



VLIV GEOMETRIE PLASTOVÉHO DÍLU A PROCESU LAKOVÁNÍ NA KONEČNÉ VLASTNOSTI NALAKOVANÉHO DÍLU

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály

Autor práce: **Bc. Jiří David**
Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří David**
Osobní číslo: **S14000292**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Vliv geometrie plastového dílu a procesu lakování na konečné vlastnosti nalakovaného dílu**
Zadávací katedra: **Katedra strojírenské technologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše a popis stávajícího stavu.
2. Popis procesu lakování, volba parametrů procesu pro experimentální měření.
3. Výběr dílů pro lakování z hlediska geometrie tvaru plastového dílu.
4. Provedení experimentů v závislosti na parametrech procesu a geometrii dílu.
5. Vyhodnocení vlivu vybraných parametrů lakování na vlastnosti pokoveného plastového dílu.
6. Diskuse výsledků, závěr.



Rozsah grafických prací: grafy, tabulky, obrázky

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

[1] SOVA, M. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashofer s.r.o., 2001. ISBN 80-86229-15-7.

[2] GOLDSCHMIDT, A., J. STREIBERGER. *Lackiertechnik*. Basf-Handbuch, 2012. ISBN 3-87870-324-4.

[3] MALLOY, H. *Plastic Parts and Design*. Hanser, 2001.

[4] Firemní materiály.

Vedoucí diplomové práce: prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce: 1. listopadu 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 1. dubna 2018

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jeho skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 23. 5. 2017

Podpis:

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu své diplomové práce prof. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi za odborné vedení, trpělivost, ochotu a cenné rady. Dále bych rád poděkoval konzultantům ze společnosti Magna Exteriors Ing. Jiřímu Paulovi a Milanu Soukupovi.

Díky samozřejmě patří také celé mé rodině a přítelkyni za všeobecnou podporu při studiu.

Diplomová práce vznikla na základě finanční podpory projektu studentské grantové soutěže /SGS 21122/ ze strany Technické univerzity v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu.

Vliv geometrie plastového dílu a procesu lakování na konečné vlastnosti nalakovaného dílu

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou lakování plastových dílů. Zkoumá vliv geometrie dílu na výsledné vlastnosti dosažené vrstvy laku, dále pak možnost ovlivnění těchto vlastností změnou laku a lakovací technologie. Práce je rozdělena na dvě části, a to na teoretickou a experimentální část. Teoretická část stručně popisuje plastové materiály a technologie jejich povrchových úprav. Je zde také zmínka o metodách měření tloušťky získaných vrstev. Experimentální část je zaměřena na popis měření tloušťky laku mikroskopickou metodou. V závěru práce jsou poté uvedeny získané výsledky a závěrečná diskuze.

Klíčová slova: lakování, plastový díl, geometrie dílu, mikroskopická metoda, měření tloušťky tenkých vrstev

The effect of a plastic part geometry and the process of painting on the final properties of painted part

Annotation

This master thesis examines the painting of plastic parts. It examines the effect of the geometry of a part on the resulting properties of the obtained layer of paint, as well the possibility of influencing these properties by changing the paint and painting technology. This thesis is divided into two parts, to a theoretical part and an experimental part. The theoretical part is focused on describes plastic materials and methods of surface treatment of plastic materials. There is also a reference to methods of measuring the thickness of thin film in this thesis. The experimental part is focused on microscopic examination of the thickness of layer of lacquer. The obtained results are presented in the conclusion of the thesis.

Key Words: painting, plastic part, geometry of part, microscopic method, layer thickness measurment

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
1 ÚVOD	11
1.1 Společnost Magna Exteriors Bohemia	12
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	13
2.1 Plasty	13
2.1.1 Plasty v automobilovém průmyslu.....	15
2.2 Povrch plastů.....	17
2.2.1 Adheze.....	17
2.2.2 Smáčivost	18
2.2.3 Povrchová energie	18
2.2.4 Mezimolekulární síly v polymerech, polarita polymerů	20
2.3 Úprava povrchového napětí	21
2.3.1 Předúprava povrchu - mytí a čištění.....	22
2.3.2 Mechanické úpravy	22
2.3.3 Chemické úpravy	22
2.4 Technologie povrchových úprav	26
2.4.1 Lakování	26
2.4.2 In-mold technologie.....	37
2.4.3 Pokovování	38
2.4.4 Sametování	39
2.4.5 Kašírování.....	40
2.4.6 Povlakování	41
2.4.7 Dezénování a leštění	42
2.4.8 Potiskování	43
2.4.9 Laserové vypalování	44
2.4.10 Technologie heat & cool.....	44
2.5 Měření tloušťky tenkých vrstev.....	45
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	46
3.1 Popis stávajícího problému	46

3.2 Volba měřicí metody	47
3.3 Výroba zkušebních dílů	48
3.3.1 Příprava zkušebních vzorků	50
3.4 Volba laku a technologie lakování dílů	52
3.4.1 Vizuální hodnocení nalakovaných dílů	55
3.5 Měření tloušťky lakované vrstvy	57
3.6 Výsledky měření tloušťky lakované vrstvy - otvory	61
3.6.1 Výsledky měření – díl 1 – kruhové otvory	64
3.6.2 Výsledky měření – díl 2	66
3.6.3 Výsledky měření – díl 3	68
3.6.4 Výsledky měření – díl 4	70
3.6.5 Výsledky měření – díl 5	72
3.6.6 Výsledky měření – díl 6	74
3.6.7 Výsledky měření – díl 7	76
3.6.8 Výsledky měření – díl 8	78
3.7 Výsledky měření tloušťky lakované vrstvy – drážky	80
3.7.1 Výsledky měření – díl 1	81
3.7.2 Výsledky měření – díl 2	83
3.7.3 Výsledky měření – díl 3	85
3.7.4 Výsledky měření – díl 4	87
3.7.5 Výsledky měření – díl 5	89
4 DISKUZE VÝSLEDKŮ A POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ..	91
4.1 Změna typu laku	92
4.2 Změna lakovací technologie	97
4.3 Změna průchodnosti otvorů	102
4.4 Změna šířky drážky	105
4.5 Změna orientace dílu během jeho lakování	107
5 ZÁVĚR	111
Seznam použité literatury	113
Seznam příloh	116

Seznam použitých zkratk a symbolů

<i>BC</i>	Basic Coat (transparentní krycí vrstva laku)	
<i>ESTA + PNEU</i>	kombinace pneumatické a elektrostatické lakovací metody	
<i>ESTA</i>	elektrostatická lakovací metoda	
<i>F</i>	povrchová síla	[N]
<i>IMD</i>	In-mold decorating (in-mold dekorování)	
<i>IML</i>	In-mold labeling (In-mold značení)	
<i>ISC</i>	software IS Capture	
<i>l</i>	délka okraje povrchové blány kapaliny	[m]
<i>P₁</i>	1. pozice měření na vnější zaoblené hraně	
<i>P₂</i>	2. pozice měření na vnější zaoblené hraně	
<i>P₃</i>	3. pozice měření na vnější zaoblené hraně	
<i>P₄</i>	4. pozice měření na vnější zaoblené hraně	
<i>P₅</i>	5. pozice měření na vnější zaoblené hraně	
<i>PA 6</i>	polyamid 6	
<i>PA 66</i>	polyamid 66	
<i>PA</i>	polyamid	
<i>PE / PVAL</i>	směs polyethylen / polyvinylalkohol	
<i>PE</i>	polyethylen	
<i>PET</i>	polyethylentereftalát	
<i>PMMA</i>	polymethylmethakrylát	
<i>PNEU</i>	pneumatická lakovací metoda	
<i>POM</i>	polyoxymethylen	
<i>PP</i>	polypropylen	
<i>PS</i>	polystyren	
<i>PTFE</i>	polytetrafluorethylen	
<i>P_{v1}</i>	1. pozice měření na vnitřní zaoblené hraně	
<i>P_{v2}</i>	2. pozice měření na vnitřní zaoblené hraně	
<i>P_{v3}</i>	3. pozice měření na vnitřní zaoblené hraně	
<i>PVC</i>	polyvinylchlorid	
<i>P_x</i>	pozice měření uprostřed dna drážky	
<i>R</i>	poloměr zaoblení hrany	[m]
<i>t₀</i>	průměrná tloušťka laku na rovné ploše dílu	[m]

UV	ultraviolet – ultrafialový	
x	tloušťka vrstvy laku v místě změny	[m]
σ	povrchové napětí	[N/m]

1 ÚVOD

Objevení plastů se datuje už v 19. století, kdy byla většina z nich využívána pouze armádním sektorem. Opravdu významným materiálem se staly až v několika posledních desetiletích. V současné době už plasty patří k nejdůležitějším materiálům dnešní doby. Obzvláště důležité postavení pak zaujímají ve strojírenství, kde tvoří samotnou skupinu konstrukčních materiálů.

Jednou z ekonomicky nejefektivnějších oblastí uplatnění plastů je automobilový průmysl. Toto odvětví je tedy také jedním z jejich nejvýznamnějších odběratelů. Jejich široké uplatnění je výsledkem sladění specifických požadavků konstrukce a technologie výroby automobilů se specifickými materiálovými vlastnostmi plastů a možnostmi jejich zpracování. Žádané jsou nejen pro své výhodné fyzikální i mechanické vlastnosti, jako jsou nízká měrná hmotnost, která zde přináší úsporu spotřeby paliva, schopnost tlumit vibrace a rázy, tepelně izolační i elektroizolační vlastnosti, odolnost proti povětrnosti a korozi, chemická odolnost a v neposlední řadě snadná zpracovatelnost, ale také pro své estetické vlastnosti. Plasty lze připravit průhledné i průsvitné, prakticky ve všech možných barvách, a to s lesklým i matným povrchem. Přesto je však někdy nutné jejich dodatečné lakování, pro které na jedné straně hovoří estetické důvody jako potřeba dosažení individuální barevnosti hodící se k laku karoserie, dosažení vyššího lesku a zářivosti barvy nebo odstranění závad z výroby. Na straně druhé to pak jsou ochranné důvody. Stejně jako ostatní materiály i plasty podléhají procesu stárnutí, degradují, korodují a rozpadají se. Funkční i pohledové díly proto musí být chráněny, protože jsou vystaveny každodenním povětrnostním vlivům.

Cílem této práce je prozkoumat vliv geometrie plastového dílu a procesu lakování na konečné vlastnosti nalakovaného dílu. Při lakování plastových výrobků se zaoblenými hranami docházelo v oblasti hran ke vzniku četných, především vzhledových, vad. Tyto vady byly způsobeny proměnlivou tloušťkou zde získané vrstvy laku. Záměrem práce je prozkoumat vliv velikosti zaoblení na hranách dílu na rovnoměrnost tloušťky vrstvy laku související s jeho vlastnostmi jako jsou např. barevný odstín, lesk nebo krycí schopnosti. Dále pak zjistit možnost ovlivnění vzniku takto nerovnoměrných vrstev za pomoci změny typu laku a lakovací technologie.

1.1 SPOLEČNOST MAGNA EXTERIORS BOHEMIA

Společnost Magna je světově uznávaným výrobcem a dodavatelem komponentů a systémů pro automobilový průmysl operující ve více než 25 zemích světa a zaměstnávající přes 72 tisíc lidí. V květnu roku 2009 se součástí této globální společnosti stala i společnost Magna Exteriors Bohemia (původním názvem Plastimat) založená jako národní podnik již v roce 1946 v Jablonci nad Nisou. V roce 1963 se potom firma Plastimat přemístila do Liberce. [1]

Liberecká Magna Bohemia je výrobcem a dodavatelem plastových výrobků a systémů pro automobilový průmysl se sedmdesátiletou tradicí a v současné době řídí 13 výrobních závodů v Evropě (Česko, Německo, Rusko, Polsko, Rumunsko, Turecko) a zaměstnává přes sedm tisíc pracovníků. [1]



Obr. 1: Letecký pohled na Liberecký závod společnosti Magna Bohemia [1]

V Libereckém závodě (obr. 1) se realizuje celá řada technologických procesů zpracování plastů. Můžeme zde narazit na klasické vstřikování plastů, ale také na speciální metody jako jsou například dvoukomponentní vstřikování. Plastové díly (interiérové i exteriérové) se zde poté lakují, svařují (vibracemi, ultrazvukem, horkým elementem), nebo třeba ořezávají laserem. Narazit zde můžeme i na lisování plastových dílů, zastříkávání textilu nebo plastových folií ale také na méně známé technologie jako například „slush“. [1]

2 TEORETICKÁ ČÁST

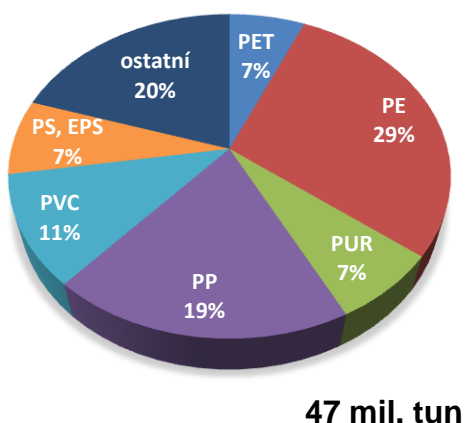
2.1 PLASTY

Polymery jsou z chemického hlediska makromolekulární látky, sloučeniny o molární hmotnosti vyšší než 10^3 g/mol. V drtivé většině se jedná o organické látky, přírodního nebo syntetického původu. [2]

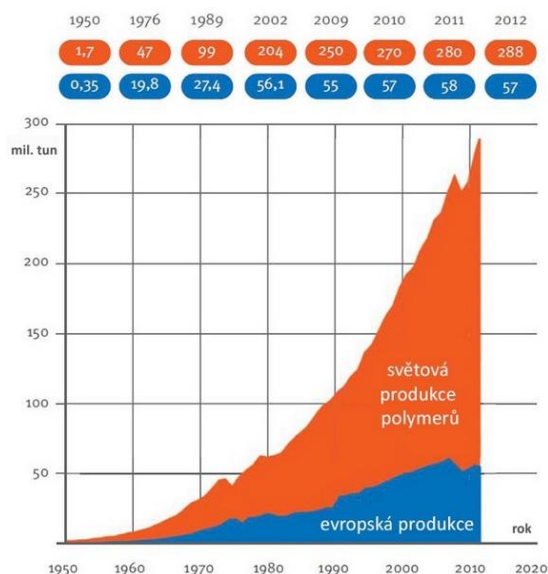
Historie polymerů sahá až do 15. století, kdy se Kryštof Kolumbus vrátil ze své druhé cesty do Nového světa. V této době byl objeven kaučuk. Trvalo však dalších téměř tři sta let, než našel první uplatnění. Prvním obchodně využitým přírodním polymerem byla gutaperča (1843), která byla využívána jako izolace podmořských telegrafních kabelů. Prvním uměle připraveným polymerem se stal nitrát celulózy, zpočátku využívaný jako výbušnina, teprve potom k přípravě polymeru. Díky tomuto polymeru vznikl vůbec první plast – celuloid. Přísně vzato však nebyl čistě syntetický, protože byl založen na přírodní celulóze. Zcela plně syntetickým polymerem se stala až fenol-formaldehydová pryskyřice, tzv. bakelit. [2]

Syntéza polymerů na konci dvacátých let 20. století umožnila nejprve přípravu acetátu celulózy (materiál podobný celuloidu), krátce na to i polyvinylchloridu a polymethylmethakrylátu. Ve třicátých letech pak byly připraveny materiály jako polystyren, polyestery, polyamidy, nízkohustotní polyethylen nebo polytetrafluorethylen – strategické materiály za druhé světové války. Od konce čtyřicátých let se vývoj polymerních materiálů zrychloval. Na trh byly uvedeny epoxidové pryskyřice a akrylonitril-butadien-styren. V padesátých letech se objevil vysokohustotní polyethylen, polypropylen, polykarbonát a řada různých kopolymerů. Šedesátá a sedmdesátá léta byla zaměřena především na vývoj hi-tech polymerů jako jsou polysulfony a polyamidy. Osmdesátá léta pak na vývoj polymerních směsí, které umožnily získat nové materiály jednoduchou kombinací vhodných složek. Tento rozvoj byl umožněn s objevem polymerních kompatibilizátorů – látek umožňujících mísitelnost. [2]

V současnosti existuje na trhu několik tisíc různých druhů plastů. V technické praxi má však výrazné uplatnění jen několik desítek druhů. Z celkového objemu světové produkce plastů představuje skoro 80 % jen šest druhů (viz obr 2). Sortiment termoplastů se neustále zvětšuje – výrobou nových a modifikací dosavadních polymerů. Světový vývoj produkce polymerů od roku 1950 lze spatřit na obrázku 3. [3]



Obr. 2: Světová produkce plastů v roce 2011 [3]



Obr. 3: Vývoj produkce polymerů od roku 1950 [2]

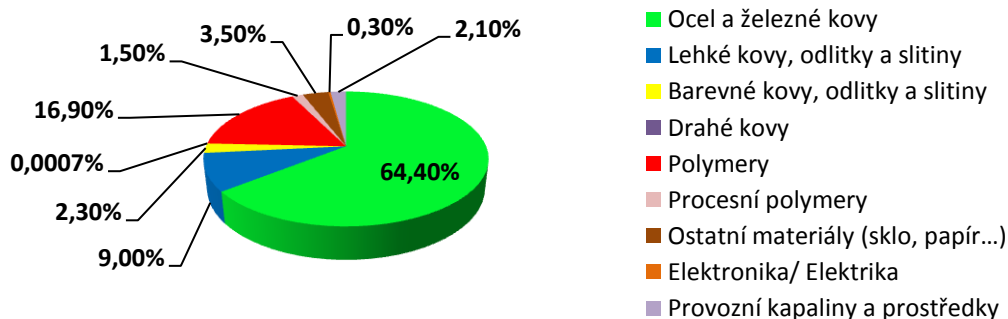
Syntetické polymerní materiály patří z historického hlediska k nejmladším konstrukčním materiálům, představují však nejvýznamnější segment ze všech materiálů podle objemu výroby a spotřeby. V konkurenci s klasickými materiály, zejména kovy, se polymery prosazují svou snadnou zpracovatelností, nízkou hustotou (nízká měrná hmotnost) a obecně vhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou. Všeobecně mají velmi dobré elektroizolační vlastnosti, vyznačují se schopností tlumit rázy a vibrace. Existují ale také faktory ovlivňující jejich použitelnost. Jedná se zejména o nízkou teplotní odolnost, významnou změnu mechanických vlastností s teplotou, větší teplotní roztažnost, tvorbu elektrostatického náboje, závislost mechanických vlastností na době zatěžování (kríp) a další. [2, 4]

2.1.1 PLASTY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Celá řada výše zmíněných vlastností plasty předurčuje k využití v automobilovém průmyslu. V roce 2013 bylo na světě 800 miliónů automobilů a prognózy říkají, že do roku 2030 dojde k nárůstu tohoto čísla až na dvě miliardy. Tento výhled činí z automobilového průmyslu jedno z nejperspektivnějších průmyslových odvětví pro příštích patnáct let. [5]

V rámci konceptu trvale udržitelného rozvoje jsou v automobilismu nejpodstatnější trendy snižování emisí a energetické zátěže. V této oblasti lze ve spojitosti s použitím plastů v autech hovořit o dvojitěm typu důsledků. Prvním je úspora energie související s nahrazováním kovových dílů plastovými, a to tam, kde plast může kov plnohodnotně nahradit. Na vlastní výrobu plastů a jejich zpracování je totiž nutno vynaložit mnohem méně energie, než u kovů (ocel se taví při 1350 až 1400 °C, hliník při 658 °C, u plastů je to mezi 200 až 400 °C). Dalším důsledkem je úspora hmotnosti automobilu (váha jednoho metru krychlového oceli je 7850 kilogramů a hliníku 2700 kilogramů, plasty dosahují hmotnosti pouze 1000 až 2000 kilogramů), která vede ke snížení spotřeby a ke snížení vyprodukovaných emisí (podle propočtů BASF lze snížením hmotnosti automobilu o 100 kg snížit spotřebu o 0,4 litru na 100 km). [5]

Důkazem potenciálu nahrazování kovových dílů plasty je i fakt, že začátkem devadesátých let minulého století byl podíl plastů ve středně velkém osobním automobilu v západní Evropě asi 6 %, v současnosti je to okolo 15 %. Vzhledem k současnému směřování bude toto číslo dále vzrůstat. Příklad materiálového složení vozu je znázorněn na obrázku 4. [5]



Obr. 4: Příklad materiálového složení vozu Škoda Octavia 1,9 TDI
74 kW, 5stupňová převodovka, hmotnost 1 363 kg [6]

Automobil lze z konstrukčního hlediska rozdělit do tří základních skupin: hnací jednotka, podvozek a karoserie včetně výbavy. Nejmenší podíl plastových dílů obsahuje podvozek, největší pak karoserie. Požadavky na tyto díly lze v každé z uvedených skupin charakterizovat jiným způsobem. U podvozku, kde jedná především o kluzná pouzdra, je kladem důraz na vynikající kluzné vlastnosti, vysokou tuhost a chemickou odolnost. V případě hnací jednotky je vyžadována vysoká tvarová stálost za tepla, vysoká tuhost, vynikající kluzné vlastnosti, vysoká chemická odolnost a vysoká odolnost vůči tepelnému stárnutí. Díly tvořící karoserii automobilu musí výborně odolávat povětrnostnímu stárnutí, musí být chemicky odolné, houževnaté při nízkých teplotách, tvarově stálé při vysokých teplotách, musí být odolné vůči abrazi a musí disponovat dobrou adhezí k nátěrovým hmotám (lakování karoserií do různých barevných odstínů). [7]



Obr. 5: Plastové díly na automobilu [6]

Požadavky uživatelů automobilů se stále mění nejen směrem k vyšší bezpečnosti, většímu komfortu, hospodárnějšímu provozu ale také k lepšímu vzhledu automobilů. S tím je spjata komplexní a složitá problematika povrchových úprav dílů, jejímž účelem je nejen zajistit požadovaný estetický vzhled, ale také dostatečnou ochrannou funkci povrchově upravovaných dílů.

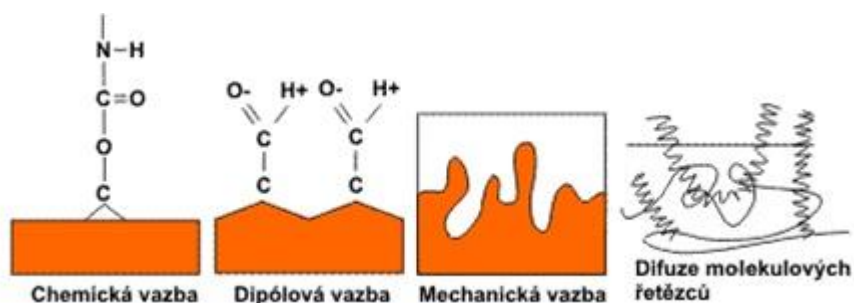
2.2 POVRCH PLASTŮ

Povrchovými úpravami se rozumí skupina technologií, které nějakým způsobem upravují povrch výrobku. Tyto úpravy se provádějí za účelem ochrany (např. UV ochrana), ovlivnění povrchových vlastností (např. vodivost), ale také z estetických důvodů, popřípadě kombinace. Povrch výrobku může být mechanicky, chemicky, tepelně, nebo fyzikálně upraven, nebo na něj může být nanesen povlak v různých formách a podobách. [4]

Aby bylo možné v případě nanášení povlaku nebo nátěru na povrch plastu získat výrobek s dlouhou životností, je nejprve potřeba zajistit dobrou přilnavost, adhezi, mezi tímto povlakem a plastovou hmotou. Jednu z nutných podmínek pro dobrou adhezi představuje smáčivost povrchu, která je dána rozdílem mezi povrchovým napětím kapaliny a povrchovou energií plastu. Viskozi-
ta povlaku musí být natolik nízká, aby umožnila jeho tečení. [4]

2.2.1 ADHEZE

Adheze neboli přilnavost, je definována jako schopnost dvou materiálů, především rozdílných, k sobě přilnout. Odborněji fyzikálně je to schopnost přenosu tečných sil ve styku dvou povrchů bez zřetelného pohybu. Typickým příkladem jsou kapky rosy ulpívající na vláknech pavučiny. Základem adhezního jevu jsou fyzikální síly přitažlivosti a adsorpce, které jsou popisovány jako síly Van der Waalsovy. Dosah těchto sil je podstatně menší, než je drsnost ploch, je tedy nutné, aby povlak nebo nátěr vnikl do povrchových nerovností a dokonale ho tak smáčel. Kromě sil Van der Waalsových se na ní podílejí také síly mechanického charakteru, chemické, elektrostatické a difuzní síly, jejichž princip je znázorněn na obrázku 6. [9]

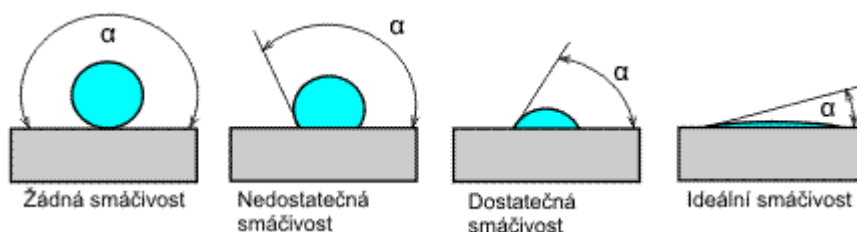


Obr. 6: Typy adhezních sil [9]

2.2.2 SMÁČIVOST

Smáčivost je schopnost kapaliny přilnout k povrchu pevné látky a vyplnit tak jeho nerovnosti. Vzniká v důsledku polaritu povrchu a souvisí s povrchovou energií. Platí, že čím vyšší je hodnota povrchového napětí, tím větší je polarita. Může být snížena nečistotami na povrchu. [9]

Smáčivost lze hodnotit tzv. kapkovou metodou, jejíž princip je znázorněn na obrázku 7. Dobře smáčivé jsou ty látky, u nichž je krajový (elevační) úhel menší než 90° . Elevační úhel, úhel mezi tečnou v kontaktním bodě a vodorovnou linií, určuje rozdíl mezi povrchovým napětím kapaliny a vzduchu. Je-li tento rozdíl kladný, pak je elevační úhel kapaliny ostrý a kapalina dobře smáčí povrch a naopak. [9]



Obr. 7: Kapková metoda – α elevační úhel [9]

2.2.3 POVRCHOVÁ ENERGIE

Povrchovou energii lze vyjádřit pomocí veličiny zvané povrchové napětí (výpočet viz rovnice 1), jejíž jednotkou jsou N/m. Její hodnota je definovaná jako fyzikální práce vyžadovaná pro zvýšení velikosti plochy nebo posunutí hranice plochy na jednotku plochy. Její příčinou je opět polarita povrchu. Má-li kapalina smáčet pevný povrch, musí být její povrchová energie menší než kritická povrchová energie pevného povrchu. Z kapalin má nejvyšší povrchovou energii voda. Jestliže voda bude smáčet povrch materiálu, je zřejmé, že materiál bude dobře smáčen i jinými kapalinami. Srovnání kritického povrchového napětí vody a některých vybraných plastů je v tabulce 1. [9, 10]

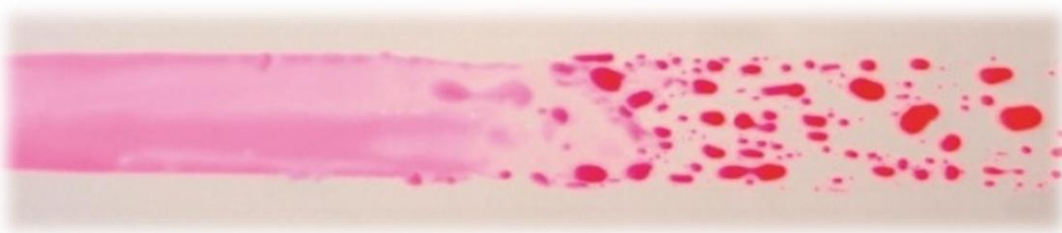
$$\sigma = \frac{F}{l} \text{ [N/m]} \quad (1)$$

Kde σ je povrchové napětí [N/m], F je povrchová síla [N] a l délka okraje povrchové blány kapaliny [m]. [11]

Tab. 1: Srovnání povrchového napětí a kritického povrchového napětí při 20°C u vybraných plastů (ve srovnání s vodou) [12]

Materiál	Povrchové napětí [(mN)/m]	Kritické povrchové napětí [(mN)/m]
PE	35,7	31
PP	30,1	32
PS	40,7	33
PVC	42,9	39
PTFE	23,9	19
PMMA	41,1	39
POM	-	38
PET	42,1	43
PA 6	-	42
PA 66	44,7	46
voda	72,8	19,1 až 21,7

Nejjednodušší metodou pro určení povrchového napětí, která je také hojně využívána v praxi, se stal tzv. Union-Carbide Test (viz obr. 8). Metoda je založena na sadě testovacích kapalin s různým povrchovým napětím, které jsou aplikovány na zkoušený povrch pomocí měkkého kartáčku. Jestliže aplikovaná kapalina zůstane na povrchu stabilní nejméně dvě vteřiny, je povrchové napětí zkoušeného materiálu stejné jako povrchové napětí kapaliny. Jestliže film plave na povrchu nebo se stahuje, znamená to, že povrchové napětí je vyšší nebo nižší. Rozsah měření této metody je od 30 do 72 mN/m, v přírůstcích po 2 mN/m. Přesnost měření se pohybuje okolo 1 mN/m. Jedná se o metodu levnou, rychlou a dostatečně přesnou. [10]



Obr. 8: Princip metody Union-Carbide

Vlevo – povrchové napětí povrchu stejné nebo větší než povrchové napětí kapaliny

Vpravo – povrchové napětí povrchu menší než povrchové napětí kapaliny [13]

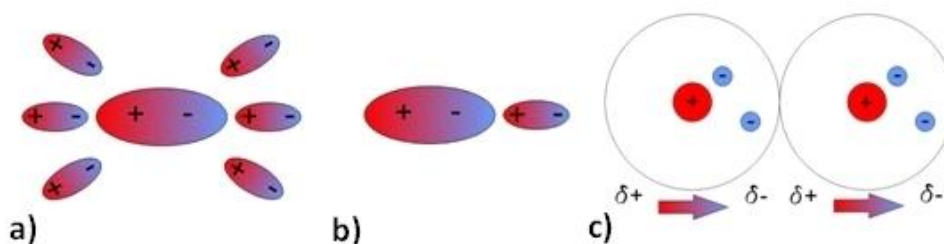
2.2.4 MEZIMOLEKULÁRNÍ SÍLY V POLYMERECH, POLARITA POLYMERŮ

Základní stavební kameny všech materiálů jsou atomy a molekuly, které mohou držet pohromadě různými silami. Velikost těchto sil ovlivňuje vlastnosti materiálu. [2]

V makromolekulách polymerů jsou atomy vázány silnými primárními, chemickými vazbami – kovalentní vazbou. Mezi jednotlivými makromolekulami se mohou obvykle uplatňovat pouze poměrně slabé sekundární síly, jejichž příčinou jsou hlavně přirozené a vyvolané dvojice kladných a záporných nábojů v molekulách (přirozené a indukované dipóly). Charakter těchto sil ovlivňuje vlastnosti polymeru. [2]

O velikosti sil mezi makromolekulami rozhoduje jejich chemické složení, respektive polarita. Polární makromolekuly obsahují nesymetrické rozložení nábojů (+) a (-) a mají tedy trvalý elektrický dipól. Nepochopitelně makromolekula má náboje rozloženy symetricky a nemá trvalý elektrický dipól. Mezi makromolekulami mohou vznikat následující síly (viz obr. 9):

- **Dipólové** – mezi makromolekulami s trvalým elektrickým dipólem, jsou velmi silné. Tyto polymery se označují jako polární.
- **Indukované** – mezi makromolekulami s trvalým a bez trvalého dipólu. Makromolekula bez trvalého dipólu se pod vlivem dipólu sousední makromolekuly polarizuje a získává indukovaný dipólový moment, přestože stálý dipól nemá. Jsou mnohem slabší než dipólové síly.
- **Disperzní** – mezi makromolekulami bez trvalého dipólu. Jejich původ je v polarizaci molekul, jejíž příčinou je pohyb elektronů kolem atomových jader a neustálá změna vzájemné polohy. Důsledkem je časově proměnný dipólový moment v molekule. Tyto síly jsou slabé a jsou typické pro nepolární polymery. [2]



Obr. 9: Mezimakromolekulární síly [14]

a) dipólové, b) indukované, c) disperzní

Zvláštním případem fyzikálně přitažlivých sil mezi molekulami jsou tzv. **vodíkové můstky** (vodíkové vazby). V tomto případě se přitahují atomy vodíku H^+ a atomy s volným elektronovým párem v sousedních makromolekulách (např. O^- , N^-). Takováto vazba je nejpevnější mezimolekulární vazbou a je typická pro silně polární polymery, např. polyamidy. To je důvod, proč bude mít polyamid vyšší pevnost než například neplněný polypropylen (nepolární plast). [2]

2.3 ÚPRAVA POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ

Nesplňuje-li rozdíl povrchových napětí výše uvedené podmínky, existují dvě možnosti, jak postupovat. V prvním případě lze upravit povrchové napětí nanášeného materiálu, ve druhém pak zvýšit povrchové napětí plastového dílu. Ve většině případů není příliš vhodné zasahovat do vlastností povlaku nebo barev. Osvědčenější a v praxi využívanější způsob je zvyšování povrchového napětí plastového dílce. [15]

Povrchovou úpravu (aktivaci nepolárního povrchu) a tedy zvýšení povrchového napětí je možné provést fyzikálními, chemickými i mechanickými metodami. Mezi fyzikální metody patří prudký a krátký ožehem plamenem, plasmou nebo korónovým výbojem iontů. Chemicky lze povrch upravit například fluorem, působením UV záření nebo ozónu. Způsob úpravy je volen podle materiálu a tvaru dílu. Nejčastěji používaným způsobem pro úpravu povrchového napětí plastových dílů jsou plamen a korónový výboj. [15]

Specifickou vlastností plastů je, že mají tendenci se vracet do původního stavu, a to nejen tvarového, ale také v oblasti hodnoty povrchového napětí. Po aktivaci povrchu dochází ke zvýšení povrchového napětí, které však rychle klesne. Poté se klesání zpomaluje a asymptoticky pokračuje až do ustáleného stavu, ve většině případů končí na hodnotách vyšších než u neaktivovaného materiálu. Z těchto důvodů by měla další technologické operace následovat co nejdříve po úpravě povrchu. [15]

2.3.1 PŘEDÚPRAVA POVRCHU - MYTÍ A ČIŠTĚNÍ

K odstranění povrchových nečistot před vlastním nanesením povlaku může být použito omývání vodou. K odstranění běžných nečistot se používají zásadité čisticí prostředky. Vodou nerozpustné znečištění se odstraňuje pomocí roztoků vodných uhlovodíkových rozpouštědel. Jedná se například o látky sloužící k separaci plastového dílu od formy. [16]

Čištění rozpouštědly lze provádět otíráním, potápěním plastového dílu, rozstříkáním rozpouštědla nebo odmašťováním jeho výpary. Nejméně účinné je otírání, které může vést spíše k přemístění a nahromadění nečistot než k jejich odstranění. [16]

Odmašťováním rozumíme mimo odstraňování mastnot všeho druhu i zbavování povrchu přidružených nečistot v mastnotách, jako jsou prach, saze, ohrus, vlákna apod. Při odmašťování výpary je objekt umístěn do uzavřeného prostoru s parami, které následně kondenzují na chladnějším plastovém povrchu a stékáním se odplavují rozpuštěné nečistoty. Výhodou této metody je, že rozpouštědlo se na díl dostane vždy čisté. Působením rozpouštědla se na povrchu tvoří rýhy, vybouleniny a další nerovnosti zlepšující jeho přilnavost. [16]

2.3.2 MECHANICKÉ ÚPRAVY

Zlepšit přilnavost povrchu lze také jeho narušením pomocí abrazivních metod, mezi které se řadí mechanického obrušování, pískování, kartáčování apod. Kromě narušení a zdrsnění povrchové vrstvy tyto metody také odstraňují hrubé nečistoty. [16]

2.3.3 CHEMICKÉ ÚPRAVY

Metoda chemického leptání se provádí pomocí roztoků reaktivních chemických sloučenin, zpravidla oxidačních činidel, působících na povrch plastového dílu. Ošetření je schopné změnit chemickou strukturu povrchu a také vytvořit mikroskopickou drsnost díky odstranění částí materiálu.

Chemické leptání představuje náročný proces a bývá používáno pro úpravu plastů, které jsou problematické z hlediska adheze, a v procesech, do kterých může být snadno zařazeno – např. galvanické pokovování. V širokém měřítku se užívají siričné a chromové kyseliny. [16]

2.3.4 FYZIKÁLNÍ ÚPRAVY

ÚPRAVA PLAMENEM

Jedna z nejjednodušších a nejlevnějších fyzikálních metod zvyšování povrchového napětí plastových dílů. Jejím principem je ožehnutí povrchu plastového dílce pomocí oxidující části modrého plamene (propan, butan, nebo zemní plyn), při čemž pronikají molekuly kyslíku do povrchu a vytváří polární skupiny (viz obr. 10). Doba styku plamene s povrchem je jen velmi krátká, dochází při ní ke vzniku velkého množství tepla. Takto ošetřené díly mají obvykle delší skladovací životnost než díly ošetřené atmosférickou plazmou. Hrozí zde však větší nebezpečí poškození materiálu v důsledku vysokých teplot. [17]

Z výše zmíněných důvodů je tato metoda nevhodná pro tvarově složité výrobky a tenké výrobky jako třeba desky nebo folie. Mezi nevýhody této metody patří nebezpečí výbuchu při skladování a manipulaci s hořlavými plyny, které jsou zde zapotřebí, dále pak nutnost oplachu, který musí po ožehu následovat, protože v důsledku spalování cizích částic dochází ke vzniku sazí, které ulpívají na povrchu součásti. [17]

Metoda je však velmi jednoduchá, levná a snadno automatizovatelná. Vhodná pro tvarové díly, tlusté materiály a velké pracovní šířky. Její řízení je také velmi snadné. Důležité parametry jsou: tepelný příkon, vzdálenost mezi hořákem a povrchem, pracovní rychlost hořáku, poměr mísení plynu a vzduchu, typ hořáku (délka plamene) a především přebytek kyslíku v plameni. [17]



Obr. 10: Příklad ošetření povrchu dílu pomocí plamene [18]

ÚPRAVA KORÓNOVÝM VÝBOJEM

Jedná se o jednu z nejpoužívanějších a nejmodernějších fyzikálních metod úpravy povrchového napětí. Ke změnám vlastností daného povrchu se při této metodě využívá tzv. korónový výboj (obr. 11). Ten je vytvářen pomocí vysokého napětí přiváděného na ostré hroty elektrod, mezi kterými dochází k ionizaci vzduchu. Výboje proudu o vysoké frekvenci vytvářejí světélkující záření. Během tohoto procesu jsou kyslíkové a dusíkové radikály a omezené elektrony urychlovány v elektrickém poli, následně pak předávají svojí energii na povrch polymeru. [10]

Vytvářené ionty penetrují povrch až do hloubky 10 mikrometrů v závislosti na jejich kinetické energii. Tyto ionty atakují polymerní řetězce na povrchu materiálu a reakcí vznikají peroxidy, ketony, karboxyly a jiné sloučeniny. [10]

Napětí potřebné pro penetraci atmosférického vzduchu a pro vytvoření vodivé plasmy je závislé na šířce vzduchové mezery mezi elektrodami. Poté co napětí dosáhne určité hodnoty, vzduch je ionizovaný a stává se vodivým, zatímco napětí prudce poklesne. Vzniká tak svítivý oblouk s charakteristickou fialovou barvou. [10]

Tato metoda je velmi účinná a také ekonomická, vhodná především na rovinné díly, desky a folie. Při návrhu korónovacího zařízení je třeba vzít do úvahy tvorbu ozónu, který je však v dnešní době možné účinně přeměnit na kyslík v katalyzátoru. [10]



Obr. 11: Příklad ošetření povrchu dílu pomocí korónového výboje

[18]

ÚPRAVA PLAZMOU

Fyzikální úprava povrchu **atmosférickým plazmatem** je velmi podobná korónování. Mezi těmito úpravami je však několik rozdílů. Při obou úpravách se využívá elektrod k nabití a ionizaci okolních molekul vzduchu. U systému využívající atmosférické plazma je však celková hustota plazmatu mnohem vyšší, což zvyšuje rychlost a míru začlenění ionizovaných molekul do povrchu materiálu. Tento druh úpravy zasahuje do hloubky materiálu, a proto tato úprava vydrží poměrně dlouho. [19]

Plazma se na upravovaný povrch fouká proudem vzduchu. Na rozdíl od koróny zde není potřeba protielektroda, proto je tato metoda vhodná na tvarované díly. Technologie úpravy plazmatem vylučuje možnost provádět úpravu na neupravované straně materiálu – zadní straně. [19]

Dalším typem využívaného plazmatu je potom **chemické plazma**. K jeho tvorbě dochází podobně jako u vzduchového plazmatu ze vzduchu nabitého elektřinou. Chemické plazma však místo vzduchu využívá směsici jiných plynů, které uvolňují chemické skupiny na upravovaný povrch. Jednotlivé metody fyzikálních úprav povrchového napětí jsou srovnány v tab 2. [34]

Tab. 2: Srovnání korónový výboj – plazma – plamen [17]

	korónový výboj	atmosférické plazma	plamen
tvar dílu	rovinná plocha	tvarované díly, malé plochy	rovinná plocha, silně strukturní tvarové díly
tloušťka	jen několik mm	nezávisle na tloušťce	nezávisle na tloušťce
výrobní rychlost	malá, střední	(střední), vyšší rychlost	vysoké rychlosti >15 m/min
teplota	materiály citlivé na teplo	materiály citlivé na teplo	materiály snázející teplo
oblast použití	fólie, tenké desky	úzké pruhy, malé plochy	velké plochy, tvarové díly
vzdálenost tryska – povrch	1–2 mm	10 mm	15–150 mm
další	předúprava zadní strany	jiné plyny, např. dusík, argon	dlouhodobá stabilita, silikátování

2.4 TECHNOLOGIE POVRCHOVÝCH ÚPRAV

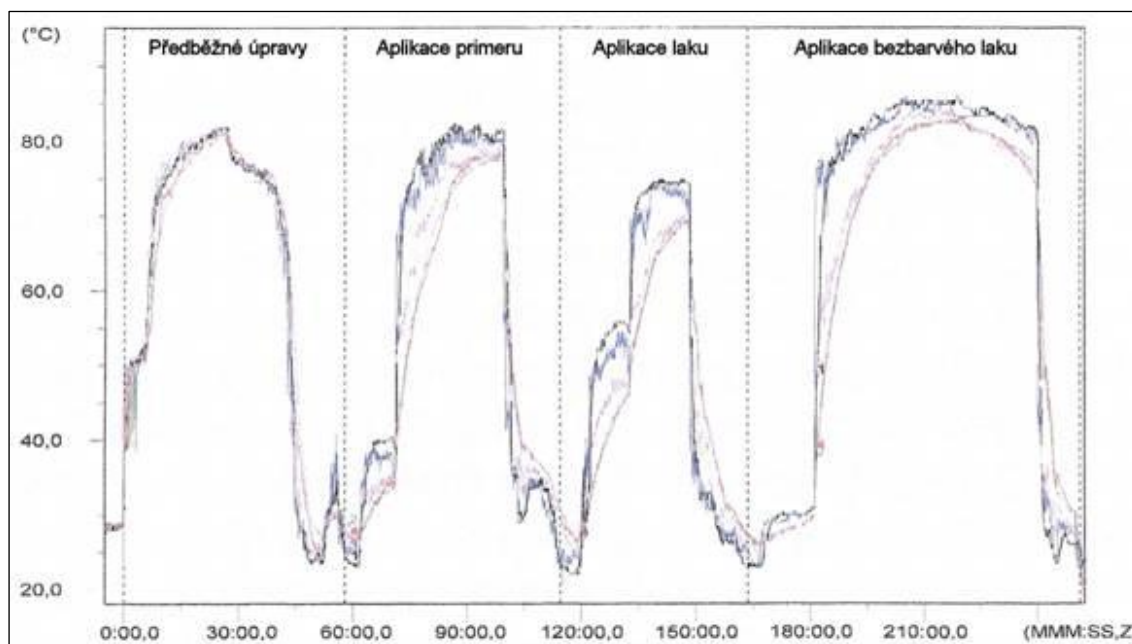
Barevně variabilního a esteticky příjemného povrchu na plastovém díle lze dosáhnout mnoha způsoby. Nejběžnější metodou povrchových úprav, která je také předmětem této práce, a proto je jí věnována největší část této kapitoly, je lakování. Tímto způsobem lze získat individuální zabarvení vhodné k laku karo- serie, vysokou barevnou brilantnost a vysoký lesk. Současně povlak nátěrové hmoty chrání plast proti procesu přirozeného stárnutí.

2.4.1 LAKOVÁNÍ

Technologií lakování rozumíme tvorbu tenkého organického povlaku na povrchu dílu. Tato tenká vrstva nanesené hmoty zasychá a vytváří pevnou povrchovou vrstvu – tzv. film. Schnutí laku může probíhat buď fyzikální cestou (odpařování rozpouštědla), chemickou cestou (polymerace) nebo jejich kombinací. Vzniklý ucelený povrch se nazývá nátěr. [4]

Nátěr plní dvě základní funkce – estetickou a ochrannou. Záleží na podmínkách použitelnosti, která z těchto funkcí bude převládat. Z hlediska estetického je důležitá barva, kryvost a lesk nátěrů. Z hlediska povrchové ochrany, která je založena především na bariérovém způsobu, má význam hlavně životnost nátěru závisující na druhu lakovaného materiálu, na úpravě povrchu a nátěrové hmotě. [4, 20]

Postup lakování je následující: V první řadě musí být výrobek odmaštěn, pak následuje oplach demineralizovanou vodou a odstranění zbytkové vody. Po této operaci následuje sušení, ochlazení a ožeh povrchu dílu, aby se docílilo zvýšení povrchového napětí a drsnosti povrchu. Na takto upravený povrch se aplikuje nástřikem nátěrová hmota obvykle ve dvou vrstvách, která má po vysušení tloušťku kolem 20 μm . Po vytěkání látek následuje mezisušení (při cca 80 °C) a nástřik bezbarvého laku ve dvou vrstvách při teplotě nižší, než 35 °C. Celková tloušťka je 30 až 40 μm . Po dalším časovém vytěkání následuje sušení a ochlazení. Průběh teplotních procesů během lakování je znázorněn na obrázku 12. [4]



Obr. 12: Průběh teplotních procesů během lakování [4]

NÁTĚROVÉ HMOTY - LAKY

Nátěr je definován jako souvislý povlak požadovaných vlastností vzniklý nanesením a zaschnutím jedné nebo více nátěrových vrstev na upravený povrch. Podle počtu nanesených vrstev lze dělit na jedno a vícevrstvé. Lze je dělit i podle celé řady dalších kritérií, jako jsou vlastnosti nátěru, jeho účel, vzhled a podobně. Základními složkami nátěrových hmot jsou pojidla, pigmenty, plnidla a aditiva. [20]

Pojidlo je nejdůležitější součástí každé nátěrové hmoty. Uděluje jí charakteristické fyzikální vlastnosti. Pojidlo se skládá z filmotvorných látek a rozpouštědel.

- **Filmotvorné látky** – převážně netěkavé organické látky. Jedná se o vysychavé oleje, přírodní pryskyřice, deriváty kaučuku, asfalty a syntetické pryskyřice. Vlastnosti filmotvorných látek mají rozhodující vliv na ochrannou účinnost a životnost nátěrů. Chemické vazby obsažené ve filmotvorné látce určují, zda bude nátěr odolávat kyselinám, hydroxidům a povětrnostním vlivům. Polární skupiny určují svou chemickou a fyzikální povahou přilnavost a další vlastnosti nátěru.

- **Rozpouštědla** – jsou těkavé látky, v nichž jsou filmotvorné látky rozpuštěny. Upravují viskozitu nátěrové hmoty a umožňují její nanesení na chráněný povrch. Nejběžnější rozpouštědla jsou terpentýnové silice, lehký benzín, toluen, benzen, etylalkohol, aceton a jiné. Podle rychlosti odpařování se dělí na lehká, střední a těžká. [20]

Pigmenty dávají nátěrovému filmu zabarvení a neprůhlednost. Mohou být organické nebo anorganické povahy. Požadované vlastnosti nátěrového filmu závisí na velikosti objemového podílu pigmentů, ale také plnidel. Při nižším obsahu je film hladký a lesklý, při vyšším je výsledný film matný a má drsnější povrch. [20]

Plnidla jsou obvykle jemně rozemleté minerální látky nerozpustné v pojivech, které vhodně upravují technologické vlastnosti nátěrových hmot. [20]

Aditiva jsou pomocné přísady, které obdobně jako plniva vhodně upravují technologické a fyzikální vlastnosti nátěrových hmot. Jedná se především o sušidla, emulgátory, stabilizátory, zvláčňovadla a jiné. [20]

Nátěry lze podle jejich základní surovinové báze dělit do následujících skupin:

- **Olejové nátěrové hmoty** - mají pojidlo z vysychavých olejů ve směsi s přírodními nebo umělými pryskyřicemi, které jsou rozpuštěny v lakovém benzínu. Vzájemný poměr určuje vlastnosti a použitelnost laků. Zasychají oxipolymeračním způsobem – vazba vzdušného kyslíku vstupuje do řetězce mastných kyselin za vzniku prostorové nevrátne sítě. Olejové laky mají velmi dobrou odolnost proti povětrnostním vlivům, jen dostatečnou proti vodě a špatnou odolnost proti chemickým vlivům, hlavně alkáliím.
- **Celulózové nátěrové hmoty** – jsou odvozeny od nitrátu celulózy. Samotný nitrát nemá dobré filmotvorné vlastnosti, proto se kombinuje se zvláčňovadly a umělými pryskyřicemi. Důležitou složkou jsou též rozpouštědla, díky jejich vytěkání rychle zasychají. Výborně vzdorují vodě i koncentrovaným hydroxidům a mají výborné izolační vlastnosti. Dobře odolávají také povětrnostním vlivům.

- **Syntetické nátěrové hmoty** – jsou na bázi umělých pryskyřic. Tato skupina nátěrových hmot se dělí na celou řadu podskupin podle typu použité pryskyřice (alkydové, rezolové...). Syntetické laky spojují výhody olejových a celulózových nátěrových hmot a odstraňují jejich nevýhody.
- **Chlór-kaučukové nátěrové hmoty** – jsou na bázi chlorovaného přírodního kaučuku nebo jeho derivátů. Vlastní chlórkaučuky mají nízkou odolnost proti povětrnosti, ale vynikající proti chemikáliím a minerálním olejům. Proto se přidávají k jiným lakařským surovinám, kterým tuto odolnost zvyšují. Zasychají velmi rychle, a to odpařením rozpouštědla. Mají vysokou pružnost, odolnost proti vodě, benzínu, minerálním olejům, lihu a hydroxidům i roztokům solí. Nízkou odolnost mají proti organickým kyselinám a špatně snášejí teploty nad 70 °C.
- **Silikonové nátěrové hmoty** – mají vysokou odolnost proti zvýšeným teplotám (organická část shoří a zůstane anorganický zbytek). Čistě silikonové pryskyřice mají malou přilnavost, kombinují se proto s alkydy a epoxidy, čímž však klesá jejich teplotní odolnost.
- **Lihové nátěrové hmoty** – jsou roztoky pryskyřic rozpustných v lihu. Schnou fyzikálně – vytěkáním rozpouštědla. Vyznačují se rychlým schnutím, vysokým leskem a dobrou odolností proti olejům.
- **Asfaltové nátěrové hmoty** – jako základních filmotvorných látek využívají přírodních asfaltů. Tyto látky jsou rozpustné v rozpouštědlech. Některé schnou na vzduchu, jiné se vypalují v pecích. Asfaltové nátěrové hmoty mají dobrou odolnost proti kyselinám a velmi špatnou proti povětrnostním vlivům.
- **Emulzní nátěrové hmoty** – latexy. Jako filmotvorných látek se používá syntetických pryskyřic. Jsou ředitelné pouze vodou, tvoří po odpaření tlustý, sice porézní, ale poměrně vodovzdorný film. Latexové nátěry jsou nehořlavé a zdraví neškodné. Mají omezenou skladovatelnost – do teplot 0 °C. [20]

- **Vodové nátěrové hmoty (vodou ředitelné)** – obsahují jen velmi malé, nebo žádné množství organických rozpouštědel. Oproti rozpouštědlovým lakům jsou šetrné k životnímu prostředí a vydávají slabší zápach. Základními materiály mohou být například akryláty a polyuretanové akryláty rozpuštěné ve vodě. [21]

V dnešní době se na lakování polymerních materiálů používají nejčastěji vodové laky. Tyto laky jsou výsledkem dlouhodobé snahy o snížení obsahu těkavých podílů. Sestávají ze stejných složek jako laky na bázi rozpouštědel, ta jsou ovšem z velké části nahrazena vodou (65 %). Z tohoto důvodu je třeba k odpaření vody vyšších teplot. Během postřiku se ztrácí pouze 25 % obsahu vody oproti rozpouštědlovým lakům, kde dochází k odpaření až 50 % rozpouštědla. Aby bylo docíleno odpaření vody z naneseného filmu základového laku, je zapotřebí dodatečné energie ve formě ohřívání odvětrávacích zón. [4]

TECHNOLOGIE NANÁŠENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT

Při návrhu a volbě ochrany materiálu je třeba problém posuzovat komplexně. Ochranný povlak by měl výrobek dostatečně chránit před okolními vlivy, měl by být provozně spolehlivý a mít dostatečnou životnost. To vše při co nejnižších nákladech na celé období jeho technického života. [20]

Při volbě technologie nanášení nátěrových hmot je nutno uvažovat následující hlediska:

- Předmět (tvar, velikost, množství)
- Požadované vlastnosti finálního nátěru (vzhled, tloušťka...)
- Kvalita povrchu (pórovitost, stupeň znečištění, předběžné úpravy)
- Vlastnosti nátěrových hmot (reologické, schnutí, vodivost...)
- Ekologické ovlivnění životního prostředí [20]

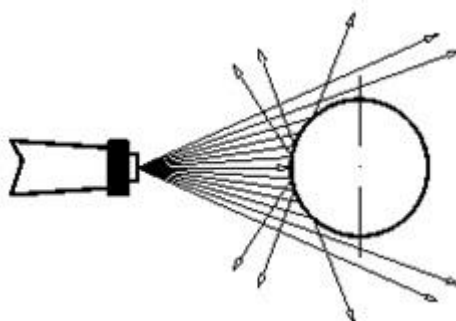
Ruční nanášení nátěrových hmot – stále velmi rozšířená a jednoduchá technologie tvorby nátěrových povlaků. Je vhodná všude tam, kde nelze uplatnit výkonnější způsoby, především v opravárenství. Nevýhodou je malá produktivita, výhodou pak značná adaptibilita a minimální ztráty. Výhodné je také mechanické zapracování a zatlačení nátěrové hmoty do pórů upravovaného předmětu, čímž lze získat větší přilnavost nátěru. [20]

Nanášení nátěrových hmot pneumatickým stříkáním – patří ke klasickým (konvenčním) způsobům zhotovování povlaků z nátěrových hmot. Uplatňuje se jednak jako ruční a jednak jako mechanizovaný proces. Je vhodný pro rychleschnoucí nátěrové hmoty, na velké plochy, kde je třeba dosáhnout rovnoměrné tloušťky laku a velmi hladkého povrchu. Princip spočívá v rozprašování nátěrové hmoty pomocí tryskové soustavy stříkací pistole, v níž proudí stlačený vzduch. Vlivem povrchového napětí následně dochází ke spojení rozprašené nátěrové hmoty s povrchem výrobku. Výhodou této technologie je vysoká produktivita (40 až $65 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ při ručním a $200 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ při mechanizovaném způsobu), nevýhodou pak velké ztráty nátěrových hmot způsobené přestříkem, dále pak i ztráty rozpouštědel a nevhodnost z hygienického hlediska. Tímto způsobem lze nanášet většinu nátěrových hmot, výjimku tvoří hmoty tvořící tzv. vlákna (chlór-kaučukové, vinylové). [20]

Pneumatické stříkání se provádí ve stříkacích kabinách stolového, podlahového nebo tunelového typu. Jsou vybaveny vhodným dopravníkem. Filtrace se řeší buď suchými filtry (labyrintové žaluzie, skříňový absorbér s dřevitou vlnou) nebo mokřými filtry (srážení vodní sprchou, sedimentace).

Do skupiny pneumatického lakování patří také vysokotlaké stříkání a stříkání nátěrových hmot v ohřátém stavu. V obou případech se jedná o modifikace této technologie odstraňující její nedostatky – především ke snížení ztrát a snížení spotřeby rozpouštědel. [20]

Na obrázku 13 je schematicky znázorněno stříkání laku tímto konvenčním způsobem. Lze si na něm povšimnout rozstříku odražených částic laku.



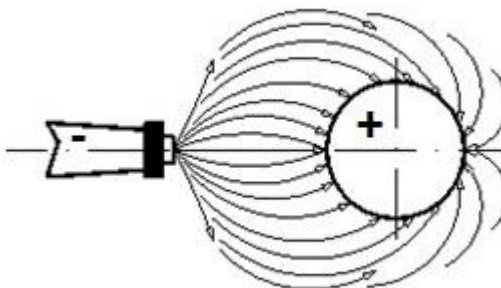
Obr. 13: Schéma stříkání laku pneumatickým (konvenčním) způsobem [20]

Stříkání nátěrových hmot v elektrostatickém poli vysokého napětí – technologie je založena na přitažlivosti dvou částic s rozdílným elektrickým nábojem. Jemně rozptýlené částičky nátěrové hmoty získávají v elektrostatickém poli náboj. Poté jsou unášeny prostorem po silokřivkách elektromagnetického pole směrem k uzemněnému předmětu. Následně odevzdávají svůj náboj a adhezivními silami zůstávají opět na povrchu předmětu, který ze všech stran pokrývají a vytvářejí souvislý povlak. [20]

Vlivem korónového výboje se ve vysokém potenciálním spádu, v blízkosti ústí stříkací pistole, ionizují molekuly kyslíku ze vzduchu za vzniku záporných iontů. Tyto částičky nátěrové hmoty rozptýlené ve vzduchu jsou pak přitahovány k výrobku, který je uzemněn a připojen ke kladnému pólu vysokonapěťového generátoru. Velikost náboje je přímo úměrná elektrickému poli a velikosti částice. [20]

Touto metodou lze snížit ztráty přestříkem na 25 až 5 % z hodnot dosažených při běžném stříkání. To má vliv nejen na ekonomiku nanášení, ale i na zlepšení hygieny práce. Jde o technologii vhodnou všude tam, kde jsou velké ztráty nátěrových hmot. Není ale vhodná pro vysoce viskózní materiály a nátěrové hmoty musí vykazovat optimální elektrickou vodivost. [20]

Obrázek 14 znázorňuje schéma elektrostatického způsobu stříkání laku. Lze si na něm povšimnout pohybu částic po silokřivkách elektromagnetického pole, které se tímto způsobem dostanou i do míst, kam by se konvenčními metodami nedostaly. Není zde tak výrazný přestřík částic.



Obr. 14: Schéma stříkání laku elektrostatickým způsobem [20]

Další technologie nanášení nátěrových hmot:

Máčéním – ztráty způsobuje pouze odkapávání hmoty po vynoření. Výsledný nátěr je klínovitý a jeho tloušťka je závislá na konzistenci nátěrové hmoty a rychlosti vynořování.

Poléváním – přebytečná nátěrová hmota se vrací. Technologie vhodná pro rovinné plochy, především v nábytkářství. Používají se trysková nebo štěrbinová zařízení pro nanášení nátěrových hmot.

Navalováním – také vhodné především na hladké a ploché výrobky – podlahoviny, plechy apod. Předností je velký výkon a malé ztráty nátěrových hmot. Principem je nanášení pohybem nekonečného pásu mezi nanášecím válcem a podpěrným válcem.

Elektrochemickým způsobem – elektroforéza – předmět je ponořen do lázně speciální vodou ředitelné nátěrové hmoty, kde působením stejnosměrného elektrického pole jsou částice nátěrové hmoty přitahovány ke kovovému povrchu.

Chemickým způsobem – autoforéza – bezproudé vylučování nátěrových hmot. Film se vytváří chemickými reakcemi s ocelovým plechem. [20]

SUŠENÍ A VYPALOVÁNÍ NÁTĚRŮ

Nátěr získá tvrdost a odolnost proti mechanickému a chemickému namáhání až po dokonalém zaschnutí. Během tohoto procesu probíhá řada složitých fyzikálních i chemických pochodů. Z fenomenologického hlediska je lze možno dělit do čtyř fází: vypaření, zasychání do stavu schopného manipulace, zasychání do stavu tvrdosti a stárnutí nátěru. [20]

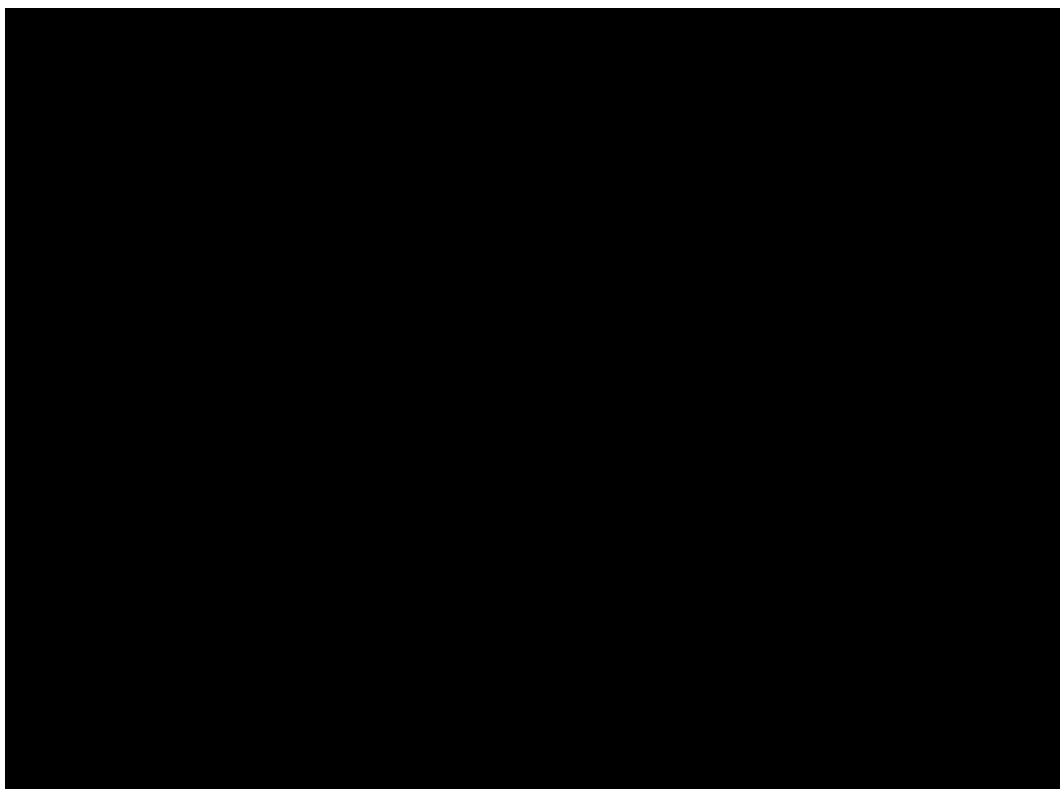
Chemické reakce během schnutí mohou probíhat za normálních nebo zvýšených teplot (40 až 60 °C přisoušení, 80 °C a více vypalování). Aby se výrobní cyklus zkrátil, je zasychání urychlováno pomocí zvýšených teplot (ohřátý vzduch, infrazářiče, indukční ohřev apod.). Přisoušením rozumíme urychlování schnutí hmot schnoucích na vzduchu. Optimální podmínky zasychání jsou teploty 18 až 25 °C a relativní vlhkost do 75 %. [20]

LAKOVACÍ LINKA

V kusové a malosériové výrobě provádí nanášení laku operátor, v sériové produkci je však mnohem výhodnější použití lakovacích robotů, kteří jsou součástí lakovacích linek. Lakování dílů tak probíhá od jejich zavěšení až po sundání ze závěsů plně automaticky. [22, 23]

Každá lakovací linka je svým způsobem originál, je sestavena podle požadovaného technologického postupu, výrobní kapacity a prostorových možností. Podle použitého materiálu, tvaru, rozměrů a určení výrobku je možno navrhnout optimální technologický postup s následným technologickým řešením. [22, 23]

Lakovací linky zahrnují zařízení pro přípravu povrchu před lakováním, samotné stříkací kabiny, ale také zařízení zajišťující navazující procesy – sušičky, vytěkáč a chladicí tunely, dopravníky a podobně. Jako příklad je uvedena jedna z lakovacích linek společnosti Magna na obr. 15. [22, 23]

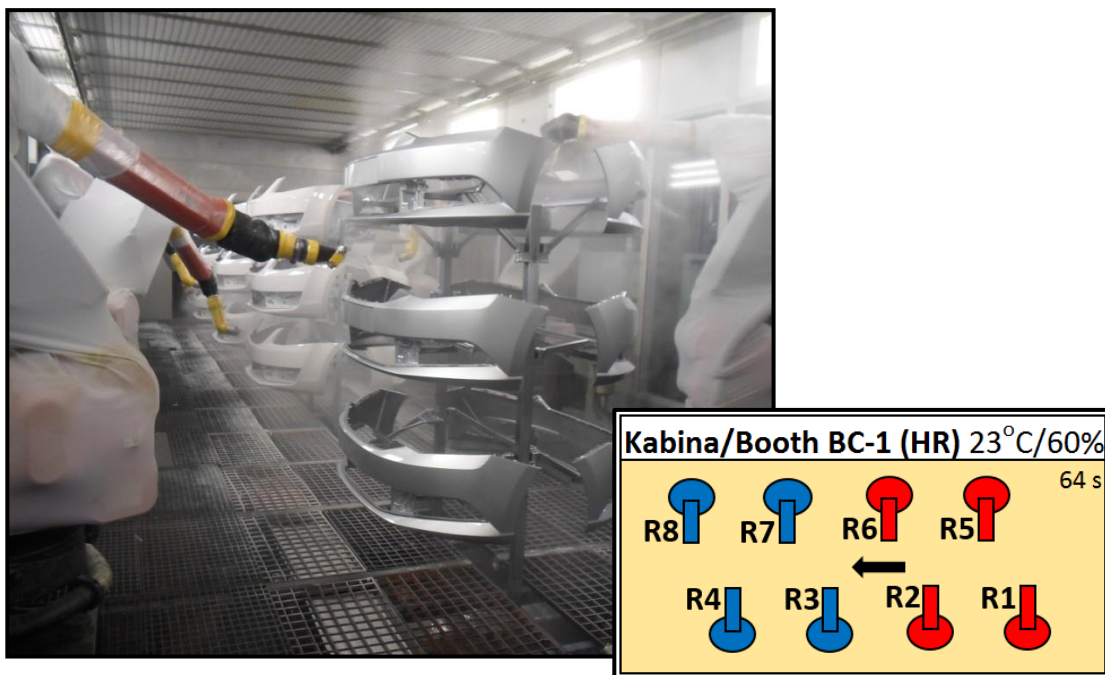


Obr. 15: Procesní schéma lakovny L1 společnosti Magna [24]

Na obrázku 15 lze vidět procesní schéma lakovny L1, kde se provádí stříkání autodílů (přední a zadní plastové nárazníky automobilů a jiné autodíly). V levé části obrázku si lze všimnout, že zhruba 4,5 hodinový lakovací proces začíná navěšováním dílů na háky umístěné na řetězovém dopravníku linky (tzv. skidy) dle systému KANBAN. Tomu předchází fáze kontroly kvality dílů a skidů. V prvním kroku samotného lakovacího procesu díly vjíždějí do myčky, kde jsou omývány alkalickým roztokem, odmaštěny, několikrát opláchnuty při různých teplotách a následně osušeny za pomoci ofuku vzduchem. Díly v myčce musí být navěšeny takovým způsobem, aby v nich nezůstávala voda. [25]

Dále díly postupují do ožehovací kabiny, ještě před tím však musí být zbaveny vázané vody v sušičce, kterou díl projíždí okolo 35 minut při teplotě 87 °C. Před ožehem povrchu dílu plamenem musejí ještě díly projet chladicí zónou, aby nedošlo ke spálení materiálu. Samotná ožehovací kabina pak v našem případě disponuje čtyřmi počítačem řízenými roboty, na jejichž ramenech jsou umístěny hořáky, které plamenem rozrušují povrch a upravují povrchové napětí plastových dílů (tzv. aktivace povrchu). Plamen vzniká spalováním směsi propanu a vzduchu smísených v poměru 26:1. Po ožehu dílů opět následuje jejich ochlazení v chladících zónách. Znečištěná vzdušnina z procesu ožehování je odtahována ventilátorem vzduchotechniky do ovzduší samostatným výduchem na střeše budovy. [25]

Po odmaštění a aktivaci povrchu ožehem vstupují návěsy přímo do vstříkovací kabiny č. 2, kde je osmi roboty nastříkována krycí vrstva barvy (Basic coat). Dále autodíly procházejí vytěkáací a sušicí zónou a vstupují do stříkací kabiny č. 3, ve které se provádí v jedné vrstvě nástřik transparentní barvy (Clear coat). Poté návěsy opět procházejí vytěkáací zónou a sušárnou, ve které probíhá vytvrzení barvy, a chladicí zónou. Kabina č. 1 se využívá k lakování malosériových barev a je vybavena pouze čtyřmi roboty. Odsávaná vzdušnina z lakovacích kabin, vytěkáacích zón a všech sušáren je vedena do procesu dodatečného termického spalování, ve kterém se obsažené organické látky likvidují spalováním zemním plynem. Po tomto procesu je odpadní plyn odváděn ventilátorem do ovzduší samostatným výduchem na střeše budovy. [25]



Obr. 16: Pohled do lakovací kabiny se schématem umístění lakovacích robotů
[foto Jiří David]

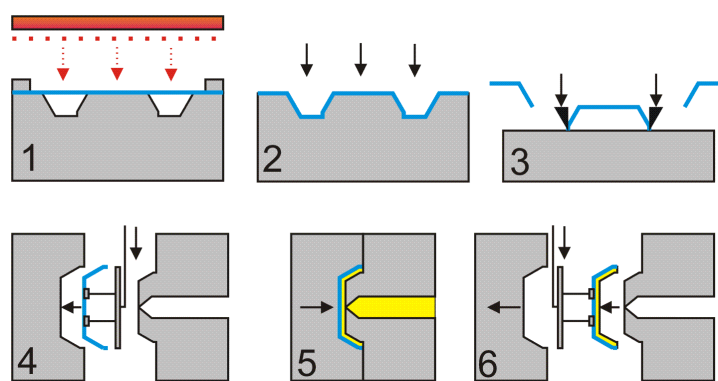
Na obrázku č. 16 je znázorněn pohled do lakovací kabiny BC2, která disponuje celkem osmi roboty, z nichž čtyři využívají pneumatické metody a čtyři elektrostatické metody stříkání. Uvnitř kabiny je teplota 23 °C a relativní vlhkost vzduchu 60 %. Průjezd dílu touto kabinou trvá zhruba 64 sekund. [25]

V lakovacích kabinách se ve spodní části nacházejí tzv. vodní laguny, do kterých je přetlakem vháněna vzdušnina. Voda s flotačním činidlem zachytává zbytky barev rozptýlených ve vzduchu ve formě aerosolu. Poté je odváděna na čištění, je z ní odstraňován kal a je opět vrácena zpět do koloběhu. Celková výměna vody je pak prováděna při odstávce technologie a je likvidována jako odpad. [25]

Ke stříkání se používají vodou ředitelné barvy od firem Dupont, Basf nebo Wörwag. Ke stříkání druhé vrstvy se používá dvousložkový lak s tvrdidlem, který je tvořen pouze pojivem a rozpouštědlem, neobsahuje žádná plniva nebo neprůhledné pigmenty. [25]

2.4.2 IN-MOLD TECHNOLOGIE

Principem této hybridní technologie je nástřik taveniny plastu na jiný materiál (kov, plast, textilie, aj.) a jejich následné spojení, přičemž dochází ke vzniku jednoho výrobku s lepšími vlastnostmi (viz obr. 17). Technologie je postavena na vkládání různých materiálů ve formě polotovarů nebo předtvarovaných dílů do dělicí roviny vstřikovací formy za účelem zlepšení vzhledových vlastností nebo pro výrobu dílů s vysokou kvalitou povrchu, zvýšenou UV odolností apod. Jedná se o technologii určenou pro výrobu konečných interiérových a vzhledových dílů v jediné operaci. Plast zde má nosnou funkci výrobku a zajišťuje jeho tvarovou a rozměrovou stabilitu. [4, 26]



Obr. 17: Princip zastříkování přetvarovaného polotovaru

(1 - ohřev, 2 - předtvarování, 3 - ostřížení, 4 - vlození, 5 - zastříkování, 6 - vyhození)

[26]

V praxi se technologie In-mold rozděluje na tzv. In-mold dekorování (IMD – In-mold Decorating) a In-mold značení (IML – In-mold Labeling). **Technologie IML** se používá pro označování tenkostěnných výrobků s krátkou životností – obaly na potraviny, nápoje, kosmetiku apod. Používají se papírové nebo plastové etikety. **Technologie IMD** se pak využívá při tvorbě trvanlivých výrobků s dlouhou životností a vysokou kvalitou povrchových úprav. Příkladem jsou spotřebiče, hračky, lékařské přístroje, automobilové komponenty, zahradní technika a další. Jedná se o silnostěnné komponenty, při jejichž výrobě se používají formy s menším počtem dutin než v případě IML. Technologie se liší nejen tloušťkou stěny výrobku, ale také použitou etiketou, na kterou jsou v případě IMD kladeny vyšší požadavky na kvalitu a životnost. Také celkové náklady jsou zde vyšší než v případě IML. [27]

2.4.3 POKOVOVÁNÍ

Kovové povlaky na povrch plastových dílů nanášíme za účelem tvorby velmi efektního kovového vzhledu ale také i změn celé řady vlastností, jako jsou: lepší mechanické vlastnosti, menší navlhavost a propustnost pro kapaliny a plyny, větší odolnost proti chemikáliím, lepší tvarová stálost při působení zvýšené teploty, výrazně snížené stárnutí plastu, elektrická vodivost. Rozhodující vliv pro úspěšné pokovení plastového dílu má způsob jeho výroby, neboť z hlediska adheze kovového povlaku k plastu jsou rozhodující technologické podmínky zpracování a s tím související úprava povrchu před vlastním pokovením. Povrch plastu se upravuje odmaštěním a jemným zdrsňením nebo naleptáním povrch dílu. [4]

Tenký kovový povlak na povrchu plastového výrobku se vytváří postupy, které se dají podle svých hlavních rysů rozdělit do čtyř základních skupin: chemické, galvanické, vakuové nebo speciální pokovování. [4]

Principem **chemického pokovování** je vylučování kovu na povrch předmětu z roztoku soli povlakového kovu působením redukčního činidla, které je buď trvale obsaženo v pokovovací lázni, nebo je dodáváno až na speciálně upravený povrch předmětu. Tímto způsobem se plasty nejčastěji pokovují mědí, niklem, stříbrem nebo zlatem. Tloušťka kovové vrstvy je kolem 10 μm . [4]

Galvanické pokovování spočívá ve vyloučení kovu z roztoku účinkem stejnosměrného elektrického proudu. Základní vodivá vrstva na plastu se vytváří chemickým pokovením. Dosažitelná tloušťka kovové vrstvy není omezena a může se skládat i z více vrstev nanesených postupně. [4]

Vakuové pokovování je metoda, při níž dochází k napařování kovů na plast za velmi nízkých tlaků (10^{-3} až 1 Pa) při teplotách, kdy dochází k odpařování kovu. Předměty se umísťují ve vzdálenosti menší, než je volná dráha molekul par kovu. Nejčastěji se takto nanáší hliník a dosažitelné tloušťky vrstvy při pokovení jsou 0,1 až 1 mm. [4]

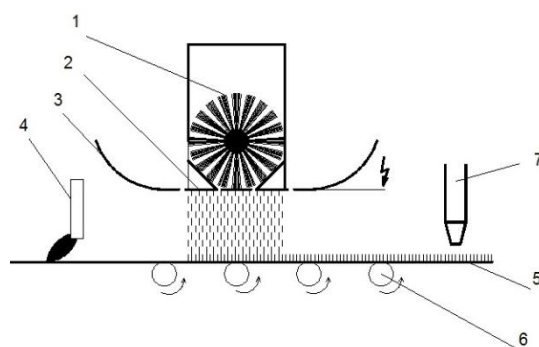
Za **speciální postupy** potom považujeme žárové stříkání kovů, které však musejí mít nižší teplotu tání, než je teplota degradace plastu. Lepivý povlak lze vytvořit i z plynné fáze za působení tepla. [4]

2.4.4 SAMETOVÁNÍ

Sametování, nebo také „flockování“, si lze představit jako elektrostatické nanášení textilní stříže na nejrůznější povrchy podkladových materiálů (papír, textilie, folie, plasty apod.), které jsou pokryty vrstvou lepidla. Vlákno je v elektrostatickém poli nabito a vystřeleno do lepidla, které zpravidla tvoří druhý pól, čímž dochází k jeho orientaci a vlákna tak dopadají kolmo na podkladový materiál. Jednotlivá vlákna se v lepidle zakotví a utvoří tak sametový povrch. Přebytečná textilní stříž se potom odsává z povrchu. Ukázka dílu povrchově upraveného flockováním je na obrázku 18. [28]



Obr. 18: Ukázka dílů povrchově upravených flockováním [2]



Obr. 19: Princip sametování [4]
(1 – zásobník stříže, 2 – síto, 3 – stínění, 4 – natírání lepidla, 5 – podkladový materiál, 6 – podávací zařízení, 7 – odsávání stříže)

Princip flockování vychází ze sítotisku a je znázorněn na obrázku č. 19. Pomocí šablony se na předmět natiskne lepidlo, na které se speciální tryskou fouká flocková stříž. Stříž ulpí pouze na motivu vytvořeném lepidlem a z ostatních částí předmětu se opráší a vysaje. Vytvrzením stříže pak vznikne plastický motiv s jemným, sametovým povrchem. [28]

Výhodami elektrostatického flockování jsou například: tepelná izolace, zvuková izolace, barevná stálost, prakticky nekonečná barevná škála, odolnost proti vzplanutí, odolnost vůči navlhnutí, povětrnostním vlivům a stárnutí, odolnost vůči prachu a dýmu, odolnost proti oděru a poškrábání, protiskluzové vlastnosti a jednoduchá údržba. [28]

2.4.5 KAŠÍROVÁNÍ

Kašírování je technologie, pomocí které se nanáší horní vrstva z odlišného materiálu na základní podkladový materiál, a to buď suchým způsobem, pomocí vosků, nebo za tepla. Cílem technologie je zlepšit nebo vhodně změnit základní vlastnosti nosiče. Kašírováním se vrství klasické materiály jako textil a papír, ale i materiály syntetické. Příklad kašírovaného dílu je na obrázku 20. [4]

Při **suchém kašírování** se na plastový díl nanese vrstva lepidla (kolem 5 g na 1 m²) ve formě roztoku nebo disperze. Po vysušení se plastový díl tlakem spojuje s povrchovým materiálem, nejčastěji textilií. Možný je i opačný postup. Jako kaširovací lepidla se používají roztoky latexu, polyuretanů apod. [4]

Kašírování pomocí vosků je technologie, která se používá pro spojování dvou folií z plastů, kdy se na jednu z folií nanáší roztavené adhezivo a ještě před jeho ztuhnutím je následně na nanesenou vrstvu přitlačována druhá folie. Následuje chlazení. Tento způsob nepotřebuje oproti předchozí technologii sušící tunel. [4]

Při **kašírování za tepla** se neuplatňují adheziva, ale využívá se termoplastičnosti alespoň jednoho materiálu. Povrch materiálu se nahřeje buď teplým vzduchem, nebo sálavým teplem z infračervených zářičů. Následuje spojení tlakem a ochlazení. Nejčastěji se používá pro kašírování textilií na povrch plastových dílů, na které se po předehřevu povrchu nalisuje textilie. Výhodou oproti suchému kašírování je vyšší rychlost a velmi dobrá pevnost při dlouhodobém používání. [4]



Obr. 20: Kašírovaný díl s kůží nalepenou na plastový nosič [23]

2.4.6 POVLA KOVÁNÍ

Povlaky se vytváří jak na materiálech kovových, tak i na nekovových. Funkce povlaků je dvojitá, ochranná i dekorační. Pro tvorbu povlaků se používá celá řada technologických postupů: [4]

Vířivé nanášení se používá především pro kovové materiály. Díl, který se má povlakovat, se zahřeje na teplotu tavení plastu a vloží se do nádoby. V té se nachází prášek plastu, uváděný do víření ve vznosu vhodným ochranným plynem. Prášek se usazuje na ohřátém dílu a vytváří postupně izolační vrstvu. Aby byla vrstva rovnoměrná a kvalitní, musí se předmět pohybovat jednak ve vertikálním směru a jednak jím otáčet kolem osy. Používá se PE, PA, PE/PVAL a další materiály, především jako antikoroziční nebo kluzná, případně i izolační úprava. [29]

Žárové stříkání je metoda, při které se práškový plast vhání do speciálního hořáku, kde se v plameni roztaví a v podobě kapiček dopadá na povrch součásti a tam vytváří souvislou vrstvu. Nosným plynem unášejícím prášek bývá vzduch o tlaku asi 0,07 MPa. Jako topného plynu se využívá svítiplyn nebo acetylén o stejném tlaku. Před povlakováním je třeba předmět očistit a odmastit. Poté následuje předehřev na teplotu vyšší, než je teplota tání plastu – pro zlepšení přilnavosti. Tloušťka povlaku, kterou lze získat dosahuje až 3 mm. [29]

Plastové povlaky lze vytvářet také **máčením** chladného kovového předmětu do taveniny plastu. Tímto způsobem lze získat ochranné povlaky na břitech nástrojů, jako jsou frézy a výstružníky. K tomuto účelu se používá například etyl-celulóza. Povlaky nejsou příliš kvalitní a plní jen dočasnou funkci ochrany během přepravy nástrojů. [29]

Laminováním rozumíme proces sycení vláknitého výztužného materiálu kapalným polymerním pojivem (reaktivní pryskyřicí). Následuje přivedení pojiva do tuhého stavu, čímž získáme pevný a pružný tenkostěnný produkt – laminát. Laminát se vytvrzuje přímo ve formě, která se opatřuje separačním nátěrem. Lze využít i přídavného tlaku pro zlepšení kvality, většího zhutnění a lepšího spojení vrstev, jinak se tlaku nevyužívá. Dobu vytvrzování lze ovlivnit teplotou formy, které bývají velmi jednoduché a levné. Na povrch dílů lze laminát nanášet pomocí technologie stříkání laminátů. Tímto způsobem se nanáší současně přesně dávkovaná stříž a kapalné polyesterové pryskyřice přímo na povrch.

Pryskyřice bývá dvousložková a mísí se až na vláknech. Jako výztuže se používají tkaniny nebo rohože. Jako pojiva (matrice) se používají polyesterové nebo epoxidové pryskyřice. [29, 30]

Plátováním se nanáší folie z plastů na ocelové nebo hliníkové plechy. Jednostranně nebo oboustranně plátované plechy je možno tvářet, ohýbat a stříhat, aniž by došlo k oddělení folie. Předností této metody je spojení pevnosti kovů s odolností plastů. Folie bývají nejčastěji z měkčeného PVC a jejich spojení s plechem se dosahuje lepením. [29]

Povlakování pomocí extruze, neboli výtlačné povlakování slouží k nanášení roztaveného polyetylénu na papír, textilie nebo jiné materiály. Na vytlačovacím stroji s plochou hlavou se vytlačuje tenká folie, která se ihned přivádí společně s papírem mezi válce, kde dojde k jejich spojení. Dobrému spojení napomáhá předehřev papíru infrazářičem. Stejně lze přihřívat i vytlačovanou folii. Pomocí přitlačovacího válce udáváme folii lesk a napomáháme jejímu rychlému ochlazení, čímž si udrží svojí vysokou houževnatost a tažnost. Tyto vrstvené plošné obalové materiály se používají k balení tekutých potravin. Výhodou je vysoká produktivita a možnost dosažení tloušťek povlaku od 0,1 do 0,9 mm. [29]

2.4.7 DEZÉNOVÁNÍ A LEŠTĚNÍ

Dezénování slouží k výrobě prostorového vzoru na plošných materiálech. Při použití potisku lze vytvářet i barevné dezény. Principem je buď vtlačování ohřátého kovového dezénovacího válce s prostorovým reliéfem do studeného termoplastického materiálu, nebo studený dezénovací válec je vtlačován do ohřátého povrchu plastu. Druhý postup je v praxi používanější, neboť materiál se méně lepí a dezénovací válec se může intenzivně chladit pro zachování vytvořeného dezénu. Plastický reliéf lze vytvořit i chemickým způsobem. [4]

Leštění je vlastně opakem dezénování, kdy chceme zlepšit kvalitu povrchu, lesk, anebo odstranit nerovnosti. Povrch výrobku lze leštit mechanickým způsobem (hladký válec, leštící kotouče), rozpouštědly nebo plamenem (nečadivý plamen – vodík). [4]

2.4.8 POTISKOVÁNÍ

Jedná se o technologii úpravy povrchu jednou nebo více barvami, které se mohou nanášet metodami obdobnými jako u nátěrových hmot nebo se používají technologické postupy odvozené z potiskování papíru, textilu a podobně. Na rozdíl od předešlých metod povrchových úprav se jedná pouze o lokální úpravu povrchu, nikoliv plošnou. Technologie potiskování plastů se dají rozdělit na:

- Přímé – tisk z výšky, tisk z hloubky, sítotisk
- Nepřímé – offsetový tisk, tisk razníkem, termotisk [4]

V případě přímého **potiskování z hloubky** se barva nanáší z prohlubní tiskového válce, jejichž hloubka určuje množství nanesené barvy. Jedná se o nejrozšířenější způsob na potiskování folií. [4]

Při přímém **tisku z výšky** je barva přenášena přes natírací válce na potiskovací válec a odtud na daný výrobek. [4]

U **sítotisku** je barva protlačována otvory síta pomocí natíracího nože na potiskovaný povrch. Množství nanesené barvy zde určuje viskozita barvy, velikost ok síta a tlak natírání. Tímto způsobem se dají potiskovat rovinné, válcové i kuželové plochy, které mají nerovnosti na povrchu. V pohybu je buď natírací nůž, nebo potiskovaný díl. [4]

U **nepřímého offsetového tisku** se barva nejprve nanáší na vhodný podklad (pryžový válec, papír...) a teprve odtud na potiskovaný povrch za působení tepla a tlaku. Tento proces není vhodný pro výrobky s většími nerovnostmi, protože nanesená vrstva je velmi tenká. [4]

U **potiskování měkkým razníkem** (nepřímý tisk) je princip obdobný offsetovému tisku, ale tento způsob se používá pro díly s nerovným povrchem, neboť rozdíly v hloubce vyrovná měkký razník (nejčastěji z kaučuku). [4]

Termotisk (potiskování teplým razníkem) je založen na přitlačení tiskové fólie vysokým tlakem razníku s teplotou kolem 100 až 200 °C na potiskovaný povrch. Působením teploty a tlaku se barevná vrstva přenesení z tiskové fólie na povrch výrobku. [4]

POTISK LASEREM

Jedná se o metodu používanou v plastikářské výrobě především k označování jednotlivých dílů výrobním kódem. Jejím principem je spálení vrchní vrstvy plastu při dopadu laserového paprsku. V těchto místech povrch výrobku změní barvu, aby k tomu došlo, musí být použit materiál s aditivem. [23]

Výhodou této technologie je především její rychlost a přesnost. Vytvořený popis se nemaže a text nebo obrázek lze rychle změnit. V hromadné výrobě je její výhodou také příznivá cena. [23]

Nevýhodou je pouze jediná barva potisku a dále nutnost použití aditiva v materiálu. [23]

2.4.9 LASEROVÉ VYPALOVÁNÍ

Další metodou využívající laserového paprsku je laserové vypalování. Pracuje na principu odstranění povrchové vrstvy materiálu za působení laserového svazku, čímž se vytváří požadovaný vzor. Tenká povrchová vrstva, která se laserem odstraňuje, bývá nejčastěji vytvořena lakováním. Jedná se o velmi rychlou a bezkontaktní technologii. [23]

2.4.10 TECHNOLOGIE HEAT & COOL

V oblasti výroby vysoce lesklých plastových dílů se jedná o stále více používanou a oblíbenou technologii umožňující výrobu produktů, jejichž povrchové vlastnosti jsou srovnatelné s lakovanými díly. Jedná se o modifikovanou technologii vstřikování plastů, při které dochází k vytápění a chlazení formy během jednoho vstřikovacího cyklu za účelem získání vysoce lesklého povrchu. [31]

K ohřevu forem lze klasicky použít vodu nebo oleje, v tomto případě je však nevýhodou této technologie malá produktivita a delší doby cyklu. Důvodem je malá hustota tepelného toku a nutnost ohřevu a následného chlazení velkých ploch před zahájením dalšího cyklu vstřikování. Aby byla výroba ekonomická, je třeba použít technologii zaručující rychlý ohřev a chlazení formy. Časy cyklů lze snížit použitím indukčního ohřevu nebo elektrického vytápění. Kromě toho indukční topné systémy šetří také náklady. [32]

2.5 MĚŘENÍ TLOUŠŤKY TENKÝCH VRSTEV

Princip většiny povrchových úprav plastů spočívá ve vytvoření tenkého povlaku na povrchu upravovaného výrobku. Jeho funkčnost je z velké části závislá na jeho síle. V případě laků a nátěrových hmot se jedná o vrstvy v tloušťkách řádově desítek mikrometrů. Z tohoto důvodu je třeba ji měřit a kontrolovat. Problematika měření tloušťky, či vzdálenosti, tenkých vrstev je velmi široký pojem. Podle přístupu k měřenému objektu a jeho povrchu je lze rozdělit na metody nedestruktivní a destruktivní. [33]

Nedestruktivní metody jsou takové, u kterých nedochází k poškození měřeného povrchu ani jeho podkladu. Do této skupiny patří měření za pomoci dotykových senzorů – vždy dochází ke kontaktu měřidla a měřené vrstvy. Podle fyzikálních principů se tyto metody dále dělí do těchto skupin: magneticko-indukční, s vířivými proudy, ultrazvukové, magnetické. [33]

Při použití destruktivních metod měření dochází k trvalému poškození měřených vrstev a většinou i podkladu. Tyto metody se užívají zejména u nekovových materiálů, tam kde bývá podklad z měkkého materiálu a poškození za účelem měření je tak jednodušší. Do destruktivních metod patří především metoda mikroskopická. [33]

Majoritní pozici v destruktivních zkouškách zaujímá mikroskopická metoda. Velmi oblíbená je především pro svou přesnost. Dále se potom využívá tam, kde není možné použít metody jiné. V odvětví kvality se za pomoci této metody nejen zjišťují tloušťky tenkých vrstev, ale také se jí zkoumají vady lakovaného i základního materiálu. [33]

U plastových materiálů se používá řez skalpelem skrze zkoumaný díl. Skalpel musí být ostrý, aby byl výsledný řez jednoduchý a čistý. Tupý skalpel na dílech zanechává viditelná poškození a rozpoznání nalakované vrstvy od základního materiálu je těžší. Nařezané vzorky jsou dále zkoumány pod mikroskopem. Ten bývá propojen s kamerovým systémem, který přenáší data do počítače. Tam jsou zpracována do podoby digitální fotografie a pomocí speciálního softwaru se dají dále zkoumat, měřit nebo upravovat. [33]

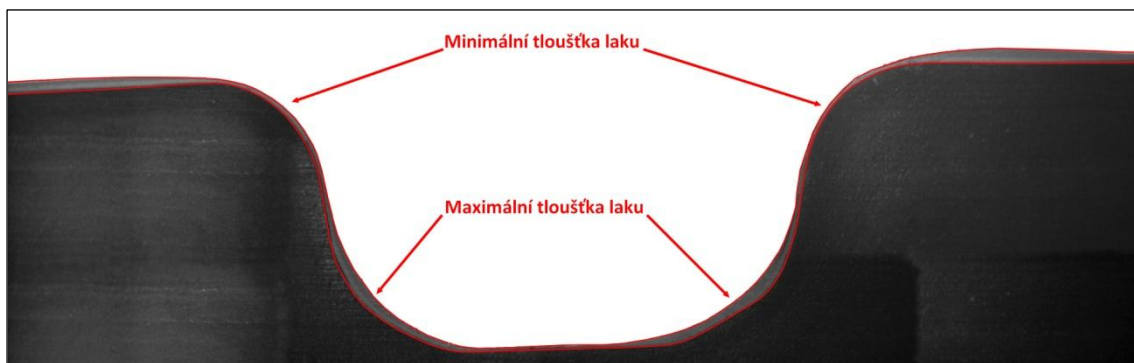
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem této práce je prozkoumat vliv geometrie plastového dílu a procesu lakování na konečné vlastnosti nalakovaných dílů. Práce je zaměřena na zkoumání vlivu velikosti poloměru zaoblení hrany plastového dílu na zde získanou tloušťku laku, od které se odvíjejí některé estetické i ochranné vlastnosti povlaku. Dále pak ověřuje možnost ovlivnění vzniku těchto nerovnoměrných vrstev změnou typu laku, lakovací technologie a orientace dílu během lakovacího procesu.

3.1 POPIS STÁVAJÍCÍHO PROBLÉMU

Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, vrstva laku na plastových dílech by měla plnit ochrannou i estetickou funkci. Obě tyto funkce jsou z velké části závislé na správné a rovnoměrné tloušťce laku, kterou je někdy v praxi jen velmi obtížné zajistit. Především jedná-li se o tvarově složité výrobky. Jedním z úskalí geometrie plastových dílů jsou jejich hrany. Při lakování dílu na hranách a v jejich okolí dochází ke vzniku výrazně proměnlivé vrstvy nátěru. Různá tloušťka laku má dopad na jeho estetickou i ochranou funkci.

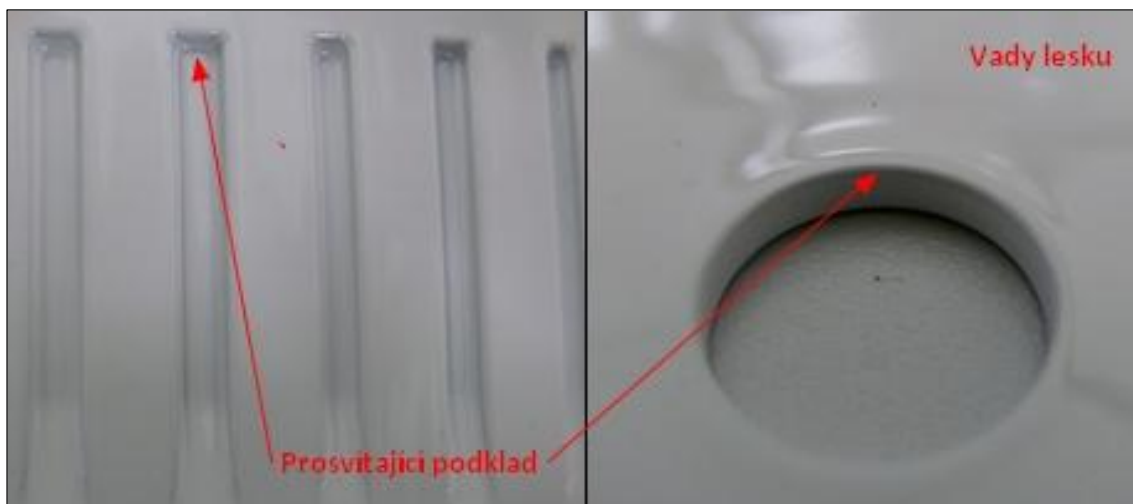
Obr. 21 znázorňuje řez lakovaným plastovým dílem. Jedná se o drážku v desce, jejíž hrany jsou zaobleny. Na snímku si lze povšimnout značné proměnlivosti v tloušťce laku, jehož rozhraní je zde barevně zvýrazněno.



Obr. 21: Řez lakovaným plastovým dílem (50x zvětšení)

Zeslabení laku má vliv na jeho ochrannou funkci, která je založena především na bariérovém způsobu. Slabší vrstva nemusí poskytovat dostatečnou ochranu před okolními vlivy a může dojít snadněji k jejímu porušení vnější silou. Naopak příliš silná vrstva může mít dopad na životnost povlaku, přičemž může docházet k jeho napětí a odlupování.

Nerovnoměrná tloušťka má dopad také na estetickou stránku výrobku. Ovlivňuje jeho lesk, odstín barvy i krycí schopnosti. Praktický příklad je na obr. 22, který znázorňuje tmavě šedý díl lakovaný bílou barvou. Jedná se o drážku, jejíž řez je na předchozím obrázku, a kruhový otvor v desce se zaoblenou hranou. Lze si na něm povšimnout, že v místech se slabší vrstvou nátěru (na vnějších hranách a v okolí vnitřních hran) dochází k prosvítání podkladu a vadám lesku nátěru.



Obr. 22: Estetický dopad zeslabené vrstvy laku

3.2 VOLBA MĚŘÍCÍ METODY

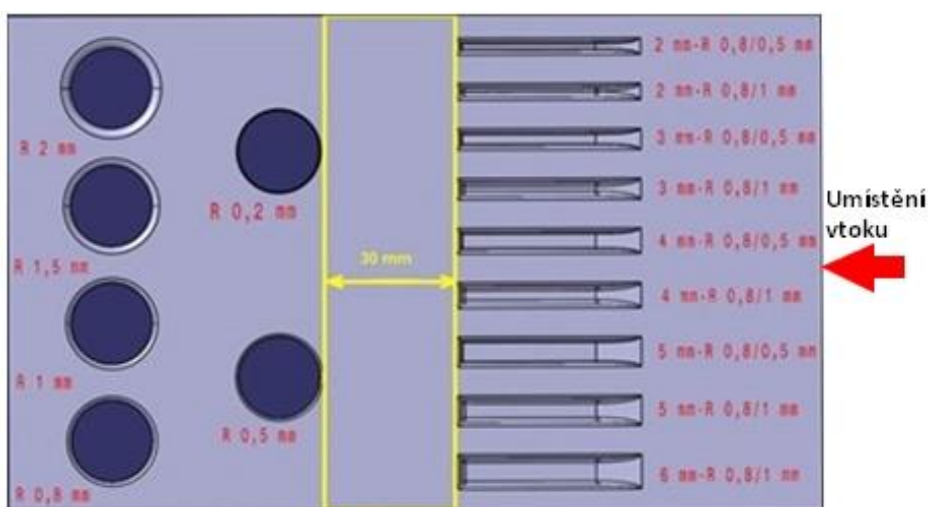
Ke změření konkrétních hodnot tloušťky laku na zaoblených hranách zkušebních dílů bylo zapotřebí takové metody, která by umožnila měření na nemagnetických a elektricky nevodivých plastech. Zároveň by umožnila zmapování celého profilu laku a nalezení míst s maximální a minimální tloušťkou laku, kde by následně proběhlo samotné měření. Dále bylo zapotřebí, aby zvolená metoda byla dostatečně přesná a rychlá. Podle těchto kritérií byla zvolena destruktivní **mikroskopická metoda**.

Jedná se o metodu, která zaujímá v destruktivních zkouškách prioritní místo především pro svou přesnost. Její princip spočívá v rozřezání zkoumaného dílu na vzorky pozorovatelné pod mikroskopem za pomoci ostrého skalpelu. Následuje pořízení snímků kamerovým systémem na mikroskopu propojeným s počítačem a jejich změření a vyhodnocení ve vhodném softwaru. V praxi se kromě měření tloušťky tenkých vrstev využívá také ke zkoumání vad jak povrchu, tak základního materiálu.

3.3 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH DÍLŮ

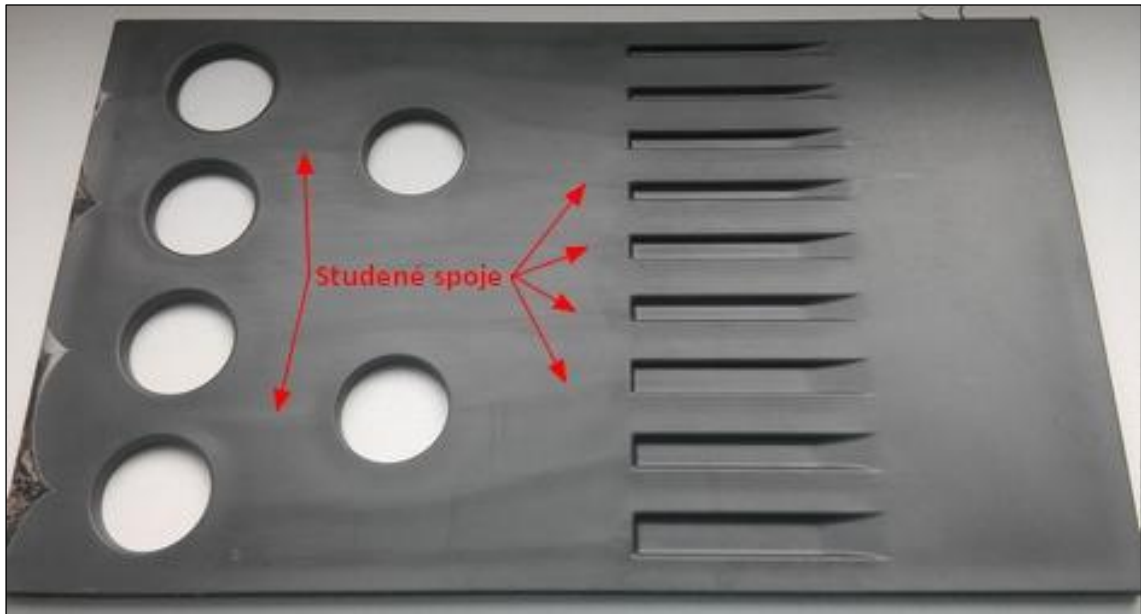
Pro zjištění vlivu velikosti rádiusu na hraně plastového dílu na výslednou tloušťku laku bylo zapotřebí dílů, na kterých by se vyskytovala řada zaoblených hran, jejichž poloměry by byly odstupňované po vhodně velkých krocích, a to jak ve vnějším, tak vnitřním provedení. Dále bylo třeba, aby na ně byla snadno aplikovatelná dělicí metoda umožňující jejich rozřezání skalpelem na menší vzorky pozorovatelné pod mikroskopem. Z těchto důvodů nebylo možné použít žádný ze sériově vyráběných dílů a byla proto zvolena možnost výroby nově navržených dílů. K tomuto účelu byla upravena vstřikovací forma, původně používaná k výrobě zkušebních destiček. Úprava spočívala v přidání sady kruhových otvorů a drážek se zaoblenými hranami do tvarových vložek formy. Destičky byly poté vyrobeny za pomoci technologie vstřikování plastů.

Navržený díl je zobrazen na obr. 23. Jedná se o plastovou destičku vyrobenou z PP. Její rozměry jsou 180 mm x 110 mm x 3 mm. Je vybavena šesti kruhovými otvory se zaoblenými hranami. Velikosti rádiusů na těchto hranách jsou odstupňované v řadě: 2 mm; 1,5 mm; 1 mm; 0,8 mm; 0,5 mm; 0,2 mm. Dále se v ní nachází devět různě širokých drážek, rovněž se zaoblenými vnějšími i vnitřními hranami. Jejich šířka roste od 2 do 6 mm. Hrany těchto drážek jsou vždy zaobleny dvojicí rádiusů. První variantou je vnější hrana s poloměrem zaoblení 0,8 mm a vnitřní hrana s 0,5 mm. Druhou variantou je 0,8 mm na vnější hraně a 1 mm na hraně vnitřní. Označení každé drážky sestává z její šířky a obou poloměrů zaoblení hran (šířka – $R_{\text{vnější}} / R_{\text{vnitřní}}$).



Obr. 23: Zkušební destička s otvory a drážkami určená k lakování

Červená šipka na obrázku č. 23 značí umístění vtoku při výrobě destičky. Toto umístění je důležité z hlediska výskytu studených spojů. Ty vznikají vždy, když se hlavní proud taveniny vyplňující tvarovou dutinu formy rozdělí tvarovými prvky (např. jádry) na dva nebo více toků a znovu se spojí buď čelně nebo bočně či tangenciálně. Studený spoj může vyvolat negativní projev na výstřiku z pevnostního i vzhledového hlediska. S jeho výskytem je třeba počítat i v tomto případě, kdy může mít vliv na získanou tloušťku vrstvy laku.

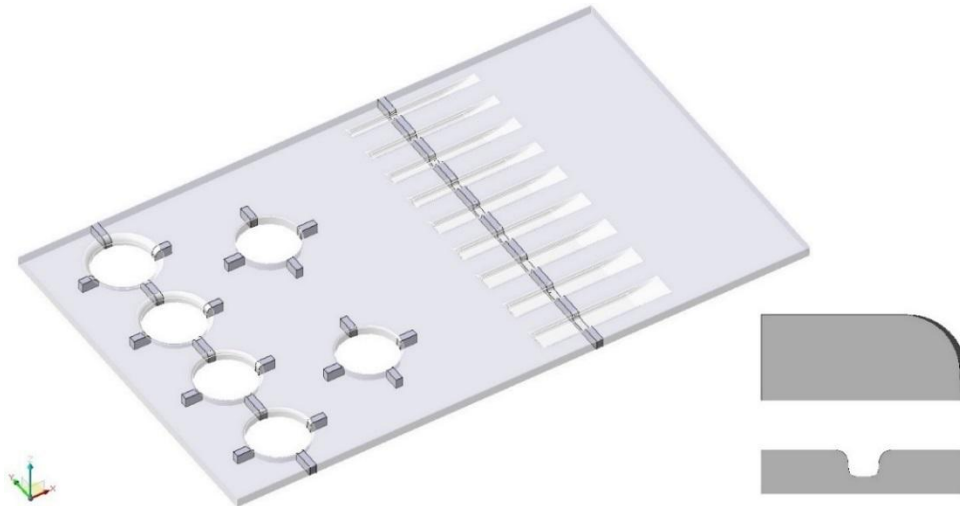


Obr. 24: Vzniklé studené spoje na vyrobené destičce

Na obr. 24 se nachází vyrobený díl určený k nalakování a následnému měření tloušťky laku na hranách otvorů i drážek. Lze si z něho povšimnout výskytu studených spojů za drážkami, na jejich dně, i za kruhovými otvory (směrem od vtoku). Lze tedy předpokládat, že při měření tloušťky laku v těchto místech se k ostatním vlivům na ní připojí také výskyt těchto spojů.

3.3.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Aby bylo možné změřit sílu laku na hranách zkušebních dílů, bylo zapotřebí z nich odebrat menší vzorky pozorovatelné pod mikroskopem. Podoba a umístění těchto vzorků je znázorněna na obrázku 25. V pravém dolním rohu obrázku je pak vyobrazen pohled na pozorovanou plochu vzorků.



Obr. 25: Místa odběru vzorků a jejich podoba

K dělení materiálu byl použit řez speciálním skalpelem. Jednalo se o velmi ostrý skalpel, umožňující provedení jednoduchého a především čistého řezu bez vzniku zbytečných plastických deformací vzorku. Použitý skalpel je vyobrazen na obr. 26.

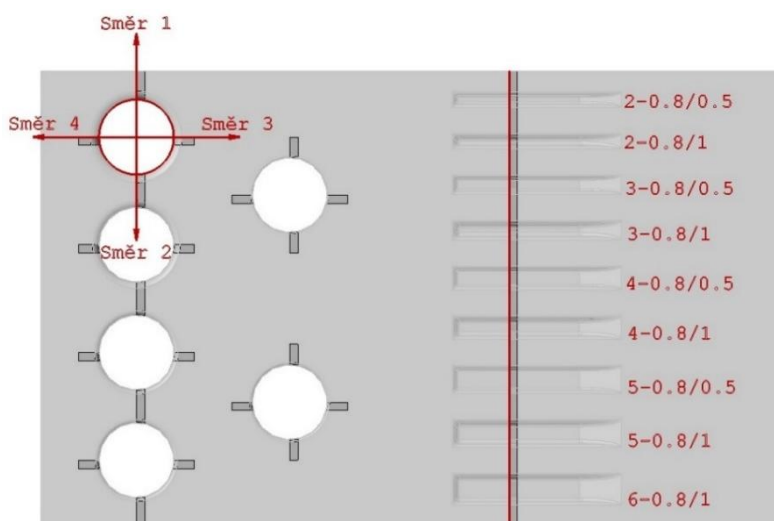


Obr. 26: Skalpel určený pro řezání plastových materiálů

Řez plastovým materiálem byl vždy proveden takovým způsobem, aby byla pozorovaná plocha rovnoběžná se stolem mikroskopu. Výška zkoumaných vzorků se pohybovala okolo dvou až tří milimetrů. Silnější vzorky by vykazovaly horší propustnost pro světlo (především při pozorování modré metalické barvy) a byly by tak hůře pozorovatelné pod mikroskopem. Tenčí vzorky by se zase deformovaly a kroutily, což by mělo za následek zkreslení naměřených hodnot.

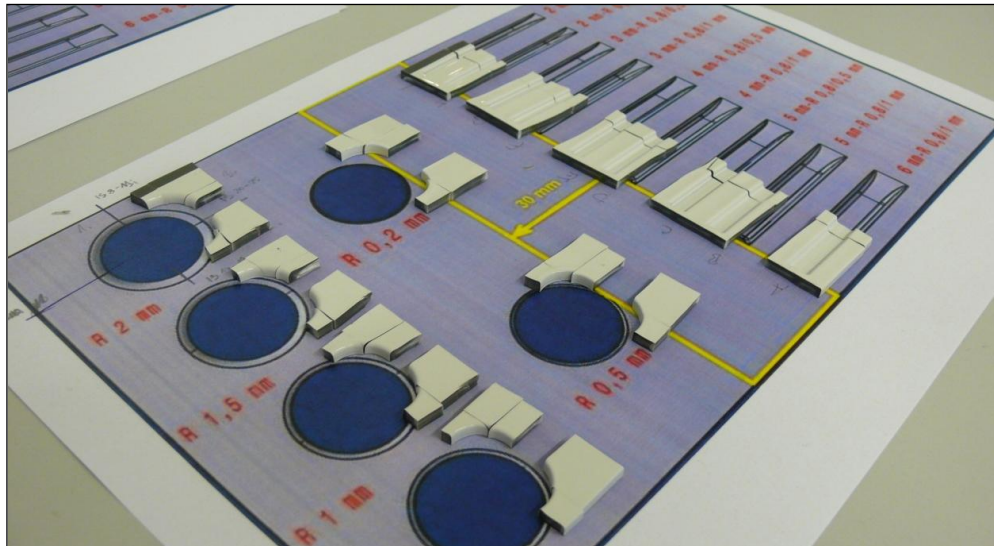
Pro minimalizaci vzniku plastických deformací způsobených dělením materiálu, byl tento úkon proveden pomocí dvou po sobě následujících řezů. Prvním bylo odříznuto dostatečné množství materiálu pro pozorování. Druhým, velmi tenkým řezem, byla ještě dodatečně seříznuta pozorovaná ploška. Tím byla odstraněna vrstvička plastu, na které se vyskytovaly deformace způsobené prvním řezem. Tyto deformace se projevily v podobě otřepů a opět by měly za následek zkreslení naměřených hodnot.

Z obr. 25 je patrné, že z každého kruhového otvoru byly odebrány až čtyři vzorky a z každé drážky po jednom. Označení směrů odběru a jednotlivých drážek je na obr. 27.



Obr. 27: Označení směrů odběru vzorků, označení drážek

Směry odběru vzorků byly zvoleny takovým způsobem, aby v prvních dvou případech byl zcela eliminován vliv výskytu studených spojů, a zároveň aby se v těchto dvou směrech projevil případný vliv orientace dílu během lakování. V případě směrů 3 a 4 bylo ovlivnění studenými spoji nevyhnutelné. V těchto směrech by však neměla mít žádný výraznější vliv orientace dílu. Zkušební díl nařezaný na pozorovatelné vzorky je na obrázku 28.



Obr. 28: Zkušební díl nařezaný na vzorky pozorovatelné pod mikroskopem

3.4 VOLBA LAKU A TECHNOLOGIE LAKOVÁNÍ DÍLŮ

Pro lakování zkušebních dílů byly vybrány dva rozdílné laky. Prvním byl klasický bílý lak, druhým modrá metalíza.

Bílý lak byl vybrán pro svou nízkou viskozitu a dobrou propustnost pro světlo. Tato vlastnost ho činí ideálním pro zkoumání za pomoci mikroskopické metody, která je založena právě na prosvícení vzorků. Jeho horší krycí schopnost vůči tmavým podkladům by pak měla snadněji odhalit anomálie v tloušťce lakované vrstvy.

Modrá metalíza byla zvolena v kontrastu k bílému laku. Má vyšší viskozitu a vysoký lesk, který snadněji odhalí jeho vady. Dále je vhodné, že místa s rozdílnou tloušťkou tohoto typu laku se na dílech projevují odlišným odstínem barvy, což umožní zaměření se na tuto vlastnost. Nevýhodou je její horší pozorovatelnost pod mikroskopem, stále je však k tomuto účelu dostačující.

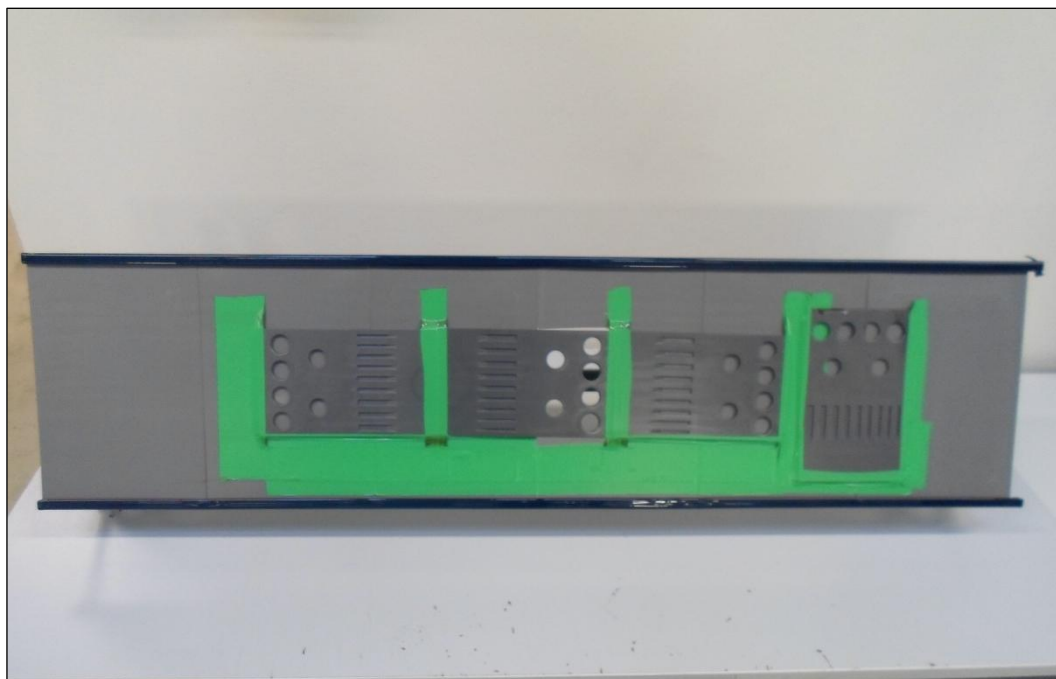
Zkoumané destičky byly nalakovány v osmi různých provedeních. První dva kusy byly lakovány bílým lakem, a to kombinací pneumatické a elektrostatické lakovací metody (stejně jako je tomu v sériové výrobě). Jedna z destiček byla pak během lakování orientována drážkami podélně se zemí, druhá z destiček kolmo na ní. Zbýlých šest dílů bylo nalakováno modrou metalízou. Tři z této šestice byly opatřeny průchozími kruhovými otvory a u třech byly otvory zaslepeny. Každý díl z těchto dvou trojic byl lakován pomocí jiné lakovací tech-

nologie – pneumatické (pneu), elektrostatické (esta), anebo jejich kombinací (pneu + esta). Pro lepší orientaci je přehled všech variant nalakovaných destiček znázorněn v tabulce 3.

Tab. 3: Přehled všech variant nalakovaných destiček

Vzorek	Lak	Technologie	Průchodnost děr	Orientace dílu
1	bílý	pneu + esta	neprůchozí	svíslá
2	bílý	pneu + esta	neprůchozí	podélná
3	modrý	pneu + esta	neprůchozí	podélná
4	modrý	pneu	neprůchozí	podélná
5	modrý	esta	neprůchozí	podélná
6	modrý	pneu+esta	průchozí	podélná
7	modrý	pneu	průchozí	podélná
8	modrý	esta	průchozí	podélná

Na obr. 29 je ukázáno připevňování plastových destiček na skidy před jejich zavěšením na háky řetězového dopravníku lakovací linky. Lze si na něm povšimnout různé orientace dílů a různé průchodnosti děr. Na obrázcích 30 a 31 je potom pohled přímo do lakovací kabiny během jejich lakování bílým lakem.



Obr. 29: Připevňování zkušebních destiček na skidy



Obr. 30: Pohled do lakovací kabiny během lakování dílů bílou barvou



Obr. 31: Čerstvě nalakované díly

3.4.1 VIZUÁLNÍ HODNOCENÍ NALAKOVANÝCH DÍLŮ

Ještě před rozřezáním zkušebních dílů na menší vzorky pozorovatelné pod mikroskopem byly odhaleny některé nedostatky na dílech viditelné pouhým okem. Tyto vady jsou znázorněny na následujících obrázcích.

Na obr. 32 se nachází kruhový otvor v díle lakovaném bílým lakem. Na zaoblené hraně tohoto otvoru si lze povšimnout prosvítající šedé barvy základního materiálu, což bylo zapříčiněno zeslabením vrstvy laku na této hraně. V okolí kruhového otvoru lze naopak pozorovat vyvýšeniny na laku zapříčiňující vady jeho lesku.

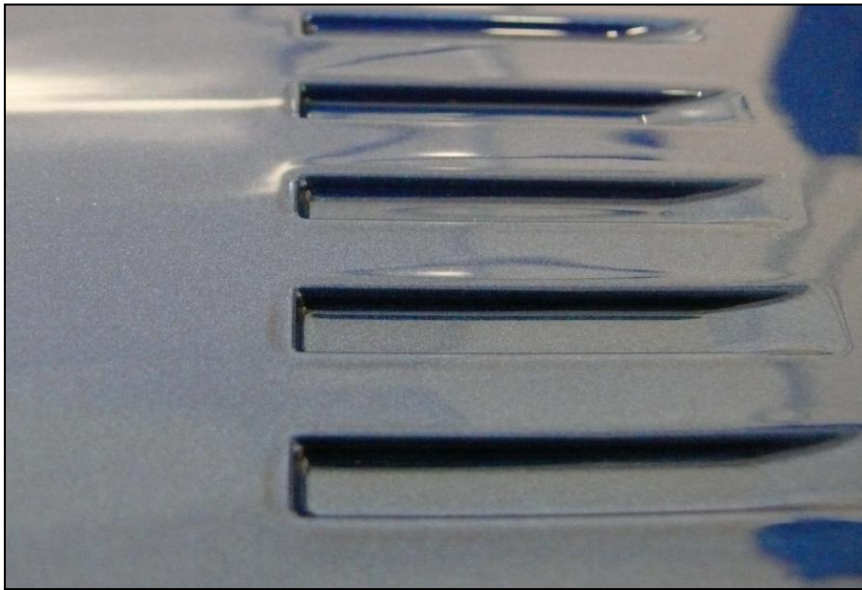
Podobný efekt byl pozorován také na dílech lakovaných modrou metallicou barvou (obr. 33). Opět si lze povšimnout vyvýšeného prstence okolo otvoru, vzniklého nahromaděním většího množství laku než v okolních oblastech. Protože tento lak vykazuje lepší krycí schopnosti vůči podkladu tmavě šedé barvy, než lak bílý, nedošlo k prosvítání základního materiálu v oslabených místech. Oproti bílé barvě však došlo v důsledku proměnlivé síly laku k výskytu oblastí s rozdílným odstínem barvy. Ty se okolo kruhového otvoru jeví jako prstenec tmavší barvy, než jakou má okolní lak. Tato místa se objevila také v okolí zaoblených hran drážek, jak je patrné z obr. 34.



Obr. 32: Pouhým okem pozorovatelné důsledky zkoumaného jevu na bílém laku



Obr. 33: Pouhým okem pozorovatelné důsledky zkoumaného jevu na modrém laku



Obr. 34: *Místa s odlišným odstínem barvy v okolí drážek*

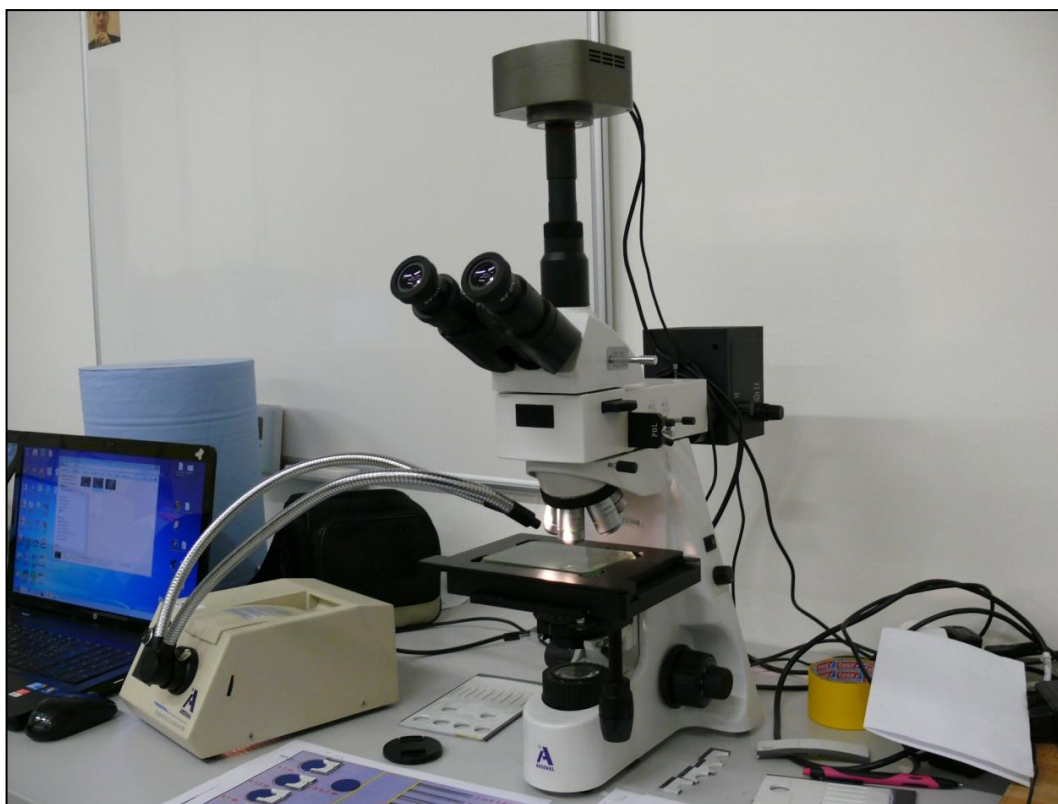
Rozdíly v barevném odstínu modrého laku jsou dány jeho proměnlivou tloušťkou. Vrstva laku o větší síle se jeví jako světlejší oproti vrstvám slabším. Tento jev je patrný z obr. 35, na kterém jsou dva totožné díly lakované stejným lakem, ale odlišnými metodami. Na levý díl byla použita elektrostatická metoda, pomocí níž dosahujeme slabších vrstev laku než klasickou pneumatickou metodou. Ta byla aplikována na díl druhý.



Obr. 35: *Porovnání dvou totožných dílů s odlišnou vrstvou laku – vlevo slabší vrstva získaná elektrostatickou metodou, vpravo silnější vrstva získaná pneumatickou metodou*

3.5 MĚŘENÍ TLOUŠŤKY LAKOVANÉ VRSTVY

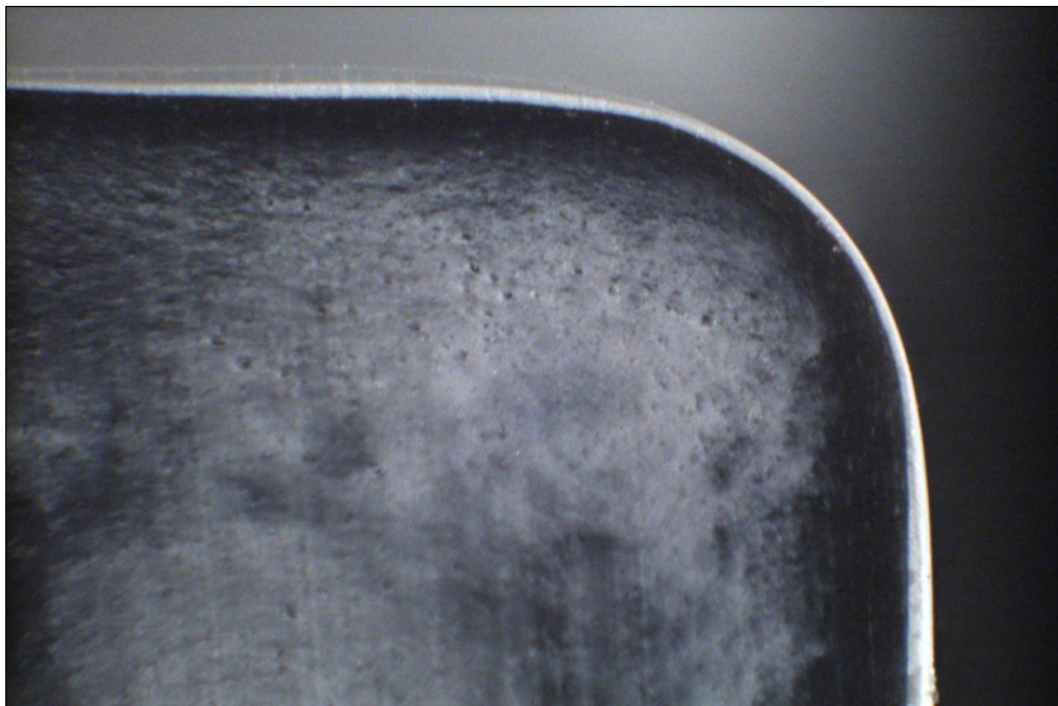
Nařezané vzorky byly zkoumány pod optickým průmyslovým mikroskopem od firmy Arsenal, který byl propojen s počítačem pomocí kamerového systému. Ten přenášel získaná data do počítače, kde byla zpracována do podoby digitální fotografie. Za pomoci speciálního softwaru, zkalibrovaného s mikroskopem, byla dále zkoumána, měřena a upravována. V našem případě byl použit software IS Capture (ISC) umožňující mimo jiné odměřování vzdáleností na fotografiích díky přepočtu jednotlivých pixelů na vzdálenost. Použitý mikroskop i s příslušenstvím a přisvětlovacím zařízením je na obr. 36.



Obr. 36: Mikroskop s kamerou propojený s pc a přisvětlovací zařízení

K pozorování zhotovených vzorků bylo použito dvou objektivů. První s 50x zvětšením a druhý s 200x zvětšením. Menším z těchto zvětšení byly pořizovány snímky určené ke zmapování profilu řezu vrstvou laku a vytipování míst s největší a nejmenší tloušťkou laku. V těchto jednotlivých místech pak byly pořizovány fotografie s 200x zvětšením, ze kterých byly přímo odměřované hodnoty tloušťky laku.

Na obr. 37 je ukázka snímku, zachycujícího vnější zaoblenou hranu jednoho z kruhových otvorů na díle, pořízeného s 50x zvětšením. Na této fotografii je dobře zřetelná rozdílná tloušťka vrstvy laku. Lze si povšimnout výrazného zeslabení této vrstvy na vrcholu zaoblené hrany, a naopak jejího zesílení v oblastech před a za hranou, kde se tvoří vyvýšeniny na laku.



Obr. 37: Řez zaoblenou hranou ($R = 1 \text{ mm}$) kruhového otvoru (50x zvětšení)

Obr. 37 znázorňuje pohled na polovinu řezu jednou z drážek zkušební dílu, na kterém lze vidět také efekt vnitřní hrany na získanou vrstvu laku. Taktéž se jedná se o fotografii pořízenou s 50x zvětšením. Vzhledem k nemožnosti zachycení celé drážky jediným snímkem je tato fotografie složena ze dvou snímků zaměřených na jednotlivé hrany. Vrstva laku na vnější hraně vykazuje stejný efekt jako u předešlého obrázku, na vnitřních hranách však došlo k efektu opačnému. Lze si povšimnout zřetelného nárůstu v síle laku na vnitřní hraně a jejímu poklesu v okolních rovných oblastech.

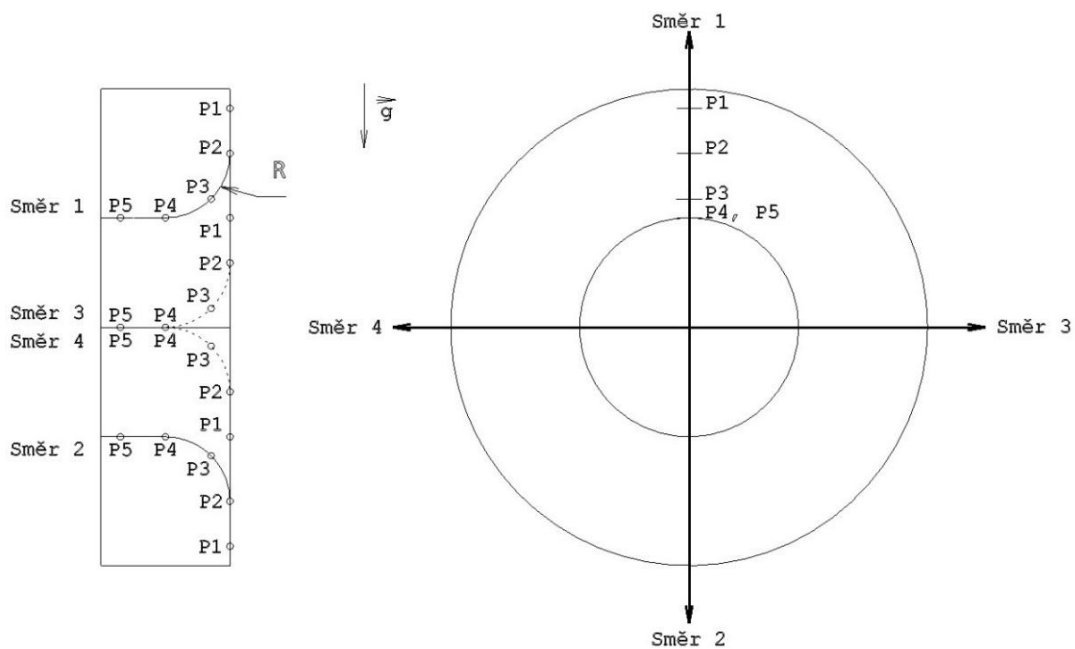


Obr. 38: Řez drážkou ($4 - 0,8 / 0,5$) se zaoblenými hranami (50x zvětšení)

Na základě snímků s 50x zvětšením byly na vnějších i vnitřních zaoblených hranách vytipovány pozice, ve kterých bylo následně provedeno měření tloušťky laku. Tyto pozice byly zasazeny do míst, ve kterých docházelo k největším odchylkám v tloušťce laku. Jejich přibližné umístění a označení je schematicky znázorněno na obrázcích 39 a 40. Umístění je pouze přibližné, protože lak netvořil vyvýšeniny a propadliny vždy v naprosto stejných místech. Měření tak probíhalo v aktuálních místech s extrémy v tloušťce laku.

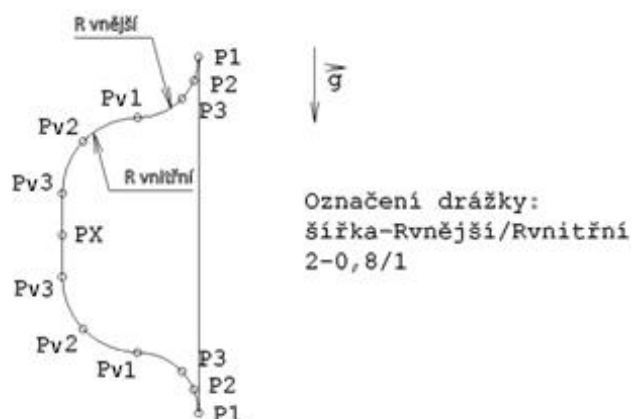
Na obr. 39 je schéma zaoblené hrany kruhového otvoru. V levé části se nachází řez skrz hranu, ve kterém jsou vyznačeny jednotlivé pozice měření P_1 až P_5 – vždy číslováno směrem do dna kruhového otvoru v desce. Měření bylo na hraně každého otvoru provedeno ve čtyřech na sebe kolmých směrech, ty jsou označeny v jeho náryse vpravo.

Pozice P_1 vždy značí místo před začátkem zaoblené hrany s největší tloušťkou laku, pozice P_3 je naopak umístěna do vrcholu hrany, kde dochází k jejímu výraznému poklesu. P_5 je obdobou P_1 , umístěna je však na vnitřní stěně otvoru. Pozice P_3 a P_4 pak udávají místa s nejmenší tloušťkou laku nacházející se mezi P_1 , P_3 a P_5 .



Obr. 39: Umístění a označení měřených míst na zkoumaných hranách otvorů v desce

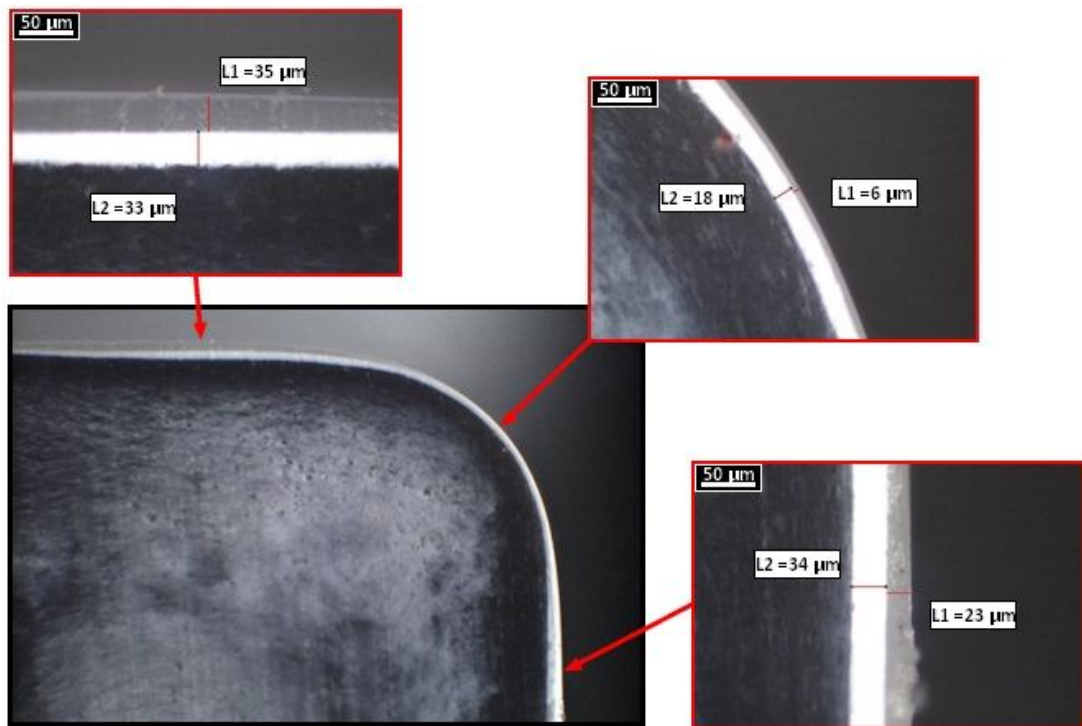
Obr. 40 schematicky znázorňuje řez vertikálně orientovanou drážkou se zaoblenými vnitřními i vnějšími hranami. I zde jsou obdobně jako u kruhového otvoru zakresleny jednotlivé pozice míst, ve kterých bylo následně provedeno měření tloušťky laku. V tomto případě jsou číslovány shora dolů. Měřená místa na vnější hraně jsou značena stejně jako v případě hran kruhových otvorů, místa na hraně vnitřní mají v označení index „v“. K těmto pozicím zde přibyla ještě pozice P_x umístěná do středu dna drážky. V tomto místě byl měřen opětovný nárůst vrstvy laku v závislosti na rostoucí šířce drážky.



Obr. 40: Umístění a označení měřených míst na zkoumaných hranách drážek v desce

3.6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ TLOUŠŤKY LAKOVANÉ VRSTVY - OTVORY

Podle postupu popsaného v předešlých kapitolách byla změřena tloušťka laku na zaoblených hranách každého kruhového otvoru na všech osmi nalakovaných dílech a hodnoty byly zaznamenány do následujících schémat a tabulek. Ukázka měření tloušťky laku na jedné z pořízených fotografií je na obrázku 41. Snímek v černém rámečku znázorňuje profil bílého laku na vnější zaoblené hraně plastového dílu při 50x zvětšení. Snímky ohraničené červeným rámečkem jsou vyhotoveny s 200x zvětšením a byly pořízeny za účelem změření síly laku v konkrétních místech. Lze si na nich povšimnout, že celková vrstva se skládá z bílého podkladu a krycího bezbarvého laku. Tloušťka zaznamenaná v tabulkách je součtem těchto dvou hodnot.



Obr. 41: Fotografie z měření tloušťky bílého laku v softwaru ISC

Z důvodu lakování dílů odlišnými metodami a za různých podmínek by nebylo možné naměřené hodnoty tloušťky laku na jednotlivých dílech mezi sebou porovnávat. Proto byla navržena vhodná metodika jejich vyhodnocení.

NÁVRH METODIKY VYHODNOCENÍ

V praxi se každý typ laku na plastový díl nanáší v jiné požadované tloušťce. Síla jeho vrstvy je ovlivněna také zvolenou lakovací metodou. Aby bylo možné porovnávat data získaná z dílů s takto odlišnou tloušťkou laku, byly hodnoty naměřené v mikrometrech přepočítány do procentuálního tvaru vztaženého k průměrné síle laku změřené na rovné ploše dílu. Ukázka takového přepočtu je znázorněna na tabulkách 4 a 5.

Tab. 4: Ukázka hodnot naměřených na hranách kruhových otvorů [μm]

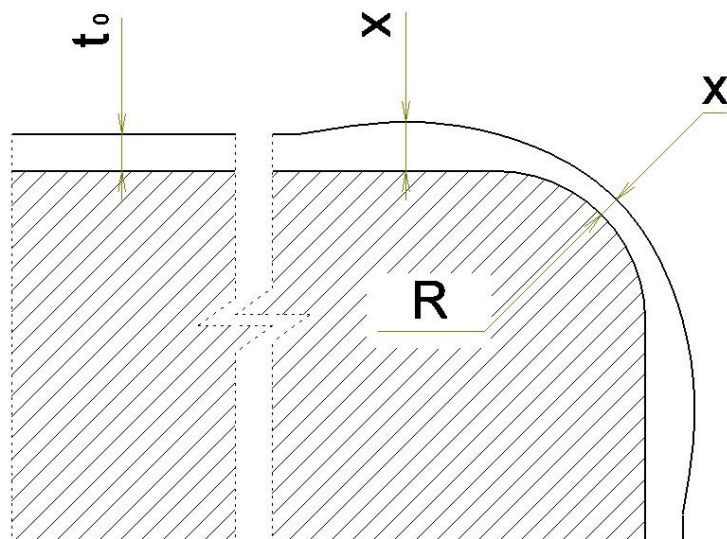
\varnothing tloušťka laku (t_0)		Poloměr zaoblení hrany					
38 μm (10/28)		2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm
Pozice	P1	40	34	34	32	34	36
	P2	22	20	20	16	4	14
	P3	36	32	34	26	14	16
	P4	24	26	26	24	12	14
	P5	16	42	30	48	48	34

V tabulce 4 jsou zaznamenány hodnoty v mikrometrech naměřené na hranách otvorů v desce jednoho z dílů. V každém sloupci lze vidět pět hodnot, udávajících tloušťku laku, naměřených v pěti různých pozicích. Každý sloupec pak náleží hraně o jiném poloměru zaoblení. V levém horním rohu tabulky si lze povšimnout hodnoty udávající průměrnou sílu laku na rovné ploše, ta se skládá z vrstvy barevného a krycího transparentního laku.

Přepočet naměřených hodnot na procentuální, vztažené k průměrné tloušťce, je dán vzorcem (2).

$$\text{procentuální hodnota} = \frac{x}{t_0} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Kde x je tloušťka laku změřená v daném místě změny tloušťky laku a t_0 je průměrná tloušťka laku na rovné ploše dílu (viz obr. 42). V tabulce 5 se pak nachází přepočítané hodnoty z tabulky 4.



Obr. 42: Schéma zaoblené hrany s vrstvou laku

R – poloměr zaoblení hrany

x – tloušťka laku v místě změny jeho tloušťky

t_0 – průměrná tloušťka laku na rovné ploše dílu

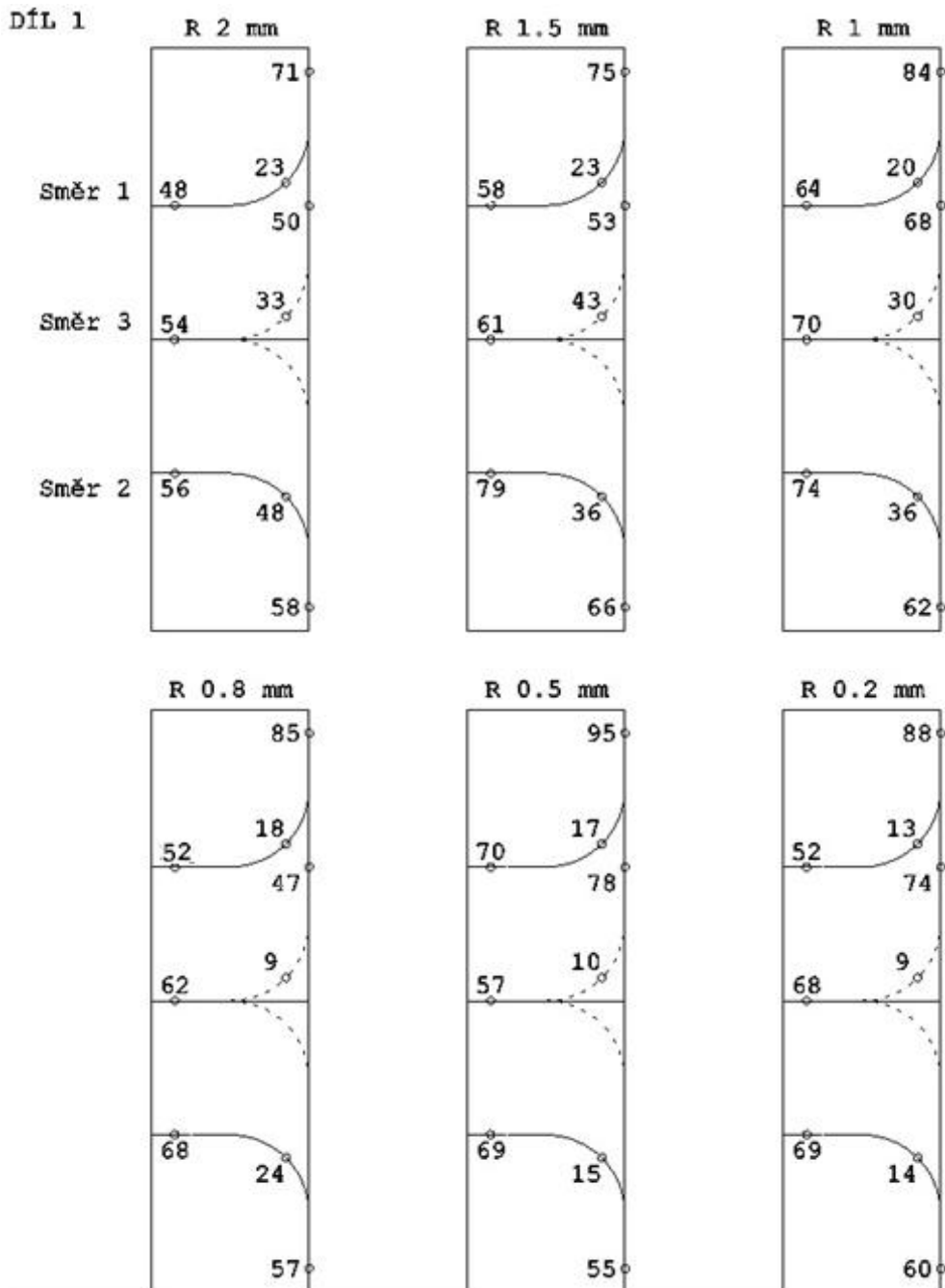
Tab. 5: Ukázka naměřených hodnot v procentuálním tvaru

Ø tloušťka laku (t_0)		Poloměr zaoblení hrany					
		2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm
Pozice	P1	105%	89%	89%	84%	89%	95%
	P2	58%	53%	53%	42%	21%	37%
	P3	95%	84%	89%	68%	37%	42%
	P4	63%	68%	68%	63%	32%	37%
	P5	42%	111%	79%	126%	126%	89%

Hodnoty v tomto tvaru jsou porovnatelné s hodnotami naměřenými na ostatních dílech, a to i za skutečnosti, že požadované vrstvy laku na těchto dílech nejsou stejně silné.

3.6.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 1 – KRUHOVÉ OTVORY




Díl č. 1 byl lakován bílým lakem ve směru kolmém na směr drážek. Bylo k tomu použito kombinace pneumatické a elektrostatické metody, přičemž otvory v destičce byly na zadní straně vzorku zaslepeny. Měření na prvních dvou dílech bylo provedeno ve směrech 1, 2 a 3, na pozicích P₁, P₃, P₅ – což jsou hlavní sledované pozice. Naměřené hodnoty jsou schematicky znázorněny na obr. 43.



Obr. 43: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 1 – otvory) [μm]

Tabulka č. 6 vyobrazuje hodnoty udávající tloušťku laku na zkušebním dílu č. 1 v procentuálním tvaru vztaženém k průměrné síle laku na rovné ploše.

Tab. 6: Hodnoty naměřené na díle č. 1 – kruhové otvory

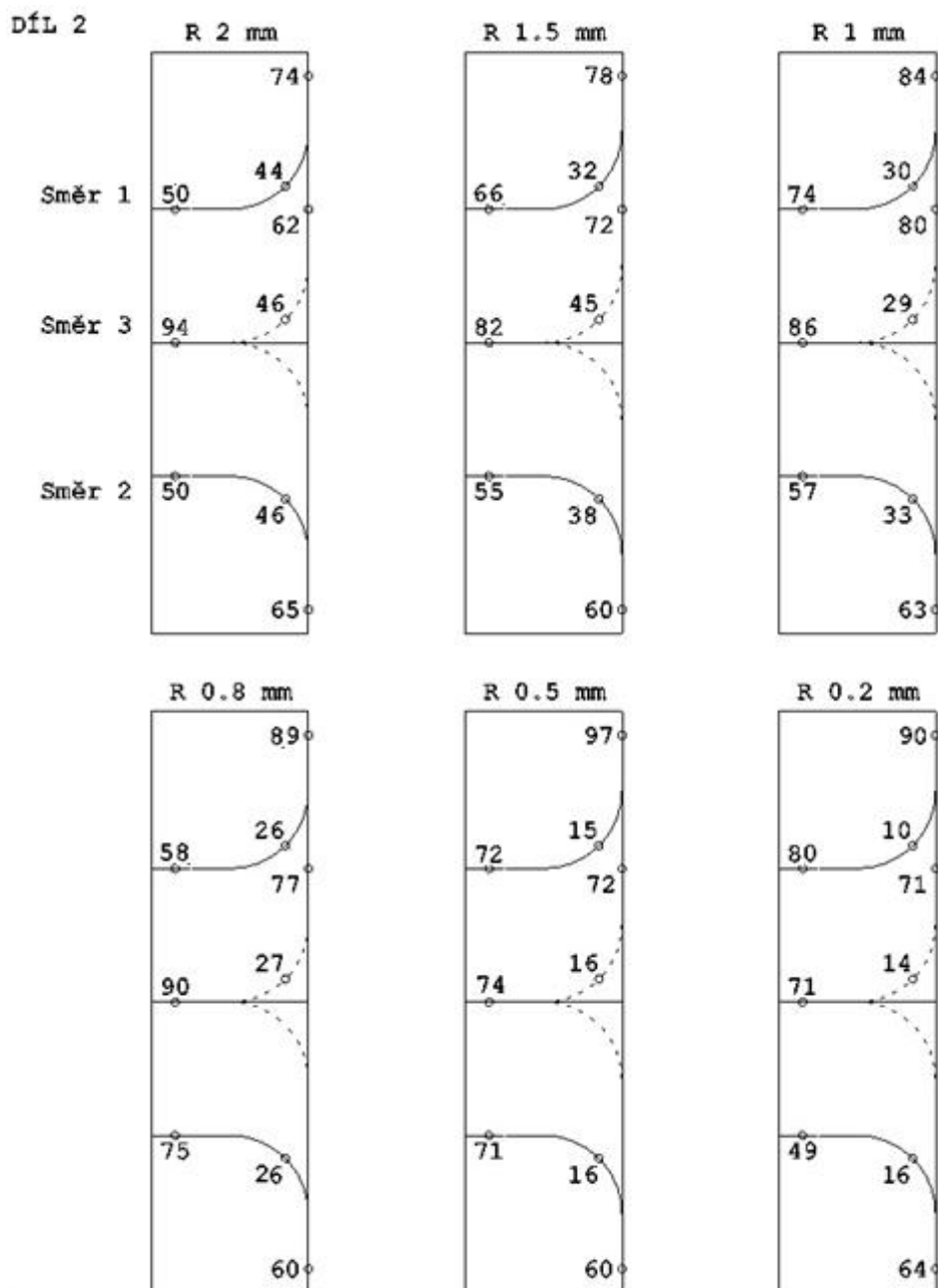
Kruhové otvory v desce - díl č. 1							
Bílý lak / esta + pneu / neprůchozí otvory / tloušťka laku: 51 μ m (25/26)							
Směr 1							
	poloměr zaoblené hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	139%	147%	165%	167%	186%	173%
	P ₃	45%	45%	39%	35%	33%	25%
	P ₅	94%	114%	125%	102%	137%	102%
Směr 2							
	poloměr zaoblené hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	114%	129%	122%	112%	108%	118%
	P ₃	94%	71%	71%	47%	29%	27%
	P ₅	110%	155%	145%	133%	135%	135%
Směr 3							
	poloměr zaoblené hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	98%	104%	133%	92%	153%	145%
	P ₃	65%	84%	59%	18%	20%	18%
	P ₅	106%	120%	137%	122%	112%	133%

První dva řádky tabulky shrnují všechny důležité informace o zkoumaném dílu, jako je jeho pořadové číslo, lak, který byl použit na jeho lakování, informaci o zvolené lakovací metodě, průchodnosti otvorů a hodnotu průměrné tloušťky laku změřené na rovné ploše dílu. Naměřené hodnoty jsou rozděleny podle jednotlivých směrů na otvoru, ze kterých byly získány. Tyto směry jsou ještě dodatečně znázorněny miniaturou v příslušném rohu. Jednotlivé řádky pak náleží daným pozicím měření a sloupce rádiusům zaoblení hran.

V případě prvních dvou dílů (lakovaných bílou barvou) nebyla zkoumána tloušťka laku ve 4. směru, ani na pozicích P₂ a P₄. Tyto pozice a směr byly využity až k detailnějšímu průzkumu vrstvy laku na dílech lakovaných modrou metalickou barvou.

3.6.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 2




Druhý díl byl lakován stejným typem laku jako v případě prvního dílu. Změněna byla pouze jeho orientace během procesu. Směr drážek byl v tomto případě shodný se směrem pohybu lakovací trysky, tj. vodorovně se zemí. K lakování bylo opět použito kombinace pneumatické a elektrostatické metody, přičemž otvory v destičce byly znovu zaslepeny. Měření bylo provedeno v totožných pozicích a směrech jako v případě prvního dílu. Naměřené hodnoty jsou zakresleny ve schématech na obr. 44.



Obr. 44: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 2 – otvory) [μm]

Tabulka č. 7 obsahuje, stejně jako v případě prvního dílu, naměřené hodnoty udávající tloušťku laku přepočítané do procentuálního tvaru vztaženého k průměrné síle laku na rovné ploše. Provedení tabulek u všech zkoumaných dílů je totožné.

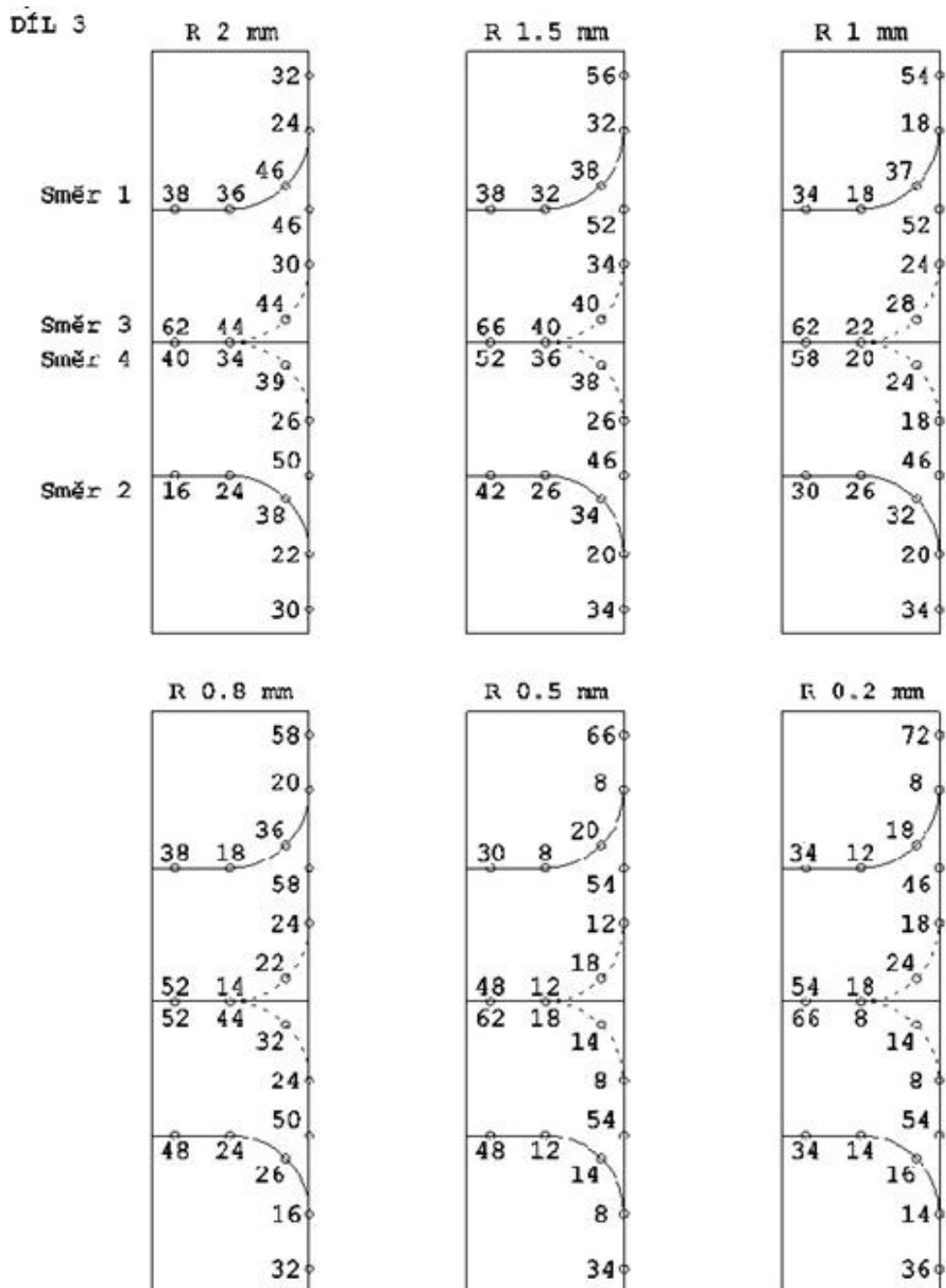
Tab. 7: Hodnoty naměřené na díle č. 2 – kruhové otvory

Kruhové otvory v desce - díl č. 2							
Bílý lak / esta + pneu / neprůchozí otvory / tloušťka laku: 53 μ m (26/27)							
Směr 1							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	140%	147%	158%	168%	183%	162%
	P ₃	83%	60%	57%	49%	28%	19%
	P ₅	94%	125%	140%	109%	136%	151%
Směr 2							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	123%	113%	119%	113%	113%	121%
	P ₃	87%	72%	62%	49%	30%	30%
	P ₅	94%	104%	108%	142%	134%	92%
Směr 3							
	poloměr zaoblené hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	117%	136%	151%	145%	136%	134%
	P ₃	87%	85%	55%	51%	30%	26%
	P ₅	177%	155%	162%	170%	140%	134%

Pozn.: V tabulkách hodnot naměřených na hranách kruhových otvorů není udávána orientace příslušného dílu během lakovacího procesu. Důvodem je její irelevantnost. Směry měření jsou označeny vůči zemi, tudíž natočení dílu nehraje v případě kruhových otvorů žádnou roli.





3.6.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 3

Díl č. 3 byl nalakován modrým metalickým lakem podélně ve směru drážek. Bylo k tomu použito kombinace pneumatické a elektrostatické metody, přičemž otvory v destičce byly na zadní straně vzorku zaslepeny. Měření zde bylo provedeno ve všech čtyřech směrech a na všech pěti pozicích (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5) z důvodu detailnějšího zaměření se na průběh změn tloušťky vrstvy laku.



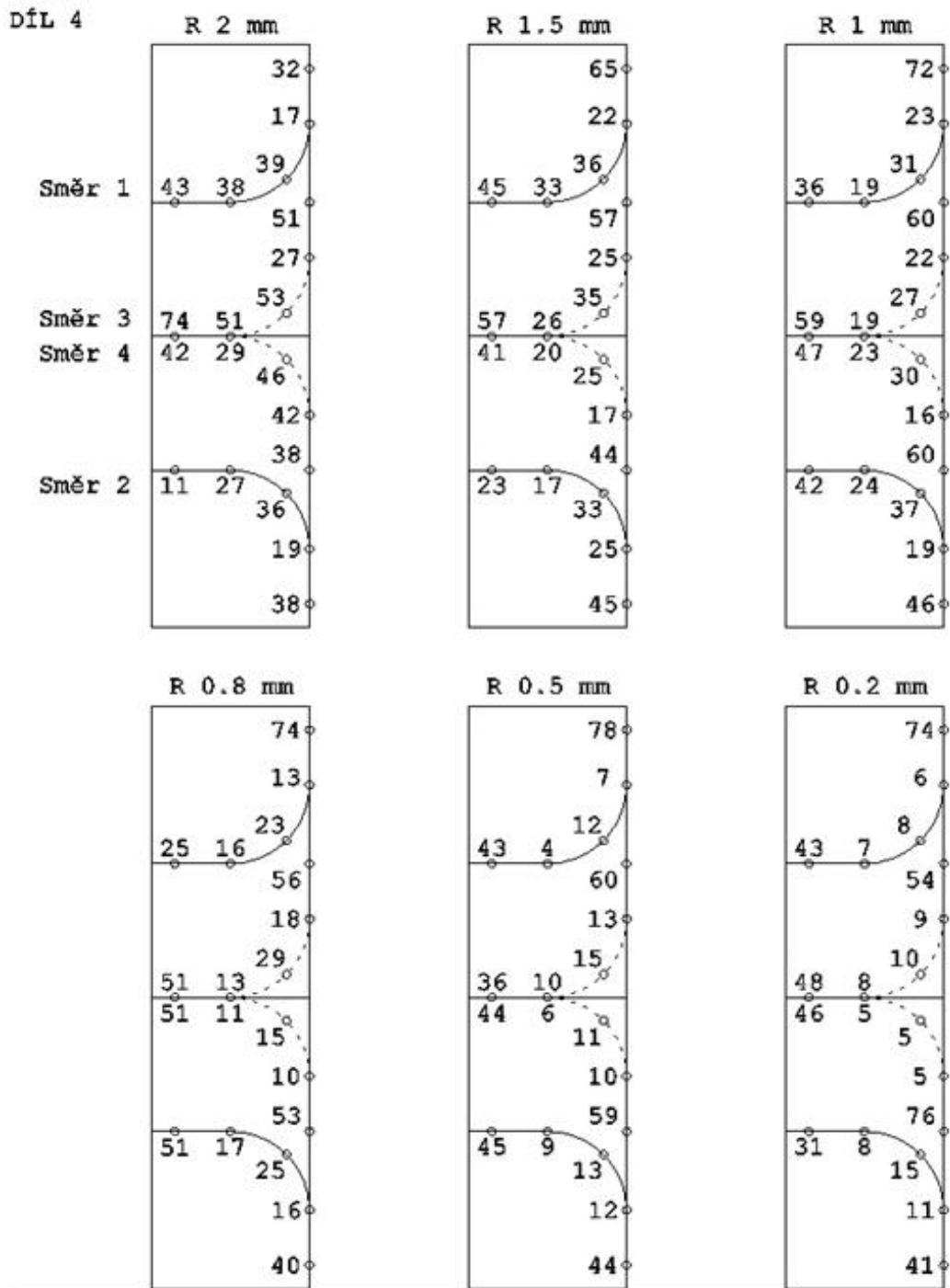
Obr. 45: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 3 – otvory) [μm]

Tab. 8: Hodnoty naměřené na díle č. 3 – kruhové otvory

Kruhové otvory v desce - díl č. 3							
Modrý lak / esta + pneu / neprůchozí otvory / tloušťka laku: 45 μm (18/27)							
Směr 1							
	poloměr zaoblení hrany						
		2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm
pozice	P ₁	71%	124%	120%	129%	147%	160%
	P ₂	53%	71%	40%	44%	18%	18%
	P ₃	102%	84%	82%	80%	44%	40%
	P ₄	80%	71%	40%	40%	18%	27%
	P ₅	84%	84%	76%	84%	67%	76%
Směr 2							
	poloměr zaoblení hrany						
		2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm
pozice	P ₁	139%	76%	76%	71%	76%	80%
	P ₂	49%	44%	44%	36%	18%	31%
	P ₃	84%	76%	71%	58%	31%	36%
	P ₄	53%	58%	58%	53%	27%	31%
	P ₅	36%	93%	67%	107%	107%	76%
Směr 3							
	poloměr zaoblení hrany						
		2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm
pozice	P ₁	102%	116%	116%	129%	120%	102%
	P ₂	67%	76%	53%	53%	27%	40%
	P ₃	98%	89%	62%	49%	40%	53%
	P ₄	98%	89%	49%	31%	27%	40%
	P ₅	138%	147%	138%	116%	107%	120%
Směr 4							
	poloměr zaoblení hrany						
		2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm
pozice	P ₁	111%	102%	102%	111%	120%	120%
	P ₂	58%	58%	40%	53%	18%	18%
	P ₃	87%	84%	53%	71%	31%	31%
	P ₄	76%	80%	44%	98%	40%	22%
	P ₅	89%	116%	129%	116%	138%	147%





3.6.4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 4

Díl č. 4 byl lakován modrým metalickým lakem ve směru drážek. Bylo k tomu použito samotné pneumatické metody, přičemž otvory v destičce byly na zadní straně vzorku zaslepeny. Měření zde bylo provedeno ve všech čtyřech směrech a všech pěti pozicích (P₁, P₂, P₃, P₄, P₅).



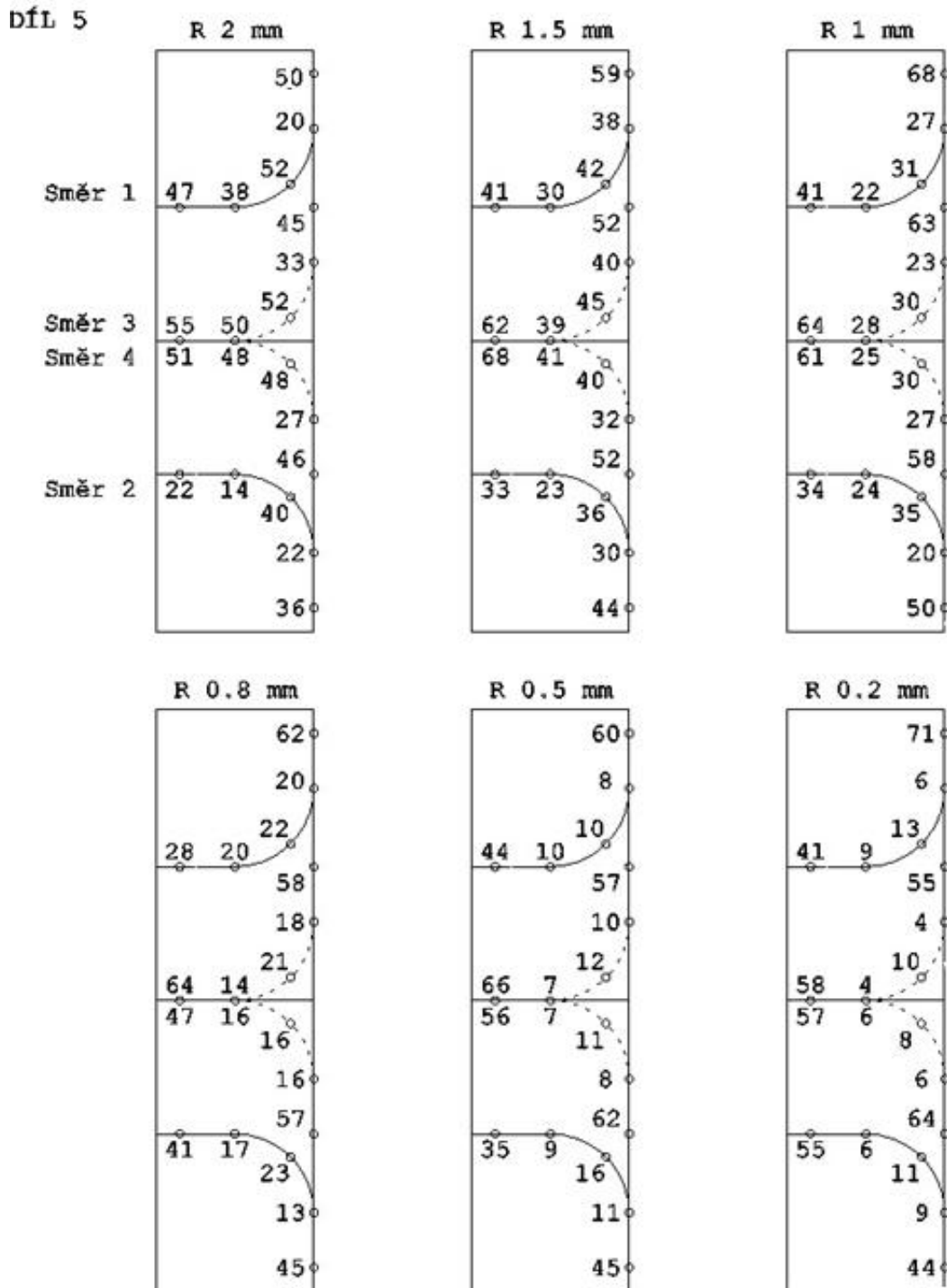
Obr. 46: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 4 – otvory) [μm]

Tab. 9: Hodnoty naměřené na díle č. 4 – kruhové otvory

Kruhové otvory v desce - díl č. 4							
Modrý lak / pneu / neprůchozí otvory / tloušťka laku: 41 μm (15/26)							
Směr 1							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	78%	159%	176%	180%	190%	180%
	P ₂	41%	54%	56%	32%	17%	15%
	P ₃	95%	88%	76%	56%	29%	20%
	P ₄	93%	80%	46%	39%	10%	17%
	P ₅	105%	110%	88%	61%	105%	105%
Směr 2							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	93%	110%	112%	98%	107%	100%
	P ₂	46%	61%	46%	39%	29%	27%
	P ₃	88%	80%	90%	61%	32%	37%
	P ₄	66%	41%	59%	41%	22%	20%
	P ₅	27%	56%	102%	124%	110%	76%
Směr 3							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	124%	139%	146%	137%	146%	132%
	P ₂	66%	61%	54%	44%	32%	22%
	P ₃	129%	85%	66%	63%	37%	24%
	P ₄	124%	63%	46%	32%	24%	20%
	P ₅	180%	139%	144%	124%	88%	117%
Směr 4							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	93%	107%	146%	129%	144%	185%
	P ₂	102%	41%	39%	24%	24%	12%
	P ₃	112%	61%	73%	37%	27%	12%
	P ₄	71%	49%	56%	27%	15%	12%
	P ₅	102%	100%	115%	124%	107%	112%





3.6.5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 5

Díl č. 5 byl lakován modrým metalickým lakem ve směru drážek. Bylo k tomu použito samotné elektrostatické metody, přičemž otvory v destičce byly na zadní straně vzorku zaslepeny. Měření zde bylo provedeno ve všech čtyřech směrech a všech pěti pozicích (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5).



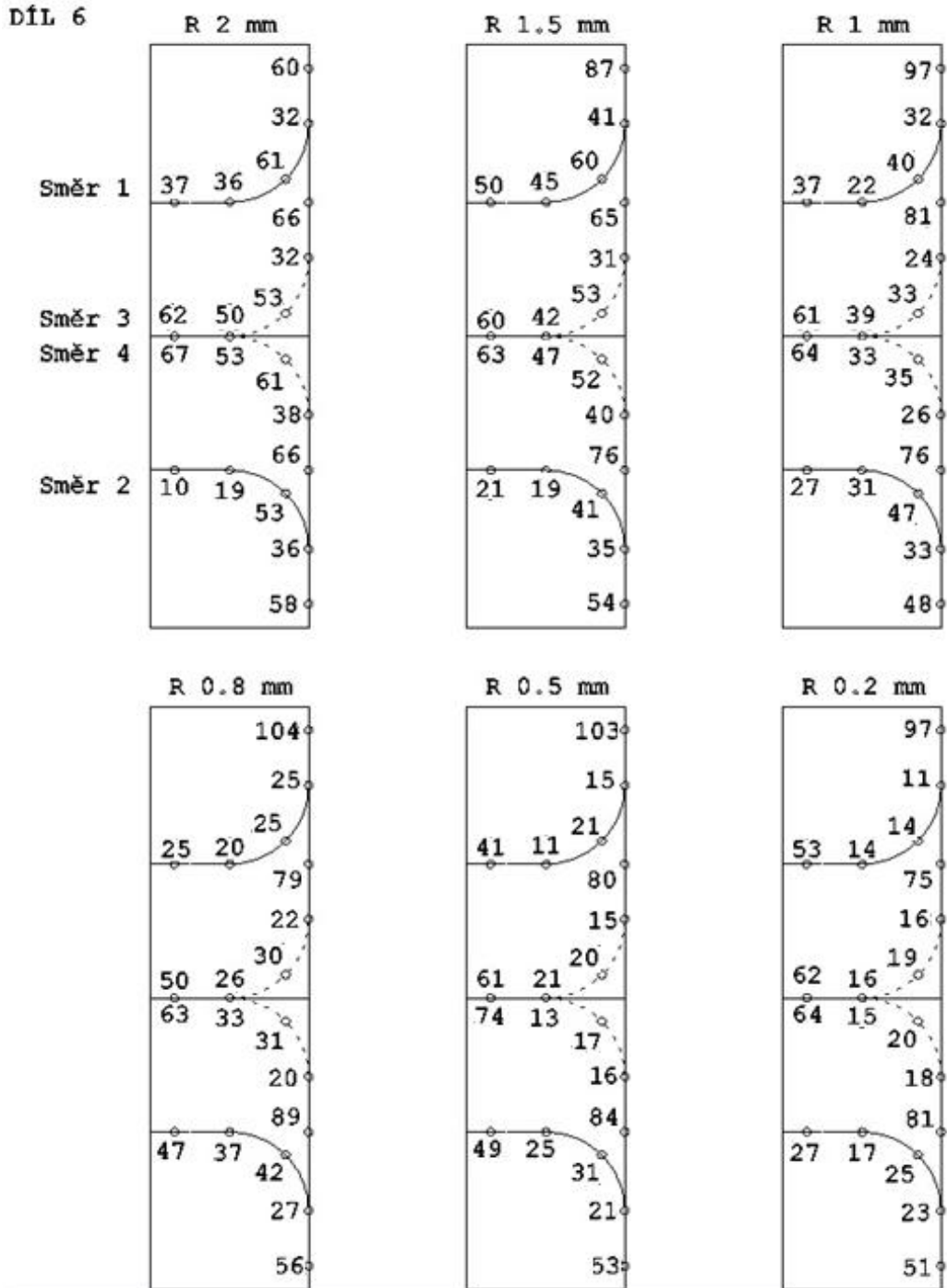
Obr. 47: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 5 – otvory) [μm]

Tab. 10: Hodnoty naměřené na díle č. 5 – kruhové otvory

Kruhové otvory v desce - díl č. 5							
<i>Modrý lak / esta / neprůchozí otvory / tloušťka laku: 38 μm (15/23)</i>							
Směr 1							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	132%	155%	179%	163%	158%	187%
	P ₂	53%	100%	71%	53%	21%	16%
	P ₃	137%	111%	82%	58%	26%	34%
	P ₄	100%	79%	58%	53%	26%	24%
	P ₅	124%	108%	108%	74%	116%	108%
Směr 2							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	95%	116%	132%	118%	118%	116%
	P ₂	58%	79%	53%	34%	29%	24%
	P ₃	105%	95%	92%	61%	42%	29%
	P ₄	37%	61%	63%	45%	24%	16%
	P ₅	58%	87%	89%	108%	92%	145%
Směr 3							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	118%	137%	166%	153%	150%	145%
	P ₂	87%	105%	61%	47%	26%	11%
	P ₃	137%	118%	79%	55%	32%	26%
	P ₄	132%	103%	74%	37%	18%	11%
	P ₅	145%	163%	168%	168%	174%	153%
Směr 4							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	121%	137%	153%	150%	163%	168%
	P ₂	71%	84%	71%	42%	21%	16%
	P ₃	126%	105%	79%	42%	29%	21%
	P ₄	126%	108%	66%	42%	18%	16%
	P ₅	134%	179%	161%	124%	147%	150%





3.6.6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 6

Díl č. 6 byl lakován modrým metalickým lakem ve směru drážek. Bylo k tomu použito kombinace pneumatické a elektrostatické metody, přičemž otvory v destičce byly průchozí. Měření zde bylo provedeno ve všech čtyřech směrech a všech pěti pozicích (P₁, P₂, P₃, P₄, P₅).



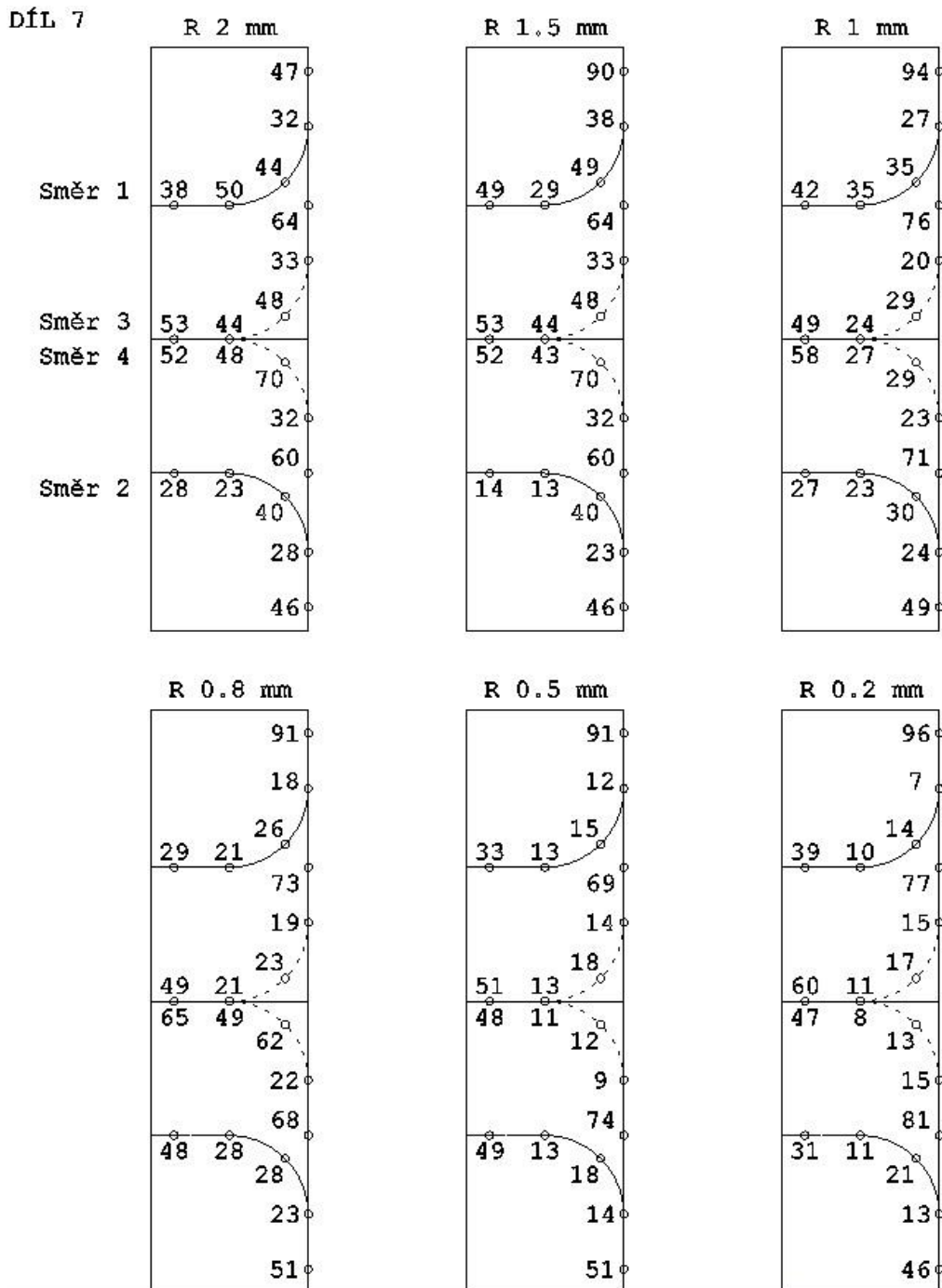
Obr. 48: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 6 – otvory) [μm]

Tab. 11: Hodnoty naměřené na díle č. 6 – kruhové otvory

Kruhové otvory v desce - díl č. 6							
<i>Modrý lak / esta + pneu / průchozí otvory / tloušťka laku: 47 μm (17/30)</i>							
Směr 1							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	128%	185%	206%	221%	219%	206%
	P ₂	68%	87%	68%	53%	32%	23%
	P ₃	130%	128%	85%	53%	45%	30%
	P ₄	77%	96%	47%	43%	23%	30%
	P ₅	79%	106%	79%	53%	87%	113%
Směr 2							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	123%	115%	102%	119%	113%	109%
	P ₂	77%	74%	70%	57%	45%	49%
	P ₃	113%	87%	100%	89%	66%	53%
	P ₄	40%	40%	66%	79%	53%	36%
	P ₅	21%	45%	57%	100%	104%	57%
Směr 3							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	140%	138%	172%	168%	170%	160%
	P ₂	68%	66%	51%	47%	32%	34%
	P ₃	113%	113%	70%	64%	43%	40%
	P ₄	106%	89%	83%	55%	45%	34%
	P ₅	132%	128%	130%	106%	130%	132%
Směr 4							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	140%	162%	162%	189%	179%	172%
	P ₂	81%	85%	55%	43%	34%	38%
	P ₃	130%	111%	74%	66%	36%	43%
	P ₄	113%	100%	70%	70%	28%	32%
	P ₅	143%	134%	136%	134%	157%	136%





3.6.7 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 7

Díl č. 7 byl lakován modrým metalickým lakem ve směru drážek. Bylo k tomu použito samotné pneumatické metody, přičemž otvory v destičce byly průchozí. Měření zde bylo provedeno ve všech čtyřech směrech a všech pěti pozicích (P₁, P₂, P₃, P₄, P₅).



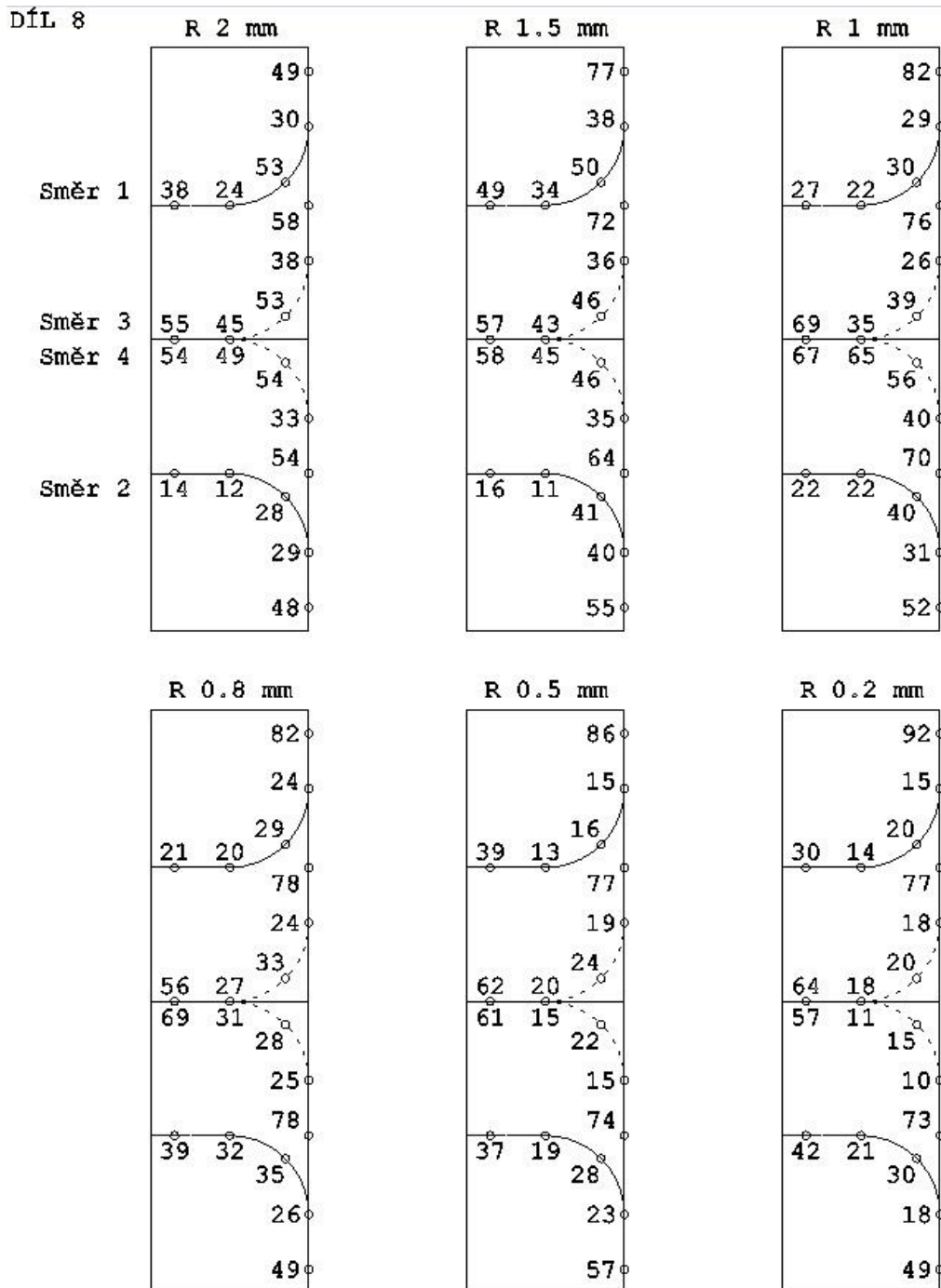
Obr. 49: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 7 – otvory) [μm]

Tab. 12: Hodnoty naměřené na díle č. 7 – kruhové otvory

Kruhové otvory v desce - díl č. 7							
Modrý lak / pneu/ průchozí otvory / tloušťka laku: 43 μm (16/27)							
Směr 1							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P1	109%	209%	219%	212%	212%	223%
	P2	74%	88%	63%	42%	28%	16%
	P3	102%	114%	81%	60%	35%	33%
	P4	116%	67%	81%	49%	30%	23%
	P5	88%	114%	98%	67%	77%	91%
Směr 2							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	107%	107%	114%	119%	119%	107%
	P ₂	65%	53%	56%	53%	33%	30%
	P ₃	93%	93%	70%	65%	42%	49%
	P ₄	53%	30%	53%	65%	30%	26%
	P ₅	65%	33%	63%	112%	114%	72%
Směr 3							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	149%	149%	177%	170%	160%	179%
	P ₂	77%	77%	47%	44%	33%	35%
	P ₃	112%	112%	67%	53%	42%	40%
	P ₄	102%	102%	56%	49%	30%	26%
	P ₅	123%	123%	114%	114%	119%	160%
Směr 4							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	140%	140%	165%	158%	172%	188%
	P ₂	74%	74%	53%	51%	21%	35%
	P ₃	163%	163%	65%	144%	28%	30%
	P ₄	112%	100%	63%	112%	26%	19%
	P ₅	121%	121%	135%	151%	112%	109%





3.6.8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 8

Díl č. 8 byl lakován modrým metalickým lakem ve směru drážek. Bylo k tomu použito samotné elektrostatické metody, přičemž otvory v destičce byly průchozí. Měření zde bylo provedeno ve všech čtyřech směrech a všech pěti pozicích (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5).



Obr. 50: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 8 – otvory) [μm]

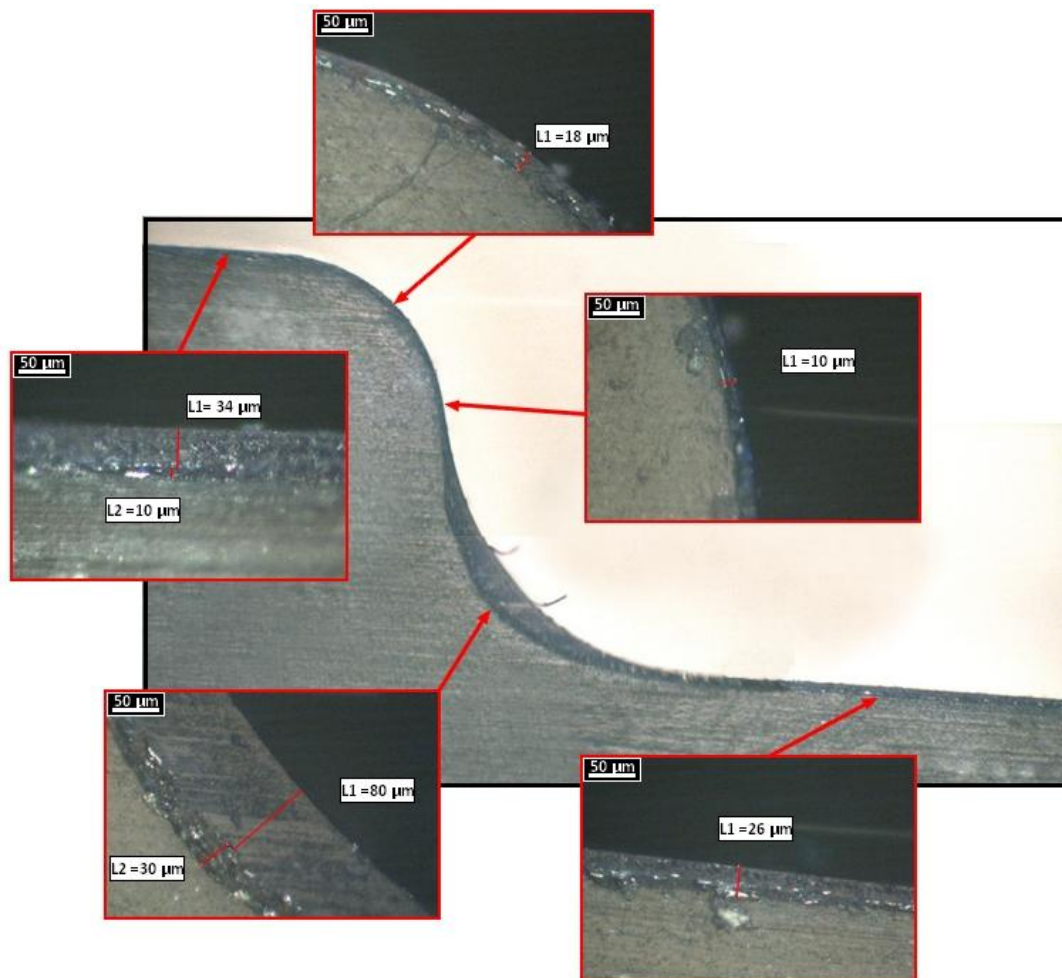
Tab. 13: Hodnoty naměřené na díle č. 8 – kruhové otvory

Kruhové otvory v desce - díl č. 8							
Modrý lak / esta / průchozí otvory / tloušťka laku: 40 μm (13/27)							
Směr 1							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P1	123%	193%	205%	205%	215%	230%
	P2	75%	95%	73%	60%	38%	38%
	P3	133%	125%	75%	73%	40%	50%
	P4	60%	85%	55%	50%	33%	35%
	P5	95%	123%	68%	53%	98%	75%
Směr 2							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	120%	138%	130%	123%	143%	123%
	P ₂	73%	100%	78%	65%	58%	45%
	P ₃	70%	103%	100%	88%	70%	75%
	P ₄	30%	28%	55%	80%	48%	53%
	P ₅	35%	40%	55%	98%	93%	105%
Směr 3							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	145%	180%	190%	195%	185%	193%
	P ₂	95%	90%	65%	60%	38%	45%
	P ₃	133%	115%	98%	83%	55%	50%
	P ₄	113%	108%	88%	68%	38%	45%
	P ₅	138%	143%	173%	140%	153%	160%
Směr 4							
	poloměr zaoblení hrany						
	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,8 mm	0,5 mm	0,2 mm	
pozice	P ₁	135%	160%	175%	195%	185%	183%
	P ₂	83%	88%	100%	63%	38%	25%
	P ₃	135%	115%	140%	70%	55%	38%
	P ₄	123%	113%	163%	78%	38%	28%
	P ₅	135%	145%	168%	173%	153%	143%

3.7 VÝSLEDKY MĚŘENÍ TLOUŠŤKY LAKOVANÉ VRSTVY – DRÁŽKY

Podobným způsobem jako v případě hran na kruhových otvorech v lakovaných destičkách byla změřena tloušťka laku i ve vytipovaných pozicích na hranách každé drážky. Vrstva laku byla měřena ve třech místech (P_1 , P_2 , P_3) na každé hraně s vnějším zaoblením, dále pak ve třech místech na hraně s vnitřním zaoblením (P_{v1} , P_{v2} , P_{v3}) a oproti otvorům pak navíc ještě uprostřed drážky v pozici P_x (viz obr. 40).

Na obr. 51 je v černém rámečku znázorněn pohled na řez jednou z drážek při 50x zvětšení. Jedná se o díl lakovaný modrou metalízou. Snímky červeně ohraničené byly pořízeny s 200x zvětšením a byly z nich odměřovány konkrétní hodnoty tloušťky laku. V některých případech nebylo z důvodu horší propustnosti světla než u bílého laku možné odlišit rozhraní mezi barevnou a transparentní vrstvou laku. Proto byly jejich tloušťky změřeny společně.

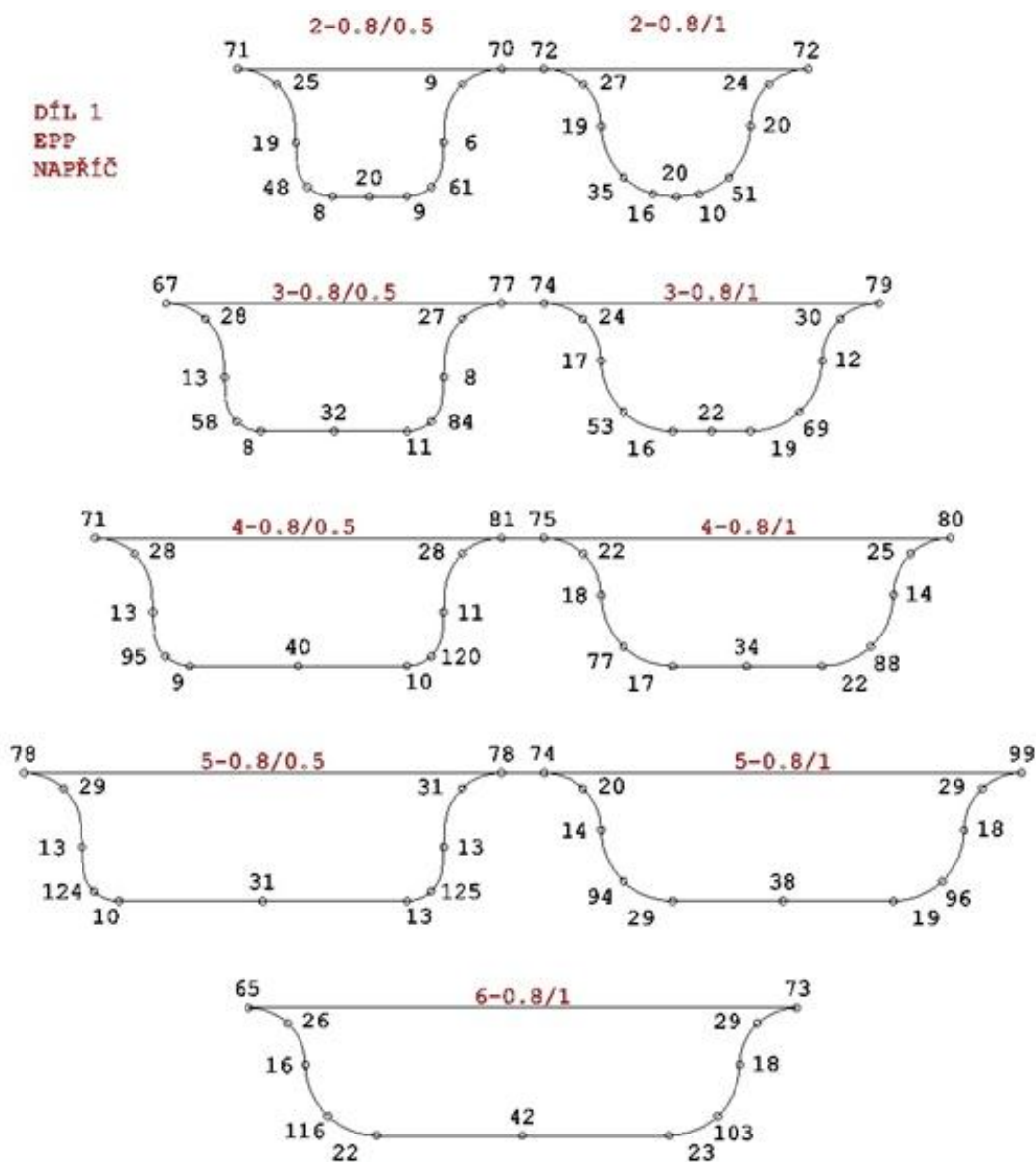


Obr. 51: Fotografie z měření tloušťky modrého metalického laku v softwaru ISC

Podle schématu byla změřena tloušťka laku na hranách drážek dílů č. 1 a 2, lakovaných klasickým bílým lakem, ale rozdílně orientovaných během lakování. Dále pak na dílech 3, 4 a 5 lakovaných modrým metalickým lakem, ale rozdílnými metodami.


Naměřené hodnoty byly opět zaznamenány do přehledných schémat (obrázky 52 až 56) a následně přepočítány do procentuálního tvaru vztaženého k průměrné tloušťce laku na rovné ploše a zapsány do tabulek 14 až 18.

3.7.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 1



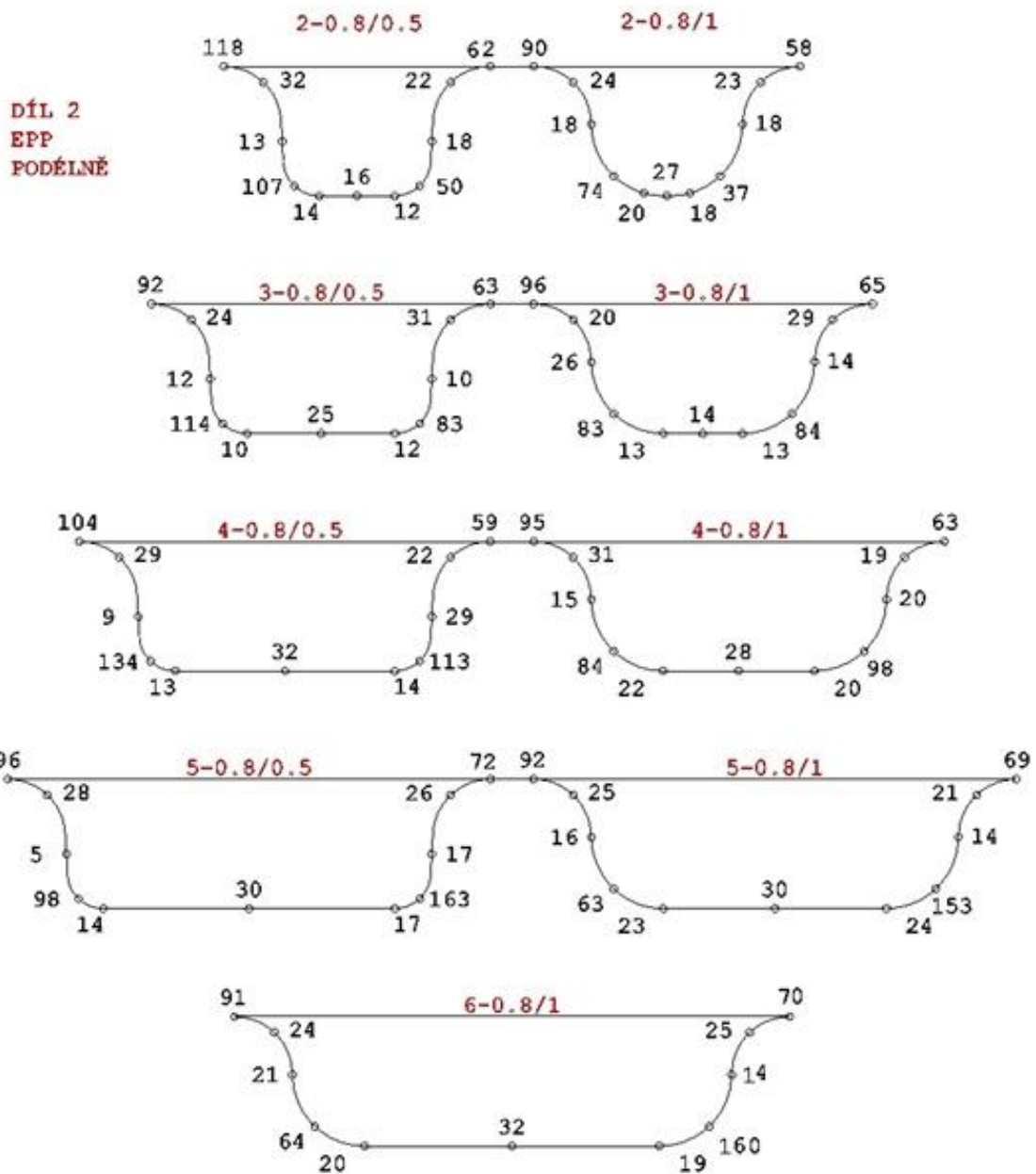
Obr. 52: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 1 – drážky) [μm]

Tab. 14: Hodnoty naměřené na díle č. 1 - drážky

Drážky v desce - díl č. 1										
Bílý lak / esta + pneu / orientace svislá / tloušťka laku: 51 μm (25/26)										
		Šířka drážky a poloměry zaoblení hran [mm] (označení: s – R _{vnější} / R _{vnitřní})								
		2- 0,8/0,5	2- 0,8/1	3- 0,8/0,5	3- 0,8/1	4- 0,8/0,5	4- 0,8/1	5- 0,8/0,5	5- 0,8/1	6- 0,8/1
Pozice měření	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₁	139%	141%	131%	145%	139%	147%	153%	145%	127%
	P ₃	49%	53%	55%	47%	55%	43%	57%	39%	51%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v1}	37%	37%	25%	33%	25%	35%	25%	27%	31%
	P _{v2}	94%	69%	114%	104%	186%	151%	243%	184%	227%
	P _{v3}	16%	31%	16%	31%	18%	33%	20%	57%	43%
	s [mm]	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	P _x	39%	39%	63%	43%	78%	67%	61%	75%	82%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v3}	18%	20%	22%	37%	20%	43%	25%	37%	45%
	P _{v2}	120%	100%	165%	135%	235%	173%	245%	188%	202%
	P _{v1}	12%	39%	16%	24%	22%	27%	25%	35%	35%
	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₃	18%	47%	53%	59%	55%	49%	61%	57%	57%
P ₁	137%	141%	151%	155%	159%	157%	153%	151%	143%	


Tabulka č. 14 je obdobou tabulek zaznamenávajících hodnoty změřené na hranách otvorů. První dva řádky tabulky opět shrnují důležité informace o zkoumaném díle. Orientace dílu a typ laku jsou připomenuty jeho miniaturou v levém horním rohu. V jednotlivých sloupcích jsou pak zaznamenány hodnoty naměřené ve všech drážkách, přičemž jejich označení je vždy nad daným sloupcem. Z důvodu výskytu dvojího typu hran na drážce jsou sloupce ještě rozděleny podle jejich velikosti a typu.

3.7.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 2

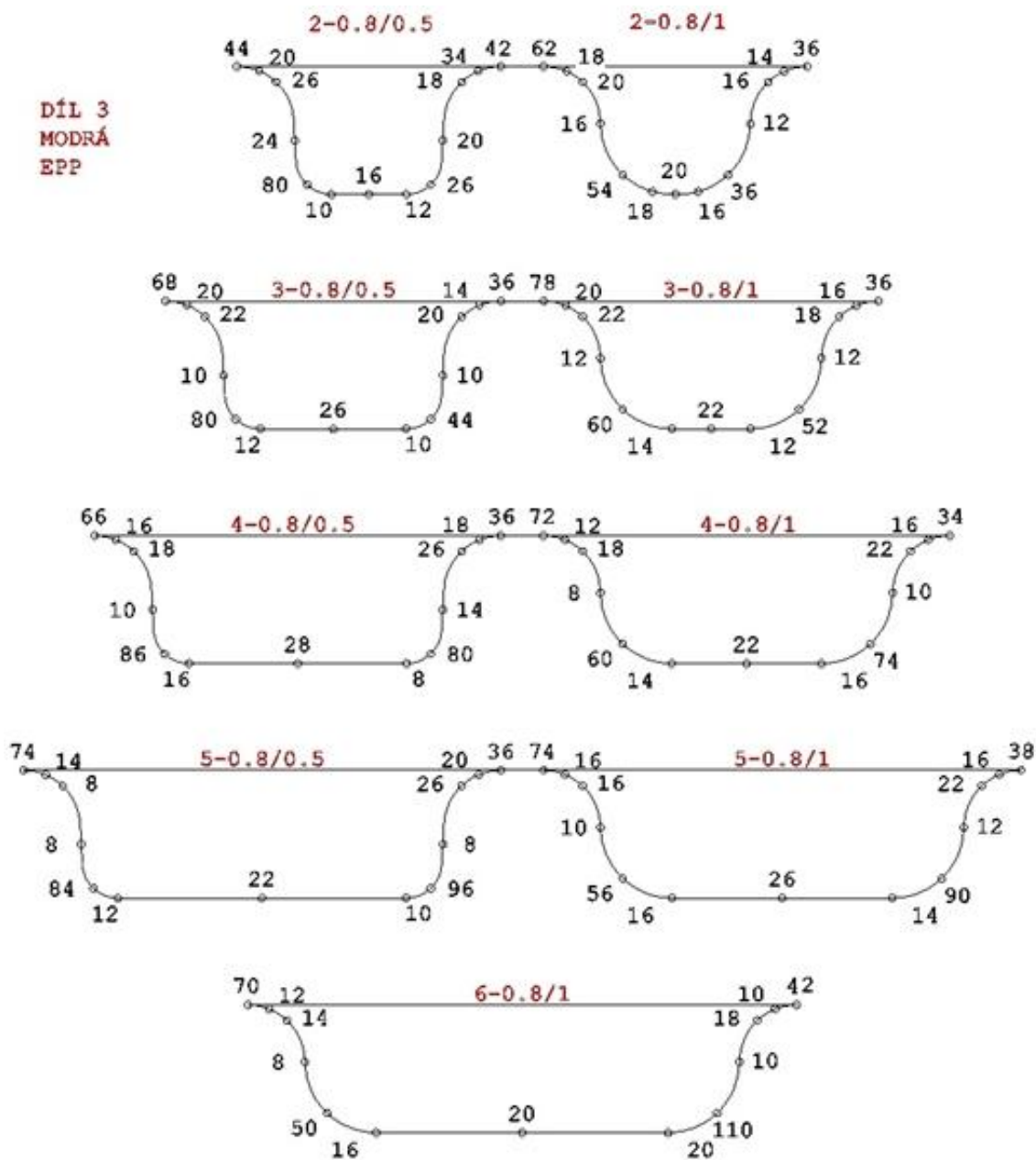


Obr. 53: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 2 – drážky) [μm]

Tab. 15: Hodnoty naměřené na díle č. 2 - drážky


Drážky v desce - díl č. 2										
Bílý lak / esta + pneu / orientace podélná / tloušťka laku: 53 μm (26/27)										
		Šířka drážky a poloměry zaoblení hran [mm] (označení: s – R _{vnější} / R _{vnitřní})								
		2- 0,8/0,5	2- 0,8/1	3- 0,8/0,5	3- 0,8/1	4- 0,8/0,5	4- 0,8/1	5- 0,8/0,5	5- 0,8/1	6- 0,8/1
Pozice měření	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₁	223%	170%	174%	181%	196%	179%	181%	174%	172%
	P ₃	60%	45%	45%	38%	55%	58%	53%	47%	45%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v1}	25%	34%	23%	49%	17%	28%	9%	30%	40%
	P _{v2}	202%	140%	215%	157%	253%	158%	185%	119%	121%
	P _{v3}	26%	38%	19%	25%	25%	42%	26%	43%	38%
	s [mm]	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	P _x	30%	51%	47%	26%	60%	53%	57%	57%	60%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v3}	23%	34%	23%	25%	26%	38%	32%	45%	36%
	P _{v2}	94%	70%	157%	158%	213%	185%	308%	289%	302%
	P _{v1}	34%	34%	19%	26%	55%	38%	32%	26%	26%
	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₃	42%	43%	58%	55%	42%	36%	49%	40%	47%
P ₁	117%	109%	119%	123%	111%	119%	136%	130%	132%	

3.7.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 3

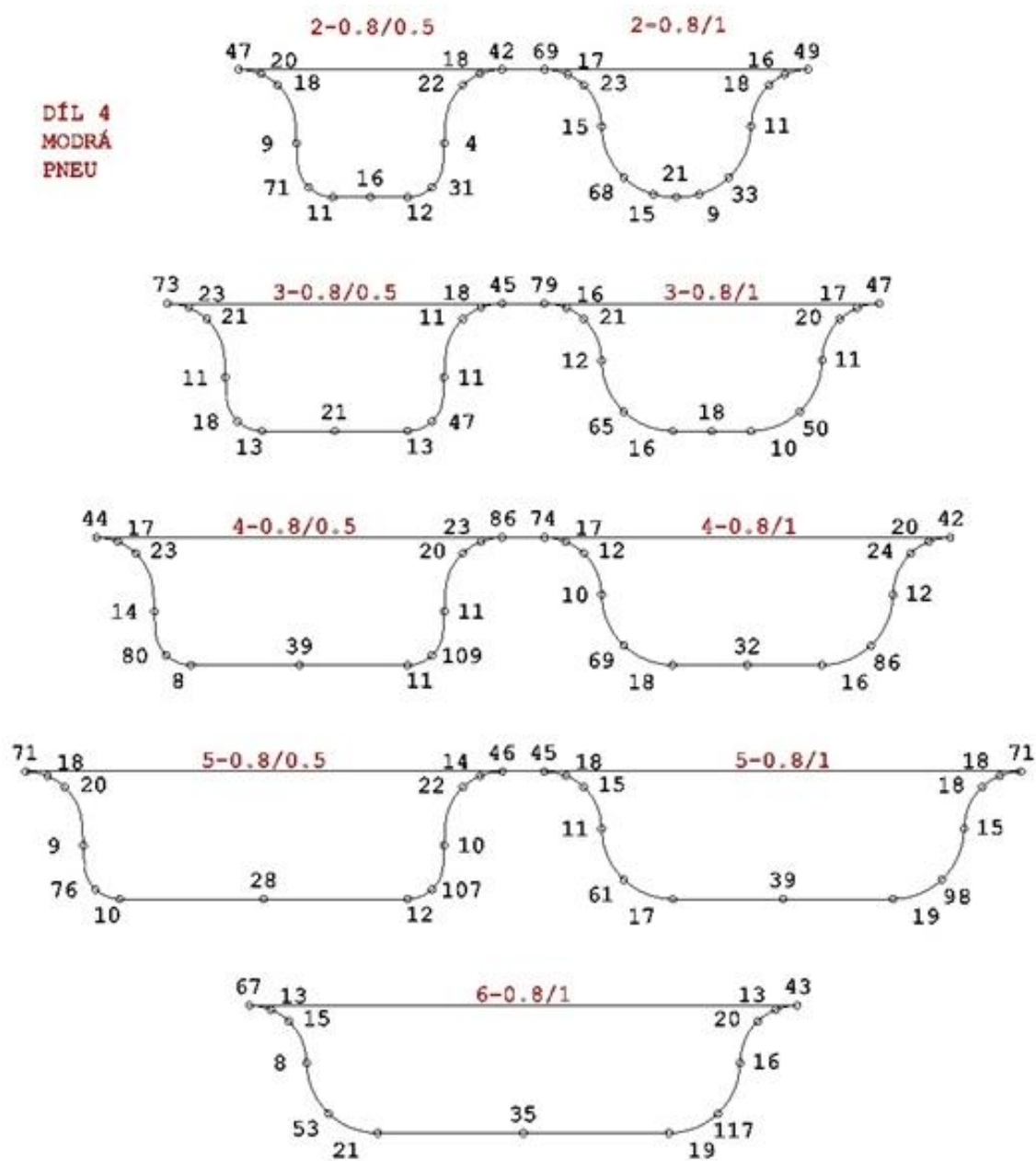


Obr. 54: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 3 – drážky) v

Tab. 16: Hodnoty naměřené na díle č. 3 - drážky


Drážky v desce - díl č. 3										
Modrý lak / esta + pneu / orientace podélná / tloušťka laku: 45 μm (18/27)										
		Šířka drážky a poloměry zaoblení hran [mm] (označení: s – R _{vnější} / R _{vnitřní})								
		2- 0,8/0,5	2- 0,8/1	3- 0,8/0,5	3- 0,8/1	4- 0,8/0,5	4- 0,8/1	5- 0,8/0,5	5- 0,8/1	6- 0,8/1
Pozice měření	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₁	98%	138%	151%	173%	147%	160%	164%	164%	156%
	P ₂	44%	40%	44%	44%	36%	27%	31%	36%	27%
	P ₃	58%	44%	49%	49%	40%	40%	18%	36%	31%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v1}	53%	36%	22%	27%	22%	18%	18%	22%	18%
	P _{v2}	178%	120%	178%	133%	191%	133%	187%	124%	111%
	P _{v3}	22%	40%	27%	31%	36%	31%	27%	36%	36%
	s [mm]	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	P _x	36%	44%	58%	49%	62%	49%	49%	58%	44%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v3}	27%	36%	22%	27%	18%	36%	22%	31%	44%
	P _{v2}	58%	80%	98%	116%	178%	164%	213%	200%	244%
	P _{v1}	44%	27%	22%	27%	31%	22%	18%	27%	22%
	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₅	40%	36%	44%	40%	58%	49%	58%	49%	40%
	P ₃	76%	31%	31%	36%	40%	36%	44%	36%	22%
	P ₁	93%	80%	80%	80%	80%	76%	80%	84%	93%

3.7.4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 4

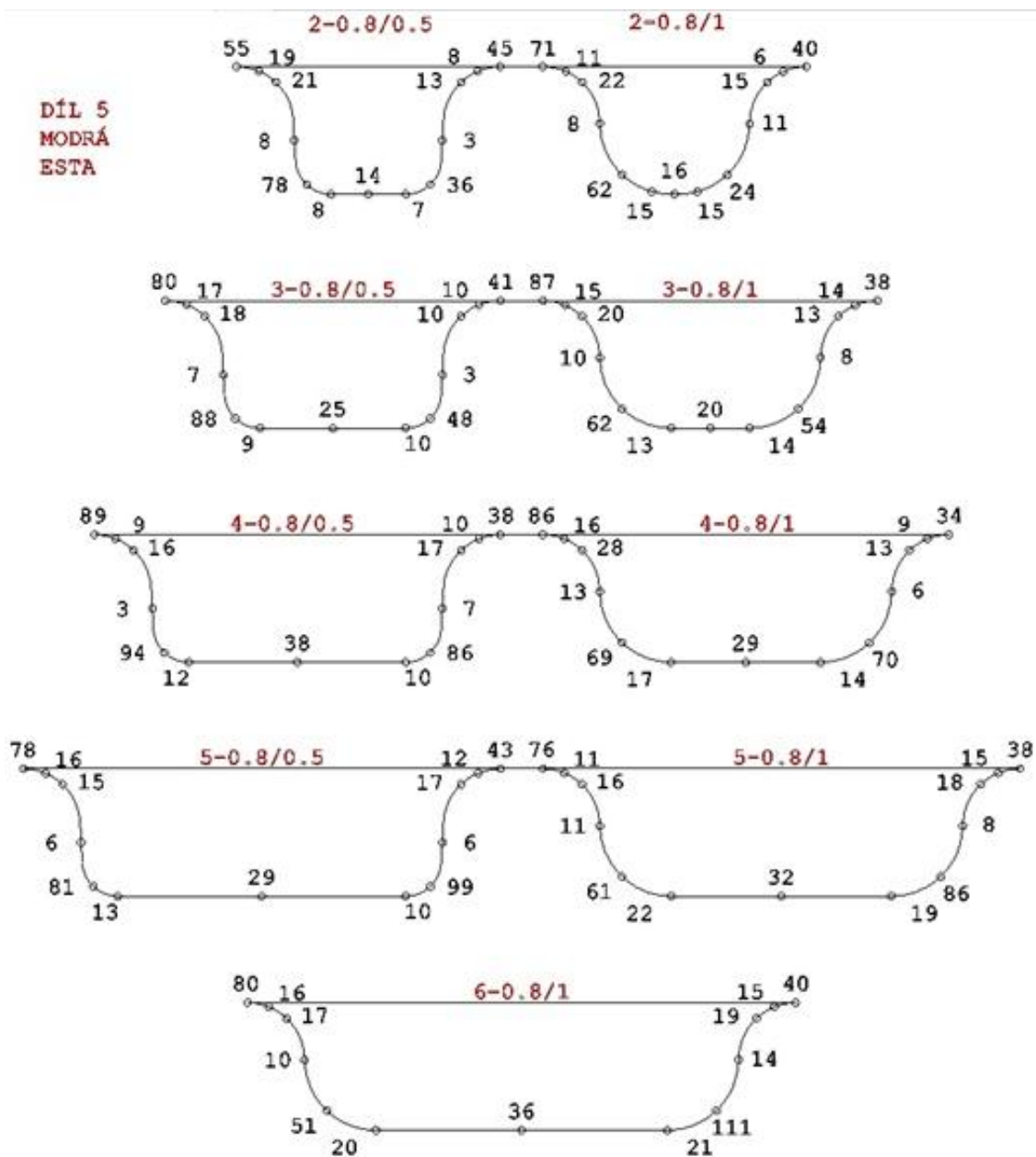


Obr. 55: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 4 – drážky) [μm]

Tab. 17: Hodnoty naměřené na díle č. 4 - drážky


Drážky v desce - díl č. 4										
Modrý lak / pneu / orientace podélná / tloušťka laku: 41 μ m (15/26)										
		Šířka drážky a poloměry zaoblení hran [mm] (označení: s – R _{vnější} / R _{vnitřní})								
		2- 0,8/0,5	2- 0,8/1	3- 0,8/0,5	3- 0,8/1	4- 0,8/0,5	4- 0,8/1	5- 0,8/0,5	5- 0,8/1	6- 0,8/1
Pozice měření	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₁	115%	168%	178%	193%	107%	180%	173%	110%	163%
	P ₂	49%	41%	56%	39%	41%	41%	44%	44%	32%
	P ₃	44%	56%	51%	51%	56%	29%	49%	37%	37%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v1}	22%	37%	27%	29%	34%	24%	22%	27%	20%
	P _{v2}	173%	166%	176%	159%	195%	168%	185%	149%	129%
	P _{v3}	27%	37%	32%	39%	20%	44%	24%	41%	51%
	s [mm]	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	P _x	39%	51%	51%	44%	95%	78%	68%	95%	85%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v3}	29%	22%	32%	24%	27%	39%	29%	46%	46%
	P _{v2}	76%	80%	115%	122%	266%	210%	261%	239%	285%
	P _{v1}	10%	27%	27%	27%	27%	29%	24%	37%	39%
	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₅	54%	44%	27%	49%	49%	59%	54%	44%	49%
	P ₃	44%	39%	44%	41%	56%	49%	34%	44%	32%
	P ₁	102%	120%	110%	115%	210%	102%	112%	173%	105%

3.7.5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ – DÍL 5



Obr. 56: Schématické znázornění naměřených hodnot (díl 5 – drážky) [μm]

Tab. 18: Hodnoty naměřené na díle č. 5 - drážky

Drážky v desce - díl č. 5										
Modrý lak / esta / orientace podélná / tloušťka laku: 38 μm (15/23)										
		Šířka drážky a poloměry zaoblení hran [mm] (označení: s – R _{vnější} / R _{vnitřní})								
		2- 0,8/0,5	2- 0,8/1	3- 0,8/0,5	3- 0,8/1	4- 0,8/0,5	4- 0,8/1	5- 0,8/0,5	5- 0,8/1	6- 0,8/1
Pozice měření	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₁	145%	187%	211%	229%	234%	226%	205%	200%	211%
	P ₂	50%	29%	45%	39%	24%	42%	42%	29%	42%
	P ₃	55%	58%	47%	53%	42%	74%	39%	42%	45%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v1}	21%	21%	18%	26%	8%	34%	16%	29%	26%
	P _{v2}	205%	163%	232%	163%	247%	182%	213%	161%	134%
	P _{v3}	21%	39%	24%	34%	32%	45%	34%	58%	53%
	s [mm]	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	P _x	37%	42%	66%	53%	100%	76%	76%	84%	95%
	R [mm]	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	1
	P _{v3}	18%	39%	26%	37%	26%	37%	26%	50%	55%
	P _{v2}	95%	63%	126%	142%	226%	184%	261%	226%	292%
	P _{v1}	8%	29%	8%	21%	18%	16%	16%	21%	37%
	R [mm]	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	P ₅	34%	39%	26%	34%	45%	34%	45%	47%	50%
	P ₃	21%	16%	26%	37%	26%	24%	32%	39%	39%
	P ₁	118%	105%	108%	100%	100%	89%	113%	100%	105%

4 DISKUZE VÝSLEDKŮ A POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Změřením tloušťky laku na hranách zkušebních dílů byl zjištěn velmi výrazný vliv velikosti poloměru zaoblení hrany na tloušťku vrstvy laku v tomto místě. Zjištěný trend proměnlivosti tloušťky byl odlišný u vnějších a u vnitřních hran.

Při pohledu na profil laku i naměřené hodnoty **na vnějších zaoblených hranách** otvorů i drážek si lze povšimnout, že na rovné ploše před začátkem hrany (pozice P_1) ve všech případech došlo k výraznému nárůstu v síle vrstvy laku. V některých případech dokonce na více než dvojnásobek průměrné hodnoty na rovné ploše příslušného dílu. Tato vrstva byla vždy tím silnější, čím menším poloměrem zaoblení byla hrana opatřena. Tloušťka laku v těchto místech však vždy rostla na úkor vrstvy přímo na zaoblené hraně. Na pozicích P_2 a P_4 se nacházela vůbec nejslabší vrstva na vnějších hranách zkoumaných dílů. Hodnoty se zde v nejhorších případech dostaly pouze na 12 % průměrné tloušťky. Mezi těmito místy, přímo na vrcholu zaoblené hrany (pozice P_3), byla síla laku nepatrně větší. S klesajícím poloměrem zaoblení zkoumaných hran hodnoty na všech třech pozicích klesaly. K opětovnému zesílení vrstvy docházelo až za samotnou hranou, kde opět nastávalo hromadění laku (pozice P_5).

Průběh změn v tloušťce zkoumaného profilu laku **na vnitřních hranách** byl negativem předešlých výsledků. V tomto případě byla nejsilnější vrstva naměřena přímo na vnitřní hraně (pozice P_{v2}). Šlo o hodnoty šplhající až k trojnásobku průměrné tloušťky na rovné ploše dílu. V jejím okolí naopak docházelo k výraznému zeslabení. V pozici P_{v1} na 8 – 55 % a na 16 – 58 % v P_{v3} . S rostoucí vzdáleností od hrany se tloušťka laku plynule vracela k normálu.

Příčin vzniku takto nerovnoměrných vrstev na zaoblených hranách může být celá řada. Samotná geometrie hran způsobuje stékání laku z kopců a jeho hromadění v údolích. Na to má vliv i orientace dílu během lakovacího procesu. Svou roli zde hraje také zvolený typ laku, jeho tekutost nebo obsah pevných částic. Dalším důležitým faktorem je povrchové napětí plastového dílu (i laku). To je ovlivněno typem plastu, zvolenou technologií jeho výroby a jejími parametry. Důležitá je samozřejmě také volba metody úpravy povrchového napětí a její provedení. Dalším faktorem ovlivňujícím vrstvu laku mohou být vady spojené s výrobou dílu, jako jsou například studené spoje. V neposlední řadě na ní má vliv také zvolená lakovací metoda a její technologické parametry.

Pro zjištění možnosti ovlivnění vzniku takto nerovnoměrných vrstev laku na hranách plastových dílů vybranými faktory, byly jednotlivé díly lakovány za různých podmínek. Zjišťován byl vliv typu laku a použité metody, orientace dílu a průchodnosti otvorů. Odhalení vlivu těchto faktorů bylo provedeno porovnáním hodnot a jejich grafického znázornění z jednotlivých dílů.

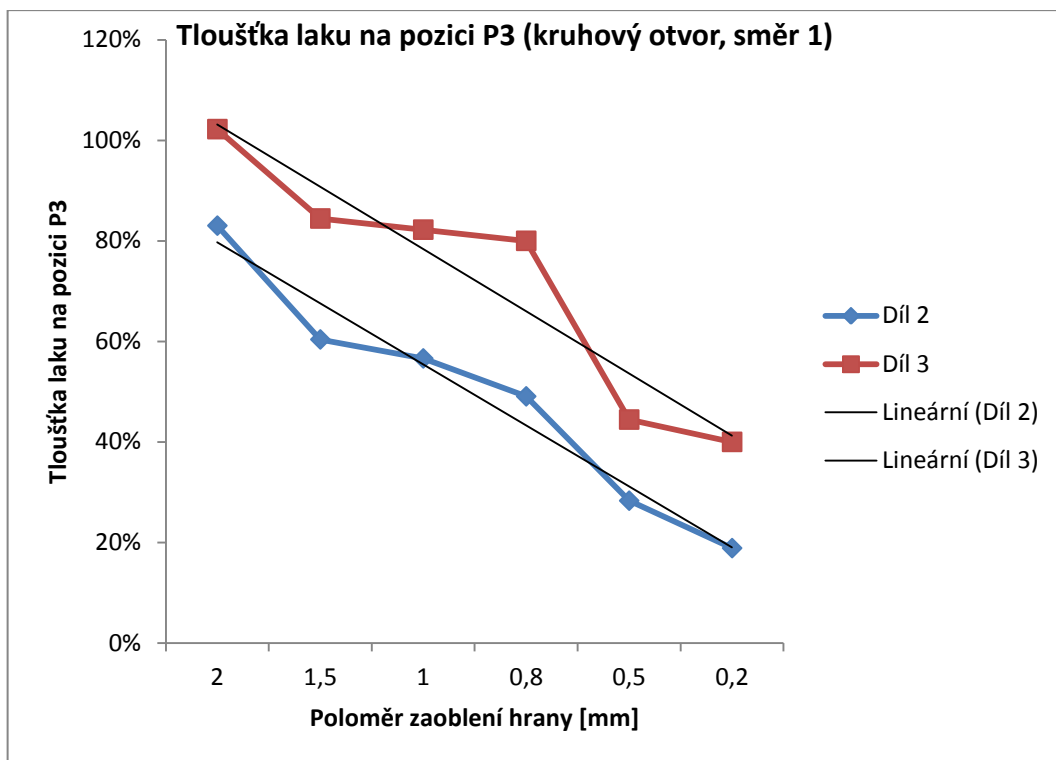
Z důvodu časové náročnosti získávání hodnot tloušťky laku byla každá hodnota měřena pouze jednou, v grafech tak chybí směrodatné odchylky. Protože ani nelze říci, kterým typem křivky je nejvhodnější naměřená data proložit, byl jejich trend znázorněn za pomoci té nejjednodušší – přímkou.

4.1 ZMĚNA TYPU LAKU

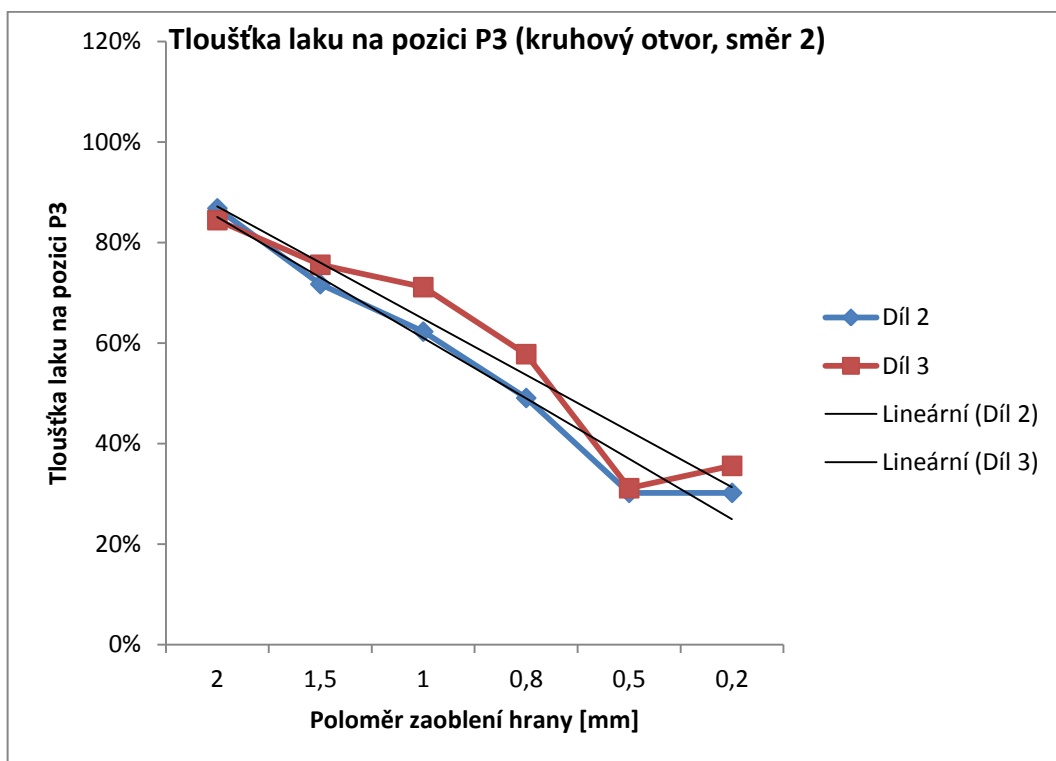
Prvním zkoumaným faktorem byla změna typu laku. Pro zjištění jeho vlivu na proměnlivost tloušťky laku s měnícím se poloměrem zaoblení lakované hrany byly srovnány výsledky naměřené na dílech č. 2 a 3. Oba byly lakovány stejnou technologií a za stejných podmínek. Během procesu byly stejně orientovány, jediným rozdílem byl typ použitého laku. Díl č. 2 byl nalakován klasickým bílým lakem o nízké viskozitě, na díl č. 3 byla použita vysokoviskózní modrá metalíza.

Získané vrstvy na dílech byly právě vlivem užití různých typů laků rozdílně silné. Modrá metalíza byla na díl nanese ve slabší vrstvě než bílý lak. Z tohoto důvodu bylo pracováno s procentuálními hodnotami, které jsou vztaženy k průměrné hodnotě tloušťky laku na rovné ploše dílu a jsou tak mezi sebou srovnatelné.

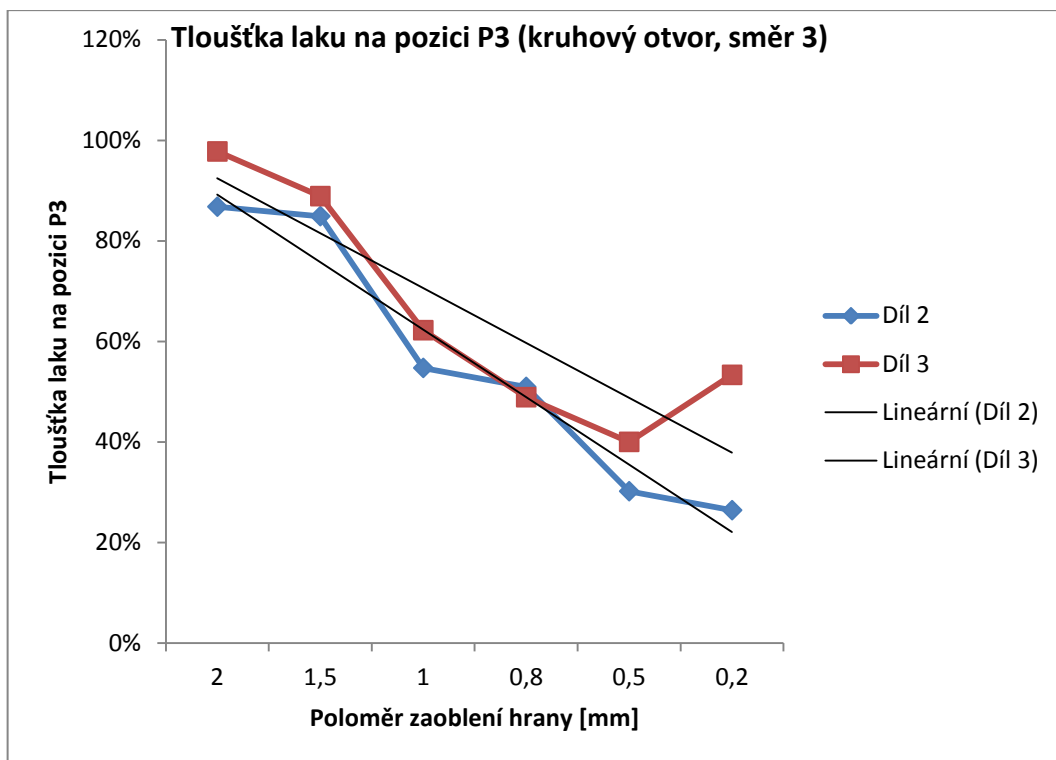
Hodnoty tloušťky laku naměřené na hranách zmiňovaných dílů při měnícím se poloměru zaoblení hrany jsou graficky znázorněny v grafech 1 až 3. Jedná se o hodnoty získané v pozici P_3 , což je kritické místo na hraně s téměř nejslabší vrstvou laku. Každý z grafů znázorňuje měření v jiném směru otvoru. Modrá křivka v nich značí hodnoty naměřené na díle č. 2, červená křivka pak hodnoty z dílu č. 3. Při pohledu na ně a jejich trend si lze povšimnout klesajícího charakteru, který potvrzuje tvrzení z předešlé kapitoly o poklesu těchto hodnot se zmenšujícím se poloměrem zaoblení hran. Dále pak skutečnosti, že hodnoty získané z dílu lakovaného modrou metalízou se téměř ve všech případech drží nad hodnotami změřenými na bílých dílech. To znamená, že modrá metalíza v tomto případě tvořila rovnoměrnější vrstvu laku a její tloušťka se více blížila požadované hodnotě.



Graf 1: Závislost tloušťky laku (na pozici P_3) na poloměru zaoblení hrany na dílech č. 2 a 3 (směr 1)



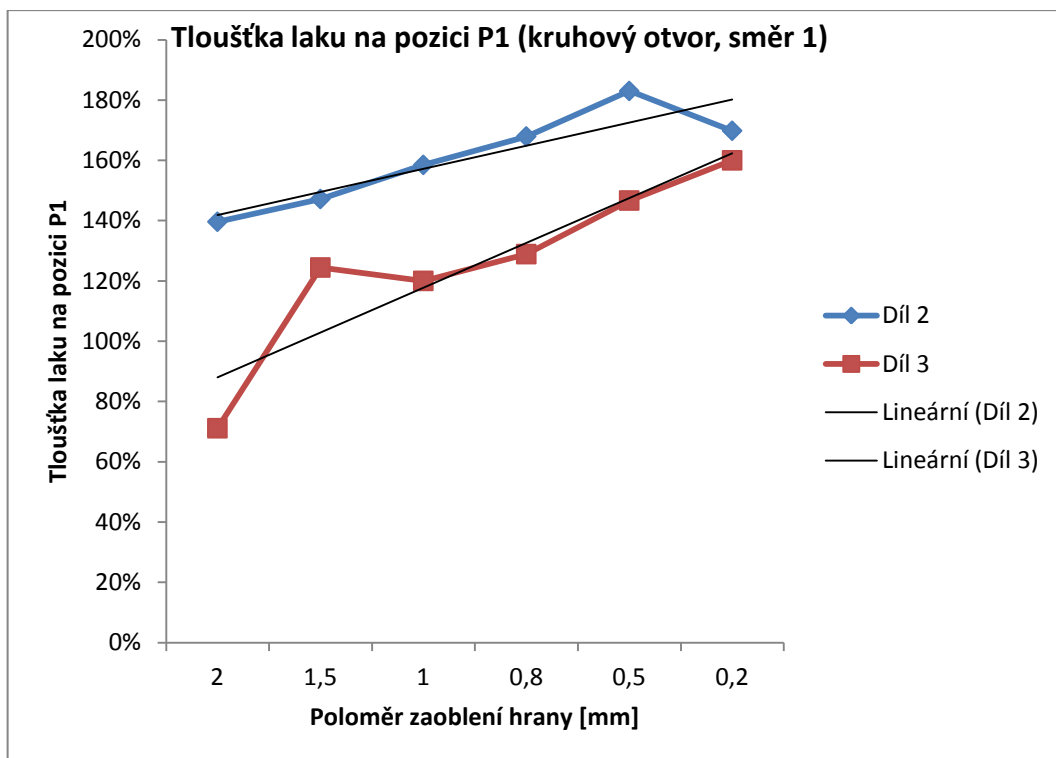
Graf 2: Závislost tloušťky laku (na pozici P_3) na poloměru zaoblení hrany na dílech č. 2 a 3 (směr 2)



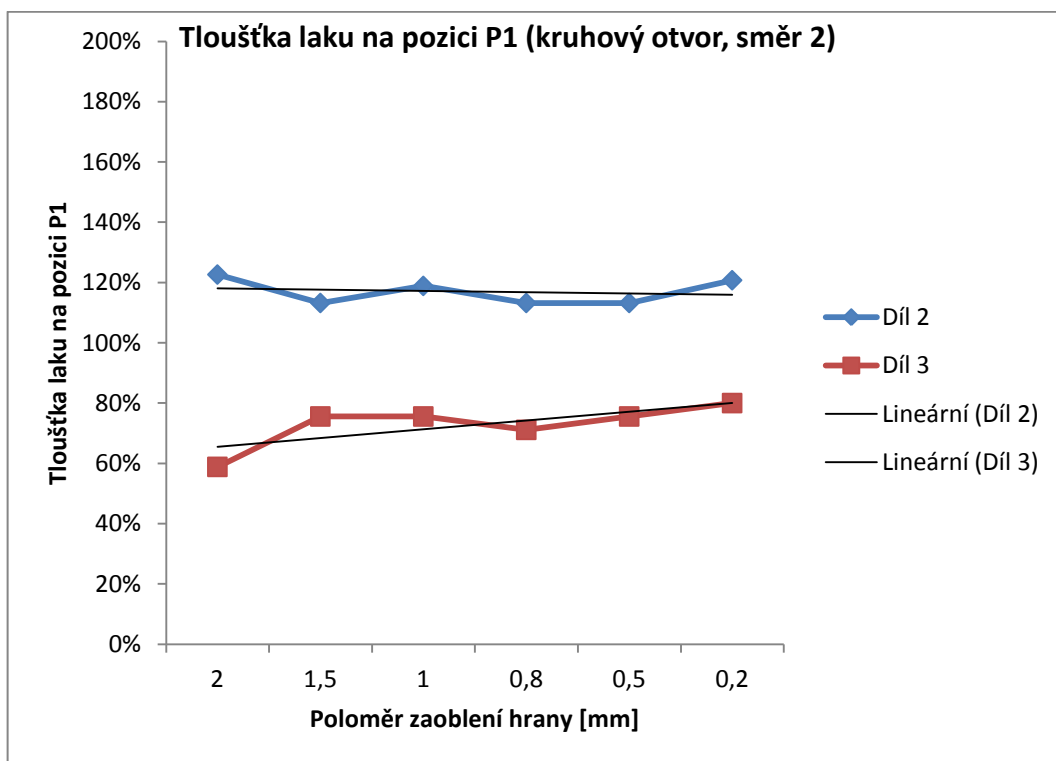
Graf 3: Závislost tloušťky laku (na pozici P_3) na poloměru zaoblení hrany na dílech č. 2 a 3 (směr 3)

Stejné měření bylo provedeno také v pozici P_1 , kterou lze označit za druhé kritické místo. Zde naopak docházelo ke vzniku nejsilnější vrstvy laku. Naměřené hodnoty a trend jejich změn jsou vykresleny v grafech 4 až 6. Lze si na nich povšimnout odlišného charakteru křivek od předchozího případu. Se zmenšujícím se poloměrem zaoblení hrany zde hodnoty udávající tloušťku laku spíše vzrůstají. Křivka dílu č. 3 se přitom vždy drží pod modrou křivkou dílu č. 2. To opět značí větší rovnoměrnost vrstvy modrého laku.

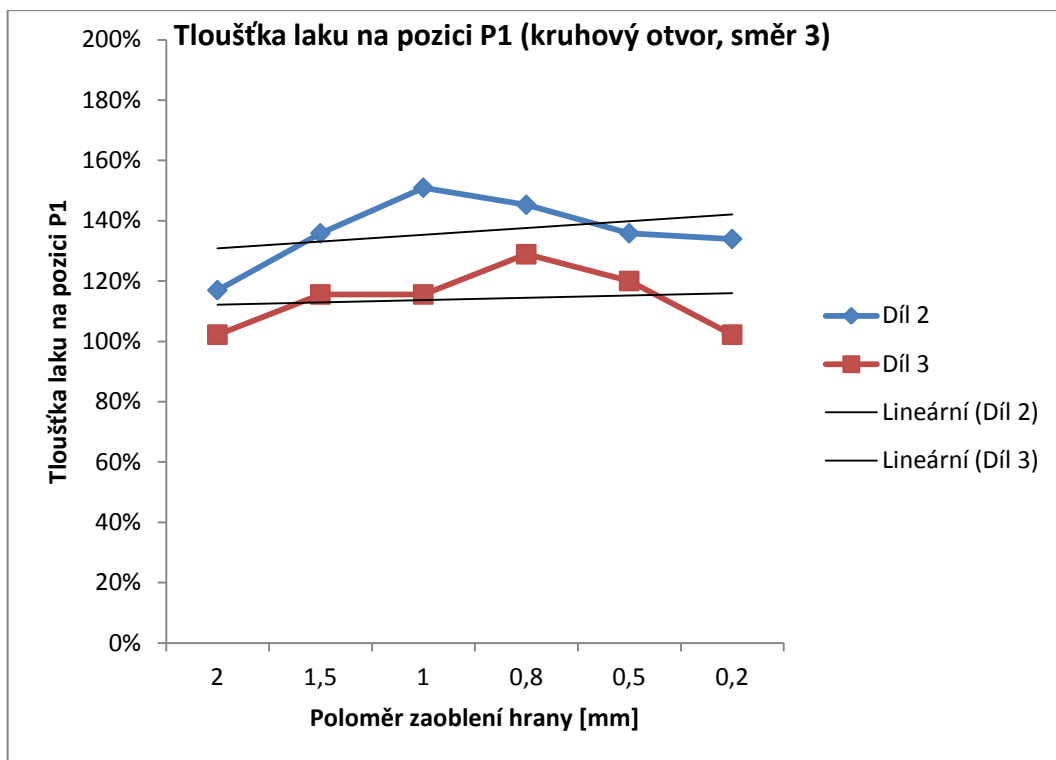
Na všech šesti grafech si dále lze povšimnout jejich odlišnosti v jednotlivých směrech měření. Vrstva laku ve směru 1 bývá silnější než v protilehlém směru 2. V grafu č. 4 lze spatřit i prudší nárůst síly lakované vrstvy na pozici P_1 než v ostatních směrech. Tyto odlišnosti lze vysvětlit orientací dílu během lakovacího procesu. Umístění destičky do vertikální polohy umožnilo laku stékat do nižších poloh. V prvním směru pak docházelo k jeho hromadění před hranou otvoru. Oproti tomu ve druhém směru nebylo laku umožněno na pozici P_1 zhora přitékat a mohl z tohoto místa pouze stékat směrem dolů. Hodnoty ze směru 3 a 4 mohly být také ovlivněny výskytem studených spojů v těchto místech.



Graf 4: Závislost tloušťky laku (na pozici P_1) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 2 a 3 (směr 1)



Graf 5: Závislost tloušťky laku (na pozici P_1) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 2 a 3 (směr 2)



Graf 6: Závislost tloušťky laku (na pozici P_1) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 2 a 3 (směr 3)

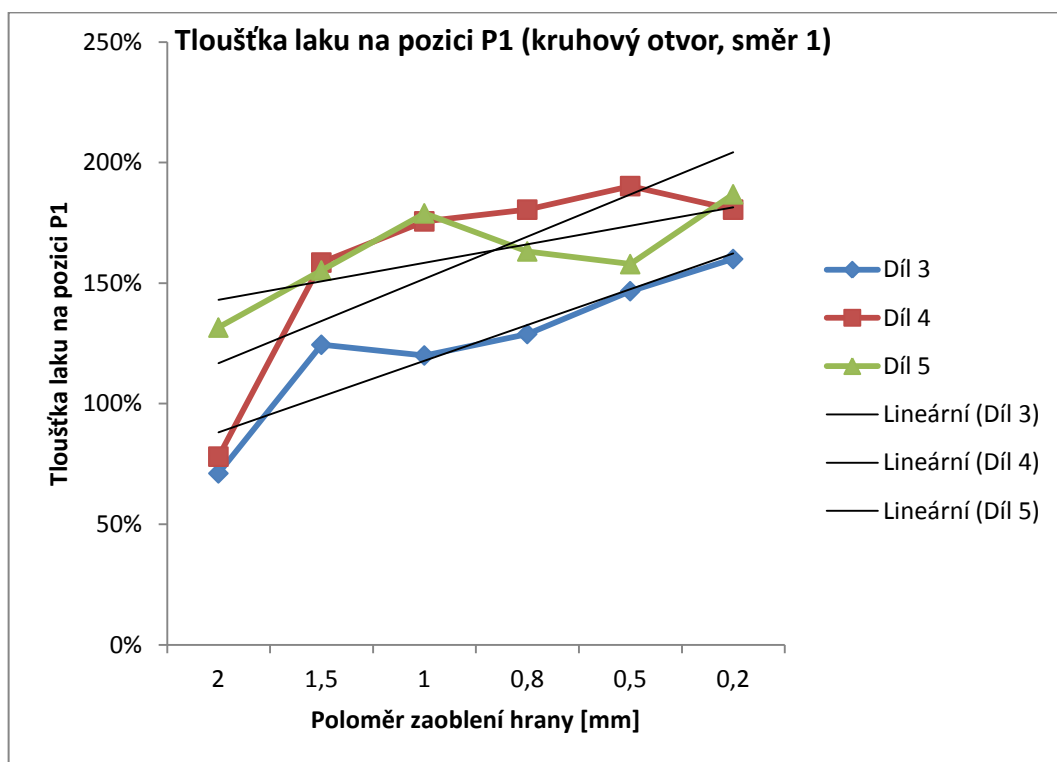
Chování laku na pozici P_5 , nacházející se na vnitřní stěně kruhového otvoru, bylo odlišné od chování v pozici P_1 . Hodnoty zde naměřené měly daleko větší rozptyl. Důvodů mohla být celá řada, např. rozdílné povrchové napětí od rovných ploch, víření laku zapříčiněné zaslepením otvorů atd. Opět se však prokázal větší nárůst v síle bílého laku než v případě modré metalízy. Z důvodu nutnosti porovnání těchto hodnot s hodnotami naměřenými na průchozích otvorech je jejich grafické znázornění v kapitole 3.9.3.

Shrnutím důsledků změny typu laku na proměnlivost tloušťky jeho vrstvy na zaoblených hranách lze říci, že v případě modré metalízy byla získaná vrstva rovnoměrnější než v případě bílého laku. Vliv na ni však měla orientace dílu během lakovacího procesu, která odlišila výsledky získané v jednotlivých směrech. Lze ovšem říci, že změny v kritických místech s největší a nejmenší tloušťkou modrého laku nebyly tak velké jako v případě laku bílého. Hodnoty naměřené v těchto nebezpečných pozicích se tak více blížily průměrné tloušťce změřené na rovné ploše dílu.

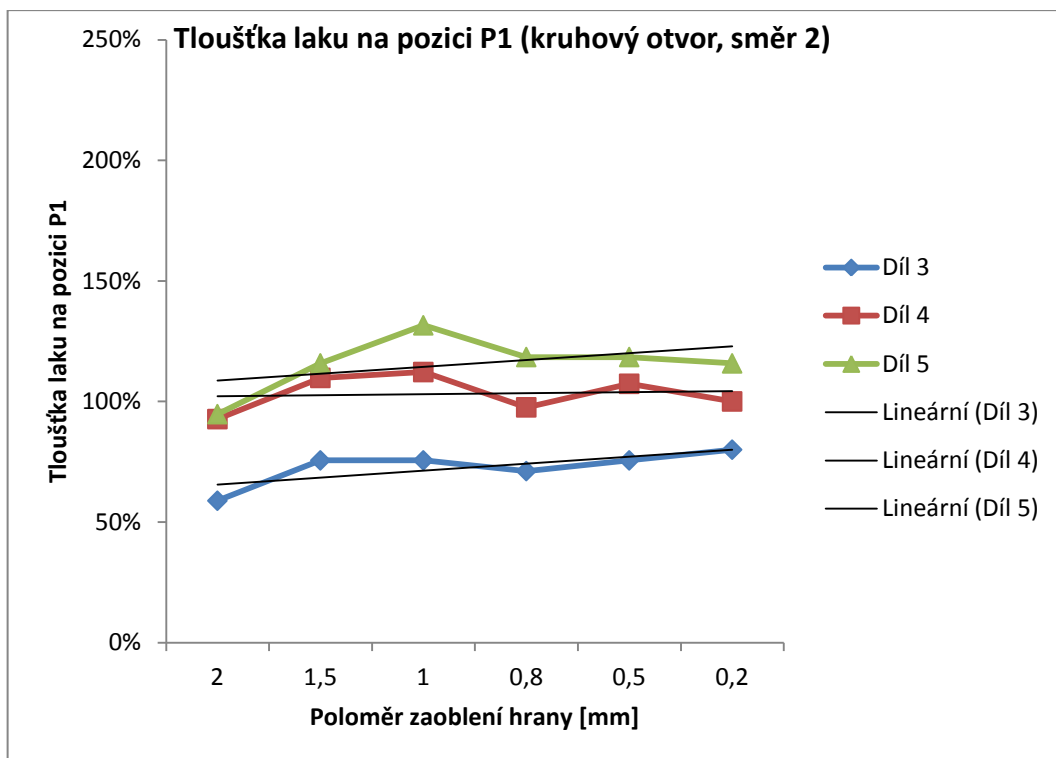
4.2 ZMĚNA LAKOVACÍ TECHNOLOGIE

Druhým zkoumaným faktorem byla změna lakovací technologie. Pro zjištění jeho vlivu na proměnlivosti tloušťky laku na zaoblené hraně výrobku byly porovnány hodnoty naměřené na dílech č. 3, 4 a 5. Tyto díly byly lakovány stejným lakem (modrou metalízou), za stejných podmínek a ve stejné poloze. Každý však jinou lakovací technologií. Na díl č. 3 byla použita kombinace pneumatické a elektrostatické metody. Jde o stejný způsob, jakým se lakují díly v sériové výrobě. Díl č. 4 byl lakován samotnou pneumatickou metodou a díl č. 5 pouze elektrostatickou metodou. Dosažené tloušťky vrstev laku byly opět rozdílné, a aby mohly být srovnávány, bylo pracováno s jejich procentuálními tvary vztahenými k průměrné síle laku.

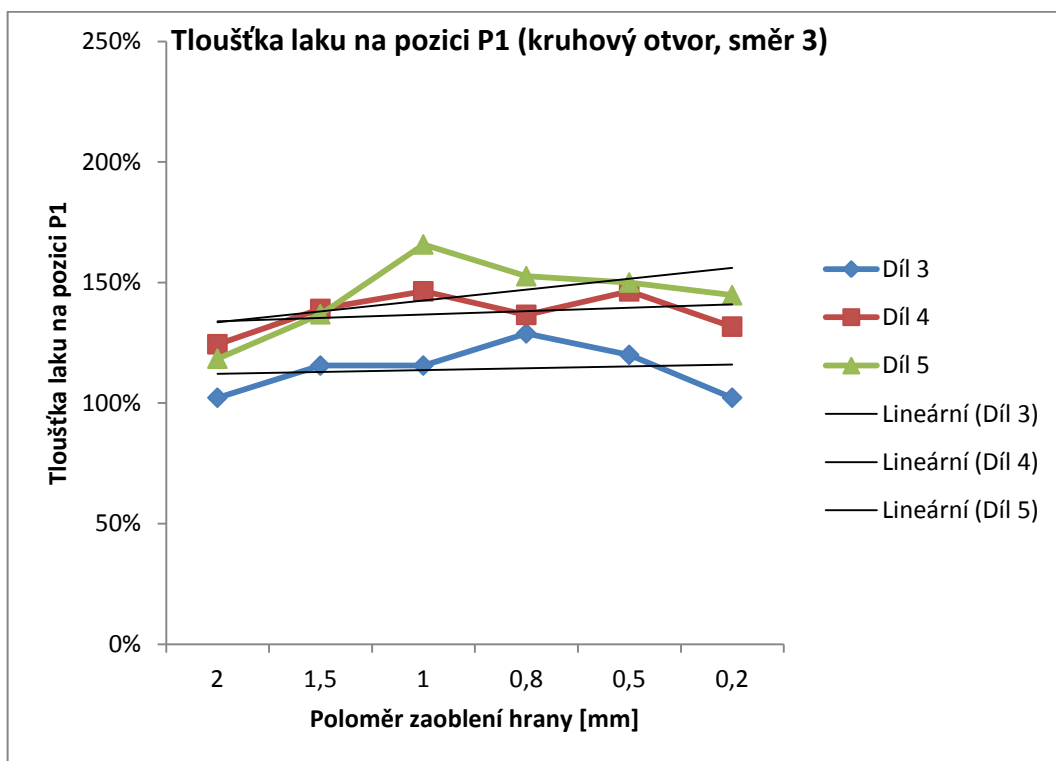
Grafy č. 7 až 10 znázorňují tloušťku laku naměřenou na pozici P_1 dílů 3 až 5 v různých směrech. Grafy č. 11 až 14 pak hodnoty změřené na totožných dílech, ale na pozici P_3 .



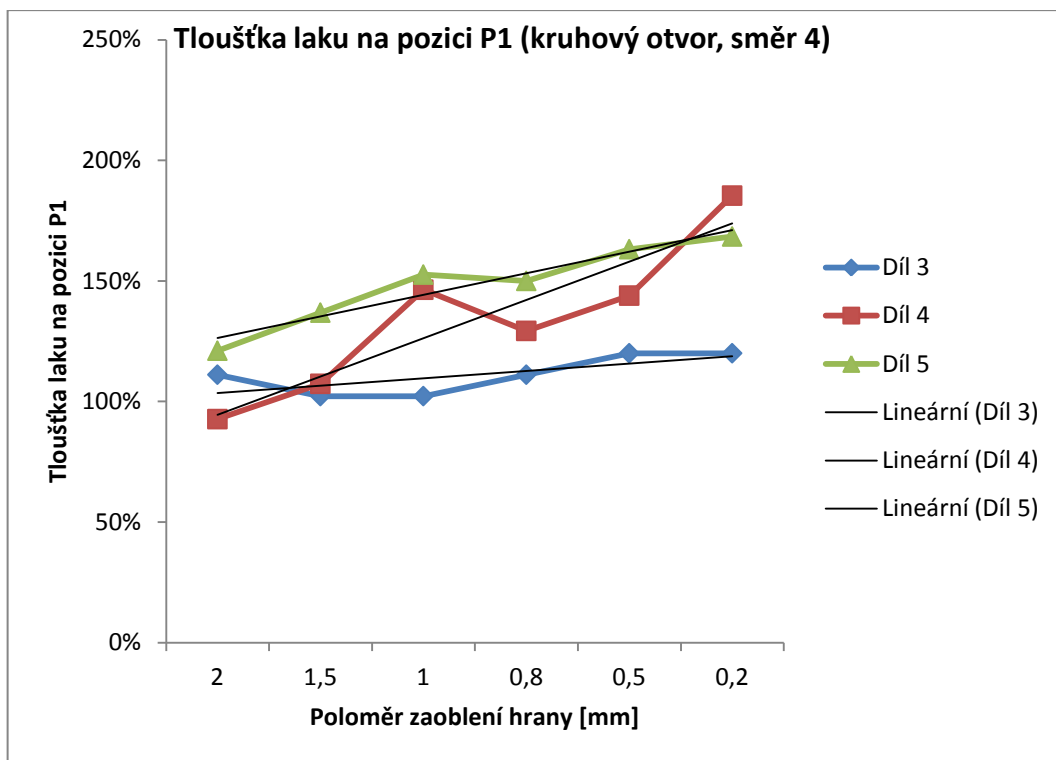
Graf 7: Závislost tloušťky laku (na pozici P_1) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3, 4 a 5 (směr 1)



Graf 8: Závislost tloušťky laku (na pozici P_1) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3, 4 a 5 - (směr 2)



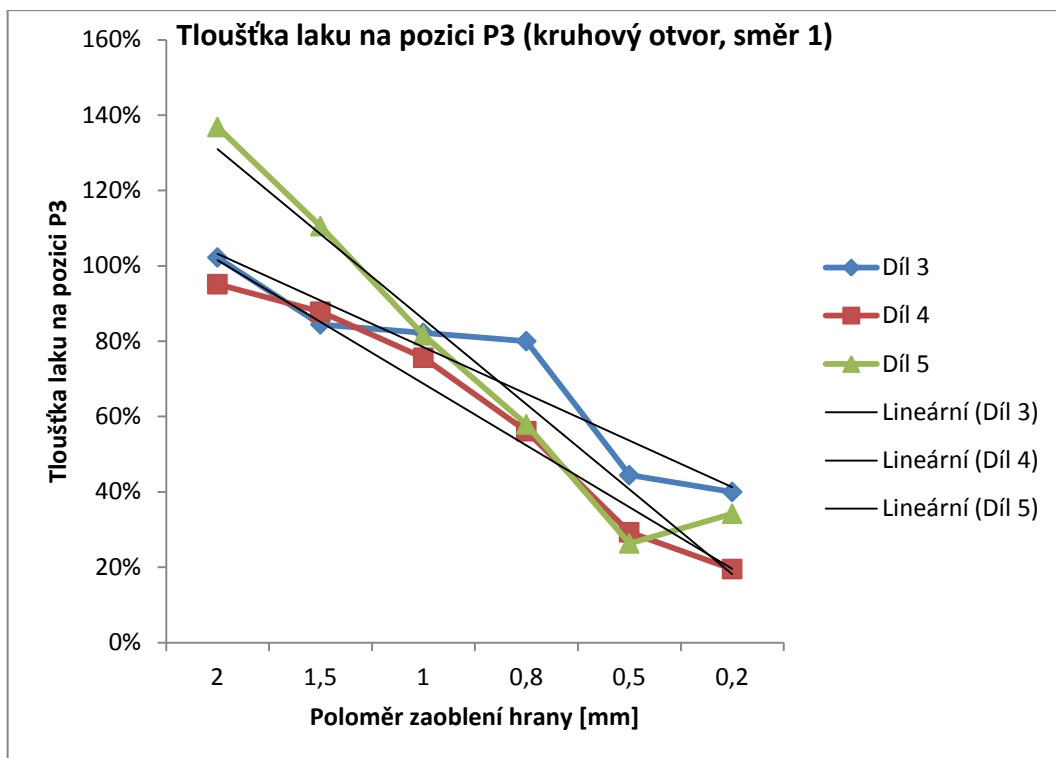
Graf 9: Závislost tloušťky laku (na pozici P_1) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3, 4 a 5 (směr 3)



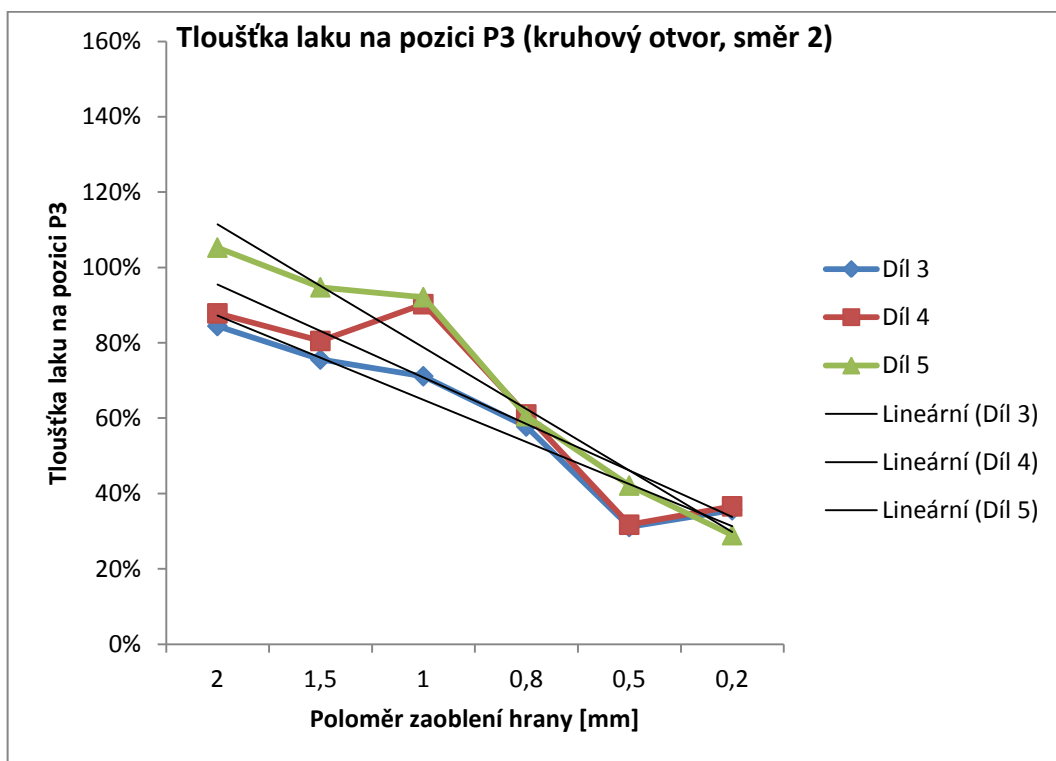
Graf 10: Závislost tloušťky laku (na pozici P_1) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3, 4 a 5 – (směr 4)

Na grafech 7 až 10 jsou zakresleny hodnoty, popisují změnu tloušťky laku na pozici P_1 . Každá z křivek popisuje díl lakovaný jinou metodou. Stejně jako v předchozí kapitole jsou všechny křivky rostoucího charakteru. Hodnoty získané z dílů 4 a 5 jsou ve všech směrech téměř srovnatelné. Jejich trendu se vyjímají jen hodnoty naměřené na dílu č. 3, které jsou vždy v grafech položeny nápadně níže. Dalo by se o nich říci, že se více blíží požadované tloušťce laku a lakovací metoda jim příslušející je tak vhodnější. Ve směru 2 se však hodnoty pořizené na tomto díle opět, zřejmě vlivem orientace dílu, dostávají níže než ve směrech ostatních. Díky tomu jsou v tomto směru příznivější výsledky dosažené ostatními metodami.

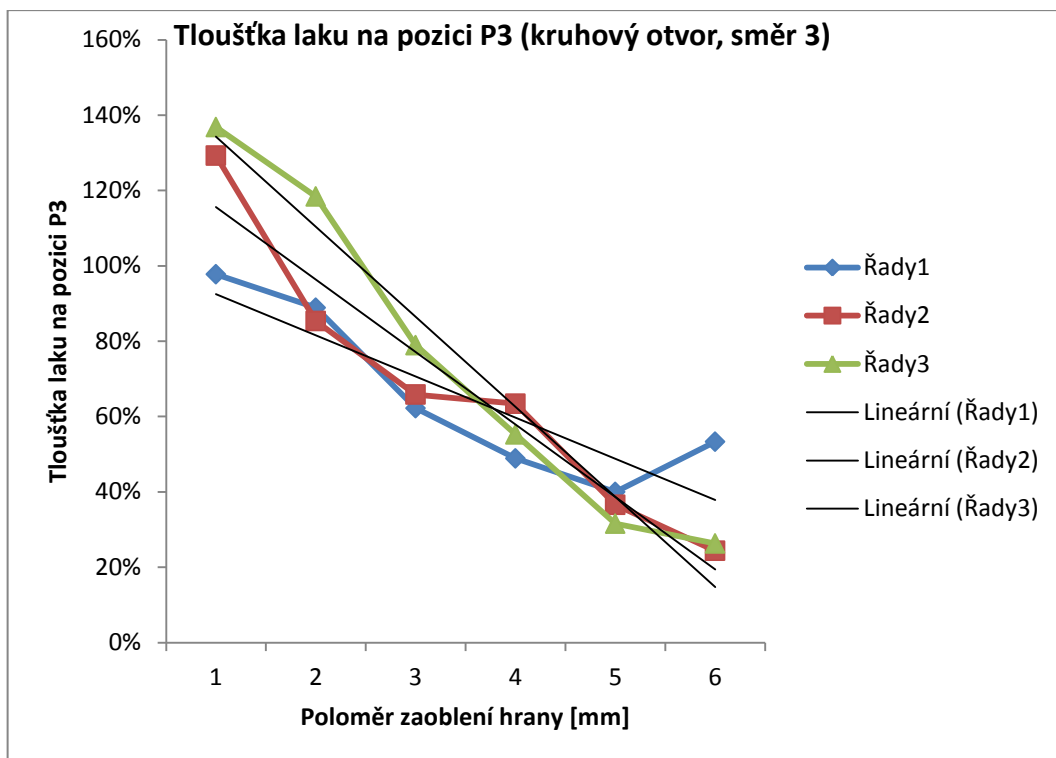
Grafy 11 až 12 ukazují průběh hodnot naměřených na pozici P_3 . Podle těchto údajů se dosažené tloušťky laku všemi třemi metodami jeví jako srovnatelné a o žádné nelze jednoznačně rozhodnout, že je nejvhodnější. Přestože výsledky se v P_1 naklání spíše ke kombinaci obou metod, tak vliv lakovací metody na proměnlivost tloušťky laku se změnou poloměru zaoblené hrany nelze jednoznačně označit za prokázaný.



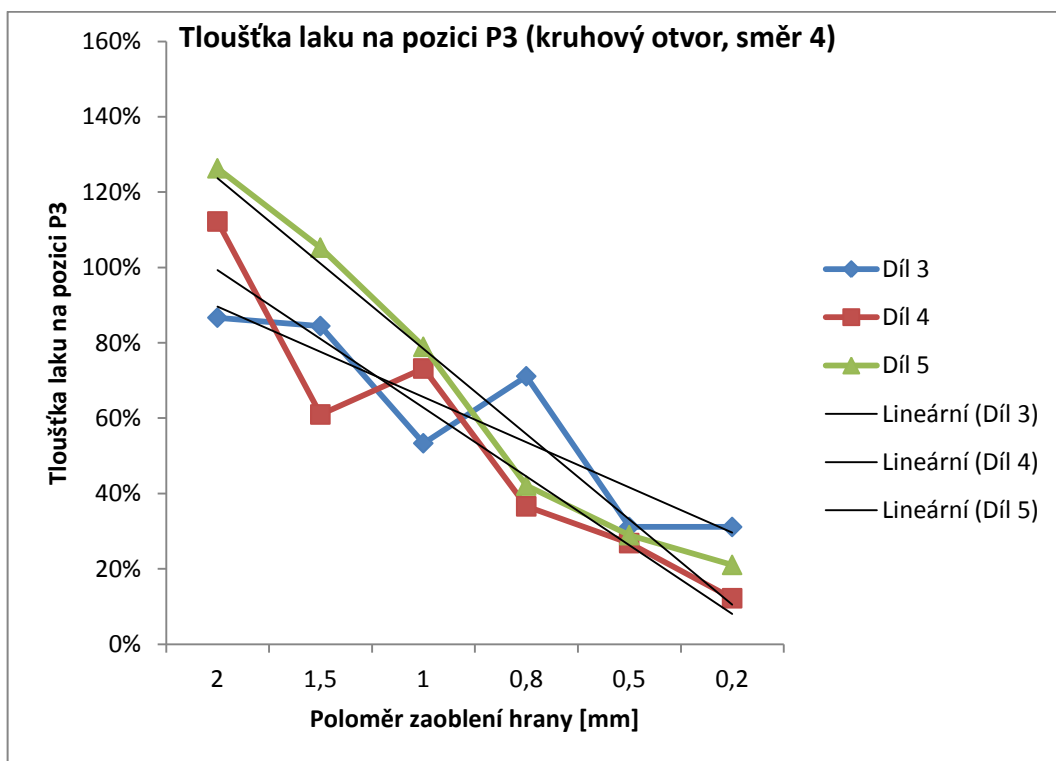
Graf 11: Závislost tloušťky laku (na pozici P_3) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3, 4 a 5 (směr 1)



Graf 12: Závislost tloušťky laku (na pozici P_3) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3, 4 a 5 (směr 2)



Graf 13: Závislost tloušťky laku (na pozici P_3) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3, 4 a 5 (směr 3)

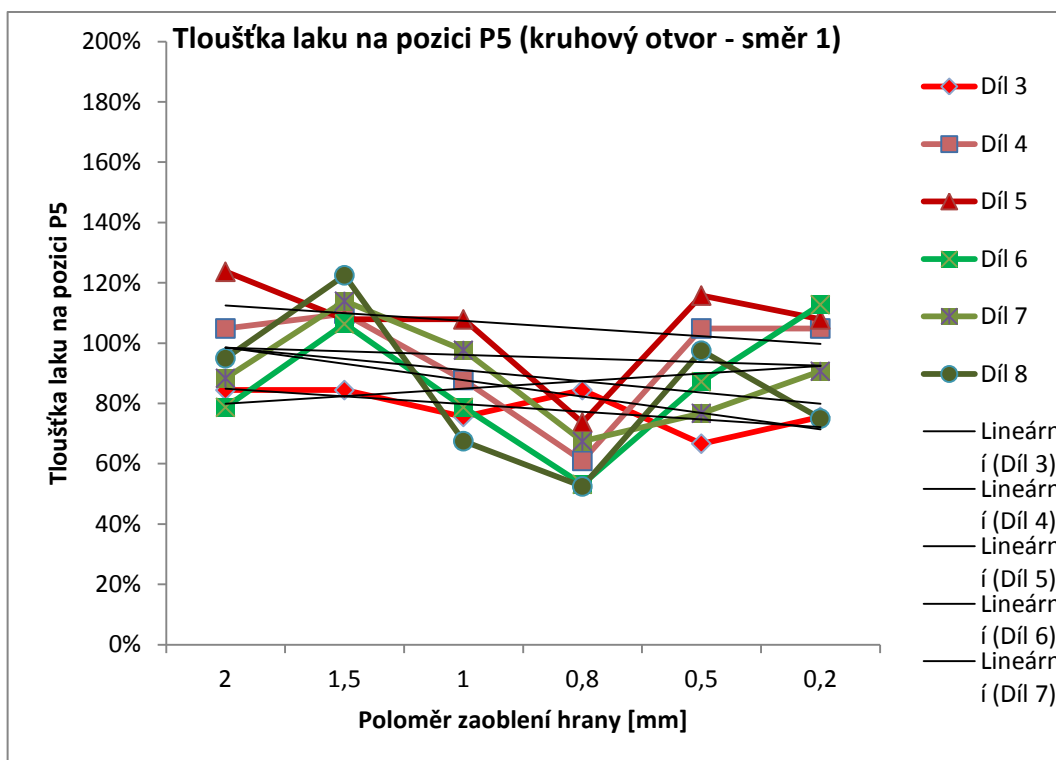


Graf 14: Závislost tloušťky laku (na pozici P_3) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3, 4 a 5 (směr 4)

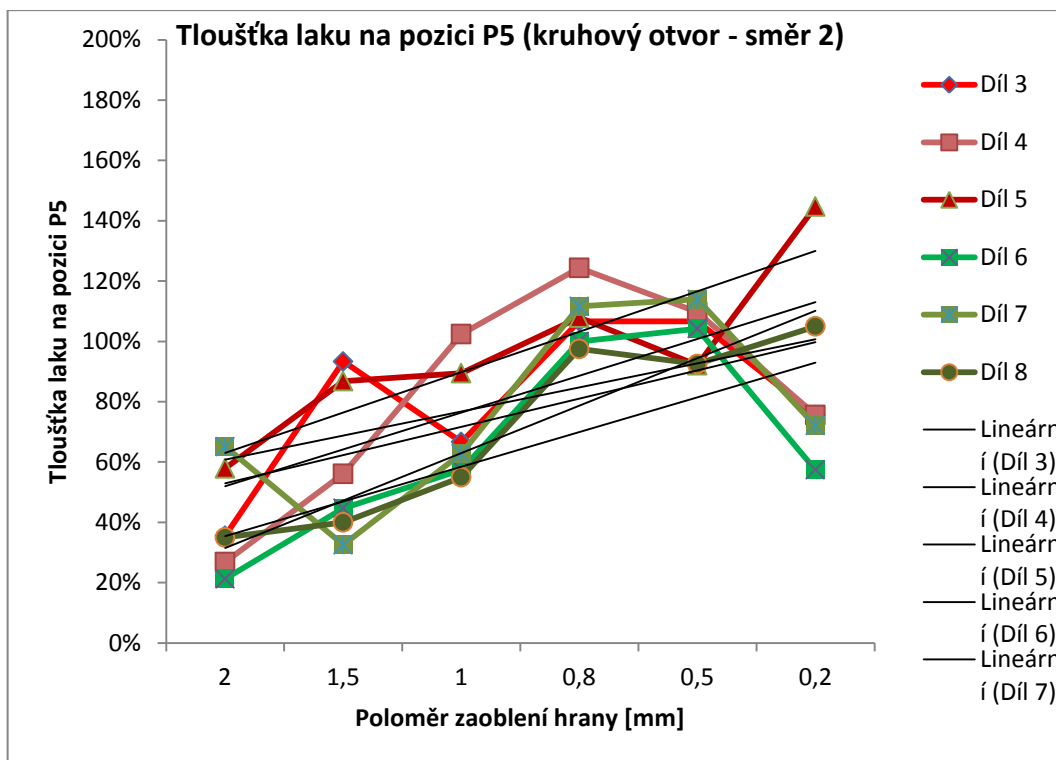
4.3 ZMĚNA PRŮCHODNOSTI OTVORŮ

V předchozích případech nebyly nijak blíže zkoumány hodnoty v místě uvnitř otvorů, na pozici P₅. Důvodem byla jejich chaotičnost, způsobená kombinací různých faktorů. Za jeden z nich bylo považováno zaslepení otvorů ze zadní strany zkušebních destiček. Z tohoto důvodu byly naměřené hodnoty z desek se zaslepenými otvory (díly č. 3, 4 a 5) porovnány s hodnotami z dílů lakovaných s průchozími otvory (díly 6, 7 a 8). Grafické znázornění získaných hodnot je v grafech č. 15 až 18.

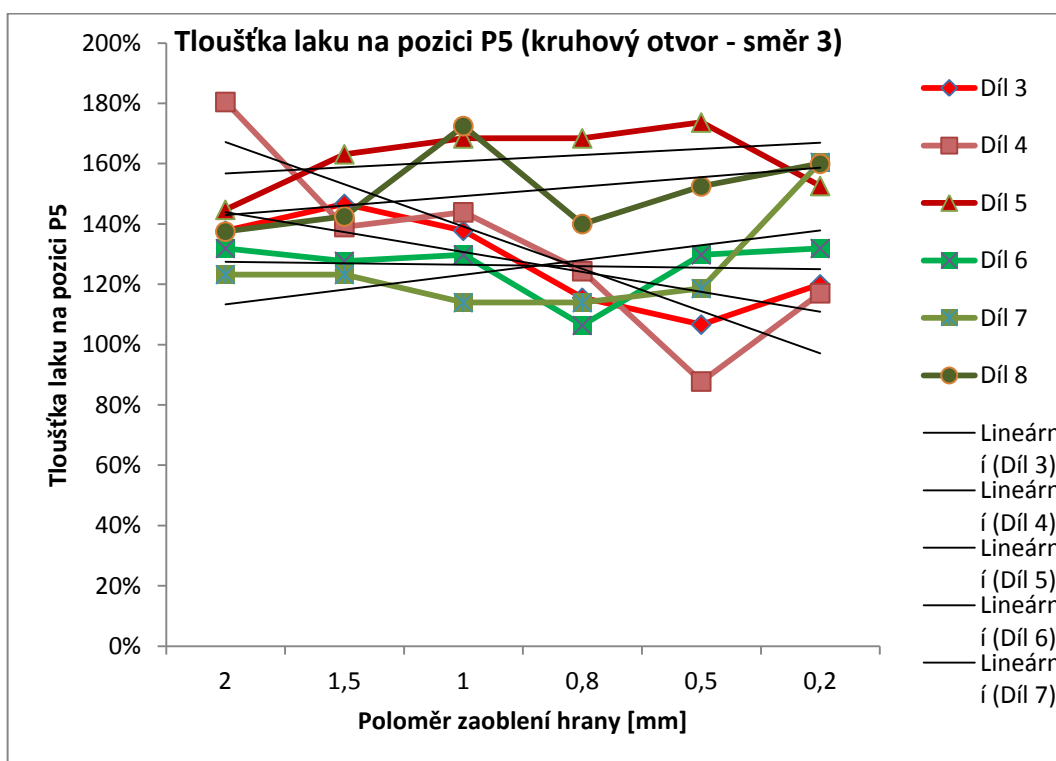
Z grafů na první pohled vyplívá, že zaslepení otvorů nemělo žádný výraznější vliv na tloušťku laku na jejich vnitřní ploše. Průběh křivek náležících hodnotám získaných z dílů s průchozími otvory (zelené křivky) se nijak neodlišuje od těch patřících k dílům se zaslepenými otvory (červené křivky).



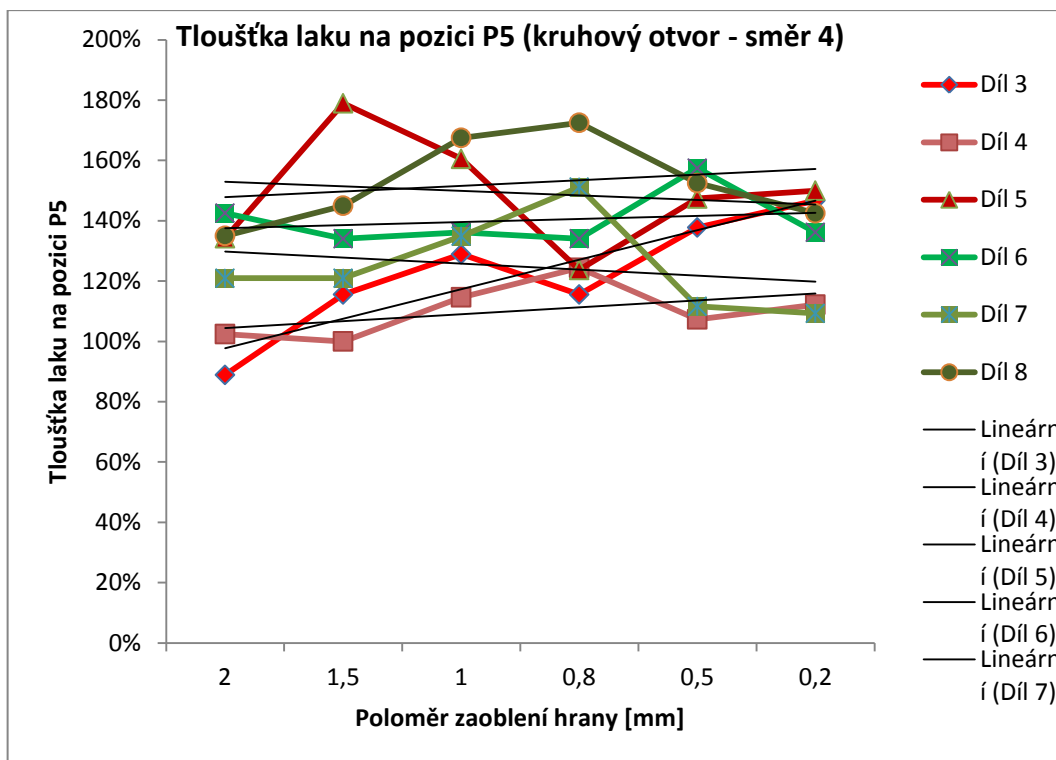
Graf 15: Závislost tloušťky laku (na pozici P₅) na poloměru zaoblení hrany pro díly č.3 až 8 (směr 1)



Graf 16: Závislost tloušťky laku (na pozici P₅) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3 až 8 (směr 2)



Graf 17: Závislost tloušťky laku (na pozici P₅) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3 až 8 (směr 3)



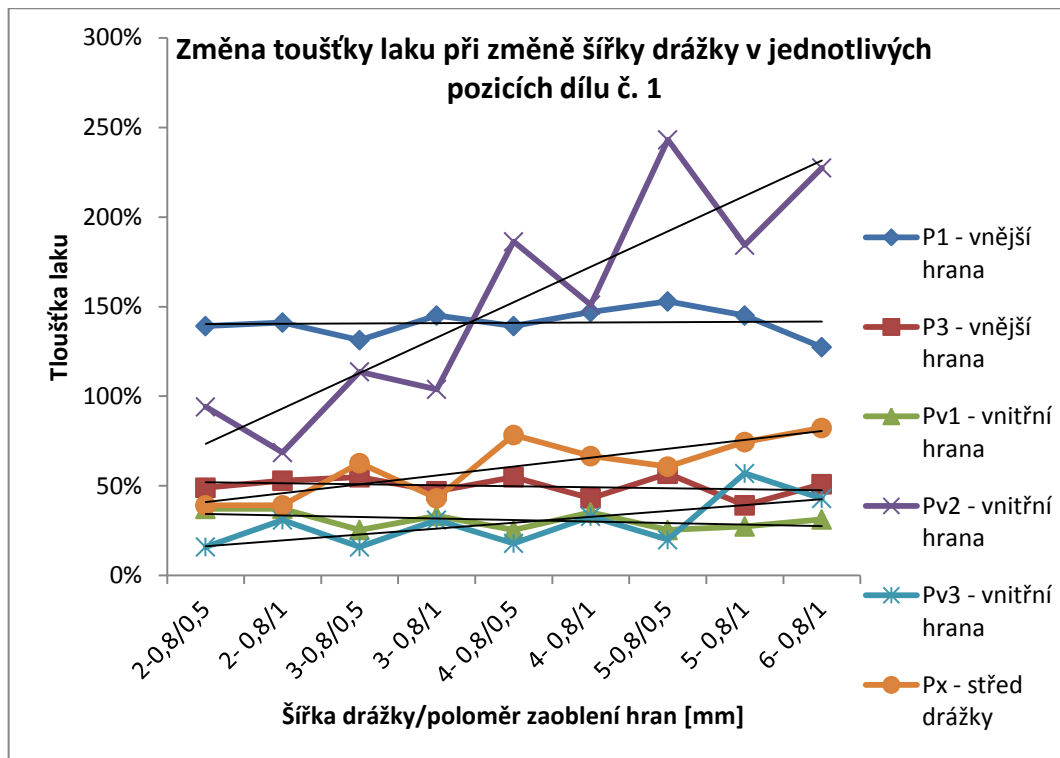
Graf 18: Závislost tloušťky laku (na pozici P₅) na poloměru zaoblení hrany pro díly č. 3 až 8 (směr 4)

Dále si lze všimnout mírně rostoucí tendence křivek ve všech směrech, přičemž nárůst není tak zřetelný jako v případě pozice P₁. Výjimkou je pouze první směr, kde hodnoty pozvolna klesají. To lze přisoudit opět orientaci dílu během lakování a jí zapříčiněnému stékání laku do nižších pozic. Lak, který v tomto případě stekl z vrcholu hrany do pozice P₅ v prvním směru, dále pokračoval do níže položených směrů 3 a 4.

Ve směru 2 však tloušťka laku dosahuje nejmenších hodnot ze všech směrů na otvoru. Příčinu lze přisoudit povrchovému napětí. Vzhledem k horší přístupnosti této pozice, umístěné na vnitřní stěně otvoru, nemuselo být během úpravy povrchového napětí ožehem dílu dosaženo stejných hodnot ve všech místech. Vliv na vzniklou skutečnost však mohli mít i další faktory, jako výskyt studených spojů na pozicích 3 a 4 a podobně.

4.4 ZMĚNA ŠÍŘKY DRÁŽKY

Graf č. 19 znázorňuje průběh hodnot měnící se tloušťky laku v jednotlivých pozicích drážky v závislosti na její šířce. Hodnoty jsou z důvodu přehlednosti grafu znázorněny pouze na jedné polovině drážky (na polovině druhé jsou obdobné). Jedná se o díl č. 1 lakovaný ve svislé poloze.



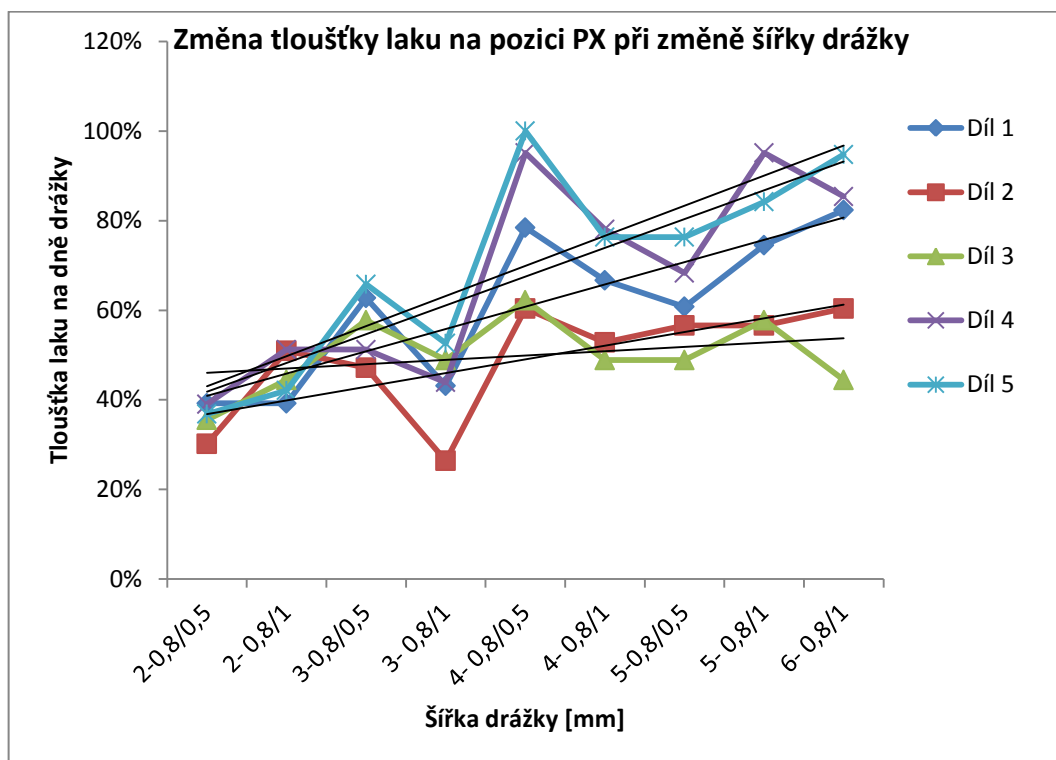
Graf 19: Závislost tloušťky laku (na díle č.1) na šířce drážky / poloměru zaoblení hran

Z grafu vyplývá, že na pozici P_1 , stejně jako v případě kruhových otvorů, docházelo ke shromažďování laku a tím pádem k výskytu jeho nejsilnější vrstvy. Její tloušťku zde znázorňuje tmavě modrá křivka. Podobné výsledky jako u hran kruhových otvorů byly získány i v případě pozice P_3 , která udává hodnotu tloušťky laku na vrcholu vnější hrany. V těchto místech opět docházelo k výraznému poklesu v síle laku (červená křivka). Protože velikost rádiusu zaoblení vnější hrany se v tomto případě neměnila, tak i naměřené hodnoty jsou téměř konstantní.

Na vnitřních hranách byly zjištěny odlišné výsledky. V pozicích P_{v1} a P_{v3} , nacházejících se před a za vnitřní hranou, docházelo k velmi výraznému zeslabení vrstvy laku. Ten se z těchto míst stahoval do pozice P_{v2} , což je vrchol vnitřní hrany. Zde se také tvořila nejsilnější vrstva laku.

Zatímco tloušťka laku se ve všech pozicích s rostoucí šířkou drážky téměř neměnila, u pozic P_{v2} a P_x tomu tak nebylo. Na vrcholu vnitřní hrany (P_{v2}) tloušťka laku s rostoucí šířkou drážky výrazně vzrostla (fialová křivka). Vliv na tento nárůst měla také velikost poloměru zaoblení hrany. V tomto případě platí, že čím menší poloměr zaoblení hrana měla, tím silnější vrstva laku se zde tvořila. Nárůst v síle vrstvy lze vysvětlit tím, že s šířkou drážky se zvětšovalo i množství laku v ní, čímž se ho také větší množství dostalo vlivem povrchového napětí do vnitřních hran drážky. V nejhorším případě zde vrstva laku dosáhla téměř trojnásobku průměrné hodnoty tloušťky na rovné ploše.

K nárůstu v síle laku docházelo také ve středu dna drážky na pozici P_x (oranžová křivka). Závislost tloušťky laku na šířce drážky v této pozici znázorňuje graf č. 20. Lze si z něho povšimnout velmi podobného průběhu hodnot u všech naměřených dílů. Změřená data začínají vždy mezi 30 až 40 % průměrné tloušťky laku na rovné ploše zkoumaného dílu a dále pak narůstají do hodnot blízkých se právě této průměrné tloušťce. Strmost jejich nárůstu se u různých dílů liší, což lze připsat odlišným podmínkám během jejich lakování.



Graf 20: Závislost tloušťky laku na dně drážky dílů č. 1 až 5 na šířce drážky

Lze předpokládat, že pokud by byla drážka ještě širší, hodnoty v jejím středu by dosáhly až průměrné tloušťky naměřené na rovné ploše dílu. Na této hodnotě by se nárůst pravděpodobně zastavil. Paradoxně největší hodnoty však v tomto případě nebyly naměřeny na dně nejširší drážky, ale v drážce široké 4 mm s poloměrem zaoblení hran 0,8 mm na vnější a 0,5 mm na vnitřní hraně. K tomuto paradoxu došlo v případě všech dílů.

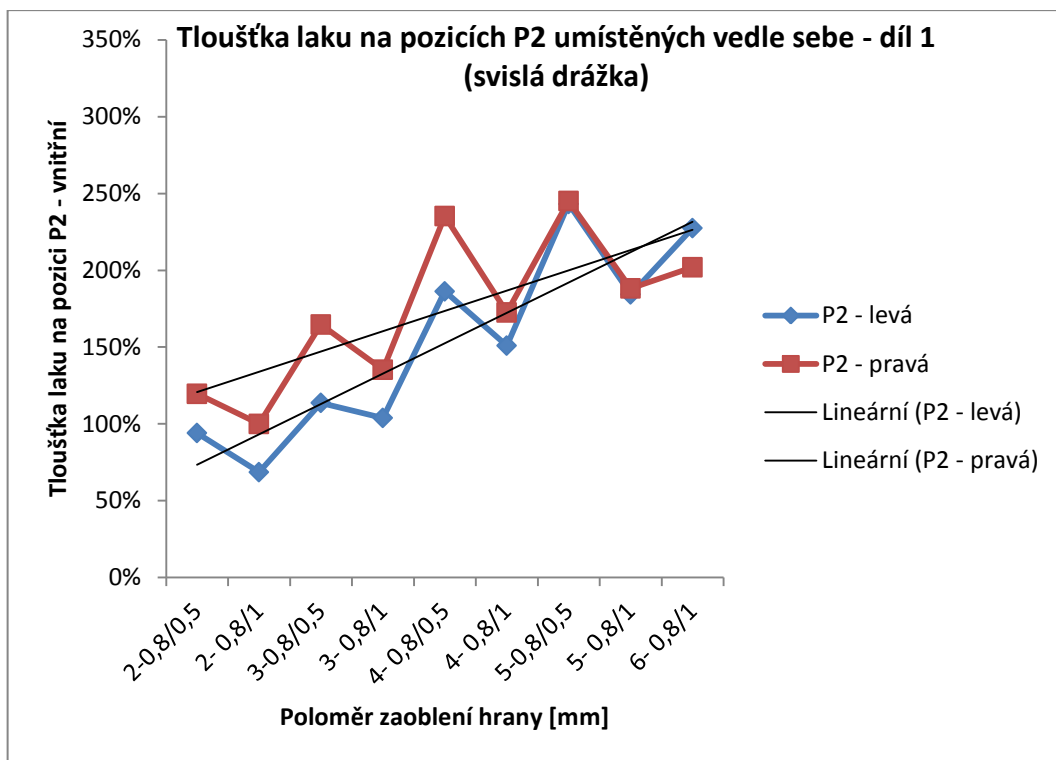
Shrnutím lze tedy říci, že šířkou drážky byla ovlivněna tloušťka laku na pozicích P_{v2} a P_x . Čím širší drážka byla, tím větší tloušťky dosáhla vrstva laku na jejím dně (pozice P_x). Nárůst lze předpokládat až do hodnoty průměrné tloušťky laku na rovné ploše. Z důvodu absence dostatečně široké drážky toho však nebylo dosaženo. S rozšiřující se drážkou rostla síla laku také na pozicích umístěných na vnitřních hranách (P_{v2}). Po dosažení šířky drážky 4 mm v tomto místě tloušťka laku překonala hodnoty naměřené na pozici P_1 nad vnější hranou.

Pozn.:

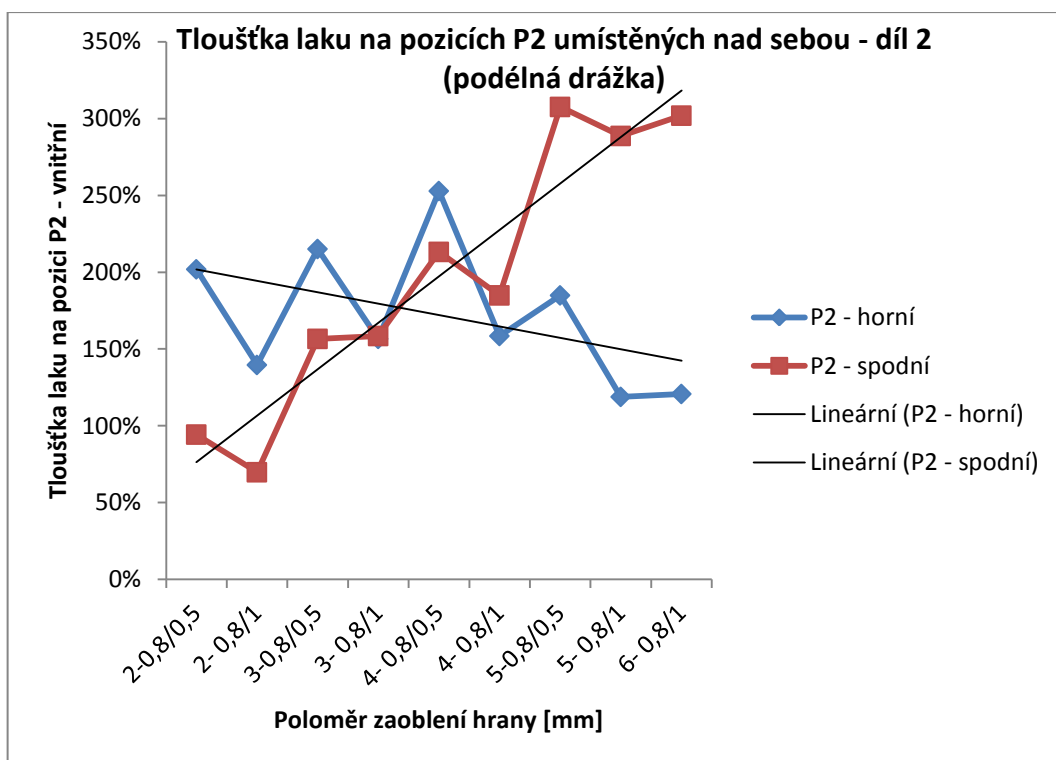
„Cik-cak“ průběh křivek byl způsoben střídavou změnou poloměru zaoblení vnitřních hran. Velikostí rádiusu byla ovlivněna samotná šířka drážky, ale také velikost povrchového napětí na hraně.

4.5 ZMĚNA ORIENTACE DÍLU BĚHEM JEHO LAKOVÁNÍ

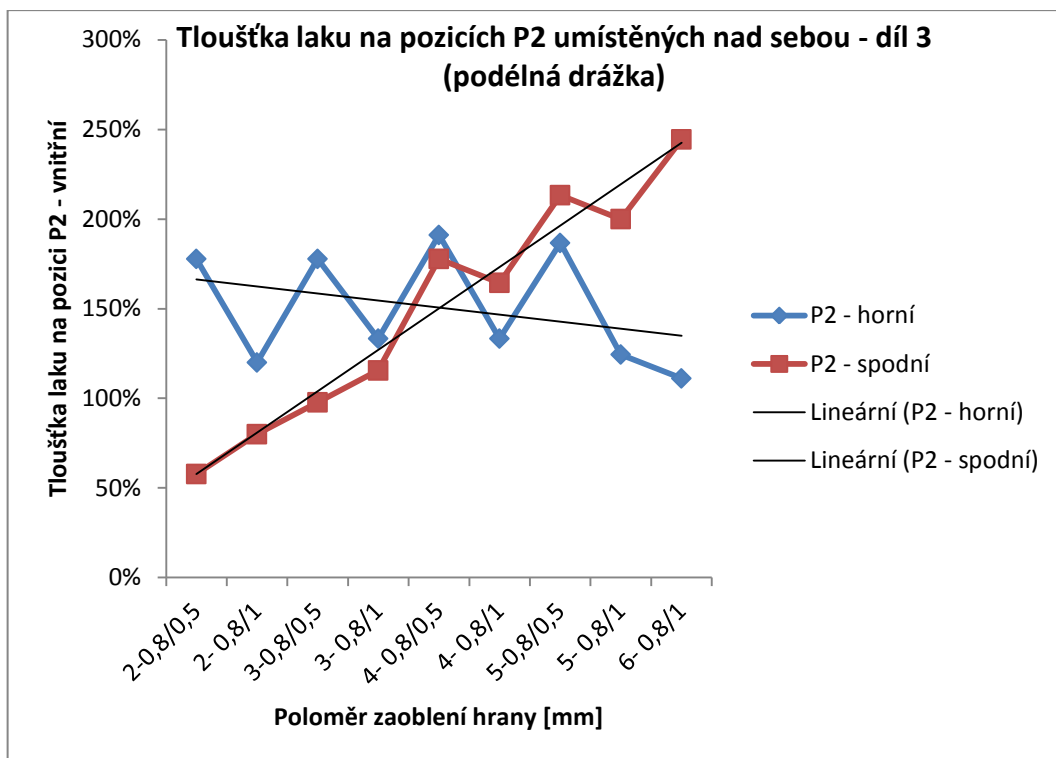
Vliv orientace dílu během lakovacího procesu na získanou vrstvu laku na hranách byl prokázán už v předešlých kapitolách. Samostatně byl tento faktor zkoumán na drážkách ve zkušebních dílech č. 1 až 5. Ve všech případech byly desky lakovány ve vertikální poloze. Drážky v nich byly během lakování směřovány vodorovně – tj. rovnoběžně se směrem lakování. Pouze v případě prvního dílu byla deska pootočena o 90° . Drážky v ní tak směřovaly kolmo na směr lakování, a tedy svisle vůči zemi. Hodnoty naměřené v místě s nejsilnější vrstvou laku (pozice P_{v2}) pro jednotlivé díly jsou znázorněny v grafech 21 až 25. Modrá křivka zde náleží výše položeným pozicím a křivka červená pozicím pod nimi. Výjimkou je tedy pouze první díl, kde byly tyto pozice díky natočení desky umístěny ve stejné výšce.



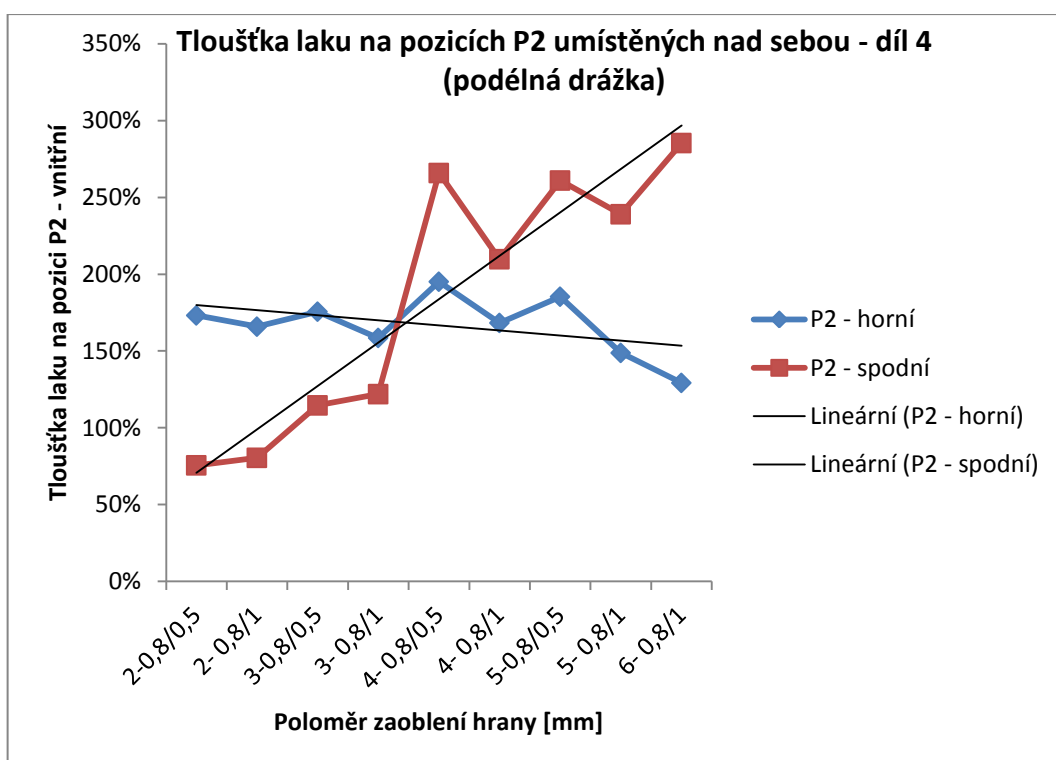
Graf 21: Závislost tloušťky laku (pozice P_2 – vnitřní) na poloměru zaoblení hrany pro obě strany drážek dílu č. 1



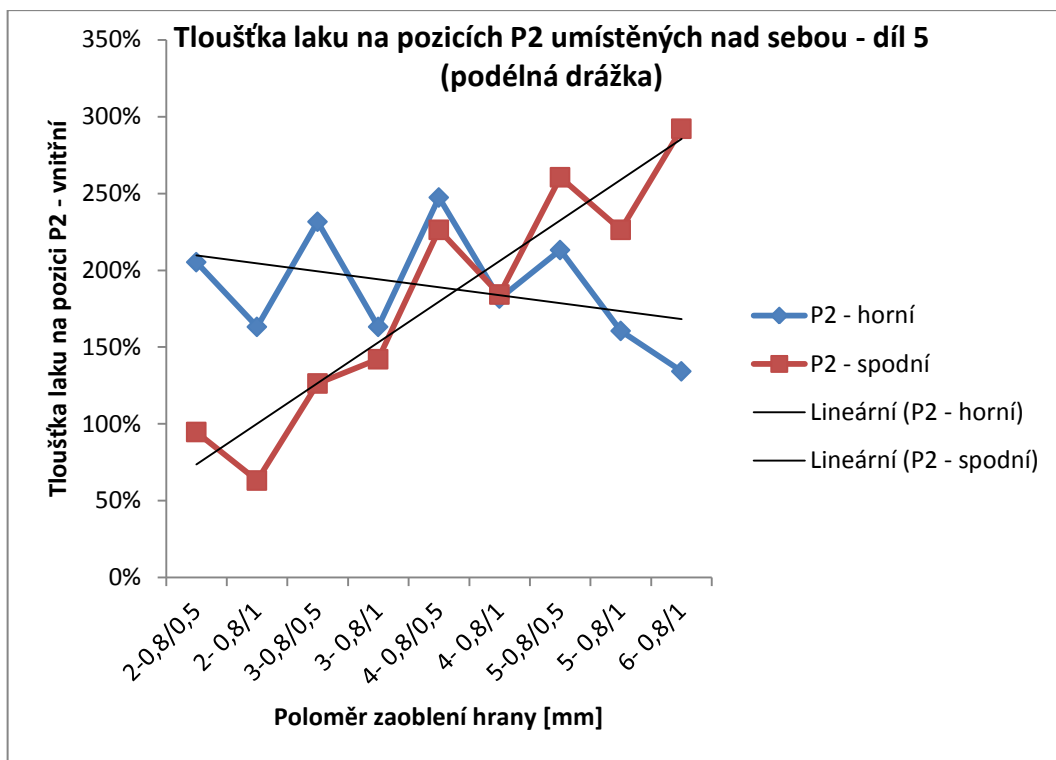
Graf 22: Závislost tloušťky laku (pozice P_2 – vnitřní) na poloměru zaoblení hrany pro obě strany drážek dílu č. 2



Graf 23: Závislost tloušťky laku (pozice P_2 – vnitřní) na poloměru zaoblení hrany pro obě strany drážek dílu č. 3



Graf 24: Závislost tloušťky laku (pozice P_2 – vnitřní) na poloměru zaoblení hrany pro obě strany drážek dílu č. 4



Graf 25: Závislost tloušťky laku (pozice P_2 – vnitřní) na poloměru zaoblení hrany pro obě strany drážek dílu č. 5

Při pohledu na grafické znázornění srovnávaných hodnot si lze povšimnout odlišnosti grafu 21 od ostatních grafů. Hodnoty tloušťky laku na obou hranách v něm s rozšiřující se drážkou stoupají téměř rovnoměrně a končí na hodnotách nižších než v ostatních případech. Důvodem je lakování tohoto dílu v poloze, ve které byly drážky orientovány svisle a zkoumané pozice tak byly ve stejné výšce.

Hodnoty naměřené na dílech 2 až 5 jsou znázorněny v grafech 22 až 25. Lze si z nich povšimnout, že v nejužší drážce byla vždy silnější vrstva laku tvořena na výše položené hraně. S rozšiřující se drážkou však tato hodnota klesala, zatímco tloušťka laku ve spodní poloze rostla. Zhruba stejných hodnot tloušťka laku na obou hranách dosáhla při šířce drážky 4 mm. Jedná se o šířku, o které lze říci, že při ní orientace dílu nebude mít vliv na rovnoměrnost tloušťky laku na vnitřních hranách v drážce.

Orientaci dílu během lakování tedy lze přisoudit významný vliv na tloušťku i rovnoměrnost vrstvy laku na zaoblených hranách.

5 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo prozkoumat vliv geometrie plastového dílu a procesu lakování na výsledné vlastnosti nalakovaného dílu. Práce byla zaměřena na zkoumání vlivu velikosti rádiusu na zaoblené hraně dílu na proměnlivost zde získané tloušťky laku, od které se odvíjí některé funkční i estetické vlastnosti laku. Výroba vzorků, jejich lakování i zkoumání za pomoci mikroskopické metody byly provedeny v Libereckém závodě společnosti Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o.

V teoretické části práce byl proveden základní popis plastů a jejich uplatnění v automobilovém průmyslu. Dále v této kapitole byla popsána problematika povrchových úprav a s nimi související pojmy jako adheze, smáčivost a povrchové napětí. Následně zde byly jmenovány možnosti úpravy povrchového napětí a konečně také jednotlivé metody povrchových úprav, přičemž největší část byla věnována právě lakování. V poslední části této kapitoly byla popsána mikroskopická metoda určená k měření tloušťky tenkých vrstev.

V experimentální části práce byl v několika podkapitolách popsán celý proces získávání konkrétních hodnot tloušťky laku na hranách s různým poloměrem zaoblení. První část byla věnována výběru a popisu zvolené měřicí metody, dále zde byl popsán návrh a výroba vhodných zkušebních dílů, volba laku a jejich následné lakování. Byla zde definována a pojmenována místa, ve kterých proběhlo měření, jehož popis následoval poté. Všechny získané hodnoty jsou zde zaznamenány ve schématech hran, následně přepočítány do procentuálního tvaru vztaženého k průměrné síle a zapsány do přehledných tabulek.

Za pomoci získaných dat byl prokázán velmi výrazný vliv velikosti rádiusu na hraně plastového dílu na zde vzniklou vrstvu laku. Její tloušťka byla v těchto místech značně nerovnoměrná a to v případě vnějších i vnitřních hran. Důsledkem této nerovnoměrnosti byl vznik estetických vad lakovaných dílů, jako je prosvítání základního materiálu, vady v lesku a rozdílný odstín barvy v různých místech. Narušena byla také ochranná funkce laku. Bylo prokázáno, že vlivem zmenšujícího se poloměru zaoblení vnější hrany dochází k zeslabování vrstvy laku na jejím vrcholu, a naopak k jeho hromadění v oblastech před a za hranou. V případě vnitřní hrany tomu bylo přesně naopak. Tloušťka laku zde se zmenšujícím se poloměrem zaoblení vzrůstala na úkor okolních oblastí. Rozdíly

v tloušťce laku změřené v těchto kritických místech činily v nejméně příznivých případech i několik set procent. Vrstva v nejslabším místě na vnější hraně zaoblené pod poloměrem 0,2 mm byla silná necelých 20 % tloušťky laku změřené na rovné ploše. Před hranou pak její síla vzrostla na více než 200 % této hodnoty. V případě vnitřní hrany pak při velikosti rádiusu 0,5 mm zde získaná vrstva téměř dosáhla 300 % průměrné tloušťky na rovné ploše. Získané hodnoty z různých směrů na hranách byly odlišné. Důvodem byl výrazný vliv orientace dílů během jejich lakování, ke kterému se přidaly další faktory jako rozdílnost povrchového napětí, výskyt studených spojů apod.

Dále byla zkoumána možnost ovlivnění vzniku takto nerovnoměrných vrstev za pomoci změny typu laku a lakovací metody. Bylo prokázáno, že v případě užití laků o různé viskozitě dochází ke stejným změnám v tloušťce získané vrstvy na hranách. V případě viskóznějších laků je však tato vrstva rovnoměrnější a rozdíly nejsou tak velké. Možnost ovlivnění vzniku nerovnoměrně silné vrstvy laku za pomoci změny lakovací metody se prokázat nepodařilo.

Poslední část práce byla zaměřena na průzkum vlivu šířky drážky na vrstvu laku na jejích zaoblených hranách i dně. Výsledkem bylo zjištění, že ovlivňuje tloušťku této vrstvy na vnitřních hranách a na dně drážky, přičemž hodnoty rostou se šířkou drážky. Také v této části byly získané hodnoty výrazně ovlivněny orientací dílu během lakovacího procesu. Byla zde objevena taková šířka drážky, při které orientace dílu nezpůsobuje rozdílnou tloušťku laku na vnitřních hranách.

Získané výsledky jsou vhodné pro průmyslovou praxi v oblasti lakování plastových dílů. Na jejich základě lze říci, že při konstrukci plastových dílů určených k lakování je vhodné vyvarovat se ostrým hranám a nedostatečnému poloměru jejich zaoblení. Při lakování takovýchto dílů je pak vhodné upřednostňovat laky o vyšší viskozitě. Na zvolené lakovací metodě přitom nezáleží. Je však třeba hlídat orientaci dílů během procesu a počítat s případnými vzniklými nedostatky zapříčiněnými tímto i dalšími faktory.

Práci by však bylo možné dále rozšířit. Zkoumat by se dalo širší spektrum poloměrů zaoblení hran a zjistit tak přesnou hranici, kdy dochází k ovlivnění vrstvy laku vlivem tohoto zaoblení. Pro určité typy laků by bylo možné odvodit vzorce pro výpočet síly laku v kritických místech. Zkoumat by se dal také vliv dalších faktorů.

Seznam použité literatury

- [1] Informace o společnosti. *Magnabohemia.cz* [online]. [cit. 2017-05-10].
Dostupné z: <http://www.magnabohemia.cz/>
- [2] **BĚHÁLEK, Luboš**. *Polymery*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-88058-68-7.
- [3] Studijní materiály. *Ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c1/ZPL1.pdf
- [4] **LENFELD, Petr**. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-467-2.
- [5] Plasty v automobilovém průmyslu. *MMspektrum.com* [online].
MM publishing, s. r. o., 2013 [cit. 2016-08-18]. ISSN 1212-2572. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-v-automobilovem-prumyslu.html>
- [6] Výroba automobilů. *is.muni.cz* [online]. [cit. 2016-08-18]. Dostupné z:
<https://is.muni.cz/do/ped/kat/fyzika/autem/pages/vyroba.html>
- [7] Plasty a CAD / CAM / CNC. *Cad.cz* [online]. 2008 [cit. 2017-05-10].
Dostupné z:
<https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1477-plasty-a-cadcam.html>
- [8] **BERINS, Michael L**. *Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry, Inc*. 5th Ed. New York: Chapman and Hall, 1991. ISBN 0-412-99181-0.
- [9] **DOUBEK, Pavel a Michaela KOLNEROVÁ**. *Základy technologie lepení karosářských výlisků*. Liberec: Technická univerzita, 2014. ISBN 978-80-7494-170-2.
- [10] Úprava povrchu pomocí korony. *Lontech.cz* [online]. 2005 [cit. 2016-08-18].
Dostupné z: <http://www.lontech.cz/files/novinky/uprava-povrchu-folie-koronou.pdf>
- [11] Encyklopedie fyziky. *Fyzika.jreichl.com* [online]. [cit. 2017-05-17].
Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/641-povrchove-napeti>
- [12] **WU, Souheng**. *Polymer interface and adhesion*. New York: M. Dekker, c1982. ISBN 0824715330.
- [13] Netoxické testovací fixy a barvy. *Ekomaziva.cz* [online]. [cit. 2016-08-18].
Dostupné z: <http://www.ekomaziva.cz/file.php?nid=13700&oid=4196794>

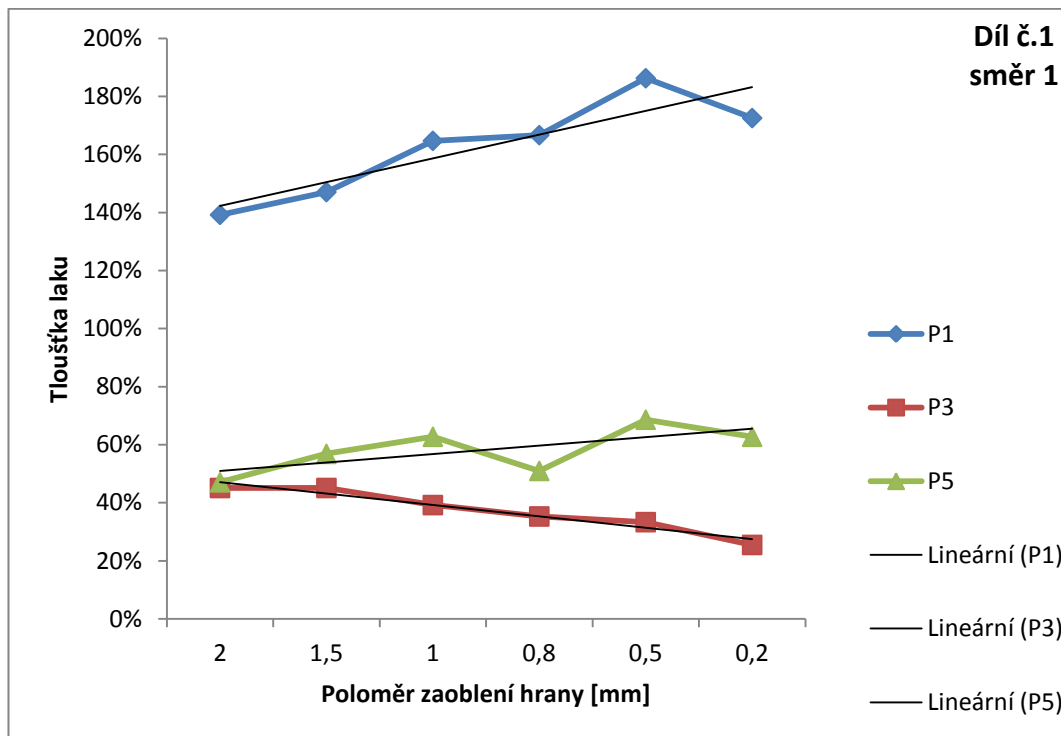
- [14] Nanotechnologie. *Csq.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: http://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Rada_senioru/RS_C SJ_Nanotechnologie.pdf
- [15] Lakování. *Salum.cz* [online]. [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5>
- [16] **Ševšík, Igor.** *Povrchové úpravy plastových dílů pro pokovování* [online]. Brno, 2015. 53 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce David Paloušek [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=3041
- [17] Ožeh, koróna, plazma. *Scbrnoblog.projekty4g.cz* [online]. 2015 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://scbrnoblog.projekty4g.cz/ozeh-korona-plazma/>
- [18] Plasma Processing for Tailoring the Surface Properties of Polymers. *Intechopen.com* [online]. 2015 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/surface-energy/plasma-processing-for-tailoring-the-surface-properties-of-polymers>
- [19] LEŠIKAR, Miloš. Úprava povrchu tiskových materiálů ve flexotisku. *Svettisku.cz* [online]. 2004 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=8404&buxus_svettsku=4f9458973aa2f79bb0fbb43074306e73
- [20] **KRAUS, Václav.** *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [21] Laky na vodní bázi. *Servind.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.servind.cz/laky-na-vodni-bazi>
- [22] Lakovací linky. *Kovolak.cz* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.kovolak.cz/9-lakovaci-linky.html>
- [23] **Ausperger, Aleš.** *Technologie zpracování plastů* [online]. Publi.cz [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/17.html>
- [24] Firemní materiály Magna Bohemia
- [25] Magna. *Geoportal.kraj-lbc.cz* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://geoportal.kraj-lbc.cz/mapserv/ippc/doc/cadence-magna4_1347283990.pdf
- [26] **LENFELD, Petr.** *Technologie vstříkování*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-88058-74-8.

- [27] In-mold labeling and In-mold decorating. *Appliancedesign.com*. [online]. 2014 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z:
http://www.appliancedesign.com/ext/resources/WhitePapers/2014/IML-Labeling_IML-Decorating-White-Paper-v3.pdf
- [28] Flockování – Flock – Flockové Transfery – Parciální flockování tiskovin. *Flocker.cz* [online]. [cit. 2016-08-18]. Dostupné z:
<http://www.flocker.cz/flockovani/>
- [29] **KREBS, Josef**. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Vyd. 3. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3.
- [30] Casemodding: Kompozitní zážrak – laminát. *Pctuning.tyden.cz* [online]. 2008 [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/navody/upravy-modding/12243-casemodding-kompozitni_zazrak-lamina
- [31] Heat and Cool molding technologies at K2013. *Greenmolding.org* [online]. 2014 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z:
<http://greenmolding.org/english/solution/632>
- [32] **Hinzpeter Udo and Wrona Elmar**. *Use of Injection Heating in Plastic Injection molding*. [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z:
<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/13451.pdf>
- [33] **Záhorský, Zbyněk**. *Měření tloušťky vrstev* [online]. Brno, 2008. 37 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Petr Beneš. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=9078
- [34] Koronování. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-08-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Koronov%C3%A1n%C3%AD>

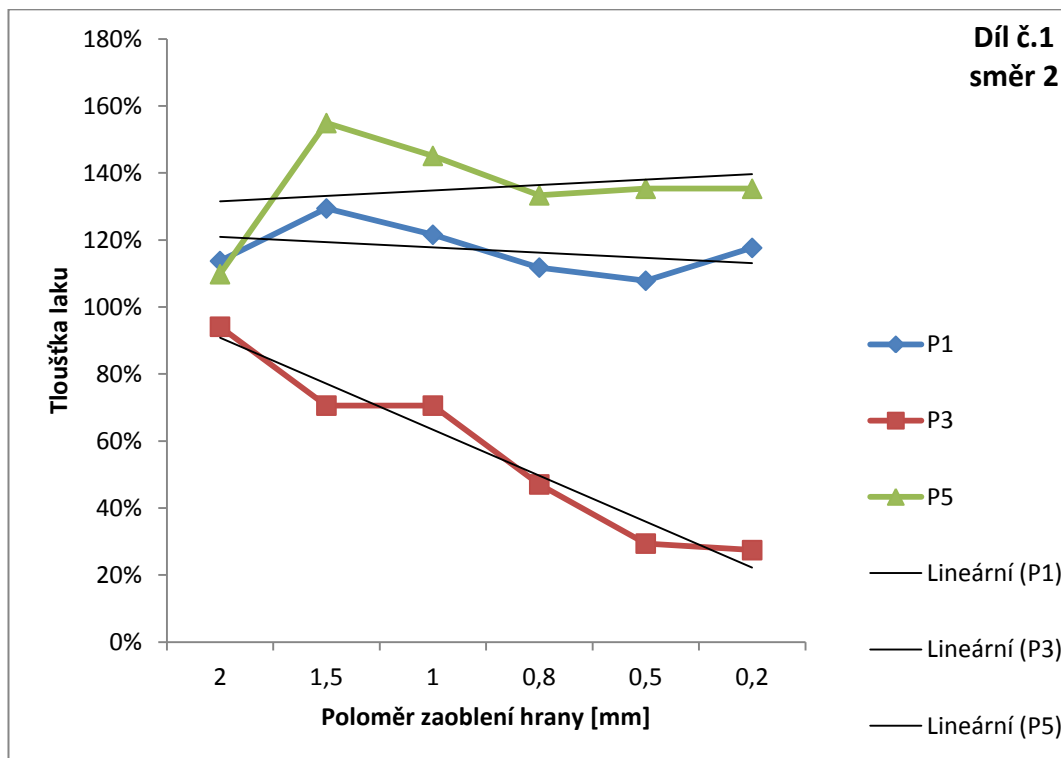
Seznam příloh

Příloha A: Grafické znázornění závislosti tloušťky laku na poloměru zaoblení vnější hrany v jednotlivých pozicích a směrech všech dílů

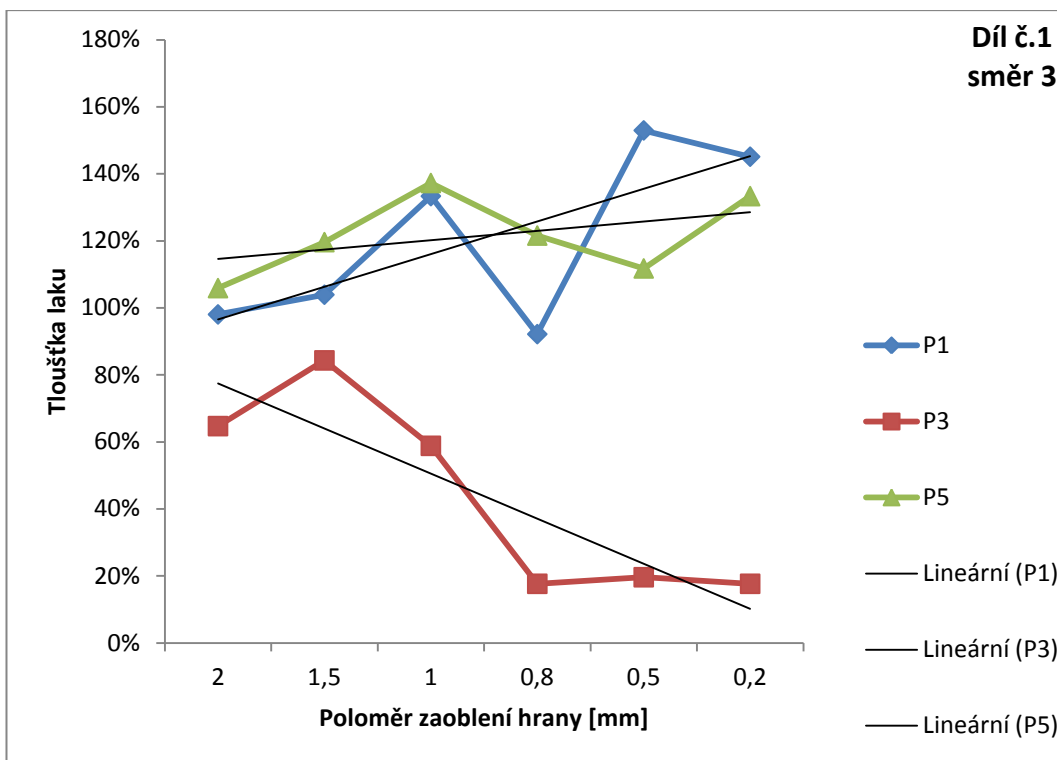
PŘÍLOHA A: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZÁVISLOSTI TLOUŠTKY LAKU NA POLOMĚRU ZAObLENÍ VNĚJŠÍ HRANY V JEDNOTLIVÝCH POZICÍCH A SMĚRECH VŠECH DÍLŮ



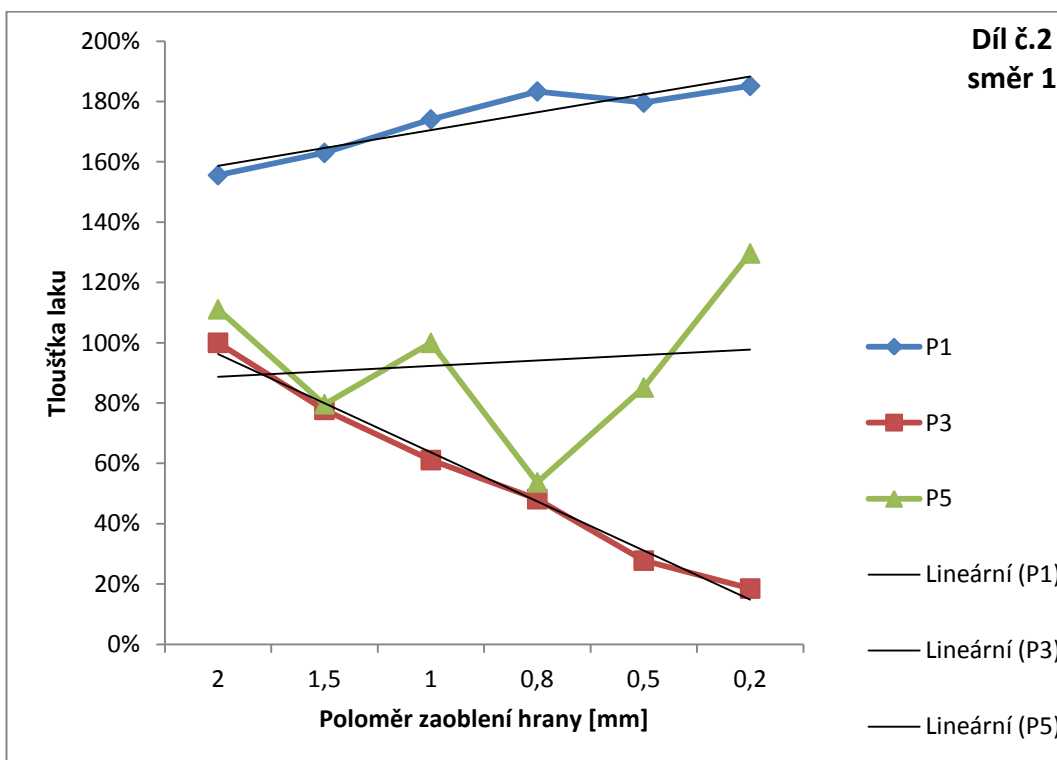
Graf 1: Závislost tloušťky laku (směr 1) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 1



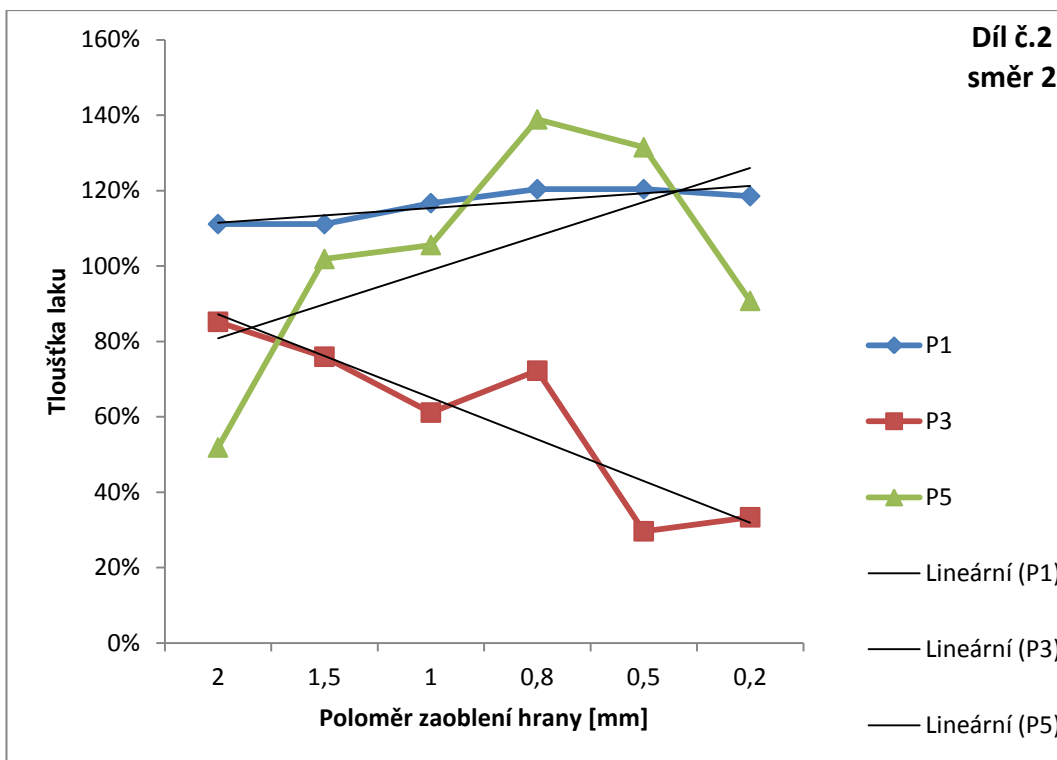
Graf 2: Závislost tloušťky laku (směr 2) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 1



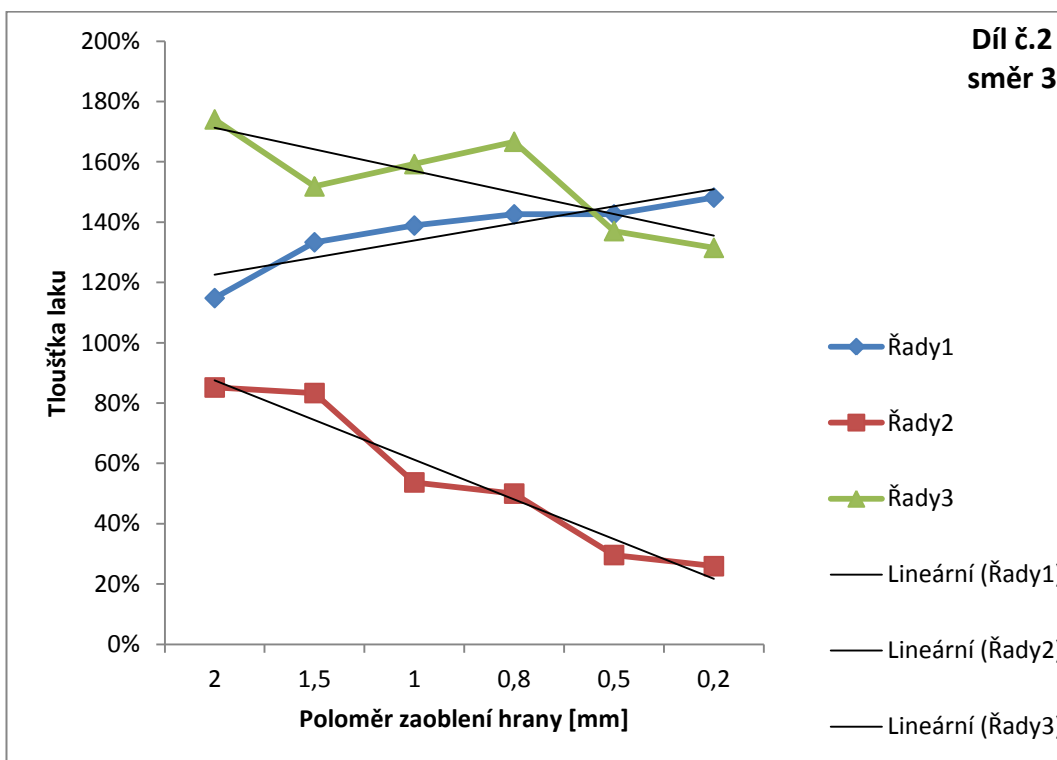
Graf 3: Závislost tloušťky laku (směr 3) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 1



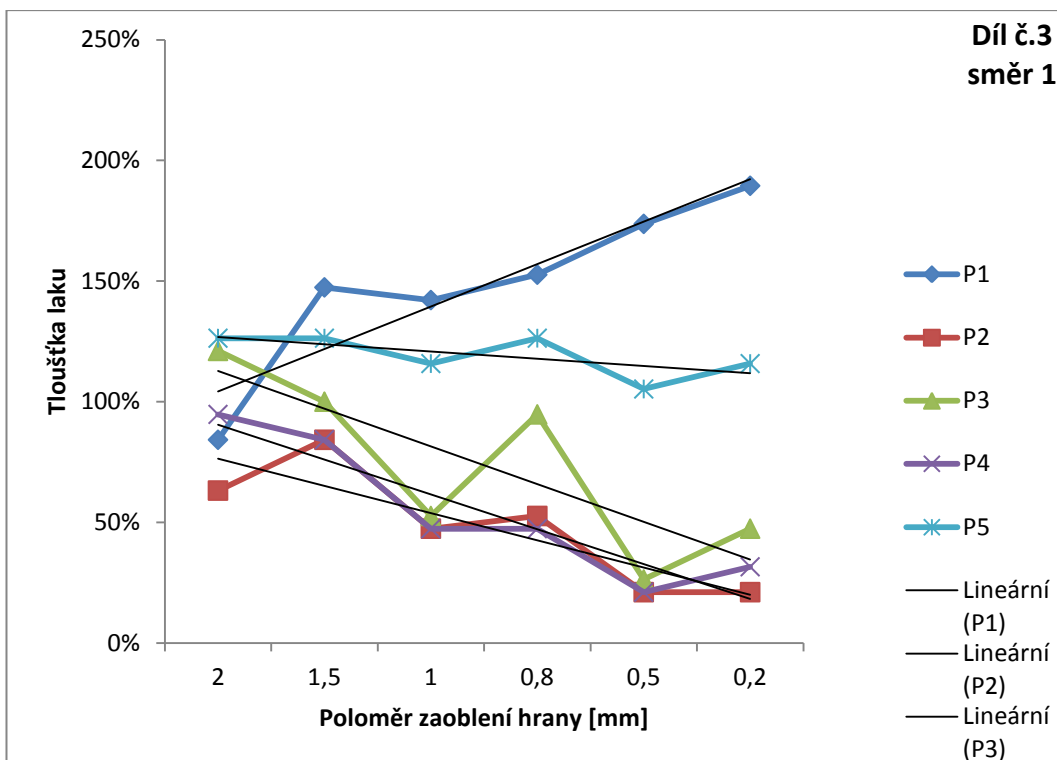
Graf 4: Závislost tloušťky laku (směr 1) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 2



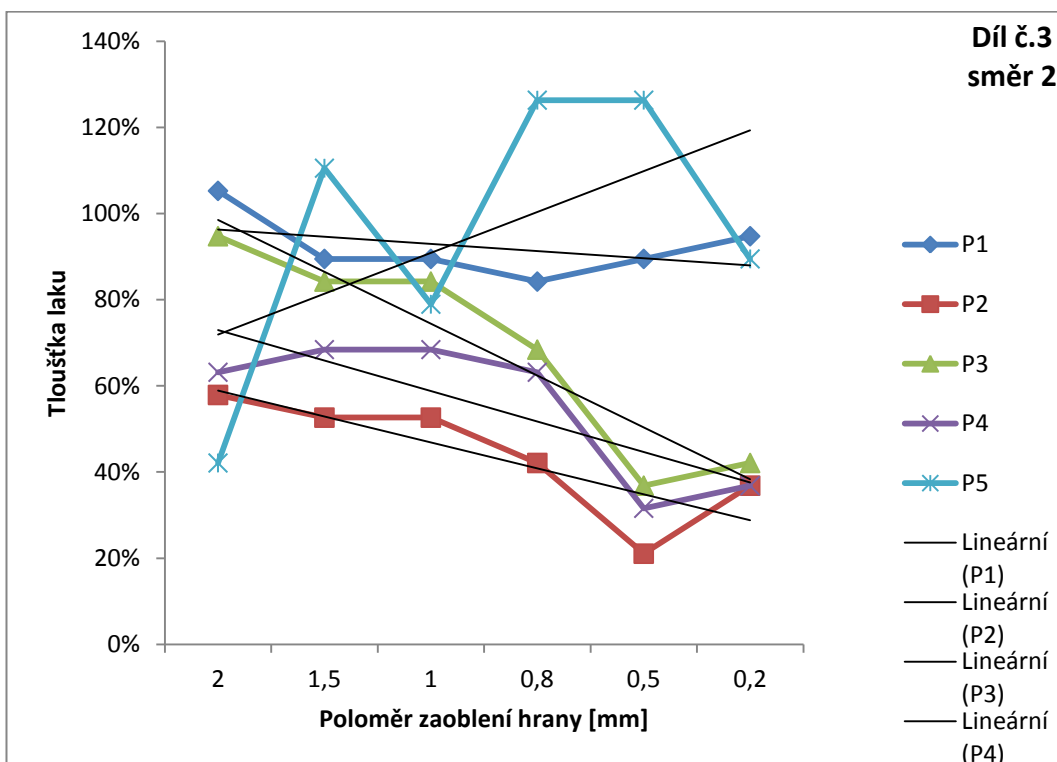
Graf 5: Závislost tloušťky laku (směr 2) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 2



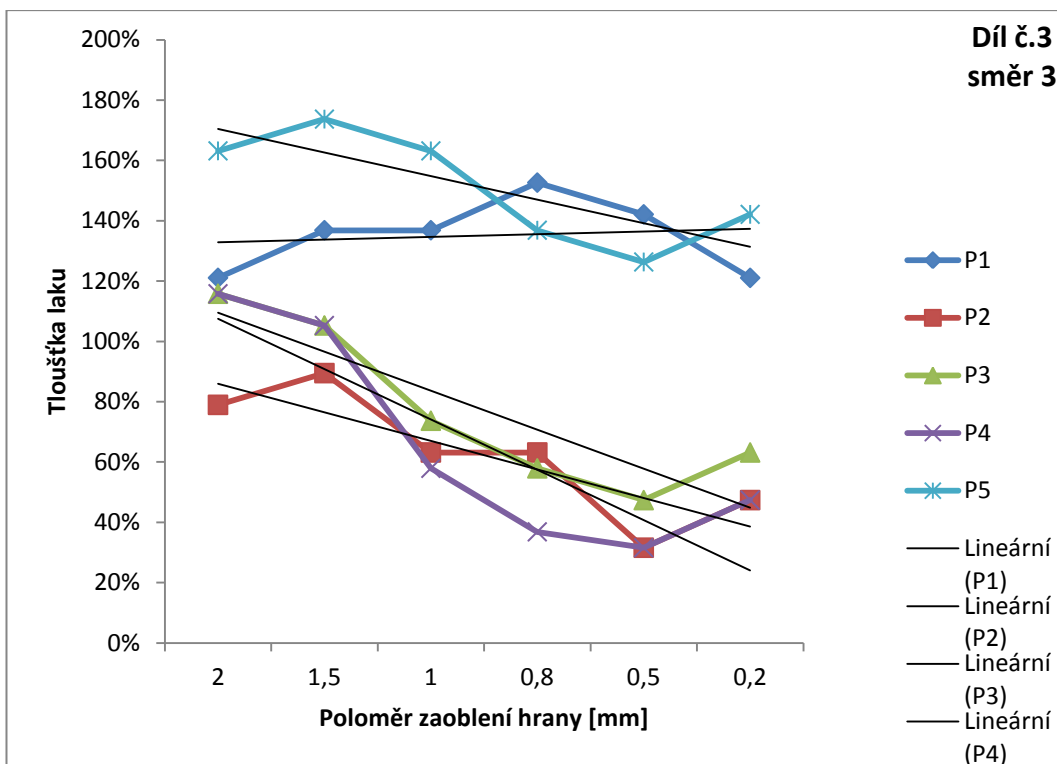
Graf 6: Závislost tloušťky laku (směr 3) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 2



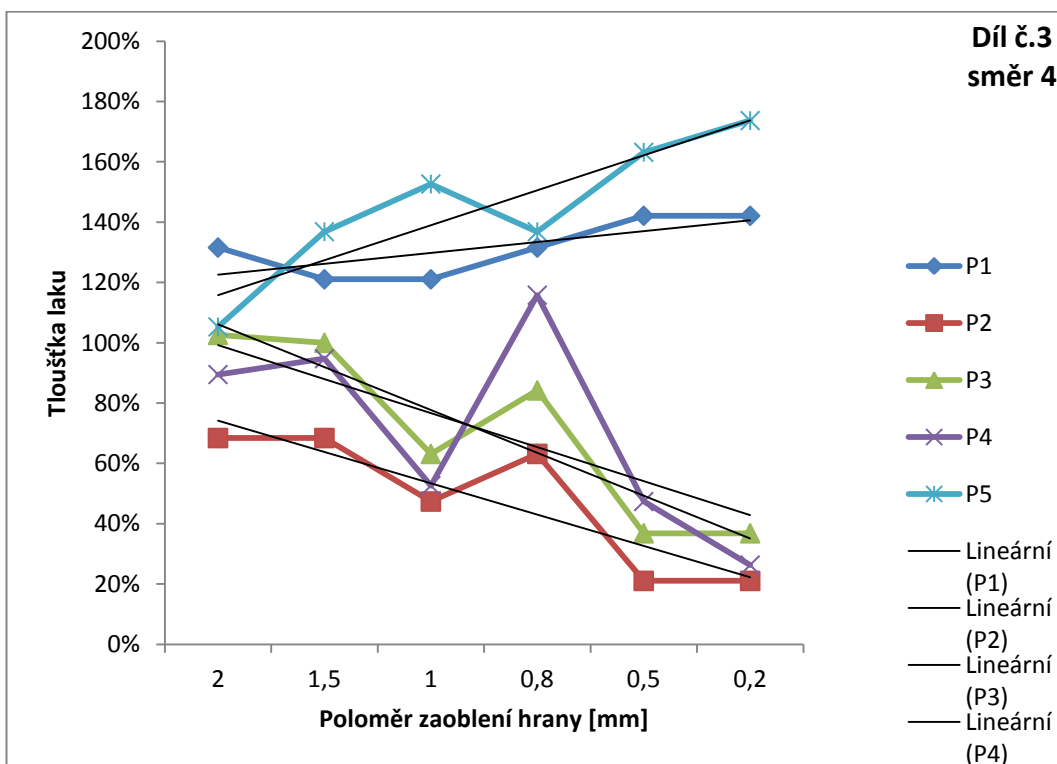
Graf 7 Závislost tloušťky laku (směr 1) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 3



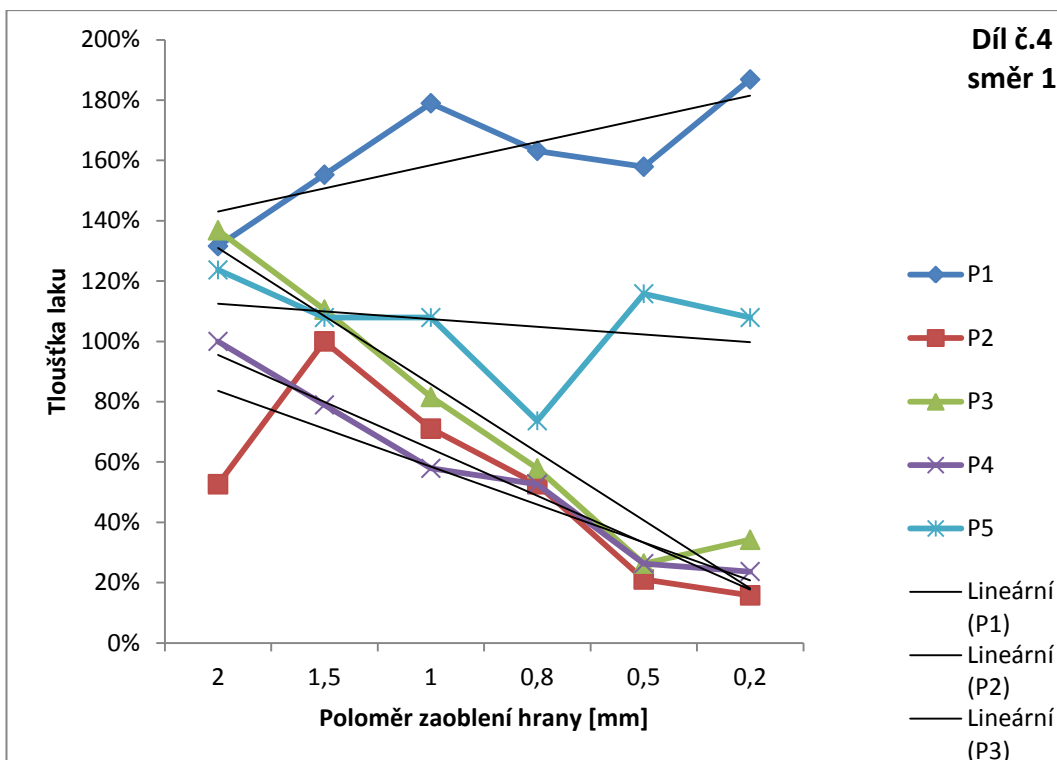
Graf 8: Závislost tloušťky laku (směr 2) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 3



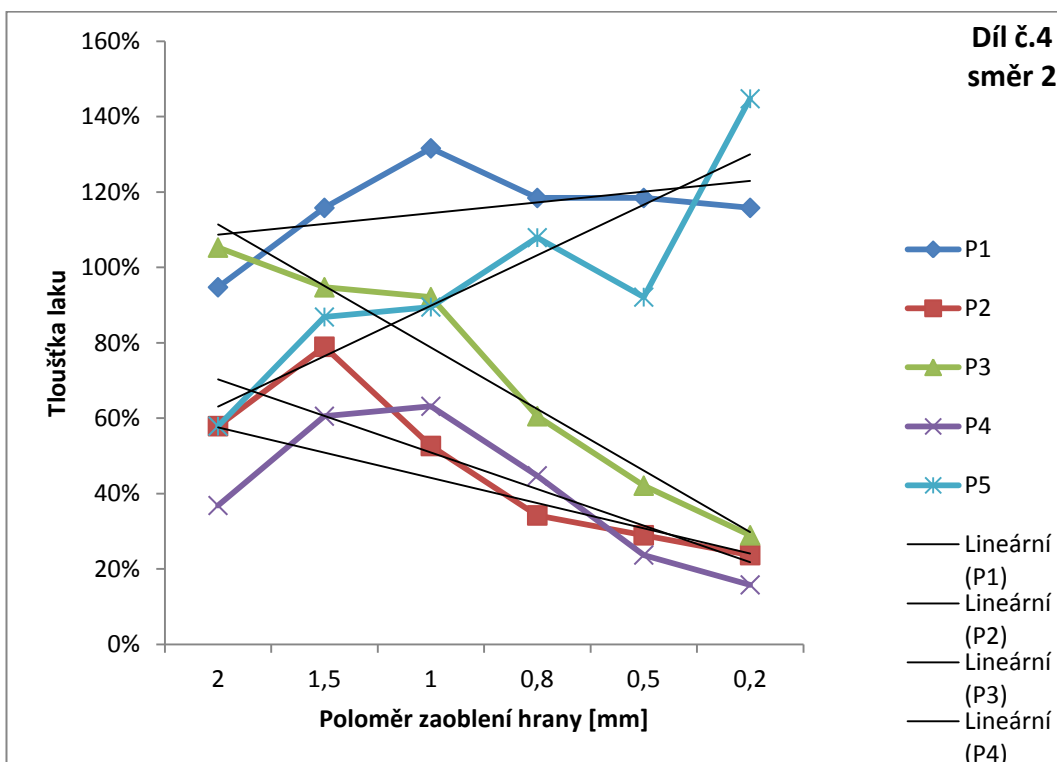
Graf 9: Závislost tloušťky laku (směr 3) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 3



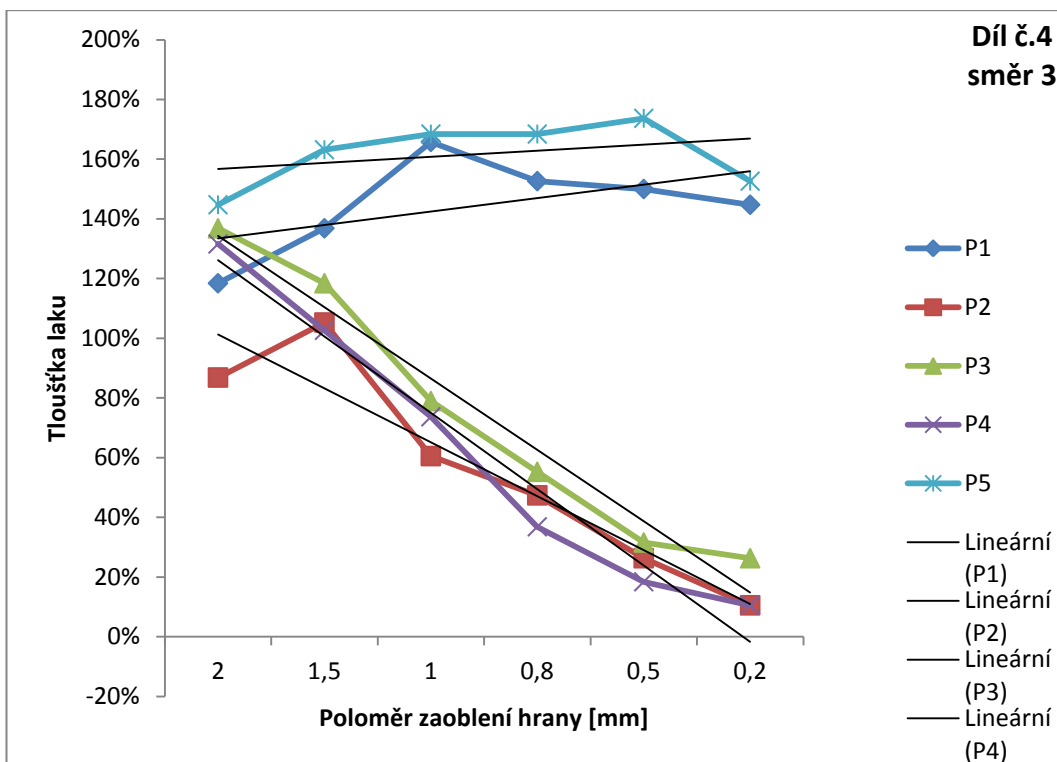
Graf 10: Závislost tloušťky laku (směr 4) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 3



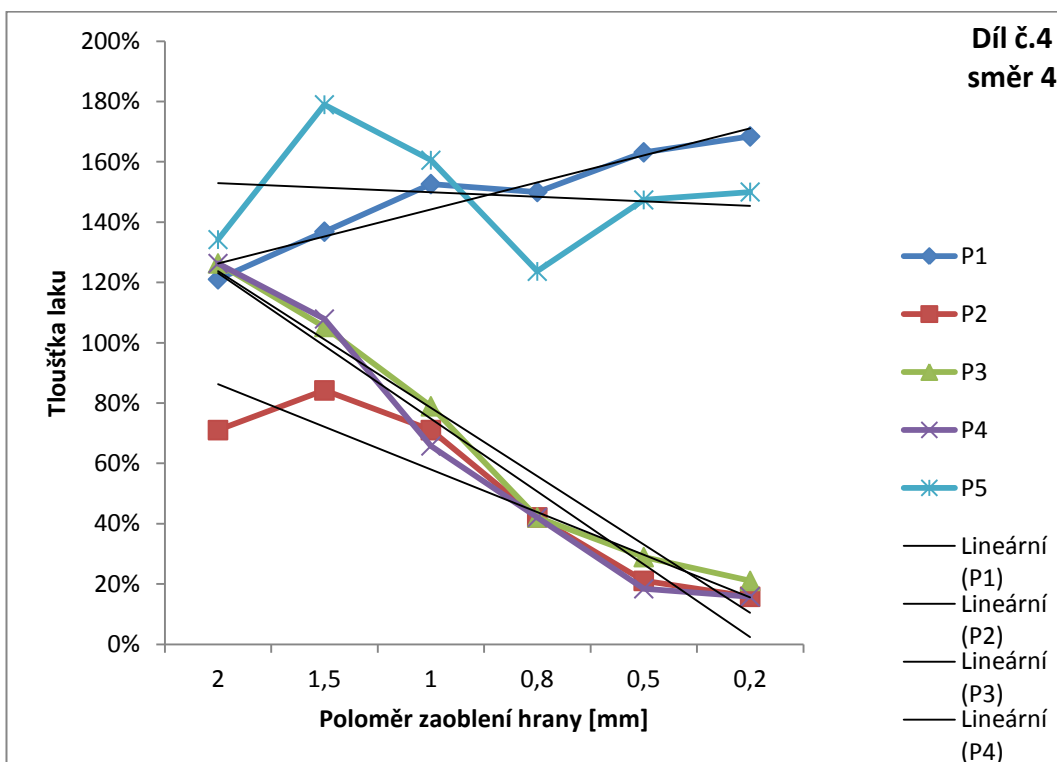
Graf 11: Závislost tloušťky laku (směr 1) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 4



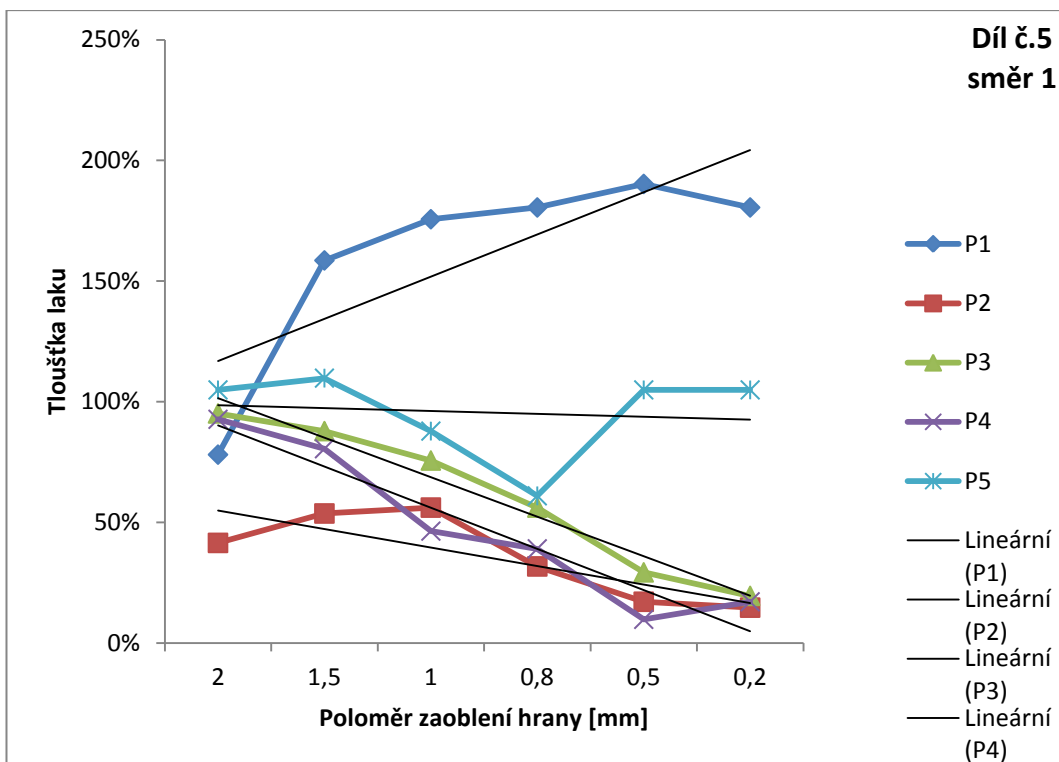
Graf 12: Závislost tloušťky laku (směr 2) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 4



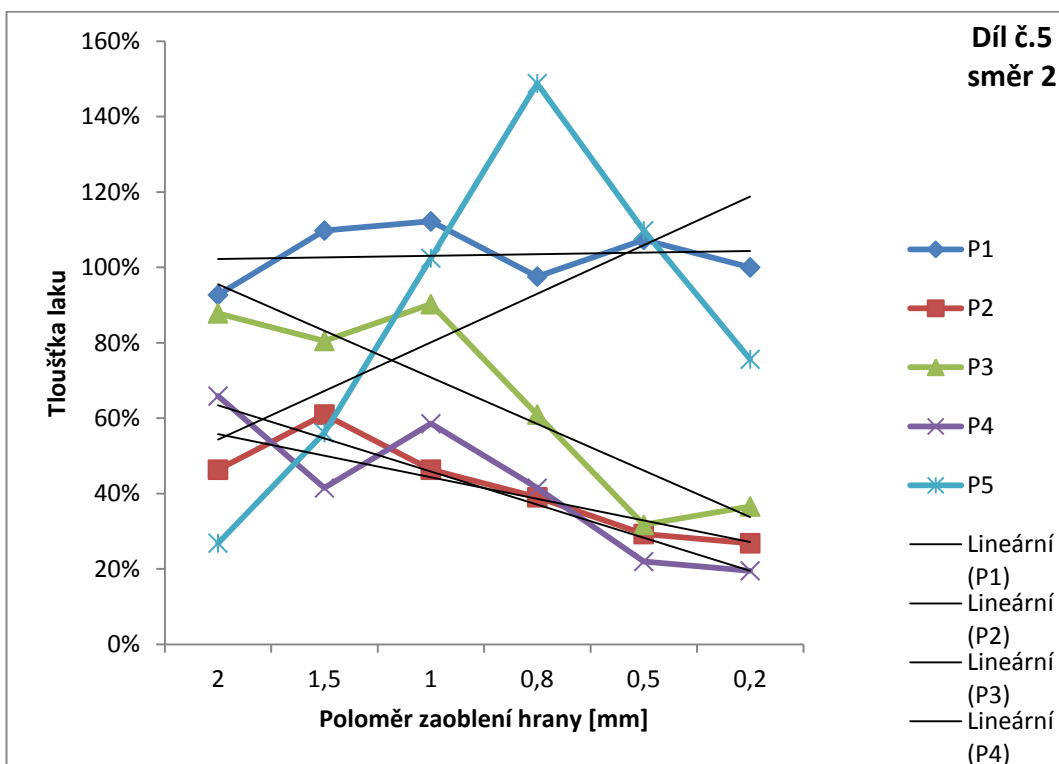
Graf 13: Závislost tloušťky laku (směr 3) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 4



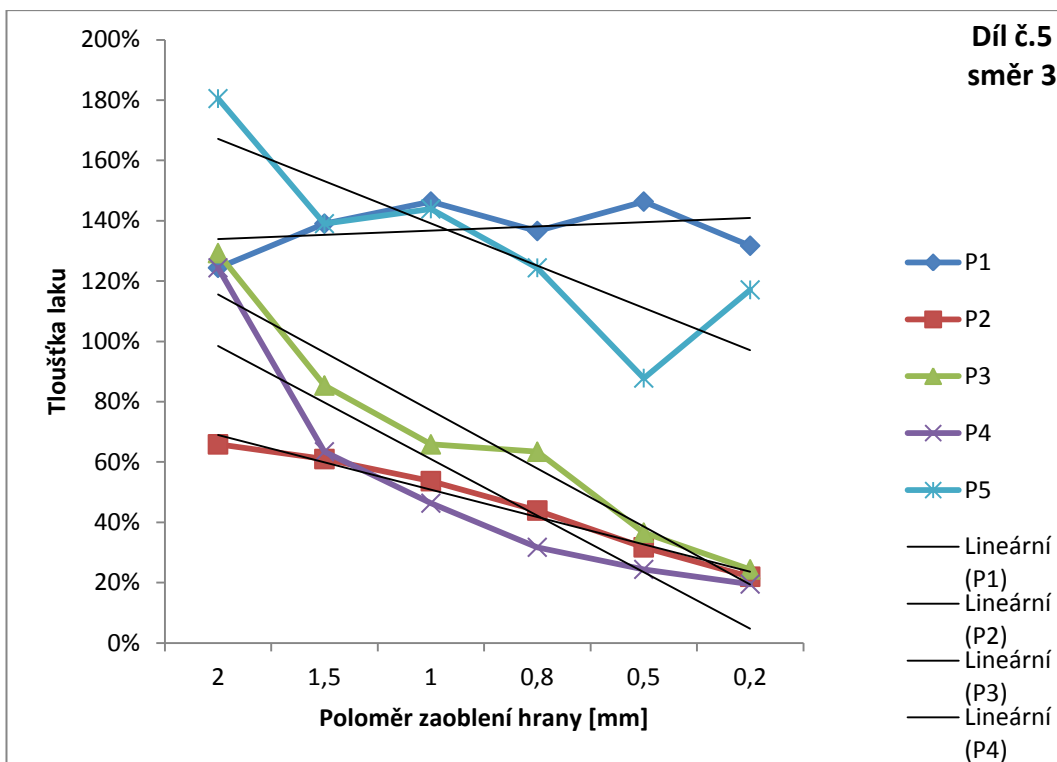
Graf 14: Závislost tloušťky laku (směr 4) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 4



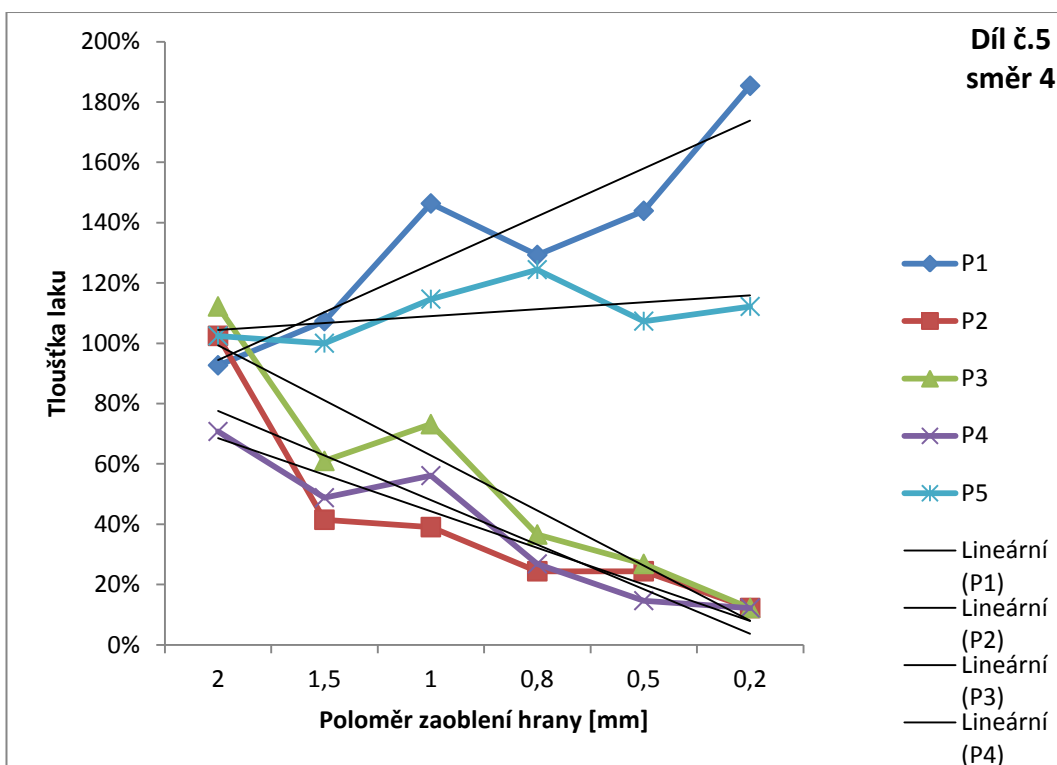
Graf 15: Závislost tloušťky laku (směr 1) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 5



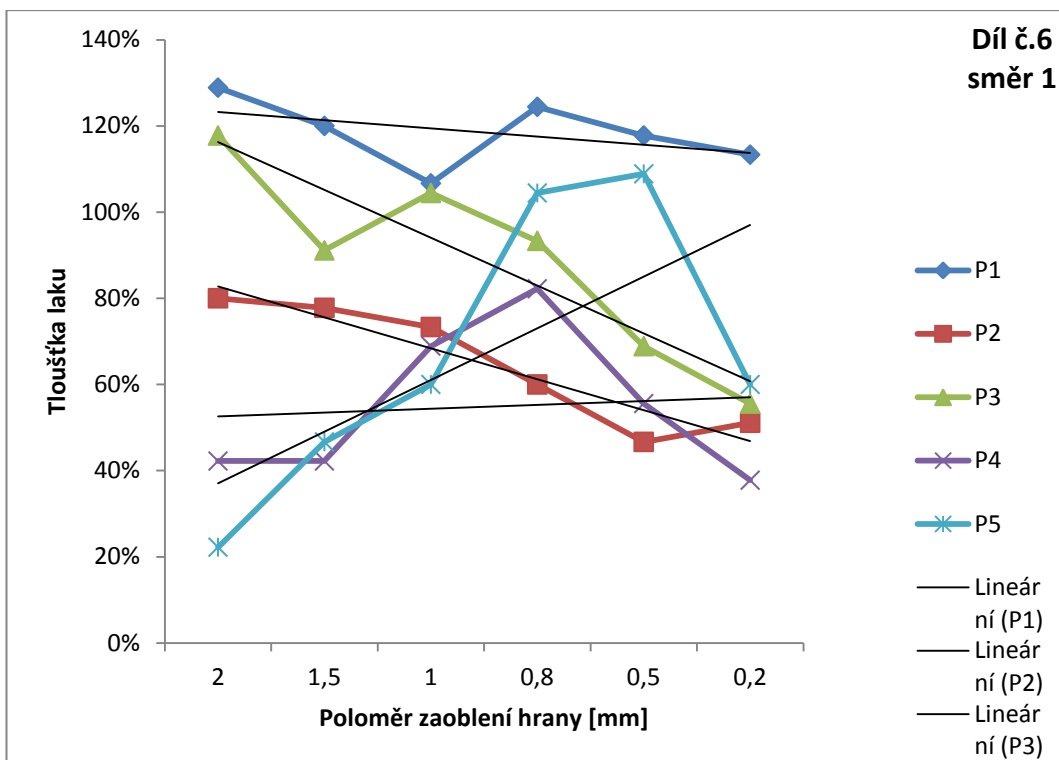
Graf 16: Závislost tloušťky laku (směr 2) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 5



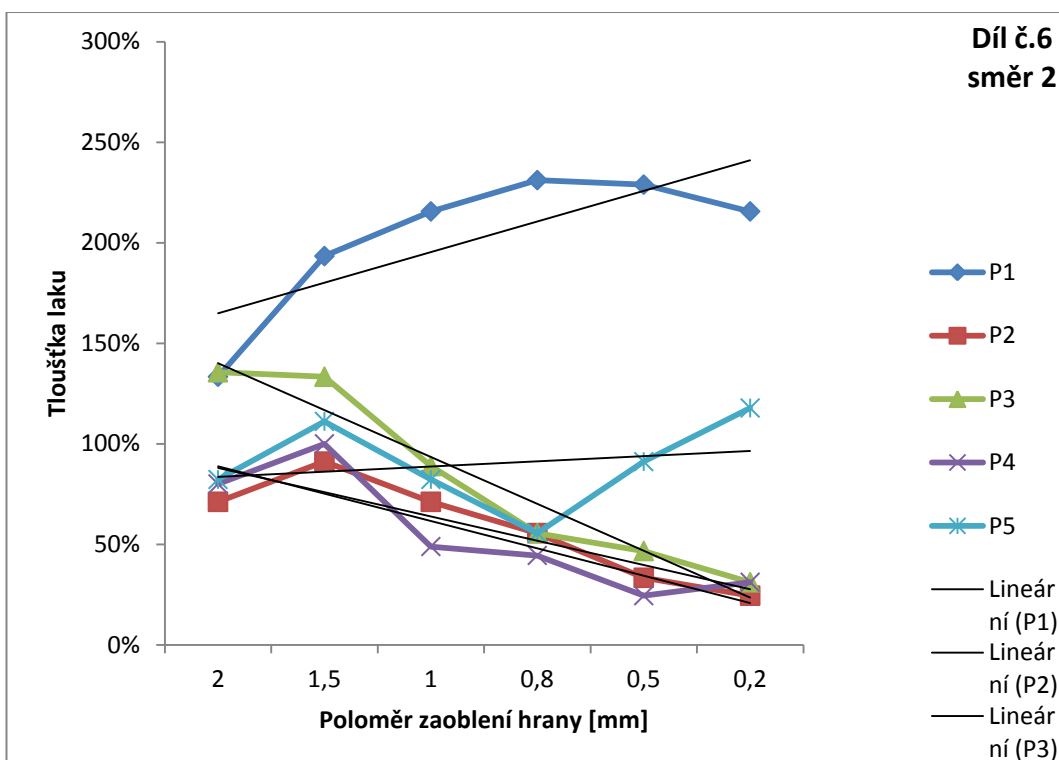
Graf 17: Závislost tloušťky laku (směr 3) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 5



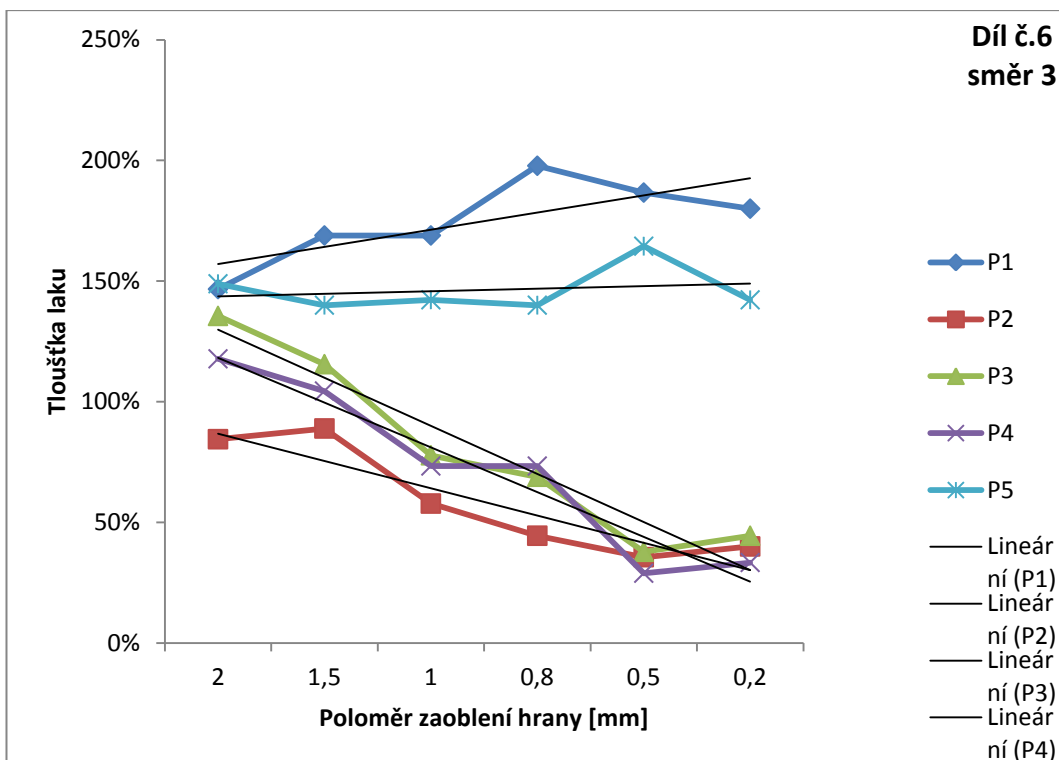
Graf 18: Závislost tloušťky laku (směr 4) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 5



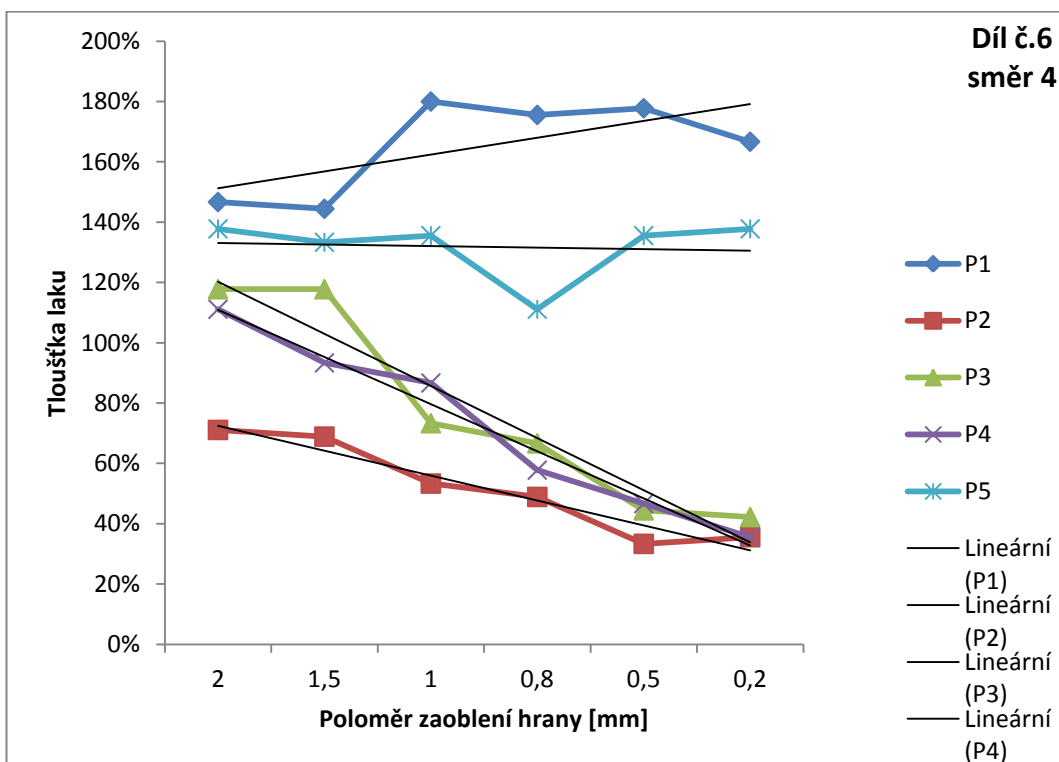
Graf 19: Závislost tloušťky laku (směr 1) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 6



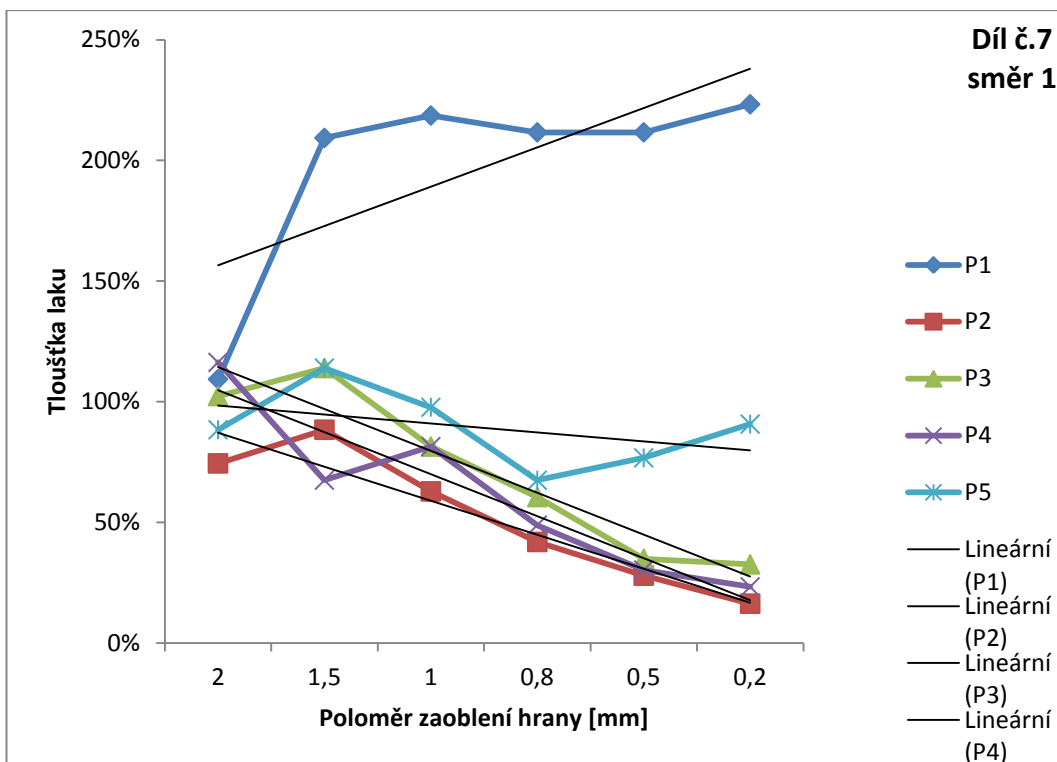
Graf 20: Závislost tloušťky laku (směr 2) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 6



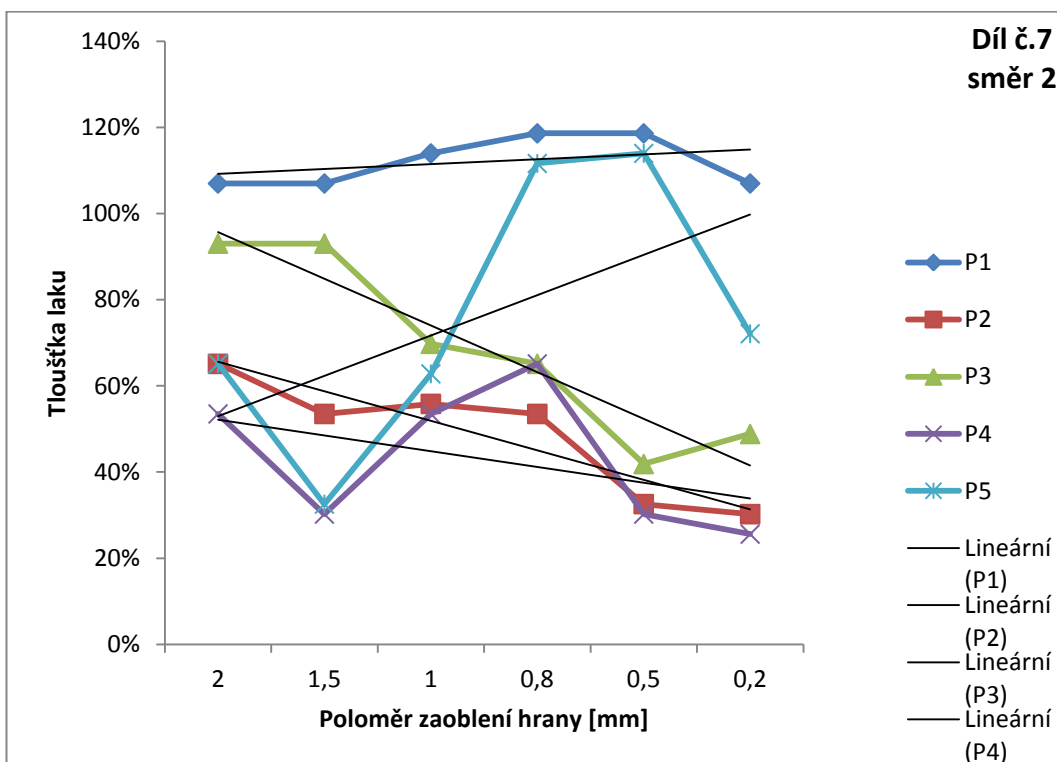
Graf X: Závislost tloušťky laku (směr 3) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 6



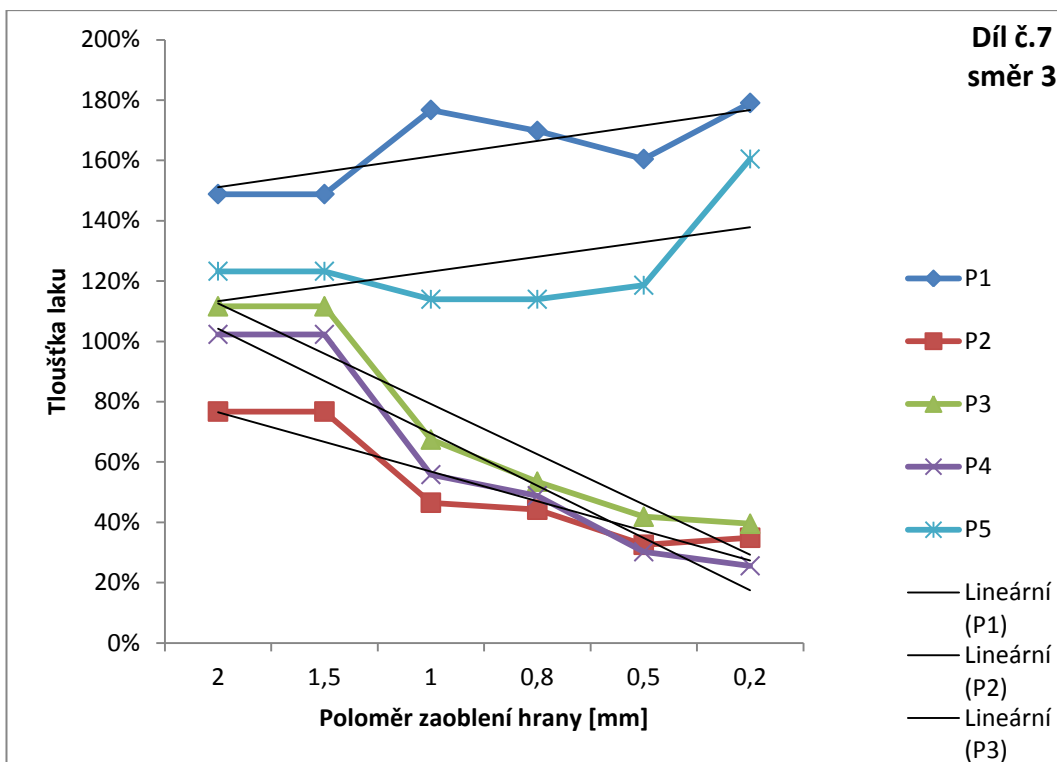
Graf 21: Závislost tloušťky laku (směr 4) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 6



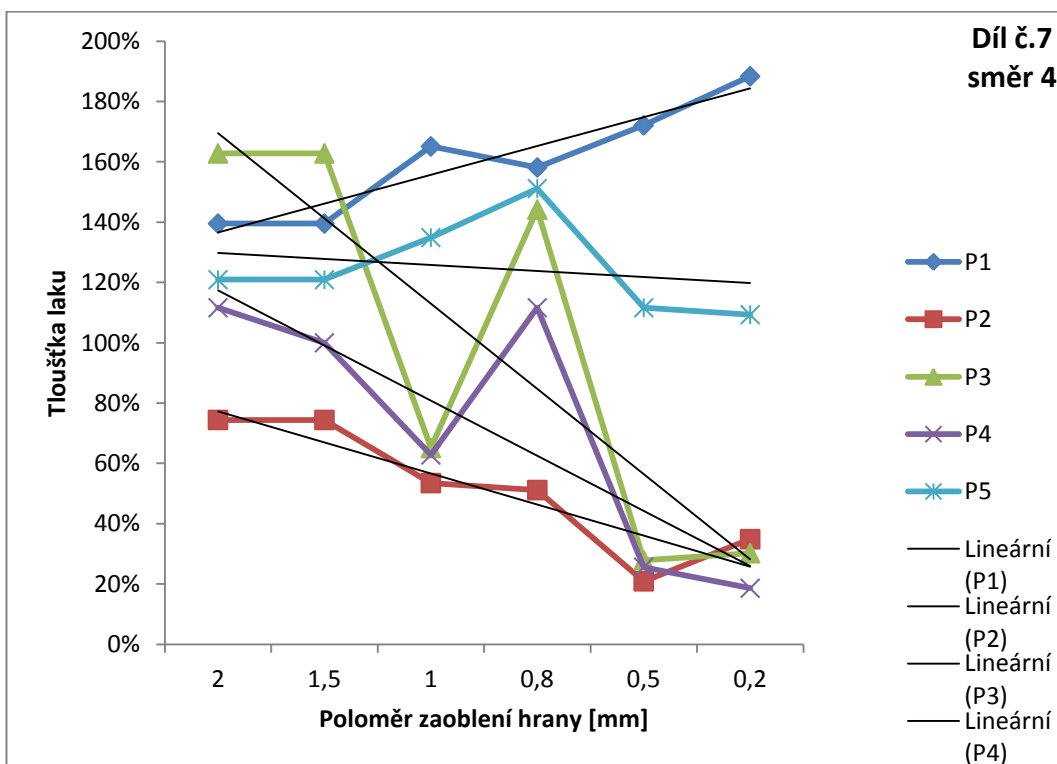
Graf 22: Závislost tloušťky laku (směr 1) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 7



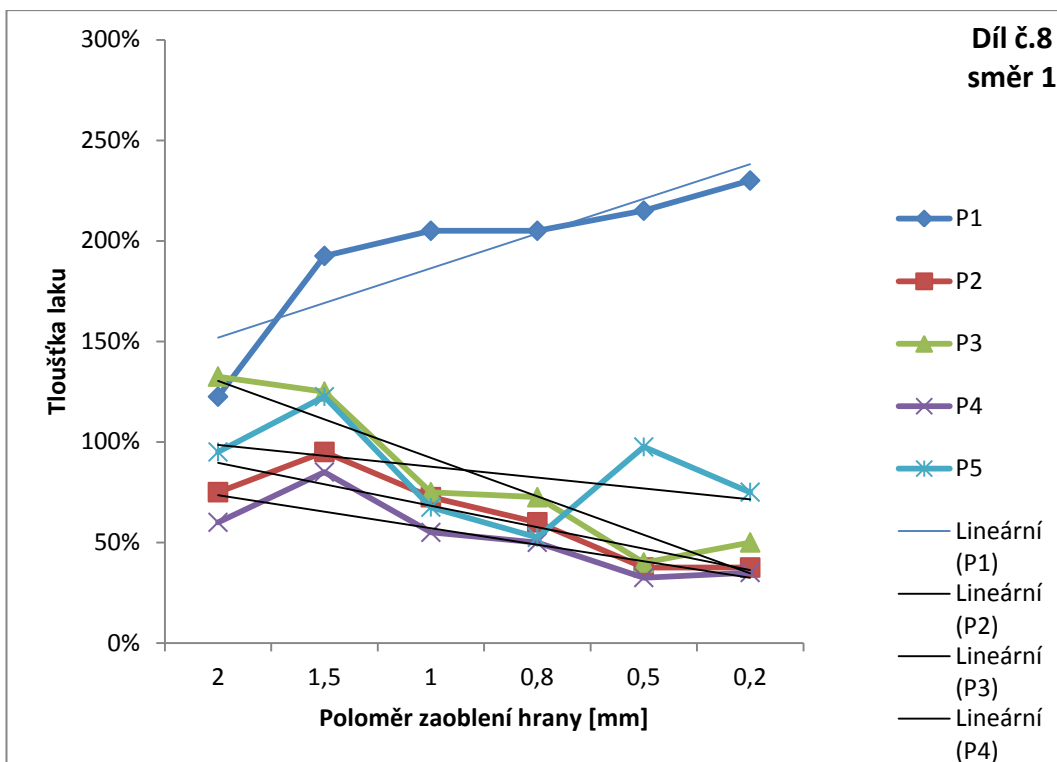
Graf 23: Závislost tloušťky laku (směr 2) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 7



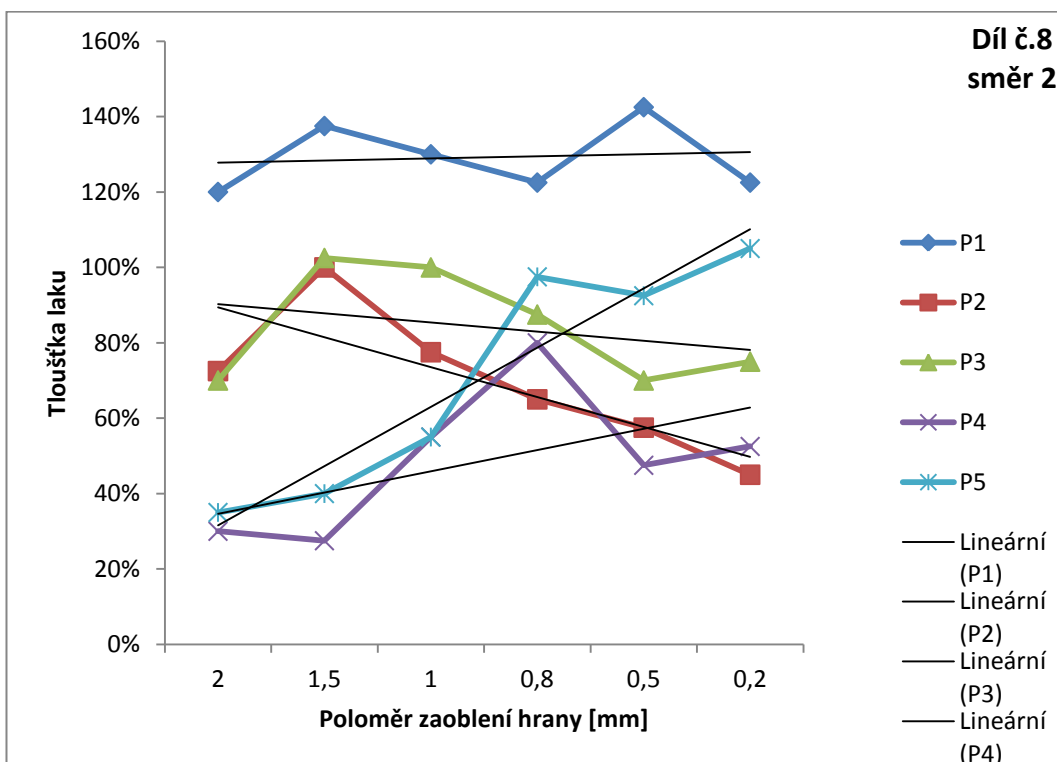
Graf 24: Závislost tloušťky laku (směr 3) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 7



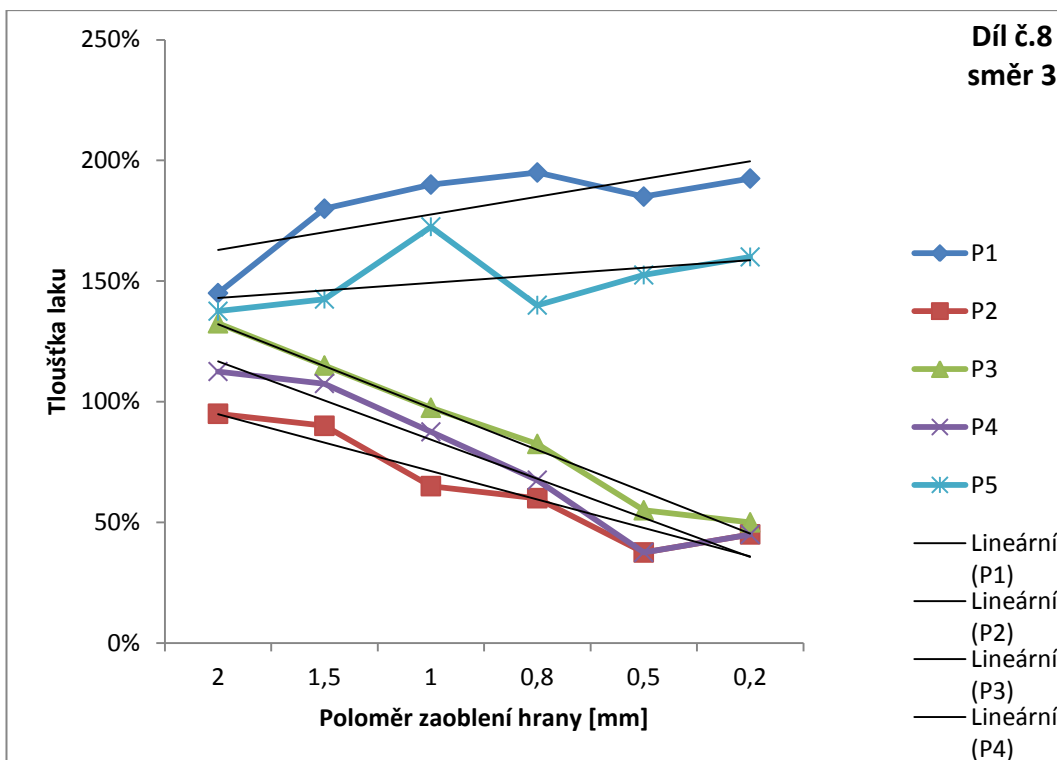
Graf 25: Závislost tloušťky laku (směr 4) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 7



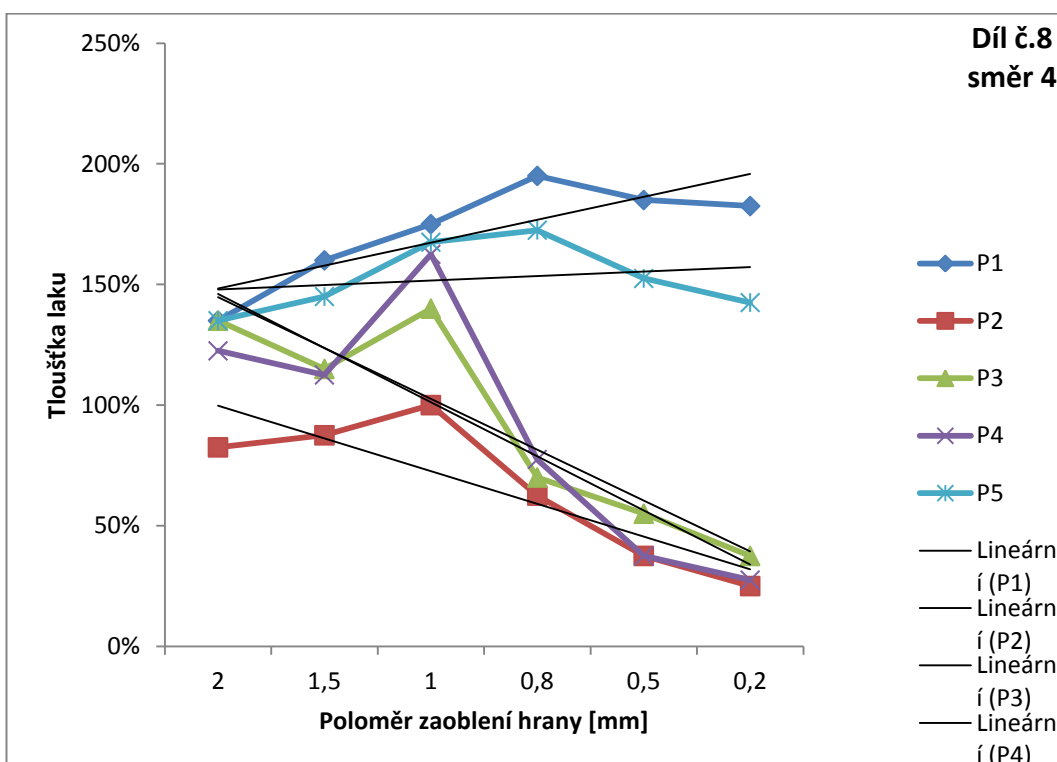
Graf 26: Závislost tloušťky laku (směr 1) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 8



Graf 27: Závislost tloušťky laku (směr 2) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 8



Graf 28: Závislost tloušťky laku (směr 3) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 8



Graf 29: Závislost tloušťky laku (směr 4) na poloměru zaoblení hrany pro díl č. 8