

VŠB – TU Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Studium vlivu vstupních materiálů na vlastnosti ochranných  
povlaků**

**Study of the Influence Input Materials on Properties of the  
Protective Coatings**

Student:

Bc. Jan Prokop

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Prokop**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: **Studium vlivu vstupních materiálů na vlastnosti ochranných povlaků**  
**Study of the Influence Input Materials on Properties of the Protective Coatings**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti a složení ochranných povlaků na bázi nátěrových hmot a sklokeramických povlaků.
2. Prostudujte vlastnosti jednotlivých složek těchto ochranných povlaků a jejich vliv na vlastnosti ochranných povlaků.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu v rozsahu min. 35 stran.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

BOUŠE, V. a kol: *Smalty a jejich použití v protikorozní ochraně*. SNTL, Praha, 1986. 216 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 23.5.2011 .....

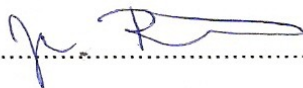
.....  .....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 23.5.2011



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Prokop

Adresa trvalého pobytu autora práce: Jugoslávská 9, 787 01, Šumperk

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

PROKOP, J. Studium vlivu vstupních materiálů na vlastnosti ochranných povlaků. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní, VŠB – TU Ostrava, 2011, 78 s. Diplomová práce, vedoucí Podjuklová, J.

Diplomová práce se zabývá studiem vlivu vstupních materiálů na vlastnosti ochranných povlaků. V praktické části jsou popsány základní vlastnosti a složení ochranných povlaků na bázi nátěrových hmot a sklokeramických povlaků. Zde jsou také prostudovány vlastnosti jednotlivých složek a jejich vliv na mechanické vlastnosti ochranných povlaků.

Po praktickém provedení experimentů, kde byl kladen důraz na testování smaltových povlaků, konkrétně tedy na drsnost povrchu, mikrotvrdost povlaků, lomovou houževnatost povlaků a odolnosti proti nárazu byl proveden podrobný popis a vyhodnocení, které je přínosem pro aplikaci smaltových povlaků v praxi.

## **ANNOTATION OF THESIS**

PROKOP, J. Study of the influence input materials on properties of the protective coatings. Ostrava: Mechanical technology department, Faculty of the mechanical engineering, VSB – TU Ostrava, 2011, 78 p. Thesis, head: Podjuklova, J.

This thesis deals with study of influence input materials on properties of the protective coatings. In practical part are describe basic properties and constitution protective coatings on base painting materials and enamel coatings. Here are too describe properties of the constituents and their influence on the properties of the protective coatings.

After the practical implementation, where we tested the enamel coatings, concretely roughness, hardness, fracture of doggedness and immunity for bump was make detailed description and evaluation, which is contribution for application the enamel coatings in practise.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jitce Podjuklové CSc. za její odbornou pomoc a vstřícné jednání při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval i Ing. Vratislavu Bártkovi za ochotu, cenné rady a odbornou pomoc při provádění experimentální části diplomové práce.





## OBSAH

OBSAH .....	- 1 -
SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ .....	- 4 -
ÚVOD.....	- 5 -
1 NÁTĚROVÉ SYSTÉMY, NÁTĚRY .....	- 6 -
1.1. Rozdělení ochranných povlaků .....	- 6 -
2 ORGANICKÉ POVLAKY .....	- 7 -
2.1. Složení nátěrových hmot.....	- 7 -
2.2. Rozdělení nátěrových hmot.....	- 9 -
2.3. Tvorba povlaku .....	- 10 -
2.4. Nanášení nátěrových hmot .....	- 11 -
3 SKELNÉ A KRYSTALICKÉ POVLAKY .....	- 12 -
3.1. Definice smaltů, výroba .....	- 12 -
3.1.1. Výroba sklovitého povlaku.....	- 12 -
3.2. Složky smaltového povlaku .....	- 14 -
3.2.1. Sklo.....	- 14 -
3.2.2. Jíl .....	- 15 -
3.2.3. Keramika.....	- 16 -
3.2.4. Voda .....	- 16 -
3.2.5. Mlýnské přísady .....	- 16 -
3.3. Druhy smaltových povlaků .....	- 17 -
3.3.1. Základní smalty .....	- 17 -
3.3.2. Krycí smalty .....	- 18 -
3.3.3. Jednovrstvé (přímé) smalty .....	- 19 -
3.3.4. Smalty na ocelový plech.....	- 20 -
3.3.5. Smalty na šedou litinu .....	- 21 -
3.3.6. Smalty na neželezné kovy.....	- 22 -





3.4.	Fyzikální vlastnosti smaltů.....	- 23 -
3.4.1.	Korozní vlastnosti smaltů .....	- 23 -
3.4.2.	Tepelné vlastnosti smaltů.....	- 24 -
3.4.3.	Mechanické vlastnosti smaltů.....	- 24 -
3.5.	Procesy podmiňující spojení mezi sklovitým smaltem a kovem .....	- 25 -
3.6.	Podkladové materiály pro smaltování a jejich vlastnosti .....	- 26 -
3.6.1.	Ocelový plech .....	- 27 -
3.6.2.	Šedá litina .....	- 28 -
3.7.	Působení vodíku a kovu v procesu vytváření sklovitých smaltových povlaků .....	- 28 -
4	METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	- 29 -
5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	- 30 -
5.1.	Zkušební vzorky .....	- 30 -
5.1.1.	Chemické složení vzorků KOSMALT E 300 T .....	- 31 -
5.1.2.	Mechanické vlastnosti vzorků KOSMALT E 300 T.....	- 31 -
5.2.	Odmaštění zkušebních vzorků .....	- 32 -
5.3.	Druhy smaltů, použité v experimentu .....	- 32 -
5.3.1.	Složení jednotlivých druhů břechek.....	- 33 -
5.4.	Použité druhy jílu a kaolínů .....	- 34 -
5.4.1.	Jíl Lasselsberger MIC .....	- 34 -
5.4.2.	Kalcinované kaolíny K12T3M4 a K12T4M4.....	- 35 -
5.4.3.	Granulometrie vzorků jílu a kaolínů .....	- 36 -
5.5.	Příprava břechek.....	- 36 -
5.6.	Nanášení smaltového povlaku .....	- 37 -
5.7.	Sušení smaltového povlaku .....	- 38 -
5.8.	Vypalování smaltů.....	- 39 -
6	MĚŘENÍ TLOUŠŤKY SMALTOVÉHO POVLAKU .....	- 41 -
6.1.	Zhodnocení měření .....	- 42 -
7	MĚŘENÍ DRSNOSTI SMALTOVÉHO POVLAKU.....	- 44 -
7.1.	Měření drsnosti dodaného vzorku .....	- 44 -
7.2.	Měření drsnosti smaltovaného vzorku .....	- 45 -



7.3.	Vyhodnocení měření drsnosti smaltovaných povlaků .....	52 -
8	MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI SMALTOVÉHO POVLAKU .....	53 -
8.1.	Naměřené hodnoty mikrotvrlosti smaltových povlaků .....	54 -
8.2.	Porovnání naměřených hodnot .....	55 -
8.3.	Vyhodnocení měření mikrotvrlosti smaltových povlaků .....	57 -
9	MĚŘENÍ LOMOVÉ HOUŽEVNATOSTI SMALTOVÉHO POVLAKU .....	58 -
9.1.	Naměřené hodnoty lomové houževnatosti smaltového povlaku .....	59 -
9.2.	Porovnání vypočtených hodnot lomové houževnatosti .....	60 -
9.3.	Vyhodnocení měření lomové houževnatosti .....	62 -
9.4.	Fotodokumentace z měření mikrotvrlosti a lomové houževnatosti smaltových povlaků .....	63 -
10	STANOVENÍ ODOLNOSTI SMALTOVÉHO POVLAKU PROTI NÁRAZU .....	66 -
10.1.	Zkouška smaltového povlaku nastřelováním .....	66 -
10.2.	Srovnání hodnot získaných zkouškou nastřelováním .....	67 -
10.3.	Fotodokumentace ze zkoušky nastřelováním .....	68 -
	ZÁVĚR .....	72 -
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	75 -
	SEZNAM PŘÍLOH .....	77 -



## SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	síla	[N]
$K_{IC}$	lomová houževnatost	[MPa/m <sup>2</sup> ]
Hv	Vickersova tvrdost	[MPa]
a	délka nebo jiný charakteristický rozměr trhliny	[ $\mu$ m]
c	délka trhliny	[ $\mu$ m]
pH	stupeň kyselosti a zásaditosti	[-]
T	teplota	[°C]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti v tahu	[MPa]



## ÚVOD

Ochrana povrchu patří mezi velmi důležité odvětví v průmyslu. Velmi často se můžeme setkat s povrchem, který je chráněn pomocí nátěru. Od nátěrů se očekává, že budou plnit ochrannou funkci proti korozi, povětrnostním vlivům, změnám teplot, působení UV záření, ale také plnit funkci dekorativní.

Sklovitý povlak, který je na bázi smaltu, patří mezi nejstarší povlaky, které se v historii lidstva používají v kontaktu s kovovým materiálem. Keramika, sklo a skelné krystalické látky představují velmi širokou oblast materiálů, které se liší složením, způsobem výroby a vlastnostmi. Ovšem mnoho rysů mají tyto materiály společných. Je to například dobrá chemická odolnost, malá tepelná vodivost, vysoká tvrdost a pevnost v tlaku, často tak i odolnost proti tečení. Jsou charakteristické zpravidla nízkou pevností v tahu, jsou křehké a snázejí špatně časté změny teplot.

Základním předpokladem pro to, aby vznikl dokonalý integrovaný systém kov – sklovitý smaltový povlak je dosažení spojení dvou různých materiálů (kov a smalt). Z toho důvodu je nutné řešit řadu problémů, které se týkají fyzikálně – chemických procesů, které umožňují spojení mezi kovem a sklovitým povlakem.

Sklovité a sklokeramické povlaky patří mezi nejúčinnější antikorozi povrchové úpravy, uplatnění tedy nacházejí tam, kde se materiály vyskytují v agresivnějším korozním prostředí. Nacházejí uplatnění v automobilovém průmyslu, ve strojírenství, v energetice, elektrotechnice, kosmonautice apod.

# 1 NÁTĚROVÉ SYSTÉMY, NÁTĚRY

Jednou z možností, jak zabránit korozi ocelových konstrukcí a výrobků a tím zvýšit jejich životnost, je ochrana daného povrchu povlaky na bázi nátěrových hmot a plastů. Nejběžnější a také ekonomicky nejvýhodnější způsob, jak chránit výrobky před korozi je ochrana nátěrem. Nátěry zamezují přístupu vody a agresivních složek k povrchu chráněného kovu. Ovšem je třeba podotknout to, že nikdy nejsou úplně bezpórovité. Proto antikorozní pigmenty a inhibitory koroze zneškodňují agresivní složky, které difundují vrstvou nátěrů k povrchu kovu. Tím zpomalují, příp. zastavují průběh koroze. Povlaky z plastických hmot neobsahují antikorozní pigmenty. Mechanismus jejich ochranného působení je bariérový a proto jejich povlaky musí být úplně bezpórovité. [1]

## 1.1. Rozdělení ochranných povlaků

Ochranné povlaky je možné rozdělit podle různých faktorů, například takto:

- podle charakteru vytvořeného povlaku:
  - organické (sklovité, kovové, keramické)
  - anorganické (nátěrové, conservační, plastové)
- podle funkce:
  - venkovní
  - vnitřní
  - ohnivzdorné
  - antikorozní
  - aj.
- podle vzhledu:
  - lesklé
  - matné
  - reflexní
  - maskovací
  - aj.
- podle způsobu vytvoření povlaku
  - pomocí difúze
  - galvanickými procesy
  - chemickými reakcemi
  - ve vakuu (PVD, CVD)



## 2 ORGANICKÉ POVLAKY

Pomocí nátěrových hmot chráníme povrch výrobků vytvářením nátěrů. Nátěr je hotový, ucelený ochranný povlak jedné nebo několika vrstev, které jsou zaschlé na povrchu předmětu. Podle účelu nátěru rozeznáváme nátěr:

- ochranný (olejivzdorný, odolný povětrnosti, mořské vodě, chemickému prostředí, vyšší teplotě)
- dekorativní
- signální (pro bezpečnostní návěští)
- maskovací
- speciální (elektrovodivý, světélkující)

### 2.1. Složení nátěrových hmot

Nátěrová hmota je pojem pro všechny výrobky, které se používají k provádění nátěrů. Jsou to organické látky různých druhů, které jsou nanášeny v tekutém nebo těstovitém stavu, které tvoří na předmětu film požadovaných vlastností.

Nátěrové hmoty dělíme:

- transparentní – průhledný nátěrový film, nazývá se lak nebo fermež
- pigmentované – tvoří neprůhledný film, nazývá se email (ten má nízký obsah pigmentu), tmel (ten má vysoký obsah pigmentu), barva

Nátěrové hmoty se skládají z těchto složek:

- a) filmotvorné složky (pojiva) – což jsou netěkavé látky mající schopnost vytvořit tenkou souvislou vrstvu a vázat dispergované částice pigmentu a plniv v zaschnutém filmu. Různá pojiva se od sebe mohou rozlišovat chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. Požadované vlastnosti nátěru jsou často dosaženy pomocí kombinace různých filmotvorných látek.

Filmotvorné látky jsou:

- vysychavé oleje (lněný, konopný, makový, dehydratovaný, ricínový aj.)
- přírodní živice (kalafuna, kopal, šelak, jantar aj.)
- umělé živice (rezoly, alkidy, epoxidy, vinylové polymery, silikony, akryláty, polystyrény)



- deriváty celulózy (nitrocelulóza, etylcelulóza, etylcelulóza, benzylcelulóza, acetylcelulóza aj.)
- deriváty kaučuku (chlorkaučuk, cyklokaučuk)
- asfalty (přírodní asfalty, bitumeny, smoly)

b) těkavé složky – rozpouštědla

Používají se na rozpouštění pojiv při výrobě nátěrových hmot a také na úpravu jejich viskozity (konsistence) v procesu aplikace. Nejběžnější rozpouštědla jsou:

- benzíny (lakový, extrační)
- benzén a jeho homology (toulén, xylén)
- alkoholy (metanol, etanol, izopropylalkohol, n-butanol)
- ketony (aceton, metyletylketon, metolizobutylketon)
- estery kyseliny octové (metylacetát, etylacetát, n – butylacetát, amylacetát)
- glykolétery (metylglykoléter, etylglykoléter)
- terpentýnové silice

c) pigmenty – jsou organické nebo anorganické částičky, které jsou jemně rozptýleny v pojivě, dávající nátěrům barevný odstín, krycí schopnost, tvrdost, snižují stárnutí nátěrů a zvyšují jeho tepelnou odolnost. Můžeme je rozdělit do tří základních skupin:

- inhibitorové pigmenty (suřík, zinková žluť, kyanamid olovnatý, zásaditý chroman olovnatý, ortoaluminat vápenatý, zinkový prach aj.). Jejich ochranný účinek spočívá v pasivaci povrchu železa vytvořením těžko rozpustných sloučenin (zinková žluť), v regulaci pH a tvorbě inhibičních látek (suřík) nebo v elektro – chemické ochraně (Zn – prach). Používají se hlavně při výrobě základních nátěrových hmot.
- neutrální pigmenty (chroman olovnatý, titaničitan olovnatý, titanová běloba, zinková běloba, kysličníky železa aj.) používají se při výrobě vrchních nátěrů na zlepšení jejich fyzikálních vlastností a jako inertní substance při výrobě základních nátěrů.
- stimulující pigmenty (grafit, saze). Jsou to chemicky netečné pigmenty, které se vyznačují dobrou el, vodivostí. V el. Článku ocel – stimulující pigment je ocel anodou a pigment katodou. Za přítomnosti elektrolytu urychlují korozi ocele. Nejsou vhodné pro základní nátěry, ale vzhledem na jejich malou chemickou slučivost se používají na pigmentaci vrchních ochranných nátěrů. Výběr pigmentů při formulaci základních a vrchních nátěrových hmot musí respektovat specifické vlastnosti korozního prostředí, pro které je nátěr určen. Vrchní nátěry určené pro



těžko agresivní prostředí se plní málo reaktivními pigmenty, jako např. titaničitan olovnatý, titanová běloba, kysličník chromitý, železité slídy, suboxyd olova aj. Pro agresivní prostředí v chemických závodech nejsou vhodné např. nátěry pigmentované např. zinkovou bělobou. Naproti tomu zinková běloba je velmi vhodná na pigmentování nátěrů vystavených působení slunečního záření. Nepropouští ultrafialové paprsky a tím zpomaluje stárnutí.

- d) plnidla – jsou to jemně rozemleté minerální látky (těživec, mastek, křída), které jsou v pojivech nerozpustné a vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrového povlaku, např. zabraňují smrštění filmu po uschnutí apod.
- e) aditiva – jsou to přísady do nátěrových hmot obsahujících vysychavé oleje (sušidla, stabilizátory, zvláčňovadla). Využívají se při výrobě ferměží olejových a glyptalových nátěrových hmot. Základní účinnou složkou jsou většinou kovová mýdla (naftenáty, rezináty, linoleáty s kationty Ca, Pb, Co, Mn, Zn aj.) nebo jejich roztoky v organických rozpouštědlech.

## 2.2. Rozdělení nátěrových hmot

Požadavky na vlastnosti nátěrových hmot a možnosti jejich aplikace jsou rozmanité a proto také sortiment jejich výrobků je velmi široký. Nátěrové hmoty je možné rozdělit:

- a) podle filmotvorných složek

- A* – asfaltové
- B* – polyesterové
- C* – celulózové
- H* – chlórkaučukové
- K* – silikonové
- L* – lihové
- O* – olejové
- S* – syntetické
- U* – polyuretanové
- V* – emulzní – vodové





b) podle obsahu pigmentu

- *pigmentované* – obsahují barevné antikorozi pigmenty a plniva, dávají barevný nátěr
- *transparentní* – obsahují jen pojiva nebo jejich roztoky v organických rozpouštědlech – dávají bezbarvé povlaky

c) podle způsobu nanášení

- *stříkací*
- *nanášené štětcem*
- *nanášené stěrkou (tmely)*
- *nanášené elektroforézou*
- *nanášené máčením a poléváním*

d) podle zasychání

- *fyzikálně zasychající* (odpaření rozpouštědel) – lihové, asfaltové, celulóznové, chlórkaučukové a polymerové nátěrové hmoty
- *fyzikálně chemicky zasychající* – po odpaření rozpouštědel v důsledku chemických reakcí se původně tekutá filmotvorná látka mění na tuhou a vzniklý nátěrový film získává pevnost, tvrdost a chemickou odolnost (fermeže, olejové, rezolové, silikonové, epoxidové a polyesterové nátěrové hmoty).

[1]

### 2.3. Tvorba povlaku

Během zasychání povlaku dochází k chemickým i fyzikálním změnám, převážně k odpařování těkavých látek (ředidel a rozpouštědel). Samozřejmostí je, že těkavé látky se odpařují už i během samotného nanášení. Odpařováním vznikají exhalace, které mohou být pro člověka závadné. Z těchto důvodů je nutné mít na pracovišti odsávací zařízení.

Nátěrové hmoty zasychají za pomoci fyzikálních nebo chemických pochodů. Při fyzikálním zasychání se odpařují pouze rozpouštědla (nedochází ke změně složení filmotvorné látky). Do této skupiny můžeme zařadit nitrocelulóznové, asfaltové a lihové



nátěrové hmoty. Z nátěrových hmot, které zasychají chemickými pochody se nejdříve odpařují rozpouštědla, čímž se nátěr zahusťuje a až poté dochází v nátěru k chemickým reakcím. Tyto reakce jsou závislé na složení nátěrové hmoty a může docházet k procesům, jako je oxidace, polymerace aj. Vyvolání chemické reakce může probíhat za normálních nebo zvýšených teplot.

Zasychání nátěrových hmot pak může probíhat při normální teplotě (20°C) na vzduchu, při zasychání (40 - 60°) nebo při vypalování (80 - 250°C). [1]

## 2.4. Nanášení nátěrových hmot

Správná volba technologie nanášení patří mezi nejdůležitější faktory, které značným způsobem ovlivňují celkovou životnost, ale také jakost nátěrů. Druhý, jakých je nátěrovou hmotu možné nanášet je spousta a každý z nich má své výhody a nevýhody. Při volení správného způsobu nanášení je nutné přihlížet zejména k povaze natíraného předmětu, k povaze nátěrových hmot a dalším podmínkám, za kterých se nátěr zhotovuje. [1]

*Hlediska pro volbu technologie nanášení:*

- velikost, tvar a množství upravovaných předmětů
- požadované finální vlastnosti zhotovovaného nátěru (vzhled, tloušťka, stupeň korozního namáhání)
- kvalita povrchu materiálu (pórovitost, stupeň čistoty, předběžné úpravy atd.)
- vlastnosti použitých nátěrových hmot (reologické vlastnosti, rychlost zasychání, slévatelnost, tekutost rozpouštědel, měrná vodivost atd.)
- pracnost a ekonomie jednotlivých technologií nanášení

### 3 SKELNÉ A KRYSTALICKÉ POVLAKY

Sklovité a keramické povlaky chrání podkladový materiál (kov, keramiku) před vlivy okolního prostředí. Jedná se především o smalty a glazury, které jsou na bázi silikátových skel, dále se jedná o keramické (nejčastěji oxidické) povlaky nanášené obvykle žárovým stříkáním na kovový nebo i nekovový materiál. Termín smalt je používán pro povlaky na kovovém podkladě, termín glazura pro obdobné povlaky na keramických výrobcích. Jsou realizovány rovněž kombinované sklokeramické, nebo kovokeramické povlaky.

Smalty a glazury jsou většinou nanášeny v podobě vodních suspenzí sklovitých fází nebo také práškových částic a vypalovacím procesem tak vznikne sklovitý povlak, který prostřednictvím adhezní mezivrstvy pevně lpí na podkladu. Vrstvy z keramických fází lidických, karbidických, nitridických nebo kombinovaných lze vytvořit pomocí žárového stříkání po roztavení v plynovém nebo plazmovém hořáku. [1]

#### 3.1. Definice smaltů, výroba

Smalt je svou podstatou, jakož i způsobem výroby sklo, které je poměrně komplikovaného chemického složení, které je nanášeno na kovový podkladový materiál.

##### 3.1.1. Výroba sklovitého povlaku

Výroba sklovitého smaltovaného povlaku se skládá z následujících operací:

- a) Tavení oxidických složek kmene (např. oxidy, které tvoří sklovitou fritu:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ), které získáme ze surovin, které jsou na bázi sklářských písků, živců, uhličitanů atd. Vzniklá tavenina skloviny speciálního chemického složení se prudce ochladí, nejčastěji tak právě litím do vody za vzniku granulí nebo šupin skla, které nazýváme smaltéřská fritta. Celý proces pak fritováním. Fritta je hlavní složkou ve výrobě sklovitého smaltového povlaku a převážnou mírou určuje jeho funkční a technologické vlastnosti. [3]
- b) Sušení frity – odstraňování vody z granulí a šupin skla pro fritování – další zpracování vysušené smaltéřské frity závisí na technologické metodě nanášení frity na kovový podkladový materiál. Metody nanášení lze obecně rozdělit do dvou základních skupin. Je to nanášení za mokra a nanášení za sucha. [3]



- c) Mletí smaltéřské frity – na suchý prášek a jeho úpravu pro technologii nanášení pudrováním nebo v elektrickém poli vysokého napětí (obalování prášku deriváty silanů, za účelem zvýšení měrného elektrického odporu). Spolu s jílem, vodou a dalšími pevnými látkami – přísadami na smaltéřskou břečku.
- d) Nanesení vrstvy smaltéřské břečky nebo prášku na podkladový kovový materiál
- e) Sušení nanesené vrstvy smaltéřské břečky, u prášku sušení odpadá
- f) Vypalování (tepelné zpracování) sušené vrstvy
- g) Ochlazování na vzduchu

Takto získáme sklovitý povlak na kovovém podkladovém materiálu. Další vrstvy sklovitého smaltového povlaku získáme opětovným nanesením smaltéřské břečky nebo prášku na předešlou vrstvu povlaku, poté následuje vysušení a vypálení. Pokud se jedná o vícevrstvý sklovitý povlak, je základní první vrstva povlaku při dalším vypalování několikanásobně tepelně ovlivněna. Ve vývoji výroby vícevrstevných povlaků se směřuje spíše k technologii jednoho výpalu, tzn., že na podkladový plech je nanášena vrstva smaltéřské břečky nebo prášku pro krycí sklovitý smalt a hned na to vrstva smaltéřské břečky nebo prášku pro základní sklovitý smalt. Následuje pak současné sušení a výpal obou vrstev (u prášku sušení odpadá). Při této technologii odpadá samostatné sušení a výpal základního sklovitého smaltu (u prášku výpal základního sklovitého smaltu). [3]

V průběhu tepelného zpracování při teplotách 800 - 900°C dochází ke spojení sklovitého smaltového povlaku s kovovým podkladovým materiálem, kde prostřednictvím fyzikálně chemických reakcí řízených přenosem tepla dochází k vytvoření složeného sklokeramickometalického komplexu, který sestává z vrstvy podkladového kovového materiálu, adhezivní mezivrstvy a vrstvy sklovitého smaltu. Tento komplex má nové fyzikální vlastnosti, které jsou dosažitelné pouze spojením jeho obou složek. Z tohoto hlediska je možné integrovaný systém kov – sklovitý smaltový povlak zařadit mezi kompozity spojující plastické vlastnosti kovů s antikorozními vlastnostmi. [3]

Smalt sestává z vícefázové struktury, přičemž základ tvoří sklovitá fáze obsahující plynnou fázi uzavřenou v pórech a v některých případech také krystalickou fázi. Struktura smaltu se v tomto směru podobá keramickým materiálům. [3]

### 3.2. Složky smaltového povlaku

Sklovitý povlak vzniká tepelným zpracováním (vypalováním) nanesené vrstvy smaltéřské břečky, která je tvořena smaltéřskou fritou, jílem, dalšími pevnými přísady na mlýn, barvítka atd. a vodou. Základní složkou břečky je smaltéřská frit, která společně s dalšími výše jmenovanými složkami ovlivňuje vlastnosti vzniklého sklovitého smaltového povlaku.

Smaltéřská břečka z hlediska chemického složení není totožná se smaltovým povlakem. V odborné smaltéřské terminologii se tato nepřesnost toleruje. Nanesená suspenze se suší, čímž vzniká vrstva bisquitu, která po vypálení vytváří vrstvu smaltu. Po ukončení reakcí složek suspenze při vypalovacích teplotách lze používat termín „smalt“.

[3]

#### 3.2.1. Sklo

Skla jsou amorfní, pevné, zpravidla anorganické látky, které vznikají ztuhnutím bez krystalizace. Většina skel obsahuje  $\text{SiO}_2$  a další oxidy. Jedná se o látky s izotropními vlastnostmi, které se odlišují od krystalických látek tím, že jejich struktura není tvořena pravidelnou mříží a jejich fyzikální vlastnosti se mění plynule s teplotou.

Základní strukturní jednotkou křemičitých skel je tetraedr  $\text{SiO}_4$ . V jeho centru je malý kationt křemíku obklopený čtyřmi většími anionty kyslíku. Vazby Si – O jsou iontově kovalentní o vysoké pevnosti. Tyto stavební skupiny mají silnou vzájemnou vazbu a jsou periodicky uspořádány na krátkou vzdálenost podobně jako krystaly, avšak jsou nepravidelně prostorově uspořádány na velkou vzdálenost.

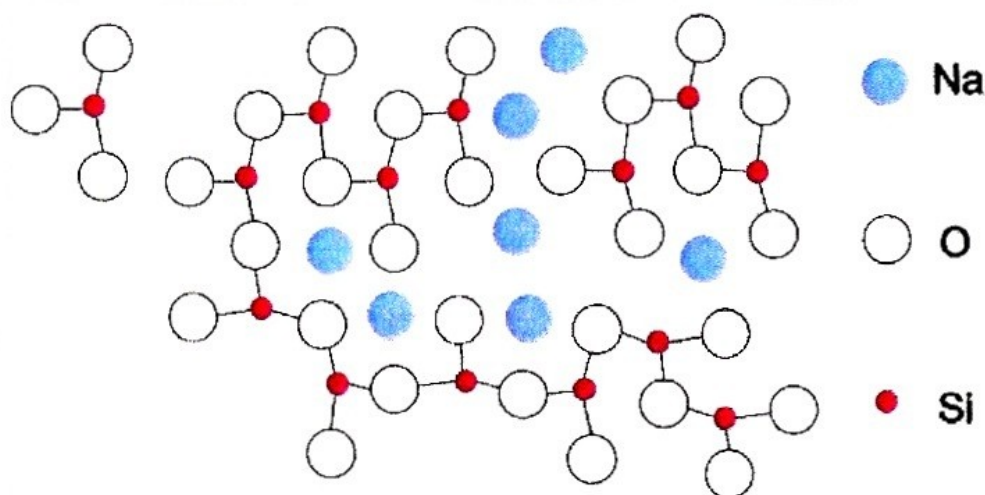
Většina křemičitých skel obsahuje kromě prvku  $\text{SiO}_2$  i další oxidy. Podle jejich úlohy při tvorbě skelné sítě je můžeme rozdělit na sklotvorné neboli síťovořiče ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ...) a na modifikátory neboli pozměňovače ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,...). Mezi oběma skupinami jsou oxidy přechodné ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ...). Sklotvorné oxidy mohou tvořit samy skelnou síť, modifikátory nedokážou síť vytvořit, ty ji pouze pozměňují. Jejich kationty nalézají místo v dutinách skelné sítě, kdežto kyslíkové anionty, které jsou přebytečné, způsobují přerušení některých vazeb Si – O, viz. obr. 1. Proto modifikátory snižují např. teplotu tavení skla. Některé z nich, převážně  $\text{Na}_2\text{O}$ , rovněž hodně zhoršují chemickou odolnost a další vlastnosti skla.

Pro bližší objasnění podmínek vzniku skel je nutné vzít ještě v úvahu také geometrické poměry koexistujících atomů prvků na skle, uspořádání energetických hladin

elektronů a také termodynamické a kinetické vlivy na homogenní nukleaci krystalických fází v tavenině. [3]

V současnosti se připouští to, že reálná skla mohou obsahovat submikroskopické oblasti (s pravidelným uspořádáním atomů), tzv. krystality, které plynule přecházejí v nepravidelnou síť mezi jednotlivými krystality. Většina skel navíc obsahuje různé strukturální vady a diskontinuity, které vznikají separací mikrofází, heterogenní nukleací apod. Vady mohou vznikat nedostatečnou homogenizací a protavením.

Pokud nepohlížím na výše uvedené vady, můžeme všeobecně sklo považovat za látku homogenní a izotropní, jejichž vlastnosti jsou stejné ve všech směrech z technického hlediska v libovolně malých objemech. [3]



U běžné frity obvykle požadujeme nízkou teplotu tavení, zhruba kolem 1000 - 1200°C. Proto jsou v silikátové struktuře frity využity vlastnosti modifikátorů  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ .

**Obr1.** Schématické uspořádání atomu v silikátovém skle podle Zachariasena [3]

Na rozdíl od skla, smaltéřská fritka není obvykle zcela vyčeřená (zbavená plynů) a v některých případech nemusí být zcela homogenní, neboť obsahuje zárodky krystalů nebo přímo mikrokristaly sloučenin, které potom smaltu dodávají speciální vlastnosti (např. skelně krystalické povlaky).

### 3.2.2. Jíl

Jíl je v podstatě klasická zemina, která se používá pro tradiční výrobu keramiky. Jíl je jednou ze složek smaltéřské břecčky při technologii nanášení za mokra. Jedná se o suspenzační přísadu. Udržuje rozemleté částice frity v suspenzním stavu a zabraňuje její



sedimentaci. Zajišťuje přijatelnou pevnost vysušené suspenze (bisquitu). Kvalitu jílu a tím tedy i smaltu ovlivňují surovinová naleziště.

### 3.2.3. Keramika

Pod pojem keramika si představme pevné anorganické nekovové polykrystalické látky připravené slinováním práškových surovin za vysokých teplot. Keramika představuje velmi širokou oblast materiálů, které se liší chemickým složením, strukturou i vlastnostmi. Tradiční výroba je založena na využití jemných plastických zemin, jako je třeba kaolín a různé jiné jíly. Jako u jílu jsou do značné míry vlastnosti těchto látek ovlivněny přírodními podmínkami konkrétního naleziště. Obecně je možné říci, že struktura keramických materiálů je heterogenní, polykrystalická a polyfázová. Proto při jejich zkoumání je nutno vyšetřovat vždy jednak charakter a vzájemné uspořádání různých fází, tzv. mikrostrukturu a také uspořádání částic hmoty v jednotlivých fázích. Mezi hlavní znaky mikrostruktury patří typy přítomných fází, tj. o jaké druhy krystalů jde, jaký typ skla tvoří skelnou fázi, která vzniká roztavením taviv a sklotvorných složek při výpalu, velikost zrn, spojení zrn mezi sebou, vzájemný vztah zrn a skelné fáze. Vzhledem k tomu, že smaltéřská břecha obsahuje určitý podíl jílovitých částic a vypalovací teploty smaltu se pohybují převážně v rozmezí od 800 - 900°C, je zde určitá podobnost s keramikou. [3]

### 3.2.4. Voda

Voda je složkou smaltéřské břechky. V průběhu mletí smaltéřské frity spolu s vodou a jílem při výrobě smaltéřské břechky dochází k zahájení fyzikálně chemických reakcí mezi částicemi sklovité smaltéřské frity, jílem a vodou, které pokračují při skladování břechky až do doby, kdy dojde k nanesení na podkladový kovový materiál a vysušení. Obsah vody ve smaltéřské břechce je po semletí podle typu smaltu v rozmezí 30 – 45%. Voda tímto ovlivňuje výslednou kvalitu sklovitého smaltového povlaku.

### 3.2.5. Mlýnské přísady

Řada pomocných surovin se užívá pro úpravu optických, chemických, mechanických a tepelných vlastností smaltů a pro úpravu reologických vlastností smaltéřských suspenzí (břeček). Přidávají se jako přísady při přípravě smaltéřské suspenze (břečky) mletím. Jedná se o žáruvzdorné přísady, např. mletý křemen, dále přísady kalící, které ovlivňují



optické vlastnosti smaltů, např. oxid titaničitý a přísady barvicí (barvicí oxidy, barvítka), které zajišťují barevný odstín povlaku. Dále se používají stavěcí přísady, které upravují reologické vlastnosti břečky. [3]

### 3.3. Druhy smaltových povlaků

Základní složkou pro přípravu smaltového povlaku je smaltéřská fritta, kdy se jedná o sklovitý anorganický materiál, vzniklý tavením směsi smaltéřských surovin (kmene) do ne zcela homogenního stavu a prudkým ochlazením. Chlazení probíhá odlitím taveniny do vody (granálie) nebo mezi válce, které jsou chlazené vodou (šupiny). Chemickým složením frity je ovlivňována většina vlastností smaltového povlaku. Podle tohoto složení a podle druhu kovu, pro který je povlak určen, se smalty dělí:

- smalty na ocelový plech
- smalty na neželezné kovy
- smalty na litinu

Dále se smalty dělí na:

- smalty základní
- smalty krycí
- smalty jednovrstvé

#### 3.3.1. Základní smalty

Základním znakem tohoto druhu smaltů je vytvoření přídržné mezivrstvy mezi kovem a smaltovým povlakem. Velmi často se jedná o smalty, které nemohou být použity jako funkční povlak. Při konvenčním způsobu smaltování se většinou pracuje s dvouvrstvým systémem povlaku. Po nanesení a vypálení základního smaltu je na něj nanesen krycí smalt a ten je poté znovu vypálen.

Specifickým znakem základních smaltů, které jsou připravované na bázi přídržných oxidů CoO a NiO je vytvoření přídržné mezivrstvy mezi funkčním povlakem a kovem. Často se jedná o smalty s nízkou chemickou odolností a s malou celistvostí, které pak mohou být použity jako funkční povlak pouze v případě, kdy se na smaltovaný výrobek kladou minimální nároky z hlediska protikorozní ochrany. Pro speciální účely je možné připravit barevné základní smalty (jedná se jen o tmavé barvy). Teplota vypalování



základního smaltu bývá obvykle vyšší než vypalovací teplota krycího smaltu a pohybuje se maximálně do hodnoty 900 °C.

U konvenčního způsobu smaltování se nejčastěji pracuje s dvouvrstvým systémem povlaku: po nanesení a vypálení základního smaltu je na něj nanesen smalt krycí a výrobek je znova vypálen. Tento proces je popřípadě opakován. Po zavedení tzv. nízkoteplotních základů, je vypalovací teplota základního i krycího smaltu téměř stejná a pohybuje se v rozsahu od 760 – 840 °C. Tloušťka nánosu základního smaltu při technologii konvenčního smaltování má být co nejmenší (po vypálení 80 – 120 μm, u chemických aparátů až 300 μm). Pokud je použita tlustší vrstva základního smaltu, má to nejčastěji za následek snížení celistvosti funkčního smaltu krycího.

### 3.3.2. Krycí smalty

Jedná se o funkční povlaky, které jsou nositelem požadovaných vlastností povlaku. Podle druhu použité frity dělíme krycí smalty na:

- smalty zakalené, bílé nebo barevné, kde při samotné úpravě frit, probíhající ve smaltovně, se nepřidávají kalící nebo barvicí přísady
- smalty polotransparentní, u nichž je nutná částečná úprava suspenze při procesu mletí
- smalty transparentní, kdy vzhledové vlastnosti smaltu se upravují přísadami na mlýně, nejčastěji přidáváním barvicích oxidů

Krycí smalt je vlastním funkčním povlakem, který je připravován s přihlédnutím k požadovaným chemickým, termickým, mechanickým a optickým vlastnostem. Podle druhu použité frity dělíme krycí smalty na:

1. Smalty zakalené, bílé nebo barevné, u kterých je zákal důsledkem chemického složení tavené frity a fyzikálně chemického procesu při natavování. Během přípravy smaltu není již nutná úprava zákalu, barev a ostatních optických vlastností zvláštními přísadami. Častým typem těchto smaltů jsou bílé nebo barevné smalty titaničité nebo titaničito – zirkoničité, které jsou charakteristické velkým zákalem a umožňují použití ve vrstvách minimální tloušťky (asi 100 μm). Při úpravě frit ve smaltovnách (mletí suspenze) se často již nepřidávají další kalící nebo barvicí přísady. Další variantou zakalených smaltů jsou barevné smalty, které mají speciální vlastnosti, například smalty s velkou chemickou odolností, smalty s upraveným koeficientem teplotní



roztažnosti (smalty okrajové apod.) Jedná se obvykle o smalty tmavých barev (modré, černé, hnědé), jejichž optické vlastnosti jsou výsledkem chemického složení frity.

2. Smalty polotransparentní (polozakalné) jsou připravovány z frit, které jsou částečně zakaleny v průběhu tavy, avšak k dosažení požadovaných optických vlastností je nutná částečná úprava suspenze při jejím mletí. Polotransparentní frity jsou často používány k přípravě smaltů pastelových nebo méně intenzivních barev, kdy barevný odstín je upravován přísadou barvicích oxidů při mletí suspenze. Podle druhů použitých kaliv se jedná o smalty titaničité, zirkoničité a antimonité.
3. Smalty transparentní jsou připravovány z transparentních frit a optické vlastnosti smaltového povlaku jsou pak upravovány přísadami barvicích oxidů nebo kaliv v průběhu mletí suspenze. Tímto způsobem je připravována většina smaltů intenzivních barev (např. oranžové, červené). Transparentní smalty jsou vyráběny v řadě speciálních variant, užívaných zejména pro dekorativní účely, např. majolikové smalty jsou obvykle nanášeny na bílý smalt a mají vysoký lesk a povrch majolikového typu, smalty pohmatové a matové slouží zejména pro architektonické účely.

Široká paleta chemické složení krycích smaltů umožňuje přizpůsobit složení frity nebo i přísad požadovaným funkčním vlastnostem. Jelikož se jedná o smalty nanášené na mezivrstvu vypáleného základního smaltu, nelze je (až na speciální výjimky) nanášet přímo na kov jako smalty základní. Je – li požadována vysoká chemická odolnost, je vhodné použít krycí smalt na základní smalt se zvýšenou chemickou odolností (smalt přímý), neboť u chemicky neodolných základů je nebezpečí podkorodování smaltu od hran výrobku. [2]

### 3.3.3. Jednovrstvé (přímé) smalty

Jedná se o speciální typ smaltů základních nebo krycích, kde je složení frity upraveno tak, aby při přímém nanášení na ocelový plech byla zajištěna dostatečná přilnavost ke kovu a požadované funkční vlastnosti odpovídali požadavkům, které jsou kladeny na povlak.

Všechny výše uvedené typy smaltů lze dále dělit podle způsobu nanášení:

- smalty nanášené konvenční technologií tj. formou vodní suspenze (břečky), která se po nanášení suší a poté vypaluje



- smalty nanášené v el. Poli vysokého napětí, kdy se nanáší speciálně upravená prášková frit a bez sušení se vypálí
- smalty pro elektroforézní nanášení, kdy smaltový nános se vytvoří nanesením galvanickou cestou z vodního

Přímé smalty jsou speciálním typem smaltů krycích nebo základních, u kterých je složení frity upraveno tak, aby při přímém nanášení na ocelový plech byla zajištěná dobrá přilnavost ke kovu a požadované funkční vlastnosti (chemická odolnost, kompaktnost, mechanické a termické vlastnosti). Smalt má stejné fyzikální a chemické vlastnosti jako smalt základní a krycí a většinou se připravuje na bázi borosilikátů s přídržným oxidem kobaltnatým (modré smalty). Tyto smalty je možné podle potřeby nanášet i v několika vrstvách, vyžaduje – li to celistvost nebo jiné vlastnosti povlaku. Jejich tloušťka se podle povahy prostředí, pro které jsou určeny, pohybuje v rozmezí od 100 do 400  $\mu\text{m}$ , při použití více vrstev je to až 1 mm. Barevné (nikelnaté, kobaltnaté, nikelnato – kobaltnaté) přímé smalty nevyžadují speciální předúpravu kovového materiálu (jako je např. niklování) a je možné je nanášet na běžnou smaltovatelnou ocel, po moření nebo otryskávání.

Všechny uvedené druhy smaltů na ocelový plech je možné dále dělit podle způsobů nanášení na:

- nanášené nekonvenční technologií – tj. formou vodné suspenze, která se po nanesení vysuší a vypálí
- zhotovené nanášení prášků frity v elektrostatickém poli vysokého napětí, kdy speciálně upravenou jemně mletou fritu lze nanášet přímo na plech nebo na vypálený základ, popřípadě na tenkou mezivrstvu práškového základního smaltu, a bez vysušení vypálit
- nanášené elektroforeticky

Vypalovací teplota smaltů na ocel se pohybuje v rozsahu od 760 – 860 °C, ve výjimečných případech i vyšší. Tyto druhy smaltů lze používat k povrchové ochraně ocelí třídy 11. Lze je však obvykle i použít ke smaltování legovaných ocelí, např. třídy 17. [2]

### 3.3.4. Smalty na ocelový plech

Častou technologií smaltování je aplikování tzv. dvouvrstvého systému, tj. základního smaltu, který je natavený přímo na kov a dále pak krycího (nebo také krycího) smaltu. Velice efektivní je jednovrstvé smaltování, kde funkční smalt je přizpůsoben pro přímé



natavení na kov. To zajišťuje zvýšení hospodárnosti procesu, snížení spotřeby energie a materiálu a jsou i případy, kdy dojde ke zlepšení funkčních vlastností. [2]

### 3.3.5. Smalty na šedou litinu

Smaltování v dnešní době u nás v ČR je méně běžné. U smaltování litiny se využívá schopnosti smaltovaného povlaku zalévat nerovnosti povrchu vzniklé mechanickým otryskáváním. Vzhledem k dostatečné adhezi, není ve smaltech na litinu nutné používat přídržné oxidy. Aby bylo dosaženo celistvých a hladkých povlaků, je tloušťka nánosu těchto smaltů v porovnání se smalty na ocel větší. [2]

*Litinu je možné smaltovat:*

- Konvenčním způsobem – jedná se o způsob nanášení vodné suspenze smaltu na předupravený kov, sušením a následným vypalováním, přičemž funkční smalt je nanášen přímo na litinu na vypálený základní povlak
- Pudrováním – jedná se o způsob, kdy se na litinu vyhřátou na smaltovací teplotu (800 – 900 °C) natavuje smaltovací prášek (pudr), a to buď přímo, nebo na mezivrstvu vypáleného základu.

Základní smalty na litinu jsou připravovány tavením (podobně jako základy na ocelový plech) nebo slinováním (spékáním základních surovin při slinovací teplotě). Z hlediska chemického složení jsou smalty na litinu jednoduššího charakteru a jejich vypalovací interval je širší (700 – 900 °C). Abychom dosáhli hladkého, lesklého a vysoce celistvého povlaku suroviny natavené po nanesení přímo na kov, používáme k tomu olovnaté smalty. V dnešní době je jejich použití ze zdravotních a hygienických důvodů nepřijatelné (omezuje se pouze na speciální účely).

Krycí, nebo-li také funkční smalty se dělí obdobně jako na smalty na ocel, speciálním typem smaltů jsou majoliky, které jsou charakteristické proměnlivou sytostí barevného odstínu na světlém podkladu. Vypalovací teplota krycích smaltů na litinu se pohybuje v rozsahu 700 - 850°C. [2]

### 3.3.6. Smalty na neželezné kovy

Z neželezných kovů se nejčastěji smaltuje hliník a jeho slitiny. Vzhledem k velikému koeficientu teplotní roztažnosti hliníku je nutné zvolit složení smaltů tak, aby u povlaku bylo dosaženo podstatně vyšší hodnoty koeficientu teplotní roztažnosti a nižší teploty vypalování než u smaltů na ocel. Zde je třeba brát zřetel převážně na bod tání hliníku. Tím je ovšem do jisté míry zmenšena chemická odolnost, neboť obsah sklotvorných oxidů (hlavně  $\text{SiO}_2$ ) nemůže být příliš velký.

Pro smaltování hliníku je možné použít smalty:

- Olovnaté – které jsou na bázi  $\text{SiO}_2 - \text{PbO} - \text{R}_2\text{O}$  (kde R je alkalický kov), které při plné vyhovující přídržnosti a aplikačních vlastnostech vykazují dlouhodobou odolnost proti chemickým vlivům. Obvykle se používají pro povrchovou ochranu architektonických panelů. Obsah oxidu olovnatého nepřesahuje hodnotu 20%. Velkou nevýhodou těchto systémů je zdravotní závadnost. Je možné je vyrobit v široké paletě barevných odstínů v různých provedení, jako je například lesklé, matové a polomatové.
- Barnaté – u těchto zatím nebylo dosaženo úrovně funkčních vlastností smaltů olovnatých. Také hodnota jejich barvitelnosti je omezená, tyto smalty mají vyšší vypalovací teplotu a při nanášení suspenze a vytváření povlaku horší vlastnosti.
- Fosfátové – zde je sklotvorným oxidem místo oxidu křemičitého  $\text{P}_2\text{O}_5$  (systém  $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{R}_2\text{O}$ ). Výhodou těchto povlaků je ta, že jsou zdravotně nezávadné, ovšem jsou známy malou chemickou odolností, zejména tedy odolností proti hydrolýze.

Vypalovací teplota smaltů na hliník a jeho slitiny se pohybuje v úzkém rozmezí 500 – 550 °C, tloušťka nánosu se pak pohybuje kolem 100  $\mu\text{m}$ .

Speciálním druhem smaltů na hliník jsou povlaky na metalizovanou ocel hliníkem. Ty jsou charakteristické tím, že jejich koeficient teplotní roztažnosti je menší než u smaltů na hliník, vypalovací teplota je pak vyšší, kolem 650 – 700 °C. Ve speciálních případech tedy jejich použití umožňuje smaltování ocelových výrobků tepelným zpracováním povlaku pod hranicí teploty železa a vypalované výrobky se tak nedoformují. Tloušťka nánosu se pak pohybuje do 150  $\mu\text{m}$ . Nevýhodou těchto povlaků je pak menší celistvost a struktura jejich povrchu je závislá na struktuře metalizované vrstvy. Ovšem v prostředí, kde je atmosferická koroze zajišťují dlouhodobou životnost povrchově upravovaných výrobků.

Smalty na měď, mosaz a bronz mají obdobné vlastnosti jako smalty na hliník. Jejich složení musí být opět přizpůsobeno koeficientu teplotní roztažnosti podkladového kovu, Ostrava 2011

vypalovací teplota se pohybuje okolo 600 °C. Smalty na měď a jejich slitiny jsou připravovány na bázi systému  $\text{SiO}_2 - \text{PbO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{R}_2\text{O}$ , v některých případech jsou použitelné i lehkotavitelné smalty na ocel nebo na litinu. Je možné je využít jako izolační povlaky (kdy tloušťka nánosu je 150 – 400  $\mu\text{m}$  podle požadavků na funkční vlastnosti) nebo jako smalty klenotnické. [2]

### 3.4. Fyzikální vlastnosti smaltů

#### 3.4.1. Korozní vlastnosti smaltů

Mezi základní příznivé vlastnosti sklovitých smaltů patří vysoká chemická odolnost. Korozní napadení smaltových povlaků, je na rozdíl od kovů důsledkem pouze chemických procesů a dochází k jejich vyluhování a rozpouštění. Křivky závislosti rychlosti koroze na čase různých druhů smaltů mají vesměs parabolický průběh [1].

Odolnost sklovitých povlaků proti roztokům minerálních kyselin je do značné míry závislá na schopnosti rozpustnosti a hydrolyzy součástí smaltu. Kyselinovzdornost smaltu zvyšují prvky  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ , naproti tomu oxidy  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{CaO}$  výrazně snižují kyselinovzdornost.

Velmi silně napadají smalty alkalické roztoky, které štěpí síť  $\text{SiO}_4$ , v důsledku čehož přechází sklo do roztoku. Z těchto důvodů se používají jako alkalivzdorné smalty nízkosilikátová skla, formulovaná na bazických nerozpustných oxidech, např.  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ . [1]

Odolnost smaltových povlaků proti působení vody je závislá na rychlosti reakce, při které dochází k výměně iontů alkalických kovů  $\text{Me}^{2+}$  a  $\text{H}^+$ . Tady je také třeba přihlídnout na velikost vazby  $\text{Me} - \text{O}$  proti  $\text{O} - \text{H}$  a síly elektrického pole  $\text{Me}^{2+}$  a  $\text{H}^+$  v roztoku.

Povlak ze smaltu velmi dobře odolává i atmosférické korozi. Koroze smaltu v atmosférických podmínkách začíná absorpcí vody  $\text{H}_2\text{O}$  na povrchu, kde dále následuje vyluhování částic skla.

Podstatně vyšší korozní odolnost lze dosáhnout u smaltových povlaků, které ve své sklovité fázi obsahují určitý podíl krystalické fáze.

### 3.4.2. Tepelné vlastnosti smaltů

Tepelná vodivost sklovitých smaltů při teplotě 313 K je v rozmezí 0,093 – 0,114 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> a je značně závislá na množství pórů v povlaku.

Velmi důležitou vlastností smaltu je také jeho tepelná roztažnost. Byly zpracovány faktory parciálních vlivů jednotlivých komponentů smaltu, které nám slouží k určení součinitele teplotní roztažnosti smaltu. Obecně můžeme říci, že alkálie a fluoridy součinitel teplotní roztažnosti zvyšují, naopak oxidy křemičitý, hořečnatý, boritý jej značně snižují. Tepelná roztažnost smaltu musí být nižší, než je roztažnost kovu, na kterém je smalt nanesen, čímž dojde k vyloučení tahových napětí ve smaltovém povlaku. Aby vzniklo napětí v systému kov – smalt, je důležité znát teplotní průběhy roztažnosti obou materiálů.

Z hlediska tepelné odolnosti smaltových povlaků je třeba také přihlídnout ke specifickým vlastnostem skel, které nemají výrazný bod tání a během zahřívání přecházejí plynule z pevného do viskozního a později do vysoce viskozního stavu. Běžné smalty jsou dlouhodobě schopné snést teploty v rozsahu 400 - 500°C. V dnešní době požadavky energetického strojírenství, letecké a kosmické techniky sledují využití konstrukčních prvků, které jsou schopny pracovat při výrazně vyšších teplotách. V poslední době přebírají povrchovou ochranu těchto komponent speciální druhy žáruvzdorných smaltů, které odolávají teplotám 900 - 1100°C.

### 3.4.3. Mechanické vlastnosti smaltů

Keramické a sklovité materiály jsou známy svojí nízkou úrovní lomové houževnatosti. Vazby u těchto materiálů mezi atomy jsou, na rozdíl od kovů, směrového charakteru (iontová, kovalentní). V závislosti na podílu krystalické a sklovité fáze jsou velmi ovlivňovány jejich mechanické vlastnosti. Značný význam má zde také pórovitost povlaku. Pevnost v tahu u sklovitých smaltů je výrazně nižší, než je tomu u pevnosti v tahu a dosahuje pouze 70 – 90 MPa, zatímco pevnost v tlaku je 700 – 1300 MPa.

Podle Mohsovy stupnice mají smalty tvrdost mezi 5. stupněm (apatit) a 7. stupněm (křemen) [1]. Z tvrdosti smaltu je patrná jeho značná odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Stupeň abraze je závislý na chemickém složení smaltu, na jeho tloušťce povlaku, stupni jeho vypálení a zejména na druhu abrazivních látek a na způsobu jejich působení. V důsledku různých fyzikálních vlastností podkladového kovu a smaltu je nutné také sledovat mechanické napětí v celém systému.

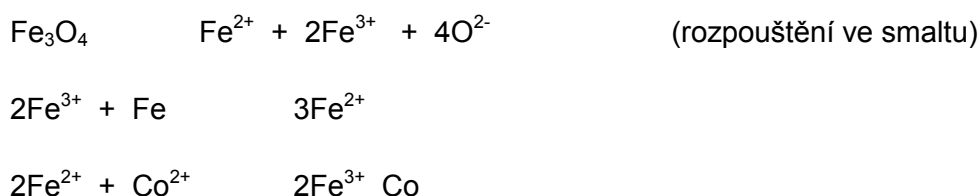


Odolnost proti mechanickému nárazu se stanovuje jako kinetická energie při jejímž působení smalt ještě zůstává celistvý. Předepisuje se hodnota kinetické energie při úderu kulového vrchlíku v rozmezí 0,3 - 0,5 J. [1]

### 3.5. Procesy podmiňující spojení mezi sklovitým smaltem a kovem

Vytvoření dokonalého spojení mezi smaltovým povlakem a základním kovem je hlavním požadavkem, který má zaručit jeho použitelnost jako dokonalé povrchové úpravy. Přes okolnost, že byla zpracována řada teorií vysvětlujících vznik spojení mezi smaltem a kovem, neexistuje dosud na tento problém jednotný názor.[1]

Přidržnost základního smaltu na ocelovém plechu souvisí s tvorbou oxidů železa, které zprostředkují spoj mezi železem a sklem. Zjistilo se, že přidržnou je závislá na vzniku tenké vrstvy oxidů  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , která je vytvořena v celkem krátkém časovém intervalu při samotném vypalování smaltu. Přidržnost smaltu se pak prostřednictvím tzv. přidržných oxidů zvyšuje. Mezi přidržné oxidy patří především  $\text{CoO}$  a  $\text{NiO}$ . V průběhu vypalování probíhají při rozpouštění oxidů tyto reakce ve smaltu (podle Dietzla):



V místech, v nichž se vrstva oxidů rozpustí, nastupuje další důležitá reakce kovového železa se zbývajícím  $\text{Co}^{2+}$  ze smaltu:



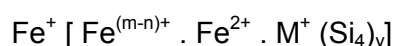
Železo a kobalt tvoří místní galvanické články v elektrolytu (smalt) a dochází k velmi silné korozi železa. Přítomnost kyslíku je velmi důležitá pro samotnou práci těchto galvanických mikročlánků, kde kyslík působí jako depolarizátor. Důsledkem koroze je pak zdrsnění povrchu, který značně přispívá ke zlepšení spoje smalt – kov. Jako přidržní oxid je možné využít také  $\text{NiO}$ , ale je třeba podotknout, že jeho účinek je až 1,5 krát nižší. Výše ocitované teorie nevysvětlují dostatečně vytvoření přechodové adhezivní mezivrstvy a nevysvětlují řadu skutečností, které vyplývají z experimentálních prací. Studium fázového rozhraní obou typů materiálů vedlo k zpracování nové teorie, které vysvětlují vznik  
Ostrava 2011



přidrčnosti kovu se sklovitým smaltem na základě vytvoření sklometalického komplexu, který zprostředkuje adhezi. V průběhu tepelného zpracování povlaku vzniká na fázovém rozhraní sklometalický komplex s koordinační vazbou ligandového typu. Centrální atomy v této vazbě jsou tvořeny přechodovými atomy s neúplně obsazenými elektrony ve slupce d se silnou vazbou ligandového pole aniontů skelné fáze. Hlavními složkami smaltu jsou  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  a  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Tyto složky tvoří síťovou strukturu a jsou náchylné na vytváření ligandové vazby s přechodovými kovy, zejména pak oxidů kovů, které jsou rovněž charakteristické síťovou strukturou. Takto vytvořené komplexní ionty mohou mít např. koordinační číslo 6 a jsou odvozeny od prvků, které mají vedle čtyř volných orbitů s a p ještě alespoň dva volné orbitů d, takže se může stát, že se vytvoří šest rovnocenných hybridních orbitů  $d^2sp^3$ . Tyto orbitů směřují do vrcholů osmistěnnů – oktaedrů. Ty ionty, kterým chybí v orbitech d jen dva nebo tři elektrony mohou vázat jen čtyři ligandy, které se nachází v rovinném uspořádání.

Díky koordinaci přechodových kovů s kyslíkovým radikálem smaltu vzniká metalický komplex neboli klaster. Aktivita iontů podkladového kovu a také centrálních iontů skelné fáze se v průběhu tepelného zpracování smaltu zvyšuje, čímž se urychluje přechod elektronů a vytváří tak podmínky pro koordinaci ligandů a vznik klasterových komplexů. Dochází tak k rozpouštění oxidů základního kovu smaltu, který se dostává do styku s nascentním kovem  $\text{Fe}^{2+}$  a společně s transičním kovem  $\text{M}^+$  je vytvářena slitina  $\text{M}^+\text{Fe}^{2+}$ , čímž vzniká střed polynukleární komplexní skupiny. Je tvořen tak podklad pro tvorbu kovového klastrového komplexu:



Pro vytvoření přechodové vrstvy sklometalického komplexu na fázovém rozhraní smalt – kov je tedy nutno vytvořit materiální podmínky pro vznik sklometalického komplexu, tj. zabezpečení přítomnosti iontů kovů přechodové skupiny (Fe, Co, Ni, Cu, Ti, Sb) a také rozpustnost oxidů podkladového kovu ve sklovité fázi.

### 3.6. Podkladové materiály pro smaltování a jejich vlastnosti

Jako podkladový kov pro aplikaci smaltovací vrstvy je nejčastěji používán:

- ocelový plech
- šedá litina
- neželezný kov (měď, hliník)

### 3.6.1. Ocelový plech

Ocelový plech, který je určen pro smaltování musí splňovat řadu požadavků, které vyplývají jednak z technologie výroby daného výrobku a také z technologie vytvoření souvislého povlaku. Ocel určená ke smaltování musí mít minimální množství nežádoucích příměsí, nekovových vměstků a plynů. Doprovodné a legující prvky musí být rozloženy rovnoměrně. Množství vad musí být minimální (dvojitost, trhliny, lunkry).

Nejpoužívanější ocel užívaná ke smaltování patří k podeutektoidním nízkouhlíkovým ocelím. Velká pozornost je zde věnována uhlíku, neboť při vypalování smaltu, na fázovém rozhraní kov – smalt probíhají reakce, při kterých vznikají plynné produkty ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ), které způsobují defekty v povlaku. Uhlík dále snižuje teplotu alotropické přeměny železa, což má za následek to, že dochází k objemovým změnám a deformaci výrobku. Kvůli těmto faktům by právě neměl obsah uhlíku překročit hodnotu u oceli vhodné ke smaltování 0,1 %. Do obsahu 0,35 % je také příznivý vliv manganu. Z hlediska smaltovatelnosti oceli je přípustná hodnota obsahu fosforu do 0,3 – 0,4 %. Taktéž obsah křemíku není škodlivý do hodnoty 0,1 – 0,2 %. Obsah síry nesmí v tomto případě překročit hodnotu 0,03 – 0,04 %. Přípustný obsah neželezných kovů, hlavně tedy hliníku je udáván 0,008 – 0,01 %, obsah mědi pak 0,01 %. Velmi příznivě pak působí na smaltovatelnosti oceli nikl.

Ve feritické struktuře nízkouhlíkové oceli by pak měl být cementit rozložen rovnoměrně v základní matici (v globulární formě).

Nejvíce pak pro smaltování vyhovují neuklidněné oceli, které vykazují poměrně čistý povrch plechu. V dnešní době se velmi rozšiřuje výroba uklidněných kontinuálně odlévaných ocelí, jejichž smaltovatelnost byla problematická. Tyto oceli, jakož i všechny uklidněné oceli jsou náchylné k výskytu vad ve smaltovém povlaku jako důsledek společného působení oceli s vodíkem a smaltem. Tento problém se vyřešil zvládnutím migrace vodíku tak, aby mohla nastat jeho kumulace, která je spojená s vylučováním v molekulární formě v blízkosti fázového rozhraní kov – smalt. Smaltovatelnost ocelí z kontinuálního odlévání byla vyřešena tím vytvořením jemných cementitických částic ve struktuře, které vytváří tzv. pasti pro zachycení vodíku, který dále nemá možnost difundovat k fázovému rozhraní a vytvářet defekty v povlaku.

### 3.6.2. Šedá litina

Pro proces smaltování se používá jen šedá litina s perlitickou základní hmotou, která se při tepelném zpracování smaltu mění na feritickou strukturu s rovnoměrně děleným lamelárním grafitem. Při posuzování smaltovatelnosti šedé litiny vycházíme z chemického složení, tvaru výrobku, jakosti a struktury.

*Chemické složení smaltovatelné šedé litiny:*

Prvek	Druh	Množství [%]
Uhlík	celkový	3,2 – 3,4
Uhlík	jako grafit	2,8 – 3,2
Uhlík	vázaný na cementit	0,4 – 0,6 (po smaltování 0,1 – 0,2)
Křemík		2,5 – 2,8
Mangan		0,4 – 0,6
Fosfor		0,7
Síra		méně jak 0,09

tab. 1 Chemické složení smaltovatelné šedé litiny

Šedá litina nesmí obsahovat póry, trhliny a další necelistvosti. Po otryskání musí mít středně drsný rovnoměrný povrch. Z konstrukčního hlediska je vhodné volit pro smaltování odlitky s rovnoměrnou tloušťkou. Koeficient roztažnosti litiny má být v rozmezí  $(4 - 3,5) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ . [1]

### 3.7. Působení vodíku a kovu v procesu vytváření sklovitých smaltových povlaků

Vodík způsobuje klasické vady ve smaltu, tzv. rybí šupiny. Tato vada se projevuje tak, že vrstvy smaltu odprskávají v podobě šupin, čímž vznikají prohlubně, které jsou na jedné straně téměř rovné a na druhé straně polokruhovitě. Názory na vznik šupin jsou doposud nejednotné. Hlavní příčina jejich vzniku je připisována vodíku, který je rozpuštěn v kovu a který po ochlazení soustavy kov – smalt v důsledku nerovnovážného stavu se vylučuje v molekulární plné formě. Nadměrné zvýšení objemu vodíku vede pak k pnutí a odprýsknutí smaltu.

Zdrojem vodíku je voda jednak z atmosféry pece, ale hlavně ze složek smaltového nánosu, který obsahuje volnou i vázanou vodu. Proces pronikání vodíku do kovu je možný až po dislokaci plynného vodíku, který probíhá s vysokou aktivační energií ( $430 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) a je závislý na teplotě a tlaku. Vodík je přítomen v oceli také z hutní výroby a z procesů předúpravy, což je např. moření. [1]



## 4 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Cílem této diplomové práce je studium vlivu vstupních materiálů na vlastnosti ochranných povlaků.

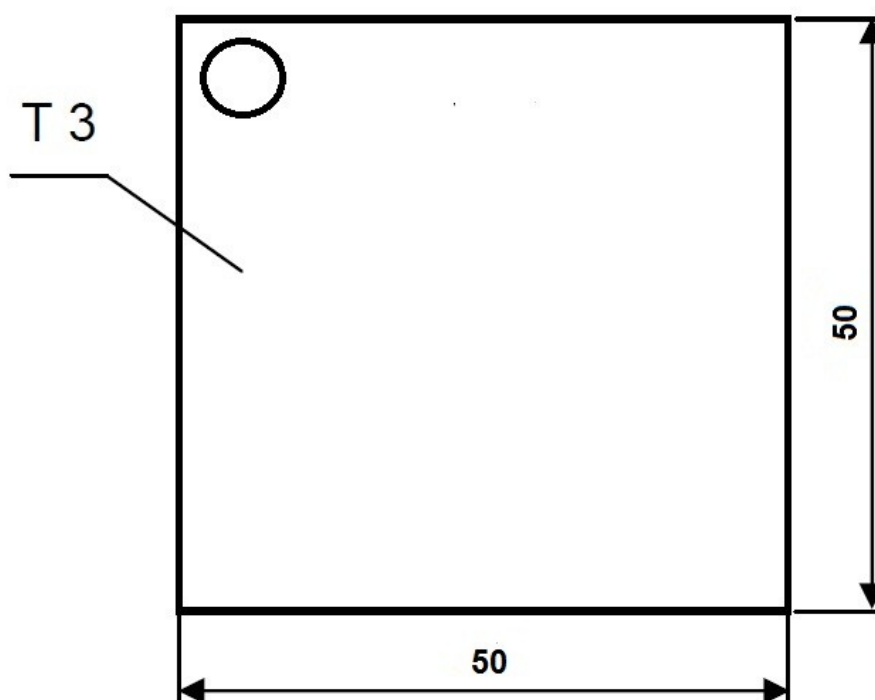
Práce je rozdělena na dvě části. První část je teoretická, ve které jsou popsány základní vlastnosti složení ochranných povlaků jak na bázi nátěrových hmot, tak na bázi sklokeramických povlaků. Dále jsou popsány jednotlivé složky těchto ochranných povlaků, jsou popsány vlastnosti smaltových povlaků, druh přípravy a technologie nanášení smaltových povlaků. Druhá část diplomové práce je část praktická, která se skládá ze zkoušek uvedených níže:

1. Měření tloušťky smaltového povlaku pomocí elektromagnetického tloušťkoměru typu ELCOMETR 456 (ČSN EN ISO 2808)
2. Měření drsnosti podkladových plechů pomocí přístroje Mitutoyo SJ301 (ČSN EN ISO 4287)
3. Měření granulometrie vzorků s pracovním názvem „Kaolín a jíla“
4. Měření drsnosti smaltového povlaku pomocí přístroje Mitutoyo SJ301 (ČSN EN ISO 4287)
5. Měření mikrotvrdosti smaltového povlaku pomocí Hanemannova mikrotvrdoměru na metalografickém mikroskopu NEOPHOT 21 (ČSN ISO 5416)
6. Stanovení lomové houževnatosti smaltového povlaku (ČSN ISO 28079)
7. Stanovení odolnosti smaltového povlaku vůči nárazu – zkouška nastřelováním pomocí zkušebního přístroje dle Wegnera (ČSN ISO 4532)

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 5.1. Zkušební vzorky

K provádění experimentální části jsem měl k dispozici 16 zkušebních vzorků. Jedná se o materiál KOSMALT E 300 T, plech válcovaný za tepla. Tento ocelový plech je používán jako podkladový materiál při výrobě sklovitého smaltového povlaku. Na vzorcích byla provedena mechanická povrchová úprava, konkrétně byly otryskány sekaným ocelovým drátem na čistotu povrchu Sa 2,5. Velikost segmentů sekaného drátu byla do 1 mm. Za pomoci otryskání byly na ocelovém vzorku odstraněny veškeré okuje, rez a původní nátěry.



obr2. Zkušební vzorek

**obr3.** Otryskaný zkušební vzorek

### 5.1.1. Chemické složení vzorků KOSMALT E 300 T

<i>prvek</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i>	<i>N</i>	<i>Ti</i>
<i>množství [%]</i>	0,07	0,21	0,03	0,013	0,01	0,042	0,006	0,06

**tab. 2** chemické složení vzorků

### 5.1.2. Mechanické vlastnosti vzorků KOSMALT E 300 T

<i>mez kluzu <math>R_e</math> [MPa]</i>	300 – 450
<i>pevnost v tahu <math>R_m</math> [MPa]</i>	350 – 550
<i>tažnost <math>A</math> [%]</i>	28

**tab3.** mechanické vlastnosti vzorků



## 5.2. Odmaštění zkušebních vzorků

Odmašťování vzorků probíhalo následujícím způsobem:

1. Odmaštění vzorků po dobu 5 minut v odmašťovací lázni
2. Oplach vzorků ve vodě po dobu 2 minut
3. Sušení vzorků při 100°C po dobu 15 minut (sušička SN 30/4)

Odmašťovací lázeň:

- odmaštění vzorků probíhalo v ekologickém odmašťovacím prostředku Simple Green, v koncentraci 1:10 s vodou
- před odmaštěním T – 25,4°C, pH - 9,28
- po odmaštění T – 24,9 °C, pH – 9,25

Oplach vodou:

- před oplachem T – 22,8 °C, pH – 8,27
- po oplachu T – 22,5 °C, pH – 8,23

Pro zjištění teplot a pH lázní před a po oplachu byl použit pH metr PICCOLO plus H1 1295 Amplified Electrode

## 5.3. Druhy smaltů, použité v experimentu

Pro smaltování vzorků byly použity následující druhy smaltéřských břeček.

- Pro základní smalt byla využita břečka FERRO, barva šedá, namíchaná dne 14. 4. 2011
- Pro krycí smalt byla využita břečka PP 40821S, barva zelená, namíchaná dne 14. 4. 2011

Oba druhy zmíněných břeček byly bez přídavku jílu, při samotném experimentu pak byly namíchány s příslušnými jílovými a kaolínovými složkami.

### 5.3.1. Složení jednotlivých druhů břechek

#### a) Základní smalt FERRO

<i>Položka</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Hmotnostní %</i>	<i>Hmotnost</i>
<i>Celkem smaltéřských frit</i>	[kg]	100	1000
<i>Smaltéřská frit 2215</i>	[kg]	20	200
<i>Smaltéřská frit 2216</i>	[kg]	20	200
<i>Smaltéřská frit 2220</i>	[kg]	40	400
<i>Smaltéřská frit 2292</i>	[kg]	20	200
<i>Křemen mletý</i>	[kg]	25	250
<i>Jíl</i>	[kg]	6	60
<i>Dusitan sodný NaNO<sub>2</sub></i>	[kg]	0,1	1
<i>Borax Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O</i>	[kg]	0,1	1
<i>Uhličitan hořečnatý MgCO<sub>3</sub></i>	[kg]	0,15	1,5
<i>Voda</i>	[l]	57 - 58	570 - 580

**tab4.** složení základního smaltu FERRO

#### b) Krycí smalt PP 40821S

<i>Položka</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Hmotnostní %</i>	<i>Hmotnost</i>
<i>Celkem smaltéřských frit</i>	[kg]	100	1200
<i>Smaltéřská frit PP40821</i>	[kg]	100	1200
<i>Křemen mletý</i>	[kg]	15	180
<i>Jíl</i>	[kg]	8 – 8,5	96 – 102
<i>Oxid antimonitý Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	[kg]	0,3	3,6
<i>Kyselina boritá H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></i>	[kg]	0,4	4,8
<i>Dusitan sodný NaNO<sub>2</sub></i>	[kg]	0,15	1,8
<i>Uhličitan draselný K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	[kg]	0,05	0,6
<i>Voda</i>	[l]	56 - 57	672 – 684
<i>Barvítka chromová zeleň K 402 91</i>	[kg]	0,83	10
<i>Barvítka modrozelené K 484 06</i>	[kg]	2,17	26
<i>Barvítka černé K 807 68</i>	[kg]	0,67	8

**tab5.** složení krycího smaltu



## 5.4. Použité druhy jílu a kaolínů

V experimentu byl použit jemný jíl Ferro a jemný jíl Lasselsberger MIC. Oba jíly byly namlety v roce 2007. Dále byly použity dva druhy kaolínů a to kaolín K12T3M4 a kaolín K12T4M4, které byly namlety v roce 2010.

### 5.4.1. Jíl Lasselsberger MIC

Tento druh jílu patří mezi žáruvzdorné – vážné. Kaolinické jíly se především vyznačují dobrou slínavostí, střední až vysokou vazností a pevným hustým střepelem. Využívají se jako vazná a žáruvzdorná složka při výrobě žáruvzdorných materiálů vysoké hutnosti a pevnosti za sucha i po výpalu. Především se využívají při výrobě dlaždic, obkladaček, šamotů, vanových kamenů, užitkové keramiky aj. Tento jíl byl namíchán do obou druhů smaltéřských břecek, bez přídavku jílu.

<b>vlastnosti</b>	<b>jednotka</b>	<b>MIC</b>
<i>lokalita těžby</i>		Borovany
<i>vzhled a barva</i>		tmavě – šedomodrý
<b>chemické složení</b>		
<i>ztráta žiháním</i>	[%]	9 – 11
$SiO_2$	[%]	55 – 57
$Al_2O_3$	[%]	27 – 29
$Fe_2O_3$	[%]	2,3 – 2,5
$TiO_2$	[%]	2,1 – 2,3
<i>žáruvzdornost</i>	[°C]	1650 - 1660
<i>teplota slinutí</i>	[°C]	1250 – 1260
<i>vaznost</i>	[%]	60 – 70
<b>zbytek na síti</b>		
<i>2 mm</i>	[%]	0,01 – 0,05
<i>0,9 mm</i>	[%]	1 – 2
<i>popis zbytku</i>		křemen + živec
<i>celková smršť při 1250°C</i>	[%]	18 – 20
<i>nasákavost při 1250°C</i>	[%]	0,5 – 1
<i>důlní vlhkost</i>	[%]	šedozelená
<i>minerologický charakter</i>		kaolinitový jíl

tab6. charakteristika vzorku MIC

#### 5.4.2. Kalcinované kaolíny K12T3M4 a K12T4M4

Podle dodané dokumentace byla u těchto kalcinovaných kaolínů provedena RTG fluorosenční i difrakční fázová analýza, byly stanoveny stupně bělosti, vlhkosti, ztráty žihání m, měrné hmotnosti, měrné povrchy, pH vodné suspenze, abrazivity a distribuce velikosti částic. Výsledky zkoušek jsou uvedeny níže.

<i>složení</i>	<i>jednotka</i>	<b>K12T3M4</b>	<b>K12T4M4</b>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	[%]	55,1	55,9
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	[%]	39,6	39,8
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	[%]	0,62	0,63
<i>TiO<sub>2</sub></i>	[%]	0,97	1
<i>CaO</i>	[%]	0,08	0,09
<i>MgO</i>	[%]	0,18	0,18
<i>K<sub>2</sub>O</i>	[%]	1,45	1,49
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	[%]	0,04	0,05
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	[%]	0,13	0,13
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	[%]	0,01	0,01
<i>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	[%]	0,01	0,02
<i>BaO</i>	[%]	0,03	0,03
<i>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	[%]	0,04	0,03
<i>SrO</i>	[%]	<0,01	<0,01
<i>SO<sub>3</sub></i>	[%]	<0,01	<0,01
<i>vlhkost</i>	[%]	0,28	0,25
<i>ztráta žiháním</i>	[%]	1,37	0,28
<i>skutečná měrná hmotnost</i>	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,53	2,71
<i>měrný povrch</i>	[m <sup>2</sup> /g]	10,75	4,94
<i>D<sub>50</sub></i>	[μm]	4,328	3,115
<i>D<sub>90</sub></i>	[μm]	9,072	6,613
<i>stupeň bělosti</i>	[%]	94,9	97,8
<i>pH vodné suspenze</i>		5,9	7,1
<i>abrazivita</i>	[mg]	34,6	62,8

**tab7.** charakteristika vzorků kaolínů T3 a T4

### 5.4.3. Granulometrie vzorků jílu a kaolínů

V laboratoři sypkých hmot byla provedena analýza vzorku na laserovém analyzátoru Mastersizer 2000. V tabulce číslo 8 můžeme shlédnout velikostní distribuci. Grafické zobrazení distribucí nalezneme v příloze.

V tabulce jsou uvedeny tyto základní hodnoty:

- $d(0,1)$  – 10% vzorku je pod tuto hodnotu
- $d(0,5)$  – 50% vzorku je pod tuto hodnotu (tato hodnota dělí plochu křivky na dvě identické poloviny)
- $d(0,9)$  – 90% vzorku je pod tuto hodnotu
- $d_{50}$  – střední zrno (okolo této hodnoty se vyskytuje největší množství daného vzorku)
- span (šířka distribuce)

<i>název vzorku</i>	<i><math>d(0,1)</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	<i><math>d(0,5)</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	<i><math>d(0,9)</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	<i>mode = <math>d_{50}</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</i>	<i>span</i>
<i>kaolín T3</i>	1,575	4,328	9,072	4,89	1,732
<i>kaolín T4</i>	1,159	3,115	6,613	3,802	1,751
<i>Ferro jemný jíl</i>	1,090	2,243	4,589	2,502	1,56
<i>MIC jemný jíl</i>	1,102	3,046	10,904	3,184	3,218

**tab8.** velikostní distribuce vzorků jílu a kaolínů

### 5.5. Příprava břechek

Příprava smaltěřských břechek probíhala následujícím způsobem:

- 1) Důkladné promíchání smaltěřských břechek (FERRO i PP 40821S), doba míchání cca 20 minut.
- 2) Přidání jílu (Ferro, MIC) nebo kaolínů (K12T3M4, K12T4M4) do smaltěřské břechky a následné promíchání. Doba promíchání se pohybovala opět kolem 20 minut.

Na vzorky byly použité následující smalty:

- a) Vzorek 1 – 4, základní smalt Ferro + Ferro jemný jíl 3%, krycí PP 40821S + Ferro jemný jíl 6%
- b) Vzorek 5 – 8, základní smalt Ferro + K12T3M4 6%, krycí PP 40821S + K12T3M4 8%

- c) Vzorek 9 – 12, základní smalt Ferro + K12T4M4 6%, krycí PP 40821S + K12T4M4 8%
- d) Vzorek 13 – 16, základní smalt Ferro + jemný jíl MIC 6%, krycí PP 40821S + jemný jíl MIC 6%

### 5.6. Nanášení smaltového povlaku

Smaltéřská břecha byla nanášena metodou stříkání ve stříkací kabině (viz. obr4), ručně tlakovou stříkací pistolí. U ručního stříkání je velmi důležité ustavení polohy stříkací pistole vůči vzorkům.



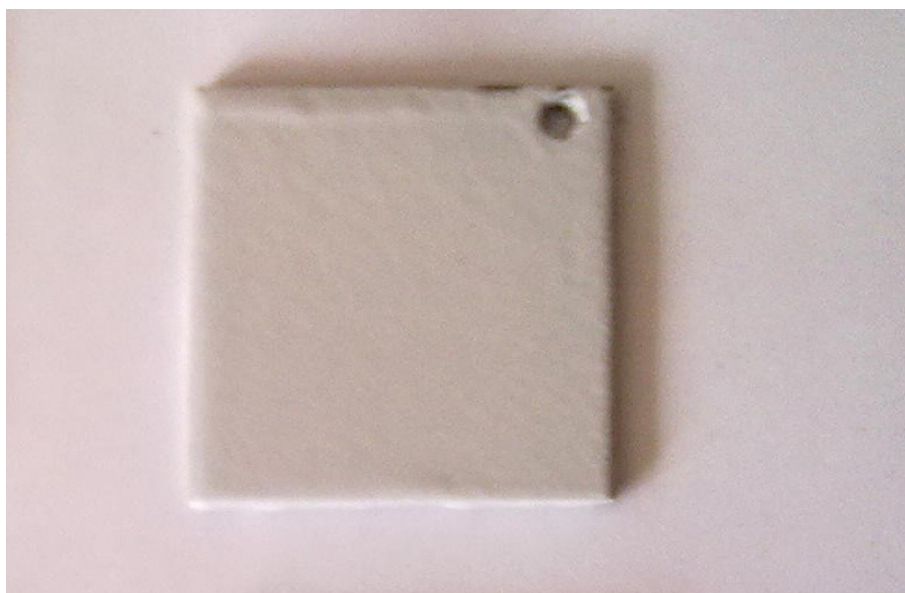
obr4. stříkací kabina

### 5.7. Sušení smaltového povlaku

Sušení smaltové břechky, která byla nastříkaná na vzorcích probíhalo v sušící peci SN 30/4 při teplotě 100°C po dobu cca 15 minut.



**obr5.** Sušící pec SN 30/4



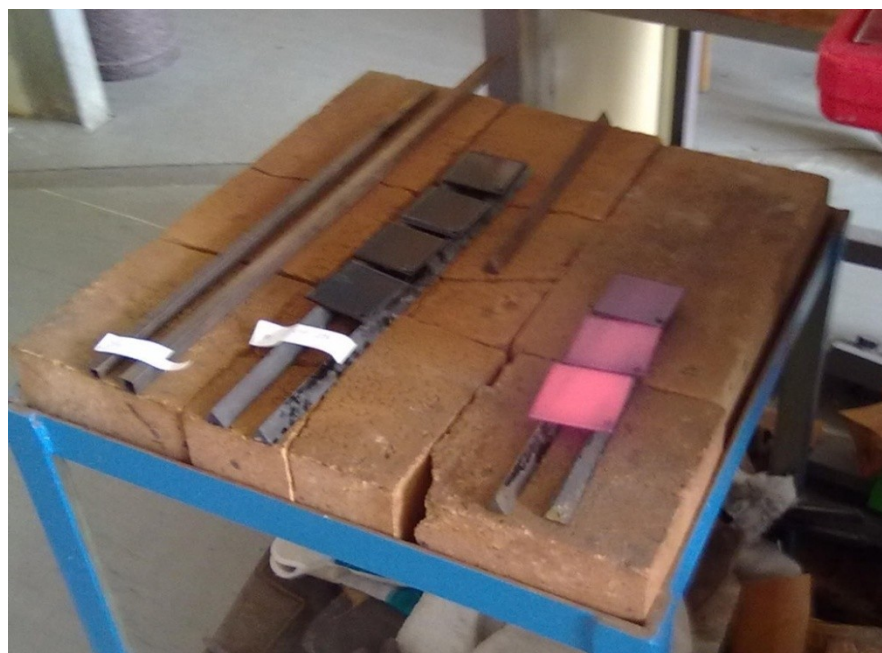
**obr6.** pohled na vzorek po usušení v peci SN 30/4

## 5.8. Vypalování smaltů

Vzorky byly vypalovány v elektrické laboratorní peci ZEZ typu uHG 4/3 při teplotě 830 °C. Vzhledem k velikosti pece bylo vypalování omezeno max. na 4 kusy vzorků. Nejdříve byly vypáleny všechny vzorky se základním smaltem, poté na polovičku těchto vzorků byl nanesen dále krycí smalt a znovu vypálen. Doba vypalování byla stanovena na 8 minut pro všechny vzorky.



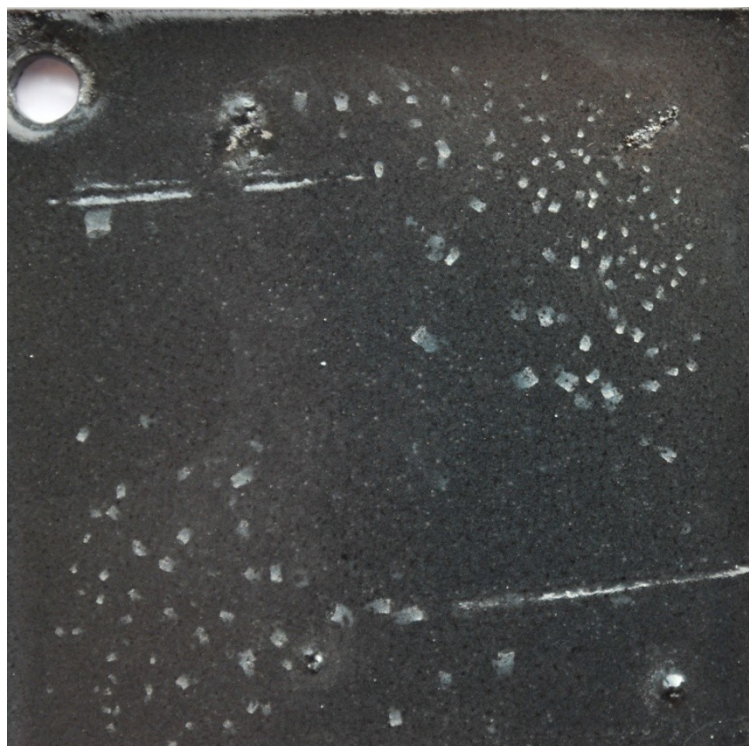
obr7. vypalovací pec ZEZ



obr8. Vzorky po vyjmutí z pece

Po vypálení všech vzorků se základním smaltem bylo zjištěno, že základní smalt, který byl namíchán s kaolínem K12T3M4 je na pohled nevyhovující (viz. obr9). Na povrchu vzorků se objevili „rybí šupiny“. Způsobeno to může být mnoha faktory, jako je například přebytek elektrolitů, nevhodným mletím smaltu, popřípadě nedopálením. Hlavní příčinou vzniku těchto rybích šupin je připisována vodíku, který je rozpuštěn v kovu a který po ochlazení soustavy kov – smalt se vylučuje. Zdrojem vodíku je voda, jednak z atmosféry pece, ale hlavně tedy ze složek smaltového nánosu, který obsahuje volnou i vázanou vodu. [3]

Další problém se poté objevil při nanášení krycího smaltu na vzorky se stejným kaolínem. Tato břečka byla charakteristická nižší hustotou, což se při nástřiku projevilo tím, že břečka stékala. Tento proces byl opakován celkem třikrát, bohužel po opláchnutí, namíchání nové břečky a nanášení se vyskytoval stejný problém. Z toho důvodu byl na vzorcích s kaolínem K12T3M4 ponechán pouze základní smalt.



**obr9.** Nevyhovující povrch smaltu s kaolínem K12T3M4

## 6 MĚŘENÍ TLOUŠŤKY SMALTOVÉHO POVLAKU

Měření tloušťky smaltového povlaku na zkušebních vzorcích bylo prováděno pomocí elektronického měřicího přístroje Elcometer 456 (obr.10).



**obr10.** tloušťkoměr Elcometer 456

Tento digitální přístroj pracuje na principu přijímání elektromagnetických vln, odražených od kovového povrchu základního materiálu. Měření tloušťky smaltového povlaku probíhalo na principu, kdy přístroj byl přiložen na povrch měřeného vzorku. Na displeji se zobrazila naměřená hodnota tloušťky vrstvy. Měření podle této metody nalezneme v normě ČSN EN ISO 2808.

Celkem bylo změřeno sedm vzorků, vždy po deseti měřeních. Označení jednotlivých měření je následující:

1. základ, ferro jemný jíł 3%
2. krycí, ferro jemný jíł 6%
3. základ, kaolín K12T3M4 6%
5. základ, kaolín K12T4M4 6%
6. krycí, kaolín K12T4M4 8%
7. základ, MIC jemný jíł 6%
8. krycí, MIC jemný jíł 8%

Vzorek číslo 4 byl pro další měření vyloučen z důvodu toho, že se nepodařilo na něj nanést krycí smalt.



<b>vzorek1</b>	<i>tloušťka</i>	<b>vzorek3</b>	<i>tloušťka</i>	<b>vzorek5</b>	<i>tloušťka</i>	<b>vzorek7</b>	<i>tloušťka</i>
č. měření	[ $\mu\text{m}$ ]	č. měření	[ $\mu\text{m}$ ]	č. měření	[ $\mu\text{m}$ ]	č. měření	[ $\mu\text{m}$ ]
1	149	1	185	1	223	1	283
2	154	2	220	2	200	2	274
3	162	3	212	3	150	3	277
4	160	4	262	4	135	4	249
5	149	5	186	5	157	5	262
6	136	6	150	6	214	6	272
7	155	7	271	7	222	7	247
8	161	8	163	8	268	8	215
9	162	9	256	9	307	9	211
10	147	10	201	10	225	10	229
$\Phi$	153,5	$\Phi$	210,6	$\Phi$	210,1	$\Phi$	251,9

**tab9.** hodnoty tloušťek povlaků pro základní smalty

<b>vzorek2</b>	<i>tloušťka</i>	<b>vzorek4</b>	<i>tloušťka</i>	<b>vzorek6</b>	<i>tloušťka</i>	<b>vzorek8</b>	<i>tloušťka</i>
č. měření	[ $\mu\text{m}$ ]	č. měření	[ $\mu\text{m}$ ]	č. měření	[ $\mu\text{m}$ ]	č. měření	[ $\mu\text{m}$ ]
1	171	1	-	1	249	1	218
2	224	2	-	2	262	2	287
3	179	3	-	3	268	3	360
4	143	4	-	4	341	4	334
5	198	5	-	5	365	5	312
6	234	6	-	6	364	6	323
7	148	7	-	7	324	7	328
8	204	8	-	8	372	8	286
9	145	9	-	9	346	9	252
10	247	10	-	10	319	10	287
$\Phi$	189,3	$\Phi$	-	$\Phi$	321	$\Phi$	298,7

**tab10.** hodnoty tloušťek povlaků pro krycí smalty

## 6.1. Zhodnocení měření

Z naměřených hodnot je patrné, že výsledný povlak u některých vzorků není příliš rovnoměrný. Je to důsledek toho, že nástřík byl proveden pomocí stříkací pistole.

Tloušťka povlaku u základního smaltu s Ferro jemným jílem se pohybuje v rozsahu od 136 do 162  $\mu\text{m}$  s průměrnou hodnotou 153,5  $\mu\text{m}$ . Tloušťka povlaku u krycího smaltu



Ferro s jemným jílem se pohybuje v rozsahu od 143 do 247  $\mu\text{m}$  s průměrnou hodnotou 189,3  $\mu\text{m}$ .

Tloušťka povlaku u základního smaltu s kaolínem K12T3M4 se pohybuje v rozsahu od 150 do 262  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 210,6  $\mu\text{m}$ .

Tloušťka povlaku u základního smaltu s kaolínem K12T4M4 se pohybuje v rozmezí od 135 do 307  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 210,1  $\mu\text{m}$ , u krycího smaltu s kaolínem K12T4M4 se hodnoty tloušťky povrchu pohybují v rozsahu od 249 do 372  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 321  $\mu\text{m}$ .

U základního smaltu s jemným jílem MIC se tloušťka povlaku pohybuje v rozsahu od 211 do 283  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 251,9  $\mu\text{m}$  a tloušťka krycího smaltu s jemným jílem MIC v rozsahu od 217 do 360  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 298,7  $\mu\text{m}$ .

Z naměřených hodnot je vyplývá, že nejmenší tloušťky povrchu bylo dosaženo použitím jemného jílu, naopak s použitím jílu MIC bylo dosaženo nejvyšších hodnot. Podobných hodnot jako u jílu MIC bylo dosaženo i u kaolínu K12T4M4.

## 7 MĚŘENÍ DRSNOSTI SMALTOVÉHO POVLAKU

Pro měření drsnosti povrchu smaltového povlaku byl použit drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ – 301. Je to přístroj pracující na principu dotykové metody, tento přístroj má digitální výstup (viz. obr11). Měření drsnosti povrchu této metody nalezneme v normě ČSN EN ISO 4287.



**obr11.** Mitutoyo Surftest SJ – 301

Měřené parametry drsnosti:

Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rz – nejvyšší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rq – průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rp – nejvyšší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rv – největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]

Rsk – šikmost posuzovaného profilu [-]

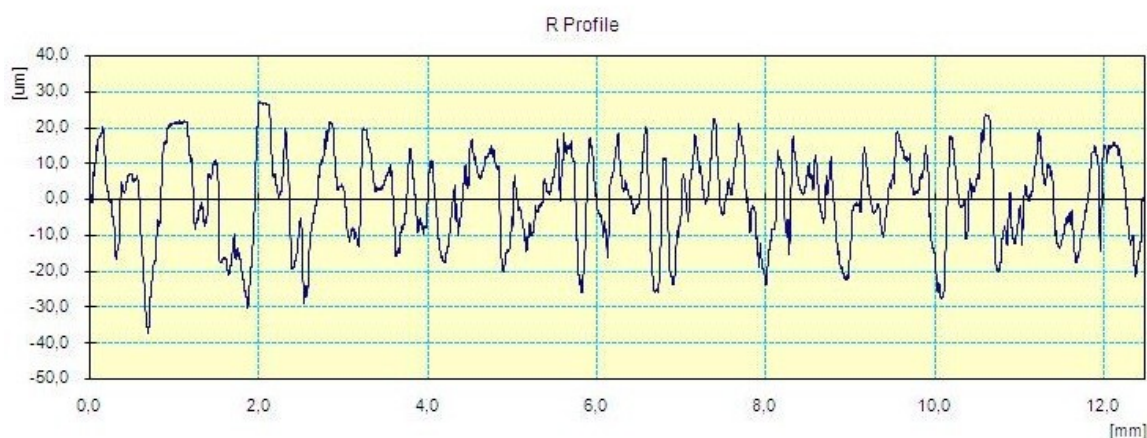
Rku – špičatost posuzovaného profilu [-]

### 7.1. Měření drsnosti dodaného vzorku

Jako první proběhlo měření dodaného vzorku, který byl upraven mechanickou povrchovou úpravou, metodou otryskávání. Daný vzorek byl poté odmaštěn a vysušen. Proběhlo měření pouze jednoho vzorku, jelikož byl předpoklad, že všechny vzorky mají obdobnou drsnost.

Vzorek: <b>0</b>	Parametry drsnosti						
č. měření	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
1	9,92	53,14	12,22	24,2	28,94	0,06	2,62
2	10,92	55,66	13,23	27,01	28,65	-0,05	2,3
3	8,47	50,16	10,62	24,31	25,86	0,17	2,93
4	10,56	53,15	12,82	24,82	28,33	0,01	2,43
5	10,18	51,85	12,22	22,97	28,88	-0,26	2,32
6	9,46	46	11,3	20,49	25,57	-0,16	2,23
7	9,76	49,44	11,81	22,27	27,18	-0,11	2,34
8	9,33	49,13	11,21	24,77	24,36	0,05	2,32
9	10	52,26	11,97	24,9	27,37	0,07	2,26
10	10,99	53,92	13,22	23,26	30,67	-0,18	2,25
$\Phi$	9,959	51,471	12,062	23,9	27,581	-0,04	2,4

**tab11.** naměřené hodnoty drsnosti pro vzorek číslo 0 (nesmaltovaný)



**graf1.** grafické znázornění drsnosti na vzorku 0 (5. řádek tabulky)

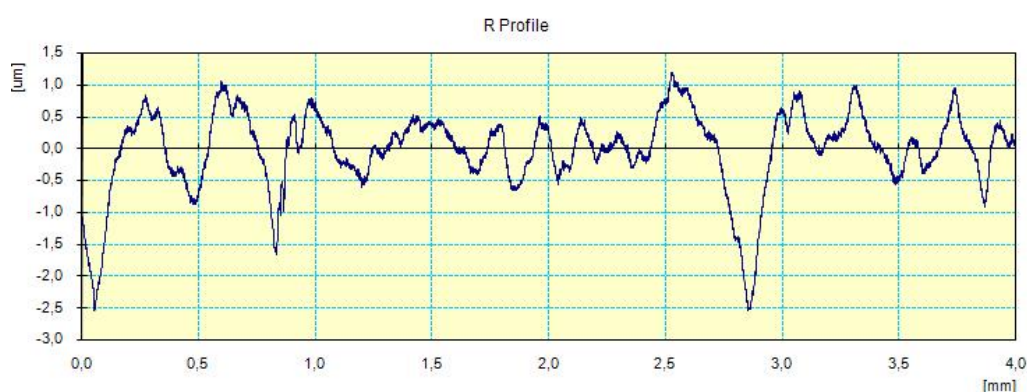
## 7.2. Měření drsnosti smaltovaného vzorku

Následovalo měření sedmi vzorků se smaltovým povlakem. Na čtyřech vzorcích byl pouze základní smalt, na dalších třech smalt krycí. Pro jednoduchost bylo zanecháno stejné značení vzorků, jako u měření tloušťky povlaku. Tedy:

1. základ, ferro jemný jíł 3%
2. krycí, ferro jemný jíł 6%
3. základ, kaolín K12T3M4 6%
5. základ, kaolín K12T4M4 6%
6. krycí, kaolín K12T4M4 8%
7. základ, MIC jemný jíł 6%
8. krycí, MIC jemný jíł 8%

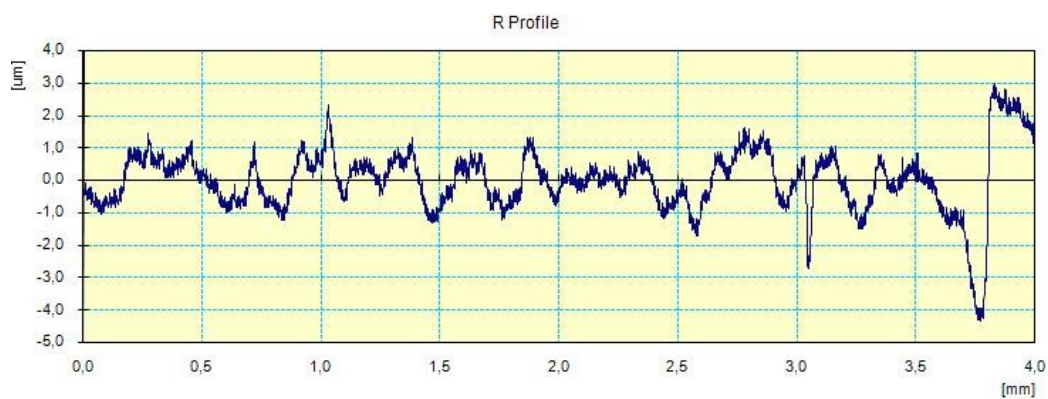
**Měření 1:**

Vzorek: <b>1</b>	Parametry drsnosti						
č. měření	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
1	0,5	2,52	0,61	1,23	1,29	-0,08	2,7
2	0,43	2,27	0,53	0,98	1,29	-0,33	2,53
3	0,39	1,92	0,49	0,86	1,06	-0,5	2,49
4	0,45	2,25	0,56	1,1	1,15	-0,17	2,8
5	0,45	2,54	0,58	0,9	1,64	-0,79	3,4
6	0,54	2,67	0,67	1,05	1,61	-0,54	2,87
7	0,45	2,57	0,58	0,9	1,67	-0,77	3,58
8	0,57	3,1	0,74	1,07	2,03	-0,85	3,3
9	0,55	2,66	0,67	1,09	1,57	-0,45	2,53
10	0,52	2,43	0,62	1,02	1,47	-0,61	3,1
$\Phi$	0,485	2,493	0,605	1,02	1,478	-0,509	2,93

**tab12.** naměřené hodnoty drsnosti pro vzorek číslo 1

**graf2.** grafické znázornění drsnosti na vzorku 1 (7.řádek tabulky)

## Měření 2:

Vzorek: 2	Parametry drsnosti						
č. měření	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
1	0,48	2,94	0,58	1,56	1,38	0,05	2,41
2	0,49	2,69	0,59	1,31	1,38	-0,03	2,44
3	0,5	2,67	0,6	1,23	1,44	-0,58	2,57
4	0,6	3,15	0,74	1,46	1,69	-0,17	2,7
5	0,52	3,01	0,46	1,28	1,33	-0,21	2,6
6	0,48	2,87	0,56	1,42	1,51	-0,42	2,33
7	0,7	4,07	0,86	1,93	2,14	-0,1	2,58
8	0,5	3,11	0,63	1,46	1,65	-0,44	3,04
9	0,65	3,6	0,82	1,76	1,84	-0,14	2,91
10	0,68	3,78	0,82	2,11	1,67	0,15	1,63
$\Phi$	0,56	3,189	0,666	1,552	1,603	-0,189	2,521

**tab13.** naměřené hodnoty drsnosti pro vzorek číslo 2

**graf3.** grafické znázornění drsnosti na vzorku 2 (7. řádek tabulky)

## Měření 3:

Vzorek: 3	Parametry drsnosti						
č. měření	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
1	1,72	8,19	2,05	4,82	3,37	0,4	2,77
2	0,65	3,75	0,81	2,18	1,57	0,17	2,98
3	0,68	3,67	0,85	1,88	1,79	0,01	2,71
4	0,65	3,05	0,77	1,36	1,69	-0,47	2,58
5	0,84	4,22	1,02	1,99	2,23	-0,07	2,43
6	0,76	4,19	0,88	1,73	1,82	-0,02	2,71
7	1,38	7,27	1,71	3,46	3,81	-0,4	3,26
8	0,92	4,15	1,62	2,95	2,81	-0,28	2,41
9	0,64	2,99	0,75	1,47	1,52	0,06	1,99
10	0,6	3,03	0,73	1,85	1,18	0,45	2,53
$\Phi$	0,884	4,451	1,119	2,369	2,179	-0,015	2,637

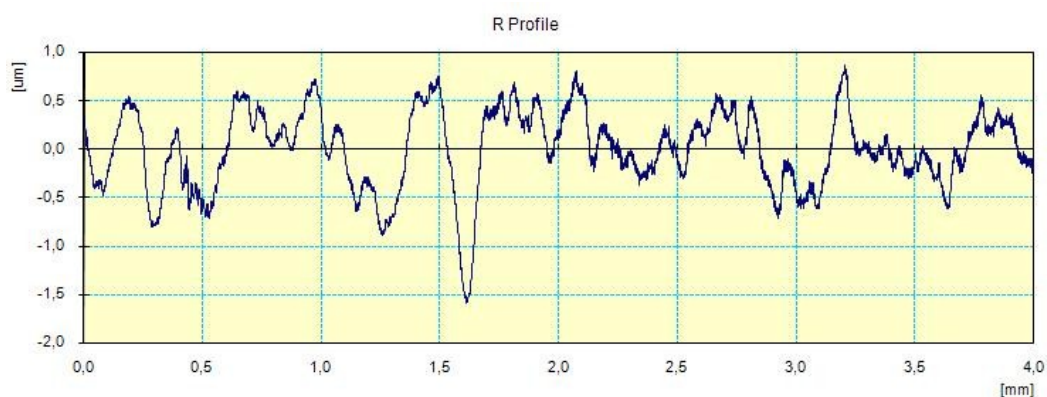
**tab14.** naměřené hodnoty drsnosti pro vzorek číslo 3

**graf4.** grafické znázornění drsnosti na vzorku 3 (7. řádek tabulky)

## Měření 5:

Vzorek: 5	Parametry drsnosti						
č. měření	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
1	0,32	1,56	0,39	0,84	0,73	0,11	2,14
2	0,29	1,48	0,38	0,66	0,59	0,09	2,93
3	0,33	1,73	0,4	0,91	0,82	0	2,8
4	0,28	1,63	0,31	0,78	0,68	0,01	2,62
5	0,31	1,76	0,4	0,95	0,81	-0,05	2,97
6	0,51	2,72	0,64	1,28	1,44	0,04	3,57
7	0,42	2,19	0,55	1,12	1,21	0,01	2,85
8	0,32	1,8	0,4	0,76	1,04	-0,4	3,08
9	0,35	1,65	0,38	0,81	1,18	-0,21	3,01
10	0,38	1,92	0,31	0,78	0,85	-0,05	2,95
$\Phi$	0,351	1,844	0,416	0,889	0,935	-0,045	2,892

tab15. naměřené hodnoty drsnosti pro vzorek číslo 5



graf6. grafické znázornění drsnosti na vzorku 5 (8. řádek tabulky)



## Měření 6:

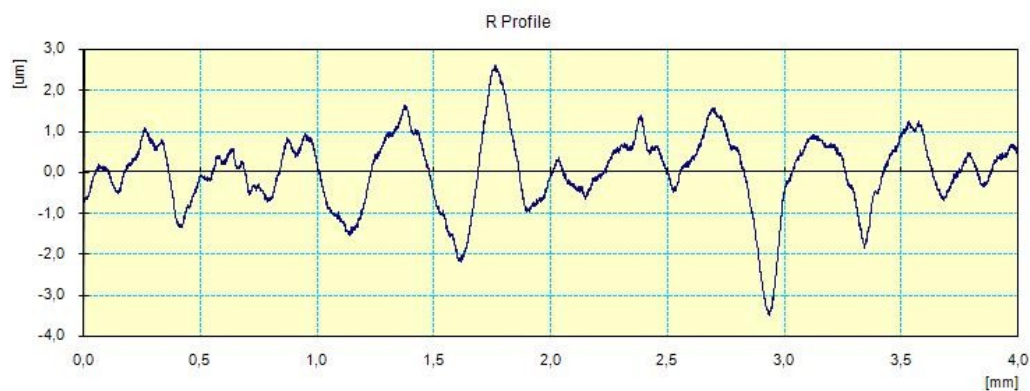
Vzorek: 6	Parametry drsnosti						
č. měření	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
1	0,46	3,07	0,56	1,81	1,27	0,06	3,95
2	0,42	2,99	0,48	1,85	1,12	0,04	3,81
3	0,41	2,3	0,52	1	1,3	-0,34	3,14
4	0,55	2,72	0,67	1,28	1,43	-0,18	2,52
5	0,71	7,61	0,95	4,99	2,65	0,32	6,89
6	0,42	2,5	0,52	1,34	1,15	-0,33	3,33
7	0,47	2,66	0,58	1,32	1,34	-0,29	2,79
8	0,47	2,37	0,57	1,29	1,08	0,31	2,42
9	0,49	3,01	0,65	1,37	1,64	0,01	3,36
10	0,4	2,05	0,5	0,76	1,09	-0,09	2,92
$\Phi$	0,48	3,128	0,6	1,701	1,407	-0,049	3,513

tab16. naměřené hodnoty drsnosti pro vzorek číslo 6

## Měření 7:

Vzorek: 7	Parametry drsnosti						
č. měření	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
1	0,46	4,53	0,59	3,14	1,21	0,73	3,15
2	0,39	2,48	0,52	0,86	1,63	-1,15	4,29
3	0,43	2,19	0,53	1,2	0,99	0,41	2,54
4	0,41	2,05	0,47	0,9	1,33	0,28	2,72
5	0,55	2,69	0,67	1,39	1,3	0,31	2,73
6	0,52	2,71	0,63	1,28	1,22	0,35	2,71
7	0,7	3,82	0,88	1,62	2,2	-0,42	3,07
8	0,63	3,07	0,76	1,46	1,61	-0,07	2,54
9	0,61	2,95	0,68	1,37	1,72	-0,03	3,01
10	0,59	3,01	0,69	1,22	1,98	-0,01	2,82
$\Phi$	0,529	2,95	0,642	1,444	1,519	0,04	2,958

tab17. naměřené hodnoty drsnosti pro vzorek číslo 7

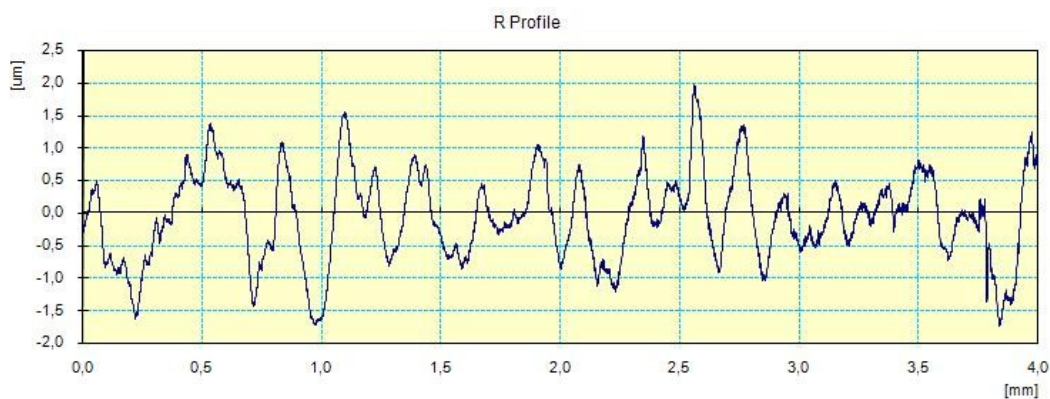


**graf7.** grafické znázornění drsnosti na vzorku 7 (7. řádek tabulky)

**Měření 8:**

Vzorek: <b>8</b>	Parametry drsnosti						
Č. měření	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
1	0,46	2,67	0,57	1,4	1,27	-0,01	2,79
2	0,59	3,25	0,72	1,5	1,75	0,02	2,55
3	0,65	3,38	0,79	1,65	1,74	-0,09	2,52
4	0,7	6,37	0,93	4,22	2,15	0,5	11,05
5	0,67	3,26	0,8	1,75	1,51	0,07	2,25
6	0,56	3,11	0,69	1,54	1,57	-0,06	2,71
7	0,55	2,93	0,68	1,46	1,47	-0,27	2,78
8	0,64	3,34	0,76	1,76	1,59	0,11	2,41
9	0,57	3,19	0,85	1,95	1,68	0,04	2,55
10	0,54	2,78	0,64	1,2	1,57	-0,23	2,53
$\Phi$	0,593	3,428	0,743	1,843	1,63	0,008	3,414

**tab18.** naměřené hodnoty drsnosti pro vzorek číslo 8



**graf8.** grafické znázornění drsnosti na vzorku 8 (7. řádek tabulky)

### 7.3. Vyhodnocení měření drsnosti smaltovaných povlaků

Z naměřených hodnot a poté vypočtených průměrných hodnot pro všechny vzorky je patrné, že jsme dosahovali u každého vzorku obdobných hodnot drsností. Hodnota  $R_a$  se u smaltovaných povlaků pohybovala v rozsahu od 0,28 – 1,72  $\mu\text{m}$ , hodnota  $R_z$  se pohybovala v rozsahu od 1,48 – 8,19  $\mu\text{m}$ , hodnota  $R_q$  se pohybovala v rozmezí od 0,31 – 2,05  $\mu\text{m}$ , hodnota  $R_p$  v rozsahu od 0,66 – 4,99  $\mu\text{m}$ , hodnota  $R_v$  v rozmezí od 0,59 – 3,81  $\mu\text{m}$ , hodnota  $R_{sk}$  v rozsahu od -1,15 – 0,73 a hodnota  $R_{ku}$  se pohybovala v rozsahu od 1,63 – 11,05. Průměrné hodnoty drsnosti všech vzorků nalezneme v tabulce číslo 19.

vzorek	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_q$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_p$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_v$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{sk}$ [-]	$R_{ku}$ [-]
$\Phi 1$	0,49	2,49	0,61	1,02	1,48	-0,51	2,93
$\Phi 2$	0,56	3,19	0,67	1,55	1,60	-0,19	2,52
$\Phi 3$	0,88	4,45	1,12	2,37	2,18	-0,02	2,64
$\Phi 4$	0,56	3,19	0,74	1,47	1,76	-0,16	2,67
$\Phi 5$	0,35	1,84	0,42	0,89	0,94	-0,05	2,89
$\Phi 6$	0,48	3,13	0,60	1,70	1,41	-0,05	3,51
$\Phi 7$	0,53	2,95	0,64	1,44	1,52	0,04	2,96
$\Phi 8$	0,59	3,43	0,74	1,84	1,63	0,01	3,41

**tab19.** průměrné hodnoty drsnosti všech osmi vzorků

## 8 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI SMALTOVÉHO POVLAKU

Pro měření mikrotvrdomosti smaltového povlaku byla použita Vickersova metoda, která byla prováděna pomocí Hanemannova mikrotvrdoměru. Tvrdomost je definována jako odpor materiálu vůči vnikání cizího tělesa. U keramiky a skla se měří zpravidla vtisková tvrdost. Metoda spočívá v tom, že se do hladkého povrchu testovaného materiálu vtlačuje tělísko (indentor). Jedná se o čtyřboký diamantový jehlan, jehož protilehlé strany svírají úhel  $136^\circ$ . [5] Po zatížení indentoru silou 1 N po dobu 10 s a následném odlehčení se zjistí velikost úhlopříčky vtisku a z toho je vypočítána Vickersova tvrdost. Měření mikrotvrdomosti podle Vickerse je popsáno v normě ČSN ISO 4516.

Pro měření mikrotvrdomosti smaltového povlaku byl použit metalografický mikroskop NEOPHOT 21 (obr12), který umožňuje „poloautomatické“ měření, kdy je vtisk promítnut na obrazovku počítače. Pomocí vyhodnocovacího programu byla následně vypočtena mikrotvrdomost. Snímky vtisků byly uloženy do počítače pro pozdější využití v diplomové práci.



**obr12.** metalografický mikroskop NEOPHOT 21 s PC

### 8.1. Naměřené hodnoty mikrotvrlosti smaltových povlaků

U měření opět zůstalo stejné značení vzorků, jako u měření tloušťky a drsnosti. V plánu tedy bylo provést 8 měření, ovšem byl vyloučen vzorek číslo 4, kdy nakonec krycí vrstva smaltu u tohoto vzorku se nepodařila nanést a následně vypálit. Značení vzorků tedy zůstává, a jelikož měření na metalografickém mikroskopu je časově náročné, byl vzorek číslo 4 pro toto měření vyloučen.

*Značení vzorků:*

1. základ, ferro jemný jíł 3%
2. krycí, ferro jemný jíł 6%
3. základ, kaolín K12T3M4 6%
5. základ, kaolín K12T4M4 6%
6. krycí, kaolín K12T4M4 8%
7. základ, MIC jemný jíł 6%
8. krycí, MIC jemný jíł 8%

Měření mikrotvrlosti					
vzorek: 1	č. měření	Hv <sub>0,1</sub> [MPa]	vzorek:3	č. měření	Hv <sub>0,1</sub> [MPa]
	1	5858,1		1	4791,3
	2	2929,7		2	3829,3
	3	5016,4		3	2913,9
	4	3815,1		4	4011,8
	5	4255,5		5	2195
	Φ	4374,96		Φ	3548,26
vzorek: 5	č. měření	Hv <sub>0,1</sub> [MPa]	vzorek:7	č. měření	Hv <sub>0,1</sub> [MPa]
	1	5566,7		1	3168,2
	2	4983,2		2	1084,2
	3	5756,1		3	4369,5
	4	4312,5		4	3513,2
	5	3015		5	2374,9
	Φ	4726,7		Φ	2902

**tab20.** hodnoty mikrotvrlosti pro vzorky se základním smaltem

Měření mikrotvrdoti					
vzorek: 2	č. měření	Hv <sub>0,1</sub> [MPa]	vzorek:4	č. měření	Hv <sub>0,1</sub> [MPa]
	1	9490		1	-
	2	4533,6		2	
	3	3006,4		3	
	4	4666,7		4	
	5	4158		5	
	Φ	5170,94		Φ	
vzorek: 6	č. měření	Hv <sub>0,1</sub> [MPa]	vzorek:8	č. měření	Hv <sub>0,1</sub> [MPa]
	1	5230,5		1	12469
	2	4950,1		2	10988,8
	3	2993,6		3	1851,4
	4	4969,8		4	4447,2
	5	1032,5		5	1491
	Φ	3835,3		Φ	6249,48

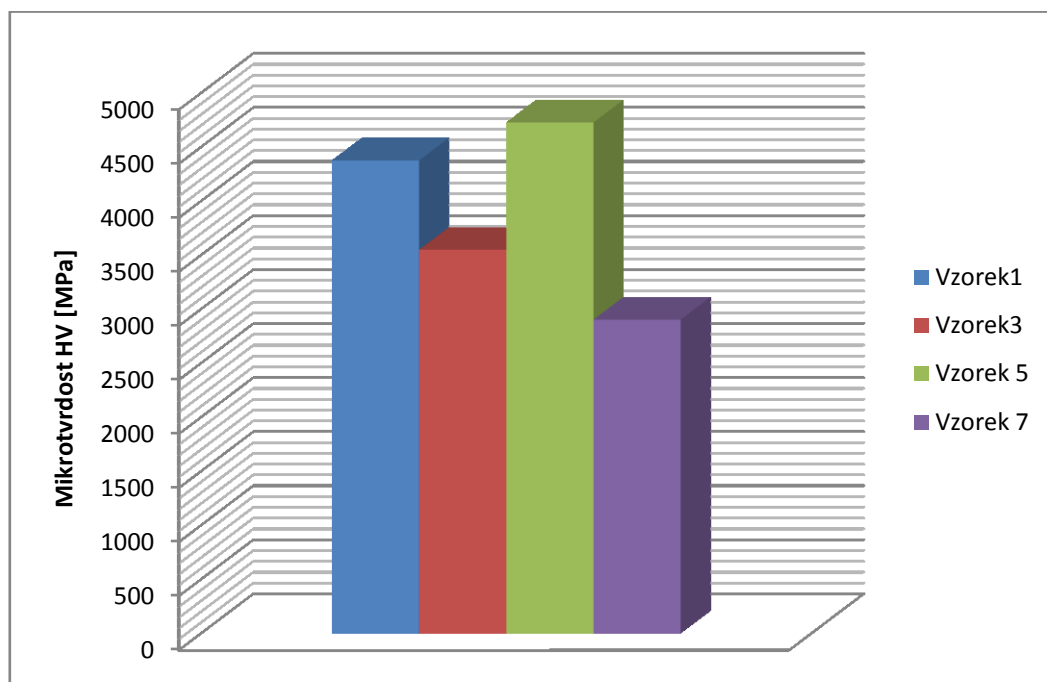
**tab21.** hodnoty mikrotvrdoti pro vzorky s krycím smaltem

## 8.2. Porovnání naměřených hodnot

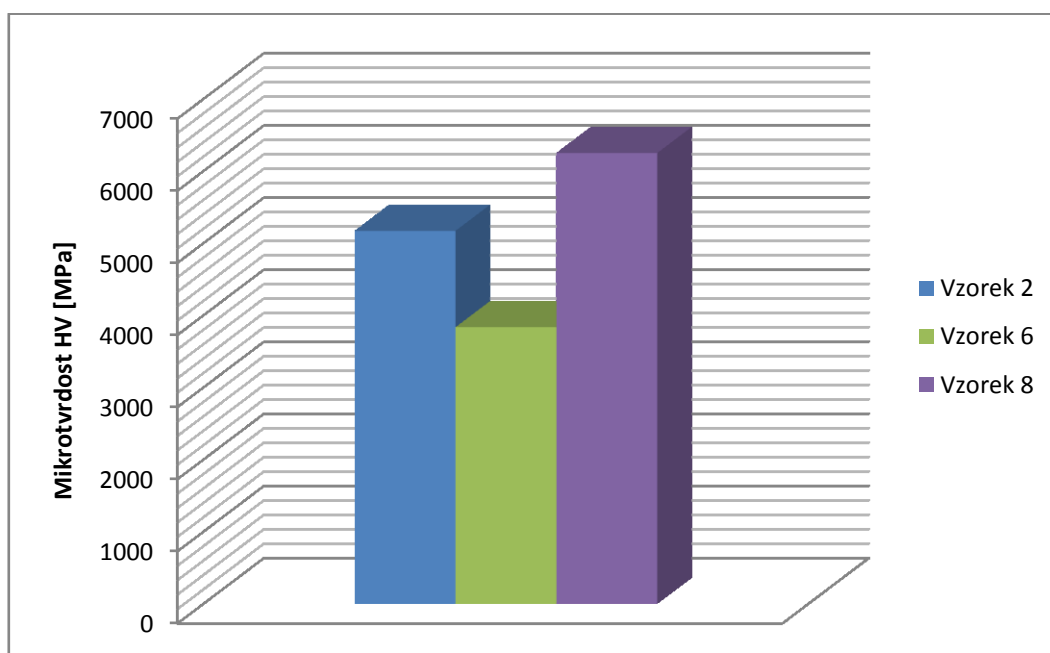
V následující tabulce (tab.22) můžeme shlédnout průměrné hodnoty mikrotvrdotí jednotlivých smaltových povlaků. Pro lepší znázornění byly dané hodnoty zpracovány do grafu (graf9 a graf10).

Druh smaltu	Φ základní [MPa]	Φ krycí [MPa]
Ferro jemný jíł	4374,96	5170,94
Kaolín K12T3M4	3548,26	
Kaolín K12T4M4	4726,7	3835,3
MIC jemný jíł	2902	6249,48

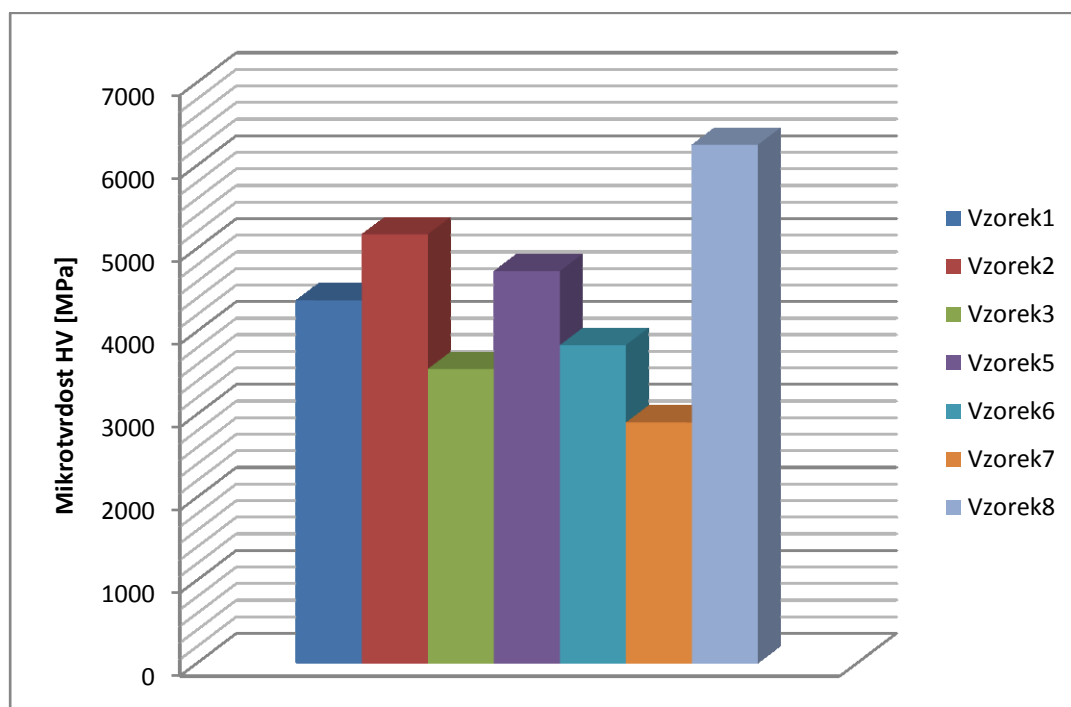
**tab22.** průměrné hodnoty mikrotvrdoti pro jednotlivé vzorky



graf9. porovnání mikrotvrdosti pro základní smalt



graf10. porovnání mikrotvrdosti pro krycí smalt



**graf11.** porovnání mikrotvrdości pro základní a krycí smalty

### 8.3. Vyhodnocení měření mikrotvrdości smaltových povlaků

Po naměření hodnot, uvedení do tabulek a grafů, můžeme určit následující závěry. Nejvyšší hodnoty a tím tedy i nejlepší hodnoty mikrotvrdości dosáhl vzorek číslo 8, tedy krycí smalt s jílem MIC. Naopak, což je zajímavé nejhorších hodnot mikrotvrdości dosáhl základní smalt, se stejným jílem.

Nejstabilnějších a zároveň velmi dobrých výsledků dosahoval také vzorek číslo 1 a 2, tedy smalt s jemným jílem. Můžeme tedy říci, že přijatelnějších hodnot mikrotvrdości dosahovali smalty s jílem, oproti smaltům s kaolínou. Z předešlého grafu (graf11) jsou znázorněny veškeré výsledky. Z tohoto grafu také vyplívá to, že lepších výsledků dosahovali krycí smalty, oproti základním smaltům.

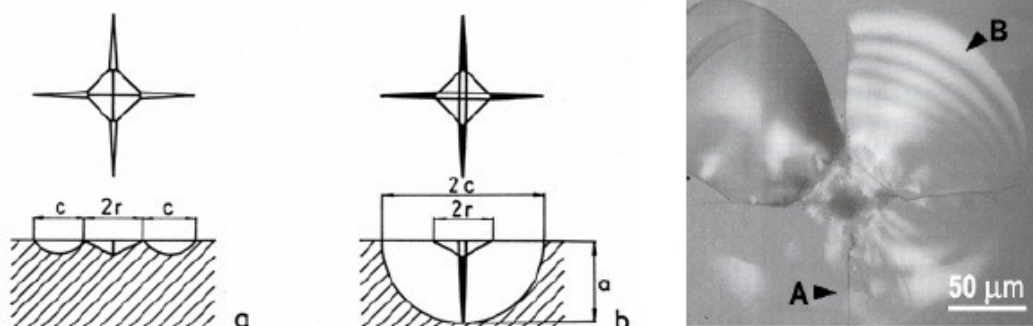


## 9 MĚŘENÍ LOMOVÉ HOUŽEVNATOSTI SMALTOVÉHO POVLAKU

Při vtisku indonteru vznikají u látek s menším odporem větší trhliny vůči jejich šíření, tj. s menší lomovou houževnatostí  $K_{IC}$ . Velmi často se používá Vickersův tvrdoměr, kdy při dostatečně vysokém zatížení vznikají radiální trhliny v úhlopříčkách vtisku.

Rozlišujeme celkem dva druhy radiálních trhlín:

- mělké Palmqvistovy (obr13.a)
- centrální, mající tvar půlelipsy (obr13.b)



obr13. radiální trhliny vtisků vytvořených Vickersovým tvrdoměrem [1]

Pro výpočet lomové houževnatosti použijeme následující vztahy:

a) pro Palmqvistovy trhliny

$$K_{IC} = 0,035 \cdot \left(\frac{c}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{E \cdot k}{H_V}\right)^{\frac{2}{5}} \cdot \left(\frac{H_V \cdot r^{\frac{1}{2}}}{k}\right) \quad [4]$$

b) pro centrální trhliny

$$K_{IC} = 0,129 \cdot \left(\frac{c}{r}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{E \cdot k}{H_V}\right)^{\frac{2}{5}} \cdot \left(\frac{H_V \cdot r^{\frac{1}{2}}}{k}\right) \quad [4]$$

kde,

$c$  – délka Palmqvistovy trhliny

$r$  – poloviční délka úhlopříčky vtisku

$E$  – modul pružnosti v tahu 90 GPa

$H_v$  – Vickersova tvrdost

$k$  – bezrozměrná konstanta, přibližně má hodnotu 3

Výpočet pro Palmqvistovy trhliny se používá v případě, že  $c/r$  je od 0,25 – 1,5, výpočet pro centrální trhliny se používá v případě, že  $c/r$  je vyšší jak 2,5.

### 9.1. Naměřené hodnoty lomové houževnatosti smaltového povlaku

Pro určení lomové houževnatosti smaltového povlaku byl použit stejně jako pro měření mikrotvrdosti metalografický mikroskop NEOPHOT 21, kdy pomocí zobrazení a zvětšení vpichu na obrazovce a následném výpočetním programu, kdy byly pomocí něj určeny potřebné hodnoty  $c$  a  $r$ . Pomocí těchto hodnot jsme byli schopni spočítat velikost lomové houževnatosti  $K_{Ic}$ . Opět bylo měřeno celkem 7 vzorků, vždy po pěti měřeních, stejně tedy, jako u měření mikrotvrdosti. Značení vzorků zůstává tedy stejné, jako u předchozích měření.

Měření lomové houževnatosti									
vzorek:1	č. měření	$r$ [ $\mu\text{m}$ ]	$c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{Ic}$ [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]	vzorek:3	č. měření	$r$ [ $\mu\text{m}$ ]	$c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{Ic}$ [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]
	1	8,13	0	0		1	9,61	7,3	1,957
	2	8,57	0	0		2	8,34	6,82	2,048
	3	9,71	4,9	2,317		3	8,61	0	0
	4	8,24	0	0		4	9	0	0
	5	7,19	5,14	1,700		5	11,03	9,15	4,692
	$\Phi$			0,803		$\Phi$			1,740
vzorek:5	č. měření	$r$ [ $\mu\text{m}$ ]	$c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{Ic}$ [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]	vzorek:7	č. měření	$r$ [ $\mu\text{m}$ ]	$c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{Ic}$ [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]
	1	11,22	4,34	2,484		1	9,62	0	0
	2	9,84	7,5	1,473		2	8,4	7,51	6,969
	3	10,4	0	0		3	8,15	6,9	1,724
	4	8,19	6,34	2,671		4	9,25	8,12	2,390
	5	8,6	7,12	0		5	9,74	0	0
	$\Phi$			1,326		$\Phi$			2,217

tab23. hodnoty lomové houževnatosti pro základní smalty

Měření lomové houževnatosti									
vzorek:2	č. měření	$r$ [ $\mu\text{m}$ ]	$c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{IC}$ [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]	vzorek:4	č. měření	$r$ [ $\mu\text{m}$ ]	$c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{IC}$ [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]
	1	8,6	0	0,000		1			
	2	8,91	0	0,000		2			
	3	9,1	7,17	3,19		3			
	4	7,9	6,41	2,02		4			
	5	8,26	0	0,000		5			
	$\Phi$			1,04		$\Phi$			
vzorek:6	č. měření	$r$ [ $\mu\text{m}$ ]	$c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{IC}$ [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]	vzorek:8	č. měření	$r$ [ $\mu\text{m}$ ]	$c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$K_{IC}$ [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]
	1	8,6	8,1	0,000		1	9,23	7,3	0,708
	2	9,47	6,94	1,901		2	8,62	0	0,000
	3	8,32	0	0,000		3	7,88	6,41	4,014
	4	8,93	0	0,000		4	7,75	7,12	1,546
	5	12,8	8,9	1,264		5	10,9	0	0,000
	$\Phi$			0,633		$\Phi$			1,254

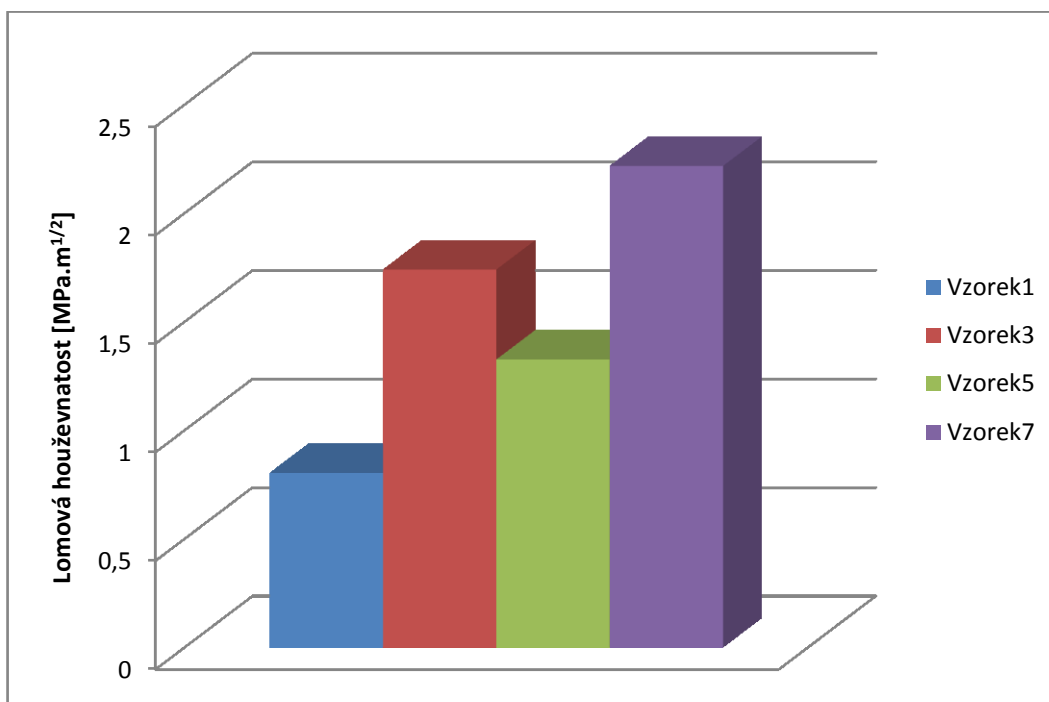
**tab24.** hodnoty lomové houževnatosti pro krycí smaltu

## 9.2. Porovnání vypočtených hodnot lomové houževnatosti

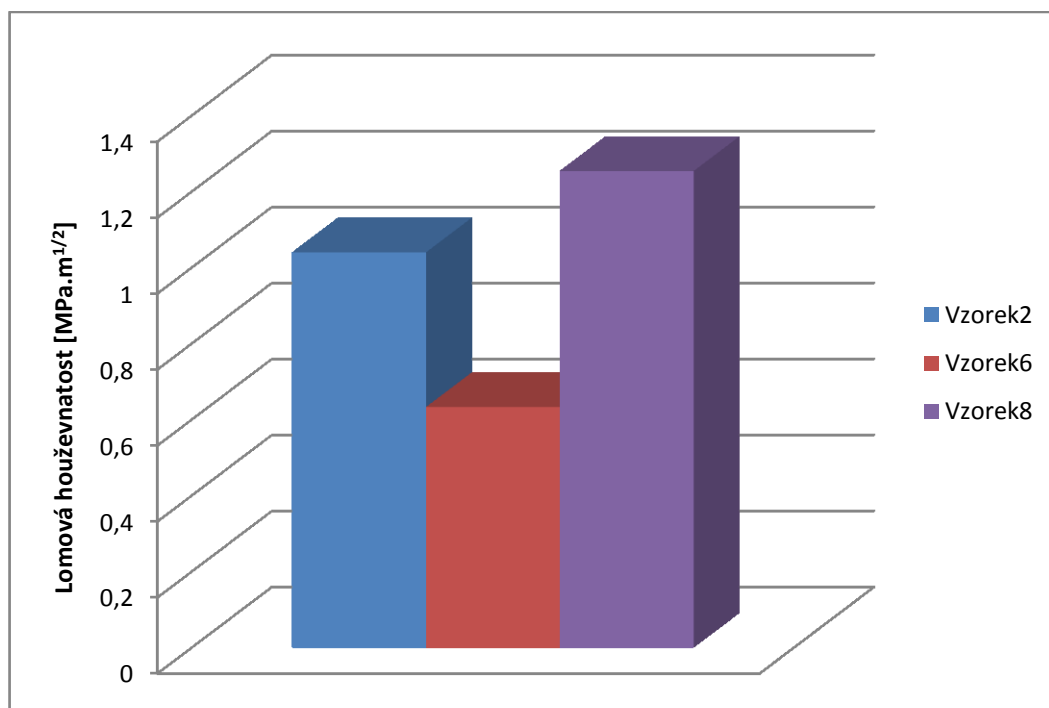
V následující tabulce můžeme vidět porovnání hodnot lomové houževnatosti u jednotlivých druhů smaltů (tab25).

Druh smaltu	$\Phi$ základní [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]	$\Phi$ krycí [ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ]
Ferro jemný jíl	0,803	1,04
Kaolín K12T3M4	1,740	
Kaolín K12T4M4	1,326	0,633
MIC jemný jíl	2,217	1,254

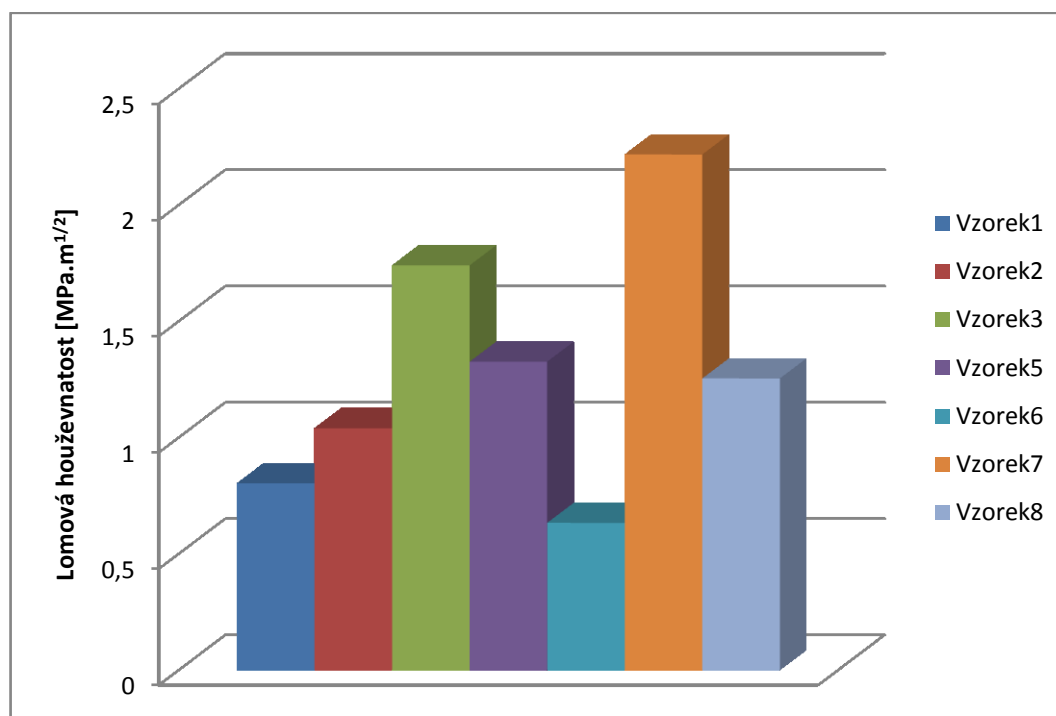
**tab25.** průměrné hodnoty lomové houževnatosti pro jednotlivé vzorky



**graf12.** porovnání lomové houževnatosti základních smaltů



**graf13.** porovnání lomové houževnatosti krycích smaltů

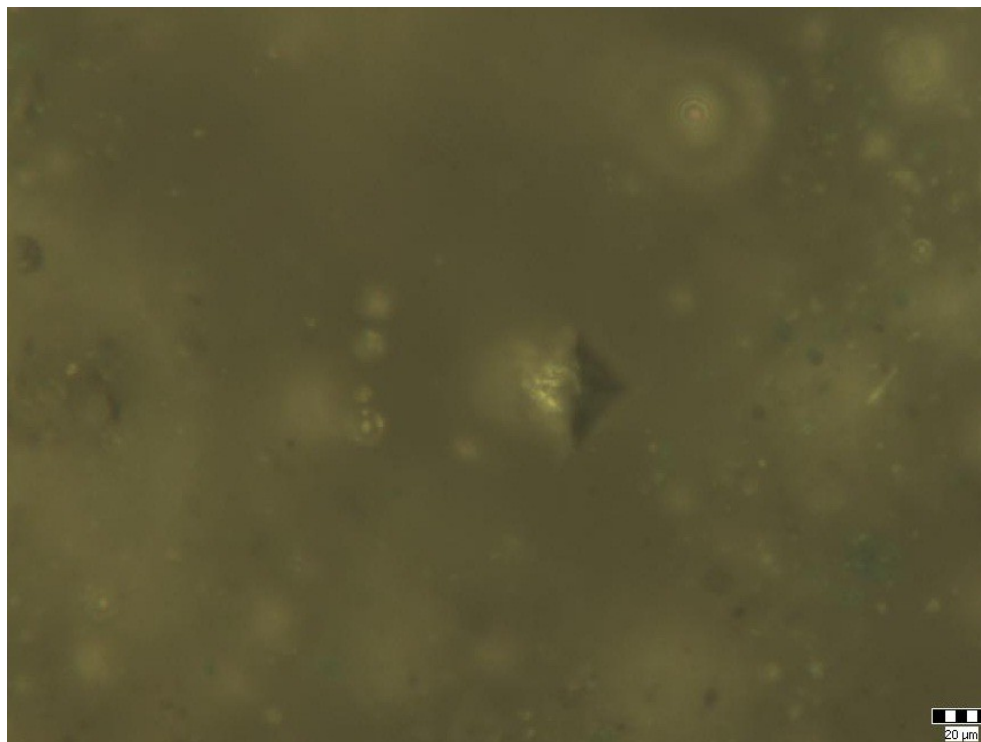


**graf14.** porovnání lomové houževnatosti základních a krycích smaltů

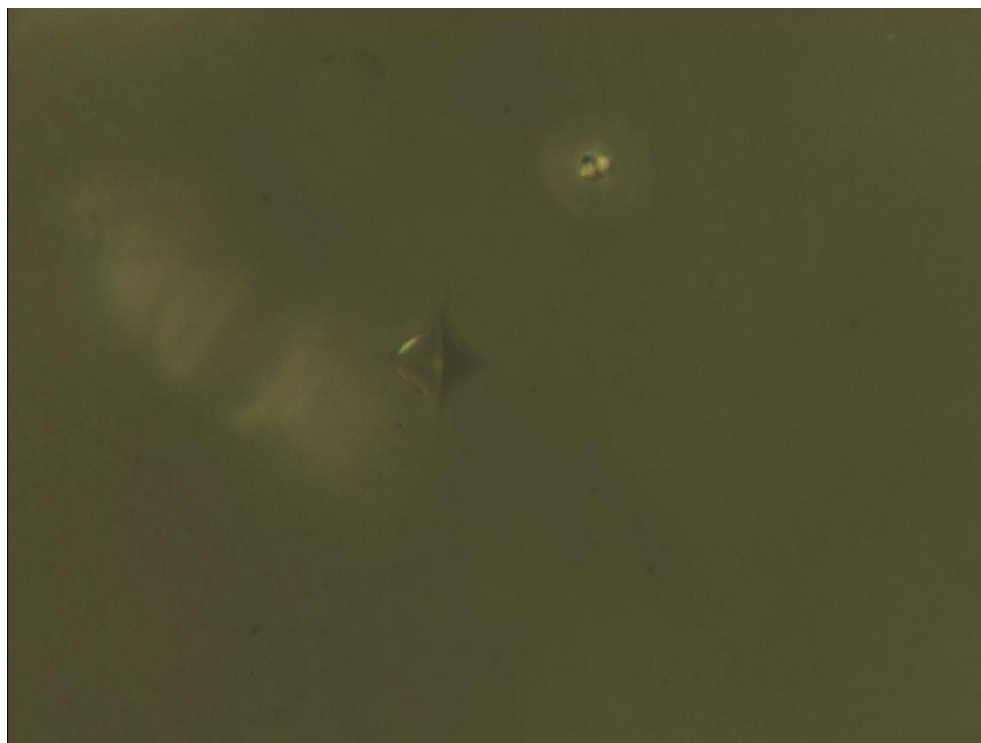
### 9.3. Vyhodnocení měření lomové houževnatosti

Z naměřených hodnot a následně zpracovaných grafických závislosti je patrné, že nejvyšší hodnoty lomové houževnatosti dosáhl vzorek číslo 7, tedy vzorek se základním smaltem MIC. Z grafu číslo 14 je patrné také to, že základní smalty dosahovali vyšších hodnot lomové houževnatosti oproti krycím smaltům a tím tedy i v této oblasti dosáhli lepších výsledků. Z krycích smaltů se nejlépe umístil vzorek číslo 8, tedy krycí smalt s jílem MIC. Můžeme tedy říci, že nejvyšších hodnot lomové houževnatosti dosáhli smalty s jílem MIC, naopak nejhorších hodnot dosáhli smalty s jemným jílem a s kaolínem K12T4M4. U všech vzorků se vyskytly Palmqvistovy trhliny.

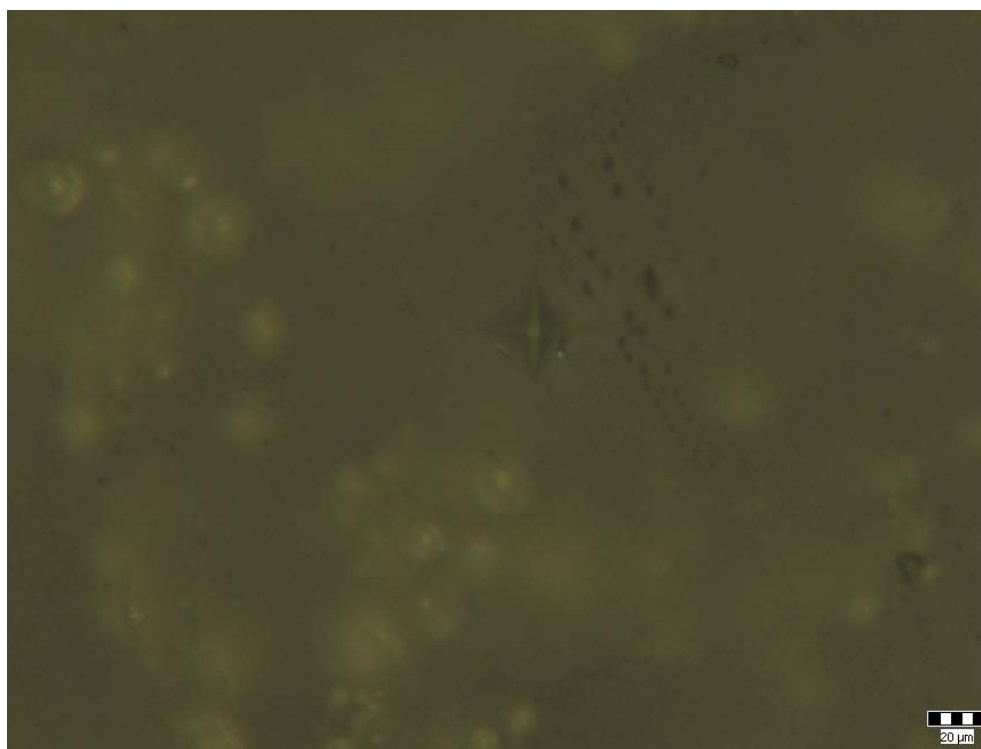
#### 9.4. Fotodokumentace z měření mikrotvrdoti a lomové houževnatosti smaltových povlaků



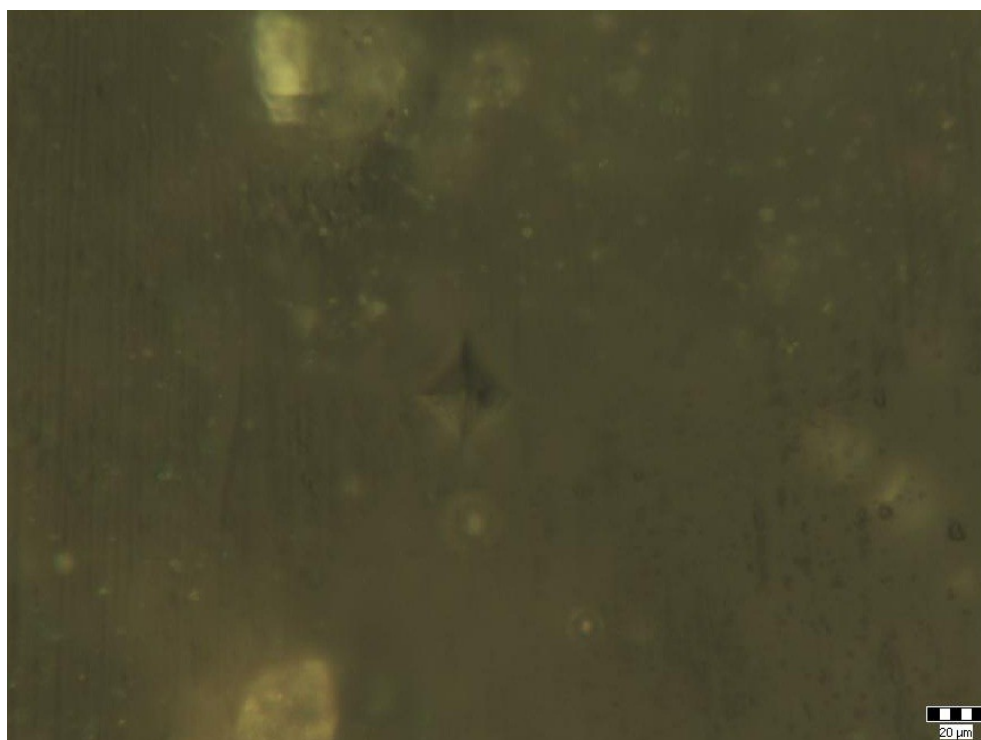
**obr13.** snímek vpichu u krycího smaltu MIC, 4. měření



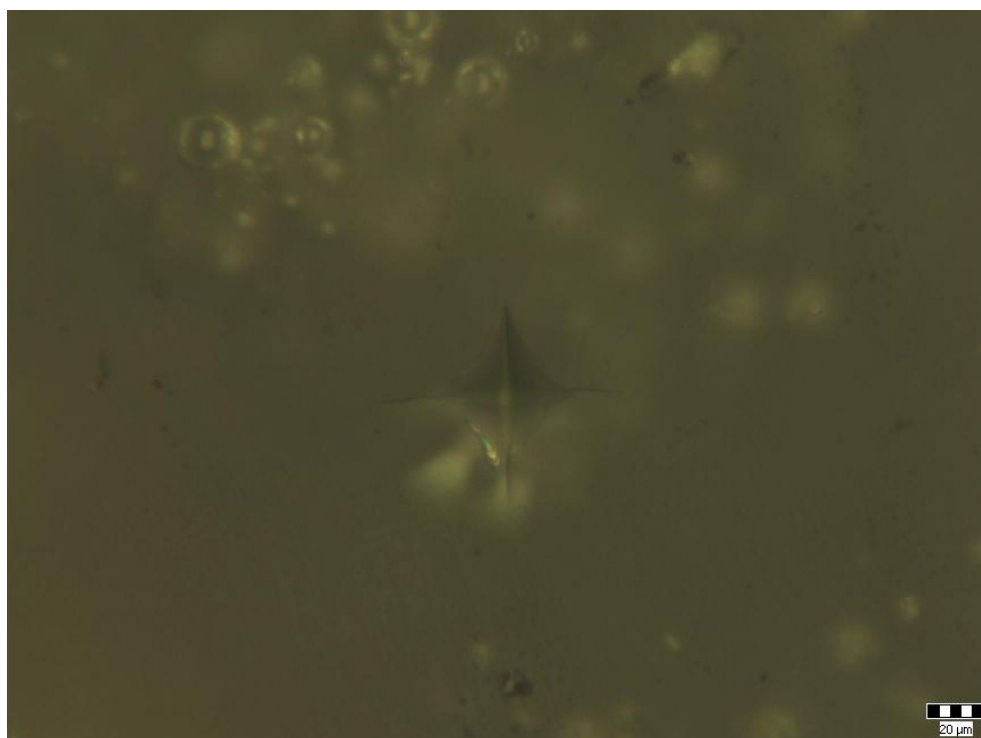
**obr14.** snímek vpichu u základního smaltu MIC, 5. měření



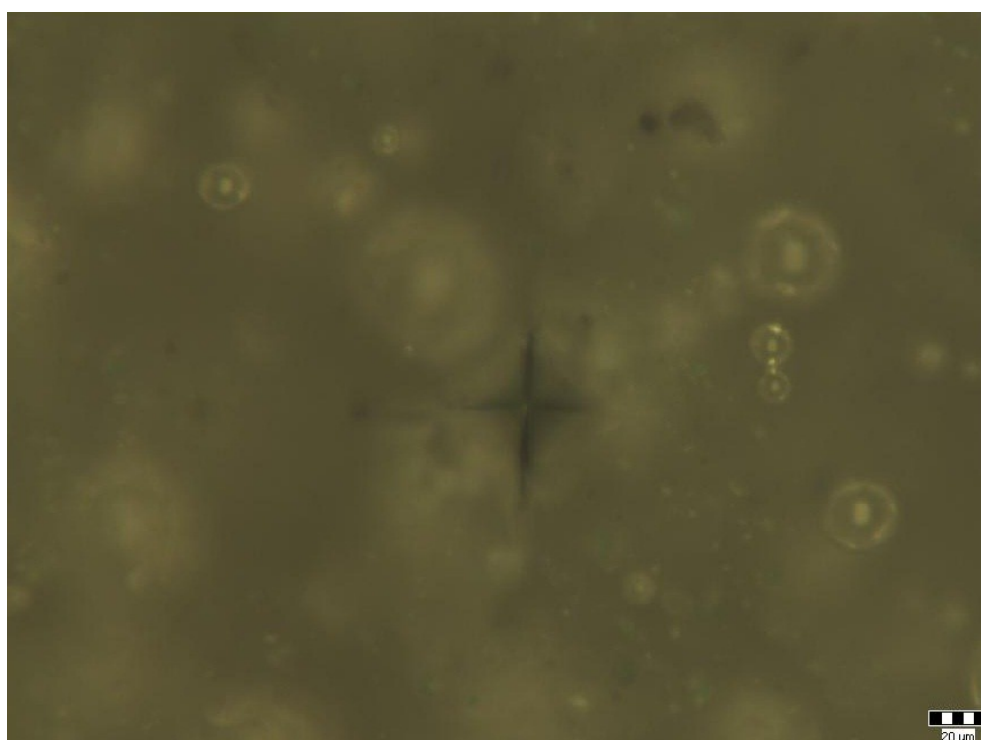
**obr15.** snímek vpichu u základního smaltu T3, měření 1



**obr16.** snímek vpichu u krycího smaltu T4, měření 1



**obr17.** snímek vpichu pro základní smalt T3, měření 5



**obr18.** snímek vpichu pro krycí smalt MIC, měření 5



## 10 STANOVENÍ ODOLNOSTI SMALTOVÉHO POVLAKU PROTI NÁRAZU

Pro zkoušku proti nárazu byl použit zkušební přístroj dle Wegnera, který se stává z úderníku, ve kterém je vsazena ocelová ulička o průměru 5 mm, která se pomocí stlačené pružiny vystřeluje do smaltové plochy. Sílu úderu je možno nastavit od 10 – 90 N. Následné vyhodnocení se provádí vizuálně, kdy se posuzuje způsob poškození smaltu (trhlínky, odchlípnutí, odprýsknutí). Konečné hodnocení se provádí po 24 hodinách. Zkouška odolnosti proti nárazu je popsána v normě ČSN ISO 4532.

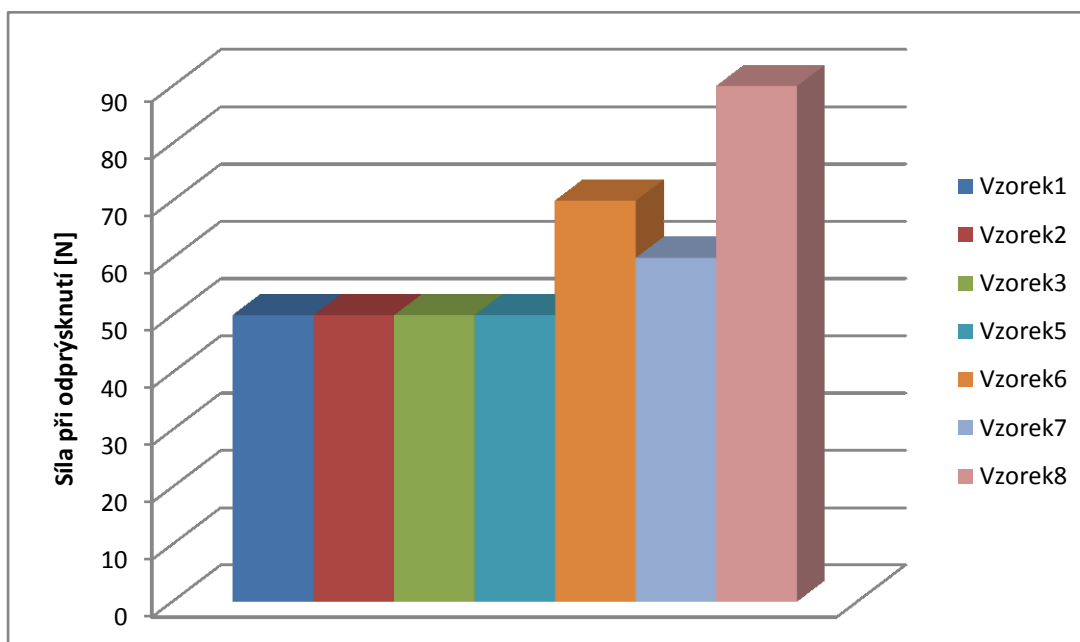
### 10.1. Zkouška smaltového povlaku nastřelováním

Odolnost proti nárazu smaltového povlaku zkouškou nastřelováním byla prováděna na sedmi vzorcích. Na každém vzorku bylo provedeno šest měření. Vzorek byl při zkoušce umístěn na dřevěné podložce, potažené plstí. Cílem této zkoušky bylo zjištění, při které síle dojde k odprýsknutí smaltového povlaku. Pro jednoduchost zanecháváme opět stejné značení vzorků, jako u předchozích měření, tedy:

1. základ, ferro jemný jíl 3%
2. krycí, ferro jemný jíl 6%
3. základ, kaolín K12T3M4 6%
5. základ, kaolín K12T4M4 6%
6. krycí, kaolín K12T4M4 8%
7. základ, MIC jemný jíl 6%
8. krycí, MIC jemný jíl 8%

vzorek	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
síla při odprýsknutí [N]	50	50	60	-	50	70	60	90

**tab26.** hodnoty síly, při které došlo k odprýsknutí

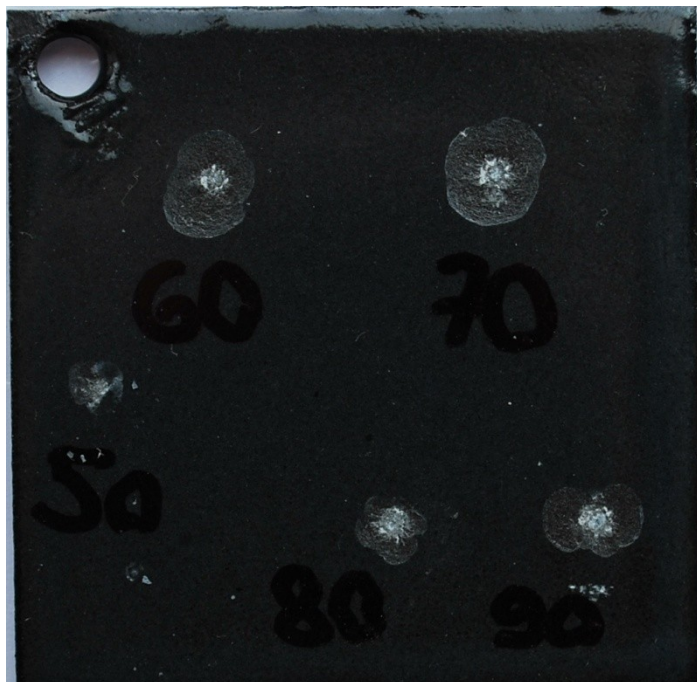


graf15. porovnání hodnot odprýsknutí všech vzorků

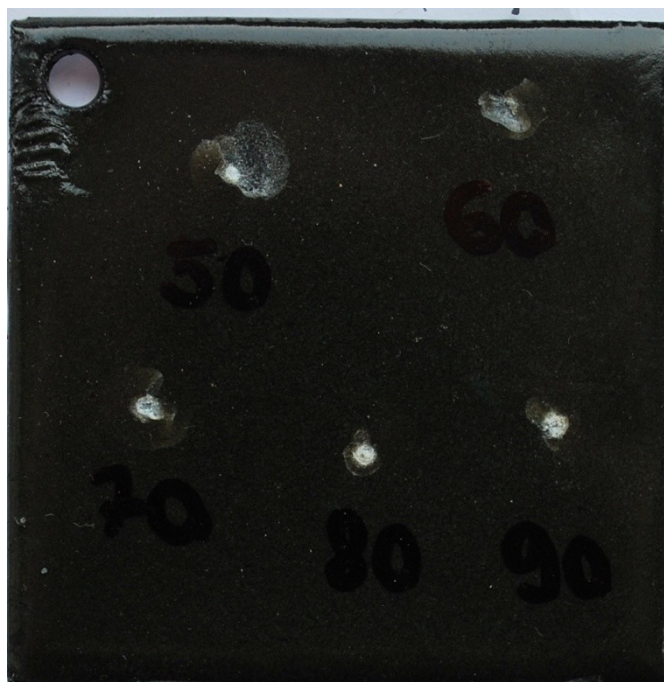
## 10.2. Srovnání hodnot získaných zkouškou nastřelováním

Ze získaných hodnot pomocí zkoušky nastřelováním a grafu číslo 15 můžeme určit následující závěr. Z grafické závislosti je patrné, že nejnižších hodnot odolnosti proti nárazu dosahoval smalt Ferro jemný jíl, naopak smalt MIC jemný jíl dosáhl suverénně nejlepších hodnot. Smalty s kaolínů K12T3M4 a K12T4M4 dosáhli lepších hodnot, než smalt s jemným jílem. Lepších hodnot dosáhl ovšem kaolín K12T4M4, ovšem je třeba podotknout to, že vzorky s kaolínem K12T3M4 byli pouze se základním smaltem. Také přítomnost krycího smaltu se projevila a to tak, že výslednou hodnotu odolnosti proti nárazu měli vyšší (v jednom případě i srovnatelnou) právě krycí smalty oproti základním.

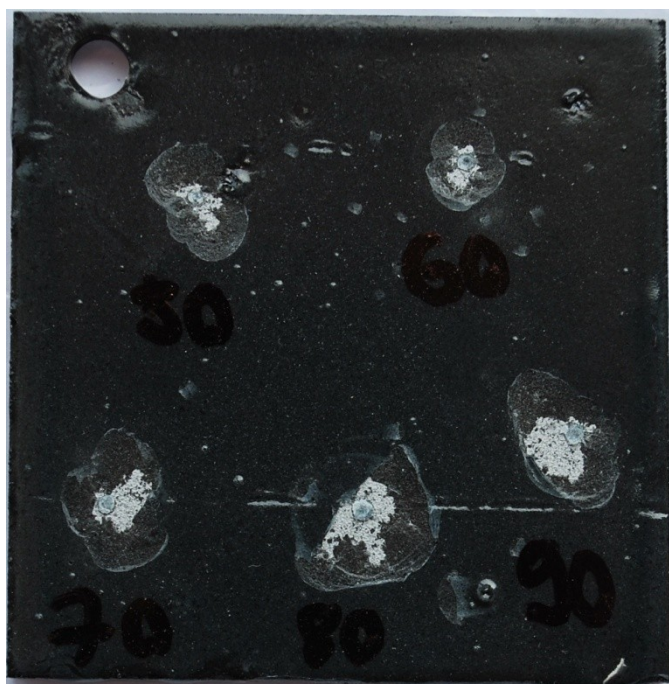
### 10.3. Fotodokumentace ze zkoušky nastřelováním



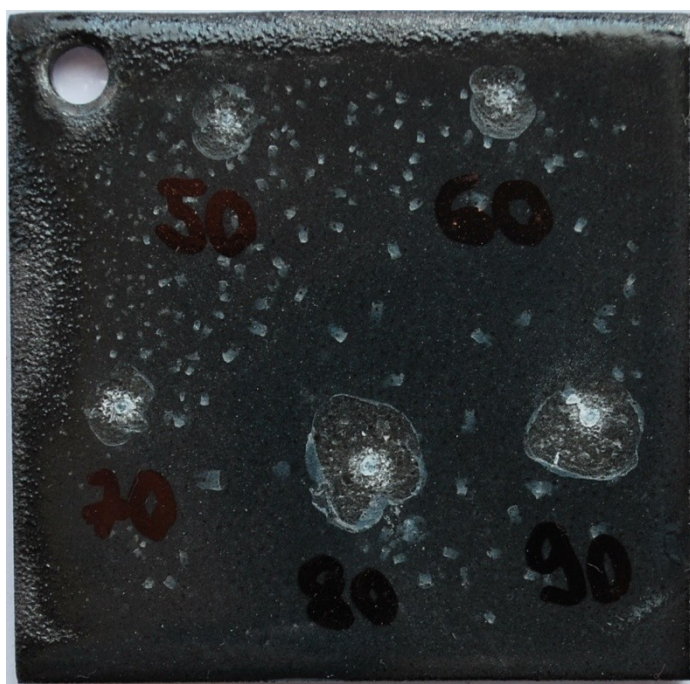
**obr19.** vzorek číslo 1 (ferro jemný jíł základ)



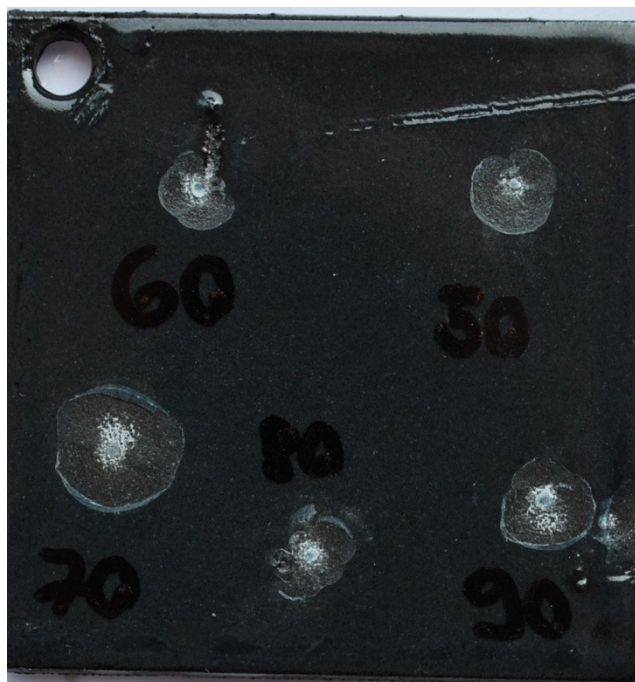
**obr20.** vzorek číslo 2 (ferro jemný jíł krycí)



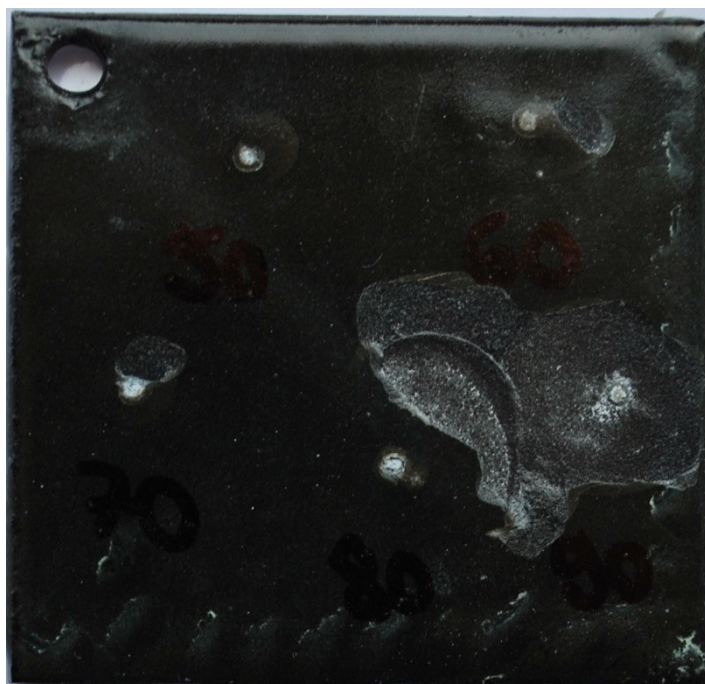
**obr21.** vzorek číslo 3 (K12T3M4 základ)



**obr22.** vzorek číslo 4 (K12T3M4 základ)



**obr23.** vzorek číslo 5 (K12T4M4 základ)



**obr24.** vzorek číslo 6 (K12T4M4 krycí)



**obr25.** vzorek číslo 7 (MIC jemný jíł základ)



**obr26.** vzorek číslo 8 (MIC jemný jíł krycí)



## ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá studiem vstupních materiálů na vlastnostech ochranných povlaků. V teoretické části je kladen důraz na studium vlastností a složení ochranných povlaků na bázi nátěrových hmot, ale hlavně na složení sklokeramických povlaků. Dále jsou prostudovány vlastnosti jednotlivých složek a jejich vliv na vlastnosti ochranných povlaků.

V experimentální části diplomové práce byl zkoumán vliv jednotlivých složek na vlastnosti sklokeramických povlaků. Po nanesení jednotlivých druhů smaltů bylo provedeno několik experimentů. Ten spočíval v provedení tloušťky měření, měření drsností, měření mikrotvrdotí, měření lomové houževnatosti a byla provedena zkouška odolnosti proti nárazu.

K provedení experimentů bylo použito 16 zkušebních vzorků typu KOSMALT E 300 T, který byl mechanicky upraven metodou otryskávání, kdy byly za pomoci této metody odstraněny okraje, rez, popřípadě předchozí nátěr. Dále následovalo odmaštění těchto vzorků v odmašťovací lázni Simple Green a následné vysušení. Takto zpracované vzorky byly připraveny pro nános smaltů na povrch.

Pro základní smalt byla použita břecha FERRO, šedá barva a pro krycí smalt byla použita břecha PP 40821S, barva zelená, kdy tyto břechy byly poté namíchány se dvěma druhy jílu a se dvěma druhy kaolínů. Jako jíl byl použit jemný jíl Ferro a jemný jíl typu MIC. Jako kaolíny byly použity typy K12T3M4 a K12T4M4. Bylo tedy k dispozici celkem 8 druhů smaltů, které byly nanášeny na 16 vzorků.

Po namíchání břechy byla břecha nanášena metodou stříkání na daný vzorek. Po nástřiku následovalo 15 minutové sušení v sušící peci, kde byla teplota 100°C a poté následovalo vyjmutí vzorků a poté vypalování v peci při teplotě 830°C po dobu 8 minut.

Po vypálení všech vzorků a následné vizuální kontrole bylo zjištěno, že na povrchu základního smaltu K12T3M4 se objevily „rybí šupiny“, které jsou způsobené zvýšeným množstvím vodíku. Jeho zdrojem byl nejspíše špatně namíchaný kaolín K12T3M4. U těchto vzorků se dále vyskytl problém další a to při namíchání břechy pro krycí smalt, kdy byla břecha charakteristická nižší hustotou, což při technologii stříkání se projevilo tím, že břecha stékala z povrchu vzorku. Celý proces byl opakován ještě dvakrát, vždy byl vzorek opláchnut pod vodou, znovu vysušen, namíchána nová břecha. Výsledky byly bohužel stejné, proto byl vzorek s kaolínem K12T3M4 vyloučen. Při míchání kaolínu K12T3M4 s krycím smaltem je tedy nutné pomocí dalších látek provést zhuštění břechy.

Po změření tloušťek povlaků můžeme určit následující závěry. Tloušťka povlaku u základního smaltu s jemným jílem se pohybuje v rozsahu od 136 do 162  $\mu\text{m}$  s průměrnou hodnotou 153,5  $\mu\text{m}$ . Tloušťka povlaku u krycího smaltu s jemným jílem se pohybuje v rozsahu od 143 do 247  $\mu\text{m}$  s průměrnou hodnotou 189,3  $\mu\text{m}$ .

Tloušťka povlaku u základního smaltu s kaolínem K12T3M4 se pohybuje v rozsahu od 150 do 262  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 210,6  $\mu\text{m}$ .

Tloušťka povlaku u základního smaltu s kaolínem K12T4M4 se pohybuje v rozmezí od 135 do 307  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 210,1  $\mu\text{m}$ , u krycího smaltu s kaolínem K12T4M4 se hodnoty tloušťky povrchu pohybují v rozsahu od 249 do 372  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 321  $\mu\text{m}$ .

U základního smaltu s jemným jílem MIC se tloušťka povlaku pohybuje v rozsahu od 211 do 283  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 251,9  $\mu\text{m}$  a tloušťka krycího smaltu s jemným jílem MIC v rozsahu od 217 do 360  $\mu\text{m}$ , s průměrnou hodnotou 298,7  $\mu\text{m}$ .

Z výsledků vyplývá, že jemnost vstupních surovin ovlivňuje technologické časy tím, že u jemného jílu Ferro je zapotřebí pro dosažení stejné tloušťky delší doby nástříku při konstantních parametrech.

Následovalo měření drsnosti povrchu substrátu povlaku, který byl pouze mechanicky upraven a odmaštěn. Průměrná hodnota  $R_a$  byla stanovena 9,959 a průměrná hodnota  $R_z$  byla stanovena 51,471. Po aplikaci smaltových povlaků bylo provedeno měření sedmi vzorků. Z naměřených hodnot a poté vypočtených průměrných hodnot pro všechny vzorky je patrné, že jsme dosahovali u každého vzorku obdobných hodnot drsností. Hodnota  $R_a$  se u smaltovaných povlaků pohybovala v rozsahu od 0,28 – 1,72  $\mu\text{m}$  a hodnota  $R_z$  se pohybovala v rozsahu od 1,48 – 8,19  $\mu\text{m}$ ,

Další měření bylo měření mikrotvrlosti smaltového povlaku, kdy pro měření byl použit metalografický mikroskop NEOPHOT21 a kdy díky propojení s PC byly v programu vypočteny hodnoty mikrotvrlosti. Kvůli náročnosti a časové tísni byl v tomto a následujícím experimentu vyloučen vzorek číslo 4, který je totožný se vzorkem číslo 3.

Po naměření hodnot, uvedení do tabulek a grafů, můžeme určit následující závěry. Nejvyšší hodnoty a tím tedy i nejlepší hodnoty mikrotvrlosti dosáhl vzorek číslo 8, tedy krycí smalt s jemným jílem MIC. Naopak, což je zajímavé nejhorších hodnot mikrotvrlosti dosáhl základní smalt, se stejným jílem.





Nejstabilnějších a zároveň velmi dobrých výsledků dosahoval také vzorek číslo 1 a 2, tedy smalt Ferro s jemným jílem. Můžeme tedy říci, že přijatelnějších hodnot mikrotvrdosti dosahovaly smalty s jílem, oproti smaltům s kaolínem. V grafických závislostech jsou znázorněny veškeré výsledky. Z těchto grafů také vyplývá to, že lepších výsledků dosahovaly krycí smalty, oproti základním smaltům.

Výpočet hodnot lomové houževnatosti byl proveden na základě hodnot, které jsme dostali měřením mikrotvrdosti a tyto hodnoty dosadili do Palmqvistova vztahu, z něhož jsme dostali hodnoty houževnatosti.

Z vypočtených hodnot a následně zpracovaných grafických závislosti je patrné, že nejvyšší hodnoty lomové houževnatosti dosáhl vzorek číslo 7, tedy vzorek se základním smaltem MIC. Z grafu číslo 14 je patrné také to, že základní smalty dosahovaly vyšších hodnot lomové houževnatosti oproti krycím smaltům a tím tedy i v této oblasti dosáhli lepších výsledků. Z krycích smaltů se nejlépe umístil vzorek číslo 8, tedy krycí smalt s jílem MIC. Můžeme tedy říci, že nejvyšších hodnot lomové houževnatosti dosáhli smalty s jílem MIC, naopak nejhorších hodnot dosáhli smalty s jemným jílem Ferro a s kaolínem K12T4M4. U všech vzorků se vyskytly Palmqvistovy trhliny.

Dále byla zkoušena odolnost smaltového povlaku proti nárazu, zde byla využita metoda nastřelováním, kdy byl pro zkoušku použit přístroj dle Wegnera.

Ze získaných hodnot pomocí zkoušky nastřelováním můžeme určit následující závěr. Z grafické závislosti je patrné, že nejnižších hodnot odolnosti proti nárazu dosahoval smalt s jemným jílem, naopak smalt s jílem MIC dosáhl suverénně nejlepších hodnot. Smalty s kaolínem K12T3M4 a K12T4M4 dosáhli lepších hodnot, než smalt s jemným jílem. Lepších hodnot dosáhl ovšem kaolín K12T4M4, ovšem je třeba podotknout to, že vzorky s kaolínem K12T3M4 byli pouze se základním smaltem. Také přítomnost krycího smaltu se projevila a to tak, že výslednou hodnotu odolnosti proti nárazu měli vyšší (v jednom případě i srovnatelnou) právě krycí smalty oproti základním.

Z výše uvedených zkoušek vyplývá, že nejlepších výsledků dosahovaly vzorky číslo 7 a 8, tedy vzorky s jemným jílem typu MIC. Nejlepších hodnot mikrotvrdosti a odolnosti proti nárazu dosahoval krycí smalt s jemným jílem MIC, nejlepších hodnot lomové houževnatosti dosahoval vzorek se základním smaltem s jemným jílem typu MIC. Velice uspokojivých výsledků také dosahovali vzorky s jemným jílem Ferro, ovšem tento druh smaltu se projevil nízkou odolností proti nárazu.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

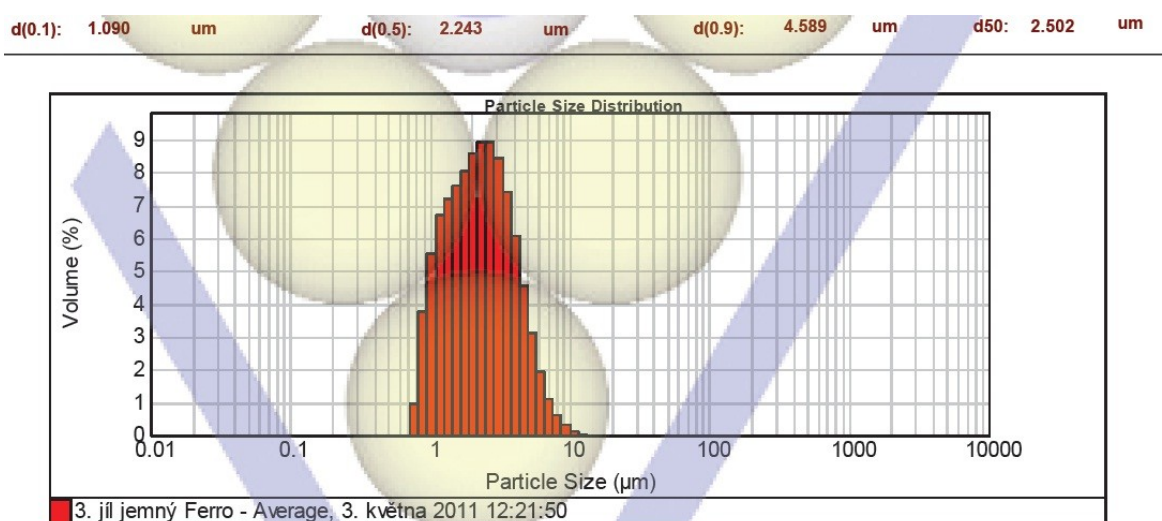
- [1] MOHYLA, Miroslav: *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80 – 248 – 1217 – 7.
- [2] BOUŠE, V. a kol.: *Smalty a jejich použití v protikorozi ochraně*. SNTL, Praha, 1986. 216 s.
- [3] PODJUKLOVÁ, J.; HRABOVSKÁ, K.; BARČOVÁ, K.; ŠTĚPÁNEK, I.: *Nové obzory v poznání vlastností sklokeramických smaltových povlaků*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2010. 135 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 2339 – 3
- [4] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 112 s. ISBN: 978 – 80 – 248 – 0671 – 6.
- [5] URBAN, Karel; STRNAD, Zdeněk. *Bioaktivní sklokeramika nahrazující kost: neživé náhrady srůstající s živou tkání*. *Vesmír* [online]. Březen, 2000, 79, [cit. 2010-04-26]. Dostupný z WWW: <[www.cts.cz/vesmir](http://www.cts.cz/vesmir)>.
- [6] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda. Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [7] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [8] ČSN ISO 4516. *Zkoušky mikrotvrdomosti podle Vickerse a podle Knoopu*. Praha: Český normalizační institut, 1994.



- [9] ČSN ISO 4532. *Stanovení odolnosti smaltových výrobků proti nárazu*. Praha: Český normalizační institut, 1990.
- [10] ČSN ISO 28079. *Tvrdokovy – Zkouška houževnatosti podle Palmqvista*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

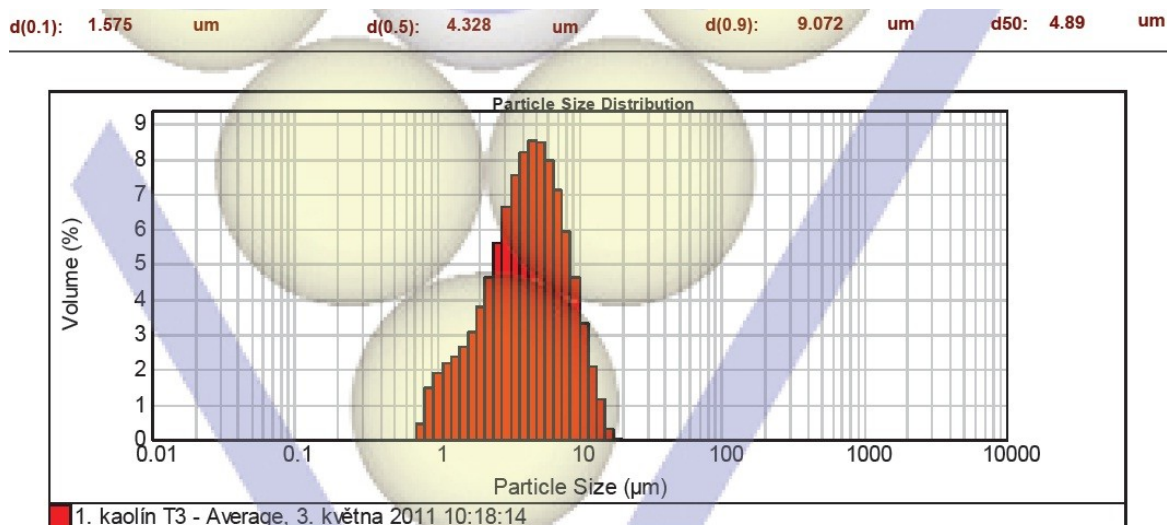
## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha číslo 1:



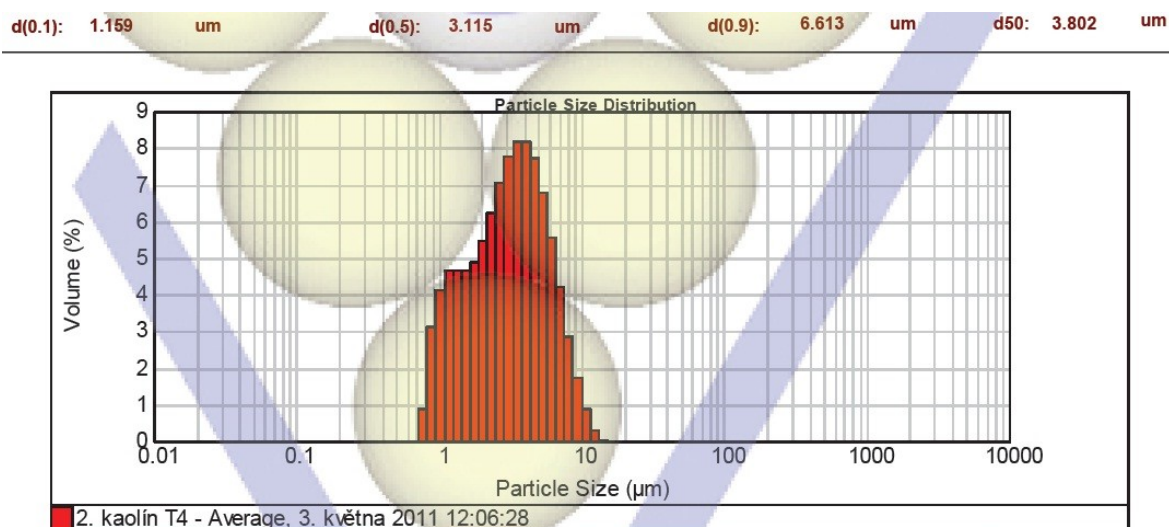
obr27. grafické zobrazení distribuce pro jemný jíl Ferro

Příloha číslo 2:



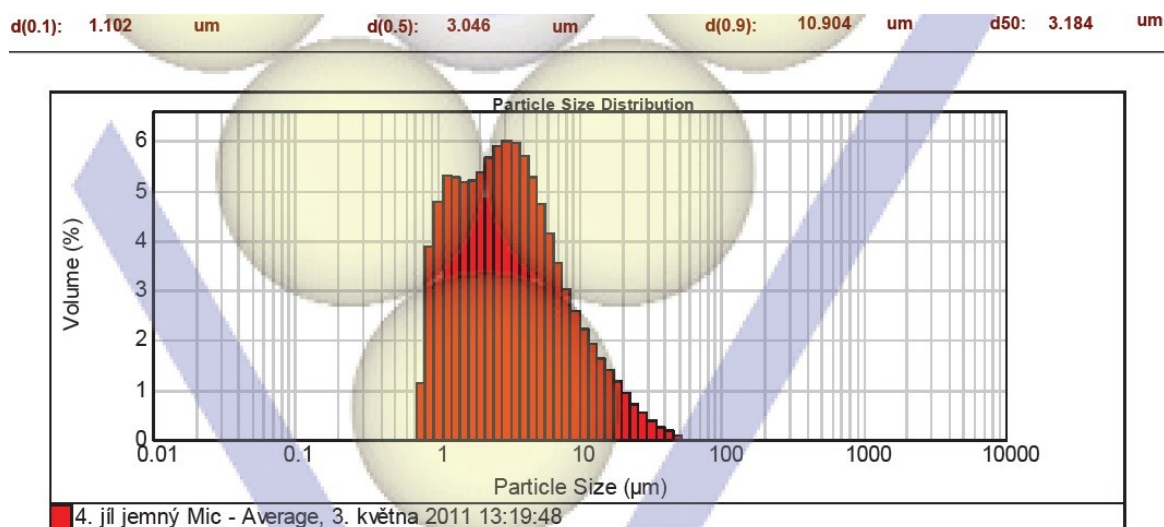
obr28. grafické zobrazení distribuce pro kaolín K12T3M4

## Příloha číslo 3:



obr29. grafické zobrazení distribuce pro kaolín K12T4M4

## Příloha číslo 4:



obr30. grafické zobrazení distribuce pro jemný jíl MIC