

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv technologií zinkování na vlastnosti organických povlaků
Effect of zinc technologies on the properties of organic coatings

AUTOR: David Lorenc

STUDIJNÍ PROGRAM: Výroba a ekonomika ve strojírenství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

PRAHA 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ 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: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv technologií zinkování na vlastnosti organických povlaků

Název bakalářské práce anglicky:

Effect of zinc technologies on the properties of organic coatings

Pokyny pro vypracování:

1. Technologie zinkování
2. Nátěrové hmoty
3. Vliv zinkování na vlastnosti nátěrových hmot
4. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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


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

Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2018**

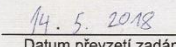

Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

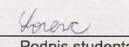

doc. Ing. Ladislav Kolářik, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


14. 5. 2018
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 bakalářské práce se pojednává o technologiích galvanického a žárového zinkování. Dále je popsán vliv vodíku v povrchových úpravách, nátěrové hmoty, kataforeza a práškové plasty. V experimentální části se hodnotí vzorky galvanicky a žárově zinkované při různých změnách technologického postupu, na které je nanášena kataforetická barva.

Název práce: Vliv technologií zinkování na vlastnosti organických povlaků

Autor práce: David Lorenc

Vedoucí práce: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Ústav: 12133 – Ústav strojírenské technologie

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

Univerzita: České vysoké učení technické v Praze – Fakulta strojní

Klíčová slova: Galvanické zinkování, žárové zinkování, nátěrová hmota, vodík, technologie

Annotation

Abstract: Theoretical part of this bachelor thesis deals with galvanic and hot-dip galvanization technologies. In addition the influence of hydrogen usage on surface layer treatment coating materials, cataphoresis and powder plastics is described. Experimental part includes evaluation of galvanized and hot-dip galvanized samples which were painted with cataphoretic color. These samples were evaluated with various changes in technological procedure.

Title: Effect of zinc technologies on the properties of organic coatings

Author: David Lorenc

Supervisor: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Department: 12133 – Department of Manufacturing Technology

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

University: Czech Technical University in Prague

Keywords: Galvanic zinc coating, hot-dip galvanizing, coating, hydrogen, technology

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za vedení, cenné rady a připomínky při vypracování této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Jakubovi Svobodovi a Ing. Michalovi Zoubkovi za pomoc při experimentální části.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Technologie galvanického pokovení.....	10
2.1.1	Historie a vývoj metody	10
2.1.2	Princip metody	11
2.1.3	Faradayovy zákony	12
2.1.4	Technologický postup galvanického pokovení.....	13
3	Žárové zinkování.....	17
3.1	Suchý proces.....	17
3.2	Mokrý proces.....	18
3.3	Nízkoteplotní zinkování	19
3.4	Vysokoteplotní zinkování.....	19
3.5	Výhody a nevýhody.....	20
3.6	Porovnání zinku, žárového zinkování	21
4	Vliv vodíku na povrchové úpravy.....	22
4.1	Vznik vodíku	22
4.2	Vodík v oceli	22
4.3	Vodíková křehkost	23
4.4	Vliv na nátěrové hmoty	24
4.5	Způsoby odstranění vodíku	24
4.5.1	Jednostupňová metoda odstranění vodíku	25
4.5.2	Dvoustupňová metoda odstranění vodíku.....	25
5	Nátěrové hmoty.....	26
5.1	Složky nátěrových hmot.....	26
5.2	Značení nátěrových hmot	28
5.3	Dělení nátěrových hmot	30
5.4	Způsoby nanášení nátěrových hmot	32
5.4.1	Ruční nanášení	32
5.4.2	Pneumatické stříkání	32
5.4.3	Vysokotlaké stříkání.....	33
5.4.4	Elektrostatické stříkání.....	34
5.4.5	Máčení.....	34

5.4.6	Elektrochemické nanášení.....	34
5.5	Kataforetické lakování.....	34
5.5.1	Výhody a nevýhody KTL.....	35
5.6	Práškové plasty.....	36
6	Experimentální část.....	38
6.1	Zkušební vzorky s galvanickým zinkem.....	38
6.2	Označení zkušebních vzorků s galvanickým zinkem.....	38
6.3	Zkušební vzorky s žárovým zinkem.....	42
6.4	Postup pro vyhodnocení vad povlaků zkušebních vzorků	44
6.5	Vyhodnocení zkušebních vzorků	47
6.5.1	Zkušební vzorky s galvanickým zinkem.....	48
6.5.2	Zkušební vzorky s žárovým zinkem	70
7	Technicko-ekonomické zhodnocení	76
8	Závěr	77
9	Seznam použitých zdrojů	78
10	Seznam obrázků	81
11	Seznam tabulek	83
12	Seznam grafů.....	84
13	Seznam použitých zkratk a jednotek	85
14	Přílohy.....	87

1 Úvod

Každá součást prochází povrchovou úpravou. Galvanické a žárové pokovení patří k běžným technologiím povrchových úprav. Mezi nejčastěji vylučovaný kov je řazen zinek, který chrání materiál především proti korozi. Žárové zinkování je vysoce účinné a životnost takto vytvořeného povlaku dosahuje až desítek let. Kataforetické lakování je ekologická a hospodárná metoda a řadí se k nejmodernějším technologiím v povrchových úpravách. Při aplikaci kataforezy však vzniká vodík, který je v kovech nežádoucí a může materiál degradovat.

Teoretická část této bakalářské práce obsahuje problematiku galvanického a žárového pokovení. Je nastíněna historie, princip, technologický postup a další poznatky spojené s těmito technologiemi. Pozornost je věnována také vodíku a jeho vlivu na povrchové úpravy. Poslední kapitola teoretické části je zaměřená na nátěrové hmoty.

Náplní experimentální části bylo vytvořit zkušební vzorky s galvanickým a žárovým zinkem. Vzorky byly vytvořeny při různých změnách technologického postupu, jakými byly změna doby moření, změna proudové hustoty či změna koncentrace a obsah kyseliny chlorovodíkové. Následně byla na vzorky nanесena kataforetická barva, kdy došlo k uvolnění vodíku a k tvorbě vad. Cílem této práce bylo zkušební vzorky opticky vyhodnotit a porovnat na základě změn technologického postupu.

2 Technologie galvanického pokovení

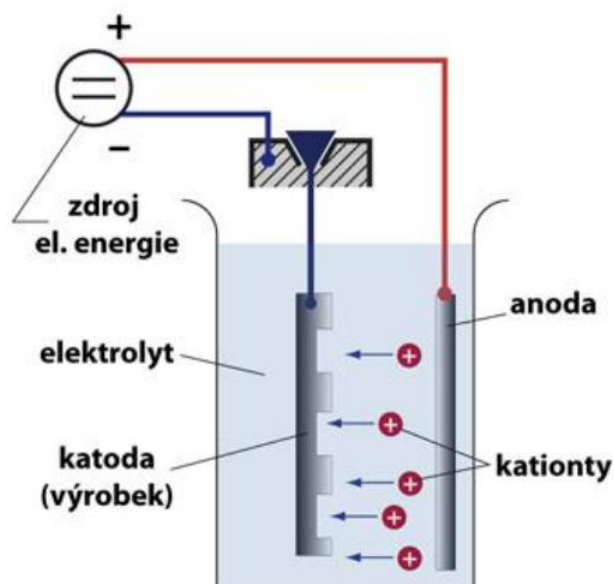
2.1.1 Historie a vývoj metody

První písemná zmínka o procesu vylučování kovů z roztoků je připisována Zosimovi a datuje se do pátého století. Zjistil, že lze pomědit železo vložené do roztoku, který obsahuje měď. V šestnáctém století dochází k popisu postupů při pomědění železa a stříbření mědi, o což se zasloužil Paracelsus. Prvním skutečným průkopníkem a výraznou osobností v galvanizaci je Luigi Galvani, italský lékař a fyzik. V průběhu experimentování, kdy preparoval žábu, došlo v jeho blízkosti ke studentským pokusům na přístroji generujícím elektrické výboje, během nichž docházelo k trhavým pohybům stehenního svalu žáby. Dále pak tento jev zkoumal paralelně s fyzikem Voltou. Roku 1833 ještě významnější osobnost v této oblasti, Michael Faraday, formuloval zákon o elektrochemickém ekvivalentu, který je spíše znám jako první Faradayův zákon. [1]

V 30. letech 18. století již byly z hlediska své odolnosti proti korozi testovány galvanicky vyloučené zinkové povlaky. Nicméně první patenty, které byly teoreticky využitelné pro průmyslové použití, se zaznamenaly v Anglii a Americe až v 50., popřípadě 60. letech 18. století. Zavádění těchto postupů dosáhlo úspěchu až koncem století, kdy se zásluhou výzkumu různorodých přísad pro lepší jakost zinkových vrstev stala tato metoda variantou pro již nastolené žárové technologie. K dalšímu rozvoji v oblasti galvanických zinkových povlaků dochází po první světové válce, ve 30. letech se pak objevují lesklé zinkové vrstvy. Tyto vrstvy představují další rozšíření jejich využití. Začátkem 50. let následuje další významný krok, kdy se zavádí chromátování, které v dnešní době téměř pokaždé následuje po galvanickém vyloučení zinkové vrstvy. [1]

2.1.2 Princip metody

Princip galvanického pokovení je založen na elektrolýze vodných roztoků kovových solí. Je zapotřebí působení stejnosměrného elektrického napětí na roztoky pomocí dvou elektrod. Zápornou elektrodou je katoda. V praxi ji tvoří pokovované zboží a dochází zde k redukci kationtů. Opačně nabitá, tedy kladná elektroda, je anoda. Ta se v průběhu procesu rozpouští a dochází na ní k oxidaci atomů na kationty. Anoda je většinou ze stejného kovu, který má být nanesen na pokovenou součást. Pro galvanické pokovení platí Faradayovy zákony. [2] [3]



Obrázek 1: Schéma principu galvanického pokovení [7]

2.1.3 Faradayovy zákony

Faradayovými zákony vyjadřujeme poměr mezi množstvím vyloučeného a rozpuštěného kovu při průchodu elektrického proudu lázní. [4]

První zákon pojednává o tom, že množství vyloučené látky účinkem elektrického proudu je přímo úměrné velikosti elektrického náboje prošlého elektrolytem. [4]

$$m = A_e \cdot I \cdot \tau \quad (1)$$

m – množství látek vyloučených účinkem elektrického proudu [g]

A_e – konstanta úměrnosti (tzv. elektrochemický ekvivalent, tj. množství látky vyloučené nábojem 1 coulombu) [$g \cdot A^{-1} \cdot s^{-1}$]

I – elektrický proud [A]

τ – čas [s]

Druhý zákon říká, že množství různých látek vyloučených na elektrodách průchodem stejného elektrického náboje jsou v poměru svých ekvivalentů. [4]

$$A = \frac{M}{n \cdot F} \quad (2)$$

M – molární hmotnost kovu [$g \cdot mol^{-1}$]

n – mocenství kovového kationtu v lázni, resp. Počet vyměněných elektrických nábojů při elektrolýze

F – Faradayova konstanta (přibližně $96\,487 \text{ C} \cdot mol^{-1}$)

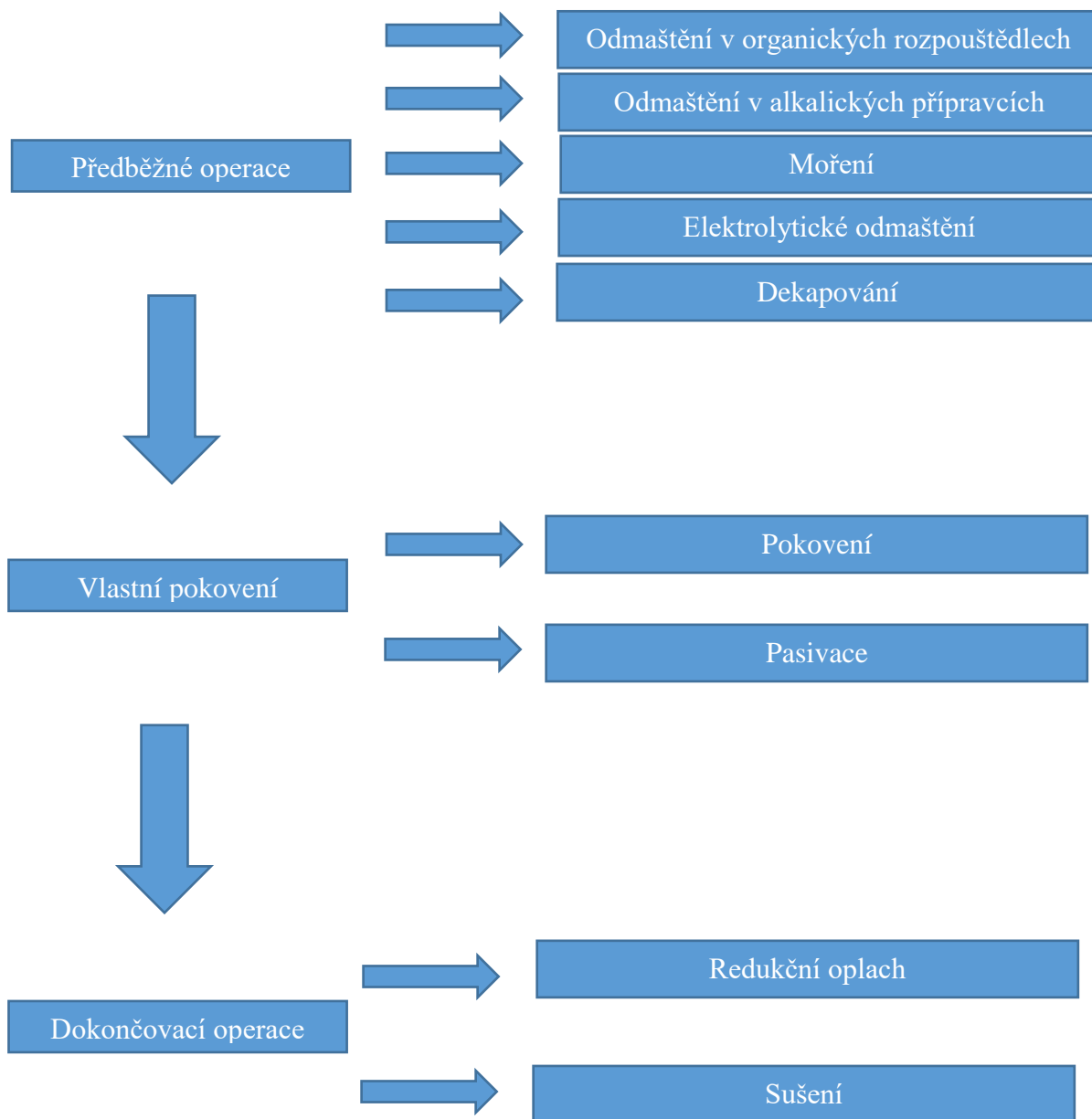
Oba tyto zákony je možné vyjádřit ve tvaru:

$$m = \frac{M \cdot I \cdot \tau}{n \cdot F} \quad (3)$$

Pomocí Faradayových zákonů se dá vypočítat hmotnost vyloučeného povlaku a lze také určit vytvořenou tloušťku, pokud je známa doba pokovování a proudová hustota. [4] [2]

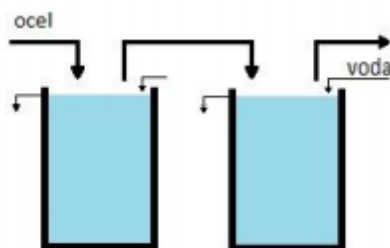
2.1.4 Technologický postup galvanického pokovení

Z technologií povrchových úprav se galvanické pokovování řadí k nejpracnějším na předúpravu povrchu upravovaných součástí. Důvodem je přestup kovového iontu z roztoku na katodu a jeho včlenění do krystalové mřížky. [2]



Obrázek 2: Technologický postup při galvanickém pokovování [2] [5] [6]

Mezi tyto jednotlivé činnosti na obrázku 2 se podle nutnosti zařazují oplachy, které jsou důležitou součástí technologického postupu (můžou být jedno nebo víceúrovňové). Redukční oplach se většinou používá po chromování. [2]



Obrázek 3: Schéma dvoustupňového oplachu [11]

2.1.4.1 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 adsorpcí (tuky, oleje, mastné látky). Nečistot se lze zbavit snadněji a beze změny kovového povrchu. Důvodem je menší energie vazby ke kovovému povrchu než u nečistot, které jsou vázány chemicky. Odmašťovací proces se uskutečňuje několika způsoby. Nejrozšířenějšími postupy jsou odmašťování v organických rozpouštědlech a odmašťování v alkalických roztocích.

Odmašťování v organických rozpouštědlech

Při odmašťování v organických rozpouštědlech dochází k rozpuštění mastných látek na povrchu kovu a k uvolnění ostatních utkvělých nečistot. Tato rozpouštědla se dělí na hořlavá (např. technický benzín) a nehořlavá (např. trichlorethylen) Mezi výhody organických rozpouštědel patří to, že nezpůsobují korozi, jednoduchost, odstraňují tlusté vrstvy nečistot, nejsou příliš finančně nákladné a vysoká účinnost čištění. Nevýhodou těchto prostředků je to, že je nelze aplikovat na vlhké povrchy a nevyhovují bezpečnostním a zdravotním potřebám. Pro galvanické pokovení se ve většině případů nepoužívají.

Odmašťování v alkalických roztocích

Odmašťování v alkalických roztocích je nejpoužívanějším způsobem čištění kovového povrchu. Principem jsou chemicko-koloidní procesy. Tato technologie zahrnuje několik výhod oproti odmašťování organickými rozpouštědly. Tou hlavní je to, že alkalické roztoky odstraní i heteropolární nečistoty (např. pot, anorganické soli). Mezi nevýhody se řadí vysoká pracovní teplota.

Elektrolytické odmašťování

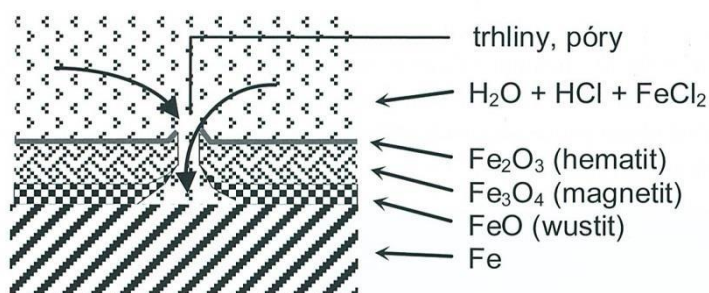
Elektrolytickým odmašťováním se docílí takové čistoty povrchu, která se požaduje před procesem galvanického pokovení. Podstatou je tvorba plynu na elektrodách a díky tomu dochází k narušení vrstvy olejového filmu a následného strhnutí do roztoku. Podstatným vlivem je vodivost lázně, kterou zabezpečuje její složení a zvýšená teplota lázně. Součásti, které je zapotřebí odmastit, jsou zapojeny buď jako katoda, nebo jako anoda. [2] [8] [9] [10]

2.1.4.2 Moření

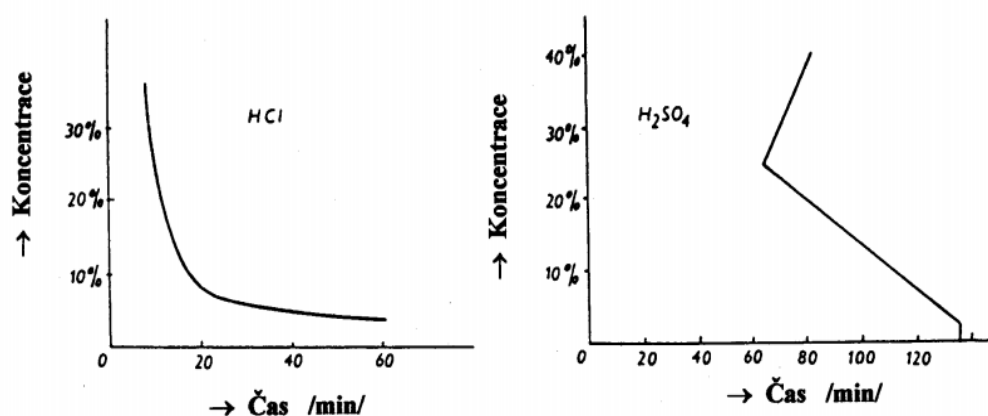
Moření je chemická předúprava povrchu, při které dochází k odstraňování nežádoucích oxidů a okují z povrchu oceli. Důvodem moření je získání kovově čistého povrchu. Uskutečňuje se nejčastěji ponorem součásti do lázně s roztokem kyselin. Rychlost moření je závislá na složení oxidů ve vrstvě okují. Používané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

- Kyselina sírová (H_2SO_4)
- Kyselina dusičná (HNO_3)
- Kyselina chlorovodíková (HCl)
- Kyselina fluorovodíková (HF)
- Kyselina fosforečná (H_3PO_4)

Čas moření je možné snížit vhodnou koncentrací kyseliny nebo zvýšením teploty mořící lázně. [8] [10] [11] [12]



Obrázek 4: Princip moření a složení oxidů v okujích [13]

Obrázek 5: Vliv koncentrace lázní HCl a H₂SO₄ na rychlost moření [4]

2.1.4.3 Dekapování

Dekapování je specifickým druhem moření a označujeme je jako tzv. aktivaci povrchu. Tento proces se používá pro odstranění tenkých oxidických vrstev, které vznikají při předešlých operacích (např. odmašťování). Proces se realizuje ponorem do zředěných roztoků kyselin za pokojové teploty. [2] [8] [14]

2.1.4.4 Pasivace

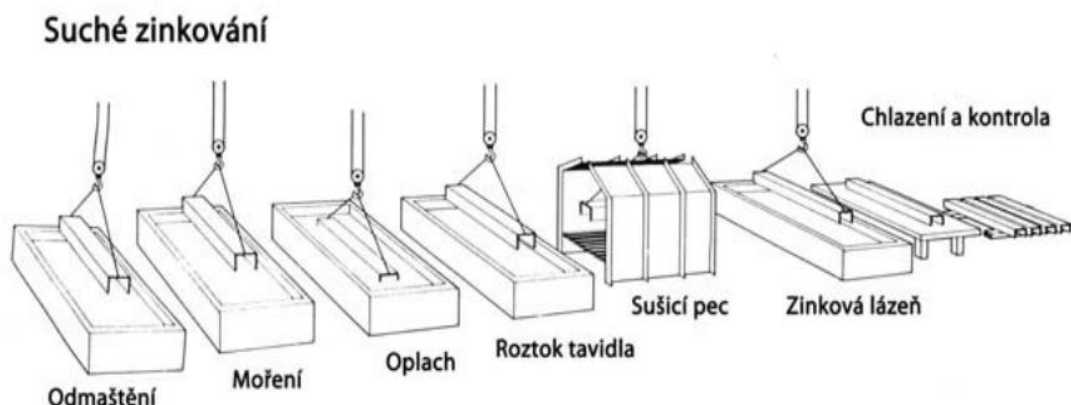
Nejběžnějším způsobem pasivace je chromátování. Na povrchu kovu dochází ke vzniku povlaku, který se jeví buď jen interferencí světla, nebo při větších vrstvách sytými odstíny barev. Pro pasivaci se v minulosti používal šestimocný chrom, od kterého se však upustilo z důvodu jeho karcinogenních účinků a byl nahrazen trojmocným chromem. Chromátování se používá pro větší korozivzdornost, lepší vzhled a pro zlepšení přilnavosti nátěrů. [8] [14]

3 Žárové zinkování

Žárové zinkování je metalurgický proces, při kterém dochází ke zvýšení korozivzdornosti materiálu. Při této technologii se součásti ponoří do roztaveného zinku a tím dojde k vytvoření zinkového povlaku. Dochází tedy k reakci mezi zinkovaným materiálem a zinkovací taveninou. Základní podmínkou této technologie je, aby kov součásti měl vyšší tavicí teplotu než pokovovaný kov. Součásti určené k zinkování nesmí obsahovat žádné mastnoty a nečistoty, které by mohly znehodnocovat vlastnosti povlaku, tudíž je nezbytné, aby předměty prošly předúpravou povrchu. Předúpravami povrchu se rozumí odmaštění, moření, oplach a sušení. Oplach je nutno aplikovat mezi každým procesem, aby nedošlo ke znečištění či znehodnocení lázně. Dalším potřebným krokem je nanesení tavidla do roztaveného zinku. Úkolem tavidla je odstranění oxidů z povrchu materiálu. Metody nanášení tavidla se dělí na dva způsoby. Prvním způsobem je suchý proces, druhým způsobem mokřý proces. Žárové zinkování závisí rovněž na teplotě. Podle teploty je možno proces rozdělit na nízkoteplotní a vysokoteplotní. Při nízkoteplotním žárovém zinkování teplota lázně dosahuje 450-460 °C. U vysokoteplotního žárového zinkování se teplota lázně pohybuje mezi 540-560 °C. Důležitým faktorem je též doba zinkování (doba ponoru), která trvá obvykle od 2 do 5 minut. Doba ponoru pro velké a složité součásti je asi 10 minut. [13] [15] [16]

3.1 Suchý proces

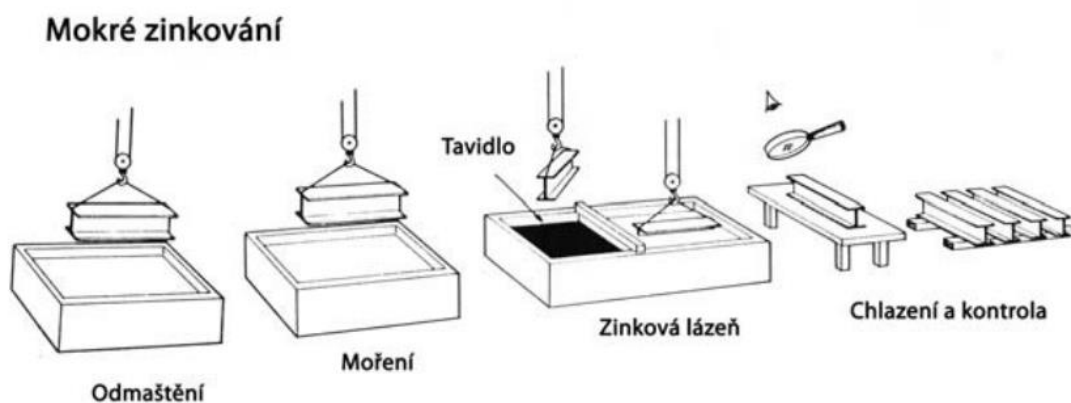
Při aplikaci suchého způsobu musí nejprve dojít k odmaštění, moření a oplachu, následně se nanese tavidlo, které musí být usušeno, aby při procesu nedošlo k rozstříku zinku. Tavidlo je složeno z vodného roztoku chloridu amonného a chloridu zinečnatého. Důležitým opatřením je zachovat v tavidle obsah železa pod $1g \cdot l^{-1}$. Důvodem je předejít tvorbě tvrdého zinku na dně vany, což je nepříznivé, protože může dojít ke znehodnocení součásti. Funkcí tavidla je vytvoření ochranné vrstvy, která zabraňuje oxidaci a působí i na hladinu zinkové lázně, kterou čistí od oxidů vytvořených při smáčení součástí do roztaveného zinku. Jak je vidět na obrázku 6, po usušení tavidla dochází k ponoření součásti do zinkové lázně. Posledním krokem je chlazení a kontrola zinkovaného předmětu. Chlazení se provádí vodou nebo na vzduchu. Obvyklejším a častějším způsobem je chlazení pomocí vody, protože snižuje dobu ochlazování. Tím tak dochází k rychlejšímu provozu. Na závěr dochází ke kontrole, zda je součást v pořádku. [13] [15]



Obrázek 6: Postup suchého procesu zinkování [15]

3.2 Mokrý proces

Mokrý proces je druhým způsobem žárového zinkování. V tomto způsobu zinkování je hladina zinkové lázně rozdělena na dvě části pomocí přepážky. Jedna část obsahuje na hladině vrstvu tavidla, tvořeného chloridem amonným. Tavidlo se tak na povrch součásti nanáší chvíli před ponořením do roztaveného zinku. Druhá část hladiny je volná, bez tavidla. Při mokřém procesu nedochází k sušení. Součást se okamžitě po odmaštění a moření potopí přes tavidlo do zinkové lázně. Poté předmět projde v zinkovací lázni pod přepážkou do části, kde hladina neobsahuje tavidlo. Než proběhne vyndání součásti z lázně, je nezbytné otřít z volné hladiny nečistoty, převážně popel ze spáleného tavidla a oxidy zinku. Po vyndání součásti z lázně následuje ochlazení, které se provádí podobně jako u suchého procesu vodou nebo na vzduchu. Po chlazení dochází rovněž ke kontrole součásti. Mokrý proces má relativně malou produktivitu. Důvodem je ruční manipulace se zbožím, proto je suchý proces více využíván. Mokrý proces se aplikuje spíše pro složité součásti, které by jinou cestou pozinkovat nešlo. Dosahuje se však stejné kvality povlaku jako u suchého procesu. [13] [15]



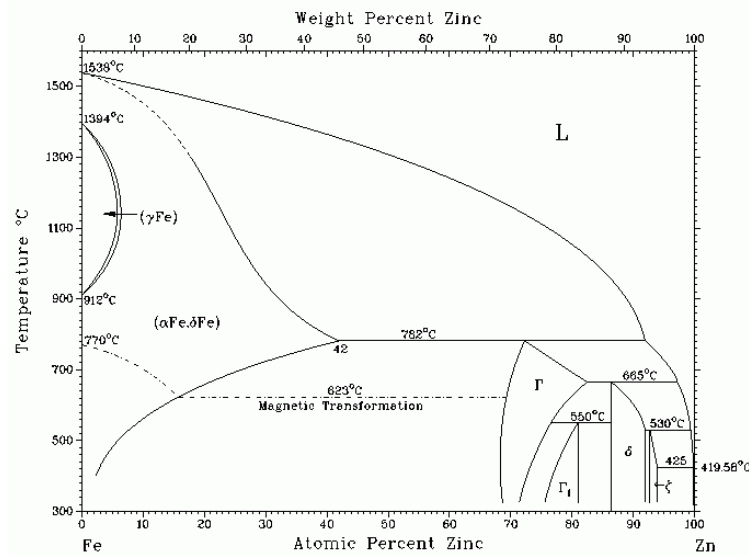
Obrázek 7: Postup mokrého procesu zinkování [15]

3.3 Nízkoteplotní zinkování

Při nízkoteplotním zinkování, které probíhá za teploty 450 °C, se slitinové vrstvy v povlaku tvoří působením difuzních dějů. Vzniklý povlak obvykle obsahuje všechny železo-zinkové slitinové fáze, kterými jsou α , Γ , Γ_1 , δ , ζ , η . Zinkové povlaky realizované touto metodou jsou odolné vůči mechanickému opotřebení. Výsledná tloušťka povlaku závisí na době ponoru. [13]

3.4 Vysokoteplotní zinkování

Vysokoteplotní zinkování, probíhající obvykle okolo teploty 550 °C, je založeno na odstředění, kde se odstraní přebytečný zinek ze součásti a poté se součást chladí ve vodě. Nejběžnější fází při tomto způsobu nanášení povlaku je tvrdá fáze δ . Naopak fáze ζ nevznikne. Důvodem je to, že se teplota 550 °C pohybuje nad teplotou stability fáze ζ (viz obrázek 8). Vzniklý povlak při vysokoteplotním zinkování je charakterizován malou tloušťkou a rovněž odolností proti mechanickým vlivům. Tato metoda je využívána pro pokovení menších součástí. [13]



Obrázek 8: Rovnovážný diagram Fe-Zn [17]

3.5 Výhody a nevýhody

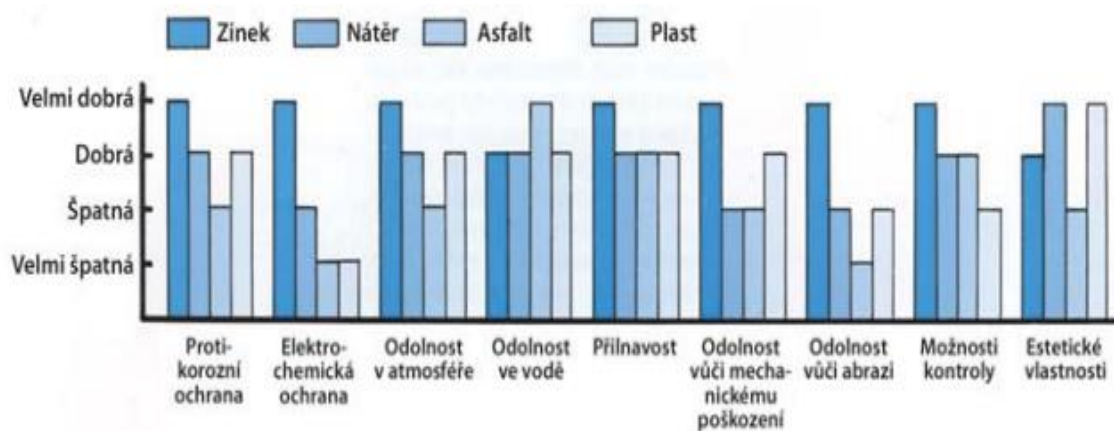
Mezi výhody žárového pokovení lze uvést:

- dlouhodobá životnost (20 až 40 a více let)
- nízké pořizovací náklady
- odolnost proti mechanickému poškození
- nenáročná kontrola
- takto zinkově upravené plochy lze svařovat všemi způsoby
- příznivá korozivzdornost
- na všech místech je zajištěna rovnoměrnost a kvalita vrstvy [15]

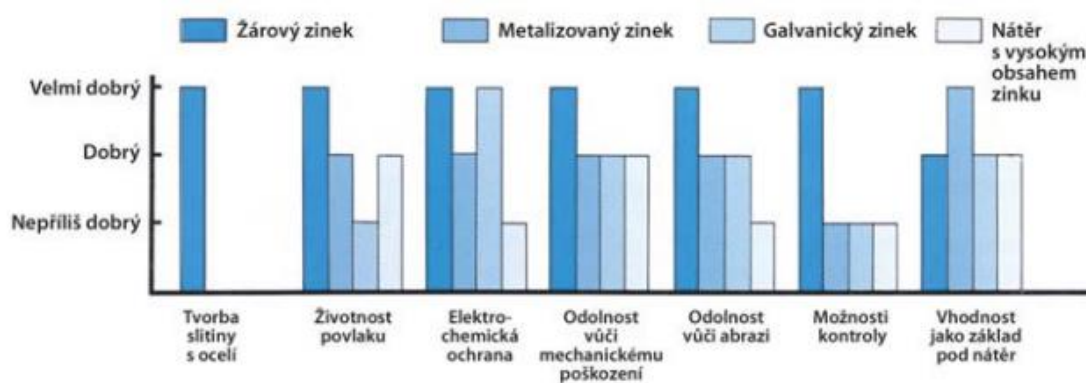
Mezi nevýhody se dá zařadit:

- kov součásti musí mít větší teplotu tavení než kov pokovovaný
- barvu povlaku lze měnit jedině nátěrem
- velikost zinkovacích van je omezena
- riziko vzniku deformace u tenkých profilů a plechů vlivem teploty lázně [15]

3.6 Porovnání zinku, žárového zinkování



Obrázek 9: Srovnání vlastností různých typů povlaků [15]

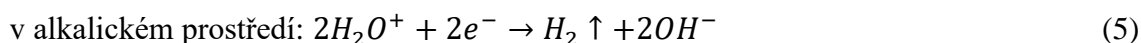
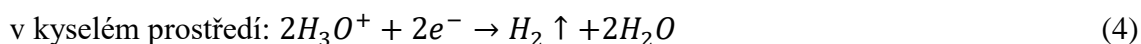


Obrázek 10: Srovnání vlastností různých zinkových povlaků a nátěrové hmoty [15]

4 Vliv vodíku na povrchové úpravy

4.1 Vznik vodíku

Při technologiích zinkování, moření a při elektrolytickém odmašťování dochází k tvorbě vodíku. Tuto tvorbu je možné popsat následujícími rovnicemi:



Tyto reakce se uskutečňují tak, že dochází k předávání náboje hydroxylovými ionty, eventuálně ke štěpení molekul vody. V obou případech se však nejprve vytvoří atomární vodík, který je reaktivní. [18]



4.2 Vodík v oceli

Proniknutím vodíku do struktury materiálu dochází k jeho poškození. Vodík je do objemu kovu přenesen díky difúzi. Rychlost difúze vodíku má veliký vliv na stav oceli. Lze ji přibližně vypočítat podle následující rovnice:

$$D = k_1 \frac{p}{d} T^{\frac{5}{4}} \cdot \exp\left(-\frac{E_d}{2kT}\right) \quad (7)$$

D je množství vodíku v $[\text{cm}^3]$ difundující za 1 vteřinu plochou cm^2 povrchu kovu, d je tloušťka stěny kovu v $[\text{mm}]$, E_d je aktivační energie difúze $[\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}]$, p je tlak v $[\text{kPa}]$, T absolutní teplota $[\text{K}]$, k je Boltzmannova konstanta a k_1 je konstanta závislá na povaze kovu (řádově 10^{-2} až 10^{-3}).

Místa, kde dochází k poruchám struktury, se nazývají vodíkové pasti, ve kterých dochází k tvorbě dutin obsahujících vodíkový plyn. Vodíkové pasti mohou být například trhliny, hranice zrn či dislokace. Prasknutí a deformaci kovu způsobují vysoké vnitřní tlaky (10^7 až 10^{13} kPa). Ocel, která nebyla (například po svařování) žháná, je pro vnik vodíku mnohem náchylnější. Do vyžháné oceli proniká vodík pomaleji. Rozpustnost vodíku roste se zvyšující se teplotou. Na rozpustnost vodíku má dále vliv chemické složení oceli a tlak. [2] [19]

4.3 Vodíková křehkost

Vodík se může rozpouštět v kovu a způsobovat tzv. vodíkovou křehkost. Vodíková křehkost patří k nejzávažnějšímu případu při působení vodíku na díly z kovu a je nutností ji předejít. Projevuje se při nízkých a normálních teplotách. Při těchto podmínkách vodík může difundovat do oceli, ale z důvodu nízké teploty nemůže dojít k chemickým reakcím mezi vodíkem a uhlíkem.

Vodíková křehkost je zapříčiněna atomy vodíku difundujícími do povrchu kovů nebo jejich slitin. Jakmile obsah vodíku překročí mez rozpustnosti ve slitině, nastává jeho shromažďování v určitých místech. Tepelné změny, náhlé a rychlé změny teploty a napětí dílů pomáhají vodíku proniknout do materiálu. Při vytvoření molekuly vodíku roste vnitřní napětí a díky tomu nastává i zvětšení trhliny, ve které je nashromážděný vodík ukrytý. V krajním případě může dojít k lomu. Existují látky, které velkou měrou přispívají k vodíkové křehkosti. Je to například voda, vodní pára nebo oxid uhličitý. Vodíková křehkost je druhem koroze, která se vyvíjí uvnitř materiálu a obvykle nezpůsobuje žádné změny na povrchu. Na druhou stranu se v některých případech může objevit i na povrchu. Důvodem je to, že se místa s vysokým tlakem vodíku vyskytují u povrchu materiálu. Významnou roli v boji proti vysokému vývoji vodíku sehrává složení lázně. Dalším faktorem je nesprávné užití lázně určené k elektrolytickému odmašťování. Na katodě se totiž množství vodíku vyvíjí dvojnásobné než na anodě kyslíku. Optimální cyklus by tedy měl být nastaven například 20 sekund katodické odmaštění a 40 sekund anodické. Tento cyklus musí v každém případě končit na anodě. [2] [19] [20]



Obrázek 11: Příklad vodíkové křehkosti [21]

4.4 Vliv na nátěrové hmoty

U pozinkovaných podkladů se v nátěrech na povrchu výrobku vyskytují puchýře a póry, jejichž přítomnost je nežádoucí. Objevují se i po úpravách povrchu před aplikací nátěru. Puchýřky a póry jsou zapříčiněny vznikem plynů, zejména vodíku, v nátěru. Vodík může vznikat i před samotným zinkováním a to při moření. Nátěrové hmoty obsahují rozpouštědla, které tvoří bublinky. Tyto bublinky pak vytváří puchýře nebo praskají a vzniknou póry. Pokud je vodík příčinou těchto vad, platí:

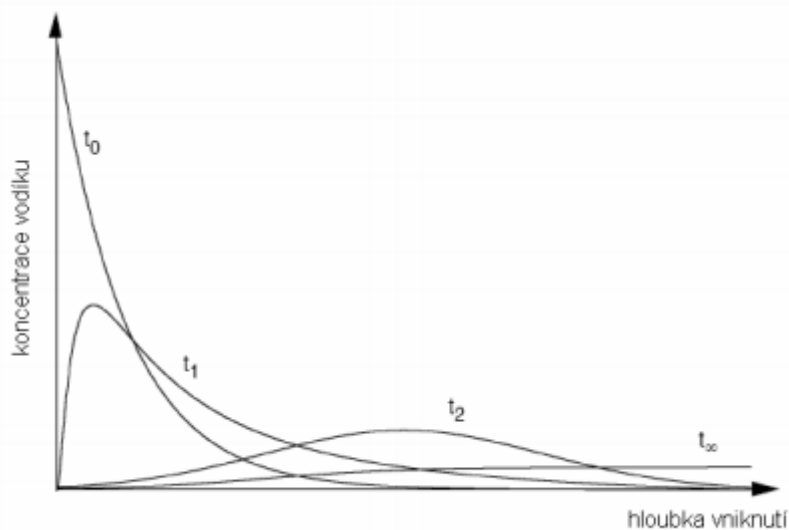
- nutnost zkrácení času moření, protože čím je moření delší, tím více vodíku do materiálu vnikne
- navodíkování může nastat i reakcí zinkové lázně s vodou, pokud materiál není dostatečně vysušen
- na rekombinaci a oddifundování vodíku má pozitivní vliv vysoká teplota
- ponechání pozinkované součásti nějaký čas bez nátěru, tím vodík unikne přirozenou cestou [31]



Obrázek 12: Vada vzniklá v nátěru [31]

4.5 Způsoby odstranění vodíku

Jakmile je v kovu vodík obsažen v atomární podobě, je možné ho do určité míry odstranit. Na rozhraní fáze železo – zinek se vyskytuje značná část vodíku, který vnikl do kovu. Tím se vytvoří vysoký gradient koncentrace ve směru k hranici fází. Čím je tento gradient menší, tím je pomalejší rychlost vylučování vodíku z kovu. Hodnota gradientu se mění i při změně hloubky vniknutí vodíku do kovu, která se mění průběhem času. [24]



Obrázek 13: Průběh koncentrace vodíku po různých dobách [24]

Na obrázku 13 je naznačen průběh koncentrace vodíku po různých dobách, kde t_0 je čas přímo po tepelné úpravě, t_1 je čas krátce po úpravě, t_2 je doba po několika hodinách a t_∞ znázorňuje rovnovážný stav. [24]

4.5.1 Jednostupňová metoda odstranění vodíku

Povlaky vytvořené pomocí zinku ve funkci zabránění vniku vodíku do materiálu nejsou nepropustné. Existuje tedy možnost vodík odstranit přes vyloučený povlak. Při tomto způsobu odvodňování se zinkuje na požadovanou tloušťku vrstvy, která je až 20 μm . Dále se vytvořený povlak suší a na závěr je temperován při teplotě 210 – 240 $^\circ\text{C}$. Proces při této teplotě trvá několik hodin. Tato metoda sebou nese i rizika, jakými jsou například krátká doba temperování nebo při teplotách nad 220 $^\circ\text{C}$ dochází k napadení vrstvy zinku atmosférickým kyslíkem, který může ovlivnit vzhled součásti. [24]

4.5.2 Dvoustupňová metoda odstranění vodíku

Podstata dvoustupňové metody spočívá ve dvojitěm pozinkování. Poprvé je součást pozinkována galvanicky na tloušťku 3 – 4 μm . Následně dochází k tepelné úpravě za teploty 180 – 200 $^\circ\text{C}$ po dobu asi 2 hodin. Dále se aplikuje znovu zinkování na finální požadovanou vrstvu. Poté se součást opět tepelně upravuje a na závěr se provede chromátování. Možným rizikem při této metodě je to, že vrstva zinku při vyšších teplotách (nad 215 $^\circ\text{C}$) je silněji napadena, což způsobuje nepříznivý vzhled a v krajním případě může dojít i k tvorbě puchýřů. [24]

5 Nátěrové hmoty

Organické povlaky z nátěrových hmot se řadí mezi nejrozšířenější metody povrchových úprav součástí. Nátěrovou hmotou se rozumí hmota, která se nanáší v tekuté, pastovité, gelové, práškové až těstovité formě a vytváří na povrchu součásti souvislý film. Nátěrové hmoty se využívají pro tvorbu nátěrů, které mají ochranné účinky a dávají součásti příznivý vzhled. Nátěr lze charakterizovat jako stálý povlak žádoucích vlastností vytvořený nanesením a zaschnutím nátěrové vrstvy (možno i více nátěrových vrstev) na povrchu. Při kombinování jednotlivých nátěrů vzniká nátěrový systém. [2]

Existují tři skupiny, dle kterých se dá rozdělit ochranný účinek organických povlaků. První skupinou je bariérová ochrana. Principem této ochrany je, že nátěr působí mechanicky. Dochází k tvorbě silného, nepropustného filmu a k tvorbě nepropustné mezivrstvy mezi povrchem materiálu a okolním prostředím. Druhou skupinou je ochrana inhibiční. Tento způsob ochrany je založen na chemické reakci, při které dochází ke zpomalení či zastavení korozních dějů. Třetí skupinou je elektrochemická ochrana, která funguje na zásadě galvanického článku a vyznačuje se vysokým obsahem práškového zinku. Elektrochemická ochrana se v praxi používá spolu s bariérovou ochranou. [25]

5.1 Složky nátěrových hmot

Jako základní složky nátěrového systému lze uvést filmotvorné látky, pigmenty, plnidla, těkavé složky a aditiva.

- **Filmotvorné látky**

Filmotvorné látky jsou netěkavé látky, jejichž vlastnosti ovlivňují životnost nátěru a účinnost ochrany, ale ovlivňují i další fyzické a chemické vlastnosti (např. odolnost, přilnavost). Filmotvorné látky jsou tvořené pojivy a změkčovadly a vytvářejí tuhý souvislý film různé tloušťky. Mezi filmotvorné složky se řadí vysychavé oleje (lněný, tungový), přírodní pryskyřice (kalafuna, šelak, kopály), deriváty celulózy (nitrocelulóza, acetylcelulóza), deriváty kaučuku (chlorovaný kaučuk), asfalty (přírodní, získané z ropy) a syntetické pryskyřice, např. alkalidy, epoxidy nebo vinylové polymery. Do filmotvorných složek řadíme také změkčovadla (dibutylftalát, chlorovaný parafín, chlorovaný bifenyly), která mají vliv na křehkost, vláčnost a pružnost nátěru. [2]

- **Pigmenty**

Pigmenty jsou barevné práškové prostředky. Mají organický, anorganický nebo směsný původ a spadají sem nejčastěji oxidy kovů či solí. Pigmenty jsou nerozpustné v rozpouštědlech a pojivech. Jejich funkcí je dodat barevný odstín nátěrové hmotě a kryvost.

Pigmenty lze dělit podle jejich ochrany proti korozi na tři skupiny:

- inhibiční pigmenty – tyto pigmenty korozi zpomalují (např. suřík, zinková žlut')
- neutrální pigmenty – nemají vliv na korozi (např. chroman olovnatý, oxid železitý)
- stimulující pigmenty – urychlují korozi (např. grafit, saze)

Organické pigmenty jsou oproti anorganickým charakterizovány vyšší hustotou a menší barvicí silou. Na druhou stranu anorganické pigmenty mají lepší odolnost proti chemickým látkám. [2] [27]

- **Plnidla**

Plnidla jsou přírodní či syntetické látky a jsou důležitou součástí nátěrových hmot. Jejich úkolem je zajistit a upravit požadované technologické vlastnosti (pevnost, otěruvzdornost). U plnidel je zapotřebí jejich chemická stálost. Jsou levnější než pigmenty, což je výhodné z hlediska výsledné ceny. Plnidla, která se používají, jsou např. vápenec, mastek (křemičitan hořečnatý), křída, síran barnatý a další. [26] [27]

- **Těkavé složky**

Do této části se zahrnují převážně rozpouštědla. Rozpouštědla jsou organické kapaliny, ve kterých nastává rozpouštění filmotvorných látek. Jejich funkcí je upravit tekutost a konzistenci nátěrové hmoty. Zbytky těchto látek obsažených v nátěru jsou nežádoucí. Pokud je přítomno i malé množství těkavých složek v nátěru, dochází ke zhoršení odolnosti. Nejvíce se to projevuje v kontaktu s agresivním kapalným prostředím. Rozpouštědla se dělí podle rychlosti odpařování na lehká, střední a těžká a volí se podle rozpustnosti filmotvorných složek. Nejběžnější využívané rozpouštědla jsou toluen, xylen, lehký benzin, etylalkohol, aceton, etylacetát, glykoléter a terpentýnové silice. [2]

- **Aditiva**

Aditiva jsou pomocné látky, které přijatelně upravují některé technologické i fyzikální vlastnosti nátěrového systému (např. rozliv, odolnost proti povětrnostním účinkům, pružnost, tažnost). V nátěrovém systému aditiva zastupují asi jedno procento ze všech obsažených látek. Nejpoužívanějšími aditivami jsou zvláčňovadla, urychlovače, emulgátory, stabilizátory, sušidla, tužidla nebo katalyzátory. [4] [27]

5.2 Značení nátěrových hmot

Pro lepší a snadnější orientaci při používání nátěrových hmot je zaveden jednotný systém značení pomocí písmen a čísel.

- Skupinové označení nátěrové hmoty:

A – asfaltové

B – polyesterové

C – celulózové

E – práškové

H – chlorkaučukové

K – silikonové

L – lihové

O – olejové

S – syntetické

U – polyurethanové

V – vodové a emulzní

P – pomocné přípravky

- Druh nátěrové hmoty:
 - 1000 – fermeže, bezbarvé, transparentní obarvené laky
 - 2000 – pigmentové nátěrové hmoty
 - 3000 – tónovací pasty
 - 4000 – nástřikové pasty
 - 5000 – tmely
 - 6000 – ředidla
 - 7000 – sušidla, tužidla, katalyzátory
 - 8000 – pomocné přípravky a podlahoviny

- Označení barevných odstínů (podle stupnice RAL):
 - 1000 – 1999 – žlutá
 - 2000 – 2999 – oranžová
 - 3000 – 3999 – červená
 - 4000 – 4999 – fialová
 - 5000 – 5999 – modrá
 - 6000 – 6999 – zelená
 - 7000 – 7999 – šedá
 - 8000 – 8999 – hnědá
 - 9000 – 9999 – černobílá [2] [28]

5.3 Dělení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty je možné rozdělit hned z několika hledisek.

- **Podle účelu použití**
 - vnitřní – špatně odolávají vlivům atmosféry (sluneční záření, povětrnostní vlivy)
 - venkovní – odolné proti vlivům atmosféry
 - speciální – vhodné proti působení kyselin, alkálií, atd.

- **Podle chemického složení**
 - vodou ředitelné
 - rozpouštědlové

- **Podle pořadí nanášení v nátěrovém systému**
 - napouštěcí
 - základní
 - vyrovnávací
 - podkladové
 - vrchní
 - maskovací

- **Podle charakteristických vlastností**
 - pigmentové nátěrové hmoty – po zaschnutí tvoří neprůhledný film (emaly, barvy, tmely)
 - transparentní nátěrové hmoty – tvoří průhledný film (laky, emulze)

- **Podle surovinové báze**
 - asfaltové

Asfaltové nátěrové hmoty jsou charakterizovány jako voděodolné nátěry s nízkou cenou. Přípravují se pomocí přírodních a petrolejových asfaltů. Jejich nevýhodou je, že obtížně čelí slunečnímu záření a povětrnostním vlivům a kvůli tomu můžou tyto nátěry křehnout a praskat.

- nitrocelulózové

Nitrocelulóznové nátěry jsou odolné proti působení olejů, ale stejně jako asfaltové nátěry nejsou odolné proti povětrnostním vlivům a slunečnímu záření. Z technologického hlediska je nevýhodou nízký obsah sušiny. To vede k potřebě vícevrstevného nátěru.

- chlorkaučukové

Chlorkaučukové nátěry se vyznačují tím, že obsahují účinná rozpouštědla a velmi rychlou dobou zasychání. Na druhou stranu poslední zbytky rozpouštědel se z nátěru vytrácejí velice pomalu, což má negativní dopad na odolnost nátěru. Jejich předností je vysoká pružnost. Jsou tedy odolné proti mechanickému působení.

- lihové

Lihové nátěrové hmoty se rozpouštějí ve vysokoprocentním alkoholu. Jsou to přírodní pryskyřice a používají se pro úpravu a ochranu dřeva.

- olejové

Olejové nátěry tvoří nátěr pomocí reakce s kyslíkem. Díky této reakci se při zasychání nátěru zvýší hmotnost filmu asi o 10 %. Výborně odolávají povětrnostním vlivům. Nevýhodou je malá odolnost proti vodě a chemikáliím.

- syntetické

Syntetické nátěrové hmoty jsou organické látky na bázi syntetických pryskyřic. Vyznačují se odolností proti povětrnosti, slunečnímu záření a chemikáliím. Dělí se na spoustu dalších podskupin.

- **Podle způsobu nanášení**

Nátěrové hmoty se obvykle nanášejí např. stříkáním, ručně pomocí štětce, namáčením, válečkováním, elektrochemicky, apod. [2] [26] [28]

5.4 Způsoby nanášení nátěrových hmot

V dnešní době je celá řada možností, jak nátěrovou hmotu aplikovat. Každá z metod má své výhody i nevýhody, proto se dá konstatovat, že neexistuje žádná metoda, která by byla vhodná a univerzální pro každou součást z hlediska složitosti tvaru nebo velikosti. Při volbě technologie aplikování nátěru je potřeba brát v úvahu technologické zásady, které ovlivňují kvalitu výrobků. Jedná se např. o sériovost, druh výrobku, možnost zmechanizovat a zautomatizovat výrobu, druh a vlastnosti hmoty, složení nátěrových vrstev v systému, tloušťka systému, vlhkost a teplota prostředí, ve kterém je nátěr prováděn, zručnost pracovníka a ohled musí být brán i na ekonomické hledisko. Nejběžněji používané technologie nanášení nátěrových hmot jsou ruční nanášení, pneumatické stříkání, vysokotlaké stříkání, elektrostatické stříkání, máčení, polévání a elektrochemické nanášení. Před provedením nátěrové hmoty je nutné materiál očistit od mastnot, korozních produktů a dalších nečistot. [2]

5.4.1 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 nátěrové hmoty. Do ručního nanášení nátěrových hmot spadají aplikace pomocí štětce, válečku, stěrky či pomocí nanášecí rukavice. [2] [26]

5.4.2 Pneumatické stříkání

Tato technologie patří k nejrozšířenějším způsobům při nanášení nátěrových hmot. Důvodem je vysoká produktivita práce, malá fyzická zátěž pracovníka, přijatelná cena a kvalitní povrch výsledného povlaku. Pneumatické stříkání se uplatňuje jako ruční způsob nanášení pomocí stříkacích kabin nebo lze tuto metodu zautomatizovat či zrobotizovat. Princip spočívá v rozprašování nátěrové hmoty v tryskové soustavě stříkací pistole díky stlačenému vzduchu. Následně dochází pomocí povrchového napětí ke spojení rozprašené nátěrové hmoty a k vytvoření souvislého nátěrového filmu. Aby byl nátěr kvalitní, je zapotřebí dodržovat určité podmínky, např. vzdálenost ústí pistole od povrchu součásti, optimální konzistenci nátěrové hmoty, optimální tlak vzduchu pro rozprašování,

vhodnou tryskovou soustavu či rovnoměrný posuv stříkací pistole. Nevýhodou pneumatického stříkání je možná ztráta nátěrové hmoty způsobená prostříkem, což vede ke zhoršení hygienických podmínek pracoviště. Zařízení pro tuto technologii se skládá ze stříkací pistole, stříkací kabiny, která odsává výpary rozpouštědel a tím chrání pracovníky a z pomocných zařízení (zásobníky, čističe vzduchu a hadic, nástavce stříkacích pistolí, regulátory tlaku vzduchu, apod.). [2]



Obrázek 14: Příklad stříkací pistole pro pneumatické stříkání [29]

5.4.3 Vysokotlaké stříkání

Vysokotlaké nebo též bezvzduchové (airless) stříkání se odlišuje od pneumatického stříkání způsobem podávání nátěrové hmoty do trysky. Při vysokotlakém stříkání je nátěrová hmota rozprašována tlakem na nátěrovou hmotu, jde tedy zcela o mechanický způsob rozprašování. Výhodou tohoto způsobu je vysoká produktivita, kvalita nástřiku, úspora materiálu (nátěry, ředidla) díky použití nátěrových hmot s vyšší konzistencí. Oproti pneumatickému stříkání je možné tuto technologii využít i pro složitější tvary obsahující prohlubně a dutiny. [2]

5.4.4 Elektrostatické stříkání

Principem elektrostatického stříkání je využití vzájemné přitažlivosti dvou částic s rozdílným elektrickým nábojem. Nátěrová hmota má většinou záporný náboj a součást, která je uzemněna, kladný náboj. Součást je umístěna v místě účinného elektrostatického pole, kde je provedena i samotná aplikace nátěru. Tato technologie je výhodná z hlediska hospodárnějšího využití nátěrové hmoty, protože zde nejsou tak velké ztráty při nanášení vzniklé prostříkem (5 – 25 %). Metoda může být realizována jak ručním způsobem, tak pomocí mechanizace či automatizace. Elektrostatické stříkání nelze použít u výrobků, které obsahují elektrostaticky stíněná místa (dutiny, prohlubně, ostré rohy). [2]

5.4.5 Máčení

Máčení je považováno za jeden z nejhospodárnějších 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] [8]

5.4.6 Elektrochemické nanášení

Elektrochemické nanášení nátěrových hmot nebo též elektroforéza je proces vhodný pro hromadnou výrobu tvarově členitých výrobků z elektricky vodivého materiálu. Nátěry zhotovené touto technologií jsou velice kvalitní. Elektrochemické nanášení se dělí na anodický a katodický proces. [2]

5.5 Kataforetické lakování

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. Principem

kataforezy 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 elektrolýze 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 tloušťek od 15 do 30 μm (ve speciálních případech až 45 μm). Po vyjmutí součástí z lázně se dají do pece, kde probíhá vypalování za teploty 180 °C. Tímto úkonem dostává povlak výsledné vlastnosti vlivem polymerace. Kataforetické lakování se používá např. v automobilovém průmyslu, u domácích spotřebičů, u zemědělských a stavebních strojů, u klimatizací či ventilátorů, atd. [30]

5.5.1 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 [30]

5.6 Práškové plasty

Práškové plasty patří k nejrozšířenějším způsobům povrchové úpravy a jsou využívány ve většině oblastí a oborech. Počátky práškových plastů spadají do 70. let minulého století, kdy se začaly využívat místo nátěrových hmot s rozpouštědly. Povlaky z práškových plastů jsou ekologické (na rozdíl od klasických nátěrových hmot), nenákladné, otěruvzdorné, odolávají vysokým teplotám, zachovávají barevnou stálost a důležitou vlastností je i korozivzdornost. Velikou výhodou práškových plastů je možnost opětovného využití prášku, který se nepřichytil na cílenou součást. Složení práškových plastů je z pigmentů, směsi pryskyřic a dalších látek. [32]

Dnes se práškové nátěrové hmoty aplikují stříkáním, které spočívá v elektrickém nabití částic prášku a uzemnění součásti, na niž je technologie prováděna. Rozlišujeme dvě metody, jak stříkání na předmět aplikovat. První je metoda elektrostatická, kde je na trysce stříkací pistole napětí 30 – 90 kV, čímž dochází k ionizaci vzduchu proudícího pistolí. Ionizovaným vzduchem prochází prášek, na jehož částice se zachytí volné ionty a tím dojde k zápornému nabití těchto částic. Je žádoucí získat co nejvíce nabitých práškových částic. Druhá metoda se nazývá tribostatická (též elektrokinetická). Částice se tribostatickým efektem (elektrokineticky) nabíjejí díky rychlému pohybu stříkací pistolí a třením o specifický typ materiálu, kterým je pistole vyplněna. U této metody není vysoké napětí, tudíž se netvoří žádné volné ionty a elektrická pole. Výkon lze regulovat průtokem vzduchu nanášecí pistolí a poměrem obsahu prášku a vzduchu. [32]

Pro správné a úspěšné nanesení práškových povlaků je nutné dodržet několik podmínek. První z nich je kvalita stlačeného vzduchu. Je nezbytně nutné, aby se do stříkací pistole dostával jen čistý a suchý stlačený vzduch. Nesmí obsahovat olej či vodu. Nečistý vzduch a tím i znečištěný prášek vede ke vzhledovým vadám součástí. Další podmínkou je kvalita vzduchu v lakovně. Důležitým faktorem je relativní vlhkost, která je optimální mezi 45 a 50 %. Díky regulaci vlhkosti můžeme ovlivnit rychlost a rovnoměrnost tvoření povlaků. Samozřejmostí je kvalita samotného práškového plastu, jehož vlhkost nesmí překročit 0,4 % a skelný přechod by neměl mít nižší teplotu než 50 °C. Podíl částic práškového plastu o velikosti 35 – 40 μm by měl být co nejvyšší. Poslední podmínkou je dobré uzemnění součásti. U elektrostatického nanášení je nutné součást uzemnit z důvodu odvedení záporného náboje. U tribostatické metody by bez uzemnění předmětu došlo

k tvorbě kladného náboje, který odpuzuje prášek vycházející z pistole. Kvůli bezpečnosti je nutné uzemnit stříkací pistole a stříkací kabiny. [32]

6 Experimentální část

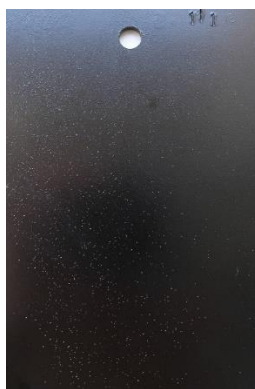
Náplní experimentální části této bakalářské práce bylo vytvořit zkušební vzorky s galvanickým a žárovým zinkem. Po vytvoření vzorků na ně byla aplikována kataforetická barva, čímž došlo k uvolnění vodíku, který způsobil vady v organickém povlaku. Zkušební vzorky byly opticky vyhodnoceny a porovnány. Konec experimentální části se věnuje technicko - ekonomickému zhodnocení.

6.1 Zkušební vzorky s galvanickým zinkem

K experimentu bylo použito 40 galvanicky pozinkovaných vzorků z materiálu S235JK o rozměrech 100 x 150 x 3 mm. Vzorky byly rozděleny do deseti sad po čtyřech kusech a lišily se dobou moření a proudovou hustotou. Všechny zkušební vzorky byly mořeny v kyselině chlorovodíkové. Odvodíkované vzorky byly žihány při 200 °C po dobu dvou hodin. V tabulkách 1 - 10 jsou shrnuty všechny zkoušené vzorky, u kterých se měřila tloušťka naneseného povlaku kataforézou. U každého vzorku bylo provedeno pět měření a měřila se nejnižší hodnota Lo , nejvyšší hodnota Hi , průměrná hodnota \bar{x} a směrodatná odchylka σ .

6.2 Označení zkušebních vzorků s galvanickým zinkem

Všechny zkušební vzorky jsou označené dvěma číslicemi, např. 1/1, jak je možno vidět na obrázku 15. První číslice udává dobu moření v minutách. Doba moření byla 1, 5, 10, 30 a 60 minut. Druhá číslice vyjadřuje hodnotu proudové hustoty v ampérech, která byla 1 A a 3 A na dm^2 . V každé sadě je jeden ze vzorků označen písmenem O, což znamená, že tento zkušební vzorek byl odvodíkován při 200 °C.



Obrázek 15: Příklad označení zkušebního vzorku

Tabulka 1: Tloušťka KTL povlaku moření 1/1

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	16,33	26,03	20,17	1,62
2	5	12,23	23,53	19,31	2,57
3	5	13,23	25,13	17,67	2,73
4	5	8,73	24,63	15,45	3,94

Tabulka 2: Tloušťka KTL povlaku moření 1/3

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	14,63	22,93	19,79	1,49
2	5	14,73	38,23	27,61	7,48
3	5	17,93	25,83	22,53	1,17
4	5	10,43	18,83	16,03	1,23

Tabulka 3: Tloušťka KTL povlaku moření 5/1

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	23,23	38,13	30,93	4,18
2	5	15,33	32,13	25,95	4,31
3	5	19,23	47,43	28,29	9,0
4	5	22,13	36,73	27,07	3,83

Tabulka 4: Tloušťka KTL povlaku moření 5/3

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	15,23	26,03	20,05	2,38
2	5	15,43	21,93	17,84	1,04
3	5	14,43	27,63	21,59	2,08
4	5	16,63	27,73	19,72	2,56

Tabulka 5: Tloušťka KTL povlaku moření 10/1

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	12,93	23,54	17,49	2,33
2	5	14,23	28,43	20,43	3,39
3	5	14,83	24,83	20,57	2,02
4	5	22,33	37,95	28,85	4,79

Tabulka 6: Tloušťka KTL povlaku moření 10/3

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	31,83	50,43	38,07	5,77
2	5	19,14	32,63	25,57	3,19
3	5	18,26	39,03	28,49	5,36
4	5	20,03	39,03	29,79	4,81

Tabulka 7: Tloušťka KTL povlaku moření 30/1

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	13,43	23,63	19,61	2,16
2	5	26,55	44,36	33,09	5,13
3	5	17,93	25,23	20,85	2,71
4	5	15,04	36,29	22,15	6,18

Tabulka 8: Tloušťka KTL povlaku moření 30/3

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	17,93	33,83	27,83	4,55
2	5	33,74	43,19	37,94	4,26
3	5	18,15	32,33	24,17	3,57
4	5	25,03	54,13	33,95	6,90

Tabulka 9: Tloušťka KTL povlaku moření 60/1

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	13,43	18,63	15,55	2,07
2	5	13,75	28,11	21,51	3,85
3	5	17,83	29,33	23,01	2,29
4	5	15,81	27,66	20,09	3,33

Tabulka 10: Tloušťka KTL povlaku moření 60/3

vzorek	n	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
1	5	20,83	38,93	27,45	5,49
2	5	11,69	23,87	18,19	3,43
3	5	16,84	26,73	21,51	2,35
4	5	13,03	22,74	19,83	2,10

Všechny hodnoty byly naměřeny pomocí tloušťkoměru Elcometer 456, který pracuje na principu nedestruktivní elektromagnetické metody.



Obrázek 16: Elcometer 456 [33]

6.3 Zkušební vzorky s žárovým zinkem

Bylo použito 20 žárově zinkovaných vzorků z materiálu S235JK o rozměrech 100 x 150 x 3 mm, které byly rozděleny do pěti skupin (v každé skupině čtyři vzorky). Jednotlivé skupiny vzorků se lišily koncentrací a obsahem kyseliny chlorovodíkové a délkou moření. V tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty a naměřené tloušťky povlaku. U tloušťky povlaku se vždy provádělo pět měření na každém zkušebním vzorku. Všechna měření byla provedena pomocí tloušťkoměru PosiTector 6000.

Tabulka 11: Zkušební vzorky s žárovým zinkem

Vzorky	Koncentrace HCl [%]	Obsah HCl [g/l]	Čas moření [min]	Lo [μm]	Hi [μm]	\bar{x} [μm]	σ [μm]
Skupina 1	4,2	55	65	-	-	-	-
1	4,2	55	65	76	80	78	1,4
2	4,2	55	65	86	96	89,2	4,2
3	4,2	55	65	76	84	81,6	3,3
4	4,2	55	65	78	86	81,6	3,3
Skupina 2	7,7	96	129	-	-	-	-
1	7,7	96	129	82	94	86,8	5,2
2	7,7	96	129	76	86	80,0	4,2
3	7,7	96	129	82	90	85,2	3,0
4	7,7	96	129	84	94	90,0	4,2
Skupina 3	8,0	99	188	-	-	-	-
1	8,0	99	188	76	80	76,8	1,8
2	8,0	99	188	82	94	88,0	4,9
3	8,0	99	188	80	84	82,8	1,8
4	8,0	99	188	74	86	78,8	5,0
Skupina 4	6,3	79	256	-	-	-	-
1	6,3	79	256	96	104	98,8	3,0
2	6,3	79	256	90	94	92,4	1,7
3	6,3	79	256	86	94	88,4	3,3
4	6,3	79	256	88	94	91,2	2,7

Skupina 5	4,7	61	987	-	-	-	-
1	4,7	61	987	78	92	82,8	5,6
2	4,7	61	987	70	90	78,4	7,5
3	4,7	61	987	80	94	87,2	5,4
4	4,7	61	987	80	94	84,8	6,1

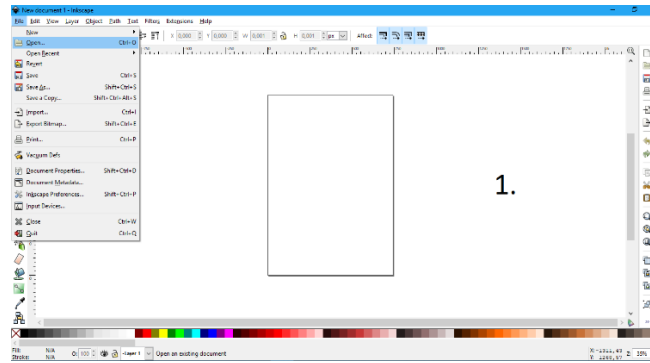


Obrázek 17: PosiTector 6000 [34]

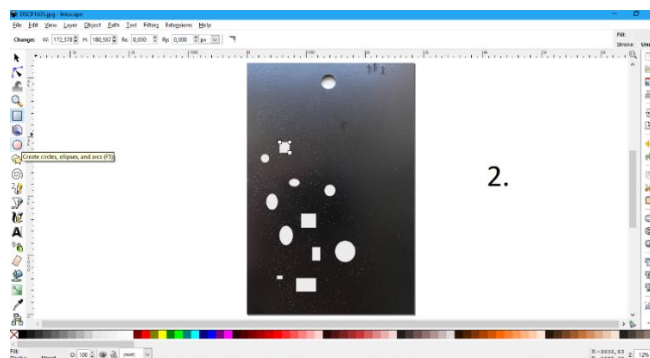
6.4 Postup pro vyhodnocení vad povlaků zkušebních vzorků

U zkušebních vzorků 100 x 150 x 3 mm se vizuálně analyzovala celá plocha. Vady byly vyhodnoceny pomocí programu Inkscape. Na níže uvedených obrázcích je naznačen postup krok po kroku, jak se se vzorky v programu pracovalo.

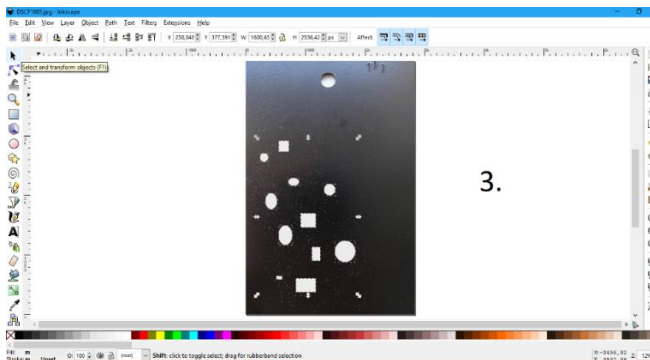
1. Vložit obrázek
2. Vyznačení všech vad na zkušebním vzorku
3. Označení všech vyznačených vad pomocí kláves ctrl + shift
4. Tlačítko Extensions (rozšíření)
5. Visualize Path (zviditelnit trajektorii)
6. Measure Path (změřit trajektorii)
7. Nastavit Area (plocha) a jednotku px (pixel)
8. Tlačítko Apply (použít)
9. Výpočet



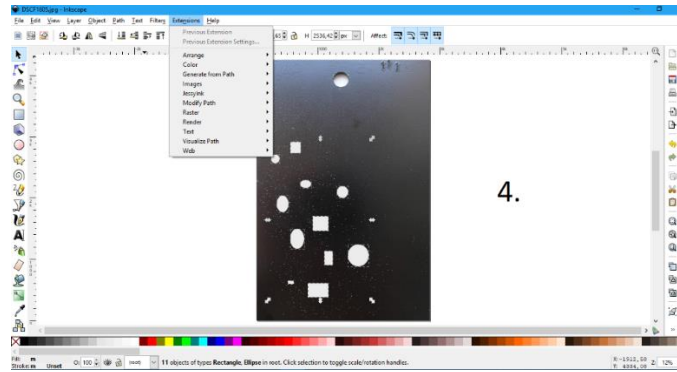
Obrázek 18: Inkscape krok 1



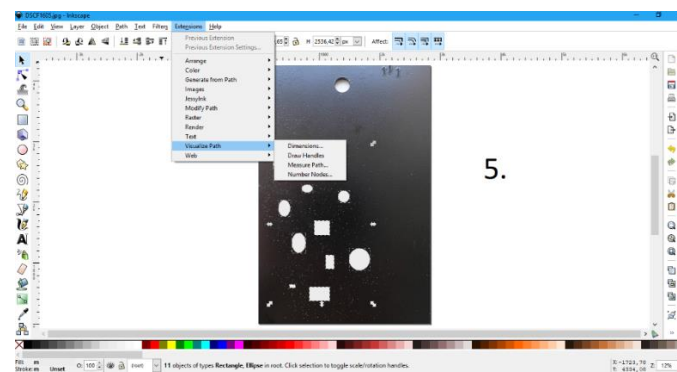
Obrázek 19: Inkscape krok 2



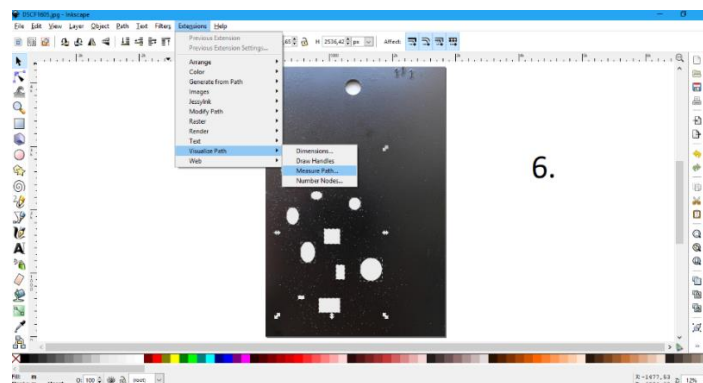
Obrázek 20: Inkscape krok 3



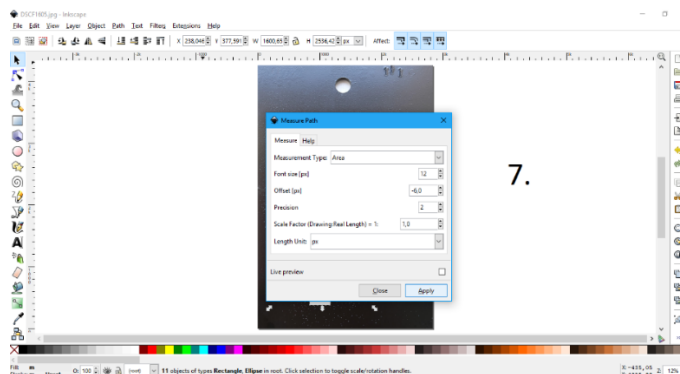
Obrázek 21: Inkscape krok 4



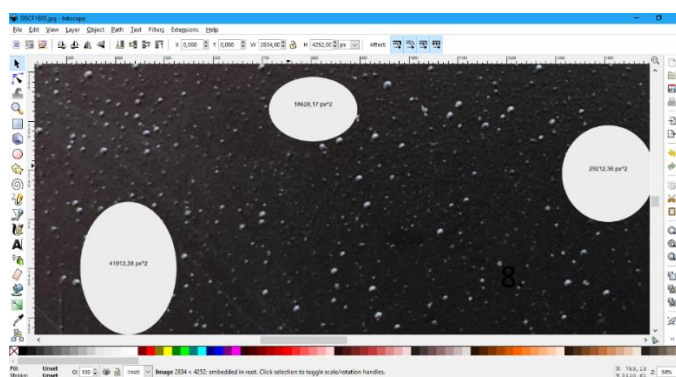
Obrázek 22: Inkscape krok 5



Obrázek 23: Inkscape krok 6



Obrázek 24: Inkscape krok 7



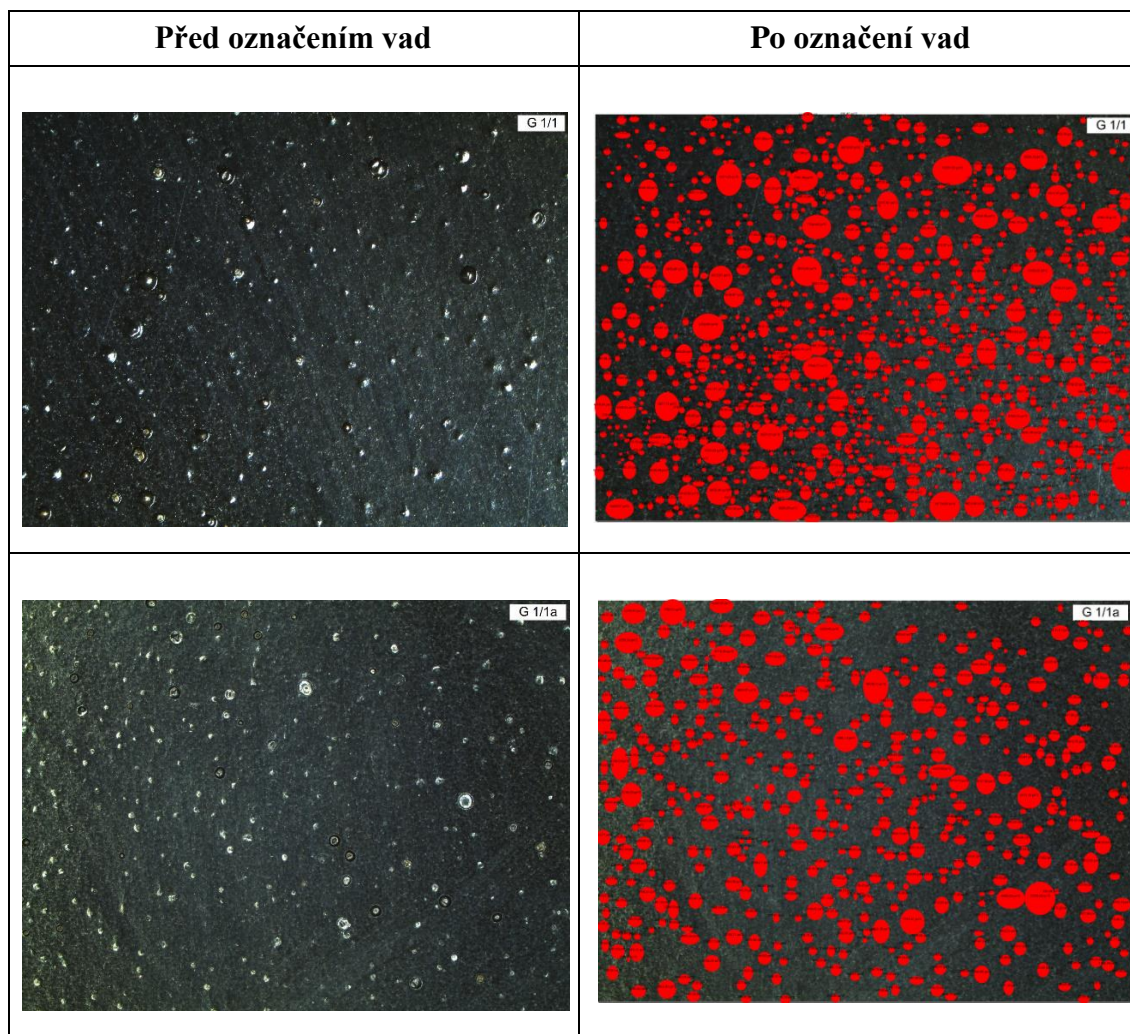
Obrázek 25: Inkscape krok 8

6.5 Vyhodnocení zkušebních vzorků

Pro vyhodnocení vad byl z každé sady vybrán jeden zkušební vzorek a vzorek, který byl odvodíkován. Pro lepší viditelnost vad se vždy pracovalo jen s částí vzorku. Vzorky byly rozděleny na segmenty dle četnosti vad na povrchu. Vzorky byly zkoumány vizuálně, tudíž se výsledky mohou lišit. Na níže přiložených obrázcích je zkušební vzorek vždy před vyhodnocením a po vyhodnocení vad. Na obrázcích 26 - 45 jsou vyhodnoceny vzorky s galvanickým zinkem, na obrázcích 46 - 50 pak vzorky se zinkem žárovým. V tabulce 12 jsou shrnuty výsledná procenta vad jednotlivých zkušebních vzorků s galvanickým zinkem. V tabulce 13 jsou vyhodnoceny zkušební vzorky s žárovým zinkem.

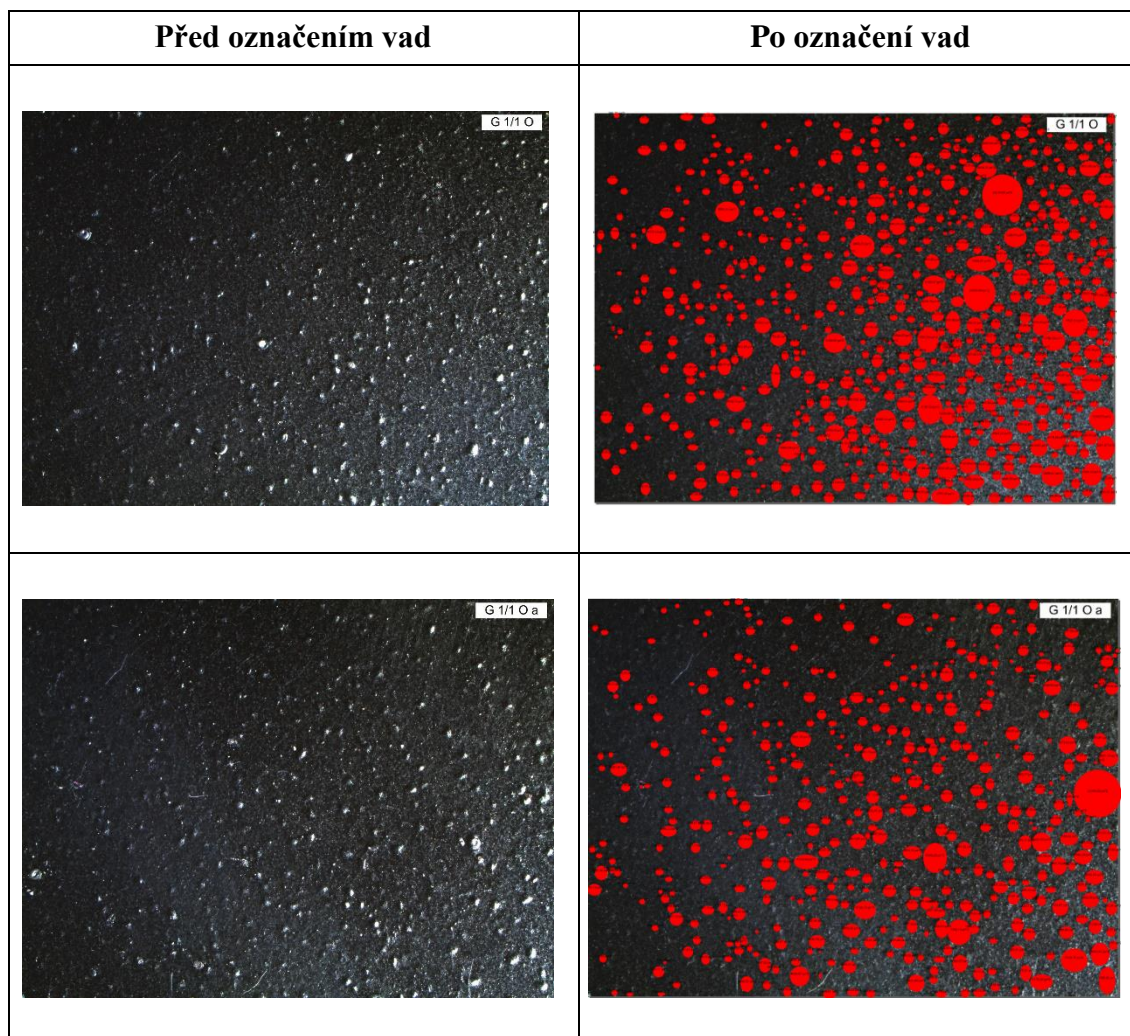
6.5.1 Zkušební vzorky s galvanickým zinkem

- Moření 1/1



Obrázek 26: Zkušební vzorky moření 1/1

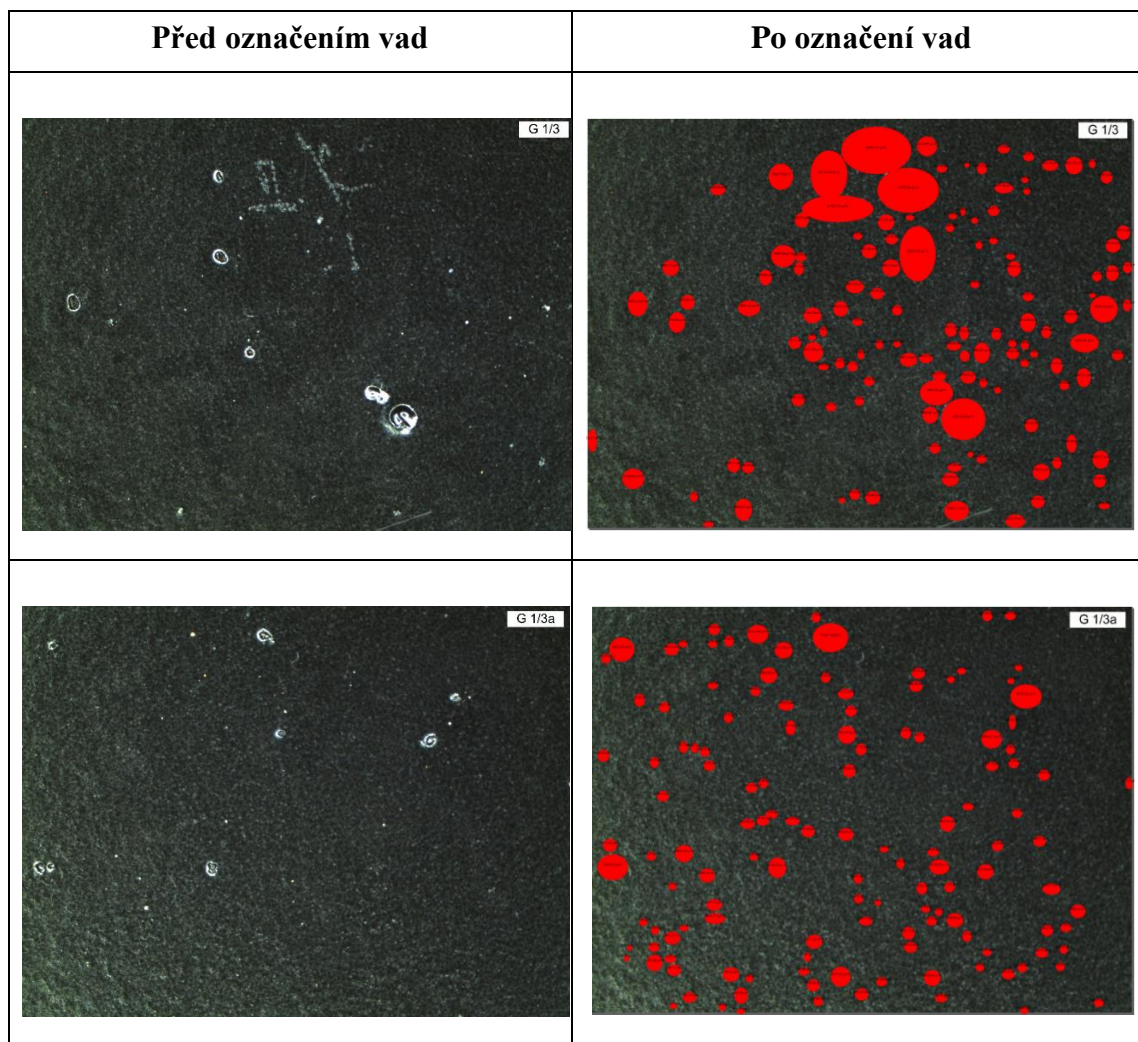
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 1 minuta při proudové hustotě 1 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 20,87 % vad.



Obrázek 27: Zkušební vzorky moření 1/1 odvodíkové

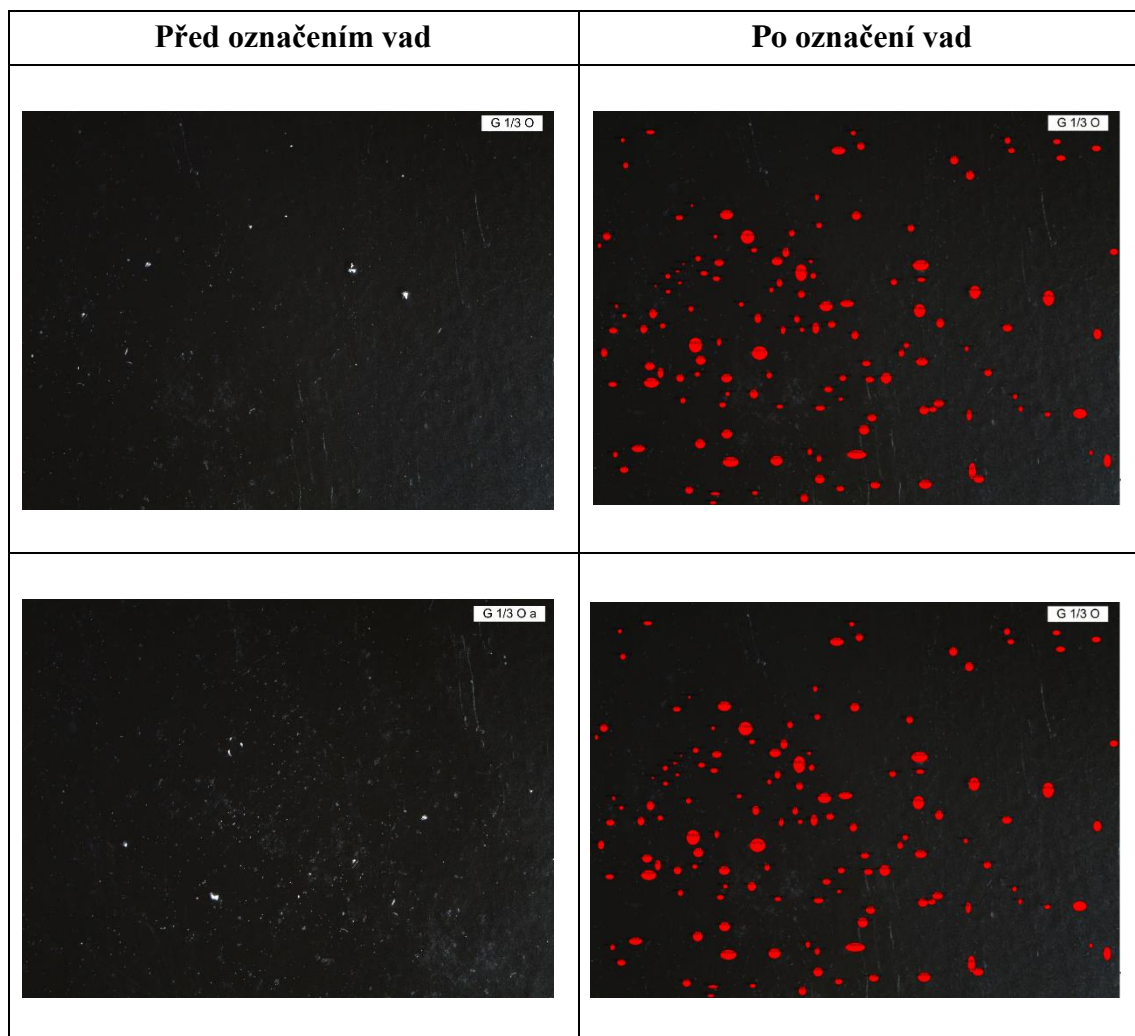
U tohoto zkušebního galvanicky pokoveného vzorku s dobou moření 1 minuta a proudovou hustotou 1 A na dm^2 , který byl odvodíkován, byly výsledné vady 18,17 %.

- Moření 1/3



Obrázek 28: Zkušební vzorky moření 1/3

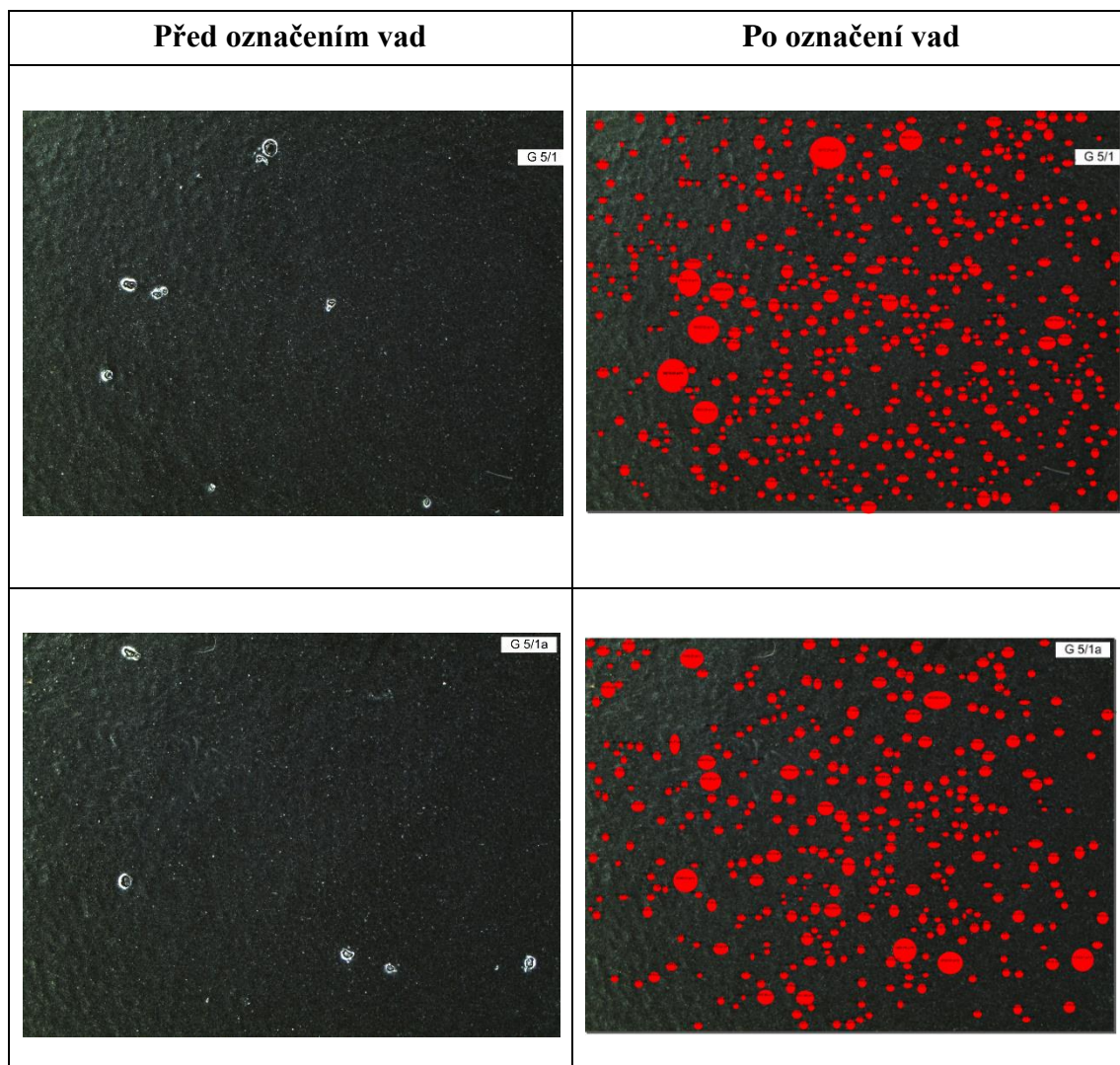
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 1 minuta při proudové hustotě 3 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 8,20 %. Na obrázku 28 je vidět, že povrch je lehce zvrásněný.



Obrázek 29: Zkušební vzorky moření 1/3 odvodíkové

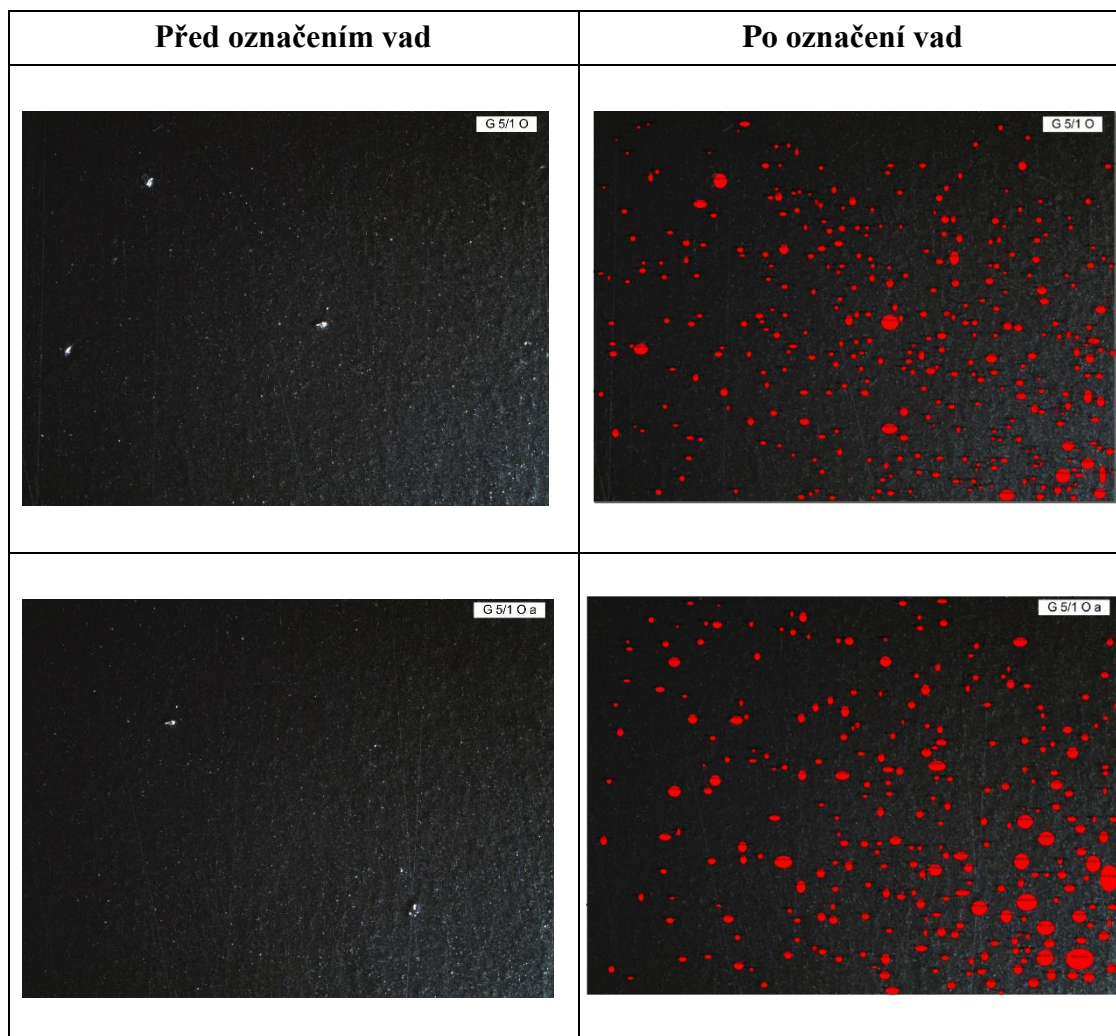
U odvodíkového zkušebního vzorku s dobou moření 1 minuta a proudovou hustotou 3A na dm^2 bylo vyhodnoceno 4,60 % vad. Povrch vzorku je mechanicky poničen, což se do vyhodnocování nepočítalo.

- Moření 5/1



Obrázek 30: Zkušební vzorky moření 5/1

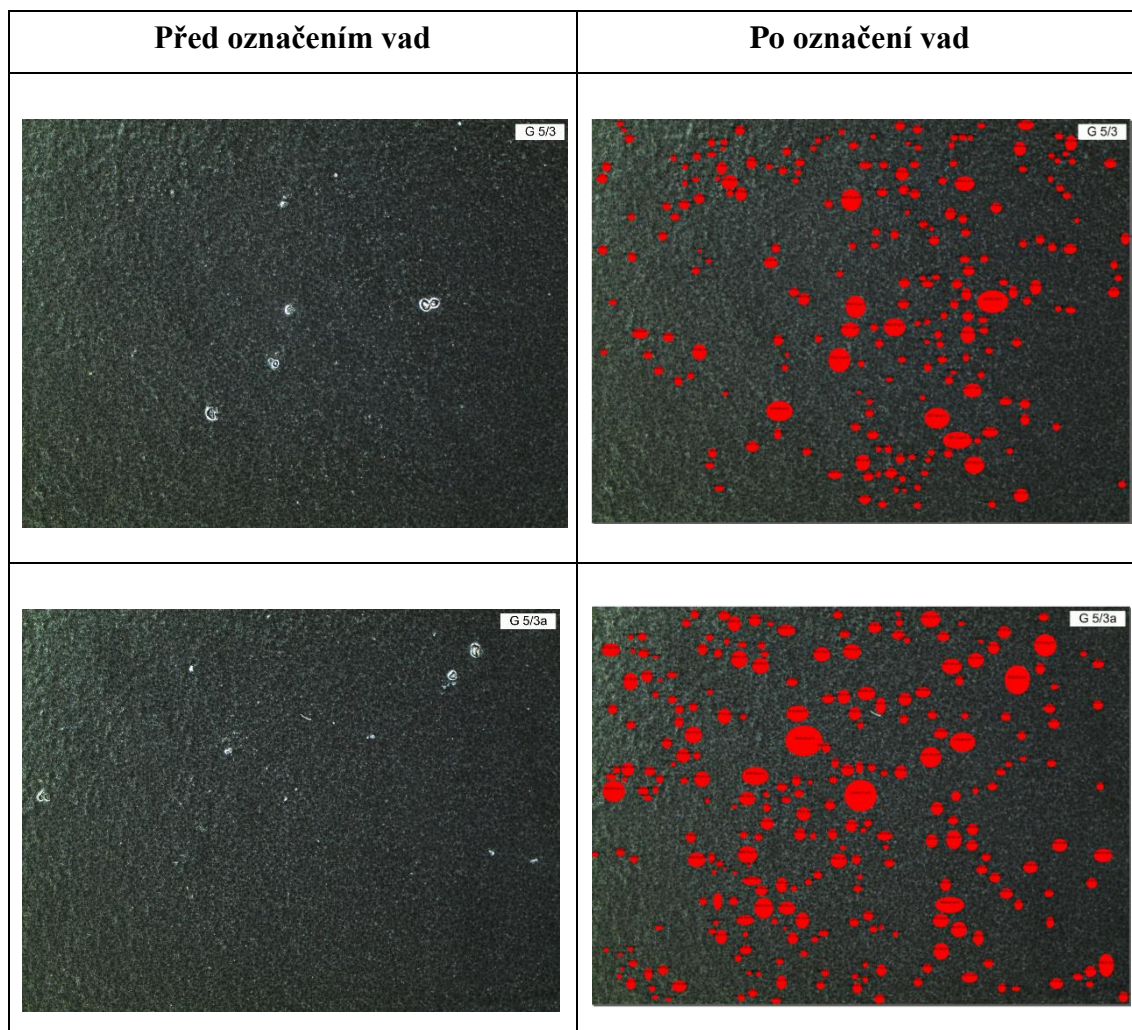
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 5 minut při proudové hustotě 1 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 10,39 % vad.



Obrázek 31: Zkušební vzorky moření 5/1 odvodíkové

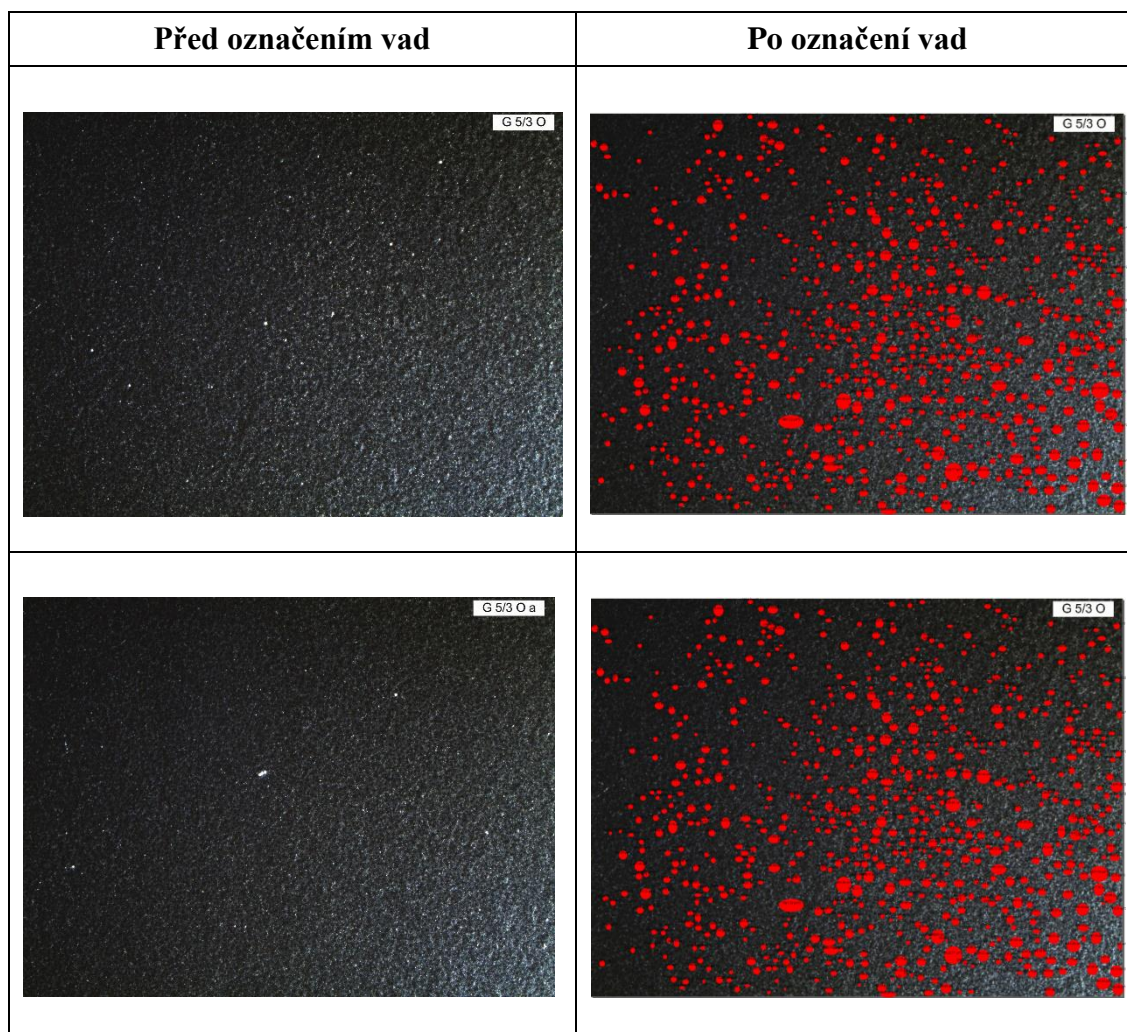
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 5 minut při proudové hustotě 1 A na dm^2 , kde došlo k odvodíkování, bylo určeno 5,87 % vad.

- Moření 5/3



Obrázek 32: Zkušební vzorky moření 5/3

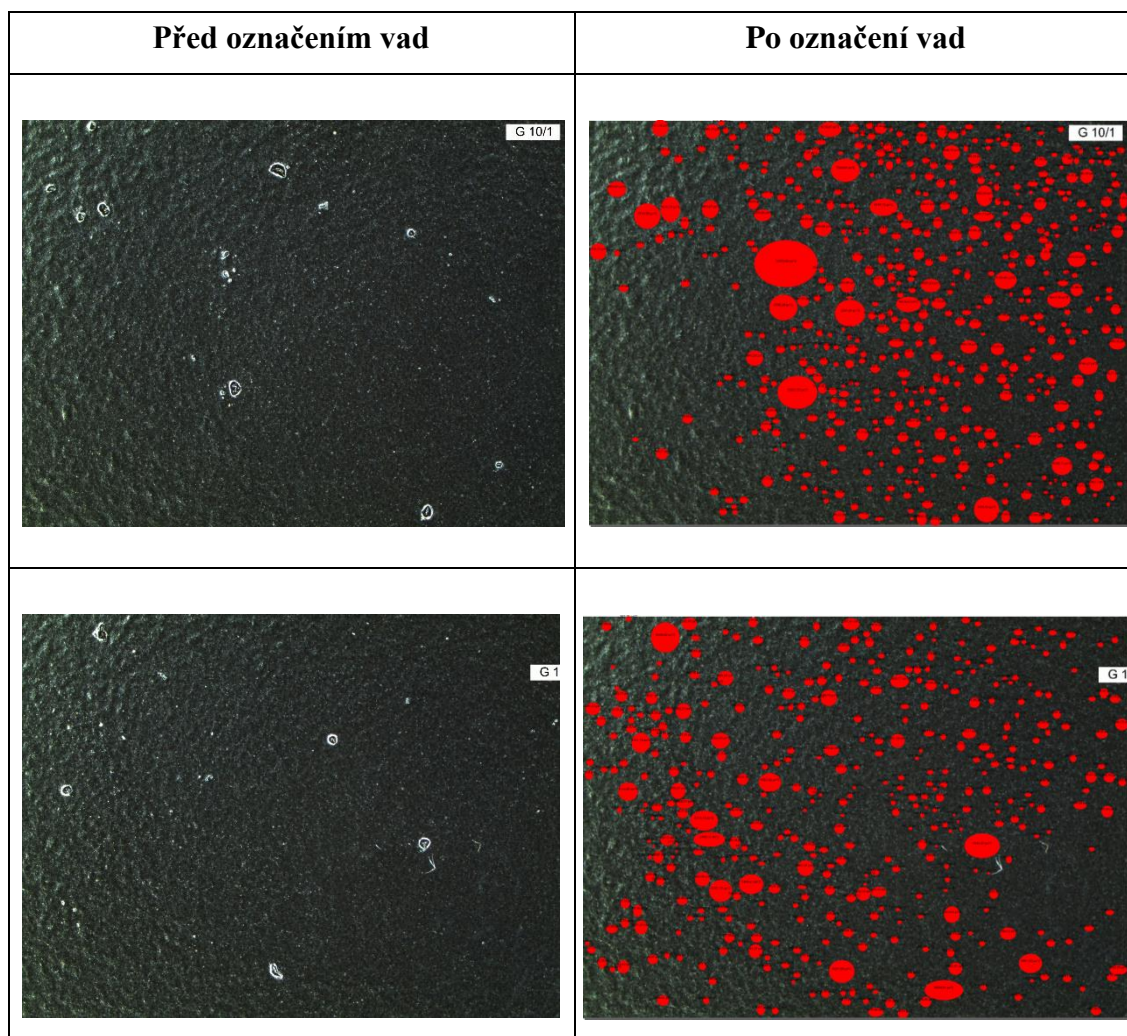
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 5 minut při proudové hustotě 3 A na dm² bylo vyhodnoceno 9,18 %.



Obrázek 33: Zkušební vzorky moření 5/3 odvodíkové

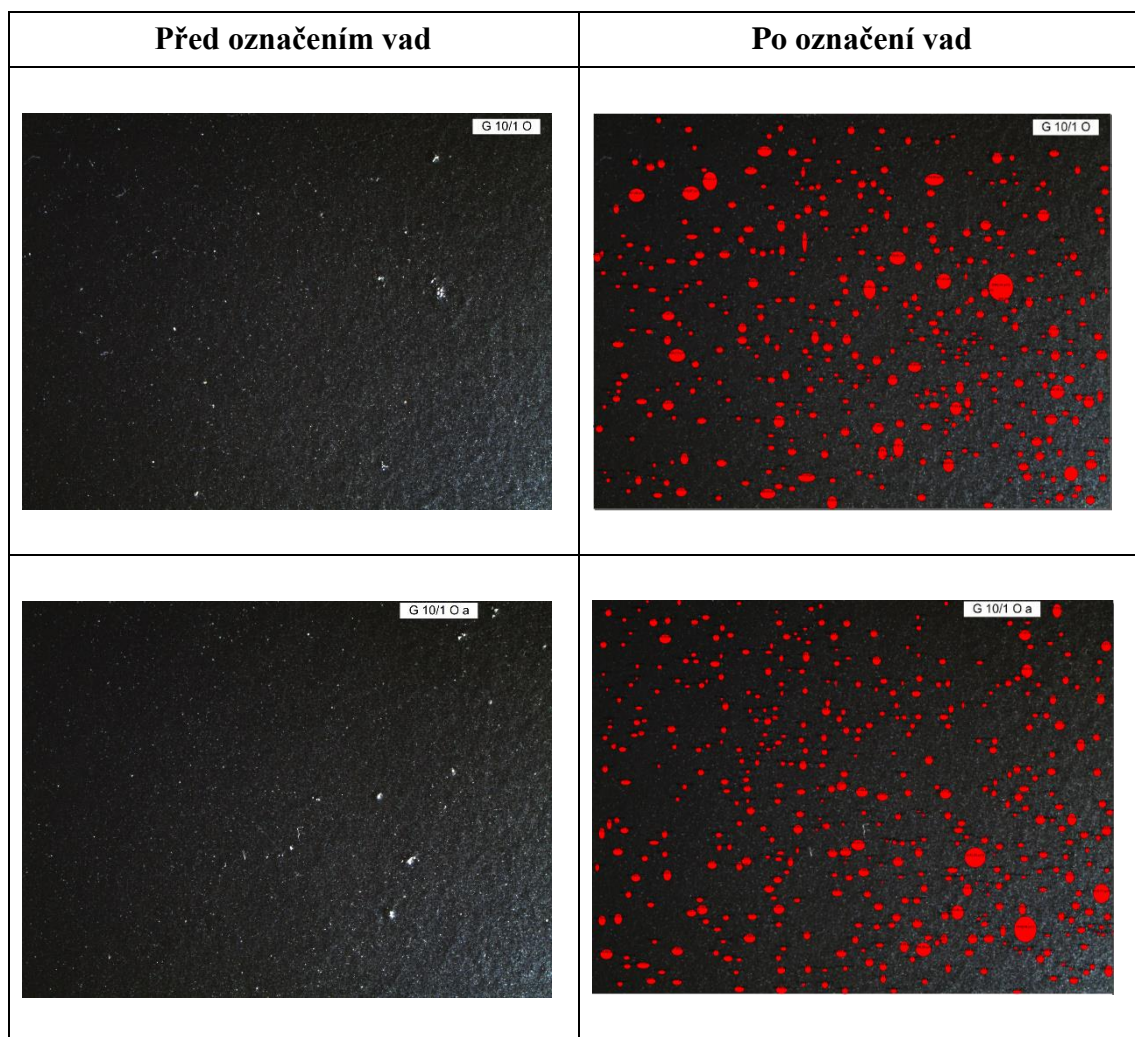
U odvodíkového vzorku s časem moření 5 minut a proudovou hustotou 3 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 8,94 %.

- **Moření 10/1**



Obrázek 34: Zkušební vzorky moření 10/1

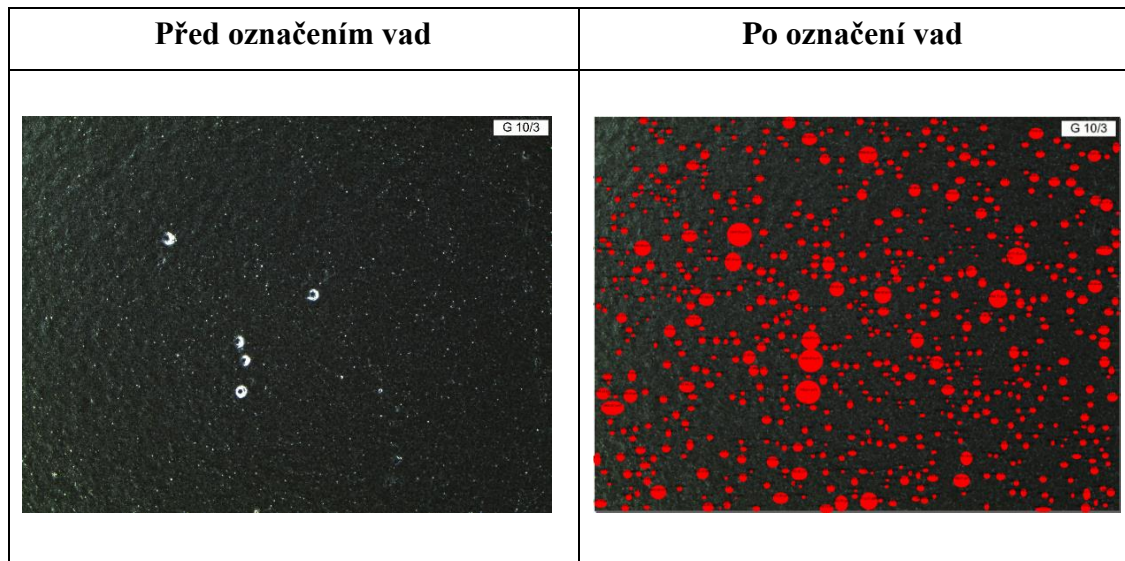
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 10 minut při proudové hustotě 1 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 12,53 % vad.



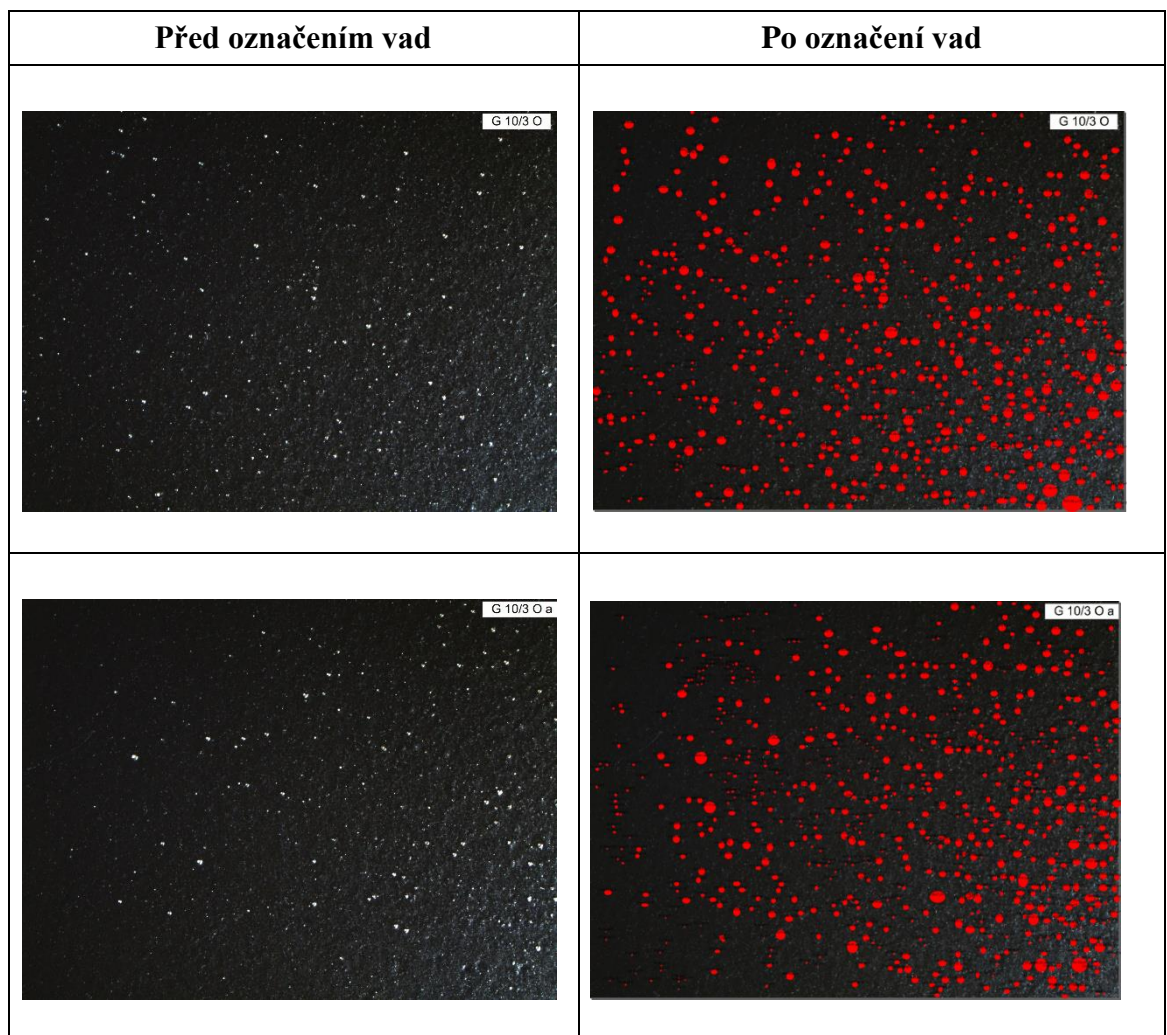
Obrázek 35: Zkušební vzorky moření 10/1 odvodíkované

U zkušebního vzorku, který byl odvodíkován a byl mořen 10 minut při proudové hustotě 1 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 7,83 % vad.

- Moření 10/3



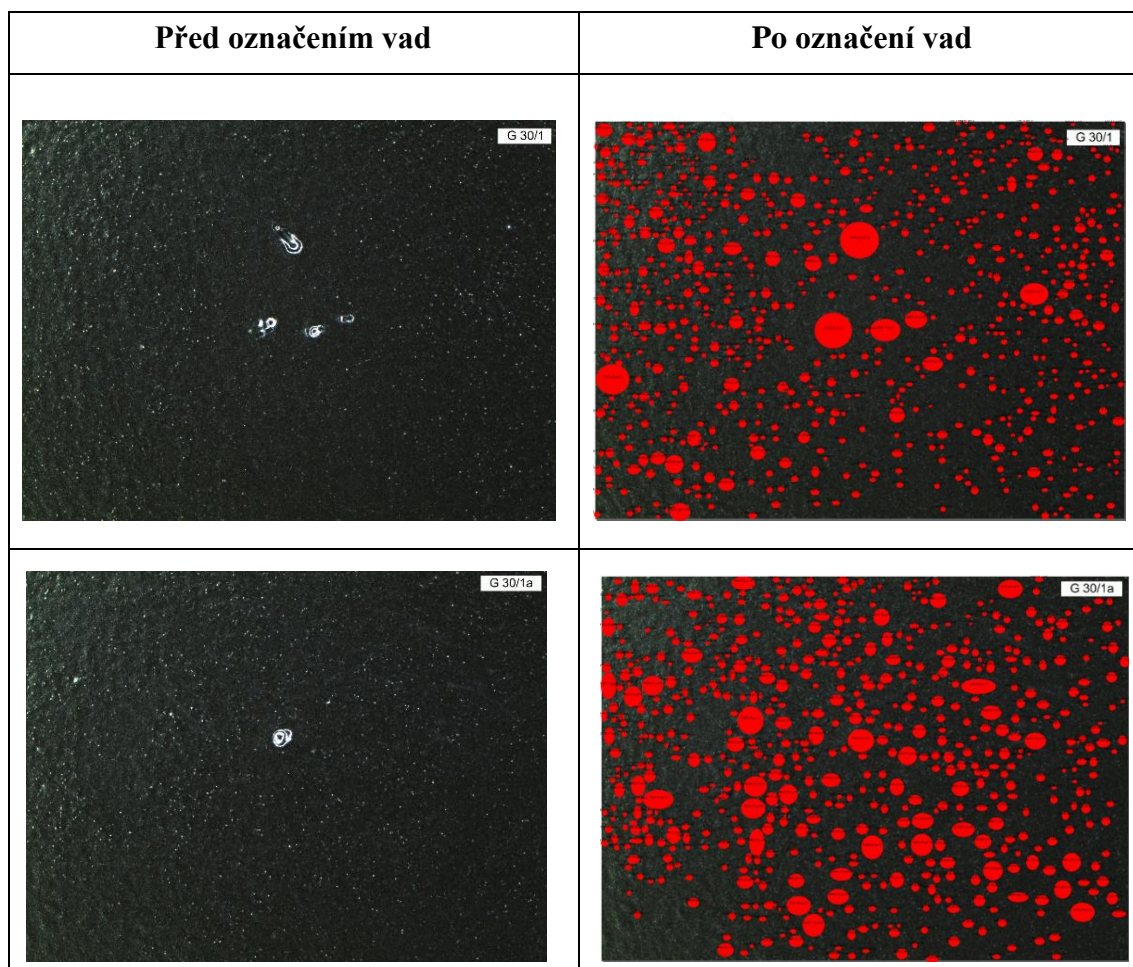
Obrázek 36: Zkušební vzorky moření 10/3



Obrázek 37: Zkušební vzorky moření 10/3 odvodíkované

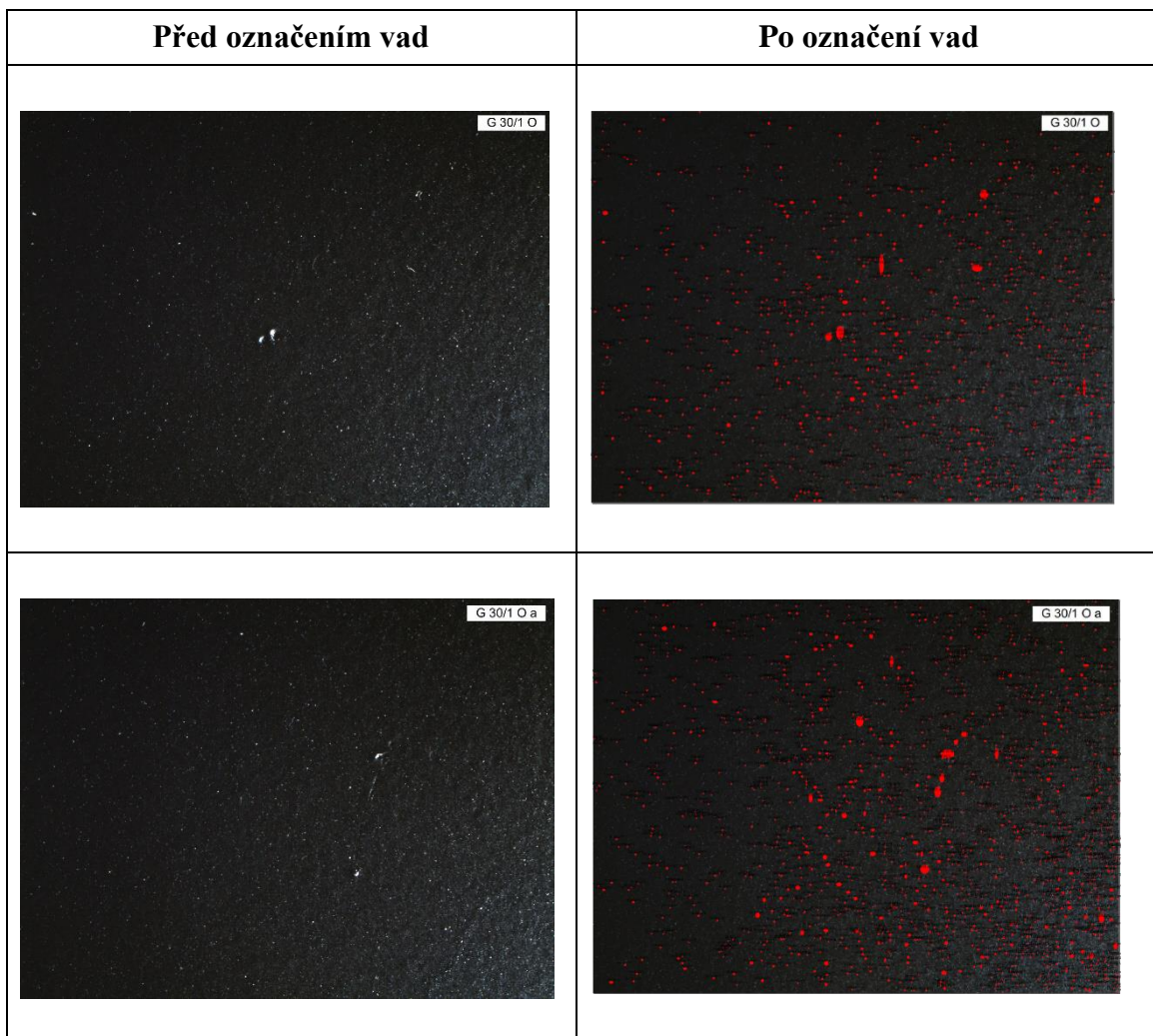
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 10 minut při proudové hustotě 3 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 13,24 %. U odvodíkovaného zkušebního vzorku se stejnými parametry moření a proudové hustoty byly výsledné vady 9,21 %.

- **Moření 30/1**



Obrázek 38: Zkušební vzorky moření 30/1

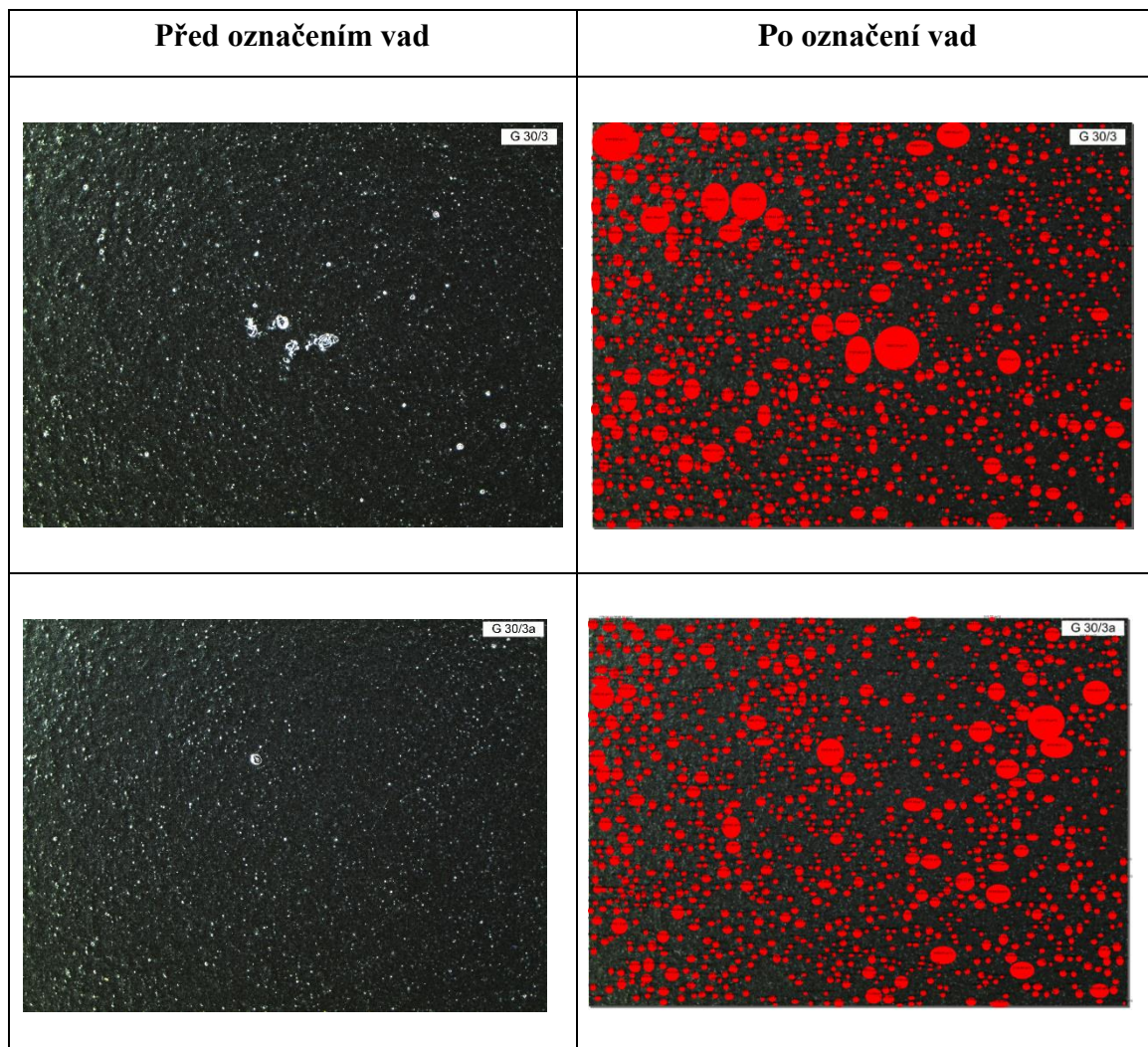
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 30 minut při proudové hustotě 1 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 16,17 %.



Obrázek 39: Zkušební vzorky moření 30/1 odvodíkované

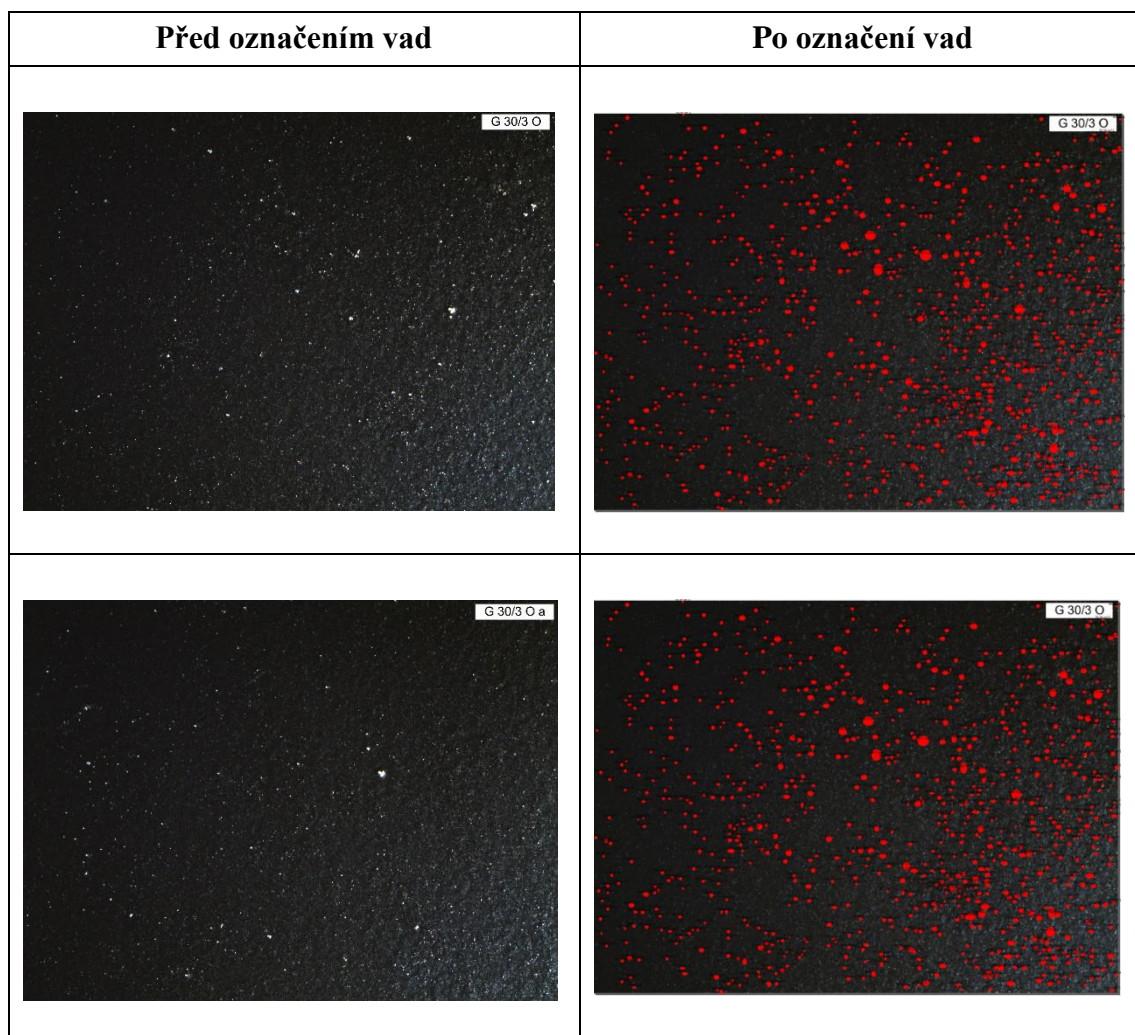
Při době moření 30 minut a proudové hustotě 1 A na dm^2 , kde proběhlo odvodíkování vzorku, bylo vyhodnoceno 2,95 %.

- Moření 30/3



Obrázek 40: Zkušební vzorky moření 30/3

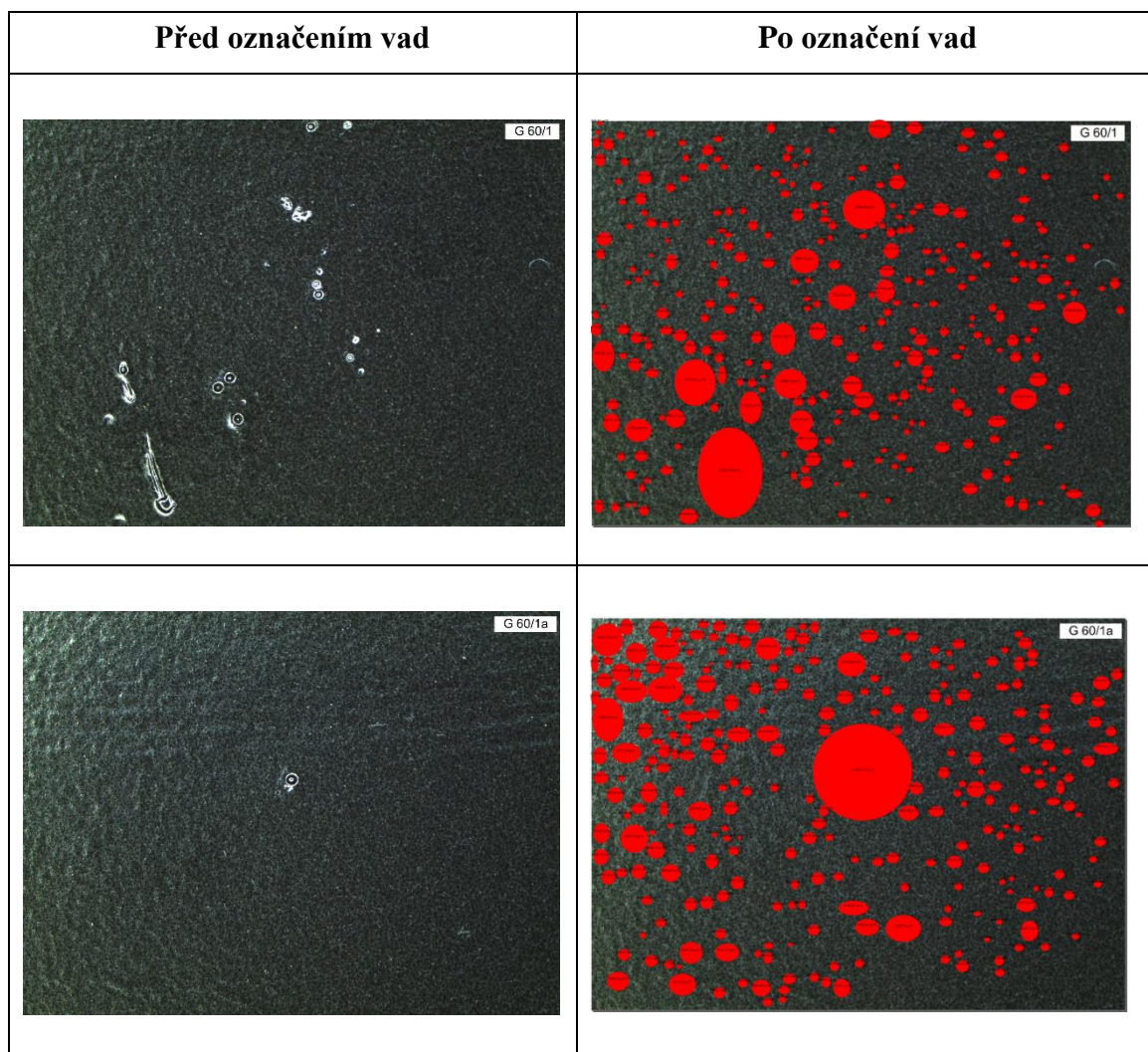
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 30 minut při proudové hustotě 3 A na dm² bylo vyhodnoceno 17,67 %.



Obrázek 41: Zkušební vzorky moření 30/3 odvodíkové

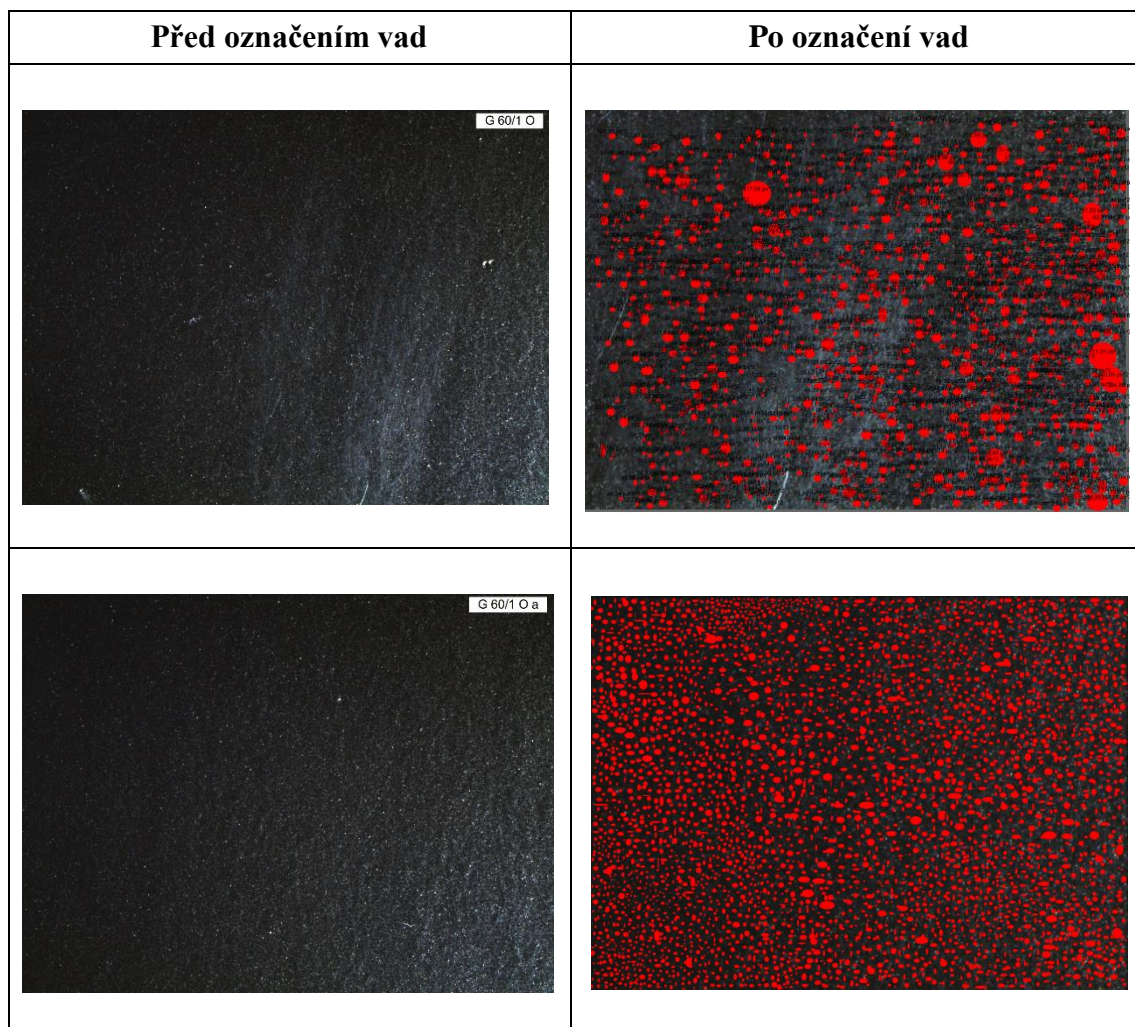
U odvodíkového zkušebního vzorku s dobou moření 30 minut a proudové hustotě 3 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 7,62 % vad.

- Moření 60/1



Obrázek 42: Zkušební vzorky moření 60/1

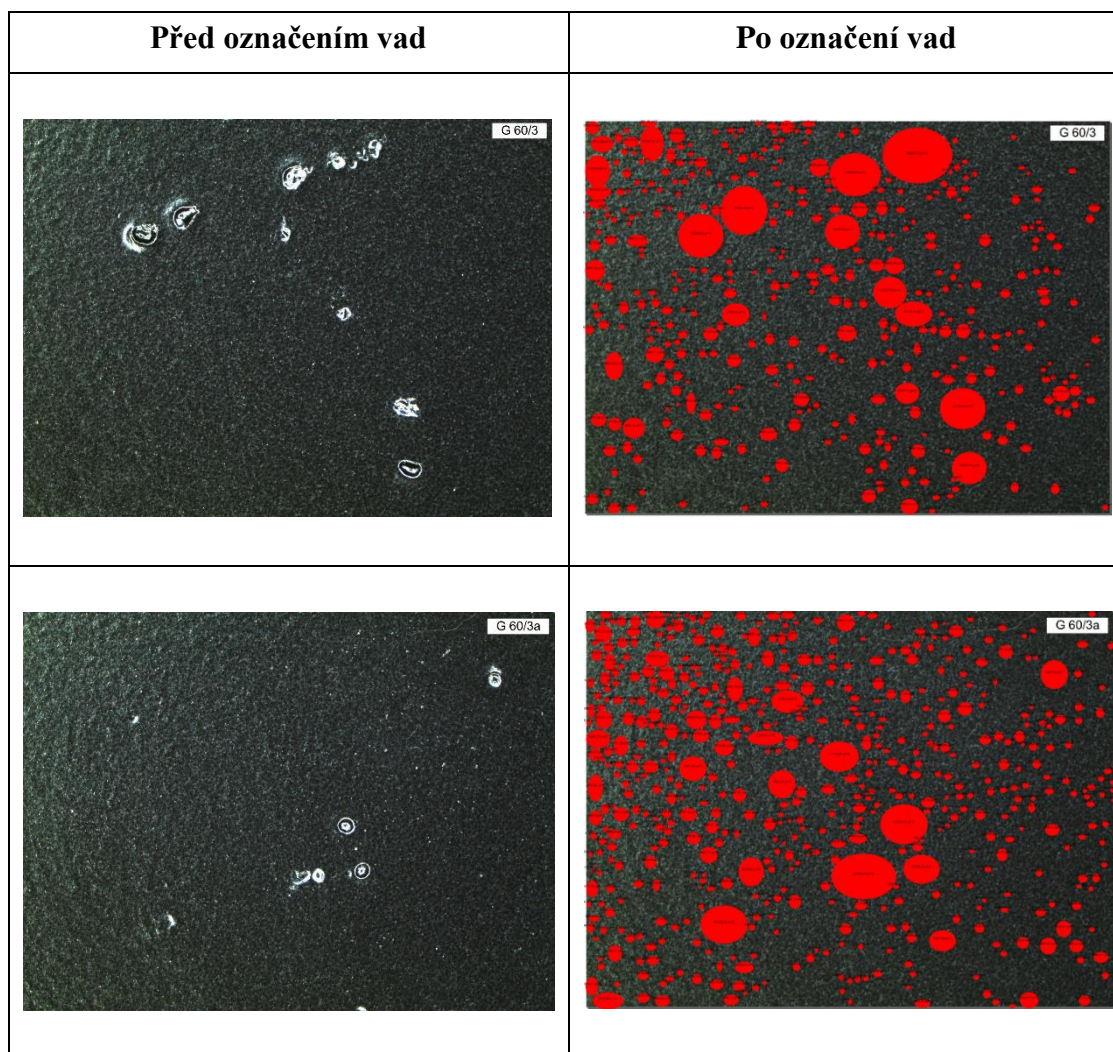
Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 60 minut při proudové hustotě 1 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 19,79 % vad. Na obrázku 42 je zřetelné, že povrch vzorku je zvrásněný.



Obrázek 43: Zkušební vzorky moření 60/1 odvodňované

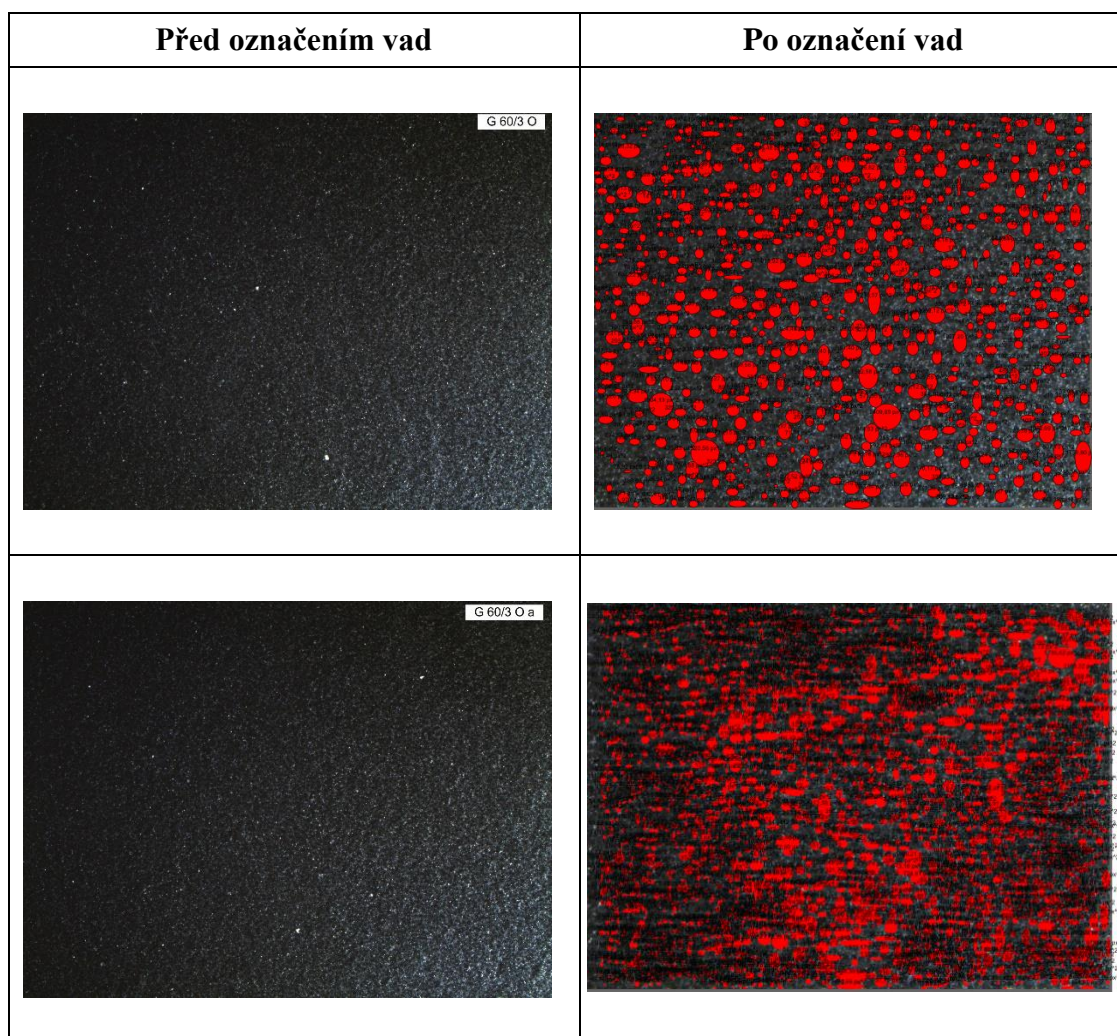
Zkušební vzorek s dobou moření 60 minut při proudové hustotě 1 A na dm^2 , kde došlo k odvodňování, bylo vyhodnoceno 31,11 % vad. Tento vzorek bylo obtížné vizuálně vyhodnotit, protože plocha byla vadami pokryta z velké části.

- **Moření 60/3**



Obrázek 44: Zkušební vzorky moření 60/3

Při galvanickém pokovení s předúpravou mořením s časem 60 minut při proudové hustotě 3 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 18,43 % vad povrchu.



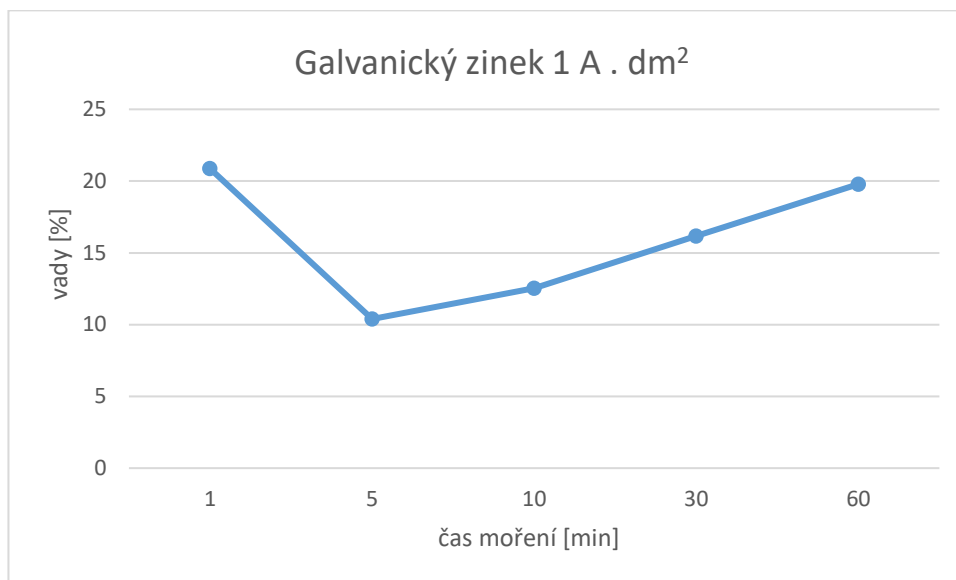
Obrázek 45: Zkušební vzorky moření 60/3 odvodíkové

U odvodíkováného zkušebního vzorku s dobou moření 60 minut při proudové hustotě 3 A na dm^2 bylo vyhodnoceno 48,56%, což je nejvíce ze všech zkušebních vzorků.

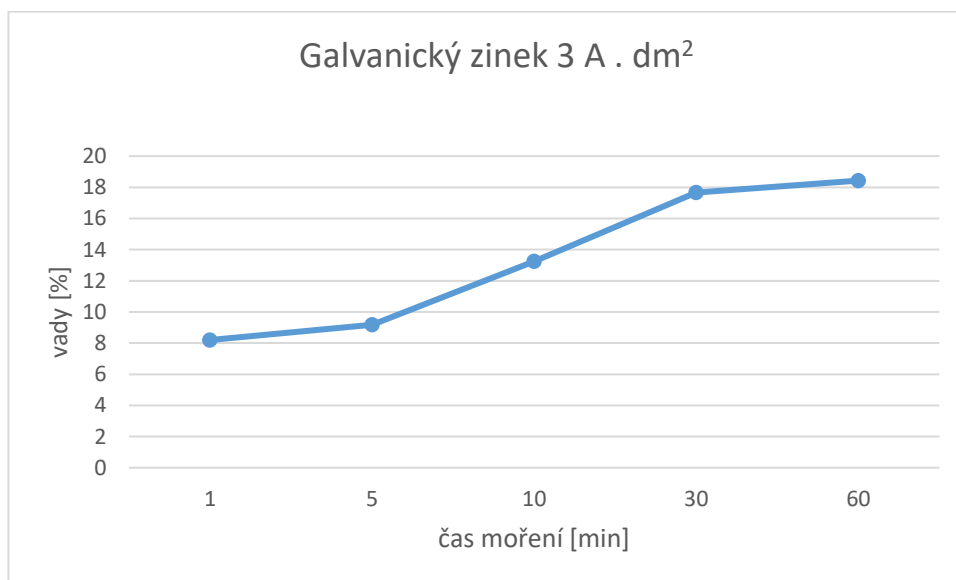
Z důvodu vysoké četnosti vad způsobených vodíkem byly odvodíkové zkušební vzorky s časem moření 60 minut a proudovou hustotou 1 a 3 A na dm^2 vyhodnoceny z jedné čtvrtiny. Při výsledném sčítání vad potom byla hodnota čtyřikrát vynásobena.

Tabulka 12: Vyhodnocení zkušebních vzorků s galvanickým zinkem

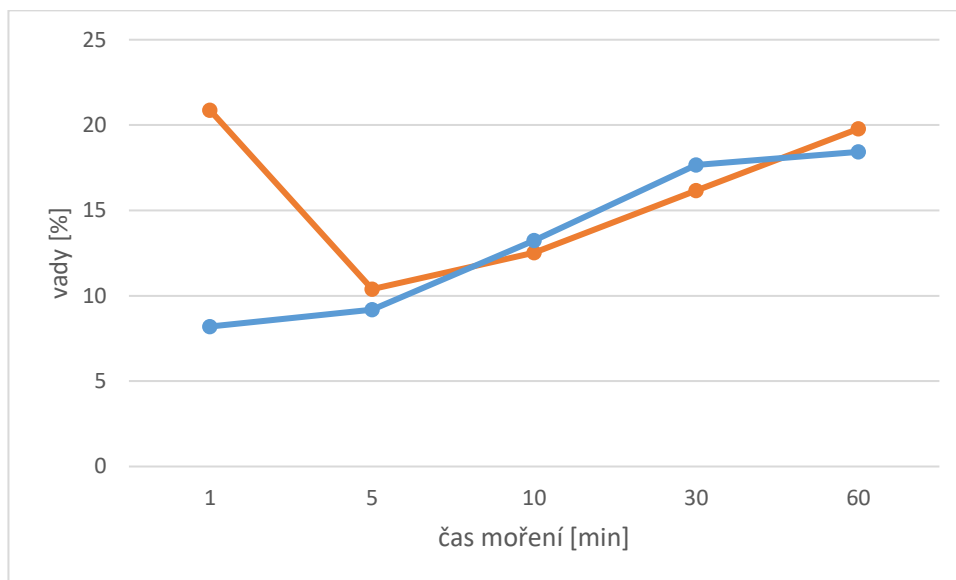
Zkušební vzorek	Moření HCl [min]	Žihání	Vady nátěru [%]
G 1/1	1	NE	20,87
G 1/3	1	NE	8,20
G 5/1	5	NE	10,39
G 5/3	5	NE	9,18
G 10/1	10	NE	12,53
G 10/3	10	NE	13,24
G 30/1	30	NE	16,17
G 30/3	30	NE	17,67
G 60/1	60	NE	19,79
G 60/3	60	NE	18,43
G 1/1 O	1	ANO	18,17
G 1/3 O	1	ANO	4,60
G 5/1 O	5	ANO	5,87
G 5/3 O	5	ANO	9,94
G 10/1 O	10	ANO	7,83
G 10/3 O	10	ANO	9,21
G 30/1 O	30	ANO	2,95
G 30/3 O	30	ANO	7,62
G 60/1 O	60	ANO	31,11
G 60/3 O	60	ANO	48,56

Graf 1: Vyhodnocení vad u galvanického zinku při proudové hustotě 1 A . dm²

V Grafu 1 je vyhodnocení vad zkušebních vzorků s galvanickým zinkem při proudové hustotě 1 A na dm². Až na první zkušební vzorek s dobou moření 1 minuta, který se odchyľuje od ostatních, jsou výsledky přijatelné.

Graf 2: Vyhodnocení vad u galvanického zinku při proudové hustotě 3 A . dm²

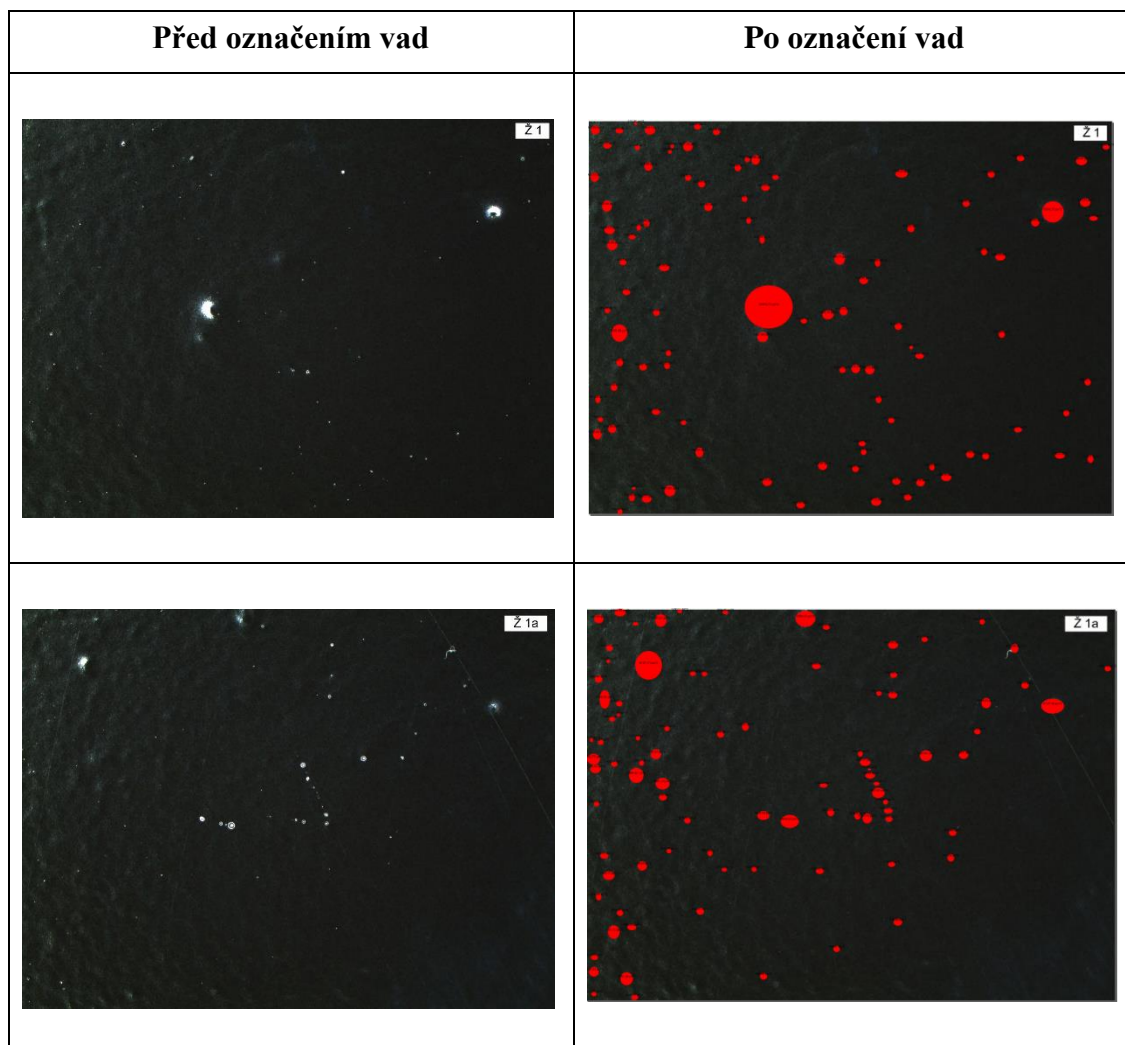
V Grafu 2 je vyhodnocení zkušebních vzorků s galvanickým zinkem při proudové hustotě 3 A na dm². V tomto případě je výsledek takový, jaký by měl být, protože by mělo platit, že při vyšších časech moření a vyšší proudové hustotě je způsobeno více vad povrchu.

Graf 3: Porovnání vzorků s galvanickým zinkem pro proudovou hustotu 1 a 3 A . dm²

Graf 3 znázorňuje porovnání vzorků galvanicky pokovených při proudové hustotě 1 a 3 A na dm². Oranžová křivka je pro proudovou hustotu 1 A, modrá křivka pro 3 A.

6.5.2 Zkušební vzorky s žárovým zinkem

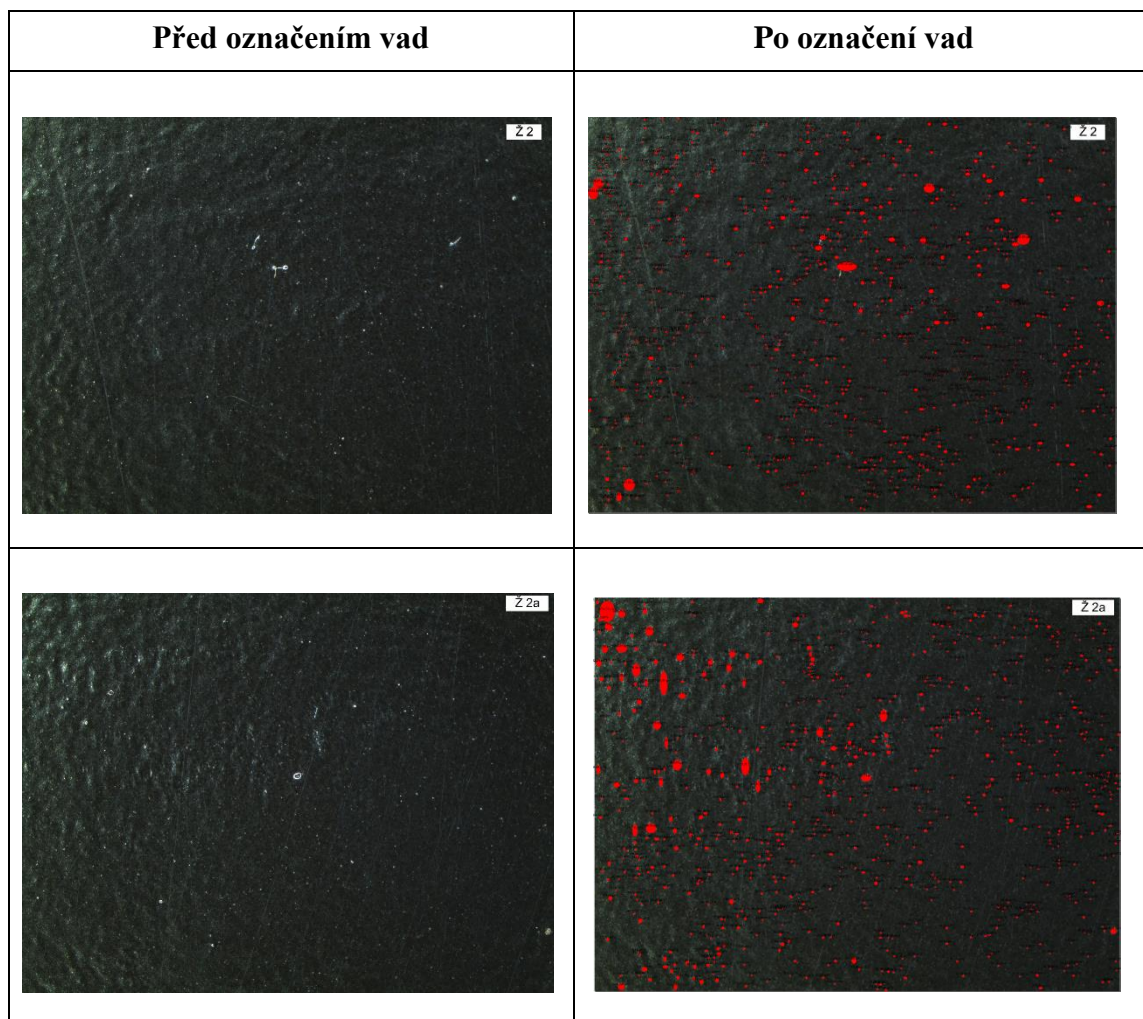
- Skupina 1 (moření 65 min)



Obrázek 46: Zkušební vzorky skupina 1

Při žárovém zinkování s předúpravou mořením s časem 65 minut bylo vyhodnoceno 2,56 % vad. Některé vady vznikly na povrchu již při aplikaci žárového zinkování, došlo i ke zvrásnění povrchu.

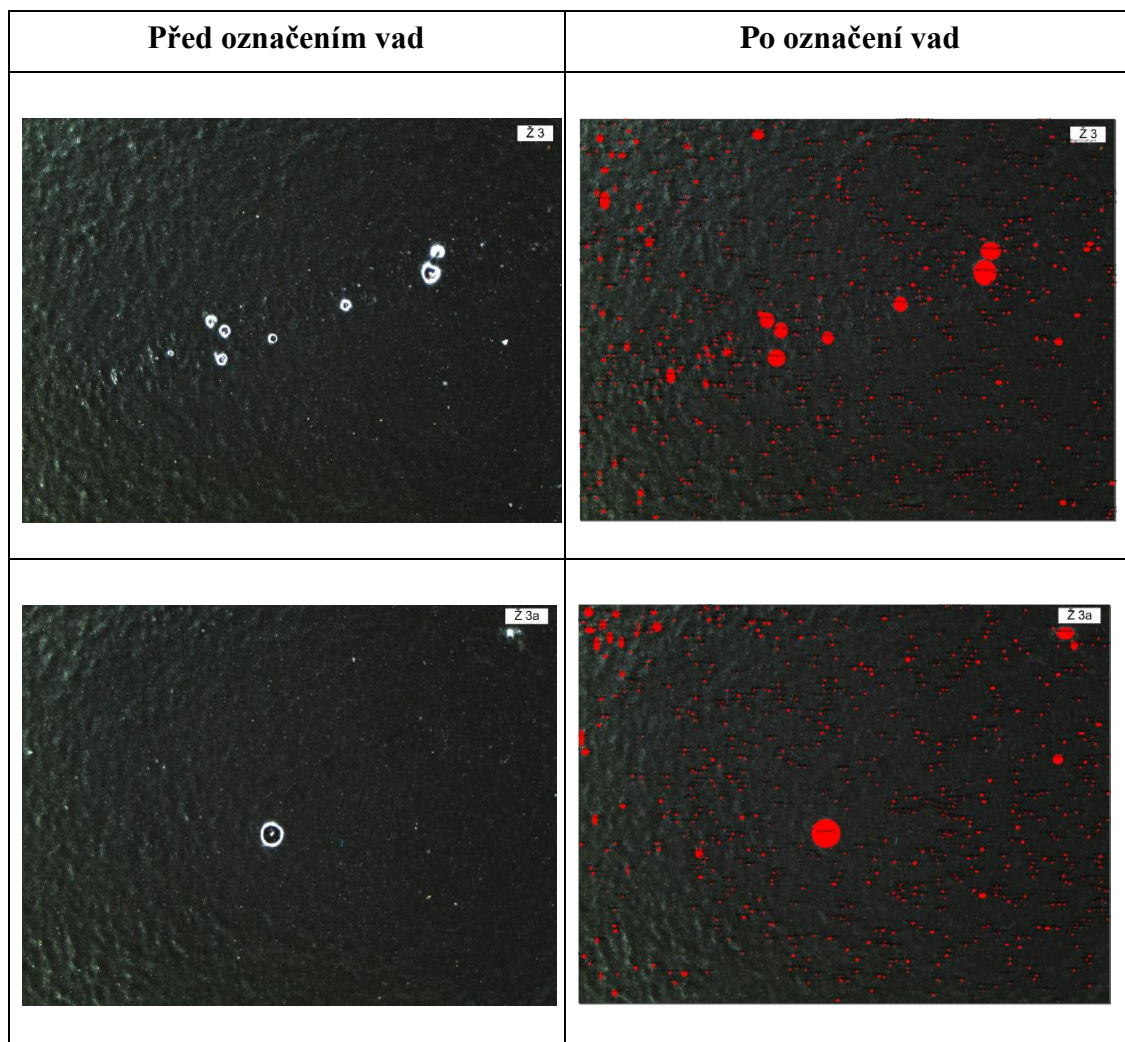
- Skupina 2 (moření 129 min)



Obrázek 47: Zkušební vzorky skupina 2

Při žárovém zinkování s předúpravou mořením s časem 129 minut bylo vyhodnoceno 2,56 % vad.

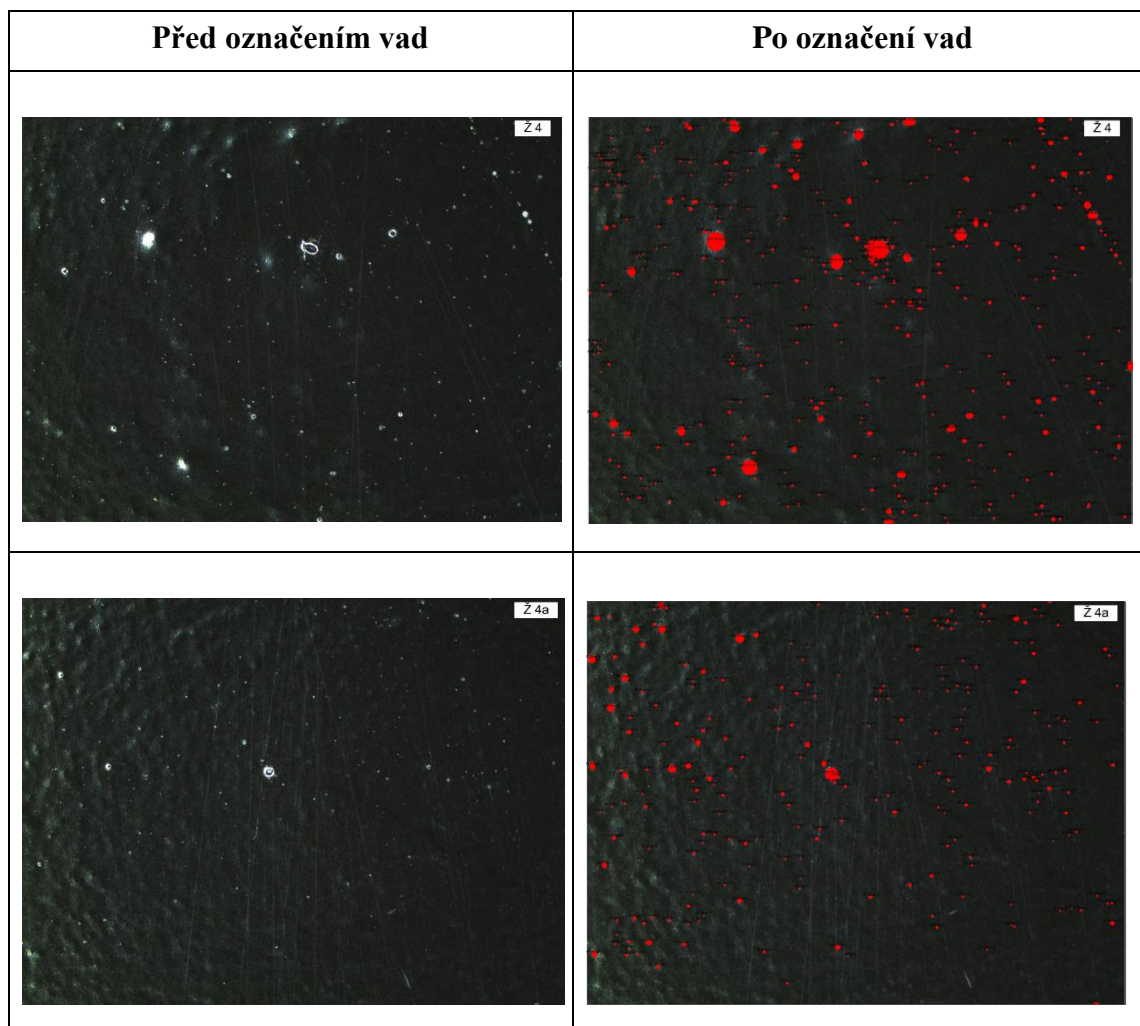
- Skupina 3 (moření 188 min)



Obrázek 48: Zkušební vzorky skupina 3

Při žárovém zinkování s předúpravou mořením s časem 188 minut bylo vyhodnoceno 3,08 % vad. Povrch je zvrásněný.

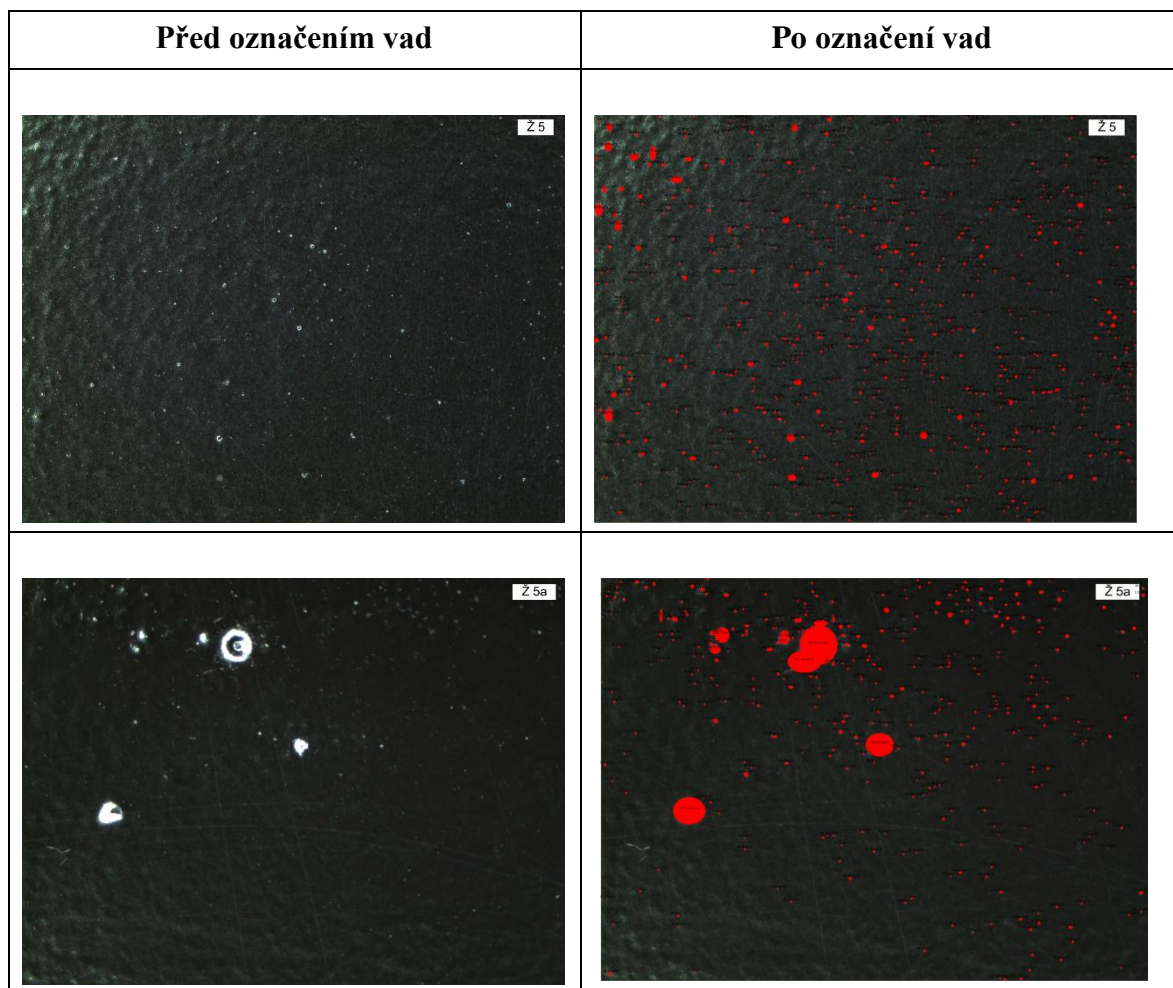
- Skupina 4 (moření 256 min)



Obrázek 49: Zkušební vzorky skupina 4

Při žárovém zinkování s předúpravou mořením s časem 256 minut bylo vyhodnoceno 3,24 % vad. Z obrázku 49 je vidět mechanické znehodnocení povrchu a zvrásněnost povrchu.

- Skupina 5 (moření 987 min)



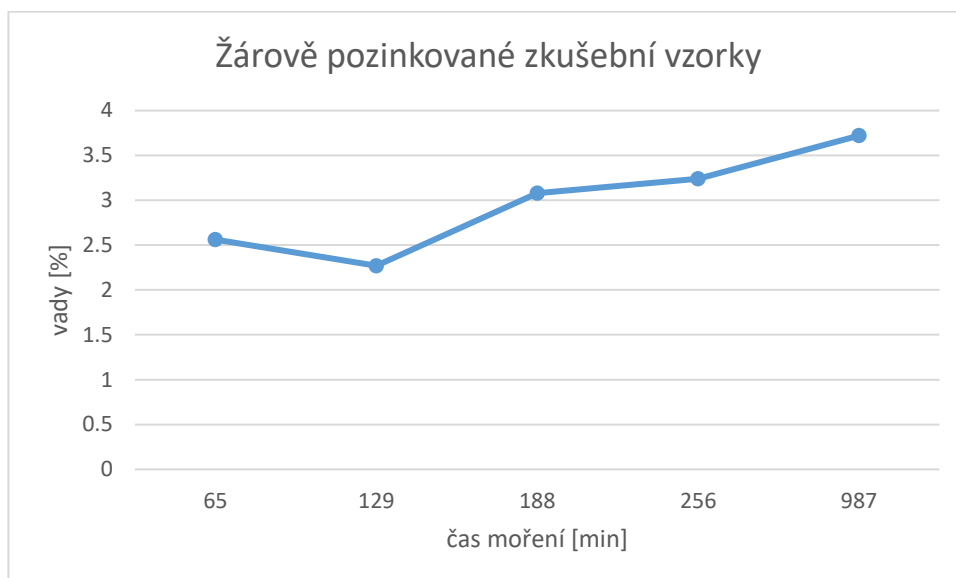
Obrázek 50: Zkušební vzorky skupina 5

Při žárovém zinkování s předúpravou mořením s časem 987 minut bylo vyhodnoceno 3,72 % vad. Povrch tohoto zkušebního vzorku byl rovněž mechanicky poškozen. Je zřetelné i zvrásnění povrchu.

Tabulka 13: Vyhodnocení zkušebních vzorků s žárovým zinkem

Skupina	Koncentrace HCl [%]	Obsah HCl [g/l]	Čas moření [min]	Vady nátěru [%]
Ž 1	4,2	55	65	2,56
Ž 2	7,7	96	129	2,27
Ž 3	8,0	99	188	3,08
Ž 4	6,3	79	256	3,24
Ž 5	4,7	61	987	3,72

Graf 4: Vyhodnocení vad u žárového zinku



Z Grafu 4 je patrné, že při vyhodnocení zkušebních vzorků s žárovým zinkem se odchyluje pouze první vzorek s dobou moření 65 minut. Následné vady u zkušebních vzorků mají vzestupnou tendenci s přibývajícím časem moření.

7 Technicko-ekonomické zhodnocení

V experimentální části byly zkušební vzorky pokoveny galvanickým a žárovým zinkem a následně bylo aplikováno kataforetické lakování. Tato část práce se zaměřuje na ekonomické hodnocení. Pořizovací náklady závisí na více faktorech, např. na technologickém postupu, na náročnosti technologie, na pracovním čase, na velikosti zakázky atd. Pro ekonomické zhodnocení, díky průzkumu tuzemského trhu, byla vypracována tabulka 14, kde jsou shrnuty náklady jednotlivých technologií. Ceny jsou uvedeny za 1 m² a následně přepočítány na cenu jednoho vzorku. Do výsledné ceny není započítáno moření, jehož hodnota bude pro jednotlivé časy odlišná. Pro porovnání jsou uvedeny pořizovací náklady práškového lakování. Finanční náklady žárového zinkování jsou uvedeny v závislosti na kilogramech v tabulce 15. Nejdůležitějším faktorem v tomto zhodnocení je však samotný vodík a jeho četnost vad na zkušebním vzorku. Výsledná cena se tedy odvíjí hlavně od počtu vad způsobených v nátěru.

Tabulka 14: Přibližné ceny technologií povrchových úprav

Technologie	Cena za 1m ² [Kč]	Cena vzorku [Kč]
Galvanické zinkování	250	3,75
Kataforetické lakování	120	1,8
Práškové lakování	200	3

Tabulka 15: Ceník žárového zinkování

Žárové zinkování	Cena s DPH za 1 kg [Kč]
Do 10 kg	41,14
Od 10 kg do 50 kg	35,09
Od 50 kg do 100 kg	30,25
Od 100 kg do 300 kg	27,83
Od 300 kg do 500 kg	25,41

8 Závěr

V teoretické části práce byla rozebrána problematika galvanického a žárového zinkování. Dále zde byl popsán vodík a jeho vliv v povrchových úpravách. Úkolem bylo také přiblížit nátěrové hmoty, kde je zahrnuto kataforetické lakování a práškové plasty.

Cílem experimentální části bylo vytvořit zkušební vzorky s galvanickým a žárovým zinkem. Celkem bylo vytvořeno 60 vzorků, 40 galvanicky pozinkovaných a 20 žárově pozinkovaných. Vzorky byly vytvořeny na základě změn technologického postupu. Lišily se dobou moření, proudovou hustotou, koncentrací a obsahem kyseliny chlorovodíkové. Na vzorky poté byla nanесena kataforetická barva, při které vznikl vodík, který způsoboval v nátěru vady. Hlavním úkolem této práce bylo tyto vady vyhodnotit a vzorky porovnat. Všechny zkušební vzorky byly vyhodnocovány pomocí programu Inkscape. Vyhodnocování vzorků bylo obtížné, výsledky se tedy proto mohou lišit, protože optické a manuální zhodnocení je těžko proveditelné a časově náročné, takže každý člověk může mít různé výsledky. Obecně platí, že při větší proudové hustotě a delších časech moření je větší četnost vodíku a tím tedy více vad v nátěru. To se v této práci potvrdilo, jak ukazuje graf 3, kde pro větší proudovou hustotu 3 A a přibývajícím časem moření je výskyt vad vyšší.

9 Seznam použitých zdrojů

- [1] Historie. *První plzeňská galvanovna s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <http://www.galvanovna.cz/techcz.html>
- [2] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. Praha: ČVUT, 1991
- [3] BENEŠ, Antonín. *Mechanická technologie kovů*. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1967.
- [4] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [5] CHOVANCOVÁ, Marta, Pavel FELLNER a Eugen ŠPIRK. *Základy korózie a povrchovej úpravy kovových materiálů*. 1. Bratislava: STU, 2002. ISBN 80-227-1688-X.
- [6] *Galvanické pokovení* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: https://vscht.cz/kat/download/lab_galvanicke_pokoveni.pdf
- [7] *Galvanovna Omega//Pokovení* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/princip_pokoveni.jpg
- [8] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. 1. Praha, ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01472-X.
- [9] *Předúprava ocelových povrchů* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.chedo.cz/kat/Preduprava--ocelovych---povrchu-440/>
- [10] VOJKOVSKÝ, Karel. *Sledování účinnosti odmašťovacích lázní*. Praha, 2008. Diplomová práce (Ing.). České vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní, Katedra tváření, slévání a svař. Vedoucí práce Viktor Kreibich.
- [11] ŠTURC, Josef. *Moření oceli*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985, 256 s.
- [12] *Průručka moření: Ošetřování povrchu nerezových ocelí* [online]. In: . [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: http://www.bohler-uddeholm.cz/media/Prirucka_Avesta_moreni.pdf
- [13] KUKLÍK, Vlastimil a Jan KUDLÁČEK. *Žárové zinkování*. 1. vyd. Havlíčkův Brod:

Asociace českých a slovenských zinkoven, 2014, 208 s. ISBN 978-80-905298-2-3.

[14] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-953-0.

[15] *Příručka žárového zinkování*. 3. vydání. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2009

[16] HAVRÁNKOVÁ, Zdeňka. *Žárové zinkování ponorem - Základní informace pro uživatele* [online] [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.acsz.cz/clanek/zarove-zinkovani-ponorem-zakladni-informace-prouzivatele/>

[17] Robert Buxbaum. *Much of the chemistry you learned is wrong* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.rebresearch.com/blog/much-of-the-chemistry-you-learned-is-wrong/>

[18] KREIBICH, Viktor, Jan KUDLÁČEK, Karel VOJKOVSKÝ, Dana BENEČOVÁ a Petr DRAŠNAR. *Metody stanovení působení vodíkové křehkosti na materiál*. Praha

[19] DIBLÍKOVÁ, Linda a Alena KOUKALOVÁ. *Studie metod k určování koncentrace vodíku v ocelích*. VÝZKUMNÝ A ZKUŠEBNÍ LETECKÝ ÚSTAV, A.S., 2013.

[20] KREIBICH, Viktor a Petr HOLEČEK. *Vodíková křehkost při vytváření povrchové úpravy* [online]. 2008 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/200801_povrchari.pdf

[21] OBR, Ladislav. *Vstup do technologie povrchových úprav* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62015/vstup-do-technologie-povrchovych-uprav.html>

[22] JELÍNEK, Luděk. *Koroze v energetice* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~jelinekl/ZEN/Prednaska-12.pdf>

[23] NOVÁK, Pavel. *Druhy koroze kovů* [online]. Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT v Praze. Praha [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vscht.PDF

F

- [24] JANSEN, Rolf a Patricia PREIKSCHAT. *Vodíkové křehnutí*. 2002. SurTec Technická informace.
- [25] Biopol. Antikorozi ochrana [online]. [cit. 2018-06-14]. Dostupné z: <http://www.biopol.cz/antikorozni-ochrana/item/84-antikorozn%C3%AD-ochrana>
- [26] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot I: pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-576-5.
- [27] KUBÁTOVÁ, Hana. *Nátěry kovů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000, 102 s. Profi & hobby. ISBN 80-247-9035-1
- [28] TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005. ISBN 80-214-3062-1.
- [29] *Stříkací pistole pneumatické* [online]. [cit. 2018-06-21]. Dostupné z: <http://www.naradi-vzduch.cz/levnekompresory-cz/eshop/39-1-Prislusenstvi-ke-kompresorum/1091-2-STRIKACI-PISTOLE>
- [30] HOLOUBEK, Vít. *Kataforetické lakování*. PRESS AGENCY, 2005, (4). ISSN 0551-7354.
- [31] SIGMUND, Jaroslav a Mott MACDONALD. *Problematika puchýřků a pórů v nátěrech duplexních systémů*[online]. [cit. 2018-07-01]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/200906_povrchari.pdf
- [32] KREIBICH, Viktor. *Povlaky z práškových plastů bezchybně* [online]. 2010 [cit. 2018-07-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-z-praskovych-plastu-bezchybne.html>
- [33] *Oceanscan* [online]. [cit. 2018-08-09]. Dostupné z: http://www.oceanscan.net/p-ELCOMETER_456_COATING_THICKNESS_METER
- [34] *Defelsko PosiTector POSITECTOR 6000-FN* [online]. [cit. 2018-08-24]. Dostupné z: <http://www.transcat.com/defelsko-positector-6000-fn-positector-6000-fn-254482>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma principu galvanického pokovení [7]	11
Obrázek 2: Technologický postup při galvanickém pokovování [2] [5] [6].....	13
Obrázek 3: Schéma dvoustupňového oplachu [11].....	14
Obrázek 4: Princip moření a složení oxidů v okujích [13]	16
Obrázek 5: Vliv koncentrace lázní HCl a H ₂ SO ₄ na rychlost moření [4]	16
Obrázek 6: Postup suchého procesu zinkování [15]	18
Obrázek 7: Postup mokrého procesu zinkování [15]	19
Obrázek 8: Rovnovážný diagram Fe-Zn [17]	20
Obrázek 9: Srovnání vlastností různých typů povlaků [15].....	21
Obrázek 10: Srovnání vlastností různých zinkových povlaků a nátěrové hmoty [15] ...	21
Obrázek 11: Příklad vodíkové křehkosti [21]	23
Obrázek 12: Vada vzniklá v nátěru [31]	24
Obrázek 13: Průběh koncentrace vodíku po různých dobách [24]	25
Obrázek 14: Příklad stříkáčské pistole pro pneumatické stříkání [29].....	33
Obrázek 15: Příklad označení zkušební vzorku	38
Obrázek 16: Elcometer 456 [33]	42
Obrázek 17: PosiTector 6000 [34]	44
Obrázek 18: Inkscape krok 1.....	45
Obrázek 19: Inkscape krok 2.....	45
Obrázek 20: Inkscape krok 3.....	45
Obrázek 21: Inkscape krok 4.....	46
Obrázek 22: Inkscape krok 5.....	46
Obrázek 23: Inkscape krok 6.....	46
Obrázek 24: Inkscape krok 7.....	47
Obrázek 25: Inkscape krok 8.....	47
Obrázek 26: Zkušební vzorky moření 1/1	48
Obrázek 27: Zkušební vzorky moření 1/1 odvodíkové	49
Obrázek 28: Zkušební vzorky moření 1/3.....	50
Obrázek 29: Zkušební vzorky moření 1/3 odvodíkové	51
Obrázek 30: Zkušební vzorky moření 5/1.....	52
Obrázek 31: Zkušební vzorky moření 5/1 odvodíkové	53
Obrázek 32: Zkušební vzorky moření 5/3.....	54
Obrázek 33: Zkušební vzorky moření 5/3 odvodíkové	55
Obrázek 34: Zkušební vzorky moření 10/1.....	56
Obrázek 35: Zkušební vzorky moření 10/1 odvodíkové	57
Obrázek 36: Zkušební vzorky moření 10/3.....	58
Obrázek 37: Zkušební vzorky moření 10/3 odvodíkové	59
Obrázek 38: Zkušební vzorky moření 30/1.....	59
Obrázek 39: Zkušební vzorky moření 30/1 odvodíkové	60
Obrázek 40: Zkušební vzorky moření 30/3.....	61
Obrázek 41: Zkušební vzorky moření 30/3 odvodíkové	62
Obrázek 42: Zkušební vzorky moření 60/1.....	63

Obrázek 43: Zkušební vzorky moření 60/1 odvodíkované	64
Obrázek 44: Zkušební vzorky moření 60/3.....	65
Obrázek 45: Zkušební vzorky moření 60/3 odvodíkované	66
Obrázek 46: Zkušební vzorky skupina 1.....	70
Obrázek 47: Zkušební vzorky skupina 2.....	71
Obrázek 48: Zkušební vzorky skupina 3.....	72
Obrázek 49: Zkušební vzorky skupina 4.....	73
Obrázek 50: Zkušební vzorky skupina 5.....	74

11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Tloušťka KTL povlaku moření 1/1	39
Tabulka 2: Tloušťka KTL povlaku moření 1/3	39
Tabulka 3: Tloušťka KTL povlaku moření 5/1	39
Tabulka 4: Tloušťka KTL povlaku moření 5/3	40
Tabulka 5: Tloušťka KTL povlaku moření 10/1	40
Tabulka 6: Tloušťka KTL povlaku moření 10/3	40
Tabulka 7: Tloušťka KTL povlaku moření 30/1	41
Tabulka 8: Tloušťka KTL povlaku moření 30/3	41
Tabulka 9: Tloušťka KTL povlaku moření 60/1	41
Tabulka 10: Tloušťka KTL povlaku moření 60/3	42
Tabulka 11: Zkušební vzorky s žárovým zinkem	43
Tabulka 12: Vyhodnocení zkušebních vzorků s galvanickým zinkem	67
Tabulka 13: Vyhodnocení zkušebních vzorků s žárovým zinkem	75
Tabulka 14: Přibližné ceny technologií povrchových úprav	76
Tabulka 15: Ceník žárového zinkování	76

12 Seznam grafů

Graf 1: Vyhodnocení vad u galvanického zinku při proudové hustotě $1 \text{ A} \cdot \text{dm}^2$	68
Graf 2: Vyhodnocení vad u galvanického zinku při proudové hustotě $3 \text{ A} \cdot \text{dm}^2$	68
Graf 3: Porovnání vzorků s galvanickým zinkem pro proudovou hustotu 1 a $3 \text{ A} \cdot \text{dm}^2$	69
Graf 4: Vyhodnocení vad u žárového zinku	75

13 Seznam použitých zkratek a jednotek

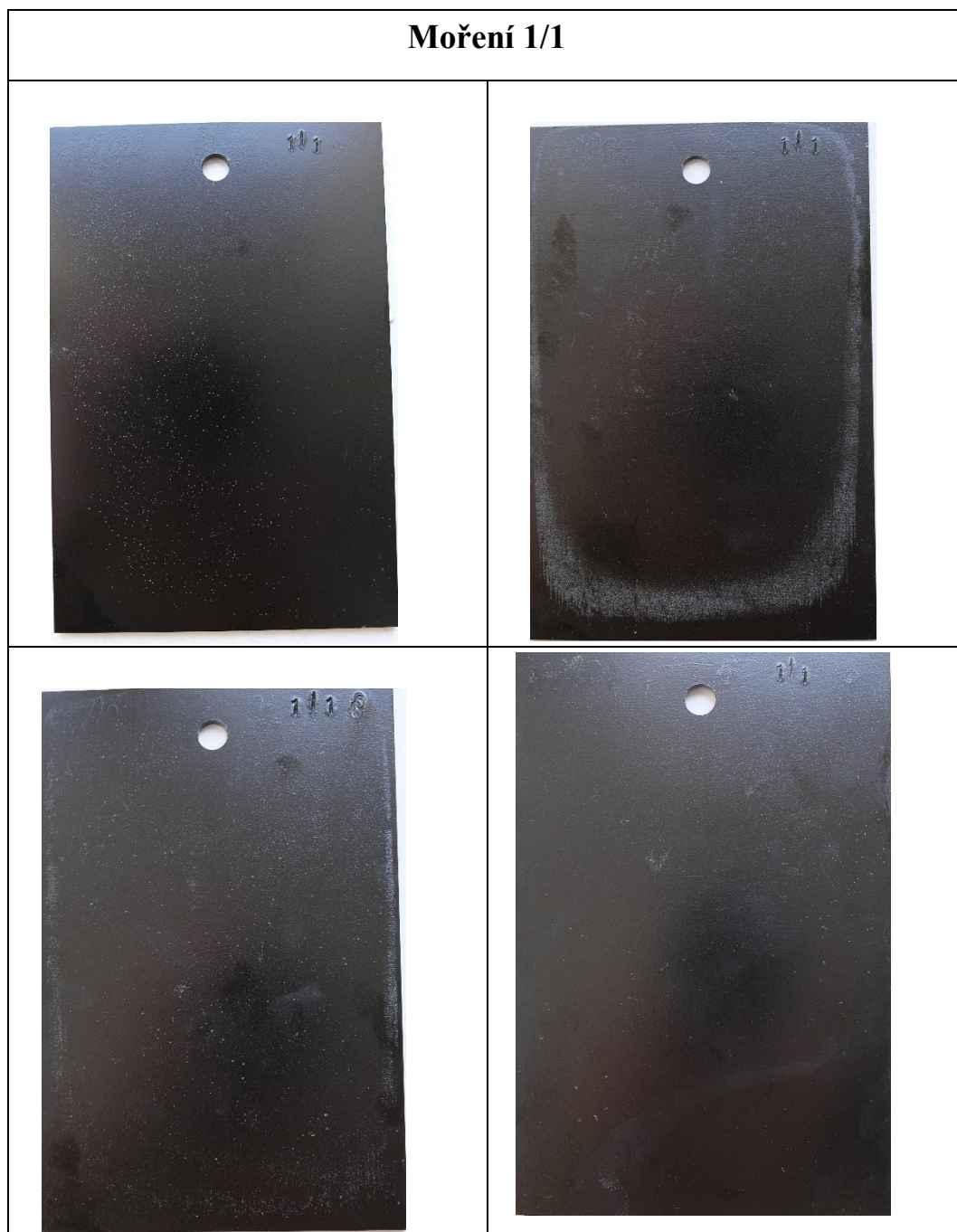
m	[g]	množství látek
A_e	$[g \cdot A^{-1} \cdot s^{-1}]$	konstanta úměrnosti
I	[A]	elektrický proud
e^-	[-]	elektron
Fe	[-]	železo
Zn	[-]	zinek
M	$[g \cdot mol^{-1}]$	molární hmotnost
n	[-]	mocenství kovového kationtu
H	[-]	vodík
OH	[-]	hydroxid
°C	[-]	Celsiův stupeň
τ	[s]	čas
t	[s]	čas
g	[-]	gram
l	[-]	litr
F	[-]	Faradayova konstanta
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
$\alpha, \Gamma, \Gamma_1, \delta, \zeta,$ η	[-]	železo-zinkové slitinové fáze

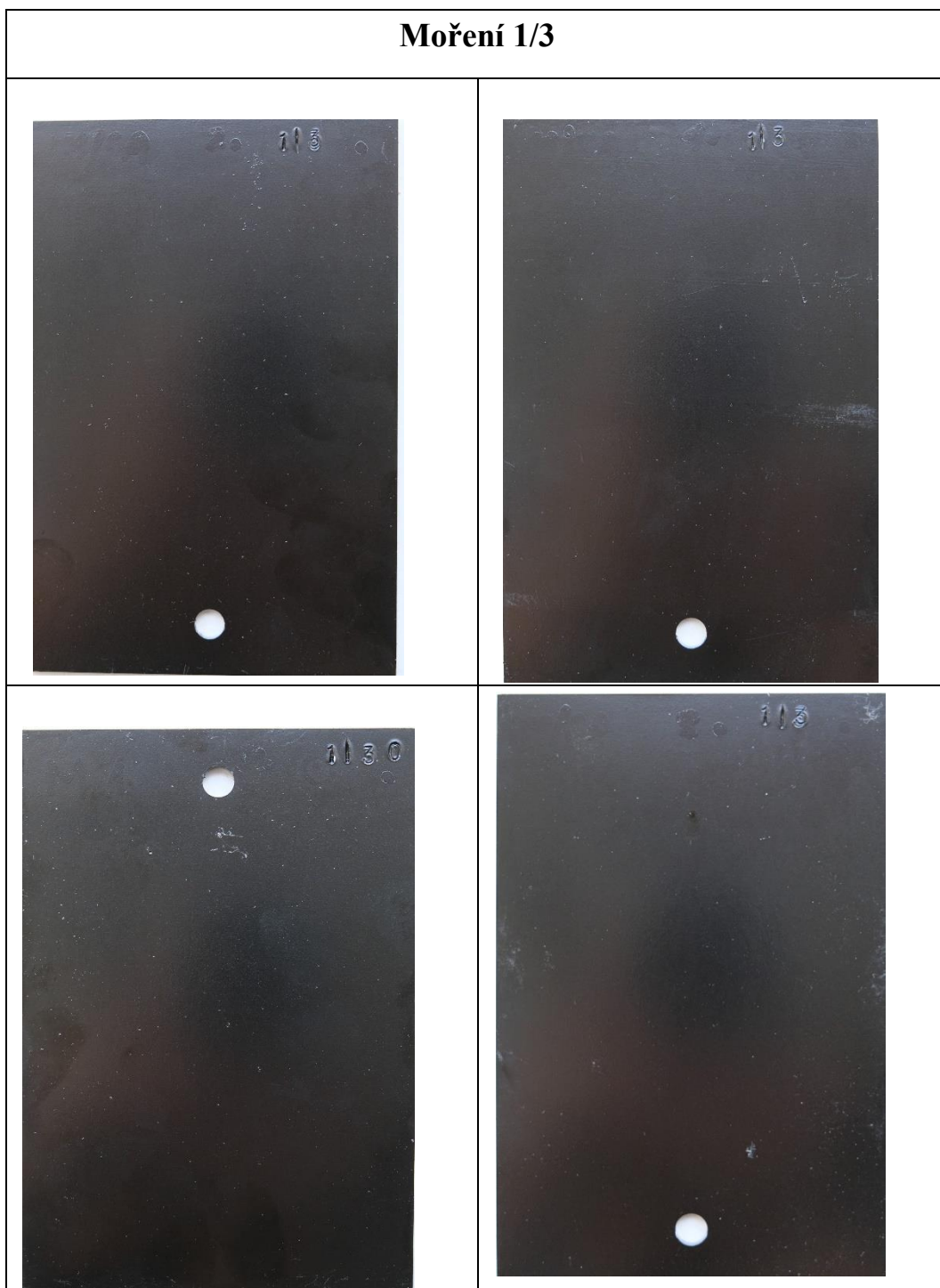
D	[cm ³]	množství vodíku
d	[mm]	tloušťka
E _d	[J. mol ⁻¹]	aktivační energie
p	[Pa]	tlak
T	[K]	absolutní teplota
k	[J. K ⁻¹]	Boltzmannova konstanta
k ₁	[-]	konstanta závislá na povaze kovu
A	[-]	ampér
dm ²	[-]	decimetr čtvereční
μm	[-]	mikrometr
KTL	[-]	kataforetické lakování
kV	[-]	kilovolt
mm	[-]	milimetr
%	[-]	procenta
px	[-]	pixel
\bar{x}	[μm]	průměrná hodnota
Lo	[μm]	nejnižší hodnota
Hi	[μm]	nejvyšší hodnota
σ	[μm]	směrodatná odchylka
n	[-]	počet měření
kg	[-]	kilogram

14 Přílohy

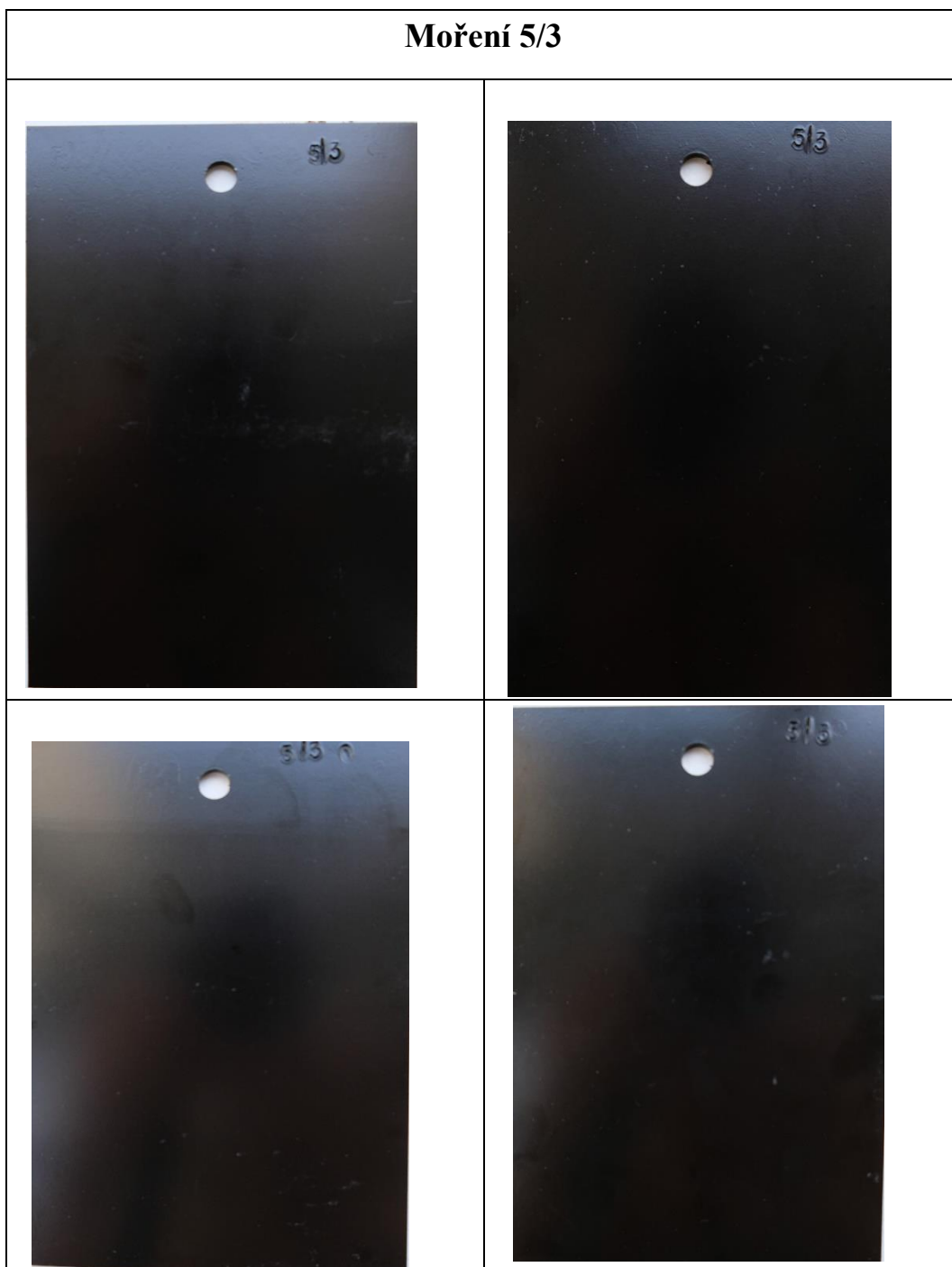
Zkušební vzorky před KTL jsou nahrány na CD.

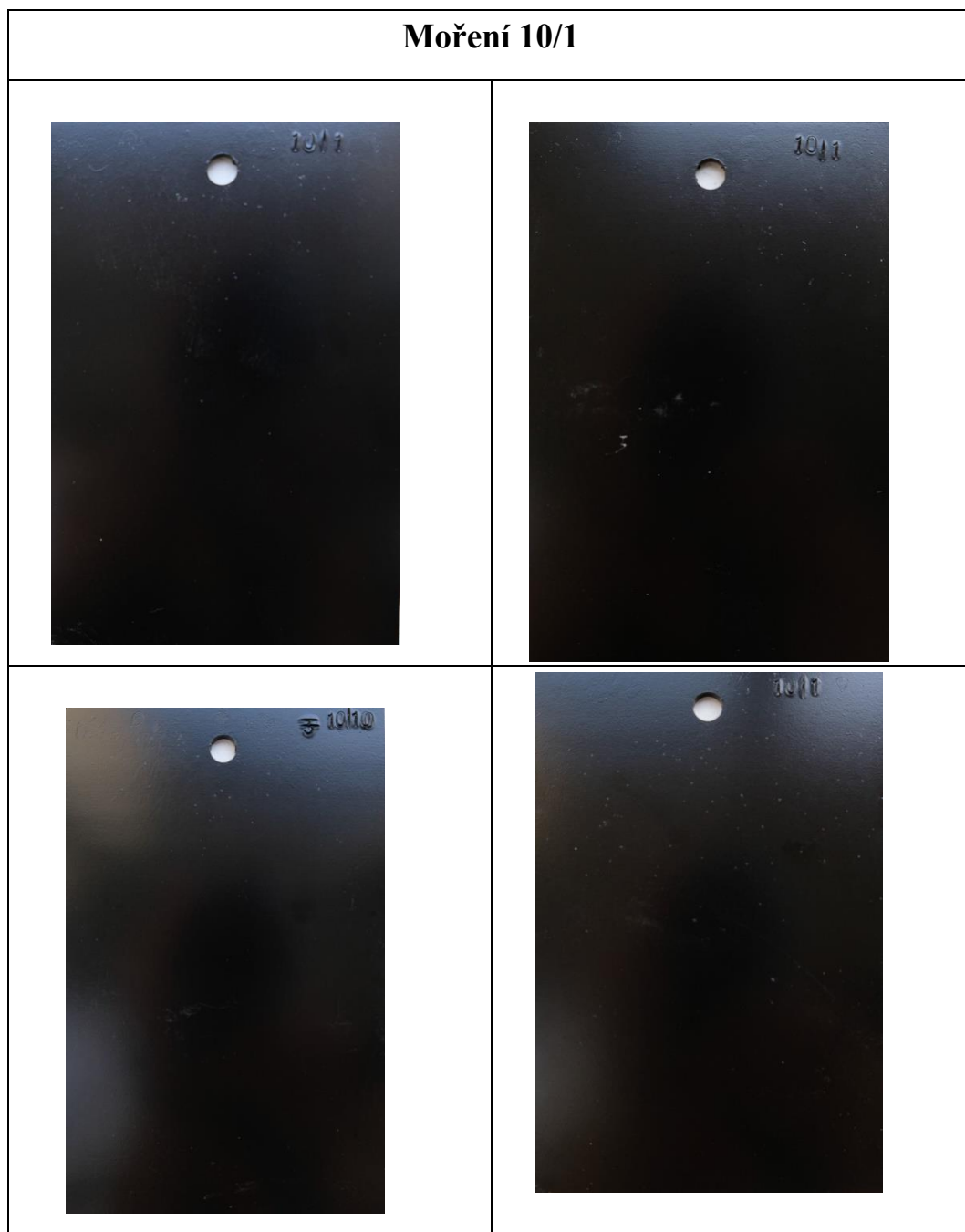
Příloha 1: Fotografie zkušebních vzorků s galvanickým zinkem

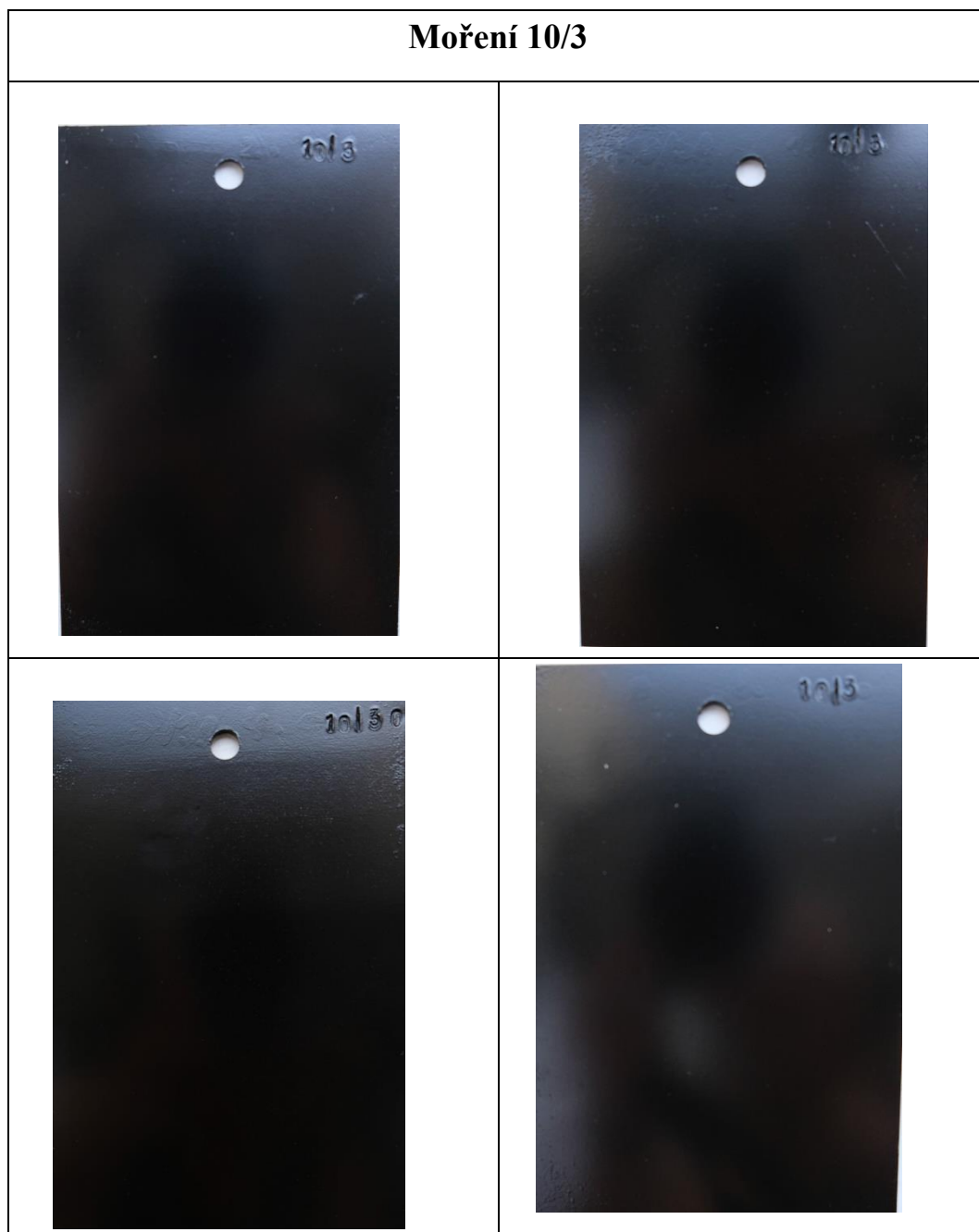


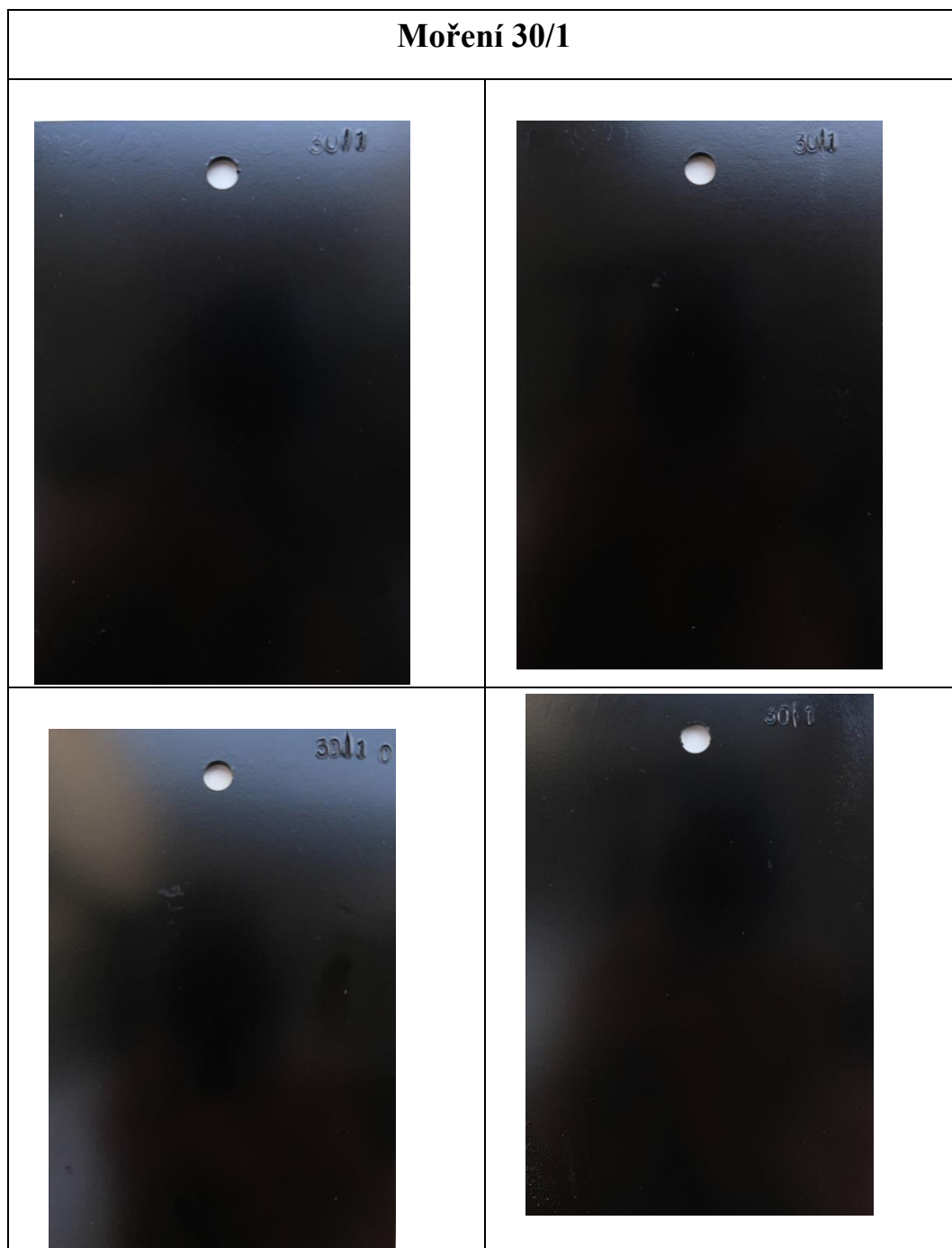


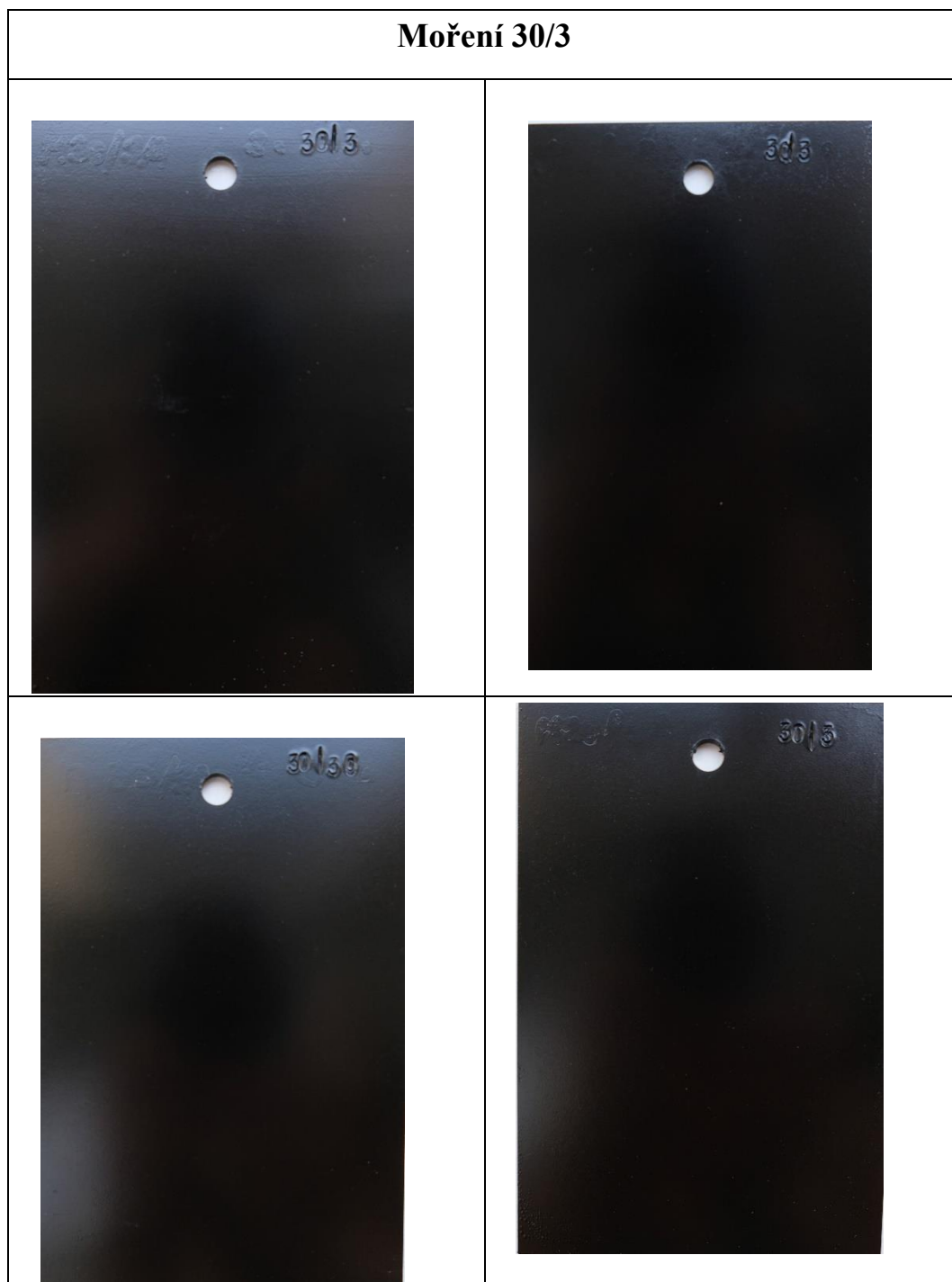


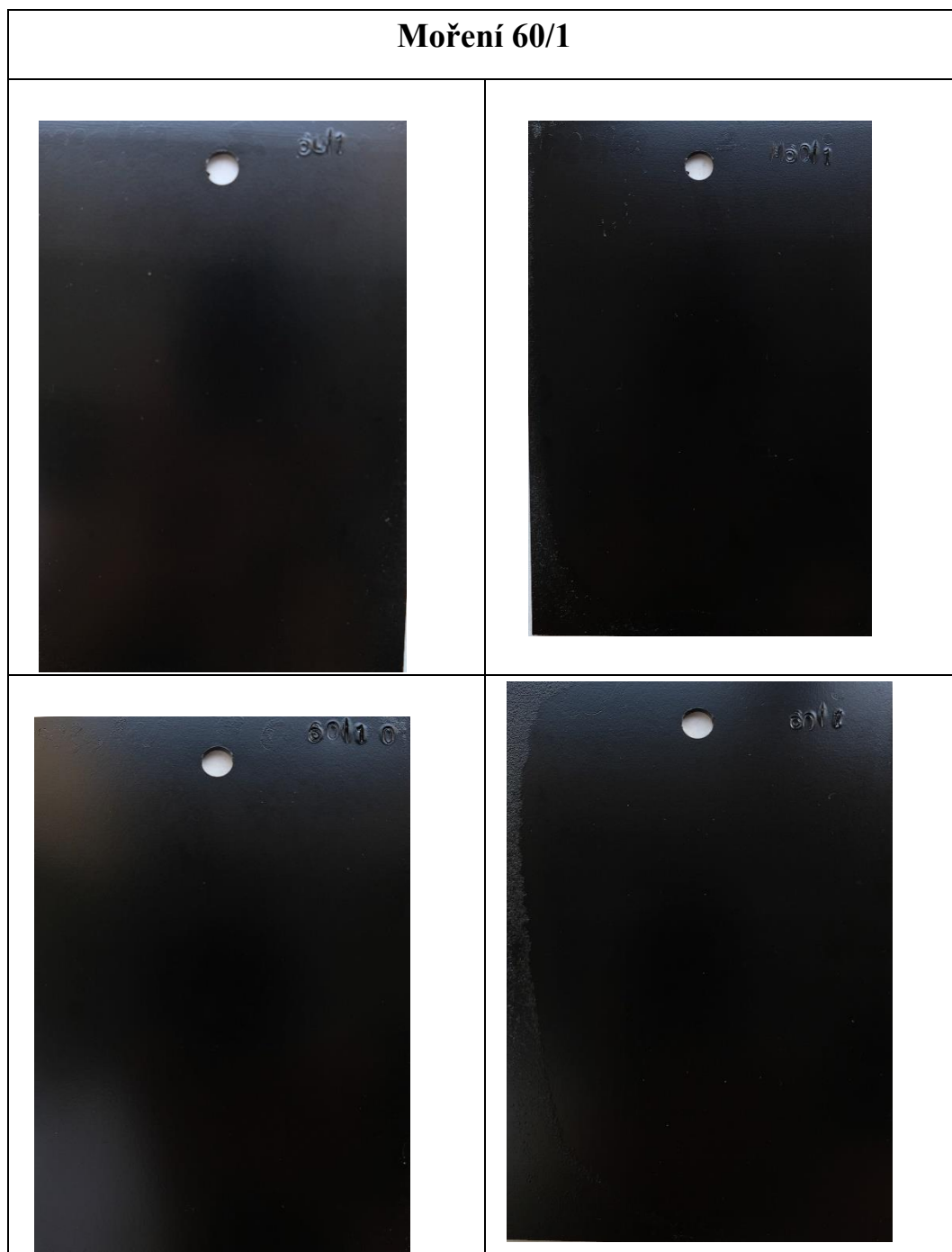


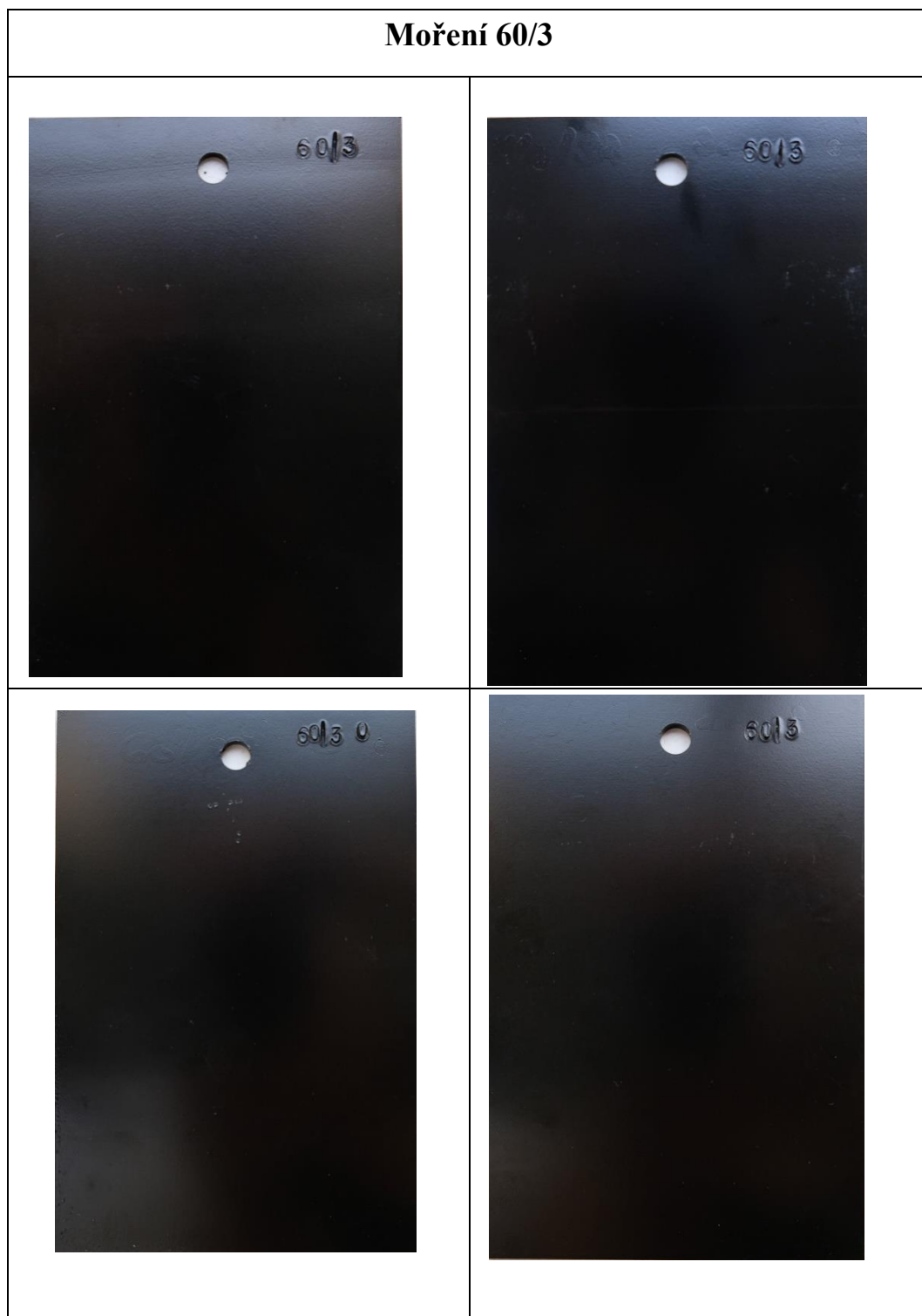












Příloha 2: Fotografie zkušebních vzorků s žárovým zinkem





