálu S235JR o rozměrech 150 x 100 x 3 mm. Z důvodu koronavirové pandemie nebylo možné zkoušet více vzorků a i expozice v korozní a kondenzační komoře je z důvodu časové náročnosti omezena. Na zkušební vzorky byly aplikovány dvě chemické předúpravy (konverzní vrstva pomocí organosilanů a fosfátování), na které bylo následně aplikováno kataforetické lakování. Vzorky byly rozděleny na dvě skupiny dle povrchu pozinkovaného materiálu. Pro každou technologii bylo zhotoveno 20 zkušebních vzorků, z nichž bylo u obou technologií 5 vzorků referenčních.



Obrázek 21: Zkušební vzorek s žárovým zinkem

## 6.2 Předúpravy povrchu žárového zinku

Jak již bylo zmíněno, v experimentální části byly vytvořeny dvě chemické předúpravy povrchu. Jedná se o technologii chemických předúprav pomocí fosfátování a organosilanů. Nejprve však byly všechny zkušební vzorky odmaštěny.

### 6.2.1 Fosfátování

Před samotnou technologií fosfátování bylo využito alkalické odmaštění. Byl použit přípravek PRAGOLOD 57 N, což je silně alkalický středně emulgující odmašťovací prostředek, který se aplikuje pro odmašťování oceli a litiny a používá se především pro odstranění silných nánosů konzervačních prostředků a jiných prostředků mastné povahy, které drží na povrchu součásti. Může být aplikován ponorem či postřikem (v této diplomové práci provedena aplikace ponorem). [66]

Pro technologii fosfátování byl použit přípravek Pragofos 1920, který je určen pro fosfátování povrchu oceli, oceli se žárovým zinkem a pro hliník před nanesením nátěrové hmoty nebo před kataforetickým lakováním. Používá se tam, kde jsou kladeny vysoké nároky na funkční dobu životnosti ve ztížených klimatických podmínkách. Pro přípravu a údržbu lázně Pragofos 1920 byly použity následující složky: [66]

- Pragofos 1921 – základní koncentrát k přípravě lázně a jejímu udržování, hnědošedá kapalina kyselené povahy
- Pragofos 1922 L – startovací a doplňovací přípravek v kapalné formě
- Pragofos 1924 – bezdusitanový urychlovač
- Pragofos 1927 – sůl pro přípravu aktivační lázně
- Pragofos 1502 – přídavná sůl do lázně

V následující tabulce je popsán technologický postup fosfátování, který byl použit v tomto experimentu.

Tabulka 3: Technologický postup fosfátování

Operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Odmaštění	PRAGOLOD 57 N	60 g / 10 l	60	5
Oplach 2°	Demi voda	-	pokožová	1-2
Aktivační oplach	Pragofos 1927	18 g / 9 l	20	1
Fosfátování	Pragofos 1921	312 g / 8 l	50	6
	Pragofos 1922 L	180 g / 8 l		
	Pragofos 1924	32g / 8 l		
	Pragofos 1502	16g / 8 l		
Oplach 2°	Demi voda	-	pokožová	1-2

Z 20 zkušebních vzorků, na které bylo aplikováno fosfátování, bylo 5 vzorků referenčních, 12 vzorků bylo umístěno do korozní komory (solná mlha), včetně jednoho vzorku s řezem (tzn. s porušením povlaku) a zbývající 3 vzorky byly dány do kondenzační komory.

### 6.2.2 Organosilany – PRAGOKOR Adhez

Stejně jako u předešlé technologie bylo i zde nejprve aplikováno odmaštění přípravkem PRAGOLOD 57 N (opět ponorem). Následně byl použit přípravek PRAGOKOR Adhez, což je organosilikátový přípravek pro zajištění přilnavosti organických nátěrů. Jedná se o čirý vodný roztok, který obsahuje organomodifikované nanočástice oxidu křemičitého. Při aplikaci z vodného prostředí kondenzují částice sólu oxidu křemičitého na povrch kovu nebo konverzní vrstvy a vytvářejí gelovou, bezbarvou, průhlednou vrstvu. Vrstva obsahuje epoxidové organické funkční skupiny, které se zapojí do organického pojiva a tím silně zvyšuje přilnavost a korozní odolnost systému. [67]

V tabulce č. 4 je podrobně popsán technologický postup nanesení organosilanu na zkušební vzorky.

Tabulka 4: Technologický postup nanesení organosilanů

Operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Odmaštění	PRAGOLOD 57 N	60 g / 10 l	60	5
Oplach 2°	Demi voda	-	pokožová	1-2
Aktivace	HCl	2 % / 10 l	pokožová	1
Oplach	Demi voda	-	pokožová	1-2
Organosilany	PRAGOKOR Adhez	50 – 200 ml / l	pokožová	7,5
Oplach	Demi voda	-	pokožová	1-2
Sušení	-	-	90	5

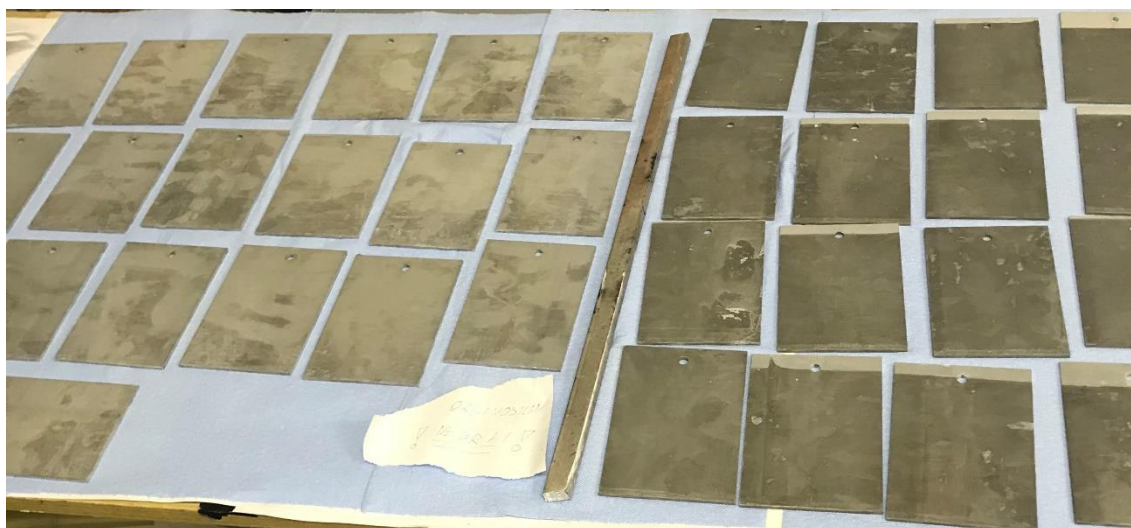


Obrázek 22: Pracovní lázeň pro nanesení organosilanů

Při realizaci experimentu byla u organosilanu PRAGOKOR Adhez zvolena koncentrace 150 ml přípravku / l vody. Dle doporučení výrobce pracovní lázeň obsahovala 8 l vody, tudíž bylo použito 1200 ml přípravku PRAGOKOR Adhez.

Podobně jako u předchozí technologie fosfátování bylo z 20 zkušebních vzorků 5 vzorků referenčních, 12 bylo umístěno do korozní komory (včetně jednoho vzorku s řezem) a 3 vzorky byly vloženy do kondenzační komory.

Na obrázku 23 jsou v pravé části zkušební vzorky s naneseným fosfátem, vlevo jsou pak zkušební vzorky s organosilanem.



Obrázek 23: Zkušební vzorky, vpravo fosfátování, vlevo organosilany

### 6.3 Kataforetické lakování

Po nanesení obou chemických předúprav bylo následně na vzorky aplikováno kataforetické lakování. Aplikace KTL probíhala při konstantním proudu 2 A a při napětí 165 V. Elektrody byly z korozivzdorné oceli AISI 304 (X5CrNi18-10). Chemické složení této oceli je v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Chemické složení korozivzdorné oceli AISI 304 [68]

C	Si	Mn	Cr	Ni
Max 0,07 %	Max 1 %	Max 2 %	17 – 19 %	8 – 10,5 %

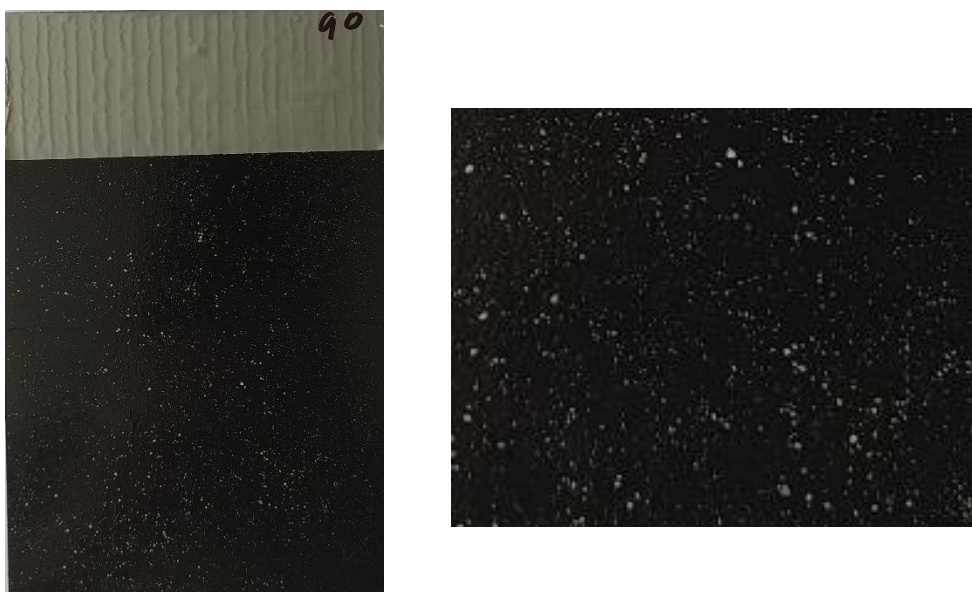


Na následujícím obrázku 24 je ukázka pracovní lázně pro KTL použita v diplomové práci.



Obrázek 24: Pracovní lázeň pro kataforetické lakování

Již po nanesení KTL se u některých vzorků s organosilany objevilo puchýřkování po celé ploše vzorku, jak je možné vidět na následujícím obrázku.



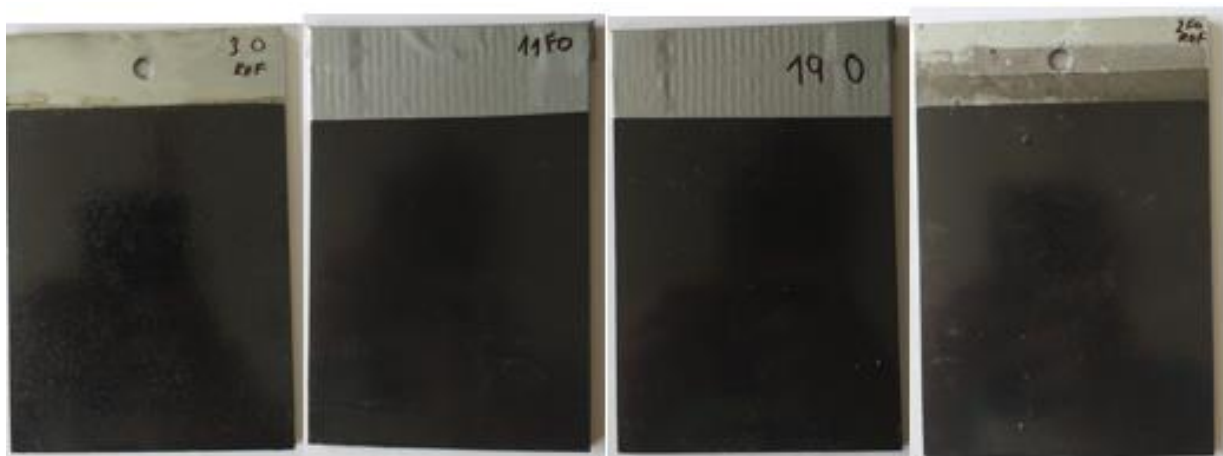
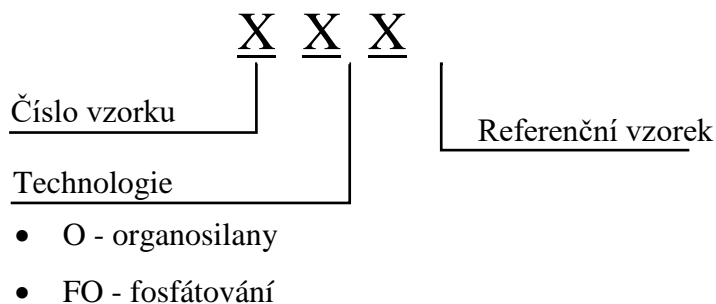
Obrázek 25: Vlevo: Zkušební vzorek s organosilany po aplikaci KTL, Vpravo: Detail puchýřkování



Pravděpodobnou příčinou puchýřkování byla vysoká vypalovací teplota kataforetického lakování, která dosáhla hodnoty 180 °C.

#### 6.4 Označení zkušebních vzorků

V této diplomové práci jsou zkušební vzorky označeny následujícím způsobem:



Obrázek 26: Příklad označení zkušebních vzorků

#### 6.5 Metody zkoušení vzorků

Jak již bylo popsáno výše, po dokončení chemických předúprav byla část vzorku umístěna do kondenzační komory a do solné mlhy. Zkouška probíhala dle normy ČSN EN ISO 6270-1 pro kondenzaci a dle normy ČSN EN ISO 9227 pro solnou mlhu. Teplota v kondenzační komoře byla  $38 \pm 2$  °C a v solné mlze  $35 \pm 2$  °C. V solné mlze byl po celou dobu experimentu rozprašován 5 % roztok chloridu sodného s demineralizovanou vodou. Kontrola probíhala v různých hodinových intervalech - 24, 72, 96, 168, 240, 288 a 336. Ze solné mlhy korozní komory byly 2 vzorky vyndány po 96, 168, 240, 288 hodinách. Zbylé vzorky byly vyndány na konci, po 336 hodinách. Podobně u kondenzační komory, kde byl jeden vzorek vyndán po 168 a 240 hodinách, poslední vzorek byl vyndán po konečných 336 hodinách. Vzorky byly vyjmuty, osušeny, vyfoceny a následně

testovány (viz další kapitoly experimentální části). Veškerá fotodokumentace je dostupná na vloženém CD.

Na následujících obrázcích je možné vidět zkušební vzorky, které jsou umístěny v korozní a kondenzační komoře.



Obrázek 27: Zkušební vzorky v korozní komoře



Obrázek 28: Zkušební vzorky v kondenzační komoře

## 6.6 Testování fyzikálně – mechanických vlastností

V této kapitole jsou blíže popsány zkoušky, které určují fyzikálně – mechanické vlastnosti povrchových úprav, které byly v této diplomové práci zhotoveny. Jedná se o

měření tloušťky povlaku, stanovení přilnavosti mřížkovou zkouškou, křížovým řezem a odtrhovou zkouškou.

### 6.6.1 Stanovení tloušťky povlaku

Stanovení tloušťky povlaku dle ČSN EN ISO 2808 bylo naměřeno digitálním přístrojem Elcometer 456, který pracuje na principu nedestruktivní elektromagnetické metody. Měření proběhlo pro každý zkušební vzorek tak, že byla změřena celková tloušťka systému (každý vzorek 10 měření), a poté byla odečtena tloušťka povlaku žárového zinku, jejíž průměrná hodnota byla 69,9  $\mu\text{m}$ . Všechny naměřené hodnoty jsou uvedené v tabulkách níže, kde  $n$  je počet měření a  $\bar{x}$  je průměrná hodnota.



Obrázek 29: Elcometer 456 [69]

Tabulka 6: Naměřené tloušťky zkušebních vzorků s fosfátováním

vzorek	n	$\bar{x}$ [ $\mu\text{m}$ ]	vzorek	n	$\bar{x}$ [ $\mu\text{m}$ ]
1 FO ref	10	28,6	11 FO	10	27,6
2 FO ref	10	30,7	12 FO	10	25,7
3 FO ref	10	24,0	13 FO	10	25,1
4 FO ref	10	28,7	14 FO	10	26,6
5 FO ref	10	31,7	15 FO	10	28,5
6 FO	10	27,2	16 FO	10	24,1
7 FO	10	28,5	17 FO	10	28,0
8 FO	10	29,0	18 FO	10	26,3

9 FO	10	22,4	19 FO	10	28,8
10 FO	10	26,9	20 FO	10	30,6

Tabulka 7: Naměřené tloušťky zkušebních vzorků s organosilany

vzorek	n	$\bar{x}$ [ $\mu\text{m}$ ]	vzorek	n	$\bar{x}$ [ $\mu\text{m}$ ]
1 O ref	10	29,5	11 O	10	23,3
2 O ref	10	26,1	12 O	10	27,8
3 O ref	10	30,9	13 O	10	29,0
4 O ref	10	23,8	14 O	10	25,9
5 O ref	10	29,6	15 O	10	26,7
6 O	10	24,8	16 O	10	28,5
7 O	10	27,3	17 O	10	24,0
8 O	10	27,5	18 O	10	28,4
9 O	10	26,1	19 O	10	29,6
10 O	10	24,9	20 O	10	26,5

## 6.6.2 Určení přilnavosti

Zkoušky přilnavosti daných povlaků se provádí za účelem zjištění parametru přilnavosti mezi jednotlivými vrstvami systému nebo mezi povlakem a samotným povrchem. Dobrá přilnavost povrchové vrstvy je podmíněna předchozími úpravami povrchu materiálu.

### 6.6.2.1 Zkouška přilnavosti mřížkovou zkouškou

Zkouška přilnavosti mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409 je metoda, při které dojde ke zhotovení řezu tvaru mřížky do povlaku a vizuální vyhodnocení stavu podle stupnice uvedené v normě. Tato metoda určuje odolnost povlaku vůči oddělení od podkladu. Použití této zkoušky je omezeno tloušťkou povlaku (max. 250  $\mu\text{m}$ ).

Vzdálenost mezi jednotlivými řezy v mřížce závisí na tloušťce a druhu řezu následovně:

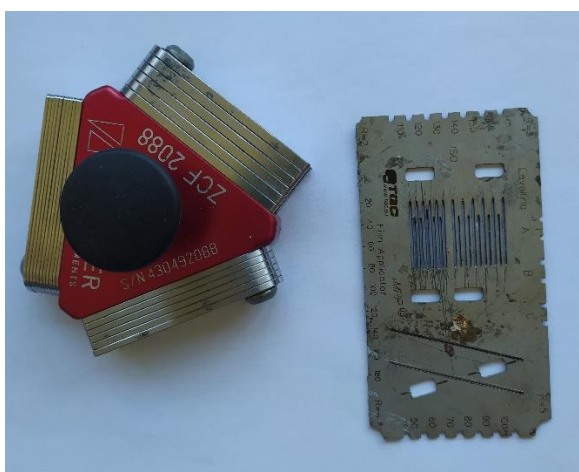
- 0 - 60  $\mu\text{m}$ : 1 mm rozestup pro tvrdé povlaky
- 0 - 60  $\mu\text{m}$ : 2 mm rozestup pro měkké povlaky
- 61 - 120  $\mu\text{m}$ : 2 mm rozestup jak pro tvrdé, tak měkké povlaky

- 121 - 250  $\mu\text{m}$ : 3 mm rozestup jak pro tvrdé, tak měkké povlaky

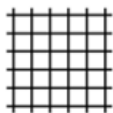
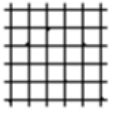
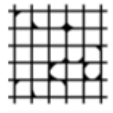
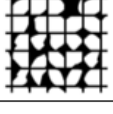
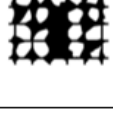
Po vytvoření mřížky se přilepí lepicí páska, která odstraní plochu povlaku, u níž byla porušena přilnavost důsledkem realizace řezů. Konečný výsledek této zkoušky je vyhodnocen číslem od 0 do 5, podle toho, které vypovídá pozorovanému poškození (viz dále).

### Konečné vyhodnocení zkoušky přilnavosti mřížkovou metodou

- Stupeň 0 - hladké řezy, žádné poškození čtverce
- Stupeň 1 - nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží, poškozená plocha je do 5%
- Stupeň 2 - částečné poškození povlaku podél řezných hran, v rozích řezu, poškození povrchu celé mřížky více jak 5%, ale méně než 15% celkové plochy
- Stupeň 3 - poškození v oblasti rohů jednotlivých řezů, podél řezné hrany, poškození přesahuje 15%, ale je menší než 35% celkové plochy mřížky
- Stupeň 4 - velké změny v oblasti rohů řezu a většina čtverců je částečně nebo zcela poškozená, celková plocha mřížky je poškozena z více jak 15%, ale poškození nepřesahuje 65%
- Stupeň 5 - změny, které jsou větší než u předchozího stupně 4 [70]



Obrázek 30: Nástroje pro mřížovou zkoušky a křížový řez



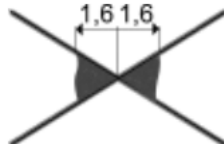
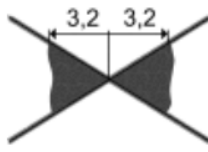

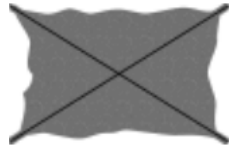
0	
1	
2	
3	
4	
5	-

Obrázek 31: Posouzení výsledků mřížkové zkoušky

#### 6.6.2.2 Zkouška přilnavosti křížovým řezem

Tato zkouška se řídí normou ČSN EN ISO 16276 - 2. Pro zhotovení křížového řezu je zapotřebí nůž či jiný ostrý předmět, kterým je veden rovný řez ve tvaru X. Postup vyhodnocení je obdobný jako u předešlé mřížkové zkoušky, na řez tvaru X se nalepí lepicí páska, která odstraní povlak se špatnou adhezí a hodnocení zkoušky se provádí rovněž číslicí od 0 do 5, která vypovídá pozorované degradaci (viz tabulka 8).

Tabulka 8: Klasifikace zkoušky přilnavosti křížovým řezem

Klasifikace	Popis	Vzhled
0	Žádný odlup	
1	Nepatrný odlup podél řezů	
2	Odlup podél řezu, v ploše max. do vzdálenosti 1,6 mm od křížení řezů	
3	Odlup podél řezu, v ploše max. do vzdálenosti 3,2 mm od křížení řezů	
4	Odstranění povlaku z většiny plochy mezi řezy	
5	Odstranění povlaku i mimo plochu křížového řezu	

### 6.6.2.3 Určení přilnavosti odtrhovou zkouškou

Při odtrhové zkoušce dle normy ČSN EN ISO 4624 se na zkušební vzorek nalepí pomocí vhodného lepidla tělísko (panenka), následně se čeká na jeho vytvrzení. Po vytvrzení lepidla dojde k odtržení zkušebního tělíska odtrhovým přístrojem. Pro nalepení penenek bylo použito lepidlo značky 3M, typu PR 100, což je dvousložkové lepidlo akrylové lepidlo s vynikající pevností v odlupu, rázovou pevností a smykovou pevností. Lepidlo bylo vytvrzováno po dobu 48 hodin při teplotě okolního prostředí. Následná odtrhová

zkouška byla provedena za pomoci odtrhového přístroje Elcometer 510. Během odtrhu se zaznamenává růst napětí, které dosáhne svého maxima v momentě, kdy se zkušební tělísko odtrhne. Na každém vzorku byly provedeny 3 odtrhy. Výsledkem je číselná hodnota maximálního napětí odtrhu a druh lomu, který je buď kohézní či adhezní. Často dojde ke kombinaci těchto dvou druhů lomu.

Tabulka 9: Klasifikace odtrhové zkoušky

<b>Klasifikace</b>	<b>Popis</b>
A	Kohезní lom v podkladu
A/B	Adhezní lom mezi podkladem a první vrstvou
-/Y	Adhezní lom mezi poslední vrstvou a lepidlem
Y	Kohезní lom v lepidle
Y/Z	Adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním tělesem



Obrázek 32: Zkušební tělísko (panenka) pro odtrhovou zkoušku [71]



Obrázek 33: Odrhový přístroj Elcometer 510 [71]



## 6.7 Výsledky zkoušek přilnavosti pro jednotlivé předúpravy

### 6.7.1 Výsledky referenčních vzorků pro fosfátování

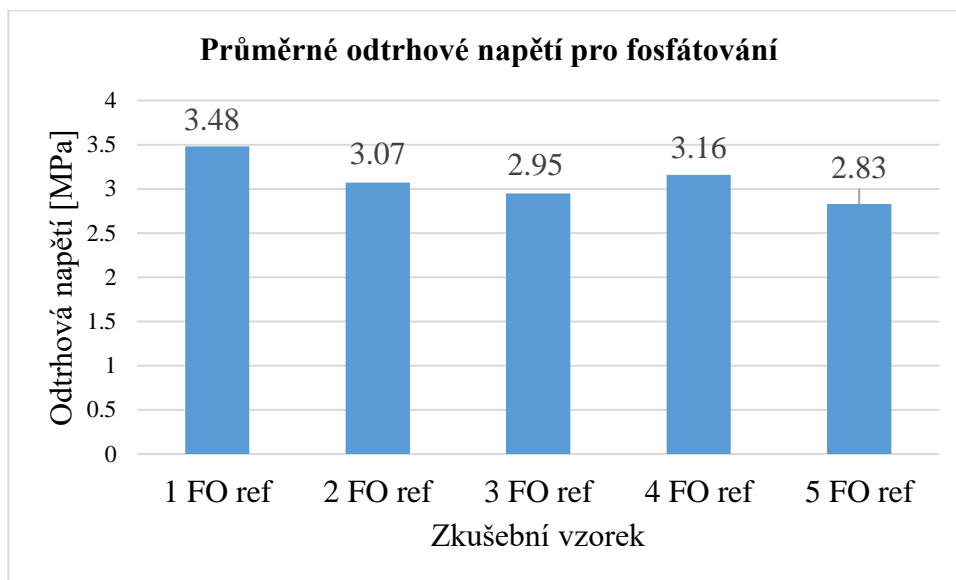
V tabulce č. 10 jsou viditelné výsledky referenčních vzorků s fosfátem pro odtrhovou zkoušku, charakter lomu, křížový řez a mřížkovou zkoušku.

Tabulka 10: Výsledky zkoušky přilnavosti - fosfátování, referenční vzorky

Vzorek	Odrhová zkouška	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
1 FO ref	1	3,51	100 % Y	0	1
	2	2,61	100 % Y		
	3	4,33	2 % A/B, 98 % Y		
2 FO ref	1	3,03	5 % A/B, 95 % Y	1	1
	2	3,24	5 % A/B, 95 % Y		
	3	2,94	2 % A/B, 98 % Y		
3 FO ref	1	2,91	100 % Y	1	1
	2	2,99	2 % A/B, 98 % Y		
	3	-	-		
4 FO ref	1	-	-	1	0
	2	2,83	10 % A/B, 90 % Y		
	3	3,49	2 % A/B, 98 % Y		
5 FO ref	1	2,89	2 % A/B, 98 % Y	0	0
	2	-	-		
	3	2,76	100 % Y		

Některá zkušební tělíska (označeno „-“) nebylo možné odtrhnout, pravděpodobně z důvodu opotřeбенé panenky, kterou nešlo uchytit do hlavy odtrhové přístroje a zkouška nemohla být provedena.

Graf 1: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, referenční vzorky, 0 hodin



### 6.7.2 Výsledky referenčních vzorků pro organosilany

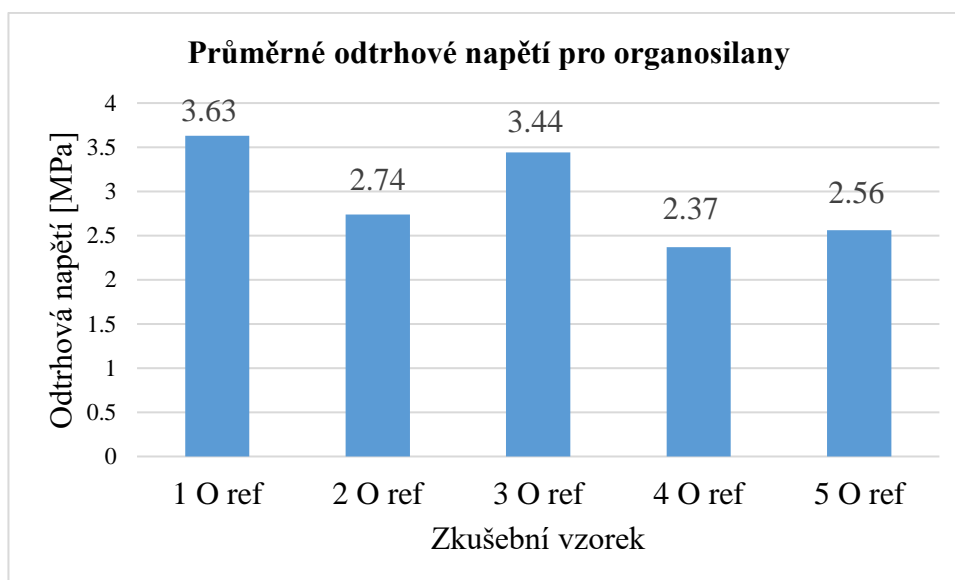
V tabulce č. 11 jsou viditelné výsledky referenčních vzorků s organosilany pro odtrhovou zkoušku, charakter lomu, křížový řez a mřížkovou zkoušku.

Tabulka 11: Výsledky zkoušky přilnavosti - organosilany referenční vzorky

Vzorek	Odrhová zkouška	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
1 O ref	1	2,93	70 % A/B, 30% B	0	1
	2	3,14	85 % A/B, 15 % B		
	3	4,83	70 % A/B, 30% B		
2 O ref	1	3,24	60 % A/B, 40% B	1	1
	2	1,73	10 % A/B, 90 % Y		
	3	3,25	15 % A/B, 85 % Y		
3 O ref	1	3,35	30 % A/B, 70 % B	0	1
	2	-	-		
	3	3,52	10 % A/B, 90 % Y		

4 O ref	1	2,60	15 % A/B, 85 % Y	1	0
	2	2,14	45 % A/B, 55 % Y		
	3	-	-		
5 O ref	1	1,34	20 % A/B, 10 % B, 70 % Y	1	1
	2	3,03	100 % Y		
	3	3,30	40 % A/B, 60 % Y		

Graf 2: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, referenční vzorky, 0 hodin



### 6.7.3 Výsledky zkoušek přilnavosti vzorků z korozní komory

V této kapitole jsou vyhodnoceny zkušební vzorky, které byly odebrány ze solné mlhy. Vzorky se odebíraly po 96, 168, 240, 288 a 336 hodinách a následně na nich byly zrealizovány odtrhové zkoušky, mřížková zkouška a křížový řez.

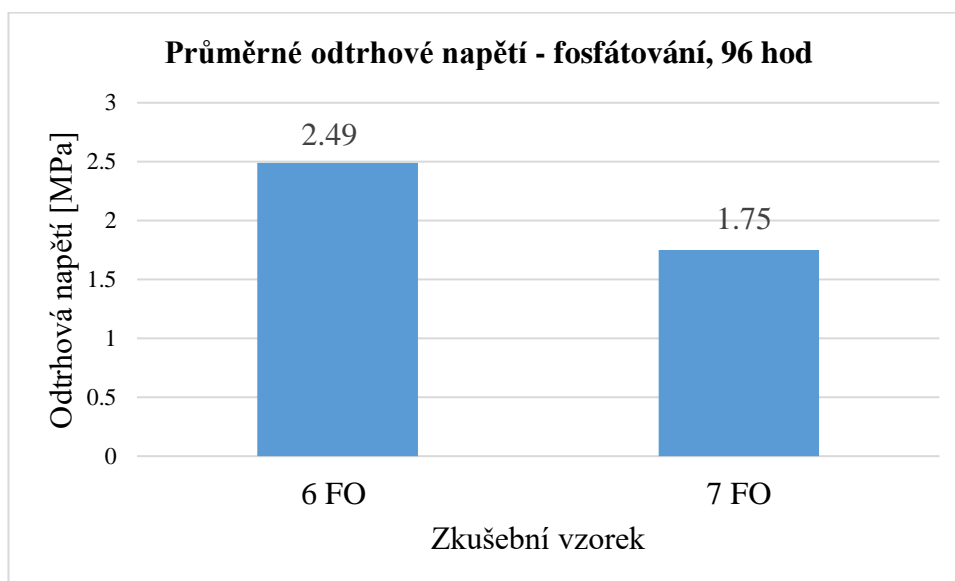
#### 6.7.3.1 Výsledky pro vzorky s fosfátováním, 96 hodin

V tabulce č. 12 jsou shrnuté výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s fosfátováním, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 96 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 12: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 96 hodin

Vzorek	Odrhová zkouška	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
6 FO	1	2,18	90 % A/B, 10 % Y	1	1
	2	2,36	50% A/B, 50% Y		
	3	2,93	90 % A/B, 10 % Y		
7 FO	1	1,60	100% A/B	0	1
	2	1,65	95 % A/B, 5% Y		
	3	1,99	100 % A/B		

Graf 3: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 96 hodin



### 6.7.3.2 Výsledky pro vzorky s organosilany, 96 hodin

V tabulce č. 13 jsou shrnuté výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s organosilany, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 96 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 13: Výsledky zkoušek přilnavosti – organosilany, solná mlha, 96 hodin

Vzorek	Odrhová zkouška	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
6 O	1	Ručně	80 % A/B, 20 % Y	5	5
	2	Ručně	80 % A/B, 20 % Y		
	3	Ručně	60 % A/B, 40 % Y		
7 O	1	Ručně	90 % A/B, 10 % Y	5	5
	2	Ručně	90 % A/B, 10 % Y		
	3	Ručně	85 % A/B, 15 % Y		

Pro tyto zkušební vzorky nebyly naměřeny žádné hodnoty odtrhového napětí, všechna zkušební tělíska se odtrhla pomocí lidské síly, pravděpodobně z důvodu špatné přilnavosti organosilanů v kombinaci s kataforetickým lakováním.

### 6.7.3.3 Výsledky pro vzorky s fosfátováním, 168 hodin

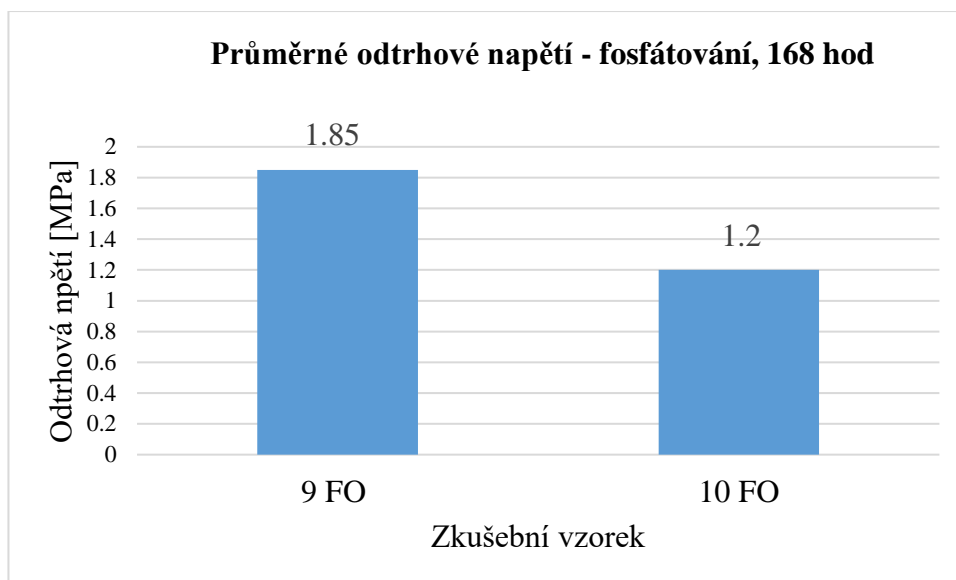
V tabulce č. 14 jsou shrnuté výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s fosfátováním, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 168 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 14: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 168 hodin

Vzorek	Odrhová zkouška	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
9 FO	1	1,77	90 % A/B, 10 % Y	1	1
	2	1,59	90 % A/B, 10 % Y		
	3	2,20	85 % A/B, 15 % Y		

10 FO	1	0,95	100 % A/B	1	4
	2	1,12	90 % A/B, 10 % Y		
	3	1,54	95 % A/B, 5 % Y		

Graf 4: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 168 hodin



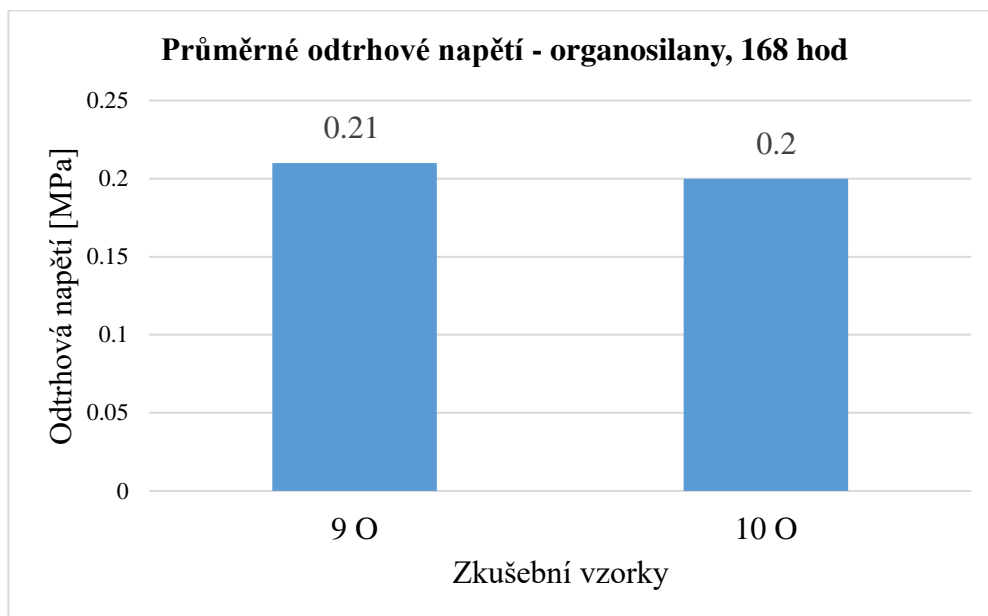
#### 6.7.3.4 Výsledky pro vzorky s organosilany, 168 hodin

V tabulce č. 15 jsou shrnuté výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s organosilany, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 168 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 15: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, solná mlha, 168 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
9 O	1	0,19	100 % A/B	5	5
	2	0,22	100 % A/B		
	3	0,23	90 % A/B, 10 % Y		
10 O	1	Ručně	100 % A/B	5	5
	2	Ručně	100 % A/B		
	3	0,70	95 %, 5 % Y		

Graf 5: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, korozní komora, 168 hodin



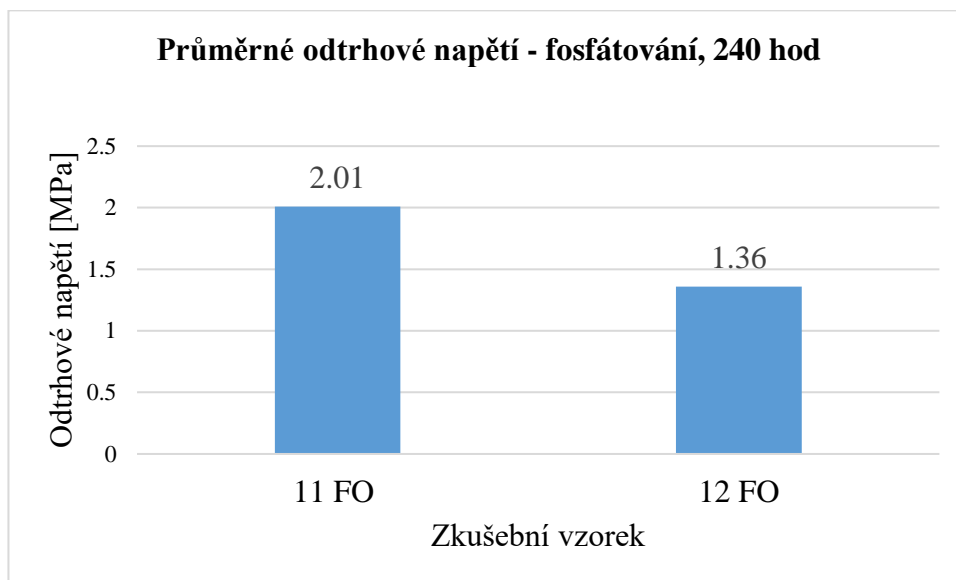
#### 6.7.3.5 Výsledky pro vzorky s fosfátováním, 240 hodin

V tabulce č. 16 jsou shrnuty výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s fosfátováním, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 240 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 16: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 240 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
11 FO	1	2,03	95 % A/B, 5 % Y	2	1
	2	2,56	65 %, 35 % Y		
	3	1,44	95 % A/B, 5 % Y		
12 FO	1	1,22	80 % A/B, 20 % Y	1	2
	2	1,48	98 % A/B, 2 % Y		
	3	1,39	100 % A/B		

Graf 6: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 240 hodin



#### 6.7.3.6 Výsledky pro vzorky s organosilany, 240 hodin

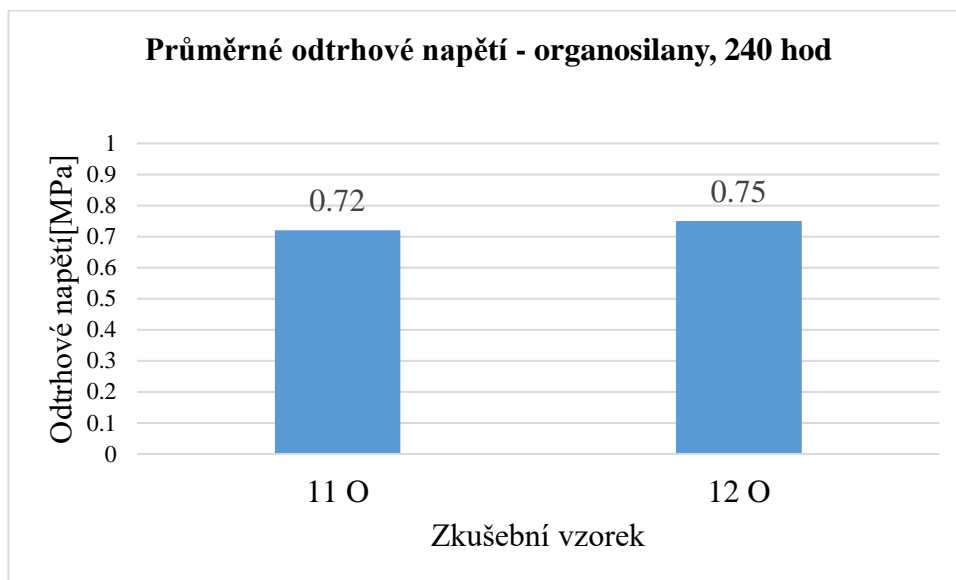
V tabulce č. 17 jsou shrnuty výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s organosilany, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 240 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 17: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, solná mlha, 240 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
11 O	1	0,74	100 % A/B	5	5
	2	0,76	100 % A/B		
	3	0,65	95 % A/B, 5 % Y		
12 O	1	0,74	98 % A/B, 2 % Y	5	5
	2	0,73	98 % A/B, 2 % Y		
	3	0,77	95 % A/B, 5 % Y		



Graf 7: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, korozní komora, 240 hodin



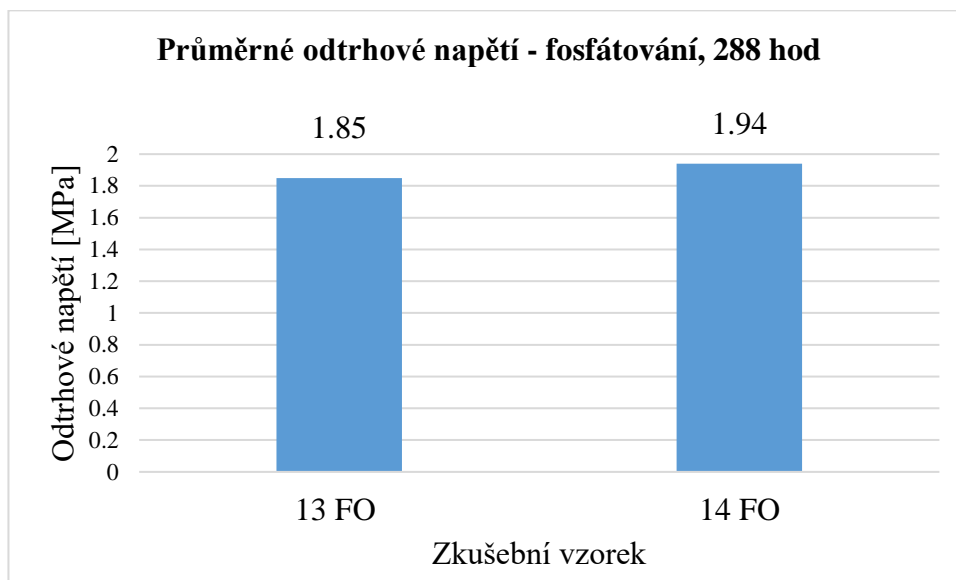
#### 6.7.3.7 Výsledky pro vzorky s fosfátováním, 288 hodin

V tabulce č. 18 jsou shrnuté výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s fosfátováním, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 288 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 18: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 288 hodin

Vzorek	Odrhová zkouška	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
13 FO	1	1,54	80 % A/B, 2 % Y	1	1
	2	2,34	100 % A/B		
	3	1,66	100% A/B		
14 FO	1	1,87	98 % A/B, 2 % Y	1	1
	2	1,40	70 % A/B, 30 % Y		
	3	2,56	80 % A/B, 20 % Y		

Graf 8: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 288 hodin



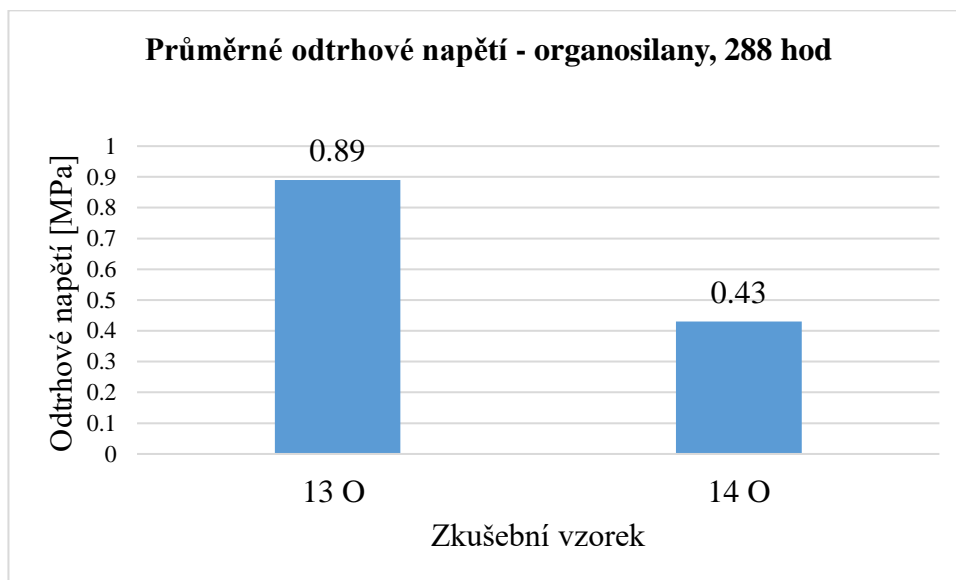
#### 6.7.3.8 Výsledky pro vzorky s organosilany, 288 hodin

V tabulce č. 19 jsou shrnuté výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s organosilany, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 288 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 19: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, solná mlha, 288 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
13 O	1	2,25	85 % A/B, 15 % Y	5	5
	2	0,17	95 % A/B, 5 % Y		
	3	0,24	95 % A/B, 5 % Y		
14 O	1	0,31	100 % A/B	5	5
	2	0,68	100 % A/B		
	3	0,29	95 % A/B, 5 % Y		

Graf 9: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, korozní komora, 288 hodin



### 6.7.3.9 Výsledky pro vzorky s fosfátováním, 336 hodin

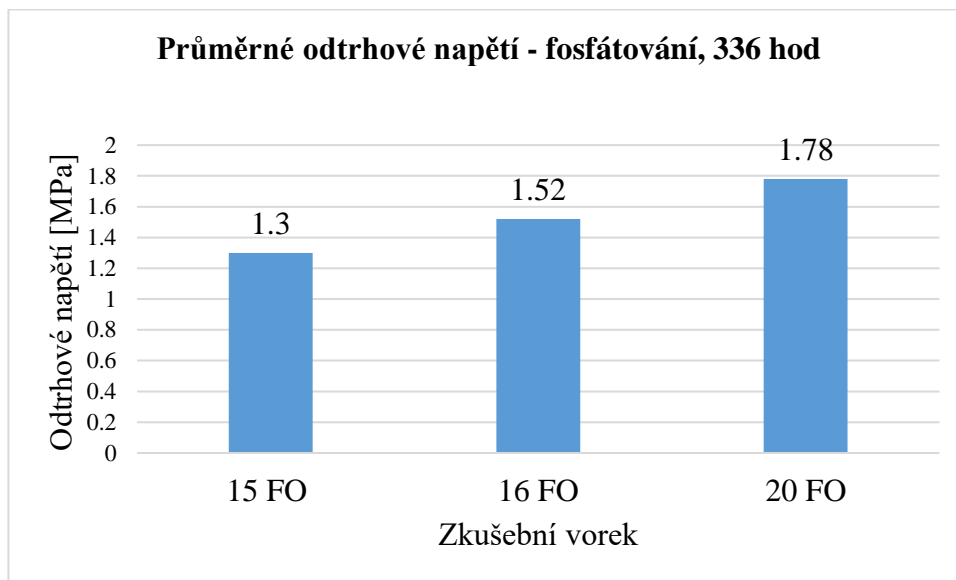
V tabulce č. 20 jsou shrnuté výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s fosfátováním, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 336 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 20: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 336 hodin

Vzorek	Odtřhová zkouška	Odtřhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
15 FO	1	1,24	85 % A/B, 15 % Y	1	2
	2	1,18	98 % A/B, 2 % Y		
	3	1,47	100 % A/B		
16 FO	1	1,17	85 % A/B, 15 % Y	1	1
	2	1,15	100 % A/B		
	3	2,23	80 % A/B, 20 % Y		
20 FO	1	1,98	70 % A/B, 30 % Y	1	2
	2	1,77	100 % A/B		

	3	1,59	90 % A/B, 10 % Y		
--	---	------	---------------------	--	--

Graf 10: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 336 hodin



#### 6.7.3.10 Výsledky pro vzorky s organosilany, 336 hodin

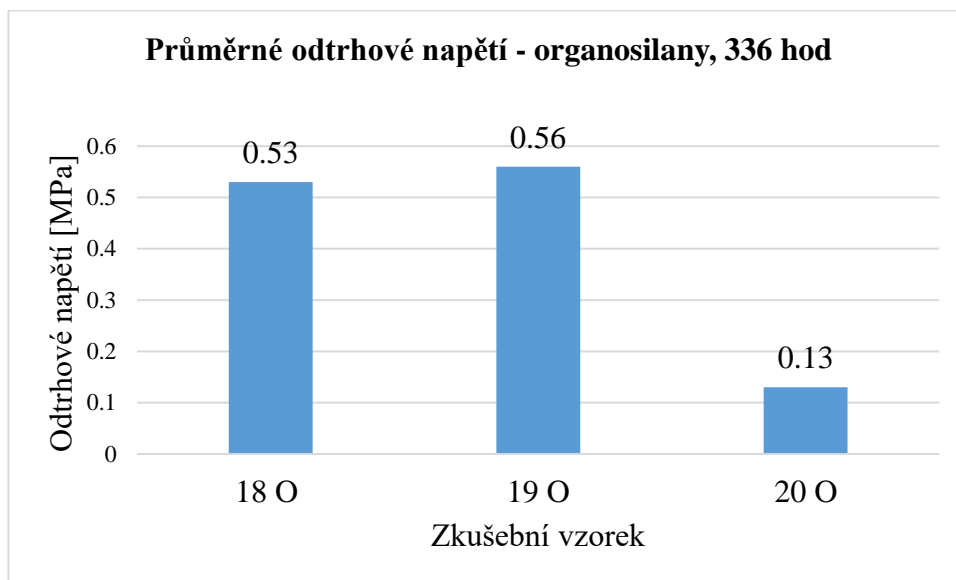
V tabulce č. 21 jsou shrnuté výsledky zkoušek přilnavosti pro vzorky s organosilany, které byly vyjmuty ze solné mlhy po 336 hodinách a byla na nich aplikována odtrhová zkouška, vyhodnocen charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška.

Tabulka 21: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, solná mlha, 336 hodin

Vzorek	Odrhová zkouška	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
18 O	1	ručně	100 % A/B	5	5
	2	0,38	90 % A/B, 10 % Y		
	3	1,20	90 % A/B, 10 % Y		
19 O	1	0,32	98 % A/B, 2 % Y	5	5
	2	0,50	95 % A/B, 5 % Y		
	3	0,86	85 % A/B, 15 % Y		
	1	ručně	100 % A/B		

20 O	2	0,22	95 % A/B, 5 % Y	5	5
	3	0,18	100 % A/B		

Graf 11: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, korozní komora, 336 hodin



#### 6.7.4 Výsledky zkoušek přilnavosti vzorků z kondenzační komory

Z kondenzační komory byly zkušební vzorky odebrány po 168, 240 a 336 hodinách. Následně na nich byly provedeny zkoušky přilnavosti. V následujících kapitolách jsou popsány výsledky odtrhové zkoušky, křížového řezu a mřížkové zkoušky.

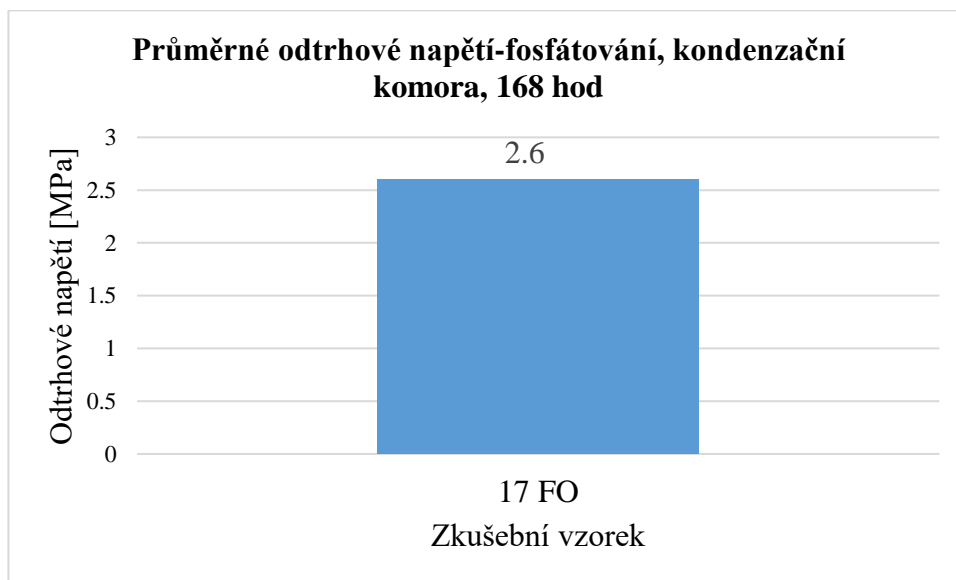
##### 6.7.4.1 Výsledky pro vzorky s fosfátováním, 168 hodin

V tabulce 22 jsou shrnuty výsledky odtrhové zkoušky, charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška pro zkušební vzorky s fosfátováním, které byly vyjmuty z kondenzační komory po 168 hodinách.

Tabulka 22: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, kondenzace, 168 hodin

Vzorek	Odrhová zkouška	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
17 FO	1	2,50	95 % A/B, 5 % B	1	1
	2	2,27	85 % A/B, 15 % B		
	3	3,04	80 % A/B, 20 % B		

Graf 12: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, kondenzační komora, 168 hodin



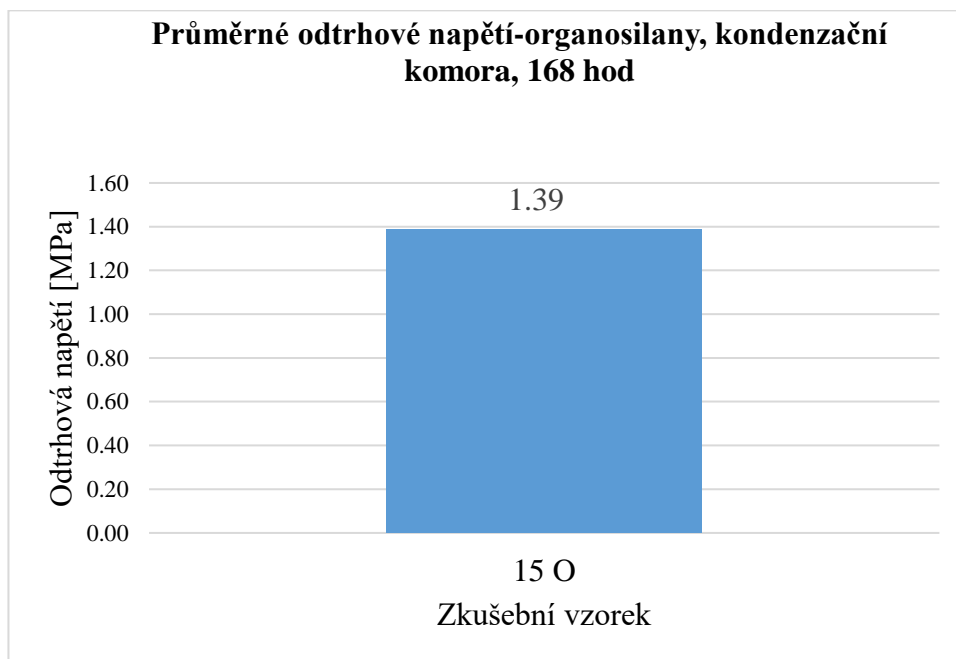
#### 6.7.4.2 Výsledky pro vzorky s organosilany, 168 hodin

V tabulce 23 jsou shrnuty výsledky odtrhové zkoušky, charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška pro zkušební vzorky s organosilany, které byly vyjmuty z kondenzační komory po 168 hodinách.

Tabulka 23: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, kondenzace, 168 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
15 O	1	1,44	100 % A/B	4	5
	2	1,73	50 % A/B, 50 % B		
	3	0,99	50 % A/B, 50 % B		

Graf 13: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, kondenzační komora, 168 hodin



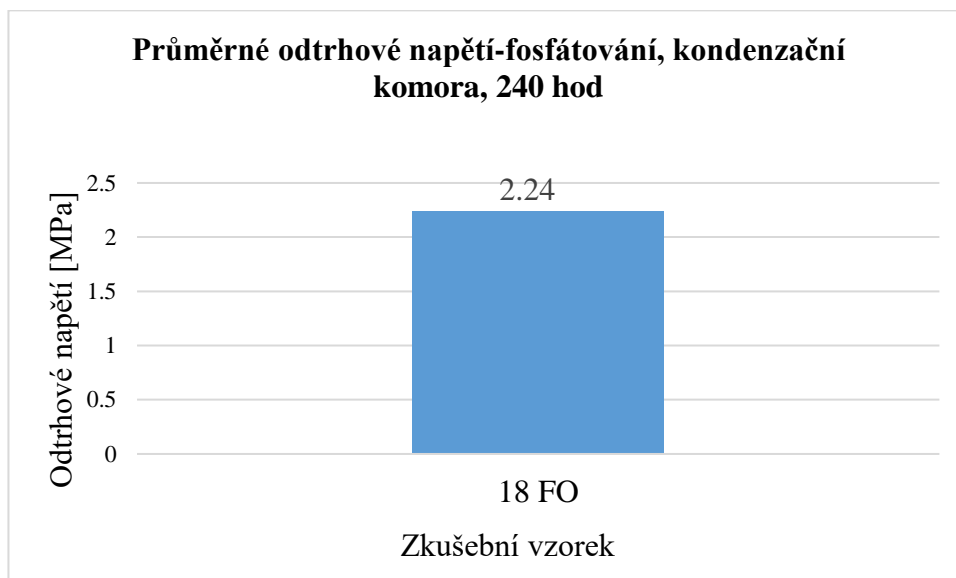
#### 6.7.4.3 Výsledky pro vzorky s fosfátováním, 240 hodin

V tabulce 24 jsou shrnuty výsledky odtrhové zkoušky, charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška pro zkušební vzorky s fosfátováním, které byly vyjmuty z kondenzační komory po 240 hodinách.

Tabulka 24: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, kondenzace, 240 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
18 FO	1	1,77	95 % A/B, 5% Y	1	1
	2	1,92	98 % A/B, 2 % Y		
	3	3,02	85 % A/B, 15 % Y		

Graf 14: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, kondenzační komora, 240 hodin



#### 6.7.4.4 Výsledky pro vzorky s organosilany, 240 hodin

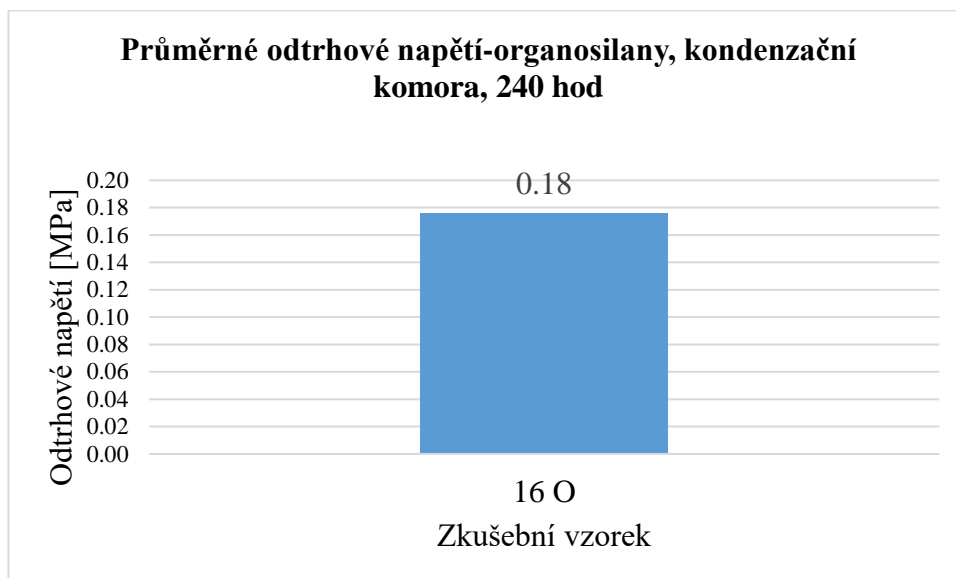
V tabulce 25 jsou shrnuty výsledky odtrhové zkoušky, charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška pro zkušební vzorky s organosilany, které byly vyjmuty z kondenzační komory po 240 hodinách.

Tabulka 25: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, kondenzace, 240 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
16 O	1	0,19	85 % A/B, 15 % Y	5	5
	2	0,18	95 % A/B, 5 % Y		
	3	0,16	80 % A/B, 20 % Y		



Graf 15: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, kondenzační komora, 240 hodin



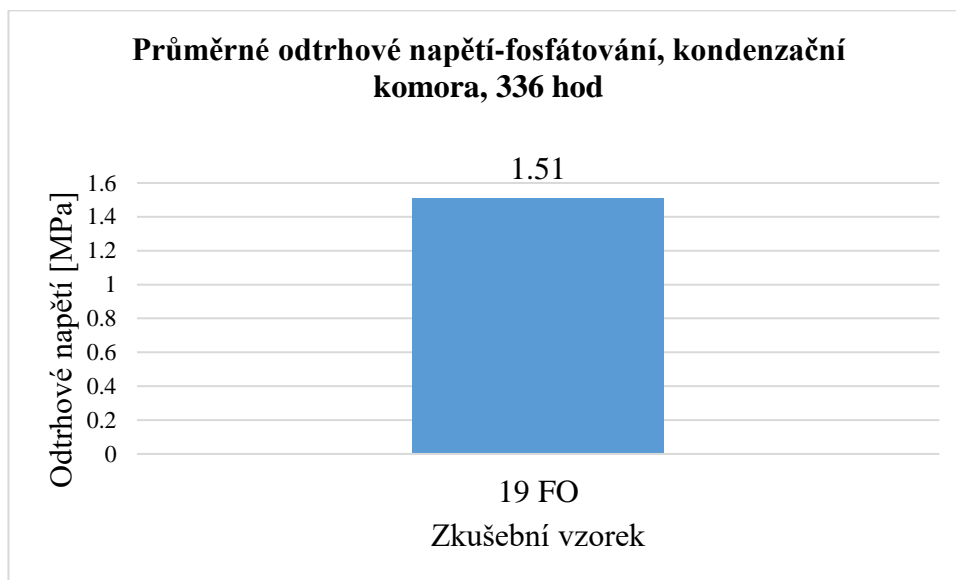
#### 6.7.4.5 Výsledky pro vzorky s fosfátováním, 336 hodin

V tabulce 26 jsou shrnuty výsledky odtrhové zkoušky, charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška pro zkušební vzorky s fosfátováním, které byly vyjmuty z kondenzační komory po 336 hodinách.

Tabulka 26: Výsledky zkoušek přílnavosti - fosfátování, kondenzace, 336 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
19 FO	1	1,80	80 % A/B, 10 % A, 10 % Y	2	1
	2	1,40	80 % A/B, 20 % A		
	3	1,32	70 % A/B, 10 % A, 20 % Y		

Graf 16: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, kondenzační komora, 336 hodin



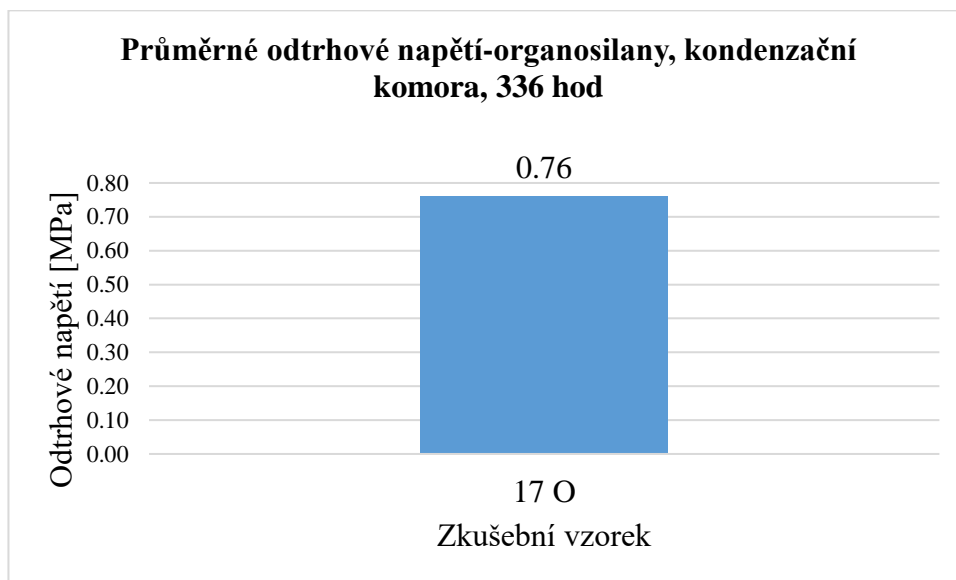
#### 6.7.4.6 Výsledky pro vzorky s organosilany, 336 hodin

V tabulce 27 jsou shrnuty výsledky odtrhové zkoušky, charakter lomu, křížový řez a mřížková zkouška pro zkušební vzorky s organosilany, které byly vyjmuty z kondenzační komory po 336 hodinách.

Tabulka 27: Výsledky zkoušek přílnavosti - organosilany, kondenzace, 336 hodin

Vzorek	Odtrhová zkouška	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížková zkouška
17 O	1	0,80	100 % A/B	4	5
	2	0,78	60 % A/B, 40 % Y		
	3	0,69	100 % A/B		

Graf 17: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, kondenzační komora, 336 hodin



## 6.8 Porovnání chemických předúprav

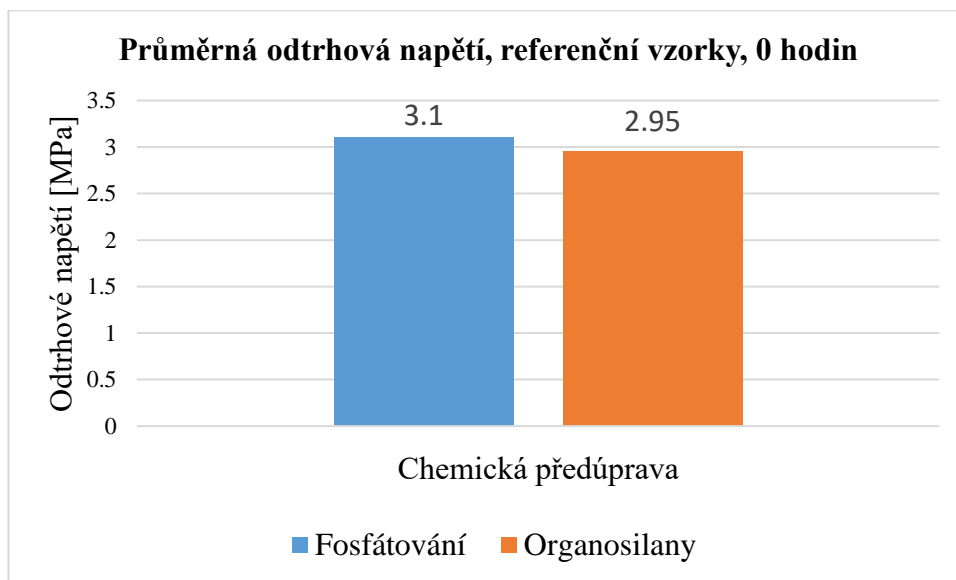
V této kapitole jsou shrnuty a porovnány průměrné hodnoty z odtrhových zkoušek chemických předúprav, na které bylo naneseno kataforetické lakování (viz následující tabulky a grafy).

Tabulka 28: Průměrná odtrhová napětí, referenční vzorky, 0 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	3,1
Organosilany	2,95

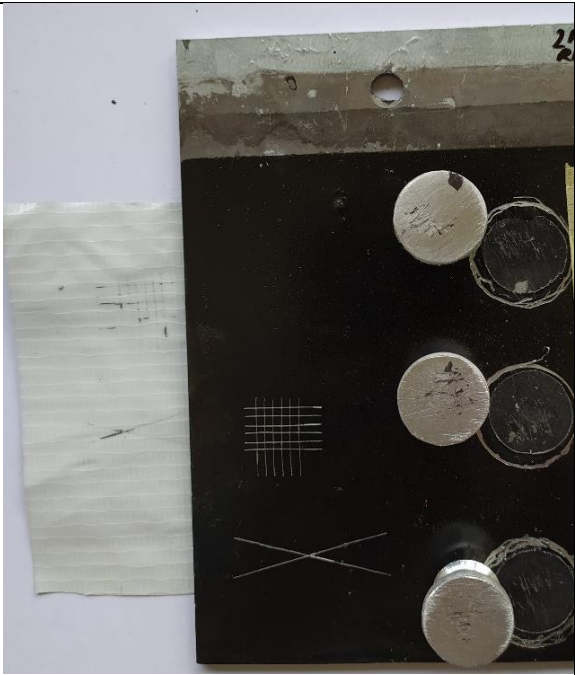

V grafu č. 18 jsou uvedeny průměrné hodnoty odtrhových napětí referenčních vzorků pro obě chemické předúpravy. Je viditelné, že hodnoty se od sebe příliš neliší a jsou podobné. Pro zkušební vzorky s fosfátováním je průměrné odtrhové napětí stanoveno na hodnotu 3,1 MPa, pro organosilany 2,95 MPa.

Graf 18: Porovnání odtrhových napětí referenčních vzorků, 0 hodin



Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných referenčních vzorků.

Tabulka 29: Porovnání zkoušek přilnavosti - referenční vzorky

Referenční vzorky							
							
Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	3,03	1	1	1	1,34	1	1
2	3,24			2	3,03		
3	2,94			3	3,30		

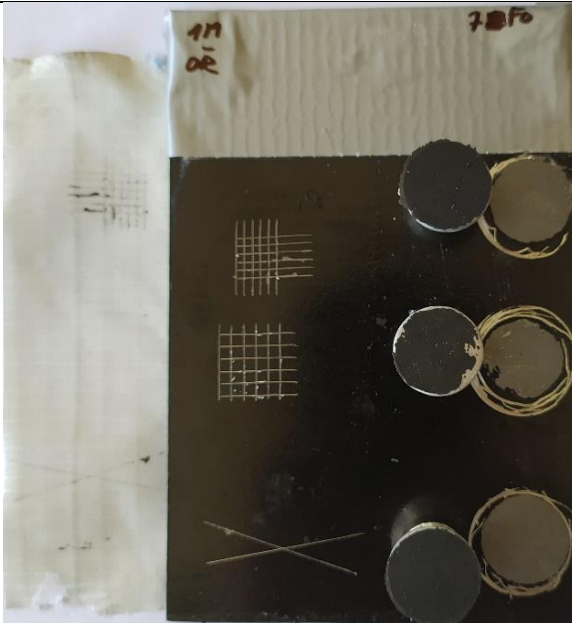

Tabulka 30: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 96 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	2,12
Organosilany	-

V tabulce 29 jsou zaznamenány průměrné hodnoty odtrhového napětí pro vzorky po expozici ze solné mlhy, které byly vyjmuty po 96 hodinách. Pro organosilany se nepodařilo naměřit žádnou hodnotu, neboť všechna zkušební tělíska byla odtržena lidskou silou, takže lze konstatovat, že fosfátování si v porovnání vede lépe a byla naměřena průměrná hodnota 2,12 MPa.

Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných zkušebních vzorků.

Tabulka 31: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 96 hodin

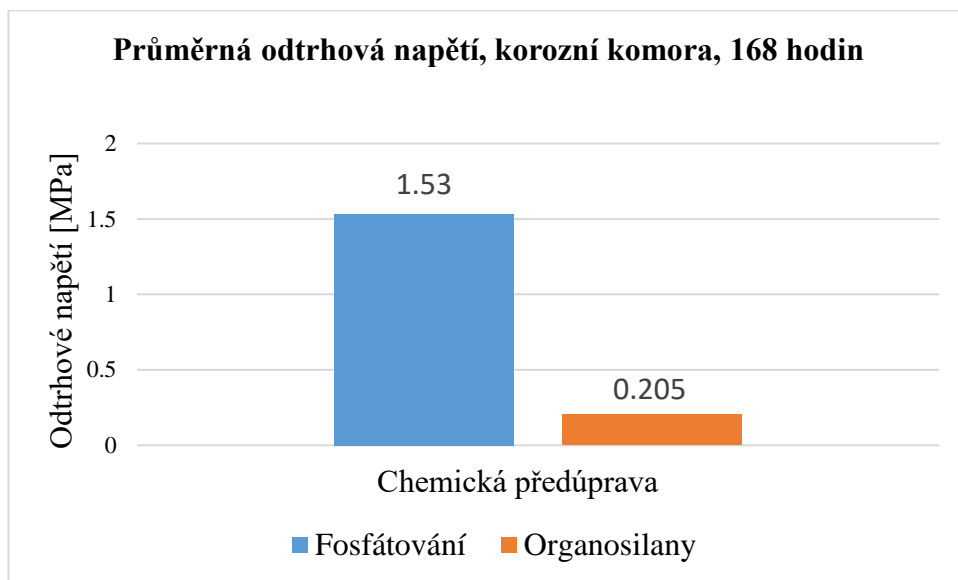
Korozní komora, 96 hodin							
							
Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	1,60	1	0	1	ručně	5	5
2	1,65			2	ručně		
3	1,99			3	ručně		

Tabulka 32: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 168 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	1,53
Organosilany	0,205


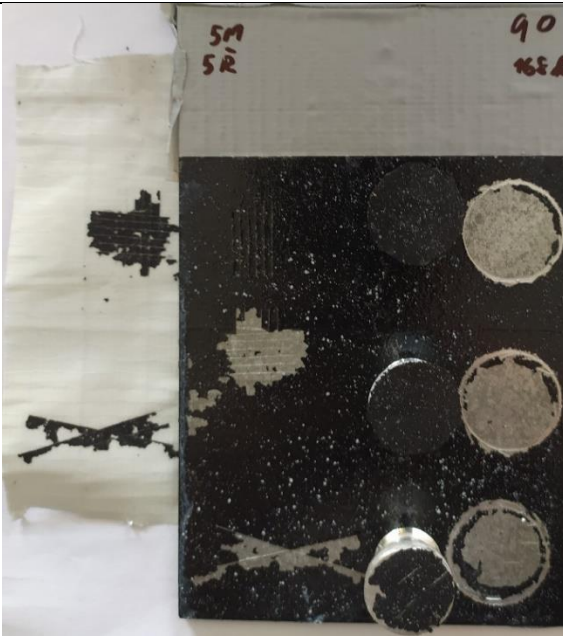
V grafu č. 19 jsou naznačeny průměrné hodnoty odtrhových napětí pro chemické předúpravy fosfátování a organosilany, které byly provedeny po 168 hodinách v korozní komoře. Na první pohled je zřejmé, že technologie fosfátování dosahuje vyšších hodnot (1,53 MPa), než organosilany (0,205 MPa).

Graf 19: Porovnání odtrhových napětí, korozní komora, 168 hodin



Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných zkušebních vzorků.

Tabulka 33: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 168 hodin

Korozní komora, 168 hodin							
							
Odrh č.	Odrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odrh č.	Odrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	1,77	1	1	1	0,19	5	5
2	1,59			2	0,22		
3	2,20			3	0,23		

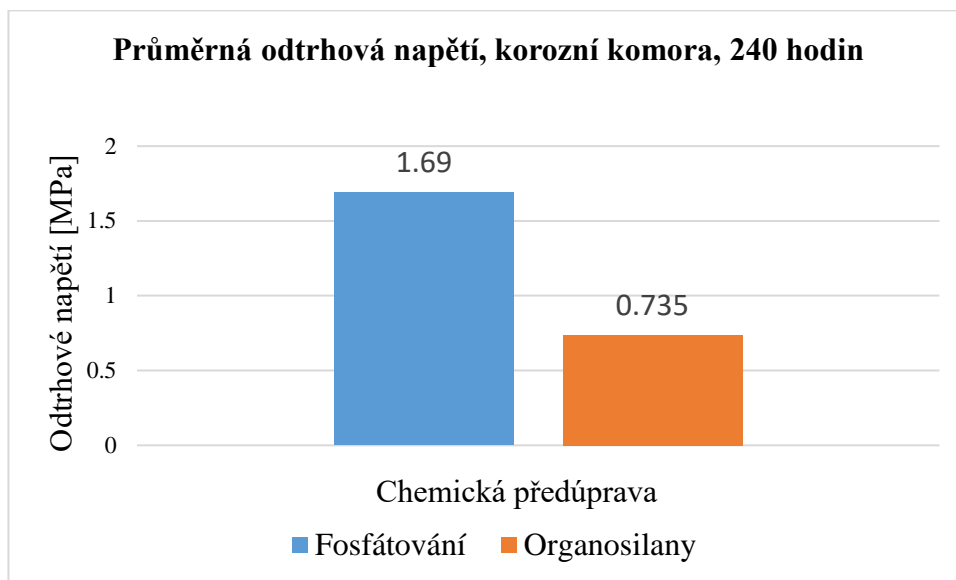
Tabulka 34: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 240 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	1,69
Organosilany	0,735

V následujícím grafu č. 20 jsou uvedeny průměrné hodnoty odtrhového napětí pro fosfátování a organosilany, které byly provedeny po 240 hodinách v korozní komoře. Z grafu lze vyčíst, že opět vyšších hodnot dosáhly zkušební vzorky s fosfátováním, a to 1,69 MPa. Hodnota odtrhového napětí pro organosilany je rovna 0,735 MPa.

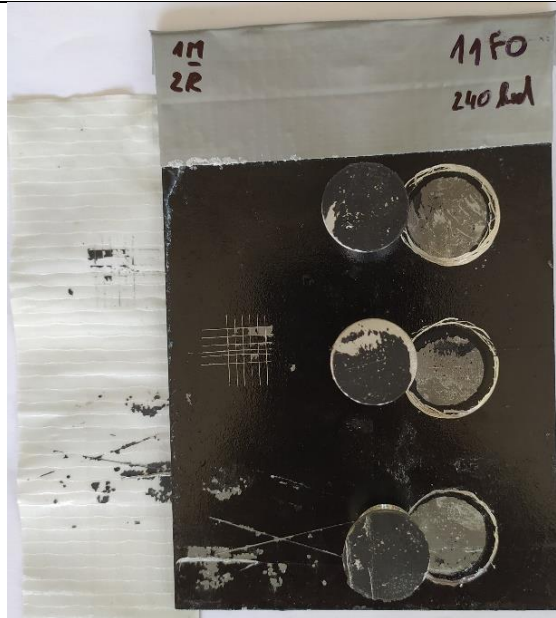
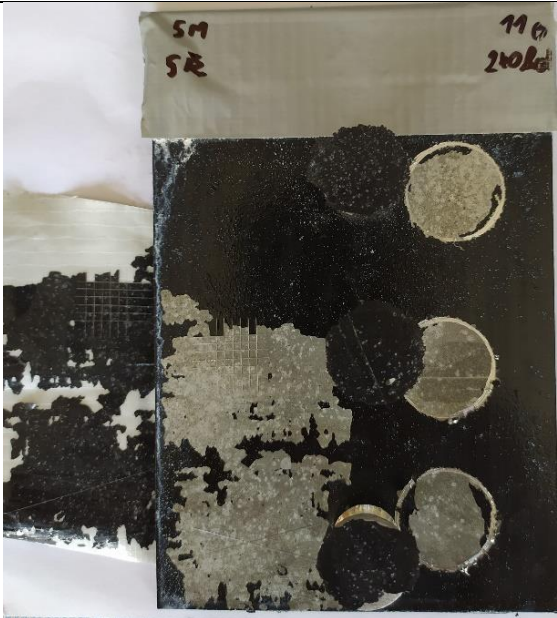


Graf 20: Porovnání odtrhových napětí, korozní komora, 240 hodin



Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných zkušebních vzorků.

Tabulka 35: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 240 hodin

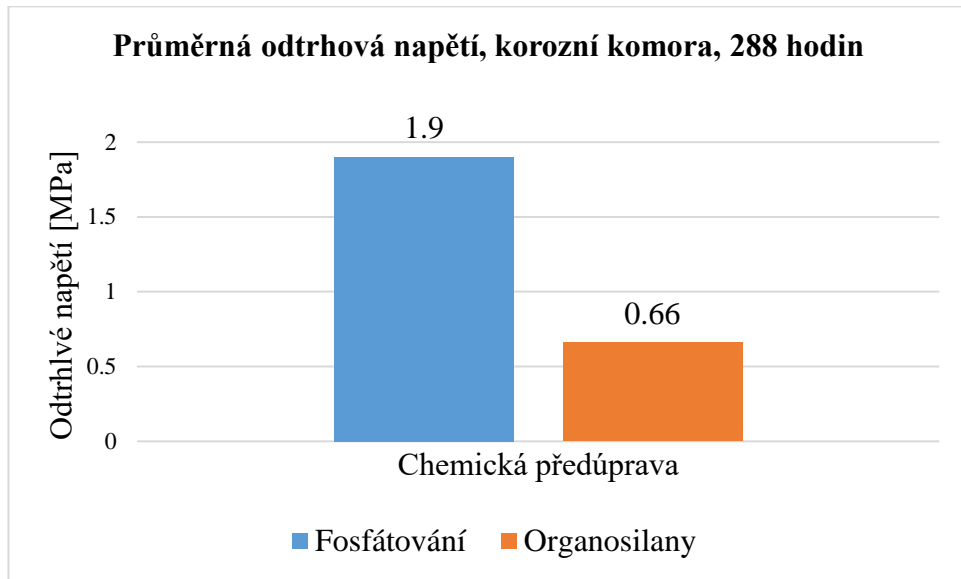
Korozní komora, 240 hodin							
							
Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	2,03	1	2	1	0,74	5	5
2	2,56			2	0,76		
3	1,44			3	0,65		

Tabulka 36: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 288 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	1,9
Organosilany	0,66


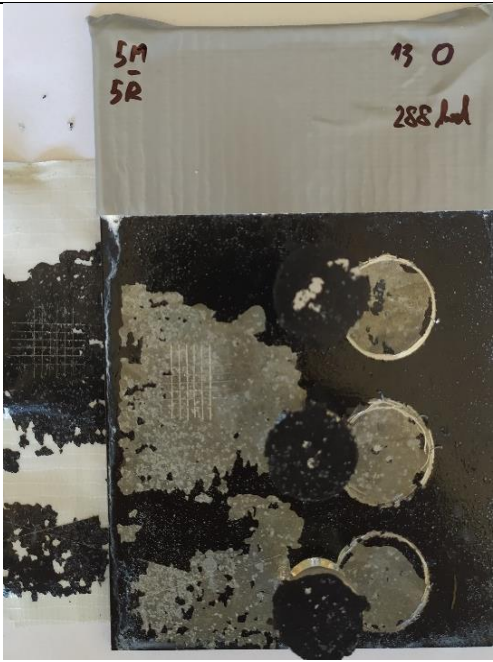
V grafu č. 21 jsou uvedeny průměrné hodnoty odtrhového napětí pro fosfátování a organosilany, které byly provedeny po 288 hodinách v korozní komoře. Z grafu lze vyčíst, že opět vyšších hodnot dosáhly zkušební vzorky s fosfátováním, a to 1,9 MPa. Hodnota odtrhového napětí pro organosilany je rovna 0,66 MPa.

Graf 21: Porovnání odtrhových napětí, korozní komora, 288 hodin



Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných zkušebních vzorků.

Tabulka 37: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 288 hodin

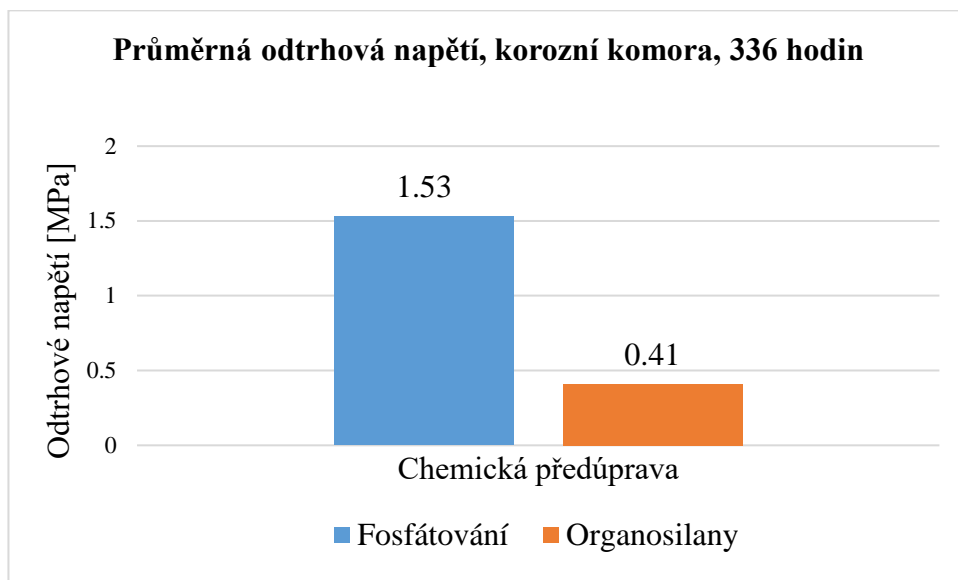
Korozní komora, 288 hodin							
							
Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	1,54	1	1	1	2,25	5	5
2	2,34			2	0,17		
3	1,66			3	0,24		

Tabulka 38: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 336 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	1,53
Organosilany	0,41

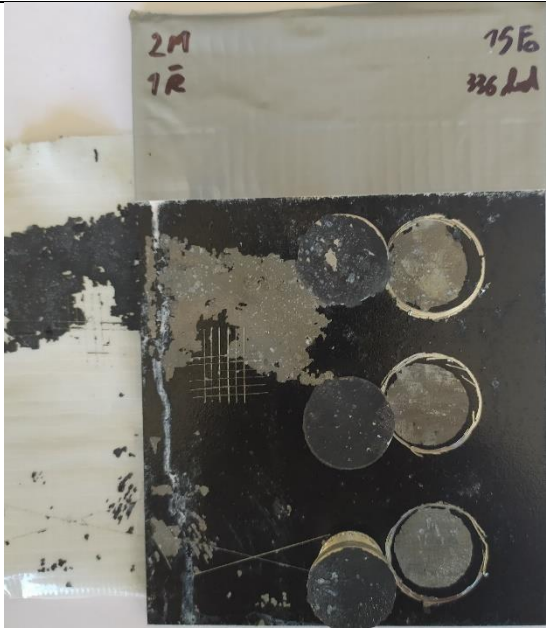

V grafu č. 22 jsou uvedeny průměrné hodnoty odtrhového napětí pro fosfátování a organosilany, které byly provedeny po 288 hodinách v korozní komoře. Z grafu je patrné, že vyšších hodnot odtrhového napětí dosáhly zkušební vzorky s fosfátováním, a to 1,53 MPa. Hodnota odtrhového napětí pro organosilany je 0,66 MPa.

Graf 22: Porovnání odtrhových napětí, korozní komora, 336 hodin



Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných zkušebních vzorků.

Tabulka 39: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 336 hodin

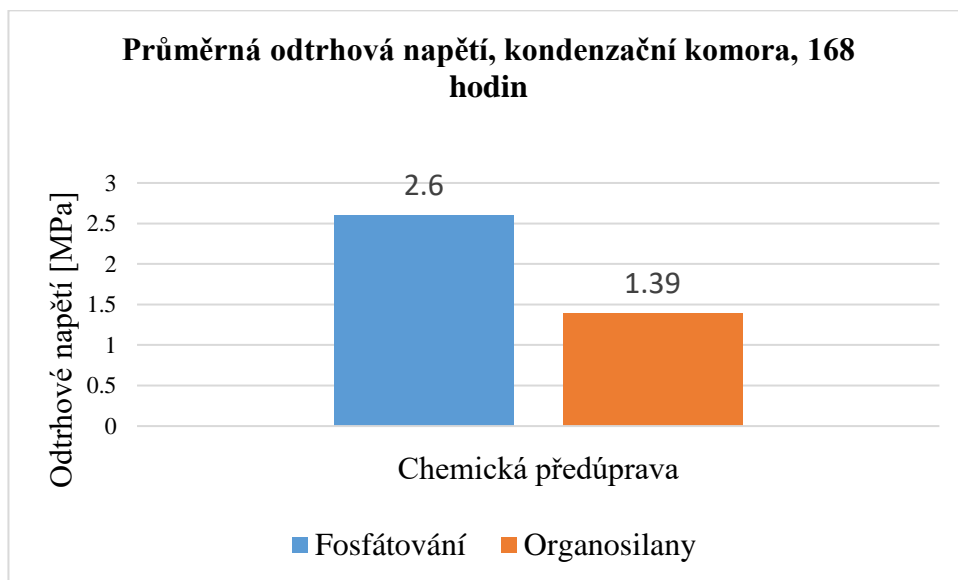
Korozní komora, 336 hodin							
							
Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	1,24	2	1	1	0,37	5	5
2	1,18			2	0,50		
3	1,47			3	0,86		

Tabulka 40: Průměrná odtrhová napětí, kondenzační komora, 168 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	2,6
Organosilany	1,39

V následujícím grafu č. 23 jsou uvedeny průměrné hodnoty odtrhových napětí pro zkušební vzorky s fosfátováním a organosilany, které byly v kondenzační komoře po dobu 168 hodin. Je patrné, že hodnoty jsou lepší než ze solné mlhy a i zde vyšly lépe vzorky s fosfátováním, kde byla naměřena hodnota 2,6 MPa, na druhou stranu u organosilanů 1,39 MPa.

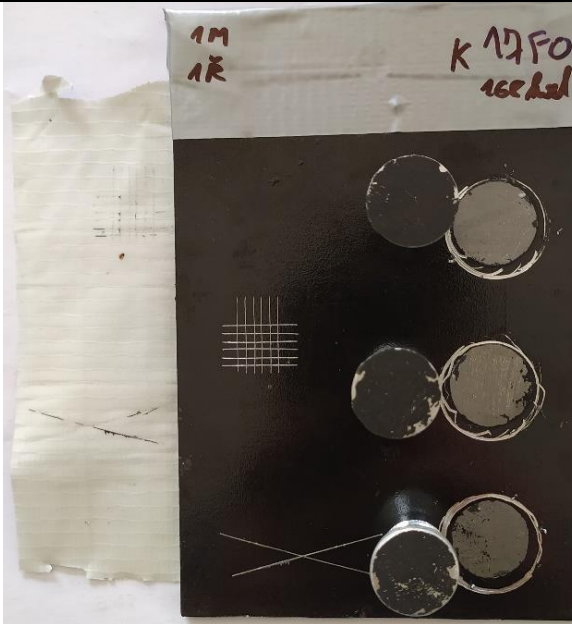

Graf 23: Porovnání odtrhových napětí, kondenzační komora, 168 hodin



Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných zkušebních vzorků.



Tabulka 41: Porovnání zkoušek přilnavosti - kondenzační komora, 168 hodin

Kondenzační komora, 168 hodin							
							
Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	2,50	1	1	1	1,44	5	4
2	2,27			2	1,73		
3	3,04			3	0,99		

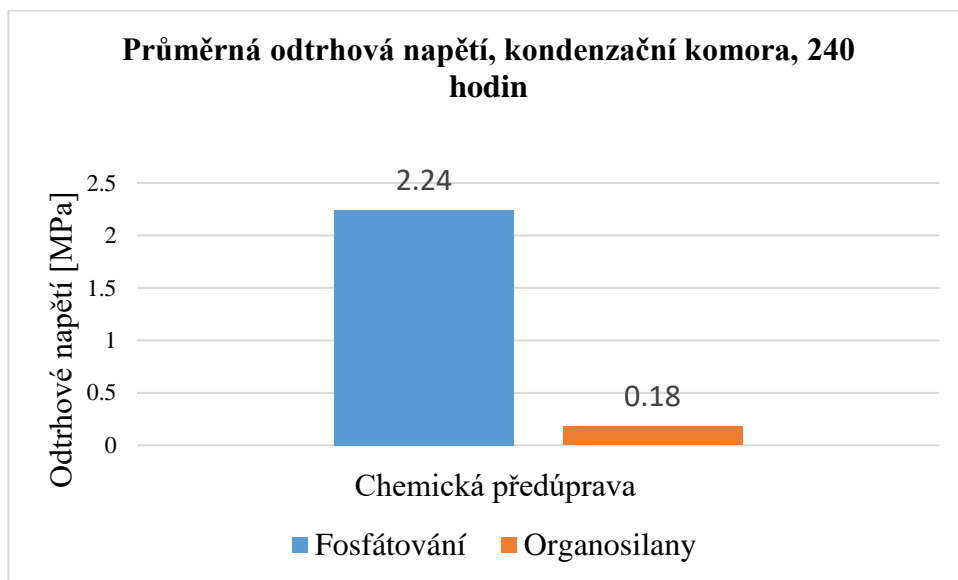
Tabulka 42: Průměrná odtrhová napětí, kondenzační komora, 240 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	2,24
Organosilany	0,18

V následujícím grafu č. 24 jsou uvedeny průměrné hodnoty odtrhových napětí pro zkušební vzorky s fosfátováním a organosilany, které byly v kondenzační komoře po dobu 240 hodin. Je viditelné, že zde vyšly lépe vzorky s fosfátováním, kde byla naměřena hodnota 2,24 MPa, oproti tomu organosilany jen 0,18 MPa.

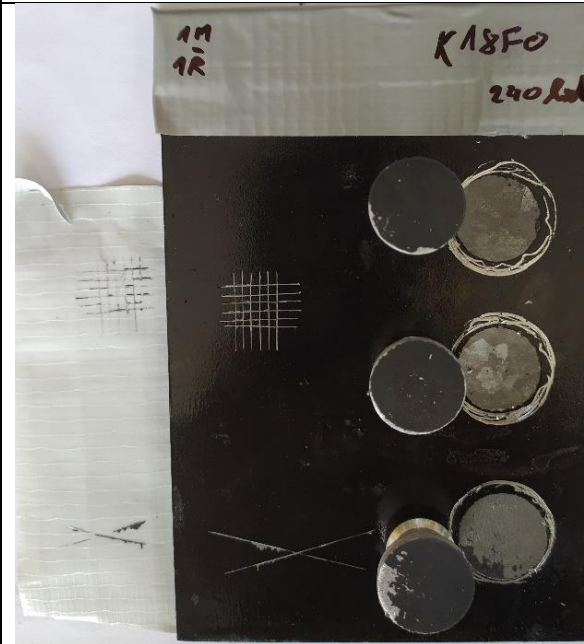



Graf 24: Porovnání odtrhových napětí, kondenzační komora, 240 hodin



Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných zkušebních vzorků.

Tabulka 43: Porovnání zkoušek přilnavosti - kondenzační komora, 240 hodin

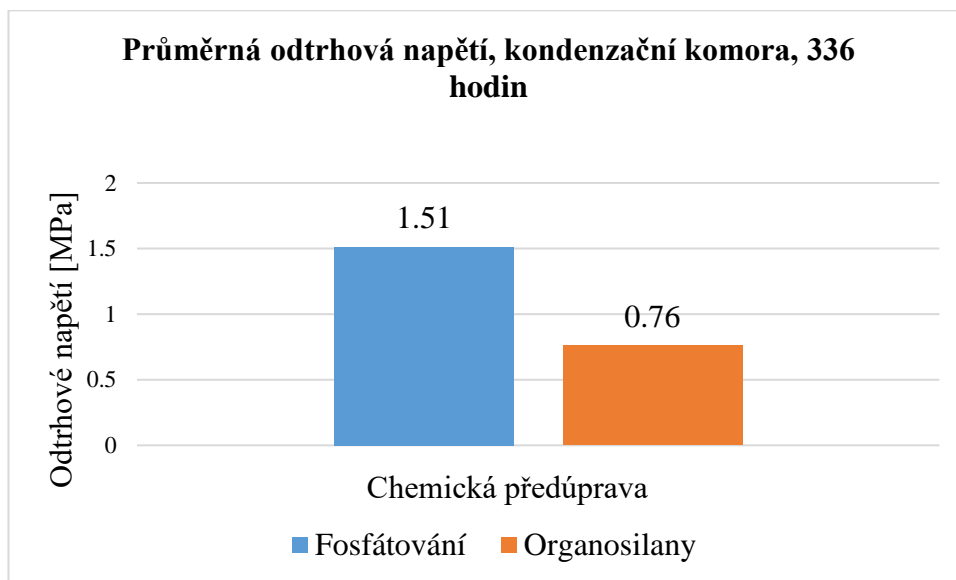
Kondenzační komora, 240 hodin							
							
Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	1,77	1	1	1	0,19	5	5
2	1,92			2	0,18		
3	3,02			3	0,16		

Tabulka 44: Průměrná odtrhová napětí, kondenzační komora, 336 hodin

Chemická předúprava	Průměrné odtrhové napětí [MPa]
Fosfátování	1,51
Organosilany	0,76



V grafu č. 25 jsou uvedeny průměrné hodnoty odtrhových napětí pro zkušební vzorky s fosfátováním a organosilany, které byly v kondenzační komoře po dobu 336 hodin. Je viditelné, že zde vyšly lépe vzorky s fosfátováním, kde byla naměřena hodnota 1,51 MPa, oproti tomu u organosilanů 0,76 MPa.

Graf 25: Porovnání odtrhových napětí, kondenzační komora, 336 hodin



Na následujících snímcích a tabulkách jsou porovnány odtrhová napětí, mřížková zkouška a křížový řez vybraných zkušebních vzorků.

Tabulka 45: Porovnání zkoušek přilnavosti - kondenzační komora, 336 hodin

Kondenzační komora, 336 hodin							
							
Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Mřížková zkouška	Křížový řez
1	1,80	1	2	1	0,80	5	4
2	1,40			2	0,78		
3	1,32			3	0,69		

### 6.8.1 Hodnocení degradace povlaku

Zkouška degradace povlaku proběhla dle normy ČSN EN ISO 4628 - 8. Stupeň delaminace  $d$  a stupeň koroze  $c$  se spočte dle těchto vzorců:

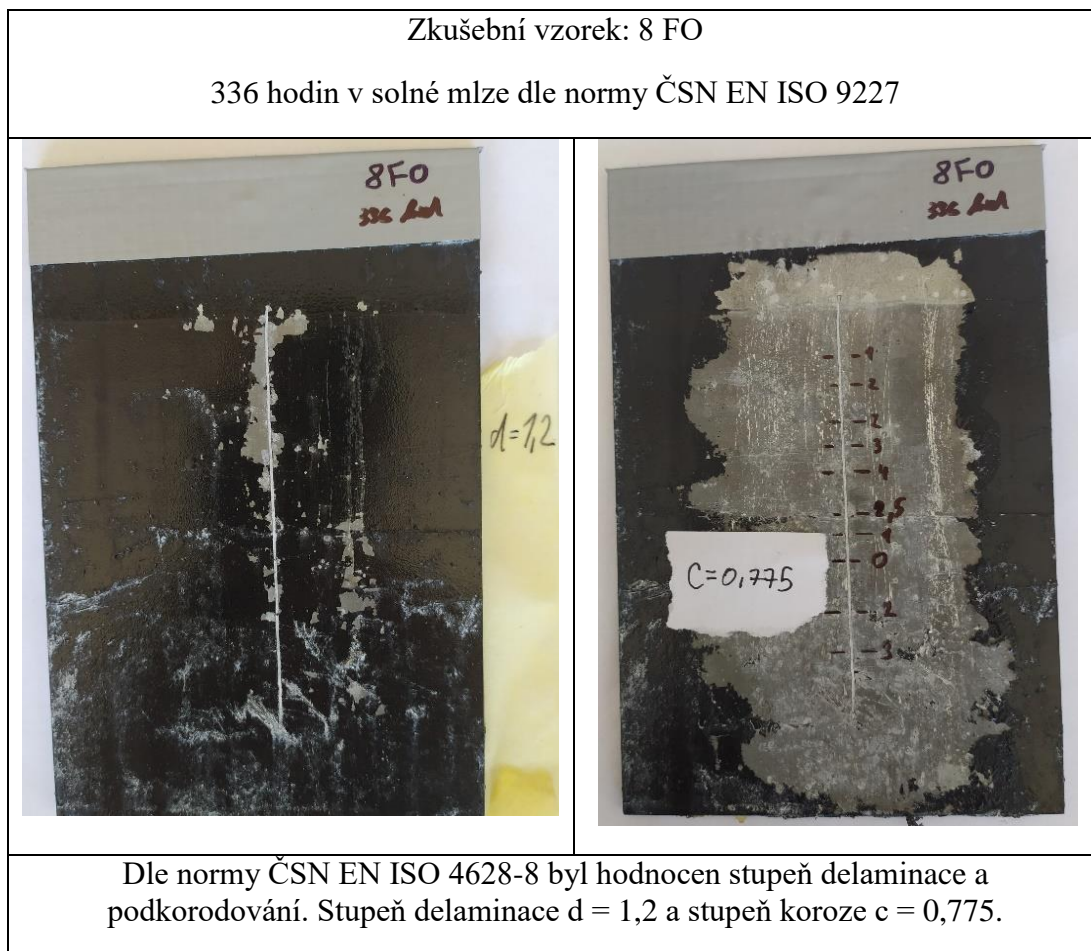
$$d = \frac{d_1 - w}{2} \quad (16)$$

Kde  $d_1$  je průměrná celková šířka ploch delaminace [mm] a  $w$  je šířka původního řezu [mm],  $w = 0,5$  mm.

$$c = \frac{w_c - w}{2} \quad (17)$$

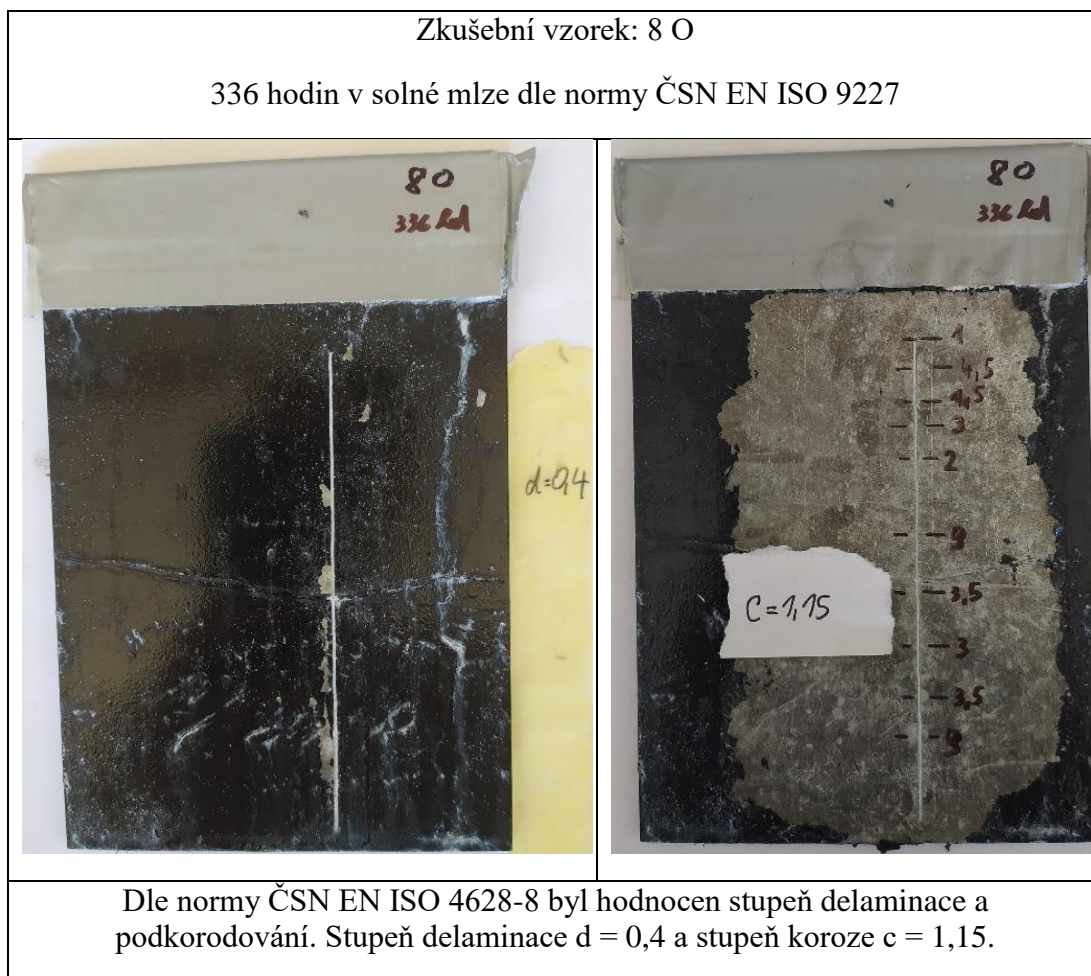
Kde  $w_c$  je průměrná celková šířka ploch koroze [mm] a  $w$  je šířka původního řezu [mm],  $w = 0,5$  mm.

Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu proběhlo na jednom zkušebním vzorku pro každou chemickou předúpravu. Tyto vzorky byly vyjmuty z korozní komory po 336 hodinách.



Z hlediska stupně delaminace se dle provedené zkoušky degradace povlaku dle normy ČSN EN ISO 4628 – 8 jeví lépe chemická předúprava pomocí organosilanů, kde byla stanovena hodnota  $d = 0,4$ . U fosfátování byla stanovena hodnota stupně delaminace  $d = 1,2$ . Na druhou stranu stupeň koroze se jeví lépe u fosfátování, kde byla hodnota  $c = 0,775$ , zatímco u organosilanů  $c = 1,15$ .





## 7 Technicko-ekonomické zhodnocení

V experimentální části byly zkušební vzorky pokoveny žárovým zinkem. Následně byly zhotoveny dvě chemické předúpravy (fosfátování, organosilany), na které bylo aplikováno kataforetické lakování. Tato kapitola se zaměřuje na technicko - ekonomické zhodnocení. Pořizovací náklady závisí na více faktorech, např. na technologickém postupu, který je u fosfátování složitější, na pracovním čase, na velikosti zakázky atd. V současnosti se firmy snaží tyto náklady co nejvíce zredukovat a snížit použitím moderních technologií (organosilany). Pracovní lázně pro aplikaci organosilanů se totiž vytvářejí při pokojové teplotě, to zjednoduší technologický postup, protože není nutnost ohřevu lázně, což je u fosfátování zapotřebí, a tím dojde i ke zkrácení času. Všechny tyto faktory snižují náklady. Díky průzkumu tuzemského trhu byly zpracovány následující tabulky, kde jsou nastíněny ceny jednotlivých technologií. Cena žárového zinkování se liší společnost od společnosti, záleží na velikosti zakázky, složitosti konstrukce (např. vrtat dodatečné otvory, jejichž provedení se připočte k celkové ceně).

Tabulka 46: Ceník žárového zinkování [72]

<b>Žárové zinkování</b>	<b>Cena s DPH za 1 kg [Kč]</b>
Do 10 kg	50
Od 10 kg do 50 kg	35
Od 50 kg do 100 kg	28
Od 100 kg do 300 kg	25
Od 300 kg do 600 kg	22

Tabulka 47: Ceny použitých chemických přípravků

<b>Technologie</b>	<b>Přípravek</b>	<b>Cena bez DPH za 1 l [Kč]</b>
Odmaštění	PRAGOLOD 57 N	110
Aktivace	HNO <sub>3</sub>	140
Fosfátování	PRAGOFOS	235
Organosilany	Pragokor Adhez	23
Oplach	Demi voda	13

Posledním krokem bylo aplikování kataforetického lakování, jehož cena se pohybuje kolem 120 Kč / m<sup>2</sup>. Po následném přepočítání na jeden zkušební vzorek byla stanovena hodnota 5,4 Kč / vzorek. V této části není uvažována spotřeba energií, které jsou potřeba především na ohřev pracovní lázně pro fosfátování a odmašťování a udržení se na těchto teplotách.

## 8 Závěr

V teoretické části diplomové práce byla rozebrána problematika týkající se předúprav povrchu, zaměřené především na ty chemické, kde byly podrobně popsány konverzní vrstvy. Dalším hlavním bodem této práce bylo popsání kataforetického lakování.

Cílem experimentální části bylo vytvořit a následně porovnat technologii fosfátování s nově se vyvíjející, ekologicky přívětivější a časově méně náročnější technologií organosilanů, a to z hlediska korozní odolnosti a přilnavosti povrchu. Bylo použito 40 zkušebních vzorků s žárovým zinkem z konstrukční oceli S235JR o rozměrech 150 x 100 x 3 mm. Všechny vzorky byly vystaveny odmašťovacímu procesu a následně bylo na 20 vzorků aplikována chemická předúprava pomocí fosfátování a na dalších 20 chemická předúprava pomocí organosilanů. Následně byly všechny vzorky kataforeticky lakovány. Poté byla u vzorku testována odolnost proti korozi a přilnavost jednotlivých technologií dle normy ČSN EN ISO 9227 pro solnou mlhu a dle normy ČSN EN ISO 6270-1 pro kondenzační komoru. Na závěr bylo provedeno ověření fyzikálně – mechanických vlastností.

Již po vytvoření chemické předúpravy pomocí organosilanů, nanesení KTL a před expozicí zkušebních vzorků v solné mlze a kondenzační komoře byl u některých vzorků viditelný povlak s puchýřky. Nejprve byly testovány referenční vzorky, kde byly obě chemické předúpravy z hlediska přilnavosti srovnatelné a dosahovaly téměř totožných hodnot odtrhových napětí, mřížkové zkoušky i křížového řezu. Následně byly provedeny korozní testy. Po 96 hodinové expozici v solné mlze bylo u fosfátování naměřeno odtrhové napětí 2,93 MPa, v případě organosilanů byly všechny panenky odtrhnuty ručně. Po 168 hodinové expozici v solné mlze dosahovaly naměřené hodnoty odtrhového napětí u technologie fosfátování 2,20 MPa, u chemické předúpravy pomocí organosilanů 0,70 MPa. Po 240 hodinové expozici v solné mlze dosahovaly hodnoty odtrhového napětí u fosfátování 2,56 MPa, pro organosilany bylo naměřeno 0,77 MPa. V solné mlze po 288 hodinové expozici bylo u fosfátování naměřeno odtrhové napětí 2,56 MPa, v případě použití organosilanů jako chemické předúpravy bylo naměřeno odtrhové napětí 0,68 MPa. Po konečné, 336 hodinové expozici bylo u chemické předúpravy pomocí fosfátování naměřeno odtrhové napětí 2,23 MPa a u organosilanů 1,20 MPa. Po 168 hodinové expozici v kondenzační komoře bylo naměřeno odtrhové napětí 3,04 MPa pro technologii fosfátování a 1,73 MPa pro organosilany. Po 240 hodinové expozici



v kondenzační komoře bylo dosaženo odtrhového napětí 3,02 MPa pro fosfátování a 0,19 MPa pro organosilany. Po konečné, 336 hodinové expozici v kondenzační komoře bylo u fosfátování naměřeno odtrhové napětí 1,80 MPa, v případě chemické předúpravy pomocí organosilanů 0,80 MPa. Na základě naměřených hodnot lze říci, že v případě použití chemické předúpravy pomocí fosfátování bylo dosaženo vyšších hodnot odtrhového napětí, nicméně korozní odolnost obou technologií byla srovnatelná.

Na závěr lze konstatovat, že v současné modifikaci chemického produktu jsou organosilany v porovnání s chemickou předúpravou pomocí fosfátování z hlediska přilnavosti méně vhodné pro použití v kombinaci s KTL. Jednalo se o zkoušku zcela nové technologie chemických předúprav pod kataforetické lakování. Podle jiných výzkumů jsou vhodné pro jiné, syntetické rozpouštědlové nátěrové hmoty, kde organosilany dosahovaly o poznání větších hodnot. Tato technologie je v neustálém vývoji a je potřeba ji stále modifikovat, dále testovat a ověřit jiné lázně kataforetických nátěrových hmot v kombinaci právě s organosilany.

## 9 Seznam použitých zdrojů

- [1] *PREDÚPRAVA POVRCHU* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/mater-vstrojar-vyrobe.pdf>
- [2] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. Praha: ČVUT, 1991
- [3] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [4] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. 1. Praha, ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01472-X.
- [5] ŠTURC, Josef. *Moření oceli*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985, 256 s.
- [6] *Příručka moření: Ošetřování povrchu nerezových ocelí* [online]. In: [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [http://www.bohler-uddeholm.cz/media/Prirucka\\_Avesta\\_moreni.pdf](http://www.bohler-uddeholm.cz/media/Prirucka_Avesta_moreni.pdf)
- [7] *MOBILNÍ JEDNOTKY PRO VOLNÉ TRYSKÁNÍ* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [https://www.spolmont.cz/mobilni-jednotky-pro-volne-tryskani?gclid=CjwKCAjwwYP2BRBGEiwAkoBpAhBxZhoyt9CEXF5dC-18HfuPioM8lQ0\\_SWUhHE1mX-u8vETY1lwy5RoCit8QAvD\\_BwE](https://www.spolmont.cz/mobilni-jednotky-pro-volne-tryskani?gclid=CjwKCAjwwYP2BRBGEiwAkoBpAhBxZhoyt9CEXF5dC-18HfuPioM8lQ0_SWUhHE1mX-u8vETY1lwy5RoCit8QAvD_BwE)
- [8] *Příručka moření* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/5761299-Prirucka-moreni-osetrovani-povrchu-nerezovych-oceli-voestalpine-bohler-welding-www-voestalpine-com-welding.html>
- [9] POKORNÝ, P. *Předpokládaná účinnost konverzních povlaků proti aktivaci zinkované oceli v modelových pórových roztocích betonu*. Koroze a ochrana materiálů. 2013.
- [10] *Eloxování* [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://www.bomex.cz/technologie/eloxovani>
- [11] *Umění v metru* [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <http://metroart.cz/A/NamestiMiru.html>
- [12] *The Process of Phosphating – Some FAQs* [online]. [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: <https://engmag.in/the-process-of-phosphating-some-faqs/>

- [13] *Phosphate Coating* [online]. [cit. 2020-03-05]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/phosphate-coating>
- [14] Kubíček, J., VUT Brno, „Konverzní povlaky,“ 2018. [Online]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_konverzni\\_povlaky\\_2018\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_konverzni_povlaky_2018_kubicek.pdf).
- [15] HRUBÝ, F. *Povrchová úprava: Pro III. ročník středních průmyslových škol hutnických*, Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1962. 96 s. ISBN 17-04-001.
- [16] POKORNÝ, P. *Klasifikace fosfátových povlaků*. Praha: VŠCHT.
- [17] POKORNÝ P. V. MEJTA a P. SZELAG. *Povrchová úprava: Příspěvek k teoretickým základům tvorby fosfátového povlaku* [online]. Hradec Králové: IMPEA, s. r. o., 2011, VII, [cit. 2020-03-06]. ISSN 1801-707X. Dostupné z: <http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2011-03.pdf>
- [18] DIN EN 12476. *Phosphatierüberzüge auf Metallen: Verfahren für die Festlegung von Anforderungen*. Brüssel: Europäisches Komitee für Normung, 2000.
- [19] SHREIR L. L., R.A. JARMAN a G.T. BURSTEIN. *Corrosion: Phosphate coatings* [online]. 3rd Edition: Elsevier, 1994, Volumes 1-2, [cit. 2020-03-06]. ISBN 978-0-0805-2351-4. Dostupné z: [http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?EXT\\_KNOVEL\\_DISPLAY\\_bookid=713&VerticalID=0](http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=713&VerticalID=0)
- [20] *Fosfátování* [online]. [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.galva.cz/fosfatovani/>
- [21] CHOCHOLOUŠEK, J. *Konverzní vrstvy – Pragochema Praha*
- [22] *Galvanické pokovení* [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html>
- [23] NOVÁK, P. *Koroze a ochrana materiálu*, Praha: Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha, 2005.
- [24] P. I. U. Santa Coloma, Y. Belaustegi, J. B. Jorcin, F. J. Cano a N. Lapeña, *Chromium-free conversion coatings based on inorganic salts (Zr/Ti/Mn/Mo) for aluminum alloys used in aircraft applications*, 2015

[25] W. J. v. Ooij, „Corrosion Protection Properties of Organofunctional Silanes,“ Department of Chemical and Materials Engineering, University of Cincinnati, Cincinnati, USA, 2005.

[26] *Zinkování* [online]. [cit. 2020-03-10]. Dostupné z:

<http://www.deltacol.cz/produkty/zinkovani>

[27] *Galvanické zinkování* [online]. [cit. 2020-03-10]. Dostupné z:

<https://rosma.cz/galvanovna/galvanicke-zinkovani>

[28] *Oxalátování a tažení trub z korozivzdorných ocelí* [online]. [cit. 2020-03-21].

Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42012/oxalatovani-a-tazeni-trub-z-korozivzdornych-oceli.html>

[29] MICHNA, Štefan, Ivan LUKÁČ, Vladivoj OČENÁŠEK, Rudolf KOŘENÝ, Jaromír DRÁPALA, Heinz SCHNEIDER a Andrea MIŠKUFOVÁ. Encyklopedie hliníku. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 700 s. ISBN 80-890-4188-4.

[30] YI, AiHua, WenFang LI, Jun DU a SongLin MU. Preparation and Properties of chromefree colored Ti/Zr based conversion coating on aluminium alloy. Applied Surface Science. 2012, č. 258, s. 5960-5964.

[31] ADHIKARI, Saikat, K. A. UNOCIC, Y. ZHAI, G. S. FRANKEL, John ZIMMERMAN a FRISTAD. Hexafluorozirconic acid based surface pretreatments: Characterization and performance assessment. Electrochimica Acta [online]. 2011, roč. 56, č. 4, [cit. 2020-04-15]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468610009692>

[32] VSCHT. Příprava a charakterizace titaničitanu barnatého sol-gel metodami. Laboratoř oboru chemie a technologie materiálů [online]. 2013 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ach/pub/FRVS-LO-CHTM-man.pdf>

[33] *ANALÝZA BEZCHROMOVÝCH PASIVAČNÍCH POVLAKŮ* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: [https://www.engineering.sk/clanky2/povrchove-upravy/3983-analyza-bezchromovych-pasivacnich-povlaku?fbclid=IwAR3XeTUuXftRgrZIPGn6y9pr1YhlstZQjaVSGuRqJf1OwCGGJftDuME\\_L\\_Q](https://www.engineering.sk/clanky2/povrchove-upravy/3983-analyza-bezchromovych-pasivacnich-povlaku?fbclid=IwAR3XeTUuXftRgrZIPGn6y9pr1YhlstZQjaVSGuRqJf1OwCGGJftDuME_L_Q)

[34] ZHU, Wen, Li WENFANG, Mu SONGLIN, Fu NIANQING a Liao ZHONGMIAO. Comparative study on Ti/Zr/V and chromate conversion treated aluminum alloys: Anti-

corrosion performance and epoxy coating adhesion properties. Applied Surface Science. Elsevier, 2017.

[35] LUNDER, O., C. SIMENSEN, Y. YU a K. NISANCIOGLU. Formation and characterisation of Ti–Zr based conversion layers on AA6060 aluminium. Surface and Coatings Technology. Elsevier, 2004.

[36] Saikat Adhikari, K.A. Unocic, Y. Zhai, G.S. Frankel, John Zimmerman, W. Fristad, Hexafluorozirconic acid based surface pretreatments: Characterization and performance assessment, Electrochimica Acta, Volume 56, Issue 4, 15 January 2011, Pages 1912-1924, ISSN 0013-4686, <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.07.037>

[37] *Klasifikace fosfátových povlaků* [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/klasifikace-fosfatovych-povlaku.html>

[38] LORENC, David. *Vliv technologií zinkování na vlastnosti organických povlaků* [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/80431/F2-BP-2018-Lorenc-David-Bakalarska%20prace%20David%20Lorenc.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

[39] KREIBICH, V.; ČSPÚ. Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav – 6. Mezinárodní odborný seminář. Lysá nad Labem: TISKÁRNA Lysá n. L., 2009.

[40] ZBOŘIL, Petr. *Technologie hromadného kataforetického lakování* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/80845/F2-BP-2018-Zboril-Petr-BP-hromadny%20způsob%20KTL.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

[41] Kataforetické lakování [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.alkeelektromobily.cz/kataforeticke-lakovani>

[42] Povrchové úpravy [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupný z WWW: [www.povrchoveupravy.cz/2005-04-clanek01.html](http://www.povrchoveupravy.cz/2005-04-clanek01.html).

[43] Ekol.cz [online]. 2009 [cit. 2020-04-25]. Ekol. zařízení pro přípravu povrchu. Dostupné z: <https://www.ekol.cz/povrchove-upravy/projekty/kataforeticka-lakovna-pro-giad-sudan>

[44] MARUŠIČ, Lukáš. *ZAŘÍZENÍ PRO HROMADNÝ ZPŮSOB KATAFORETICKÉHO LAKOVÁNÍ* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/73017>

- [45] Lakum KTL[online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z:  
<http://lakum.cz/cz/sluzby/humpolec/kataforeza-ktl-cyklicka/>
- [46] Lakum KTL[online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z:  
<http://lakum.cz/cz/sluzby/frydlant-nad-ostravici/kataforeza>
- [47] DROBILÍK, Michal. *Organosilany a jejich aplikační možnosti* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/d540/591924e075e8662ffa479309186be5e4050a.pdf>
- [48] MEALEY, K. a Bryan THOMAS. *Past, present and future of organosilane treatments for fillers* [online]. [cit. 2020-05-05].
- [49] MENON, Karan. *CHARACTERISTICS OF SILANE BONDING TO STAINLESS STEEL* [online]. [cit. 2020-05-05].
- [50] ROTHON, Roger N. *Particulate-Filled Polymer Composites* [online]. Smithers Rapra Technology, 2003 [cit. 2020-05-05]. ISBN 978-1-60119-663-7. Dostupné z:  
[https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpPPFCE001/viewerType:toc/root\\_slug:particulate-filled-polymer-composites-2nd-edition](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpPPFCE001/viewerType:toc/root_slug:particulate-filled-polymer-composites-2nd-edition)
- [51] KNOB, Antonín. *POVRCHOVÉ ÚPRAVY SKLENĚNÝCH VLÁKEN PRO POLYMERNÍ KOMPOZITY* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=136327](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=136327)
- [52] SVOBODA, J. *Návrh způsobu chemické předúpravy povrchu povlaku žárového zinku pro přilnavost organického povlaku*, diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, 2016.
- [53] SZELAG, PETR. *VYUŽITÍ ORGANOSILIKÁTŮ V POVRCHOVÝCH ÚPRAVÁCH*. PRAGOCHEMA SPOL, S.R.O (VŠB JIHLAVA), 2013.
- [54] *Lakování* [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z:  
<https://www.vybersito.cz/rs/lakovani/>
- [55] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot I: pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-576-5.
- [56] [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/kompresory/lux-lakovaci-pistole/p/5418546>

[57] KOŠŤÁL, Miloslav a František SPURNÝ. Autolakýrník: úvod do studia nátěrových hmot a technologie povrchových úprav karosérií a částí vozidel: učebnice pro autoopravárenství. 1. vyd. Plzeň: F.S. Publishing, 2004, 224 s., ISBN 80-903-0386-2.

[58] *Mokrě lakování* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z:

<https://www.turlak.cz/cs/povrchove-zpracovani/mokre-lakovani/>

[59] Firma PRESS AGENCY [online]. 2007 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z:

<http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovnakomaxitovani-komaxit-5>

[60] *Nanášečky laku navalováním BÜRKLE SLC 1300* [online]. [cit. 2020-05-17].

Dostupné z: [https://www.hoechsmann.com/article/77129/burkle\\_slc\\_1300.html](https://www.hoechsmann.com/article/77129/burkle_slc_1300.html)

[61] VOLF, Marek. *ZABEZPEČENÍ DVEŘÍ KAROSÉRIÍ PŘI LAKOVÁNÍ* [online]. [cit.

2020-06-19]. Dostupné z:

[http://www.ustavkonstruovani.cz/FileDownload/getFile/137/Bakalarska\\_prace\\_Volf\\_Marek.pdf/](http://www.ustavkonstruovani.cz/FileDownload/getFile/137/Bakalarska_prace_Volf_Marek.pdf/)

[62] MILOŠEV, I. a G. S. FRANKEL. *Review—Conversion Coatings Based on Zirconium and/or Titanium* [online]. 17. 2. 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0371803jes/meta>

[63] FEDEL, M. *Compatibility between cathodic electro-coating and silane surface layer for the corrosion protection of galvanized steel* [online]. [cit. 2020-07-07].

Dostupné z:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944010000962?fbclid=IwAR2svKn3rcsZVh3I6JM\\_1Q6LyPeg4vsHwhFfLsbbe4L2oDAsRGFfKGDvQY](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944010000962?fbclid=IwAR2svKn3rcsZVh3I6JM_1Q6LyPeg4vsHwhFfLsbbe4L2oDAsRGFfKGDvQY)

[64] YU SU, Hsiang. *Sol-gel coatings doped with organosilane and cerium to improve the properties of hot-dip galvanized steel* [online]. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X15300937?fbclid=IwAR1yuz0Ds47px81Tx53od88rqDS3Xp1yMTRSkLflqV-BwqQFfnIaFhFVrEQ>

[65] HENCH, Larry L. a Jon K. WEST, 1990. The sol-gel process. Chemical Reviews [online]. 90(1), ISSN 0009-2665, 1520-6890. Dostupné z: [doi:10.1021/cr00099a003](https://doi.org/10.1021/cr00099a003)

[66] Pragochema spol. s.r.o., „Fosfatizační proces - úprava povrchu oceli pod nátěry“, Pragochema spol. s.r.o., 2014.

[67] Pragochema spol. s.r.o. *PRAGOKOR Adhez: Katalogový list*

[68] *SPECIFIKACE NEREZOVÝCH MATERIÁLŮ* [online]. [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://armat.cz/pdf/specifikace-nerozovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>

[69] Oceanscan [online]. [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: [http://www.oceanscan.net/pELCOMETER\\_456\\_COATING\\_THICKNESS\\_METER](http://www.oceanscan.net/pELCOMETER_456_COATING_THICKNESS_METER)

[70] *Hodnocení přilnavosti nátěru* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://atryx.cz/prakticka-prirucka/16-hodnoceni-prilnavosti?fbclid=IwAR027lCtrKObupvXJLgaTtxN7VSwW4d6n-3KScjXJG6wbzHD3miVIWnsGzc>

[71] *Elcometer free shipping* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://testcoatings.ca/product/adhesion-tester/>

[72] *Žárové zinkování* [online]. [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: [https://www.kondor.cz/zarove-zinkovani/t-159/#anchor\\_zinkovani\\_cenik](https://www.kondor.cz/zarove-zinkovani/t-159/#anchor_zinkovani_cenik)



## 10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma tryskání včetně obsluhy [7].....	11
Obrázek 2: Ukázka moření [8].....	12
Obrázek 3: SEM snímek manganatého fosfátování [18] .....	15
Obrázek 4: SEM snímek železnatého fosfátování [18].....	16
Obrázek 5: SEM snímky zinečnatého fosfátování (vlevo majoritní podíl fosfofylitu, vpravo majoritní podíl hopeitu [18] .....	16
Obrázek 6: SEM snímek zinečnato-vápenatého fosfátování [18].....	17
Obrázek 7: Příklady fosfátování [20].....	18
Obrázek 8: Lesklý až namodralý chromát [26].....	20
Obrázek 9: Žlutý chromát [27].....	20
Obrázek 10: Příklad oxalátování tažených trubek [28].....	21
Obrázek 11: Příklad vrstvy konverzního povlaku na bázi Zr na hliníkové slitině [33] ..	24
Obrázek 12: SEM povrchu a příčného řezu vrstvy povlaku Ti-Zr [33].....	24
Obrázek 13: Příklad anodické oxidace v pražském metru [11] .....	25
Obrázek 14: Schéma vazebných možností organosilanů [9] .....	27
Obrázek 15: Schéma silanolové vazby [9].....	29
Obrázek 16: Schéma siloxanové vazby [9].....	30
Obrázek 17: Zinkosilikátová nátěrová hmota [53].....	31
Obrázek 18: Příklad stříkáčské pistole [56] .....	33
Obrázek 19: Navalovací stroj [60] .....	34
Obrázek 20: Schéma kataforetického lakování [40] .....	36
Obrázek 21: Zkušební vzorek s žárovým zinkem .....	42
Obrázek 22: Pracovní lázeň pro nanesení organosilanů .....	45
Obrázek 23: Zkušební vzorky, vpravo fosfátování, vlevo organosilany .....	46
Obrázek 24: Pracovní lázeň pro kataforetické lakování .....	47
Obrázek 25: Vpravo: Zkušební vzorek s organosilany po aplikaci KTL, Vlevo: Detail puchýřkování.....	47
Obrázek 26: Příklad označení zkušebních vzorků .....	48
Obrázek 27: Zkušební vzorky v korozní komoře.....	49
Obrázek 28: Zkušební vzorky v kondenzační komoře.....	49
Obrázek 29: Elcometer 456 [69].....	50
Obrázek 30: Nástroje pro mřížovou zkoušku a křížový řez.....	52
Obrázek 31: Posouzení výsledků mřížkové zkoušky.....	53
Obrázek 32: Zkušební tělíčko (panenka) pro odtrhovou zkoušku [71].....	55
Obrázek 33: Odtrhový přístroj Elcometer 510 [71] .....	55

## 11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Technologický postup chromátování hliníku [21].....	19
Tabulka 2: Příklad technologického postupu KTL [41] .....	37
Tabulka 3: Technologický postup fosfátování.....	44
Tabulka 4: Technologický postup nanesení organosilanů .....	45
Tabulka 5: Chemické složení korozivzdorné oceli AISI 304 [68].....	46
Tabulka 6: Naměřené tloušťky zkušebních vzorků s fosfátováním.....	50
Tabulka 7: Naměřené tloušťky zkušebních vzorků s organosilany .....	51
Tabulka 8: Klasifikace zkoušky přilnavosti křížovým řezem.....	54
Tabulka 9: Klasifikace odtrhové zkoušky.....	55
Tabulka 10: Výsledky zkoušky přilnavosti - fosfátování, referenční vzorky .....	56
Tabulka 11: Výsledky zkoušky přilnavosti - organosilany referenční vzorky .....	57
Tabulka 12: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 96 hodin .....	59
Tabulka 13: Výsledky zkoušek přilnavosti – organosilany, solná mlha, 96 hodin.....	60
Tabulka 14: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 168 hodin .....	60
Tabulka 15: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, solná mlha, 168 hodin .....	61
Tabulka 16: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 240 hodin .....	62
Tabulka 17: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, solná mlha, 240 hodin .....	63
Tabulka 18: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 288 hodin .....	64
Tabulka 19: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, solná mlha, 288 hodin .....	65
Tabulka 20: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, solná mlha, 336 hodin .....	66
Tabulka 21: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, solná mlha, 336 hodin .....	67
Tabulka 22: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, kondenzace, 168 hodin.....	68
Tabulka 23: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, kondenzace, 168 hodin .....	69
Tabulka 24: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, kondenzace, 240 hodin.....	70
Tabulka 25: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, kondenzace, 240 hodin .....	71
Tabulka 26: Výsledky zkoušek přilnavosti - fosfátování, kondenzace, 336 hodin.....	72
Tabulka 27: Výsledky zkoušek přilnavosti - organosilany, kondenzace, 336 hodin .....	73
Tabulka 28: Průměrná odtrhová napětí, referenční vzorky, 0 hodin.....	74
Tabulka 29: Porovnání zkoušek přilnavosti - referenční vzorky .....	76
Tabulka 30: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 96 hodin .....	76
Tabulka 31: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 96 hodin .....	77
Tabulka 32: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 168 hodin .....	77
Tabulka 33: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 168 hodin .....	79
Tabulka 34: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 240 hodin .....	79
Tabulka 35: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 240 hodin .....	81
Tabulka 36: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 288 hodin .....	81
Tabulka 37: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 288 hodin .....	83
Tabulka 38: Průměrná odtrhová napětí, korozní komora, 336 hodin .....	83
Tabulka 39: Porovnání zkoušek přilnavosti - korozní komora, 336 hodin .....	85

Tabulka 40: Průměrná odtrhová napětí, kondenzační komora, 168 hodin .....	85
Tabulka 41: Porovnání zkoušek přilnavosti - kondenzační komora, 168 hodin .....	87
Tabulka 42: Průměrná odtrhová napětí, kondenzační komora, 240 hodin .....	87
Tabulka 43: Porovnání zkoušek přilnavosti - kondenzační komora, 240 hodin .....	89
Tabulka 44: Průměrná odtrhová napětí, kondenzační komora, 336 hodin .....	89
Tabulka 45: Porovnání zkoušek přilnavosti - kondenzační komora, 336 hodin .....	91
Tabulka 46: Ceník žárového zinkování [72] .....	94
Tabulka 47: Ceny použitých chemických přípravků .....	94

## 12 Seznam grafů

Graf 1: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, referenční vzorky, 0 hodin.....	57
Graf 2: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, referenční vzorky, 0 hodin .....	58
Graf 3: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 96 hodin.....	59
Graf 4: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 168 hodin.....	61
Graf 5: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, korozní komora, 168 hodin .....	62
Graf 6: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 240 hodin.....	63
Graf 7: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, korozní komora, 240 hodin .....	64
Graf 8: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 288 hodin.....	65
Graf 9: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, korozní komora, 288 hodin .....	66
Graf 10: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, korozní komora, 336 hodin.....	67
Graf 11: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, korozní komora, 336 hodin....	68
Graf 12: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, kondenzační komora, 168 hodin .....	69
Graf 13: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, kondenzační komora, 168 hodin .....	70
Graf 14: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, kondenzační komora, 240 hodin .....	71
Graf 15: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, kondenzační komora, 240 hodin .....	72
Graf 16: Výsledky odtrhové zkoušky pro fosfátování, kondenzační komora, 336 hodin .....	73
Graf 17: Výsledky odtrhové zkoušky pro organosilany, kondenzační komora, 336 hodin .....	74
Graf 18: Porovnání odtrhových napětí referenčních vzorků, 0 hodin.....	75
Graf 19: Porovnání odtrhových napětí, korozní komora, 168 hodin .....	78
Graf 20: Porovnání odtrhových napětí, korozní komora, 240 hodin .....	80
Graf 21: Porovnání odtrhových napětí, korozní komora, 288 hodin .....	82
Graf 22: Porovnání odtrhových napětí, korozní komora, 336 hodin .....	84
Graf 23: Porovnání odtrhových napětí, kondenzační komora, 168 hodin .....	86
Graf 24: Porovnání odtrhových napětí, kondenzační komora, 240 hodin .....	88
Graf 25: Porovnání odtrhových napětí, kondenzační komora, 336 hodin .....	90

### 13 Seznam použitých zkratek a jednotek

SEM	[-]	Rastrovací elektronový mikroskop
min	[-]	minuta
pH	[-]	vodíkový exponent
$e^-$	[-]	elektron
Fe	[-]	železo
Zn	[-]	zinek
$Cr^{6+}$	[-]	šestimocný iont chromu
$Cr^{3+}$	[-]	trojmocný iont chromu
H	[-]	vodík
OH	[-]	hydroxid
$^{\circ}C$	[-]	Celsiův stupeň
$CeO_2$	[ ]	oxid ceričitý
$CeCl_3$	[-]	chlorid ceritý
g	[-]	gram
l	[-]	litr
$H_2PO_4$	[-]	hydrogenfosforečnan
$H_2O$	[-]	voda
$H_3O^+$	[-]	hydronium
$H_2SO_4$	[-]	kyselina sírová
$HNO_3$	[-]	kyselina dusičná
$H_3PO_4$	[-]	kyselina fosforečná
HCl	[-]	kyselina chlorovodíková
HF	[-]	kyselina fluorovodíková
Al	[-]	hliník

Zr	[cm <sup>3</sup> ]	zirkonium
nm	[-]	nanometr
s	[-]	sekunda
Si	[-]	křemík
C	[-]	uhlík
O	[-]	kyslík
Cr	[-]	chrom
A	[-]	ampér
m <sup>2</sup>	[-]	metr čtvereční
μm	[-]	mikrometr
KTL	[-]	kataforetické lakování
V	[-]	volt
mm	[-]	milimetr
%	[-]	procenta
MPa	[-]	megapascal
$\bar{x}$	[μm]	průměrná hodnota
Ni	[-]	nikl
ATL	[-]	anaforetické lakování
σ	[μm]	směrodatná odchylka
n	[-]	počet měření
ml	[-]	mililitr
CH <sub>2</sub>	[-]	methylen
SiH <sub>4</sub>	[-]	silan
Mn	[-]	mangan
TEOS	[-]	tetraethoxysilan

MTES	[-]	methyltriethoxysilan
GPS	[-]	glycidoxypropyltrimethoxysilan
MgCl <sub>2</sub>	[-]	chlorid hořečnatý
Si(OR) <sub>n</sub>	[-]	alkoxysilanová skupina
d	[mm]	stupeň delaminace
c	[mm]	stupeň koroze
w	[mm]	šířka původního řezu
w <sub>c</sub>	[mm]	průměrná celková šířka plochy koroze

## 14 Přílohy

Veškeré přílohy jsou obsahem přiloženého CD, kde jsou dostupné všechny obrázky z průběhu experimentu v plné kvalitě.