



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

Měření drsnosti povrchů

Vypracoval: Roman Kehler
Vedoucí práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

České Budějovice 2014

Anotace

Tato práce se zabývá měřením drsnosti a profilu povrchu polyetylenových destiček před a po aplikaci plazmového klouzavého výboje na dotykovém měřicím přístroji Hommel-Tester T2000. V úvodu práce jsou popsány základní pojmy, jednotky a definice, druhy přístrojů a nástrojů používaných pro měření drsnosti povrchu. V další části je práce zaměřena na experimentální měření daných vzorků a vyhodnocení struktury jejich povrchů.

Klíčová slova

Měření drsnosti povrchu, struktura povrchu, Hommel-Tester T2000, dotykové měření, plazmový výboj, klouzavý výboj

Abstract

This thesis deals with surface roughness measurement of polyethylene plates before and after plasma discharge application by Hommel-Tester T2000 contact measurement device. The first section describes basic terms, units and definitions, types of devices and tools used for surface roughness measurement. The next section of thesis is focused on practical measurement of given samples and their surfaces structure evaluation.

Key words

Surface roughness measurement, surface structure, Hommel-Tester T2000, contact measurement, plasma discharge, Gliding Arc

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích

Podpis

Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce RNDr. Pavlu Křížovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a vedení při tvorbě této bakalářské práce, firmě Surface Treat, a.s., provozovna České Budějovice za možnost využití její laboratoře na opracování vzorků a firmě Jihostroj Velešín, a.s. za podporu při provádění měření struktury povrchu na Kontrolním měrovém středisku.

Obsah

Úvod	6
1. Základní pojmy, definice, jednotky	7
1.1 Definice struktury povrchu.....	7
1.2 Základní pojmy.....	7
1.3 Chyba měření.....	13
1.4 Základní jednotky.....	15
2. Základní druhy přístrojů a nástrojů pro měření drsnosti	15
2.1 Metody měření drsnosti.....	15
2.2 Základní druhy přístrojů a nástrojů.....	16
3. Měření struktury povrchu daných vzorků	20
3.1 Měřené vzorky.....	20
3.2 Klouzavý plazmový výboj.....	20
3.3 Měření drsnosti a profilu polyethylenových destiček.....	22
3.4 Postup měření struktury povrchu.....	23
4. Vyhodnocení kvality povrchu	26
4.1 Výsledky měření drsnosti povrchu.....	26
4.2 Výsledný tvar profilu vzorků.....	29
4.3 Zhodnocení naměřených výsledků.....	34
Závěr	35
Seznam použité literatury a zdrojů	36
Seznam použitých zkratk	39
Seznam tabulek a grafů	40

Úvod

Struktura povrchu, tvořená drsností, vlnitostí a základním profilem povrchu, má rozhodující vliv na vlastnosti a chování součástí v provozu (např. na průběh opotřebení, únavové vlastnosti, pevnost spojení, kinematické a dynamické vazby povrchů apod.). Struktura povrchu spolu s vlastnostmi povrchové vrstvy jsou rozhodující pro životnost a funkční spolehlivost součástí.

Výrobci měřicí techniky nabízejí široký sortiment přístrojů, které pokrývají celou aplikační oblast - od jednoduchých dílenských měřidel (měření 1 až 5 parametrů drsnosti povrchu), až po měřicí systémy určené pro laboratorní měření a analýzy, jež vyhodnocují desítky parametrů měření základního profilu, drsnosti povrchu, vlnitosti, tvaru, příp. i rozměrů povrchu. [1]

Drsnost a profil povrchu nejrůznějších součástí lze měřit dvěma hlavními způsoby:

1. *Metodami bezkontaktními*, čímž se rozumí měření optickými přístroji – od vzorkovnic povrchu, kde se měření provede pouhým porovnáním povrchu na etalonu s měřeným povrchem, až po nejdokonalejší digitalizované mikroskopy a profilprojektory.
2. *Metodami dotykovými* – měřicí hrot drsnoměru (profiloměru) je horizontálně posouván po požadované vyhodnocované délce a snímá vertikální odchylky povrchu od středící čáry.

V této práci jsem se zaměřil na měření metodou dotykovou. K tomuto účelu byl použit měřicí přístroj s indukčním snímačem typu TKL – 100 s diamantovým měřicím hrotem od výrobce HOMMELWERKE GmbH, který je používán převážně pro měření vnějších ploch.

Měřenými vzorky bylo dvacet-čtyři polyethylenových destiček, na které byl aplikován plazmový klouzavý výboj a jeden polyethylenový vzorek bez aplikace výboje.

Měření probíhalo v kalibrační laboratoři v Jihostroji a.s. ve Velešíně.

1. Základní pojmy, definice, jednotky

1.1 Definice struktury povrchu

Jako struktura (drsnost) povrchu jsou označovány části tvarových úchylek skutečného profilu povrchu s celkem malou vzdáleností nerovností. [2]



Obr. 1: Skutečný profil povrchu (převzato z [2])

Mikronerovnost je jemná nerovnost (*drsnost povrchu*), která je dána stopami zanechanými řezným nástrojem.

Makronerovnost je rozlehlejší periodická nerovnost (*vlnitost povrchu*) a nejčastěji ji způsobují vibrace soustavy *Stroj - Nástroj - Obrobek – Prostředí*. [2]

Struktura povrchu vyjadřuje trojrozměrné opakované nebo náhodné úchyly od přesného geometrického tvaru obrobene plochy.

Člení se na složky podle velikosti rozteče nerovností.

Tyto složky jsou:

- Drsnost povrchu
- Vlnitost povrchu
- Základní profil

Všechny tyto úchyly, jako jsou mikrostruktura materiálu, plastická deformace, nestabilita obráběcího procesu, chybně ustavený nástroj a tlaková deformace povrchu, vznikají v důsledku nedokonalosti a nepřesnosti ve výrobě. [3]

Nedokonalost povrchu

Nedokonalostí povrchu se rozumí náhodně způsobené nepravidelnosti na skutečném povrchu součásti vzniklé při výrobě, skladování nebo používání součásti.

Typy nedokonalostí jsou např. *prohlubeniny* (rýhy, trhliny apod.), *vyvýšeniny* (vyboulení, otřepy, apod.), *kombinované vady* (vyvrženiny, krátery apod.), *plošné vady* (eroze, koroze apod.)

Nedokonalost povrchu se nezahrnuje do výsledného hodnocení struktury povrchu. [4]

1.2 Základní pojmy

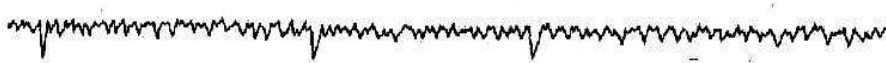
Povrch předmětu je ohraničený vůči okolnímu médiu. Obsahuje většinou největší tvarové úchyly, které dělíme na úchyly tvaru, drsnosti a vlnitosti. [4]

Obecný tvar povrchu při vyloučení drsnosti a vlnitosti (tyto úchyly mohou být způsobeny nedostatečnou tuhostí, špatnou přímostí vodících ploch nebo teplem vzniklým během výrobního procesu, které může způsobit deformaci obrobene plochy). [2]



Obr. 2: Obecný tvar povrchu (převzato z [2])

Drsnost povrchu jsou nejmenší nerovnosti vznikající v procesu výroby, např. působením rezného nástroje nebo brousícího zrna. Drsnost představuje kvantitativní měřítko stop výrobního procesu nového povrchu a dalších složek, které tvoří texturu povrchu, např. struktura materiálu. Řezný nástroj zanechává na povrchu stopy. Uspořádání stop má periodický nebo náhodný charakter. Působením „odtrhávání“ mikročástic materiálu při obrábění, zbytků nárůstků na břitu a malých vad na špičce nástroje vznikají i jemnější složky struktury povrchu. [5]



Obr. 3: Drsnost povrchu (převzato z [2])

Vlnitost je část textury, na které je vytvořena drsnost. To může být způsobeno chvěním, deformací obrobku a zpevněním materiálu (je spíše považována za vliv stroje, např. nevyváženosti brousícího kotouče, nepřesností vodících částí nebo malou tuhostí). [2]

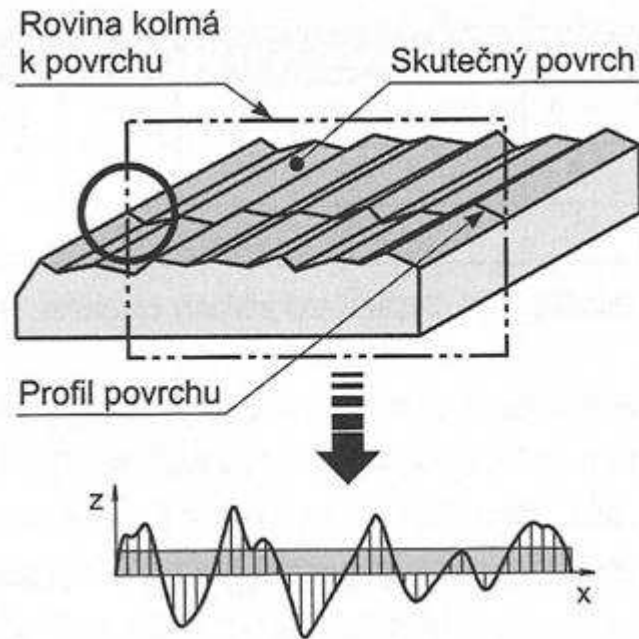


Obr. 4: Vlnitost povrchu (převzato z [2])

Vztažná čára je definovaná čára, ke které vztahujeme hodnoty povrchové drsnosti. Pro parametry drsnosti je vztažná čára střední čarou, která je vytvořena filtrací a zkoumaný profil dělí tak, že plochy nad a pod touto čarou jsou stejné velikosti. [4]

Skutečný profil je povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí. [6]

Profil povrchu je profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny (volí se rovina kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem – viz obr. 5). [6]



Obr. 5: Zobrazení profilu povrchu (převzato z [8])

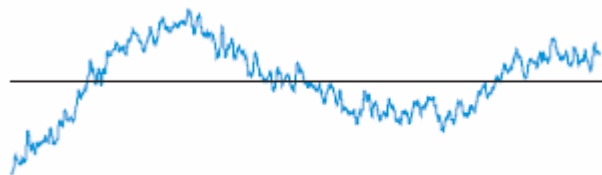
Filtr profilu je základní prvek procesu měření parametrů struktury povrchu, který přímo ovlivňuje hodnoty výsledků měření. Filtr rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky a zajišťuje vyloučení vlnových délek, které jsou nad nebo pod konkrétní frekvenci. Rozeznáváme tři druhy filtrování povrchů.

λ_s filtr profilu je filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu.

λ_c filtr profilu je filtr určující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti.

λ_f filtr profilu je filtr určující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu. [5]

Základní profil je profil získaný z měřeného profilu použitím dolní propusti s mezní hodnotou λ_s . [7]



Obr. 6: Základní profil (převzato z [7])

Profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti a je získaný ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek pomocí horní propusti s mezní hodnotou λ_c . [7]

Profil vlnitosti je profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil. Je získaný ze základního profilu potlačením dlouhovlnné složky λ_f a krátkovlnné složky λ_c pomocí pásmové propusti. [7]



Obr. 7: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (převzato z [7])

Mezní vlnová délka (λ_c) označuje filtr, který je pro vyhodnocení nutný. Vlny kratší než λ_c jsou drsnost a vlny delší než λ_c jsou vlnitost. [4]

Mezní vlnová délka λ_c [mm]	Vyhodnocovaná délka/ Základní délka (l_m)/(l_e) [mm]	Vzdálenost rýh po opracování u periodických profilů [mm]	Měřené hodnoty u aperiodických profilů Ra [μ m] / Rz [μ m]	
0,08	0,4/0,08	Přes 0,01-0,04	Do 0,02	Do 0,1
0,25	1,25/0,25	Přes 0,04-0,13	0,02-0,1	0,1-0,5
0,8	4,0/0,8	Přes 0,13-0,4	0,1-2	0,5-10
2,5	12,5/2,5	Přes 0,4-1,3	2-10	10-50
8	40/8	Přes 1,3-4	Přes 10	Přes 50

Tabulka 1: Výběr mezní vlnové délky λ_c podle DIN 4768/4777 (Převzato a upraveno z [4])

Rozběhová délka (l_v) je přední část měřeného úseku, která se nepoužívá k vyhodnocení, ale slouží k náběhu filtrů. [4]

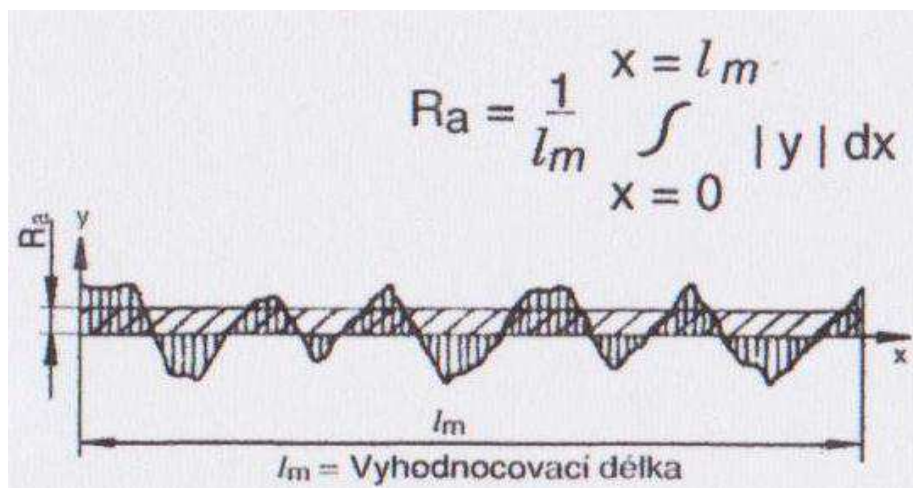
Délka měřeného úseku (l_t) je celý úsek, který proběhne snímač přístroje. [4]

Vyhodnocovaná délka (l_m) slouží k vyhodnocení potřebných částí profilů povrchu. $l_m = 5 \times l_e$ [4]

Základní délka (l_e) je délka ve směru osy X, která se používá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil a je rovna mezní vlnové délce λ_c . [4]

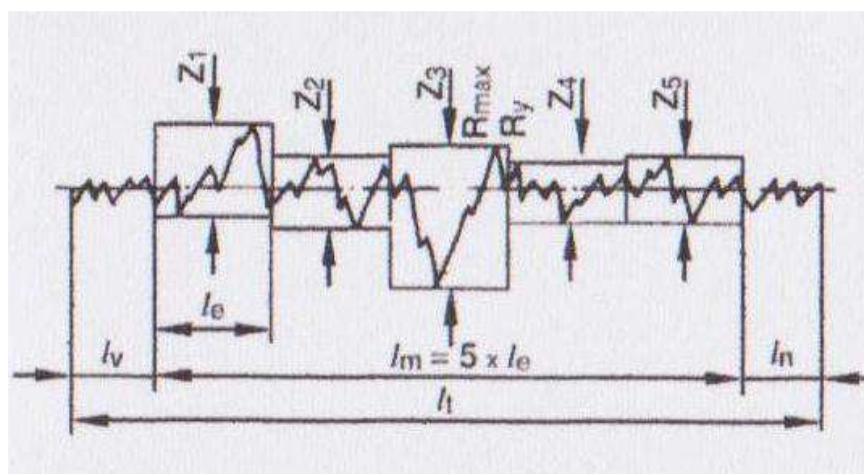
Doběhová délka (l_n) je poslední díl měřeného úseku, který se nepoužívá k vyhodnocení veličiny drsnosti, ale slouží k doběhu filtrů. [4]

Střední aritmetická odchylka profilu (Ra) je střední aritmetická hodnota absolutních hodnot úchylek profilu v rozsahu vyhodnocované délky l_m . [4]



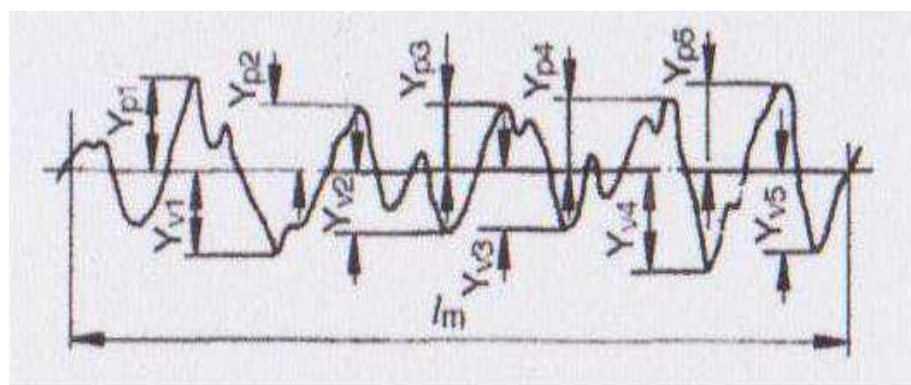
Obr. 8: Střední aritmetická úchylka profilu (R_a) (převzato z [4])

Maximální jednotlivá hloubka drsnosti (R_{max}) je největší z největších výšek nerovností profilu (Z_i) stanovených na pěti stejně velkých základních délkách.[4]



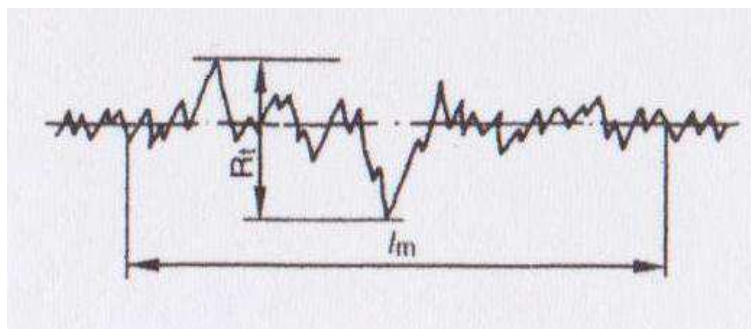
Obr. 9: Maximální jednotlivá hloubka drsnosti (R_{max}) (převzato z [4])

Výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů (R_z) je střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu (Y_p) a hloubek pěti největších prohlubní profilu (Y_v) v rozsahu vyhodnocované délky l_m . [4]



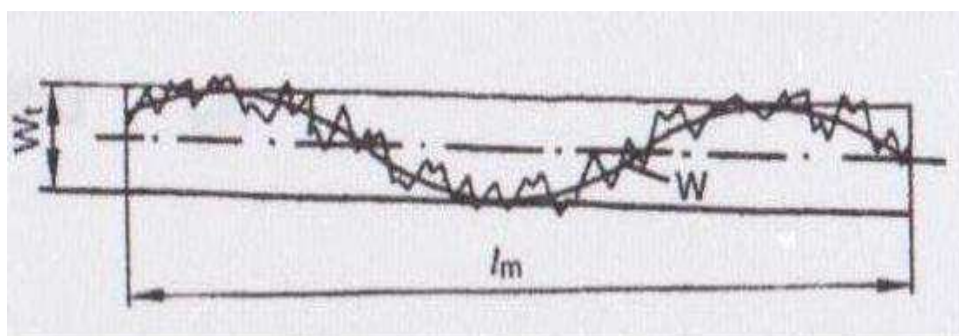
Obr. 10: Výška nerovností profilu z deseti bodů (R_z , R_{zISO}) (převzato z [4])

Největší hloubka drsnosti (R_t) je svislý odstup mezi nejvyšším a nejhlubším bodem filtrovaného profilu drsnosti uvnitř vyhodnocované délky (v současnosti nahrazována R_{max}). [4]



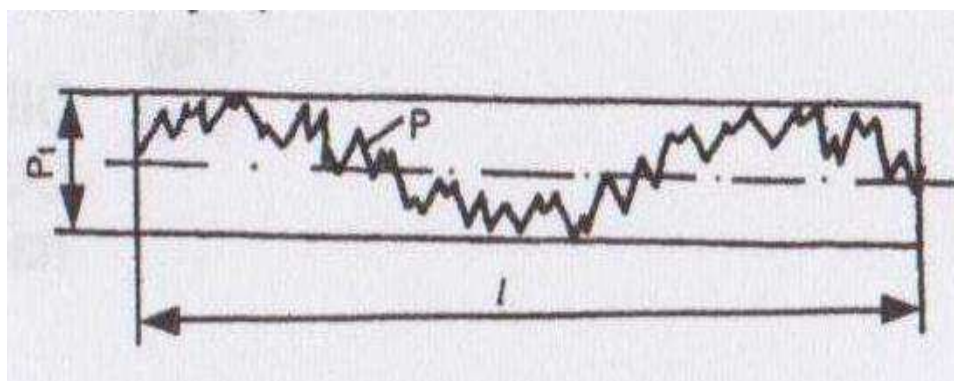
Obr. 11: Největší hloubka drsnosti (R_t) (převzato z [4])

Hloubka vlny (W_t) je vzdálenost mezi nejvyšším a nejhlubším bodem z vyrovnaného vlnového profilu (drsnost odfiltrována) uvnitř vyhodnocované délky (l_m). [4]



Obr. 12: Hloubka vlny (W_t) (převzato z [4])

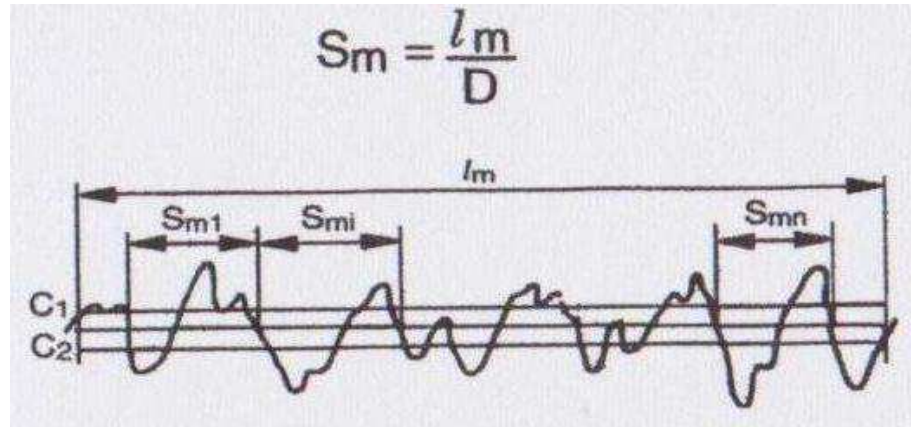
Hloubka profilu (P_t) je nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými hraničními přímkami z nefiltrovaného profilu vztažené délky l (měřené délky l_t). [4]



Obr. 13: Hloubka profilu (P_t) (převzato z [4])

Hustota (D) je počet výstupků profilu z filtrovaného profilu na zvolené šíři pásu (inverzní hodnoty) vztážené nebo dělené uvnitř vyhodnocované délky l_m . Tomu odpovídá c_1 horní hladině a c_2 spodní hladině šíře pásu. [4]

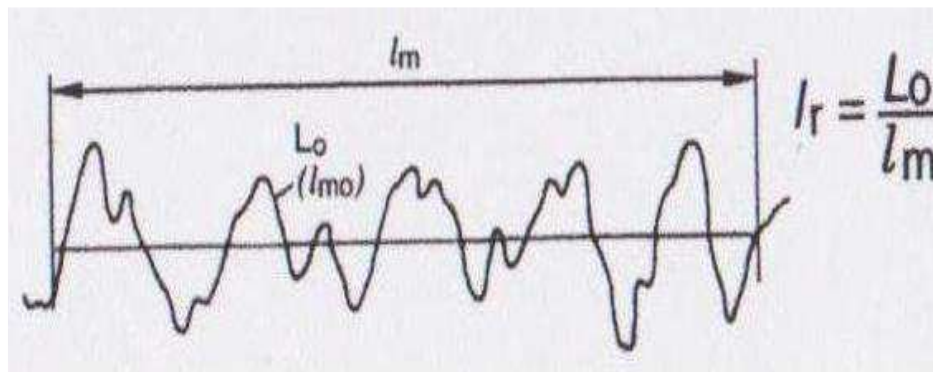
Střední vzdálenost stop po opracování (S_m) je střední hodnota roztečí nerovností profilu v rozsahu vyhodnocované délky l_m . [4]



Obr. 14: Střední vzdálenost stop po opracování (S_m) (převzato z [4])

Délka rozvinutého profilu (L_o) je délka filtrovaného povrchu, kde všechny výstupky a prohlubně jsou vyrovnány do přímky. [4]

Relativní délka profilu (l_r) je poměr délky rozvinutého profilu a vyhodnocované délky l_m . [4]



Obr. 15: Relativní délka profilu (l_r) (převzato z [4])

1.3 Chyba měření

Každé měření je zatíženo určitou chybou, proto žádným měřením nezískáme správnou hodnotu měřené veličiny. Měřením se pouze přiblížíme ke správné hodnotě. Míra rozdílnosti správné a naměřené hodnoty závisí na přesnosti měřicího přístroje a přesnosti měřicí metody - na *chybě měření*.

Během měření se uplatňují různé vlivy, které se projeví odchylkou mezi skutečnou a naměřenou hodnotou reálně měřené veličiny. Rozsah hodnot, které lze přiřadit k měřené hodnotě charakterizuje **nejistota měření (u)**. Chyba,

kteřá charakterizuje přesnost měřicího přístroje se vyjadřuje jako chyba *absolutní* a chyba *relativní*. [9]

Chyba absolutní je dána vztahem $Dx = X_m - X_s$,
 X_m je hodnota naměřená a X_s je hodnota správná. [9]

Chyba relativní může být udána v několika tvarech: jako "bezrozměrné číslo", v "%" nebo v jednotkách "ppm".

Bezrozměrné číslo: chyba relativní je dána vztahem $dx = Dx / X_s$ [-]

Vyjádření v "%": chyba relativní je dána vztahem $dx = (Dx / X_s) (100)$ [%]

Vyjádření v jednotkách "ppm": chyba relativní je dána vztahem

$dx = (Dx / X_s) (1\ 000\ 000)$ [ppm]*. [9]

* [ppm] (parts per million) = 1 miliontina celku. Obdobně jako procento (jedna setina) či promile (jedna tisícina) se používá pro znázornění poměru jedné části vůči celku. (Zdroj cs.wikipedia.org)

Rozdělení chyb měření

Hrubá chyba je způsobena výjimečnou příčinou, nesprávným zapsáním výsledku, náhlým selháním měřicí aparatury, nesprávným nastavením podmínek měření apod. Naměřená hodnota se značně liší od ostatních hodnot získaných při opakovaném měření. Takové měření je třeba ze zpracování vyloučit, aby nezkreslovalo výsledek. [10]

Systematická chyba ovlivňuje výsledek měření zcela určitým způsobem s jistou pravidelností. Systematičnost této chyby se projevuje tím, že měřené hodnoty veličiny jsou trvale větší nebo trvale menší, než je hodnota skutečná. Tyto odchylky lze přitom určit (odhadnout) a tak vliv soustavných chyb v podstatě vyloučit. Soustavné chyby mohou mít původ v použité metodě, v přístrojích a nebo v pozorovateli. [11]

Nahodilá chyba měření se vyznačuje tím, že působením velmi rozmanitých, přesně nedefinovaných vlivů se hodnoty určité veličiny, naměřené přibližně za stejných podmínek, poněkud liší. Může působit např. náhodná změna polohy oka, určitá malá změna teploty nebo tlaku, nedodržení konstantního tlaku měřicího šroubu, nedokonalost předpokládaných tvarů při výrobě (např. průměr drátu musíme měřit v různých místech) apod. [11]

Základní chyba měření je přístrojem dosahována za předpokladu, že měřicí přístroj je provozován v předepsaných referenčních podmínkách. To znamená, že veškeré veličiny, které mohou nepříznivě ovlivnit přesnost měření, musí mít předepsanou konstantní velikost. Mezi hlavní ovlivňující veličiny obvykle patří okolní teplota, kolísání napájecího napětí přístroje atd. Zjednodušeně lze říci, že základní chyby měření použitého přístrojem je dosahováno v laboratorních, přesně definovaných podmínkách. [12]

Pracovní chyba měření se oproti základní chybě měření vyskytuje v širším rozsahu pracovních teplot, při větším kolísání napájecího napětí apod. Proto pracovní chyba bývá vyšší než chyba základní. [12]

1.4 Základní jednotky

Měření drsnosti povrchů, stejně jako všechna ostatní měření, má specifické jednotky, které se používají pro vyhodnocování určitých hodnot.

Nejpoužívanější jednotky pro měření drsnosti jsou

μm – mikrometr (mikron). Mikrometr je nejpoužívanější jednotka pro vyhodnocování drsností povrchu Ra, Rz, Rmax. **$\mu\text{m} = 0,001 \text{ mm} (0,000001 \text{ m})$** .

$\mu\text{inch} (\mu\text{'})$ – mikropalec. Mikropalec je pro vyhodnocování drsnosti povrchu používán zejména v USA, někdy v Německu a Velké Británii.

$\mu\text{inch} = 0,0254 \text{ mm} (0,0000254 \text{ m})$. [4]

2. Základní druhy přístrojů a nástrojů pro měření drsnosti

Měření drsnosti a profilu povrchů je prováděno několika rozdílnými metodami. Pro každou metodu měření jsou určeny specifické přístroje, nástroje, etalony anebo samotné lidské smysly. [13]

2.1 Metody měření drsnosti

Kvalitativní měření je hodnocení drsnosti povrchu za pomoci lidských smyslů. Jedná se o porovnávání daného povrchu se vzorovými (etalonovými) plochami hmatem, zrakem, příp. pomocí jednoduchých optických pomůcek.

Spolehlivost při této metodě je omezena rozlišovací schopností lidských smyslů a fyzikálními vlastnostmi použitých pomůcek. Hmatem lze u dvou ploch obroběných stejným způsobem rozlišit rozdíl v drsnosti až $R_a = 0,1 \mu\text{m}$. [14]

Při **kvantitativním měření** se porovnává kontrolovaná plocha se vzorovou (etalonovou) plochou pomocí komparačních měřidel. Metody kvantitativní vyjadřují drsnost povrchu číselně a to v parametrech R_a a R_z (resp. $R_z \text{ DIN}$). Hodnoty nerovností, které tvoří příčnou drsnost, měříme elektronickým komparačním délkoměrem (komparátorem). Výsledkem této metody je soubor odchylek povrchu od nulové hodnoty komparátoru. [14]

Dotykové měření na profiloměru (drsnoměru) je nejčastější metodou používanou ve strojírenství. Principem tohoto měření je rovnoměrné posouvání měřícího doteku po kontrolovaném povrchu. Změny výšky měřícího hrotu, které jsou způsobeny nerovnostmi, jsou zaznamenávány v mnohonásobném zvětšení. S vhodným indukčním snímačem lze touto metodou měřit povrch i v malých otvorech (od $d = 2,5 \text{ mm}$), v zápichu, na evolventě ozubeného kola, případně na závitě. [14]

Měření na bezdotykovém (optickém) profiloměru je založeno na chromatické vadě. Chromatická vada je barevná vada čočky nebo složitější optické soustavy. Příčinou je závislost ohniskové délky optiky na vlnové délce světla. Optika láme světlo každé barvy jinak: záření dlouhovlnné červené nejméně, krátkovlnné fialové nejvíce. [15]

Optické metody měření drsnosti povrchu mají ve srovnání s metodou dotykovou následující výhody:

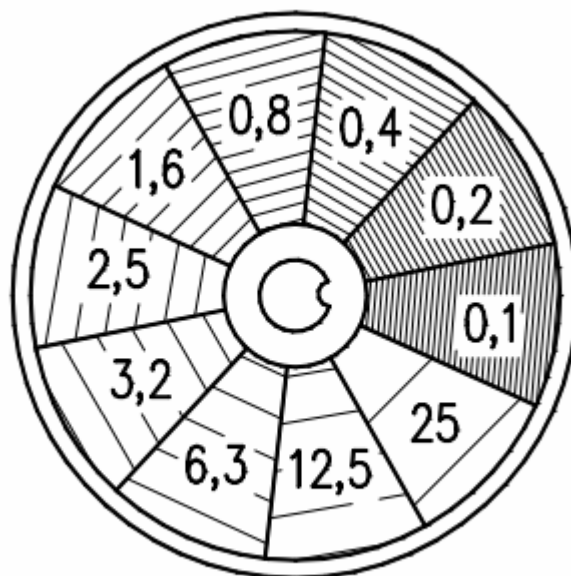
- bezkontaktnost (tj. nedestruktivnost)
- potenciální možnost poskytovat výsledky měření téměř okamžitě
- „integrálnost“ získané informace o povrchu (informace je získávána většinou z větší či menší plochy povrchu).

Nevýhody této metody jsou:

- ve většině případů nutnost apriorních předpokladů o charakteru drsnosti neznámého měřeného povrchu (které jsou nutné pro řešení interakce světla s povrchem)
- nejsou v praxi tak široce užívány, jako kontaktní profiloměr [16]

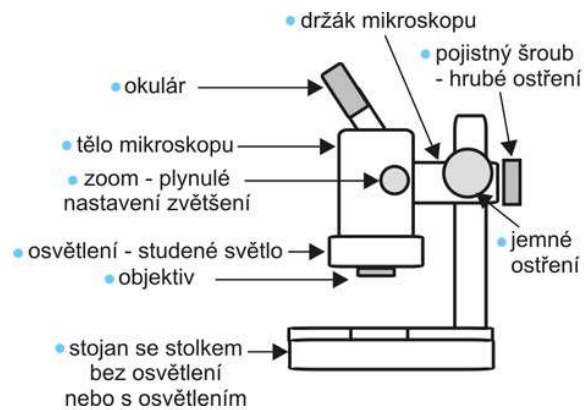
2.2 Základní druhy přístrojů a nástrojů

Vzorkovnice drsnosti povrchů slouží k orientačnímu určení drsnosti povrchu. Vzorkovnice drsnosti jsou přesně vyrobené destičky s různou drsností. Tato vzorkovnice se pomocí zraku a hmatu porovnává s obrobeným povrchem. Existují i porovnávací mikroskopy, kde v jedné polovině zorného pole vidíme povrch vzorkovnice a ve druhé povrch vzorku. Vzorkovnice se vyrábí různými způsoby obrábění. Vždy musíme porovnávat součást se vzorkovnicí, jež jsou obrobeny stejným způsobem, např. oba frézované, broušené apod. [17]



Obr. 16: Vzorkovnice drsnosti povrchů (převzato z [17])

Světelný mikroskop je zařízení, které se používá při měření drsnosti povrchu kvalitativní metodou. Většinou se využívá pro usnadnění porovnání povrchu součásti a povrchu na vzorkovnici. Rozlišovací schopnost při použití světelného mikroskopu je přibližně 1 μm (záleží na zvětšení). [13]



Obr. 17: Schéma mikroskopu (převzato z internetu [18])

Elektronický komparační délkoměr (komparátor) je využíván pro kvantitativní měření drsnosti. Komparátor je vybaven snímačem s diamantovým nebo safírovým hrotem s malým vrcholovým poloměrem ($r = 2 - 20 \mu\text{m}$). Při poloměrech větších by docházelo k výraznému zkreslení profilu. Příliš malé zaoblení je však také nepřijatelné, protože by se zvětšil kontaktní tlak mezi hrotem a povrchem. Podélný pohyb kontrolované součásti je prováděn hlavicí s mikrometrickým šroubem. [13]

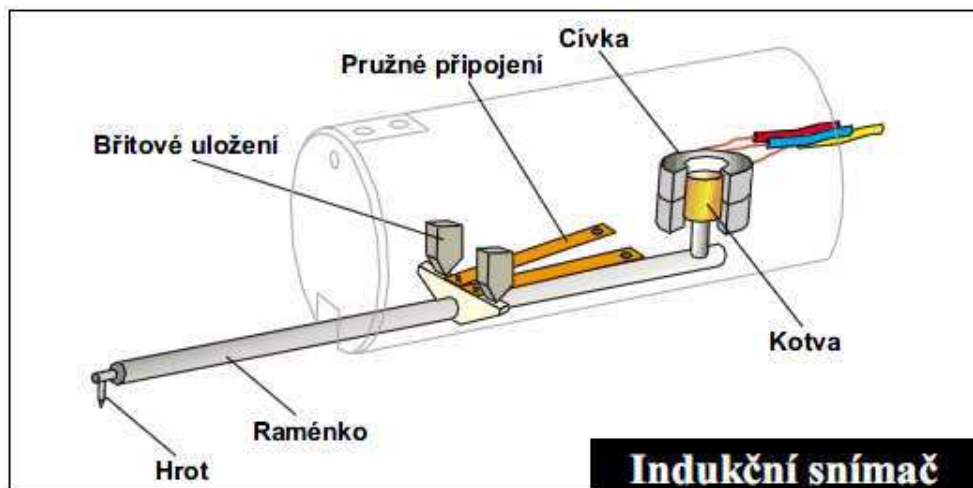


Obr. 18: Elektronický komparační délkoměr (převzato z internetu [19])

Dotykový profiloměr funguje na principu kopírování povrchu měřené součásti. Drsnost povrchu je vyhodnocena změnami výšky měřícího hrotu, které způsobují nerovnosti na součásti. Nasnímaná data lze vyhodnotit přímo přístrojem nebo připojeným počítačem, jenž po získání dat z měřícího zařízení umožňuje jejich zpracování pomocí softwaru k tomu určenému. Základními částmi dotykového profiloměru jsou: řídicí jednotka, posuvová část, zobrazovací část, indukční snímač s diamantovým nebo safírovým hrotem. [7]



Obr. 19: Dotykový profiloměr Mitutoyo SV-2100 (Převzato z internetu [20])

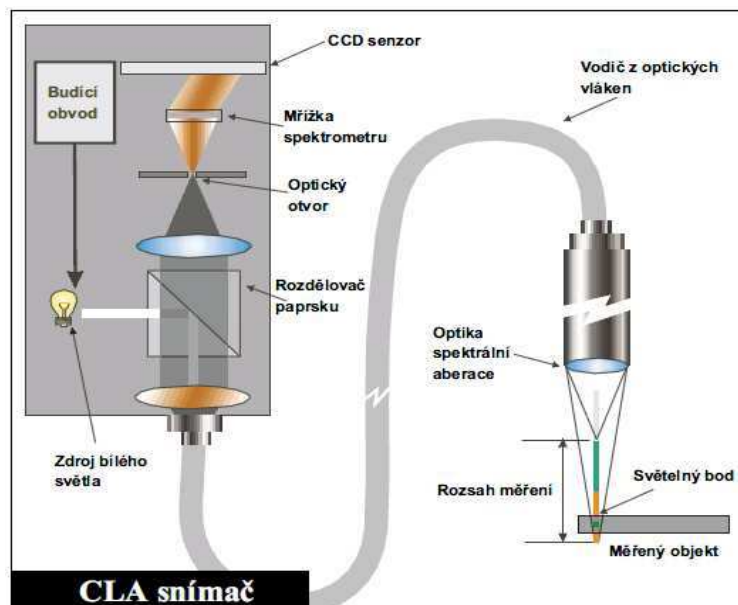


Obr. 20: Schéma indukčního snímače (převzato z [2])

Bezkontaktní (optický) profiloměr vyhodnocuje drsnost povrchu kontrolované plochy pomocí bezkontaktního snímače, který za pomoci optiky rozkládá a směřuje světlo na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. [2]



Obr. 21: Optický profiloměr CCI MP (převzato z [21])



Obr. 22: Schéma optického snímače CLA (převzato z [2])

3. Měření struktury povrchu daných vzorků

3.1 Měřené vzorky

Zvolenými vzorky, které byly v této bakalářské práci použity k vyhodnocení struktury povrchu, bylo dvacet-čtyři polyethylenových destiček o rozměrech 20 x 25 x 2 mm. Na každý vzorek byl z jedné strany aplikován klouzavý plazmový výboj. Tyto vzorky byly rozděleny na tři skupiny po osmi destičkách. Na první skupinu osmi destiček byl aplikován klouzavý plazmový výboj pouze jedinkrát, na druhou skupinu třikrát a na třetí skupinu pětkrát na každý vzorek. Jedna destička byla uchována jako porovnávací, tzn. že na ní nebyl aplikován žádný výboj.



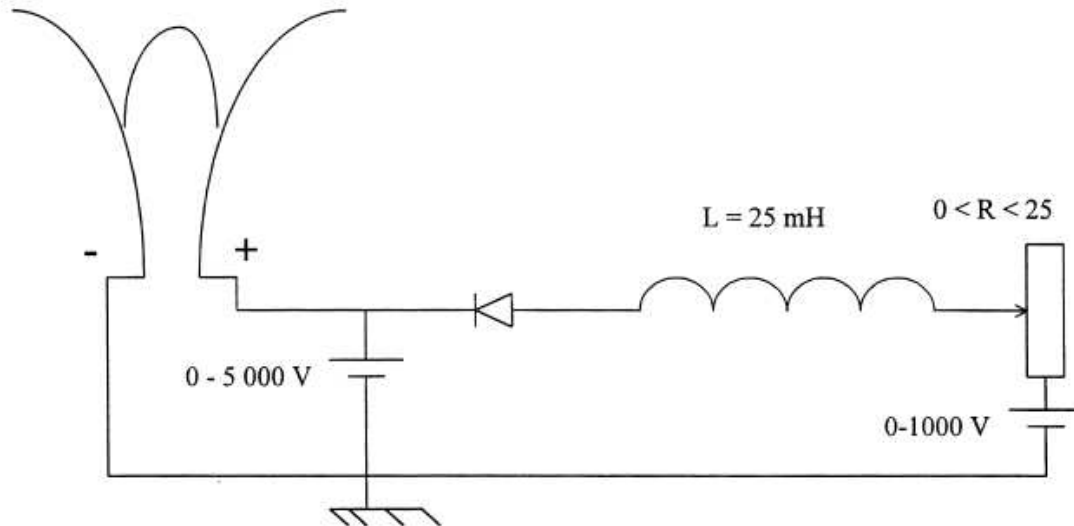
Obr. 23: Polyethylenová destička – měřený vzorek

3.2 Klouzavý plazmový výboj

Plazma je soubor nabitých i neutrálních částic v různých kvantových stavech, o kterém platí, že jeho prostorový náboj je přibližně roven nule (tuto vlastnost označujeme jako kvazineutralita). Částicemi se v této definici rozumí nejen elementární částice, jako jsou např. elektrony, ale také ionty, neutrální atomy, molekuly. Rozlišujeme plazma *izotermické*, pro které platí, že všechny typy částic mají stejnou teplotu, a *neizotermické*, ve kterém teplota elektronů převažuje nad teplotou ostatních typů částic. Vznik jednoho nebo druhého druhu závisí především na způsobu, jakým byla plazmatu dodávána energie. Izotermicita bývá obvykle spojena s vysokou teplotou plazmatu, není to ale podmínkou. Platí však, že neizotermické plazma v přírodě samovolně zaniká a musí se tedy udržovat uměle. [22]

Klouzavý plazmový výboj je neizotermické slabě ionizované plazma. Probíhá za atmosférického nebo vyššího tlaku. Tento výboj lze vybudit dvěma elektrodami z různých materiálů. Typické schéma vhodného obvodu je znázorněno na obrázku 24. Na jednu elektrodu je k zapálení výboje přivedeno vysoké napětí (až do 5 kV), na druhé elektrodě bývá napětí do 1 kV. Obvodem protéká stejnosměrný proud do 60 A. Rezistor o odporu 0 - 25 je sériově zapojený s cívkou o vlastní indukčnosti $L = 25$ mH. Pro vytvoření

klouzavého výboje se dají použít složitější konfigurace, např. střídavý nebo třífázový oblouk, obvody s několika sériovými nebo paralelními elektrodami atd. Pro vysvětlení fyzikální podstaty klouzavého výboje stačí použít znázorněný jednoduchý obvod viz Obr. 24. [23]



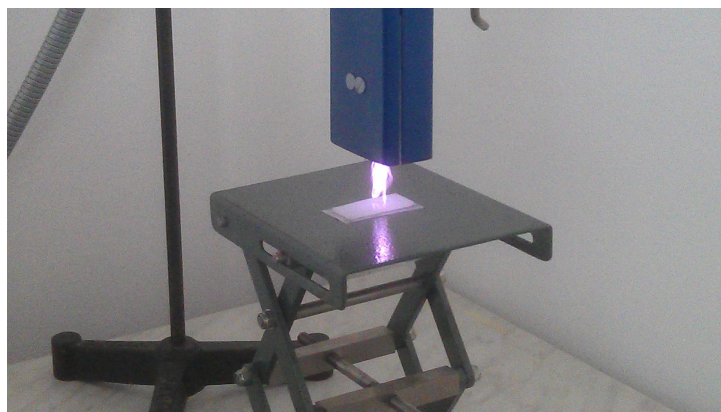
Obr. 24: Schéma klouzavého výboje (převzato z [23])

Aplikace klouzavého výboje na vzorky

Na měřené polyethylenové vzorky byl aplikován klouzavý plazmový výboj pomocí nerezových elektrod. Průtok paliva (stlačeného vzduchu) se pohyboval na hodnotě 30 SCFH (standardní kubická stopa za hodinu). Vzdálenost pouzdra a povrchu destičky byla nastavena na 30 mm. Při vzdálenosti pouzdra a povrchu destičky 30 mm a průtoku vzduchu 30 SCFH je průměrná teplota výboje $T = 122,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (viz Tabulka č. 2 v kapitole: Měření teploty pracovního plynu při různých parametrech výboje, dostupné v [24]).

Aplikace byla prováděna za konstantní teploty a konstantní rychlosti posuvu vzorku pod výbojem.

Celý proces byl uskutečněn v laboratoři firmy Surface Treat, a.s, Na Zlaté Stoce 1619 v Českých Budějovicích.



Obr. 25: Průběh aplikace klouzavého výboje na destičku



Obr. 26: Řídící jednotka (zdroj)

3.3 Měření drsnosti a profilu polyethylenových destiček

Pro měření drsnosti a profilu povrchů zvolených vzorků byla použita dotyková metoda měření. Jak již bylo uvedeno výše (viz. 2.1), tato metoda pro měření povrchu je nejběžnější a zároveň velice přesná.

Měření probíhalo na přístroji Hommel-Tester T2000 od německého výrobce měřících přístrojů HOMMELWERKE GmbH. Měřícím nástrojem, použitým pro kopírování povrchu, byl indukční snímač TKL – 100 s diamantovým měřícím hrotem o poloměru špičky $r = 5 \mu\text{m}$ a přitlačnou silou 0.8 mN. Experiment proběhl při „metrologické“ teplotě 20,2 °C v laboratoři Kontrolního měrového střediska ve společnosti Jihostroj, a.s. Velešín.

Přesnost přístroje	DIN 4772 (ne větší než $\pm 5\%$)
Měřicí rozsah	$\pm 2 / \pm 20 / \pm 200 \mu\text{m}$
Rozlišení	0,001 / 0,001 μm
Vlnová délka λ_c (Cut-off)	0,025 / 0,08 / 0,25 / 0,8 / 2,5 / 8 mm
Vyhodnocovaná délka	0,4 / 1,25 / 4,0 / 12,5 / 40 mm
Vyhodnocované parametry	Ra, RzISO, RzDIN, Rmax, Rt, Rq, R3z, Nr, tp, Rk, Wt, Pt
Posuvová rychlost Vt	0,05/ 0,15 / 0,5 mm/s
Chyba přístroje	0,06 μm

Tabulka 2: Specifikace měřícího přístroje Hommel-Tester T2000 (Převzato a upraveno z [4])



Obr. 27: Měřicí přístroj Hommel-Tester T2000 – majetek Jihostroj, a.s. Velešín

3.4 Postup měření struktury povrchu

Při měření struktury povrchu dotykovým způsobem musí být dodržován určitý postup a čistota v okolí měřícího přístroje. Proto nejprve očistíme čistou tkaninou měrnou desku na přístroji a v případě nutnosti i měřenou součást, tak aby se na měřeném povrchu nevyskytovalo značné množství prachu, zbytků materiálu (třísek, špon) nebo jiných nečistot (např. zaschlý olej).

Pokud je toto dodrženo postupujeme k další části, čímž je ustavení měřené součásti na měrnou desku. Pro tento účel lze použít několik upínacích přípravků dle tvaru součásti.

V případě měřených polyethylenových vzorků, jimiž jsou ploché rovnoběžné destičky, není nutno používat žádný upínací přípravek, ale pouze nastavíme „doraz“ z broušených kovových destiček, o který vzorek opřeme tak, aby byl vhodně ustaven vůči měřicímu snímači. Měřicí snímač vybíráme dle tvaru a velikosti plochy, kterou měříme. V našem případě byl zvolen základní snímač TKL-100 s poloměrem diamantového hrotu $r = 5 \mu\text{m}$, který je běžně používán pro měření vnějších rovnoběžných a válcových ploch.

Na ovládacím zařízení nastavíme požadované parametry měření, jimiž jsou: druh snímače, měřicí rozsah (**MB**), délka měřeného úseku (**LT**), vlnová délka (**LC**), posuvová rychlost (**VT**) a vyhodnocované parametry drsnosti (R_a , R_{max} , R_z ISO, atd.).

Pro měření polyethylenových destiček byly zvoleny parametry viz Obr. 28.

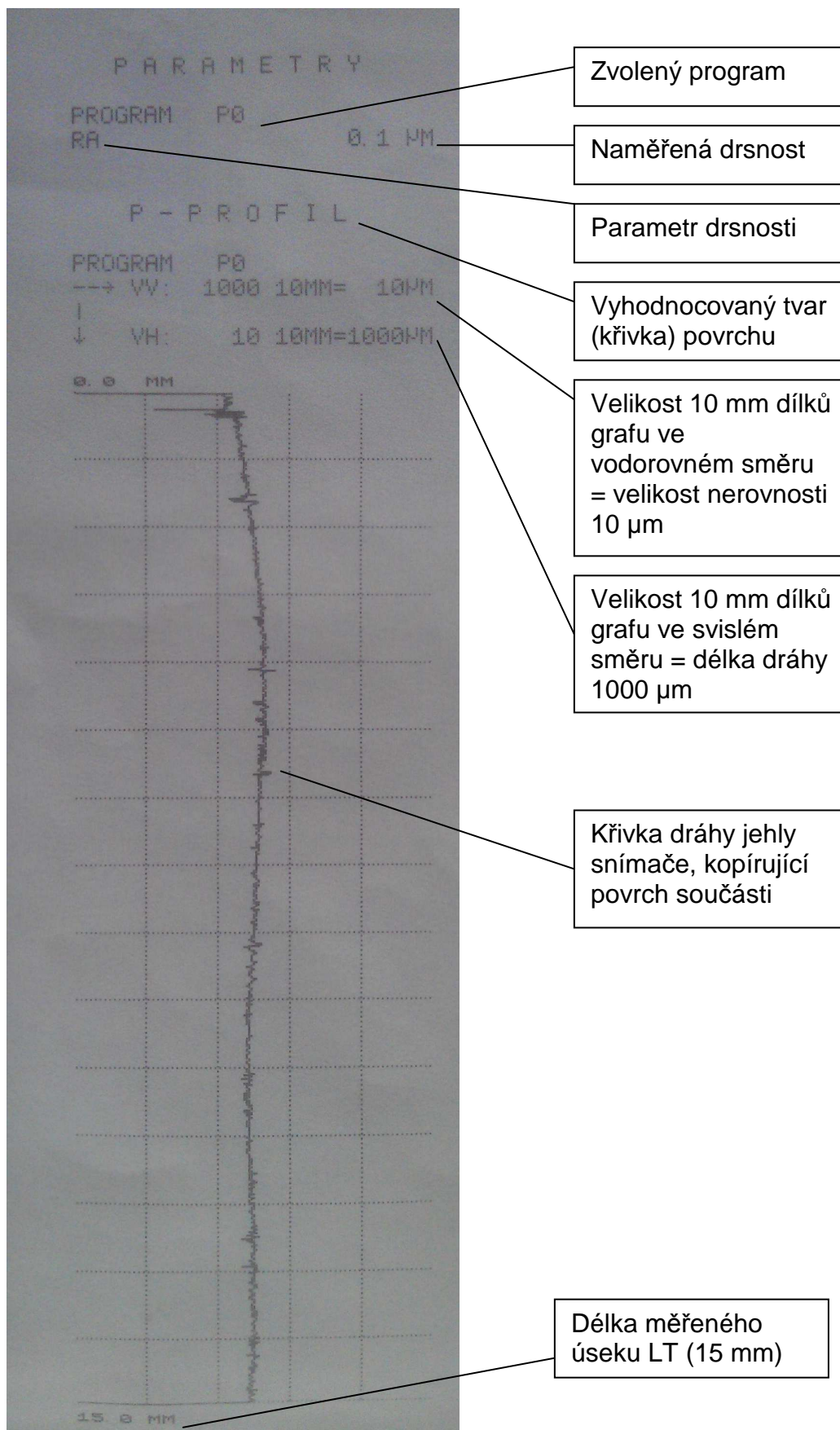
Dále už jen pomocí ovládacích tlačítek na přístroji najedeme snímačem na vhodné místo na součásti a dotkneme se hrotem. Nastavíme výchozí bod (nulovou čáru), dáme pokyn přístroji k měření a čekáme na vyhodnocení. Vyhodnocené výsledky se zobrazí na displeji přístroje, popřípadě je lze vytisknout na zabudované tiskárně (viz Obr. 29).

27. MAR. 14 10:52

PODMINKY MERENI

PROGRAM	P0	
SNIMAC		TK100
MB		20 MM
LT		15.0 MM
LC		0.80 MM
VT		0.50 MM/S

Obr. 28: Podmínky měření polyethylenových vzorků



Obr. 29: Vzor tisku vyhodnocených výsledků a parametrů

4. Vyhodnocení kvality povrchu

Jako vyhodnocované parametry měření byly zvoleny střední aritmetická úchylka profilu Ra a tvar profilu P. Tyto parametry byly zvoleny proto, abychom zjistili co se po aplikaci klouzavého výboje děje s drsností povrchu a jak se změní původní geometrie polyethylenového vzorku.

U každé skupiny vzorků proběhlo měření podélně (ve směru posuvu vzorku pod výbojem) a příčně (kolmo na směr posuvu vzorku pod výbojem). Měření v obou směrech bylo provedeno na každém vzorku třikrát.

4.1 Výsledky měření drsnosti povrchu

Ra měření vzorku bez aplikace výboje („nulového“ vzorku):

Č. vzorku	Měření 1 Ra [μm]		Měření 2 Ra [μm]		Měření 3 Ra [μm]		Ø Ra [μm]	
	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně
1	0,21	0,20	0,22	0,19	0,21	0,19	0,213	0,193

Tabulka 3: Naměřené hodnoty „nulového“ vzorku

Ra měření vzorků s aplikací výboje 1x:

Č. vzorku	Měření 1 Ra [μm]		Měření 2 Ra [μm]		Měření 3 Ra [μm]		Ø Ra [μm]	
	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně
1	0,22	0,20	0,22	0,22	0,21	0,22	0,217	0,213
2	0,21	0,21	0,23	0,21	0,20	0,21	0,213	0,210
3	0,22	0,21	0,20	0,23	0,23	0,22	0,217	0,220
4	0,23	0,20	0,22	0,21	0,22	0,20	0,223	0,203
5	0,22	0,22	0,21	0,20	0,22	0,21	0,217	0,210
6	0,23	0,21	0,21	0,22	0,21	0,22	0,217	0,217
7	0,24	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,227	0,217
8	0,22	0,21	0,23	0,23	0,23	0,23	0,227	0,223

Tabulka 4: Naměřené hodnoty vzorku s jedinou aplikací výboje

Ra měření vzorku s aplikací výboje 3x:

Č. vzorku	Měření 1 Ra [μm]		Měření 2 Ra [μm]		Měření 3 Ra [μm]		Ø Ra [μm]	
	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně
1	0,23	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,233	0,233
2	0,24	0,23	0,25	0,23	0,22	0,25	0,237	0,237
3	0,23	0,22	0,24	0,22	0,23	0,25	0,233	0,230
4	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,227	0,227
5	0,24	0,23	0,22	0,23	0,24	0,25	0,233	0,237
6	0,25	0,24	0,23	0,24	0,23	0,22	0,237	0,233
7	0,24	0,22	0,24	0,22	0,23	0,24	0,237	0,227
8	0,23	0,23	0,25	0,21	0,25	0,25	0,243	0,230

Tabulka 5: Naměřené hodnoty vzorku s trojnásobnou aplikací výboje

Ra měření vzorku s aplikací výboje 5x:

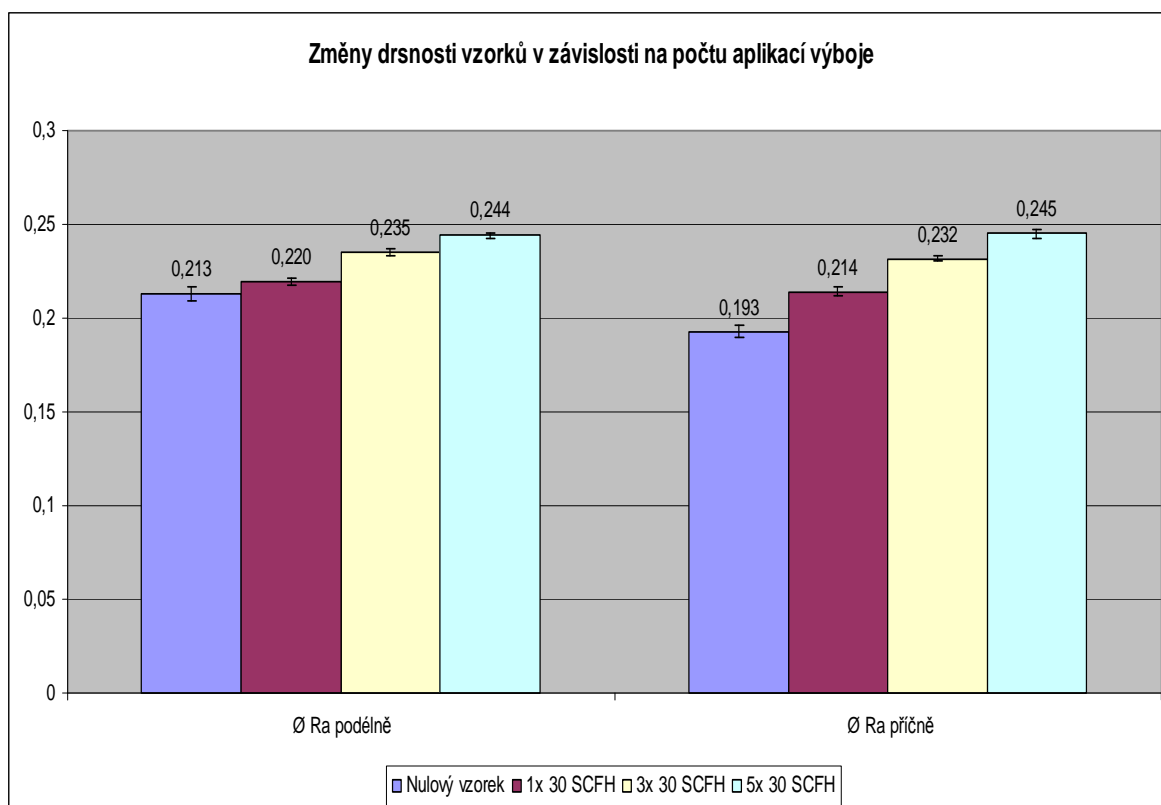
Č. vzorku	Měření 1 Ra [μm]		Měření 2 Ra [μm]		Měření 3 Ra [μm]		Ø Ra [μm]	
	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně
1	0,25	0,24	0,26	0,25	0,23	0,23	0,247	0,240
2	0,26	0,26	0,24	0,24	0,24	0,24	0,247	0,247
3	0,25	0,25	0,23	0,23	0,25	0,24	0,243	0,240
4	0,24	0,25	0,26	0,23	0,25	0,24	0,250	0,240
5	0,25	0,26	0,24	0,24	0,24	0,26	0,243	0,253
6	0,23	0,25	0,24	0,25	0,24	0,24	0,237	0,247
7	0,25	0,23	0,25	0,24	0,22	0,25	0,240	0,240
8	0,26	0,25	0,25	0,26	0,23	0,25	0,247	0,253

Tabulka 6: Naměřené hodnoty vzorku s pětinasobnou aplikací výboje

Průměrné Ra a odchylky jednotlivých skupin vzorků:

Skupina vzorků	Ø Ra [μm]		Směrodatná odchylka měření σ [μm]		Chyba přístroje [μm]
	Podélně	Příčně	Podélně	Příčně	
Nulový vzorek	0,213	0,193	0,003	0,003	0,06
1x aplikace výboje	0,220	0,214	0,002	0,002	
3x aplikace výboje	0,235	0,232	0,002	0,001	
5x aplikace výboje	0,244	0,245	0,002	0,002	

Tabulka 7: Průměrné Ra a směrodatná odchylka jednotlivých skupin vzorků



Graf 1: Změny Ra vzorků v závislosti na počtu aplikací výboje

Zhodnocení výsledků měření drsnosti

V tabulce 7 jsou uvedeny průměrné naměřené parametry drsnosti Ra a jejich jednotlivé směrodatné odchylky vypočítané dle vzorce:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

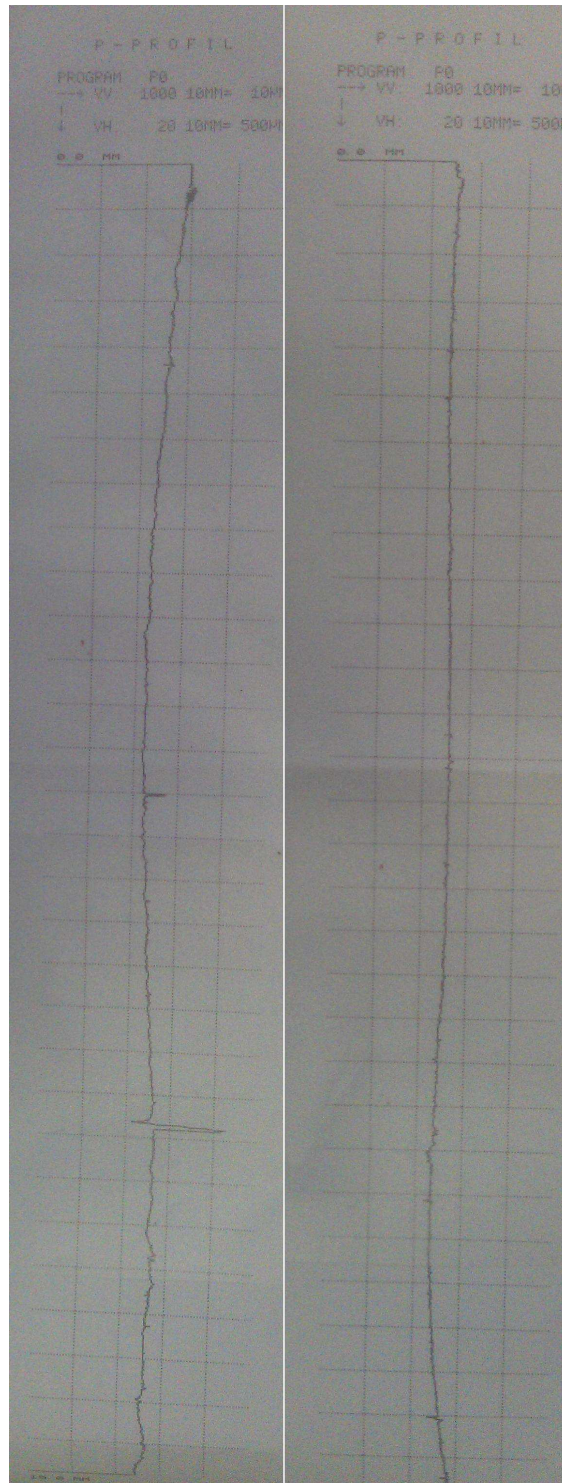
Z tabulky lze vyčíst, že rozdíl v drsnosti povrchu mezi každou další aplikací výboje není větší než 0,021 μm a maximální rozdíl v drsnosti mezi „nulovým“ vzorkem a vzorkem s pětinasobnou aplikací výboje (v příčném směru) se rovná 0,052 μm .

Jednotlivé změny v drsnosti ani maximální rozdíl tedy nepřesahují velikost možné chyby přístroje (0,06 μm) v součtu s jednotlivými směrodatnými odchylkami.

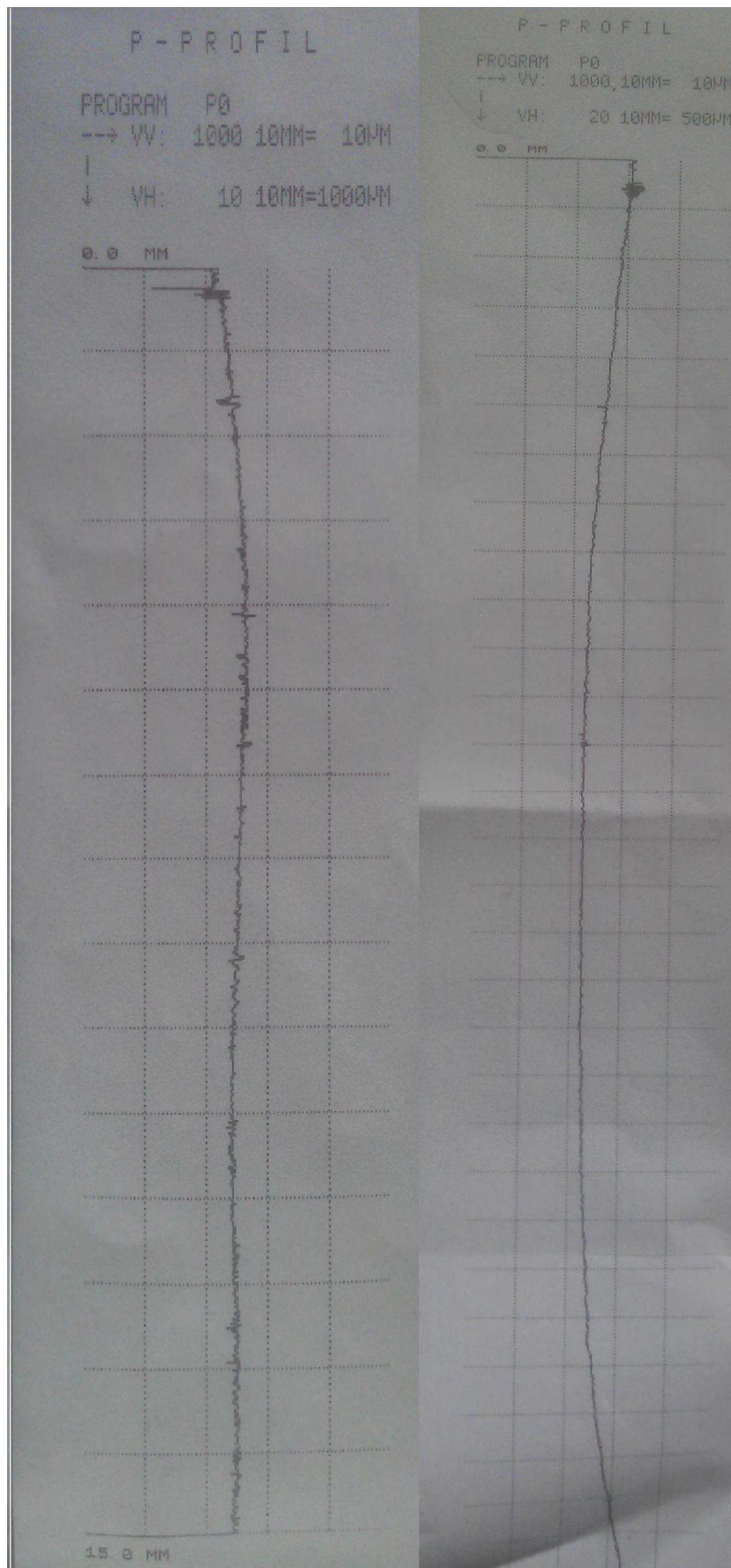
Porovnáním jednotlivých změn v drsnosti povrchu s přihlédnutím na směrodatnou odchylku měření a chybu přístroje lze říci, že změny v drsnosti po každé další aplikaci klouzavého výboje nejsou nutně tímto výbojem způsobeny.

4.2 Výsledný tvar profilu vzorků

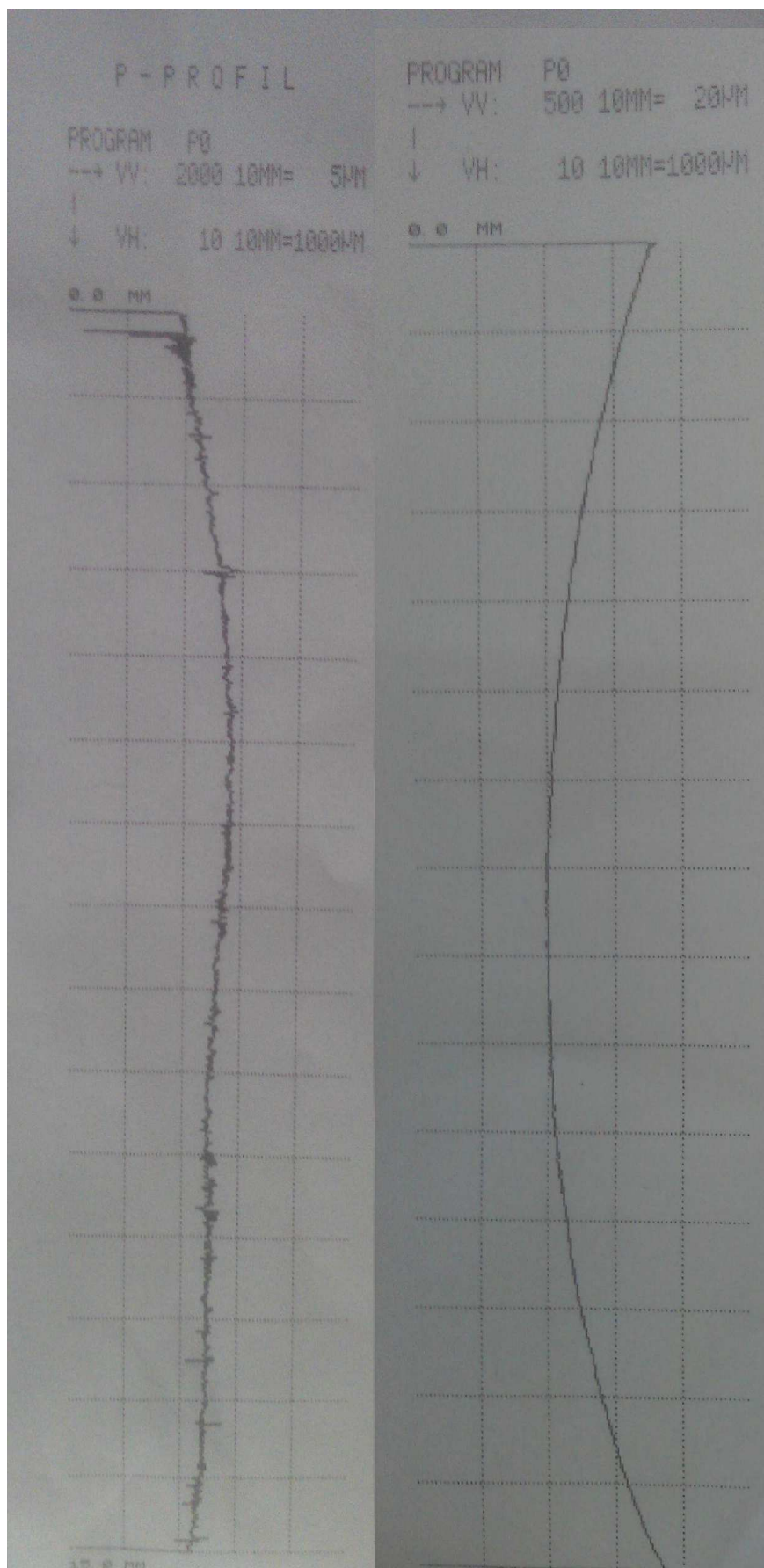
Abychom zjistili, jak se změní tvar povrchu vzorku bylo nutné vyhodnotit tvar změřeného profilu (P). Výsledkem je křivka průběhu dráhy jehly snímače, která kopírovala povrch vzorku. Tvar profilu byl vyhodnocován ve směru aplikace výboje, kolmo na směr aplikace výboje a z opačné strany vzorku, kde výboj neproběhl.



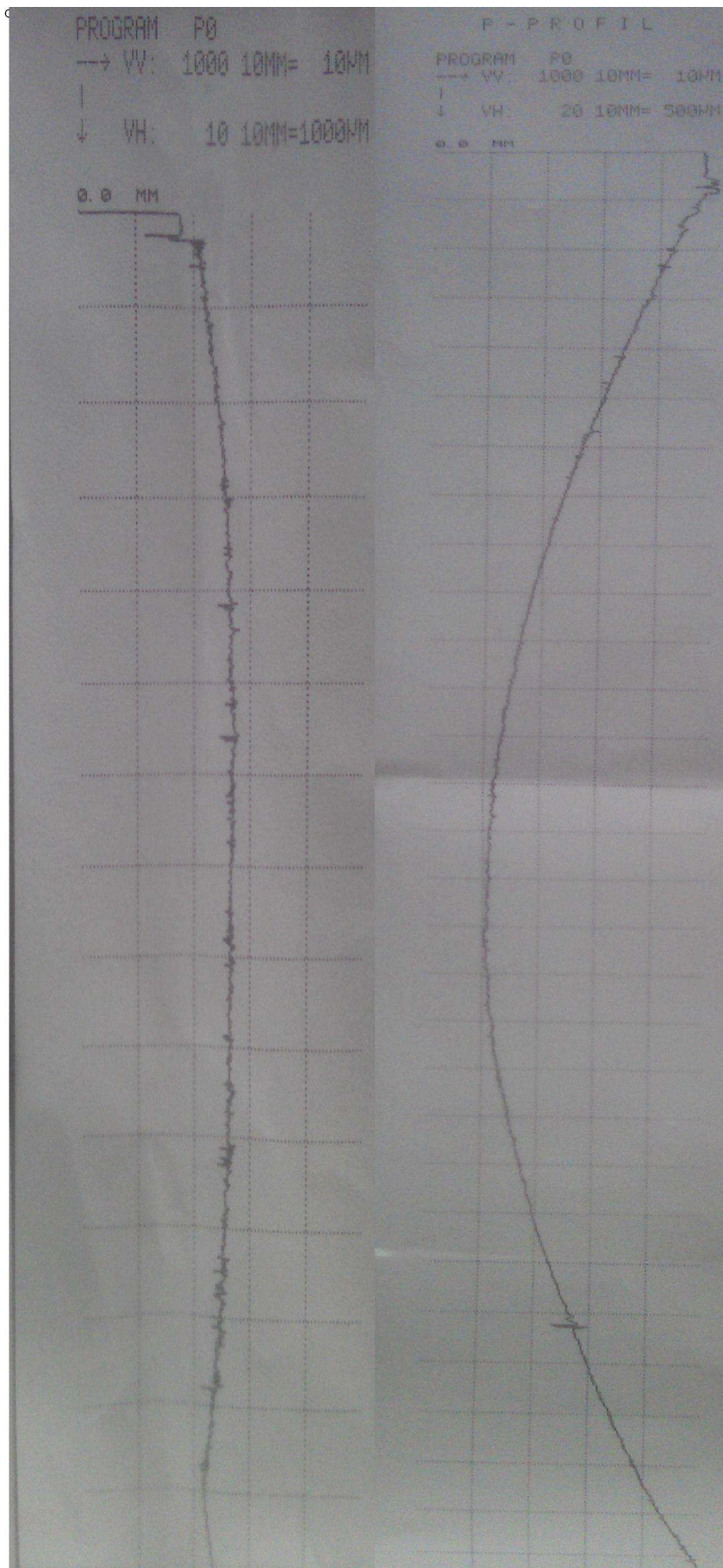
Obr. 30: Tvar profilu „nulového“ vzorku (vlevo: podélně, vpravo: příčně)



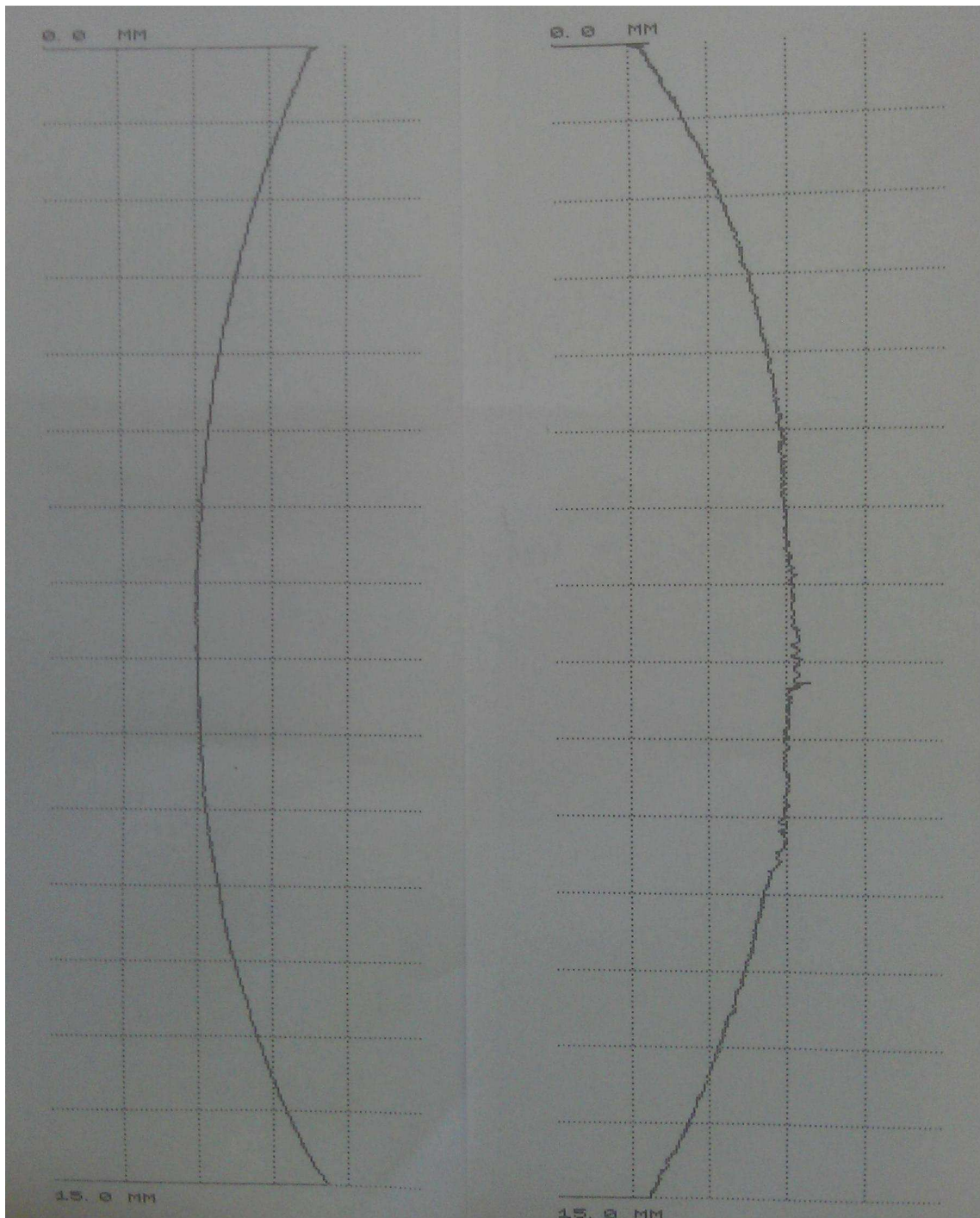
Obr. 31: Tvar profilu 1x „oplazmovaného“ vzorku (vlevo: podélně, vpravo: příčně)



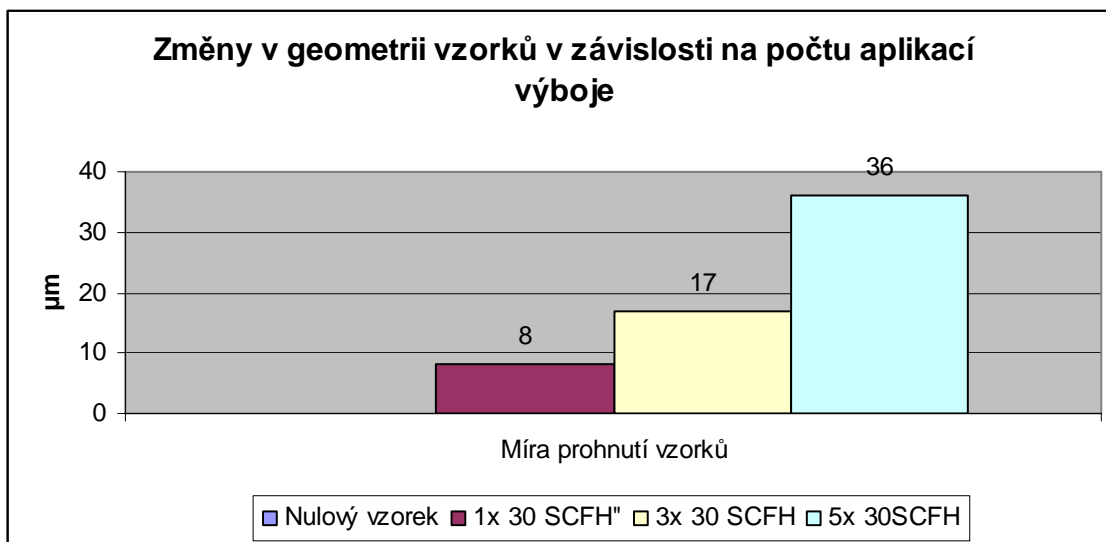
Obr. 32: Tvar profilu 3x „oplazmovaného“ vzorku (vlevo: podélně, vpravo: příčně)



Obr. 33: Tvar profilu 5x „oplazmovaného“ vzorku (vlevo: podélně, vpravo: příčně)



Obr. 34: Porovnání profilu 3x „oplazmovaného“ vzorku z opačných stran příčného směru měření (vlevo: příčný směr v místě aplikace výboje, vpravo: příčný směr z opačné strany, kde výboj neproběhl)



Graf 2: Průhyb vzorků v závislosti na počtu aplikací výboje

4.3 Zhodnocení naměřených výsledků

Měřením tvaru profilu byly zjištěny znatelné změny v geometrii vzorků. Při měření profilu nulového vzorku (viz Obr. 30) bylo zjištěno, že geometrie povrchu je přibližně stejná v podélném i v příčném směru měření. Křivka je více-méně v rovině. Rovina byla zjištěna i na straně opačné vůči „oplazmované“ straně.

Vzorek s jedinou aplikací výboje je ve směru aplikace výboje taktéž skoro rovný (viz Obr. 32: vlevo), ovšem při měření kolmo na směr aplikace výboje se ve středu součásti vyskytuje viditelný „propad“ cca 8 µm vůči výchozí rovině měření. Na vzorku se tedy vytvoří malý rádius (viz Obr. 32: vpravo). Po otočení vzorku na opačnou stranu, kde výboj neproběhl, byla měřením vyhodnocena křivka, která svým „vyboulením“ téměř odpovídala velikosti „propadu“ naměřenému z opačné strany, ovšem v inverzním směru.

U vzorku s aplikací výboje třikrát došlo při měření v příčném směru ke změně geometrie povrchu vzorku stejným způsobem, jako tomu bylo u vzorku s jednou aplikací výboje, ovšem „propad“ i „vyboulení“ byly již o něco větší - cca 17 µm (viz Obr. 32, 34).

K dalšímu zvětšení průhybu vzorku došlo při měření vzorku s pětinasobnou aplikací výboje. Nyní došlo ke změně o cca 36 µm vůči výchozí rovině. Znatelný průhyb z „oplazmované“ strany je zaznamenán na Obr. 33

Z výsledků měření drsnosti a tvaru profilu se lze domnívat, že aplikací klouzavého výboje na součást z polyethylenu není možno nějakým významným způsobem zhoršit nebo naopak zlepšit drsnost povrchu.

V případě geometrie povrchu se aplikací výboje již určité změny projeví.

V důsledku teploty výboje, která za daných podmínek odpovídá 122,3 °C (údaj převzat z [24]), se 2 mm tlustý polyethylenový vzorek pod výbojem prohne s každou další aplikací výboje. Míra prohnutí může záviset na faktorech, kterými jsou: teplota a rozsah klouzavého výboje, teplota prostředí, rozměry součásti a rychlost posuvu polyethylenové součásti pod výbojem.

Závěr

Cílem teoretické části této bakalářské práce bylo seznámení s problematikou měření struktury povrchů součástí. Byly vysvětleny nejdůležitější definice, základní pojmy a jednotky související s měřením drsnosti. Následně byly představeny základní principy měření drsnosti a profilu povrchů a přístroje a nástroje k tomu používané.

V experimentální části práce byl popsán klouzavý plazmový výboj a jeho parametry při aplikaci na polyethylenové vzorky. V další části je práce orientována na měření drsnosti a profilu povrchů polyethylenových vzorků na přístroji Hommel-Tester T2000 v laboratoři společnosti Jihostroj, a.s. Velešín.

Na konci práce jsou zhodnoceny výsledky těchto měření a vyhodnocení do jaké míry ovlivňuje aplikace klouzavého plazmového výboje kvalitu a geometrii polyethylenových destiček.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] MM Publishing s.r.o. *Časopis MM Průmyslové spektrum*, článek Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu (Vyšlo v MM : 2004 / 6, 16.06.2004 v rubrice Trendy / Měření, Strana 18). [online]
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-mereni-a-hodnoceni-struktury-povrchu-2.html> [cit. 10.2.2014]
- [2] Jurena, P.: *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem: Diplomová práce*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta Technologická, 13.5.2011. [online]
Dostupné z:
http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16302/jurena_2011_dp.pdf?sequence=1 [cit. 10.2.2014]
- [3] ČSN EN ISO 8785: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Nedokonalosti povrchu – Termíny, definice a parametry*. 2000
- [4] HOMMELWERKE GMBH. *Příručka měření povrchů*. Mühlhausen, 1999.
- [5] Taylor Hobson Ltd., *Cut-off a příručka měření povrchu*. [online]
Dostupné z: http://www.imeco-th.eu/Download/Clanky/TH_News_Cut-off.pdf [cit. 11.2.2014]
- [6] ČSN EN ISO 4287: *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*, 1999 (014450)
- [7] Mitutoyo. *Metrologická příručka pro přesné měřicí přístroje*. Mitutoyo Česko s.r.o., Teplice 2013
- [8] Tůmová, O.: *Metrologie a hodnocení procesů*. BEN-Technická literatura, Praha, 2010. 978-80-7300-2.
- [9] Ing. Lubomír Harwot, CSc., *Chyba měření – nejistota měření*. Publikace AMT měřicí technika s.r.o., Články 2007. [online]
Dostupné z: http://www.amt.cz/index.php?id=CL_CHYB [cit. 11.2.2014]
- [10] Petr Schovánek, Vítězslav Havránek, *Chyby a nejistoty měření (doplňující text k laboratornímu cvičení)*. [online]
Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pext2-nejistoty.pdf> [cit. 13.2.2014]

- [11] Bohumil Vybíral: *Zpracování dat fyzikálních měření*. Studijní text pro řešitele FO, studující fyziku na UHK a ostatní zájemce o fyziku. [online]
Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/mereni.pdf> [cit. 14.2.2014]
- [12] Ing. Ivan Dítě: *Chyby měření – jejich vznik a eliminace*, Illko s. r. o. [online]
Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=25672
[cit. 14.2.2014]
- [13] Chudý, V., Palenčár, R., Kureková, E., Halaj M.: *Meranie technických veličín*. Vydavateľstvo STU v Bratislavě, 1999, 688 s. ISBN 80-227-1275-3
- [14] Bumbálek, B., Odvody, V., Ošťádal, B.: *Drsnost povrchu*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. 338 s.
- [15] Mikš, Antonín, *Aplikovaná optika 10: geometrická a vlnová optika*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000, 259 s. ISBN 8001021165
- [16] Ohlídál, Miloslav, *Optické metody hodnocení textury povrchu v mikrometrové oblasti*. Ústav fyzikálního inženýrství FSI VUT v Brně. [online]
Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/46_Ohlidal_VUTBR.pdf
[cit. 14.2.2014]
- [17] Martinák, M.: *Kontrola a měření*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00103-X
- [18] ABE.TEC. *Jak je vyroben mikroskop*. Odborné vysvětlivky 28.7.2011 [online]
Dostupné z: <http://www.abetec.cz/odborne-vysvetlivky/jak-je-vyroben-mikroskop/> [cit. 14.2.2014]
- [19] Kalibrační laboratoř Zindler, *PE 040 - Digitální komparační délkoměr Mesing EDK 93-kal s indukčnostními snímači T102*. [online].
Dostupné z: http://www.klz.cz/navaznost_full.php?soubor=002etalony_PE040_delkomerMesing.jpg&adresar=Delka[cit. 18.2.2014]
- [20] Mitutoyo UK, *Surftest SV-2100*. [online]
Dostupné z: <http://www.mitutoyo.co.uk/form-measurement/surface-roughness/178-636-02e#prettyPhoto> [cit. 18.2.2014]
- [21] MM Publishing s.r.o. *Časopis MM Průmyslové spektrum, článek Směry vývoje kontroly povrchu* (Vyšlo v MM : 2013 / 6, 04.06.2013 v rubrice Výroba / Měření, Strana 86). [online] Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/sмеры-vyvoje-kontroly-povrchu.html>
[cit. 18.2.2014]

[22] *Fyzika plazmatu*. [online]

Dostupné z: <http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/s4r/plazma/?p=0> [cit. 12.3.2014]

[23] Kala Jaroslav, *Gliding Arc. Diplomová práce*. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická Fakulta – Katedra aplikované fyziky a techniky. 27.4.2012. [online]

Dostupné z: <http://invenio.nusl.cz/record/136169?ln=cs> [cit. 26.3.2014]

[24] Bc. Havelka Zbyněk, *Využití atmosférického plazmového zdroje GA při ošetřování obilovin*. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická Fakulta – Katedra aplikované fyziky a techniky. České Budějovice 2013 [online]

Dostupné z: <http://www.theses.cz/id/larc77/> [cit. 11.4..2014]

Seznam použitých zkratk

Lv	Rozběhová délka	[mm]
Le	Základní délka	[mm]
Lm	Vyhodnocovaná délka	[mm]
Lt	Délka měřeného úseku	[mm]
Ln	Doběhová délka	[mm]
Ra	Střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
Rmax	Maximální jednotlivá hloubka drsnosti	[μm]
Rz	Výška nerovnosti profilu určená z 10-ti bodů	[μm]
Wt	Hloubka vlny	[μm]
Pt	Hloubka profilu	[μm]
D	Hustota	[-]
Sm	Střední vzdálenost stop po opracování	[μm]
Rt	Největší hloubka drsnosti	[μm]
Lo	Délka rozvinutého profilu	[μm]
Lr	Relativní délka profilu	[μm]
Ac	Mezní vlnová délka	[mm]

Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1	Výběr mezní vlnové délky λ_c podle DIN 4768/4777
Tabulka 2	Specifikace měřícího přístroje Hommel-Tester T2000
Tabulka 3	Naměřené hodnoty „nulového“ vzorku
Tabulka 4	Naměřené hodnoty vzorku s jedinou aplikací výboje
Tabulka 5	Naměřené hodnoty vzorku s trojnásobnou aplikací výboje
Tabulka 6	Naměřené hodnoty vzorku s pětinasobnou aplikací výboje
Tabulka 7	Průměrné R_a a směrodatná odchylka jednotlivých skupin vzorků
Graf 1	Změny R_a vzorků v závislosti na počtu aplikací výboje
Graf 2	Průhyb vzorků v závislosti na počtu aplikací výboje