

Vliv struktury povrchu na mikrobiální prostředí

Bc. Petr Šánek

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Šánek**
Osobní číslo: **T11182**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv struktury povrchu na mikrobiální prostředí**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická studie na dané téma.
2. Příprava vzorků s různou jakostí povrchové vrstvy a nepravidelnou topografií povrchu.
3. Kultivace bakterií na připravených vzorcích.
4. Měření a hodnocení interakce biofilmu a substrátu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

BUŇKOVÁ, Leona a DOLEŽALOVÁ, Magda. Obecná mikrobiologie. Vyd. 2., nezměn. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. 190 s. ISBN 978-80-7318-973-0.

HARLEY, John P. Laboratory exercises in microbiology. 6th ed. Boston, Burr Ridge, IL: McGraw Hill, Higher Education, c2005, xiv, 466 s. ISBN 0072556803.

TORTORA, Gerard J, Berdell R FUNKE a Christine L CASE. Microbiology: an introduction. 9th ed. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings, c2007, xxvi, 958 s. ISBN 0805347917.

RUSSELL, J. C., et al. Surface topographical factors influencing bacterial attachment. Adv. Colloid Interface Sci., 2012, vol. 179-182, p. 142-149. DOI: 10.1016.

TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, 2009, XVII, 398 s. ISBN 978-3-642-01007-1.

KOCMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.

FIALA, Jaroslav a Ivo KRAUS. Povrchy a rozhraní. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009, 299 s. ISBN 978-80-01-04248-9.

BÖRNER, Hans Gerhard, Jean-Francois LUTZ a Nezha BADI. Bioactive surfaces. Berlin: Springer, c2011, xi, 222 s. ISBN 978-3-642-20154-7.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. František Bílek

Centrum polymerních materiálů

Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně, 10. 5. 2013

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem práce bylo studovat adhezi bakterií pomocí změn drsnosti povrchu a daný povrch charakterizovat. Broušením byly připraveny vzorky z polypropylenu s různou topografií povrchů, následně došlo ke kontaminaci bakteriemi v koncentrovaném bakteriální roztoku a ke změření počtu přichycených bakterií na vzorku po jednodenní inkubaci. Dále byly stanoveny závislosti adheze bakterií na různých parametrech drsnosti. V teoretické části jsou popsány dokončovací metody, parametry drsnosti a základní informace o bakteriích.

Klíčová slova: bakteriální adheze, parametry drsnosti povrchu, polypropylen, broušení.

ABSTRACT

The aim of this master thesis was to study bacterial adhesion in relation to surface roughness and the surface characteristic. Samples were prepared by grinding process from Polypropylene material with varying topography of the surface. Next, the surface was contaminated by bacteria in concentrated bacterial solution and afterwards was measured the number of adherent bacteria after one day incubation. Moreover, the dependence of bacteria adhesion on surface roughness parameters was obtained. The review of the master thesis describes the finishing methods, roughness parameters and essential information about bacteria.

Keywords: Bacterial Adhesion, Surface Roughness Parameters, Polypropylene, Grinding.

Poděkování

Především chci poděkovat svému vedoucímu, Ing. Františku Bílkovi, Ph.D. a Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. za vedení při práci, odborné rady, ochotu a strávený čas. Dále děkuji za pomoc při charakterizaci povrchů panu Ing. Martinu Řezníčkovi, Ing. Magdě Rafajové a Ing. Antonínu Minaříkovi, Ph.D. V neposlední řadě děkuji za praktické rady také Ing. Jiřímu Šálkovi, Ing. Jaroslavu Malochovi, CSc., RNDr. Martinu Fajkusovi, Ph.D. a Ing. Lence Chvátalové, Ph.D. za přípravu vzorků.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, 10. 5. 2013

.....

Podpis studenta

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD..... | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 DOKONČOVACÍ METODY OBRÁBĚNÍ | 12 |
| 1.1 BROUŠENÍ..... | 13 |
| 1.2 HONOVÁNÍ | 16 |
| 1.3 LAPOVÁNÍ | 19 |
| 1.4 SUPERFINIŠOVÁNÍ..... | 22 |
| 1.5 LEŠTĚNÍ..... | 24 |
| 1.5.1 Elektrolytické leštění..... | 24 |
| 1.6 TRYSKÁNÍ | 26 |
| 1.7 OMÍLÁNÍ..... | 28 |
| 1.8 VYHLAZOVÁNÍ POVRCHU DIAMANTEM | 30 |
| 1.9 VÁLEČKOVÁNÍ | 31 |
| 1.10 KALIBROVÁNÍ | 32 |
| 1.11 TRYSKÁNÍ | 33 |
| 1.12 VIBRAČNÍ ZPEVŇOVÁNÍ..... | 34 |
| 2 JAKOST POVRCHU | 35 |
| 2.1 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE | 35 |
| 2.1.1 Vyhodnocování 2D povrchu | 38 |
| 2.1.2 Vyhodnocování 3D povrchu | 38 |
| 2.2 PARAMETRY DRSNOSTI POVRCHU | 39 |
| 2.2.1 Amplitudové - ve směru osy „Z“ | 39 |
| 2.2.2 Frekvenční - ve směru osy „X“ | 43 |
| 2.2.3 Hybridní - kombinace amplitudy a rozteče | 46 |
| 3 BAKTERIÁLNÍ PROSTŘEDÍ | 51 |
| 3.1 TYPY BAKTERIÍ..... | 51 |
| 3.2 STRUKTURA BAKTERIE | 52 |
| 3.3 ROZMNOŽOVÁNÍ BAKTERIÍ | 54 |
| 3.4 BIOFILM..... | 55 |
| 3.4.1 Faktory, které ovlivňují adhezi bakterií k povrchu materiálu | 57 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 59 |
| 4 PŘÍPRAVA VZORKŮ | 60 |
| 4.1 VSTŘIKOVÁNÍ..... | 61 |
| 4.2 BROUŠENÍ..... | 62 |
| 5 BAKTERIÁLNÍ TESTY | 64 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.1 | STERILIZACE..... | 64 |
| 5.2 | INOKULUM..... | 65 |
| 5.3 | INKUBACE VZORKŮ V INOKULU | 66 |
| 5.4 | ULTRAZVUKOVÉ ODSTRANĚNÍ BAKTERIÁLNÍ VRSTVY | 67 |
| 5.5 | ZJIŠTĚNÍ KONCENTRACE PŘIČHCENÝCH BAKTERIÍ POMOCÍ ŘEDĚNÍ A KULTIVACE NA AGARU..... | 68 |
| 6 | VÝPOČET ADHEZE BAKTERIÍ, CHARAKTERIZACE POVRCHŮ VZORKŮ A VYHODNOCENÍ..... | 70 |
| 6.1 | VÝPOČET ADHEZE BAKTERIÍ | 70 |
| 6.2 | CHARAKTERIZACE POVRCHŮ VZORKŮ | 71 |
| 6.3 | VYHODNOCENÍ | 78 |
| | ZÁVĚR | 83 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 85 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 90 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 91 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 94 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 95 |

ÚVOD

Bakterie jsou organismy, které mají v přírodě své nezastupitelné místo. I ve velké řadě průmyslových odvětví se s výhodou využívají mikrobiální procesy. Jsou však odvětví, kde růst bakterie překáží a vede k finančním ztrátám a ohrožení zdraví.

Jsou to například problémy se zanášením potrubí, usazováním se na trupech lodí nebo v lékařství při zavádění katetrů či operací endoprotéz.

Bakterií z povrchu se lze zbavit mnoha způsoby a to mechanicky, chemicky atd. Ne vždy je to však finančně, ekologicky či jinak možné.



Cílem práce tedy je upravit povrch, který svým tvarem adhezi bakterií snižuje. V poslední době odborných prací na toto téma roste [48], a proto i tato práce se snaží přispět k tomuto směru svým dílem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DOKONČOVACÍ METODY OBRÁBĚNÍ

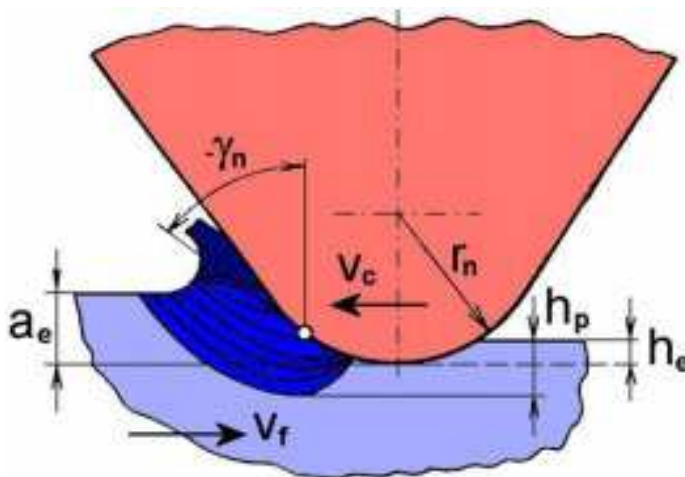
Tab. 1. Hodnoty Ra vybraných technologií.

| Proces | Ra [μm] | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|--|--|
| | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,025 | 0,012 | | |
| Broušení | | | | | | | | | | | | |
| Honování | | | | | | | | | | | | |
| Lapování | | | | | | | | | | | | |
| Superfinišová- ní | | | | | | | | | | | | |
| Leštění - elek- trolytické | | | | | | | | | | | | |
| Leštění | | | | | | | | | | | | |
| Tryskání (s úběrem třísky) | | | | | | | | | | | | |
| Omílání | | | | | | | | | | | | |
| Vyhlazování diamantem | | | | | | | | | | | | |
| Válečkování | | | | | | | | | | | | |
| Kalibrování | | | | | | | | | | | | |
| Tryskání (bez úběru třísky) | | | | | | | | | | | | |

 Oblast občasného použití.
 Oblast obvyklého použití.

1.1 Broušení

Broušení je technologie obrábění, při které dochází k úběru materiálu nástrojem s nedefinovanou geometrií ostří. Nástroj vykonává hlavní rotační pohyb. Hlavními odlišnostmi jsou ale různorodý tvar brousících zrn a nepravidelné rozmístění na ploše brousícího nástroje. Řezná rychlost brousícího procesu se pohybuje v rozmezí 30 až 100 m.s⁻¹ a při malých průřezech třísky (10⁻³ až 10⁻⁵ mm²). Díky málo pevnému zakotvení brousících zrn ve vazbě kotouče má brousící kotouč schopnost tzv. samoostření. V důsledku velkých plastických deformací a vnějšího a vnitřního tření se určitá část třísky ohřeje natolik, že se roztaví a vytvoří kapky kovu nebo shoří (jiskření) [1].



γ_n – normální úhel čela

r_n – poloměr zaoblení ostří

a_e – pracovní (radiální) záběr

h_p – vrstva ovlivněná plastickou deformací

h_e – vrstva ovlivněná pružnou deformací

v_c – řezná rychlost,

v_f – rychlost posuvu

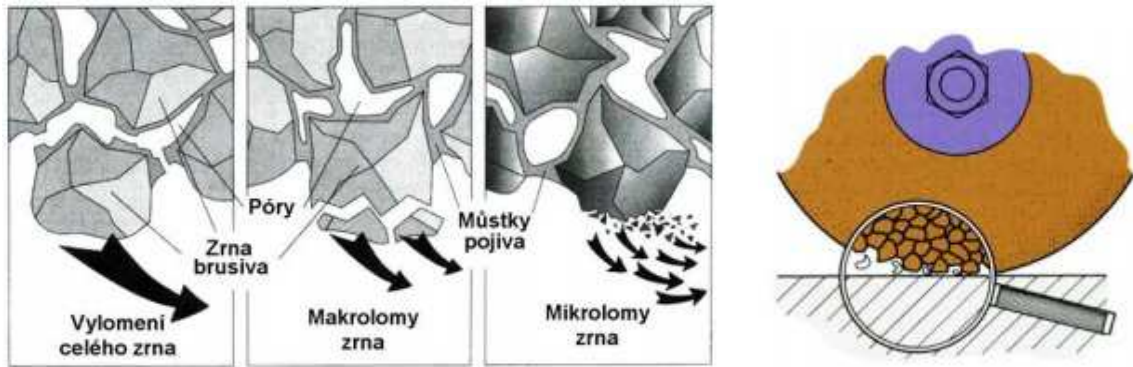
Obr. 1. Model záběru brousícího zrna [2].

Brousící zrna mají zpravidla negativní čela γ_n úhel. Za řeznou rychlost je považována rychlost obvodová. Řezná rychlost má vliv na kvalitu a hospodárnost procesu. Při malé řezné rychlosti dochází k rychlému opotřebení kotouče (vysoký tlak na jednotlivá zrna). Při vysokých rychlostech dojde ke zmenšení objemu třísky. To má za následek snížení tlakových sil působících na zrna a nedojde k vyloupnutí zrna (pálení obráběného povrchu, ucpání kotouče) [2].

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} \text{ [m.s}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

d_s – průměr brousícího kotouče [mm]

n_s – frekvence otáčení brousícího kotouče [min⁻¹]



Obr. 2. Vlevo ukázka vylamování zrn a vpravo ukázka nepravidelného úběru třísky [2].

Broušením lze obrábět rovinné plochy, rotační (vnitřní, vnější), závity, ozubená kola a různé tvary obrobků, které kopírují tvar broušícího kotouče. Přesnost technologie se pohybuje v rozmezí pro hrubovací broušení IT 9 – IT 11 a jakost povrchu Ra 0,8 - 3,2 μm . A pro jemné broušení IT 3 – IT 5 Ra 0,05 – 0,4 μm [3].

Broušící proces se uskutečňuje různými metodami definovanými podle:

- Tvaru obrobeného povrchu a způsobu jeho vytváření: rovinné, do kulata, na otáčivém stole, tvarové, kopírovací, tvarovými broušícími kotouči.
- Aktivní části broušícího kotouče: obvodové a čelní.
- Vzájemné polohy broušícího kotouče a obrobku: vnější a vnitřní.
- Hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k broušícímu kotouči: axiální, tangenciální, radiální, obvodové zapichovací, čelní zapichovací [3].

Brousící nástroje:

- Pojivo: keramické, pryskyřičné, kovové, pryžové, magnezitové, šelakové.
- Brusivo: umělý korund, karbid křemíku, karbid boru, kubický nitrid boru, diamant.
- Dělení dle typu: ploché, prstencové, kuželové, oboustranně kuželové, s jednostranným vybráním, hrncovité, miskovité [1-3].

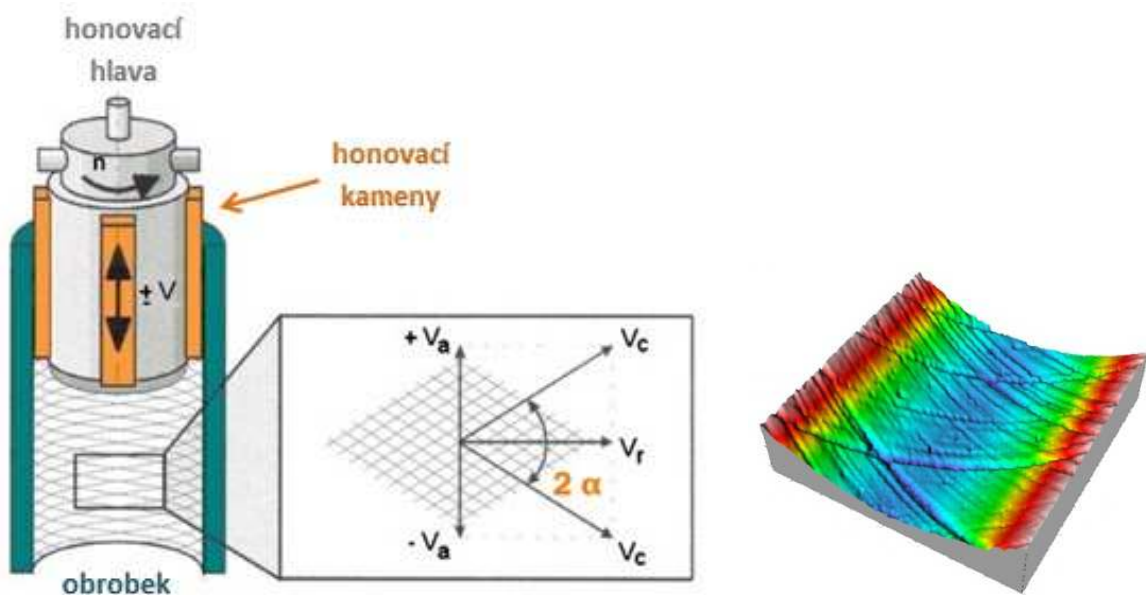
Brousící stroje jsou vyráběny a dodávány v širokém sortimentu druhů a použití:

- Rotační brusky: hrotové, bezhroté.
- Rovinné brusky: vodorovné, svislé.
- Brusky na díry: s rotačním pohybem obrobku, s planetovým pohybem kotouče.
- Nástrojové brusky: univerzální, speciální [3].

1.2 Honování

Tato technologie je v podstatě broušení malou rychlostí honovacími kameny, které jsou upnuty v honovací hlavě a přitlačovány na obráběnou plochu. Honováním lze dokončovat plochy jak vnitřní, tak i vnější. Díra se před honování jemně vyvrtá nebo vybrousí s přídatkem na honování. Honovací hlava má 3 - 12 brousících kamenů a koná složený pohyb – otáčivý a přímočarý (vratný) ve směru osy. Nastavení rozměru a velikosti přitlačné síly se provádí pomocí rozpínacích kuželů. Přitlačná síla se volí v rozmezí 0,2 – 1,5 MPa. Přesnost geometrického tvaru dosažitelná honováním je od 2 do 5 μm .

Vlivem složeného pohybu vznikají na povrchu charakteristické křížové stopy, které svírají úhel 2α (větší úhel = nižší drsnost). Hodnota úhlu α (většinou 20° - 55°) je závislá na otáčivém a přímočarém pohybu [1-4,13].



Obr. 3. Princip honování a ukázka charakteristické plochy po honování [5].

Délka zdvihu se u honování musí seřídit tak, aby honovací hlava vyjízděla o $\frac{1}{4}$ své délky dole i nahoře přes honovanou část plochy. Podle rychlosti pohybů rozlišujeme honování s dlouhým (zlepšení válcovitosti) a krátkým zdvihem (zlepšení válcovitosti i kruhovitosti) [1,3,4].

Metoda je úzce příbuzná broušení. Honování je náchylné na vznik tepla, proto je zde zapotřebí chladit. K chlazení a odplavování třísek se používá emulze petroleje s parafínem nebo sířený olej.

Uplatnění této technologie je především při dokončování vnitřních válcových ploch, válců spalovacích motorů, vedení ventilů, šoupátek a hydraulických prvků.

Dále je známé také honování elektrolytické, vibrační a laserovým paprskem [1,3,4].

Honování dělíme dle přesnosti na:

- Předběžné (jednostupňové): pro hrubování i dokončování je použit jeden nástroj. Pro dokončování se pak sníží přitlačná síla nebo úhel α .

IT 6 – IT 7 a Ra 0,4 – 0,8 μm .

- Jemné (dvoustupňové): dva nástroje – jeden hrubovací a jemnozrný pro dokončení. IT 5 Ra 0,1 – 0,2 μm . Při velmi jemném honování lze dosáhnout přesnosti až IT 3 – 4 a Ra 0,025 – 0,1 μm . Závisí na zrnitosti kamenů a době honování [1,3,4].

Honovací kameny a stroje:

- Karborundum: SiC, pro honování litiny.
- Umělý korund: Al₂O₃, pro honování ocelí.
- Syntetický diamant: pro honování slinutých karbidů [2,4].
- Honovací stroje se vyrábějí v širokém rozsahu provedení a rozměrů, podle velikosti a počtu honovacích kamenů. Mohou vykazovat různý stupeň automatizace. Dle polohy vřeten jsou rozlišovány stroje svislé a vodorovné, dle počtu vřeten potom jednovřetenové a vícevřetenové [1,3,4].

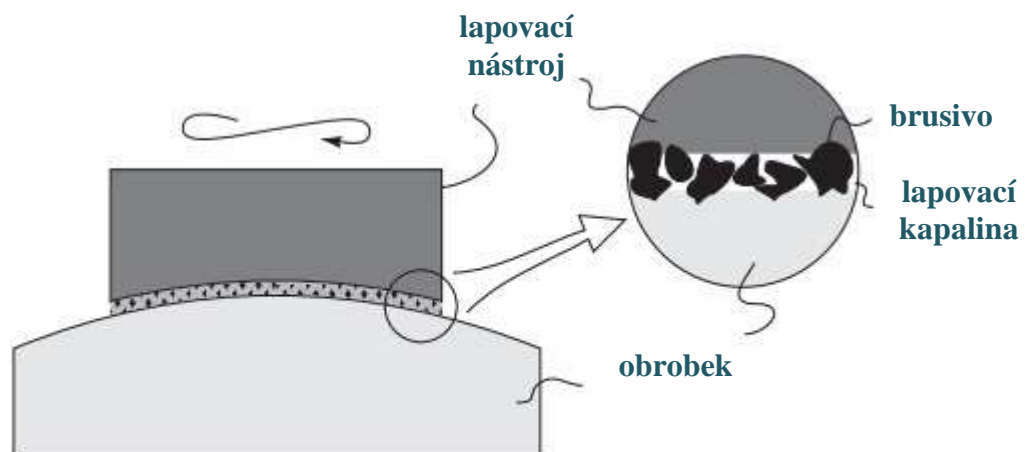


Obr. 4. Vlevo honovací kameny, uprostřed honovací nástroj s 15-ti kameny, vpravo jednovřetenový honovací stroj [6-8].

1.3 Lapování

Lapování je dokončovací metoda volně rozptýleným brusivem v kapalině (olej, petrolej, parafín) nebo brusné pastě. Řezný pohyb brusných zrn je vyvolán lapovacím nástrojem (negativ obráběné plochy), který koná při obrábění nepravidelný pohyb vůči obráběné ploše. Zrna se pohybují po stále měnících se drahách a tím zanikají stopy po předchozím obrábění. Hodí se k dosažení extrémně vysokých přesností tvaru, vysoké kvality povrchu, úzkých rozměrových tolerancí a minimálních vůlí dvou vzájemně uložených ploch. Lapovat lze rovinné, tvarové (vnitřní, vnější) plochy. Používá se zejména jako dokončovací operace při výrobě kluzných a valivých ložisek, měřidel a závitů.

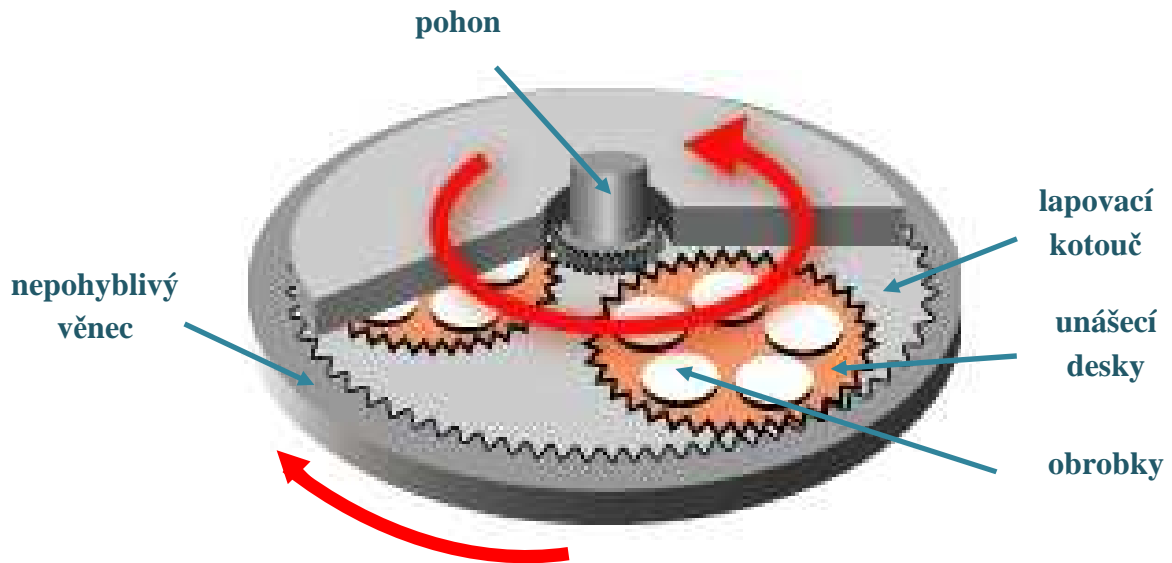
Lze dosáhnout přesnosti IT 1 – IT 3 a drsnosti povrchu Ra 0,02 – 0,15 μm [1,2,4,13].



Obr. 5. Schéma ručního (jedno kotoučového) lapování a princip úběru materiálu [9].

Způsoby lapování:

- Jednokotoučové lapování: obrobek přiléhá na otáčející se lapovací kotouč mírným tlakem a pohybuje se v radiálním směru sem a tam. Otáčí se a kmitá.
- Dvoukotoučové lapování: ploché obrobky leží v kruhovém unášeči mezi dvěma protiběžnými lapovacími kotouči. Unášeč uděluje obrobkům dostatečný otáčivý pohyb. Kotouče nezanechávají kruhové stopy po lapování [2,4].



Obr. 6. Schéma strojního (dvoukotoučového) lapování [10].

Lapovací nástroje a brusivo:

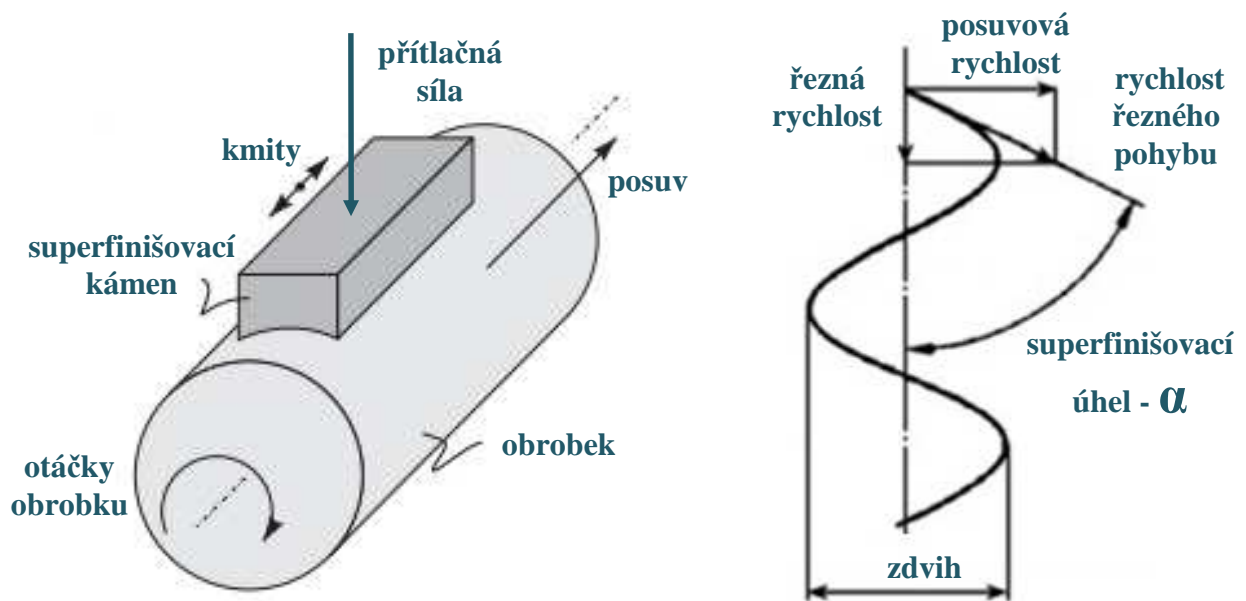
- Nástroje se vyrábějí se z jemnozrnné perlitické nebo feritické litiny, z mědi, měkké oceli, olova, plastických hmot apod. Pro velmi jemné lapování se používají nástroje z kalené oceli nebo nástroje tvrdě chromované. Ručně se lapuje lapovacími deskami (rovinné plochy), trny (díry) nebo prstenci (vnější válcové plochy).
- Brusivo se volí podle obráběného materiálu. Pro obrábění měkkých materiálů se používá oxid železitý, oxid chromitý, vídeňské vápno. Pro ocel umělý korund. Pro litinu a keramiku karbid křemíku a pro zvláště tvrdé materiály jako slinuté karbidy se používá karbid bóru, kubický nitrid bóru, diamant [1,4].



Obr. 7. Vlevo nahoře lapovací kotouč, vlevo dolů lapovací deska pro ruční lapování a vpravo svislý lapovací stroj Servo RS 5400 [11,12].

1.4 Superfinašování

Jde o vysoce produktivní metodu dokončování vnějších a vnitřních rotačních i rovinných ploch. Vrcholky nerovností jsou odřezávány jemnými zrnny superfinašovacími kameny. Superfinašování je charakterizováno malými řeznými rychlostmi a kmitavým (oscilačním) pohybem superfinašovacího nástroje (superfinašovací hlavy) přitlačovaného silou F na obráběnou plochu [3].



Obr. 8. Schéma superfinašování [9,2].

Řezný pohyb vzniká superpozicí rotace obrobku o rychlosti (10 až 80 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$) a kmitavého pohybu o frekvenci (500 až 3000 min^{-1}). Amplituda superfinašvacích kamenů je 0,1 až 10 mm. Rychlost kmitavého pohybu se volí 2 až 15 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$

Kameny (1 až 4) jsou přitlačovány (hydraulicky nebo mechanicky) vyvolaným tlakem (0,1 až 0,4 MPa), který zvětšováním nosného podílu (snižováním drsnosti) poklesne tak, že kameny začnou „plavat“ na vrstvě procesní kapaliny a řezný proces se automaticky zastaví. Superfinašování má hrubovací a leštící fázi.

Největšího úběru se dosáhne, když je superfinašovací úhel $\alpha = 40^\circ$ až 60° , ale obrobek je matný. Naopak při úhlech $\alpha < 40^\circ$ se snižuje řezivost kamene a povrch získá vysoký lesk [1,13].

Superfinašují se hřídele, klikové hřídele, pístní čepy, oběžné dráhy kroužků ložisek a kluzná uložení [1,13].

Předcházející operací před superfinašováním je nejčastěji broušení. Přídavek záleží na drsnosti, které chceme dosáhnout. Přídavek se volí v rozmezí od 2 – 12 μm . Superfinašováním dosahujeme přesnosti IT 2 – IT 4 a drsnosti povrchu Ra 0,025 – 0,4 μm . Ke zlepšení geometrického tvaru příliš nedochází [1,4].

Superfinašovací kameny a stroje:

- Tvary superfinašovacích kamenů se přizpůsobují tvaru obráběné plochy. Pro obrábění litiny a slitin se vyrábí kameny z karborunda. Pro vysoce legované nástroje a konstrukční oceli se vyrábí kameny z kubického nitridu boru v keramické vazbě. Pro slinuté karbidy se používá diamantový prášek v organické vazbě.
- Superfinašovací stroje rozlišujeme na jednovřetenové nebo vícevřetenové na obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch [4,13].

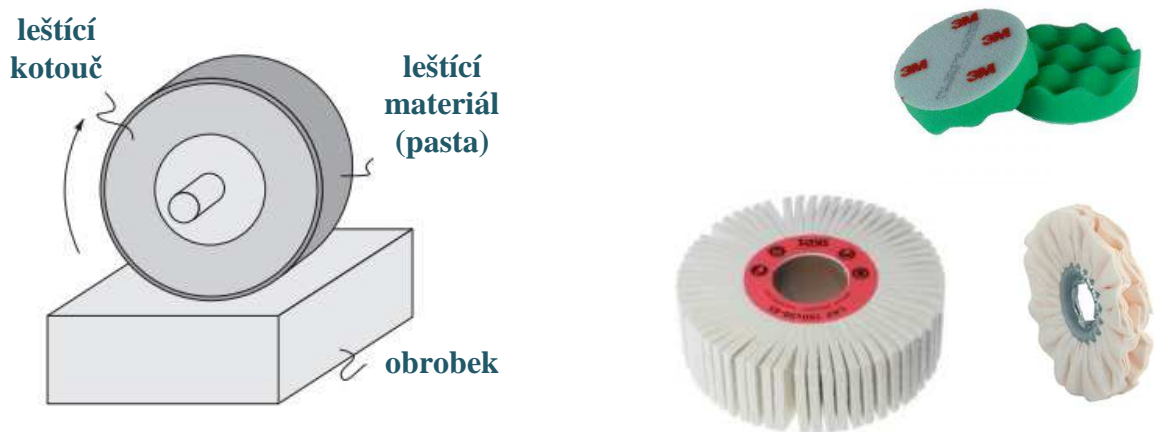


Obr. 9. Vlevo typy superfinašovacích kamenů, vpravo nahoře ukázka využití a vpravo dole ukázka superfinašovacího prostředí. [14-16]

1.5 Leštění

Princip spočívá v mikroskopickém odebírání materiálu, odstraňují se pouze stopy po předchozí operaci. Rozměry se nemění, zlepšuje se vzhled, dochází k odstranění nečistot, vrstev oxidů a chemických sloučenin. Provádí se před galvanickým pokovováním.

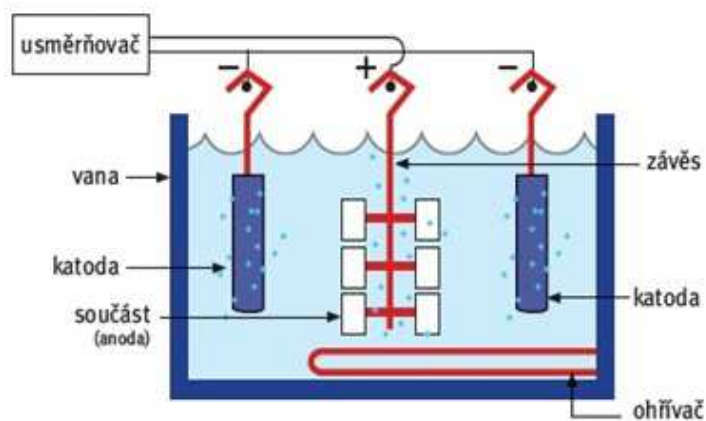
Nástroje jsou textilní nebo plstěné kotouče, liší se rozdílnou tvrdostí. Součástí procesu je i leštící pasta [9].



Obr. 10. Princip leštění kotoučem a ukázka nástrojů [9,17].

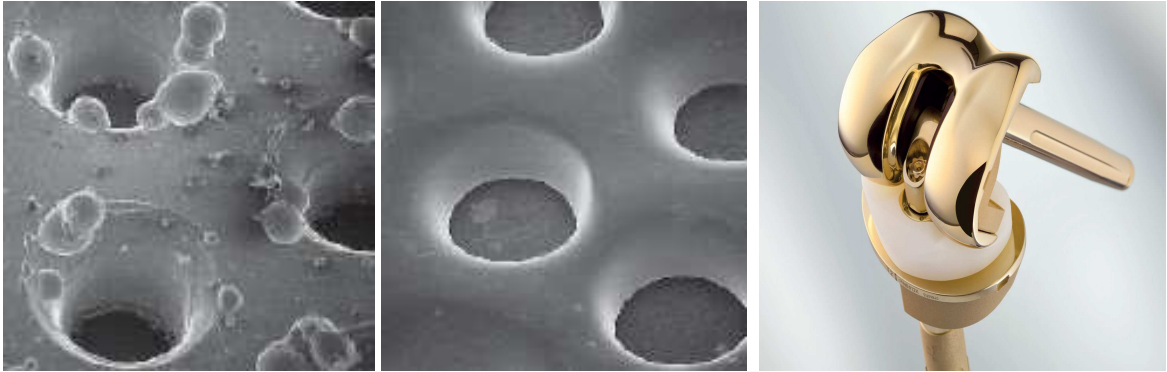
1.5.1 Elektrolytické leštění

Princip metody je vlastně opak galvanického pokovování. Dochází k odebírání kovu z povrchu upravované součásti a ve formě iontů přechází do roztoku [18].



Obr. 11. Schéma elektrolytického leštění [18].

Doba trvání je 2 – 20 minut. Účinná metoda k odstranění otřepů na nesnadno přístupných místech. Součást není vystavena tepelnému účinku. Využití je především u korozi-vzdorných ocelí a to u zdravotních pomůcek a implantátů [18].



Obr. 12. Pohled na povrch před a po elektrolytickém leštění a příklad použití [18,19].

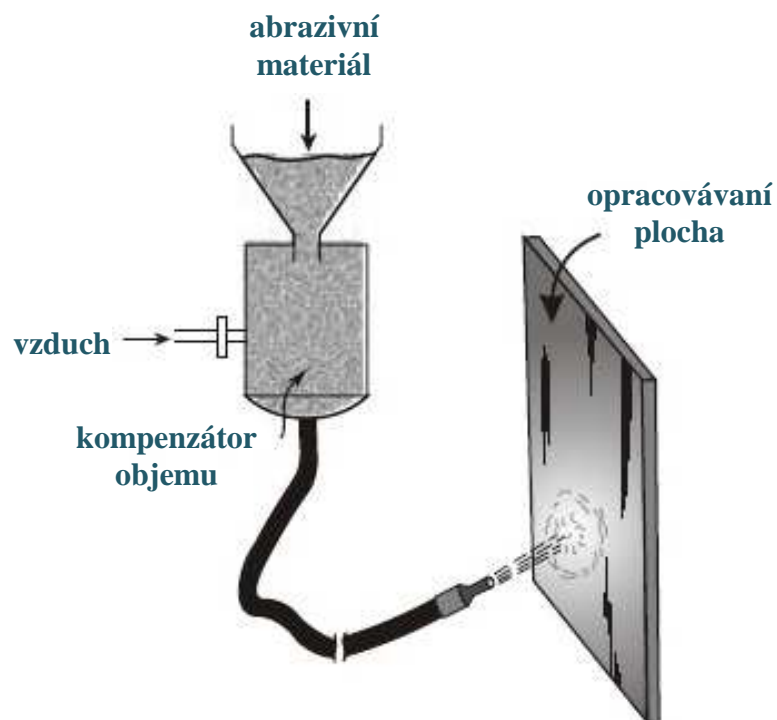
1.6 Tryskání

Tato technologie je známá spíše pod pojmem pískování, či otryskávání. K úběru materiálu dochází dopadáním abrazivního materiálu za vysoké rychlosti na obrobek. Nosným médiem abraziva je zpravidla vzduch či kapalina. Tato média dopravují elementy přestavitelnými tryskami až k obráběnému materiálu. Jiným způsobem je tzv. metací kolo, kde je abrazivum odstředivou silou dopravováno na obráběný materiál.

Dochází ke zlepšení vzhledu povrchu a jeho drsnosti. Nedochozí k žádnému tepelnému ovlivnění obrobku, dochází však k částečnému zpevnění povrchu [4].

Technologii lze rozdělit dle dopravy abraziva:

- Stlačeným vzduchem: vhodné pro nestandardní tvary (dutiny, obtížně přístupné místa, rámy, konstrukce). Vhodné pro kusovou i sériovou výrobu.
- Odstředivým kolem: nevhodné pro tvarově rozmanité dílce. Vhodné pro sériovou a hromadnou výrobu. Nevyžaduje obsluhu [4,20].



Obr. 13. Princip tryskání [21].

Množství odebíraného materiálu a drsnost povrchu lze ovlivnit:

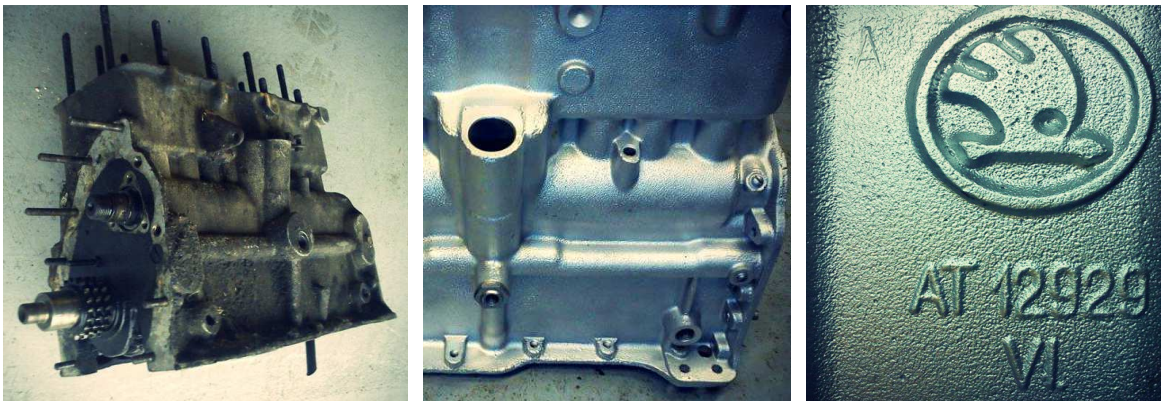
- Druhem a zrnitostí abraziva (80 - 600).
- Tlakem nosného média (0,1 – 1 MPa).
- Vzdáleností trysky od povrchu (20 - 100 mm).
- Sklonem trysky (10° - 45°).
- Rychlostí posuvu trysky k obrobku.
- Počtem cyklů [4].

Abrazivní materiál:

- Hrubé operace: písek (SiO_2), oxid hlinitý (Al_2O_3), a karbid křemíku (SiC).
- Zemědělské produkty: drcené skořápky.
- Dále: litinová zrna, jemné třísky struska a jiné [4,20].

Použití:

- Členité součásti a nepravidelné tvary.
- Obtížně přístupné plochy.
- Výkovky, odlitky [4].



Obr. 14. Blok motoru před a po tryskání [22].

1.7 Omílání

Jedna z nejproduktivnějších metod úpravy povrchů velkého množství dílců bez nároku na přesnost. Proces, při kterém se obrobek, leštící prostředek a aktivní kapalina dostávají do vzájemného pohybu. Využití je zejména u drobných dílců k odstranění ostrých hran či otřepů [4].

Technologie omílání:

- Rotační omílání: menší díly, velké série, omílací rychlost 1,2 – 1,5 m/s.
- Vibrační omílání: výrobky jsou ve vaně s vibračním pohybem. Výkon až 5 x vyšší než rotační omílání.
- Odstředivé omílání: jde o nejrychlejší metodu, hrubší omílání menších dílů. Planetové uspořádání.
- Tryskací omílání: základem je pás, který odvaluje částice a hlava, která vystřeluje částice na dílec [23].

Fáze procesu:

- Čištění: odstranění nejhrubších částic.
- Broušení: střední zrnitost brusiva (60 – 120).
- Leštění: jemné brusivo (240 – 500).
- Doleštění: nejmenší částičky brusiva (vápno, plavená křída, apod.) ulpí na povrchu pomocných prostředků (korková drť, kuličky z polymeru, dřevěné piliny, apod.) Takto vytvořené částice dolešťují povrch [4].



Obr. 15. Pohled na omílací proces a díly před a po omílání [22,24].

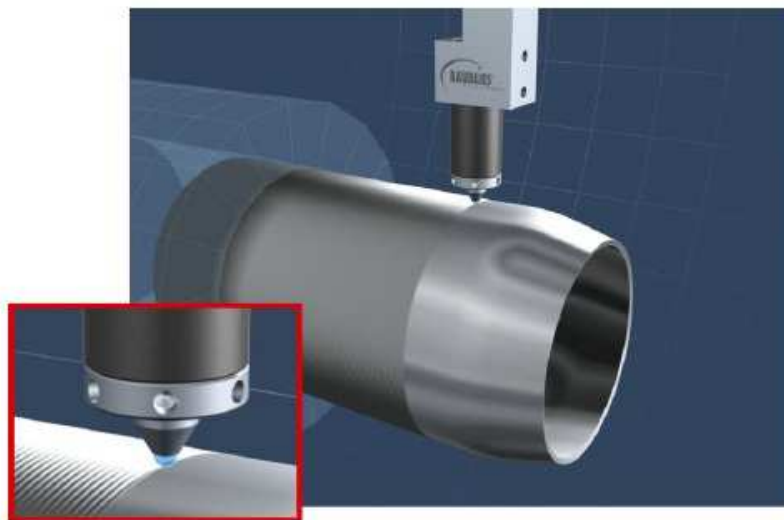
1.8 Vyhlazování povrchu diamantem

U této technologie nedochází k odvalování nástroje oproti válečkování. Většinou na předsoustruženém povrchu dílce dochází k plastické deformaci. Špičky vrcholů „zatékají“ do prohlubní a tím dochází ke zlepšení drsnosti, zpevnění povrchu, dále povrchové tvrdosti a meze únavy. U této metody je kontaktní plocha velmi nízká a tak dosahujeme plastické deformace za nízkých přítláčných sil. Diamantové nástroje umožňují vyhlazovat ocel s tvrdostí až 65 HRC.

Touto metodou lze dosáhnout drsnosti povrchu $Ra\ 0,1 - 0,4\ \mu\text{m}$, hloubky zpevnění $0,1 - 0,5\ \text{mm}$ [4,25].

Výsledný efekt ovlivňuje:

- Tvar a materiál tvářecího tělíska.
- Přítláčná síla ($80 - 1000\ \text{N}$).
- Rychlost pohybu ($40 - 100\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$).
- Posuv ($0,02 - 0,1\ \text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$).
- Počet přejezdů.
- Chlazení či mazání [4].



Obr. 16. Ukázka vnějšího hlazení [25].

1.9 Válečkování

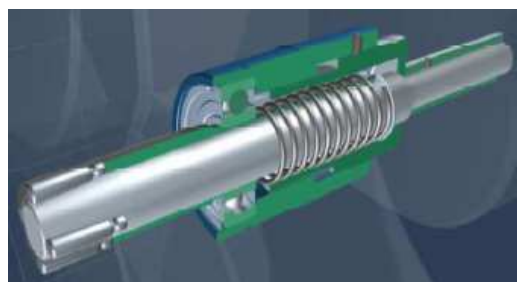
Působením tvrdého prvku na povrch dochází k plastické deformaci, ke snižování vrcholků mikronerovností a přemísťování do prohlubní. Dochází ke změnám struktury a ke zpevnění a to poklesu tažnosti a vrubové houževnatosti, ale naopak vzroste tvrdost, pevnost, mez kluzu a korozní odolnost. Přesnost IT 4 – IT 7 a hodnota Ra 0,4 – 0,005 μm [4,26].



Obr. 17. Schéma průběhu napětí, geometrických a objemových změn materiálu při válečkování [27].

Druhy válečkování:

- Statické válečkování: čím menší průměr válečku, tím vyšší zpevnění a zároveň Ra. Používá se kuličky, válečku, zaobleného kotouče.
- Dynamické válečkování: nástroj není v neustálém kontaktu s povrchem součásti. Dosahujeme velké hloubky zpevnění [28].



Obr. 18. Statické vnější a nástroj pro dynamické vnitřní válečkování [29,30].

1.10 Kalibrování

V této metodě dochází k vyvolání plastické deformace přímočarým pohybem tvářecích elementů. Elementy jsou vždy větší v případě tváření vnitřních ploch a v případě vnějších ploch menší. Proces probíhá buďto jedním nástrojem nebo více zvětšujícími se elementy.

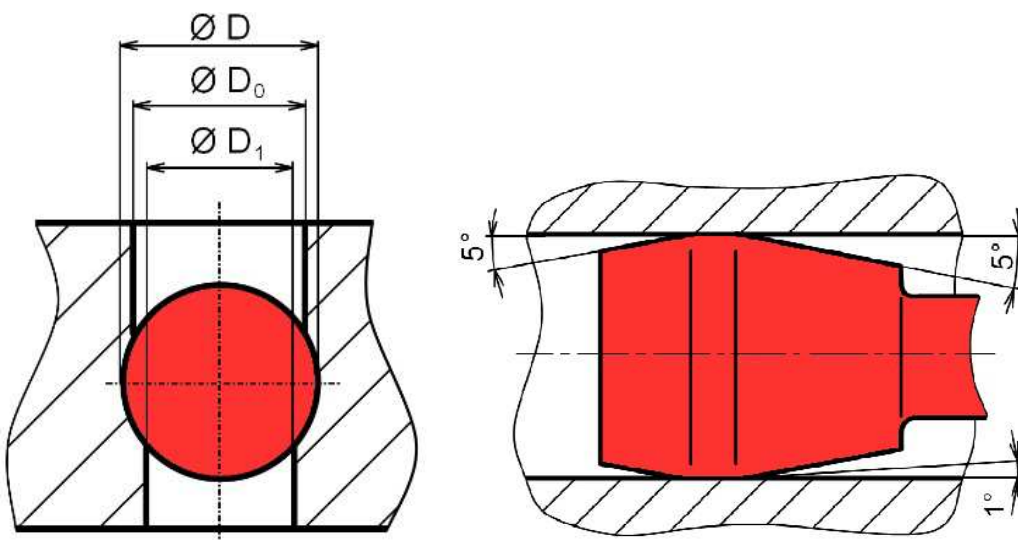
Dochází ke zpřesnění rozměrů IT 6 – 4, dále dochází k vyhlazení povrchu na $Ra = 0,4 - 0,005 \mu\text{m}$ a zpevnění do hloubky $0,05 - 0,2 \text{ mm}$ [4].

Tvářecí nástroje:

Kulička: pohyb rázem tlakové kapaliny, vzduchu.

Trn: pohyb od přímočarého hydromotoru.

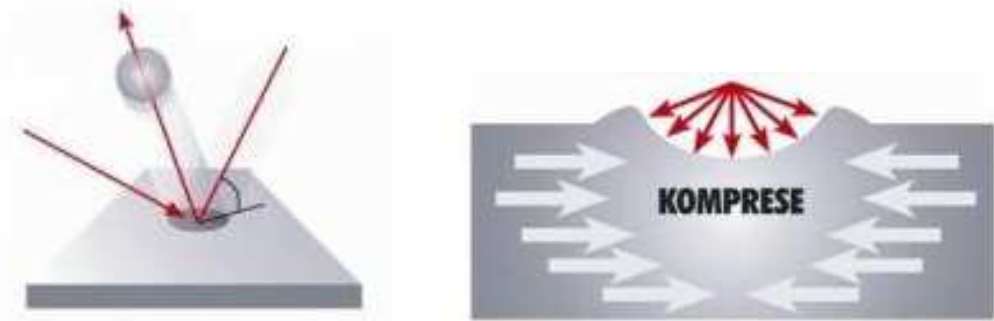
Hladící zuby: protahování, protlačování [4].



Obr. 19. Schéma kalibrovacích nástrojů (kulička, trn) [4].

1.11 Tryskání

Metoda spočívá ve vrhání sférických částic vysokou rychlostí na povrch dílce jako u metody v kapitole 1.6, ale rozdíl je v tom, že částice nemají abrazivní účinek. Nejde zde o úběr materiálu. Tato metoda se provádí především za účelem zvýšení únavové pevnosti a zpevnění povrchu součásti [4].



Obr. 20. Princip metody a ukázka komprese dokončeného materiálu [31].

Úhel dopadu kuliček (sklon trysky) je větší a to $50^\circ - 80^\circ$. Pracovní tlak média, jež vystřeluje částice (vzduch, voda), se volí $0,1 - 2 \text{ MPa}$ (rychlost až $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) s ohledem na velikost elementů, vzdáleností trysky od součásti a účinku, jež požadujeme. Zde je rovněž možnost zavedení do výroby odstředivého kola [4].

Podle použití pracovních tělísek se odvozují i nejčastěji názvy operací:

- Kuličkování: ocelové kuličky $\varnothing = 0,3 - 2 \text{ mm}$.
- Brokování: kuličky z bíle tvrzené litiny.
- Patentování: sekaný ocelový drát.
- Balotinování: skleněné kuličky - balotina $\varnothing = 0,03 - 0,8 \text{ mm}$ [4].

Nejefektivnějších výsledků dosáhneme přetryskáváním částic větších rozměrů nebo postupným snižováním tlaku. $R_a = 0,4 - 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ a hloubka zpevnění $0,05 - 0,5 \text{ mm}$. Přesnost rozměrů a tvarů je dána předchozí operací, tryskáním se nezlepší [4].

Tato technologie je vhodná zejména pro tvarově složité dílce, kde nelze použít jiný způsob: ozubená kola, lopatky turbín, ale také listové pružiny, torzní tyče, klikové hřídele a jiné [4].



Obr. 21. Příklady dílců, kde je možné využití technologie [32-34].

1.12 Vibrační zpevňování

Slouží k dokončování tvarově složitějších součástí. Plastické deformace vznikající v důsledku dopadu částic [4].

Částice jsou urychlovány vibracemi, které se vyvolávají:

- Mechanicky: speciálnímu zařízení je udělován kmitavý pohyb ve třech osách (popř. za současné rotace s proměnnou rychlostí a smyslem). Dokončování se realizuje dopady částic, přičemž podmínky jsou voleny tak, aby vektor jejich výsledného zrychlení směřoval kolmo k obráběné ploše. Částice (litinové, ocelové kuličky) by měly mít co nejvyšší hmotnost, jejich průměr je limitován poloměrem přechodů mezi obráběnými plochami. Často se také urychlování vibracemi používá u technologie omílání [4].
- Ultrazvukem (vibrace o frekvenci až 30 kHz): pevný nástroj tvoří nástavec zdroje ultrazvukových kmitů a opírá se o upravovaný povrch – vyhlazování. Pevně upnutý obrobek je v zásypu ocelových kuliček, které přenášejí vibrace z nástavců uložených na stěnách zařízení [4].

2 JAKOST POVRCHU

Důležitým úkolem každé technologie je zajištění požadované jakosti výrobku. Pojem jakost v sobě zahrnuje nejen rozměrovou, geometrickou přesnost, ale i vlastnosti povrchové vrstvy a změny, které v povrchové vrstvě nastávají. Funkční plocha, která je dokončená některou technologickou operací má svou jakost, tj. rozměr, tvar a drsnost.

Drsnost povrchu je určena zejména řeznou rychlostí, velikostí posuvů a hloubkou třísky, dále použitou technologií (definována nástrojem a jeho geometrií, typem pohybů, způsobem řezání atd.), použitým prostředím probíhajícího procesu, obráběným materiálem. Profil drsnosti povrchu je vytvářen pravidelným odběrem třísky obráběcím materiálem a nepravidelnostmi, které způsobuje určitá drsnost povrchu nástroje, lomy částic materiálu, lomy a opotřebení nástroje, změny na nástroji, tvrdé částice třísky, které působí abrazivně na obráběný povrch [35].

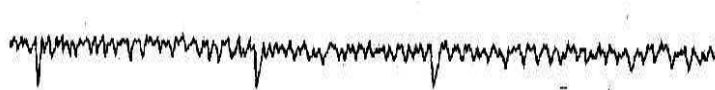
2.1 Základní pojmy a definice

Strukturou povrchu, dříve též nazývanou drsností povrchu, se rozumí část geometrických úchylek skutečného povrchu s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností [35].



Obr. 22. Skutečný profil povrchu [35].

- Mikronerovnost: jemná nerovnost (drsnost povrchu), je dána stopami, které zanechává řezný nástroj, případně brusivo [35].



Obr. 23. Jemná nerovnost (drsnost povrchu) [35].

- Makronerovnost: rozlehlejší periodická nerovnost (vlnitost povrchu), nejčastěji způsobují vibrace soustavy (stroj - nástroj - obrobek – prostředí) [35].



Obr. 24. Vlnitost povrchu [35].

U obrobených povrchů ploch se tyto nerovnosti navzájem překrývají. Vady povrchu způsobené náhodným poškozením (rýhy) nebo vady materiálu (trhliny, póry) se do struktury povrchu nezahrnují [35].

- Tvar: obecný tvar povrchu při vyloučení drsnosti a vlnitosti (tyto úchytky mohou být způsobeny nedostatečnou tuhostí, špatnou přímostí vodících ploch, nebo teplem vzniklým během výrobního procesu, které může způsobit deformaci obrobené plochy) [35].



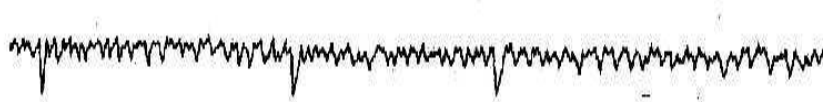
Obr. 25. Obecný tvar povrchu [35].

- Vlnitost: je ta část textury, na které je nanesena (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) [35].



Obr. 26. Vlnitost povrchu [35].

- Drsnost: jsou nepravidelnosti, které jsou výsledkem výrobního procesu (je výsledkem vzájemného relativního pohybu mezi nástrojem a obrobkem). Povrch je ale také ovlivněn mechanismem tvoření třísky, což se projevuje například vytrháváním částic materiálu a to ovlivňuje náhodný charakter povrchu [35].



Obr. 27. Drsnost povrchu [35].

2.1.1 Vyhodnocování 2D povrchu

Struktura povrchu je členěna na složky podle rozteče příslušných nerovností, jedná se o složku s nejmenší roztečí tvořící drsnost povrchu, složku nazvanou vlnitost povrchu a složku s největší roztečí nerovností určenou základním profilem. V souvislosti s novým pojetím geometrické specifikace výrobků (GPS) byl vytvořen dokonalejší systém posuzování a hodnocení struktury povrchu. Základní vlastností normalizované metody (2D) je, že zdrojem informace o struktuře povrchu je profil [35,36].

Pro vyhodnocení profilu používáme tyto základní geometrické parametry:

- P – parametr: vypočítaný ze základního profilu.
- R – parametr: vypočítaný z profilu drsnosti, měřeno dotykovými přístroji a vyhodnocovaná délka je přesně stanovena normou.
- W – parametr: vypočítaný z profilu vlnitosti [35-37].

2.1.2 Vyhodnocování 3D povrchu

Základní vlastností plošné metody (3D) je, že zdrojem informace o struktuře povrchu je plocha. Třírozměrné hodnocení struktury povrchu (3D) vyžaduje aplikovat použitelné poznatky z dvourozměrného hodnocení struktury povrchu (2D) a zavést další potřebné informace pro úplný popis. Plošné hodnocení se realizuje specifickými parametry [35,36].

Pro vyhodnocení používáme tyto parametry:

- S – parametr: je parametr používající data z definiční plochy.
- V – parametr: je parametr objemu materiálu nebo prázdného objemu používající data z křivky plošného poměru materiálu [35-37].

2.2 Parametry drsnosti povrchu

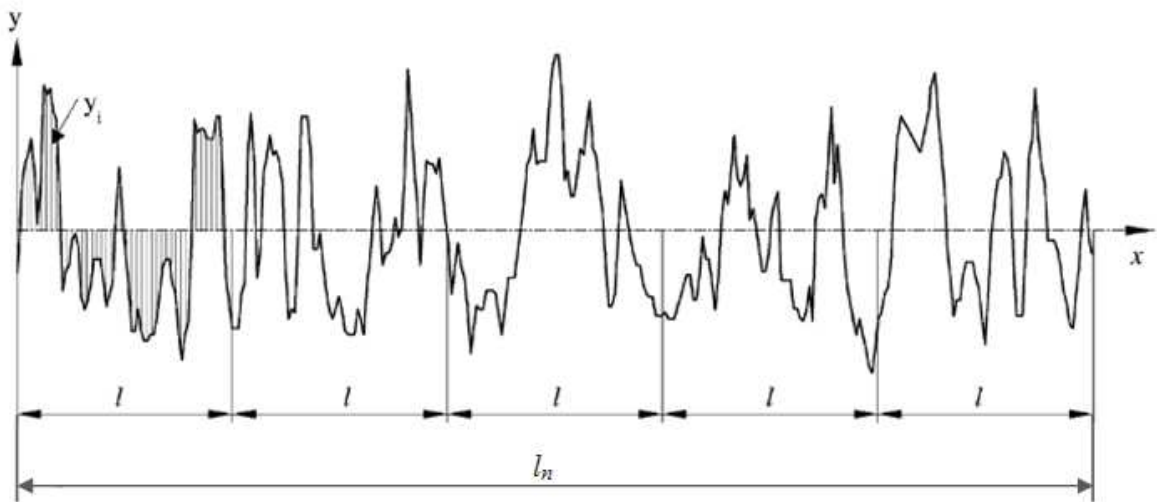
- Amplitudové: výškové (ve směru osy „Z“) parametry, které určují pouze velikosti vrcholů nebo prohlubní, resp. obojí, bez ohledu na rozteč.
- Frekvenční: v podélném směru (ve směru osy „X“), které se určují pouze při roztečích nepravidelností podél plochy.
- Hybridní: jsou určeny kombinací amplitudy a rozteče [36,37].

2.2.1 Amplitudové - ve směru osy „Z“

- R_a : průměrná aritmetická úchylka profilu od střední čáry v rozsahu základní délky (viz obr. 28). Parametr je nejčastěji využíván při měření dokončeného povrchu. Samotná hodnota R_a neříká nic o charakteristice kontrolovaného povrchu součástí. Poněvadž parametr nerozlišuje mezi výstupky a prohlubněmi, ukáže stejnou hodnotu R_a u povrchů, které mají i zcela rozdílné tvary a rozměry výstupu-prohlubeň a tedy různou funkční charakteristiku. R_a lze označit jako málo vypovídající parametr [37].

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (2)$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (3)$$



Obr. 28. R_a - průměrná aritmetická odchylka [38].

- R_q (RMS): průměrná kvadratická úchylka profilu v rozsahu základní délky (průměrná kvadratická hodnota R_a). Hodnota R_q je citlivější na nežádoucí výstupky a prohlubně kontrolovaného povrchu, a proto zpravidla ukazuje vyšší hodnoty než R_a (viz obr. 28). Parametr R_q v porovnání s R_a zvýrazňuje větší váhu vyšších hodnot hodnocených údajů. Parametr R_q není bohužel příliš využíván ve všeobecném strojírenství. Naopak je více využíván např. v optickém průmyslu díky své schopnosti zjišťovat nežádoucí (rušivé) výstupky a prohlubně [37].

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \{y(x)\}^2 dx} \quad (4)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (5)$$

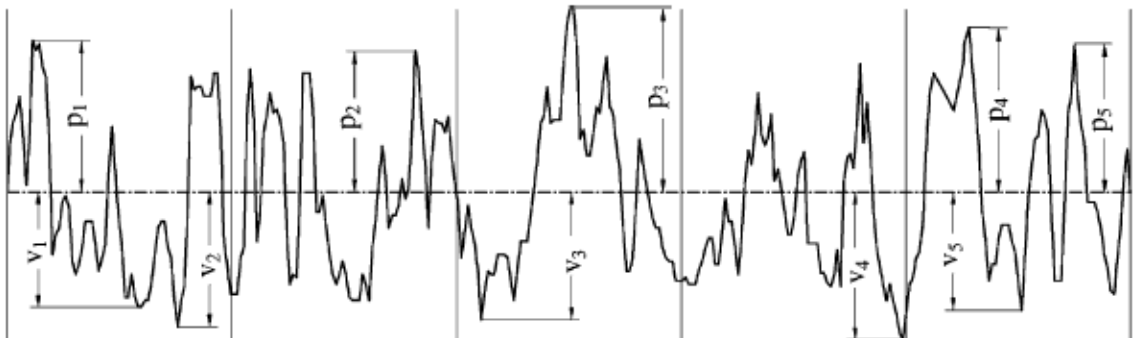
- R_t : celková výška profilu, součet nejvyššího výstupku a nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky (viz obr. 29). Parametr je především významný u vysoce namáhaných součástí, kde velké hodnoty vzdáleností mezi výstupky a prohlubněmi představují oblasti se sklonem k poškození povrchu trhlinami. Tento výškový parametr může mít velmi proměnlivou a nestálou hodnotu. Hodnotu R_t ovlivňují i jednotlivé rýhy a výstupky profilu povrchu. Tento parametr podobně jako všechny parametry typu výstupek – prohlubeň, je divergentní [37].
- R_z : vyjadřuje průměrnou hodnotu ze všech R_t změřených na jednotlivých základních délkách (viz obr. 29). Parametr R_z je využitelný obdobně jako R_t , jeho hodnota je však stálejší, poněvadž není tak citlivá na rušivé vlivy na povrchu, jako jsou prach, ořepy nebo rýhy [37].

$$R_{z(ISO)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad (6)$$

$$R_{z(DIN)} = \frac{1}{2n} \left(\sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad (7)$$

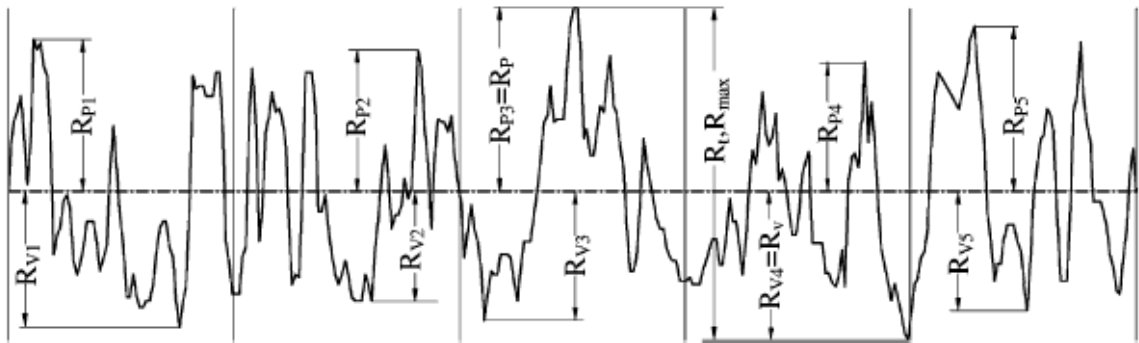
Mezinárodní ISO systém definuje tento parametr jako rozdíl ve výšce mezi průměrem z pěti nejvyšších vrcholů a pěti nejnižšími údolími.

Německý DIN Systém definuje R_z jako průměr součtu pěti nejvyšších vrcholů a pěti nejnižšími údolími [37].



Obr. 29. $R_{z(ISO)}$ a $R_{z(DIN)}$ [38].

- R_p : největší výška výstupku nad střední čarou v rozsahu základní délky (viz obr. 30). Výstupky tvořící stykové plochy povrchů, jsou důležité pro hodnocení procesů tření a opotřebení. Výstupky povrchu, které se v provozu opotřebovávají, mohou způsobit problémy při měření rozměrů. Rozměr původně zahrnující výstupky se jejich opotřebením jistě změní [37].
- R_v : největší hloubka prohlubně pod střední čarou v rozsahu základní délky (viz obr. 30). Prohlubně jsou důležité pro udržení maziva na povrchu. Jsou tedy v řadě případů žádoucí, i když naopak jsou prohlubně nejčastěji místem vzniku trhlin a koroze [37].



Obr. 30. R_p , R_v , R_{pm} , R_{vm} , R_{max} [38].

- R_{max} : veličina je definována jako vzdálenost mezi největším výstupkem a nejnižší prohlubní v rozsahu každé základní délky (viz obr. 30) [37].
- R_{pm} : průměrná výška vrcholů, veličina je definována jako střední hodnota maximální výšky výstupků (R_p) získaných v rozsahu každé základní délky (viz obr. 30) [38].

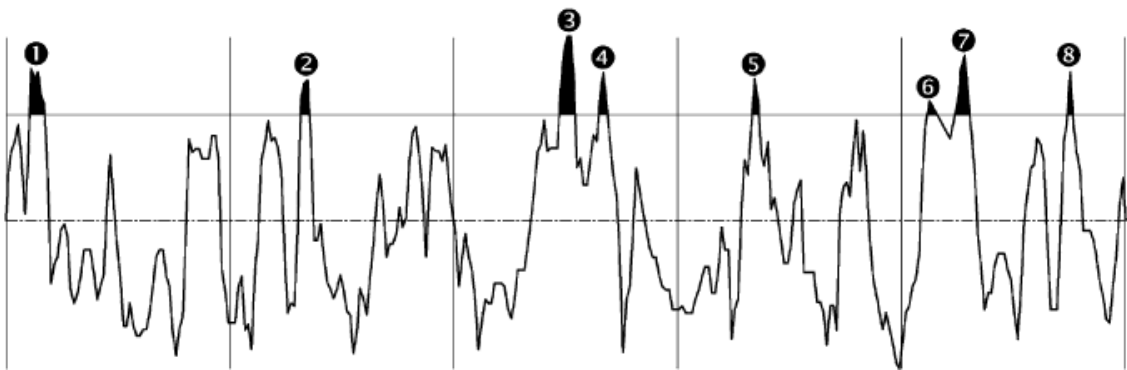
$$R_{pm} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n R_{pi} \right) \quad (8)$$

- R_{vm} : průměrná hloubka údolí, veličina je definována jako střední hodnota maximální hloubky údolí (R_v) získaných v rozsahu každé základní délky (viz obr. 30) [38].

$$R_{vm} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n v_i \right) \quad (9)$$

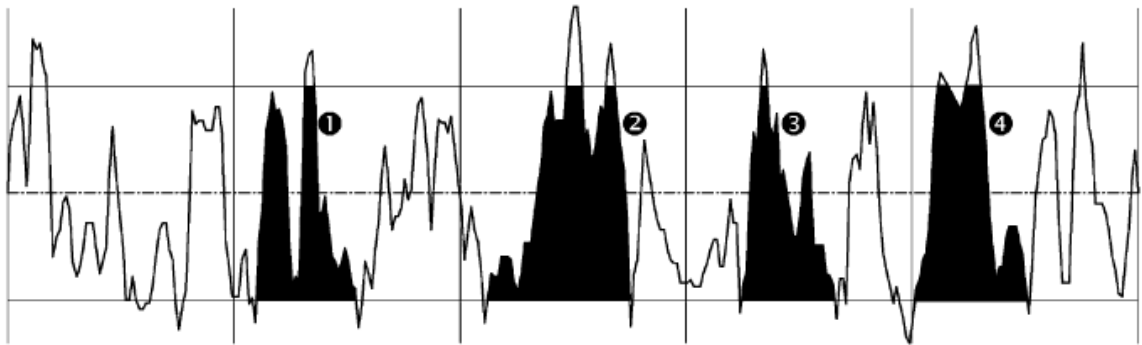
2.2.2 Frekvenční - ve směru osy „X“

- RHSC: počet přesahujících nerovností profilu. Parametr RHSC (High Spot Count) kvantifikuje celkový počet výstupků profilu (v rozsahu vyhodnocované délky), které přesahují nad předem definovanou referenční čáru nebo rovinu řezu, nastavenou rovnoběžně se střední čarou (viz obr. 31). Tento parametr je často využíván v automobilovém průmyslu při ověřování připravenosti povrchu vložek válců z hlediska mazání. Doporučena je aplikace parametru pro predikci opotřebování nebo kontrolu lapovaného povrchu i v případech, kdy je požadován určitý počet výstupků, např. k zajištění třecích vlastností povrchu brzdových elementů apod. Často je ovšem mnoho výstupků nežádoucích, zejména pokud se ulamují a mísí s přítomným mazivem, což může vést k nadměrnému opotřebení povrchu [37].



Obr. 31. RHSC - počet přesahujících nerovností [38].

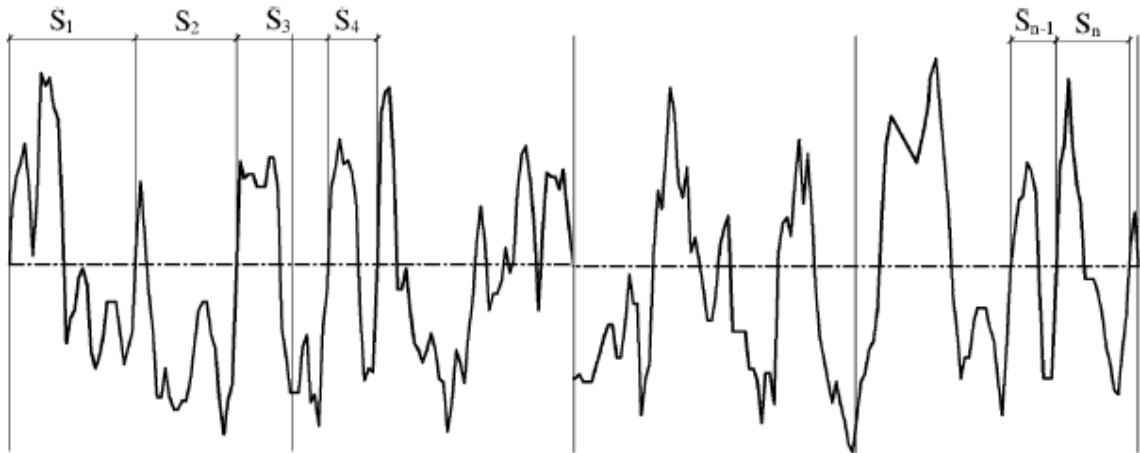
- RP_c : počet výstupků. Parametr RP_c (Peak Count) je obdobný jako parametr RHSC s tím, že při kontrole navíc využívá výšku a frekvenci výstupků a je vyhodnocován ze základního profilu (viz obr. 32). RP_c představuje počet místních výstupků procházejících zvolenou šířkou pásma umístěného kolem střední čáry. Počet je stanoven na vyhodnocované délce a výsledky jsou udávány v počtu výstupků na cm (nebo na palec). Parametr je proto doporučováno měřit na co největší vyhodnocované délce. Referenční čára je rovnoběžná se střední čarou, ale může být nastavena i do určité hloubky vzhledem k nejvyššímu výstupku nebo ke zvolené vzdálenosti na obě strany střední čáry. Parametr je často využíván při kontrole předepsané přilnavosti povlaku na povrchu, dále je doporučován pro hodnocení charakteristik ohybu, tváření, připravenosti povrchu pro nátěry nebo laminování při výrobě ocelových plechů [37].



Obr. 32. RP_c - počet výstupků [38].

RS_m : průměrná vzdálenost výstupků. Parametr RS_m představuje střední vzdálenost mezi výstupky profilu na střední čáře v rozsahu základní délky (viz obr. 33). Vrchol profilu je nejvyšším bodem profilu mezi jeho průsečíky nahoru-dolů se střední čarou. Obecný tvar definice parametru: S_m je průměrná hodnota vzdálenosti (rozteče) mezi prvky (elementy) profilu v rozsahu základní délky. Využití parametru ve spojení s parametrem S (průměrná vzdálenost sousedních výstupků profilu měřená v rozsahu vyhodnocované délky) může přispět k rozlišování mezi jemným a hrubým povrchem. Pro jemné tvarové vlny profilu budou hodnoty parametru velmi podobné. S_m je užitečný i při rozhodování o použití vhodného filtru [37].

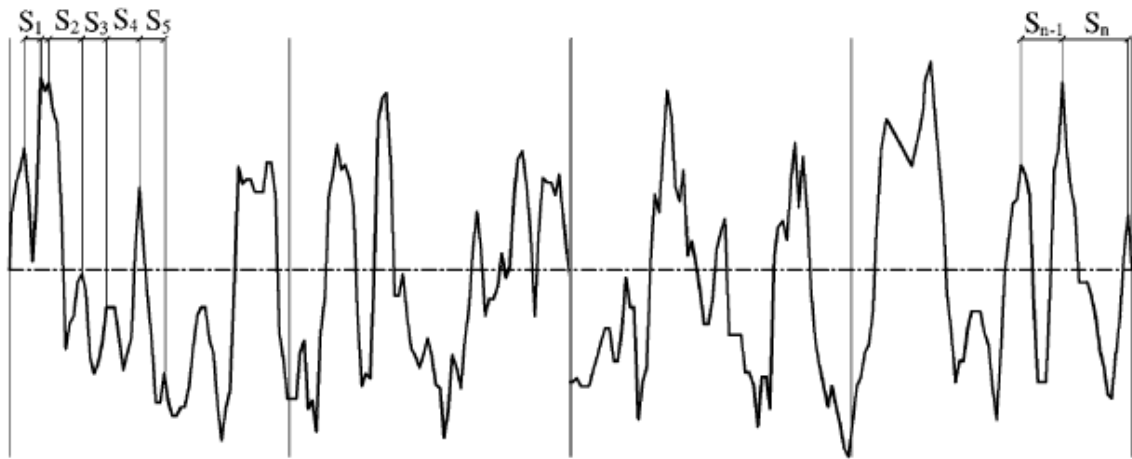
$$RS_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n S_i \quad (10)$$



Obr. 33. RS_m – průměrná vzdálenost výstupků na střední čáře [38].

- RS: parametr je definován jako průměrná vzdálenost sousedních místních vrcholů profilu v rozsahu základní délky (viz obr. 34) [38].

$$RS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n S_i \quad (11)$$



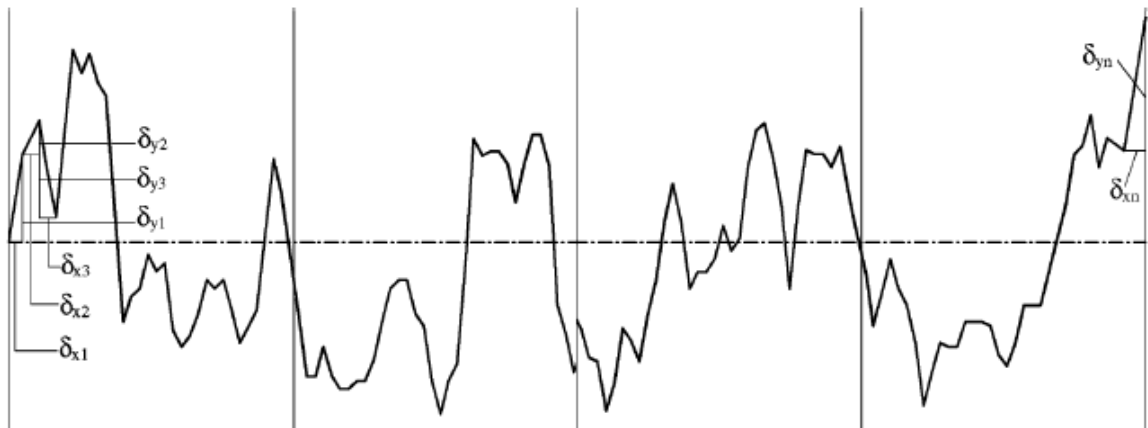
Obr. 34. R_S – průměrná vzdálenost sousedních vrcholů [38].

2.2.3 Hybridní - kombinace amplitudy a rozteče

- R_{da} : průměrný aritmetický sklon, je méně citlivý ke všem mimořádným hodnotám lokálních sklonů v porovnání s R_{dq} a je tak méně vhodný k analýzám extrémně jemných povrchů, u kterých jsou i malé změny důležité a je třeba je zvýraznit (viz obr. 35). Méně citlivý ke všem výjimečným hodnotám lokálního sklonu, méně vhodný pro extrémně jemné povrchy, doporučován pro všeobecné strojírenství a automobilní součástky [37].

$$R_{da} = \frac{1}{L} \int \left| \frac{dy}{dx} \right| dx \quad (12)$$

$$R_{da} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\delta y_i}{\delta x_i} \quad (13)$$



Obr. 35. R_{da} – průměrný aritmetický sklon [38].

- R_{dq} : RMS sklonu, průměrný kvadratický sklon, je velmi citlivý na všechny mimořádné hodnoty lokálních sklonů, a je proto maximálně vhodný pro analýzy extrémně jemných povrchů, u kterých jsou i malé změny důležité a je nutné je zvýraznit (viz obr. 35). Velmi citlivý ke všem mimořádným hodnotám lokálního sklonu. Typické je použití pro optické a elektronické součástky [37].

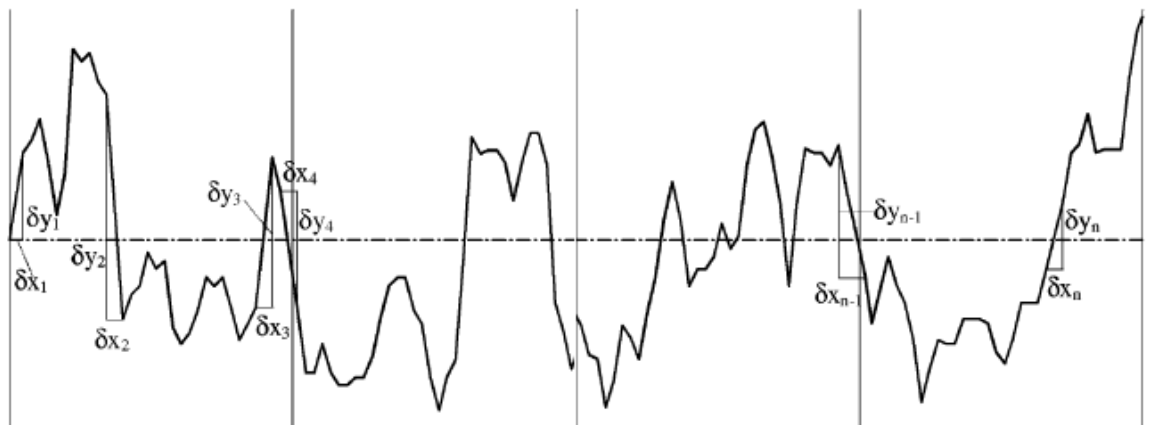
$$R_{dq} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L (0(x) - 0)^2 dx} \quad (14)$$

$$R_{dg} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{\delta y_i}{\delta x_i} - 0_m \right)^2} \quad (15)$$

- Parametry sklonu (R_{da} , R_{dq}):
 - a) Tření: větší sklon ukazuje na větší tření.
 - b) Odrazivost: větší sklon představuje méně odrazivý povrch.
 - c) Pružnost povrchu: větší sklon naznačuje větší pravděpodobnost deformace při zatížení.
 - d) Opatření: větší sklon ukazuje na vyšší rychlost opotřebovávání.
 - e) Hlučnost: kuličková a válečková ložiska s malým sklonem profilu vykazují tišší provoz s menším chvěním, než je tomu u větších sklonů.
 - f) Adheze: dobré adhezní vlastnosti se pojí s vyššími hodnotami sklonu profilu. Větší sklony zajišťují lepší spojení nanesené vrstvy s povrchem, které lépe odolává smykovému namáhání způsobované obrusem nebo mazáním [37].

- R_γ : profil tratě ve střední línii. Tento parametr představuje profil svahu na střední línii (viz obr. 36). Nejprve spočítáme jednotlivé svahy profilu na každém křížení se střední čarou, pak se s těchto svahů udělá průměr [38].

$$\gamma = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \tan^{-1} \left(\frac{\delta y_i}{\delta x_i} \right) \quad (16)$$

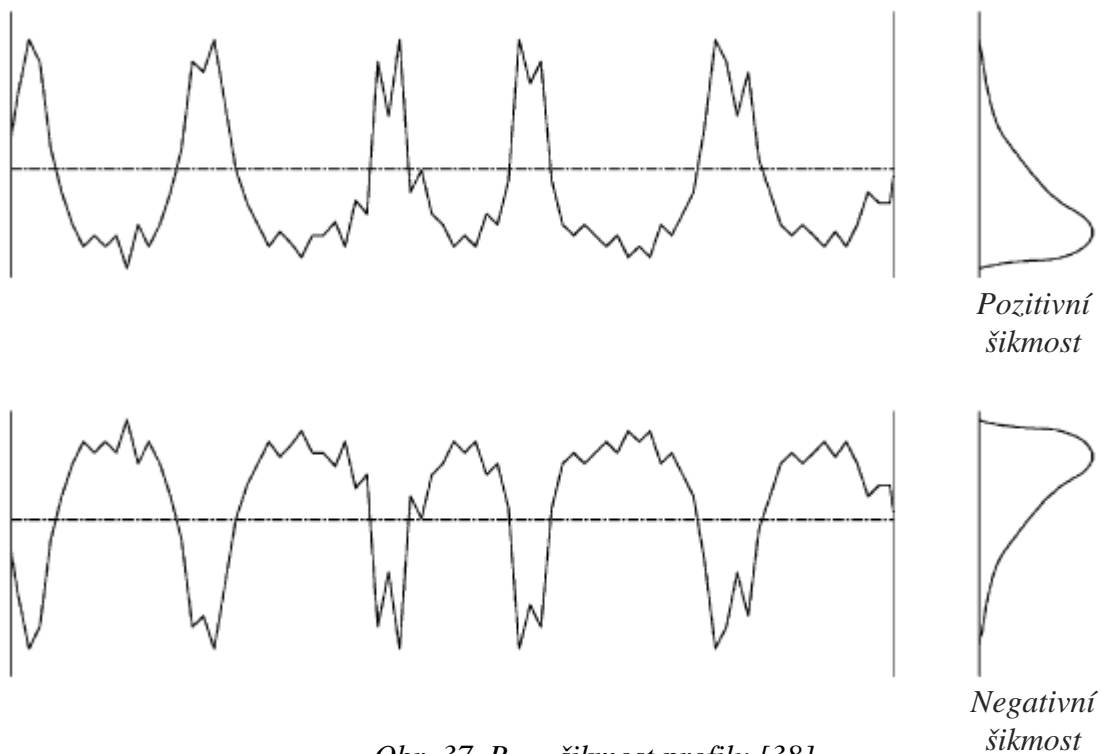


Obr. 36. R_γ – profil tratě [38].

- R_{sk} : šikmost profilu, jde o třetí centrální moment pravděpodobnosti profilu amplitudy funkce hustoty měřených na posouzení délky (viz obr. 37). Používá se k měření symetrie profilu o střední linii. Tento parametr je citlivý na občasně hluboké údolí nebo vysoké vrcholy. Symetrická výška distribuce, tj. s tolika vrcholy jako údolí, má nulovou šikmost. Profily s odstraněnými vrcholy nebo hluboké škrábance mají negativní šikmost. Profily s velkými prohlubněmi nebo vysokými výstupky mají pozitivní šikmosti [38].

$$R_{sk} = \frac{1}{R^3 q} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y) dy \quad (17)$$

$$R_{sk} = \frac{1}{NR^3 q} \left(\sum_{i=1}^N Y_i^3 \right) \quad (18)$$

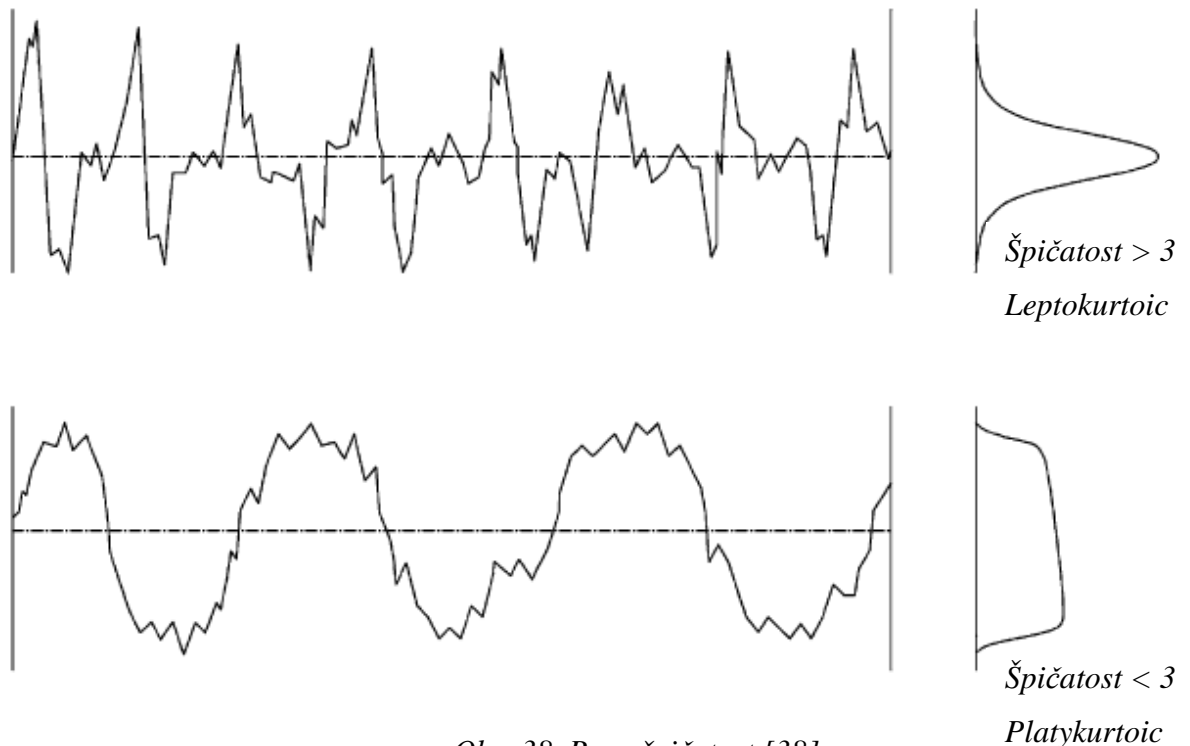


Obr. 37. R_{sk} – šikmost profilu [38].

- R_{ku} : špičatost, jde o centrální moment pravděpodobnosti profilu amplitudy funkce hustoty měřených na posouzení délky (viz obr. 38). Popisuje ostrost hustoty pravděpodobnosti profilu. Pokud $R_{ku} > 3$, distribuční křivka je „Leptokurtoic“ a má relativně mnoho vysokých vrcholů a nízké údolí. Pokud $R_{ku} < 3$, distribuční křivka je „Platykurtoic“ a má poměrně málo vysoké vrcholy a nízké údolí. Šikmost může být také použita pro rozlišení mezi povrchy, které mají různé tvary, ale mají stejnou hodnotu R_a [38].

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \int_{-\infty}^{\infty} y^4 p(y) dy \quad (19)$$

$$R_{ku} = \frac{1}{NR_q^4} \left(\sum_{i=1}^N Y_i^4 \right) \quad (20)$$



Obr. 38. R_{ku} – špičatost [38].

3 BAKTERIÁLNÍ PROSTŘEDÍ

Bakterie jsou mikroorganismy, které přežívají na těle či v těle člověka, ve vzduchu, vodě, půdě apod. Ke svému životu nepotřebují živý organismus a mohou se velmi rychle množit [39].

3.1 Typy bakterií

Velikost bakteriálních buněk kolísá podle rodů a někdy i podle druhů. Závisí též na stáří kultury a kultivačních podmínkách. Mladé buňky jsou všeobecně větší a silnější, staré naopak menší. Tloušťka tyčinkovitých bakterií se pohybuje v rozmezí 0,3 -2 μm , délka bývá 1 -7 μm . Průměr koků v rozmezí 0,5 – 5,5 μm [39-41].

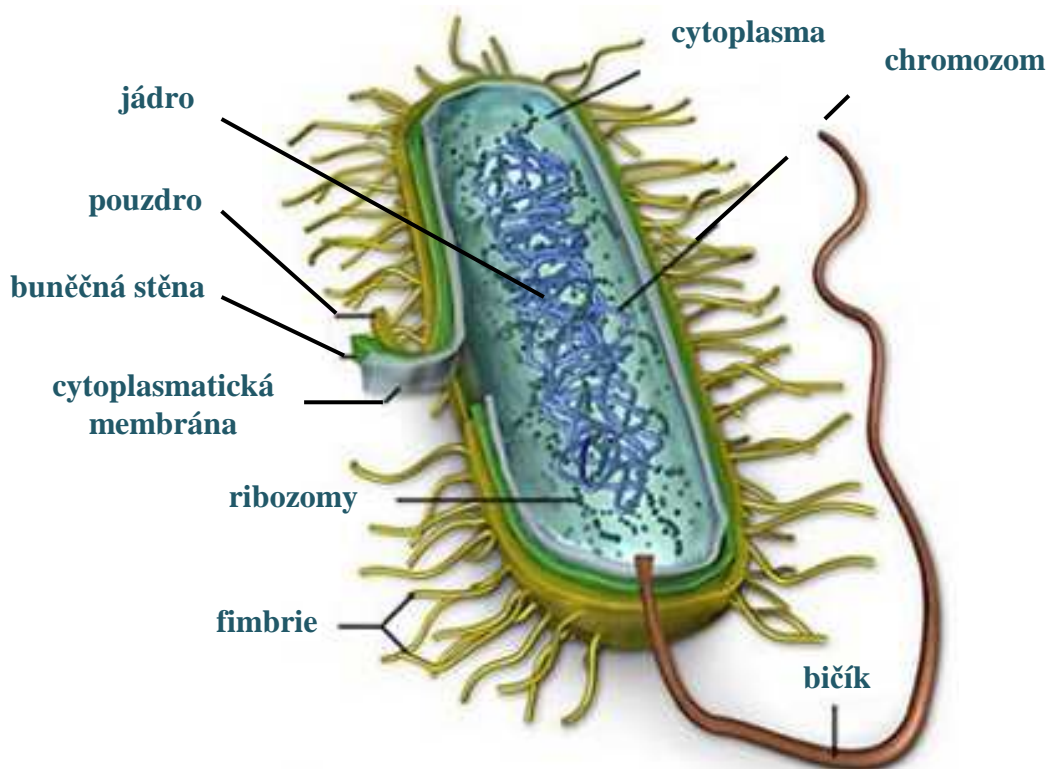


Obr. 39. Základní tvary bakteriálních buněk [42].

3.2 Struktura bakterie

- **Jádro:** zde je uložena genetická informace buňky. Instrukce pro stavbu a činnost buňky je rozdělena do funkčních jednotek, genů. Jádro nemá stálý tvar a představuje jednu molekulu DNA. Jádro zaujímá asi 15 % buňky [40,41].
- **Cytoplasma:** vyplňuje vnitřní prostor bakteriální buňky. Je velmi viskózní a podobá se spíše gelu než roztoku. Obsahuje více než 50 % všech proteinů buňky. V cytoplasmě se nachází 3 druhy strukturních útvarů: chromozóm, ribozomy a granula zásobovacích látek [40,41].
- **Ribozomy:** mohou tvořit až 40 % sušiny buňky. V rostoucí bakterii je syntéza ribozomů kontrolována, rychlost syntézy je sladěna, aby nedocházelo ke hromadění. Počet ribozomů je proměnlivý. Platí, že čím rychleji buňka roste, tím více má ribozomů [40,41].
- **Cytoplasmatická membrána:** ohraničuje cytoplasmu a reprezentuje 10 - 26 % suché hmotnosti buňky bakterií. Její tloušťka je asi 7 nm. Primární funkce membrány je izolace vnitřního prostředí buňky od vnějšího. Další funkcí membrány je transformace energie [40,41].
- **Buněčná stěna:** nachází se nad cytoplasmatickou membránou. Je pevná, elastická a propustná. Uděluje buňce tvar a ochranu, také odolnost proti záření, proti vyschnutí a odolnost chemickou [40,41].
- **Pouzdro:** může se vyskytovat nad buněčnou stěnou. Vrstva různé tloušťky, stavby a rozhraní vůči prostředí, která chrání buňku především před vysycháním a dalšími nepříznivými vlivy [40,41].

- Fimbrie: vlákna trčící z povrchu buňky ven všemi směry. Jsou křehká a snadno se odlamují. Na jedné buňce jich může být až 400. Některé fimbrie mají funkci adhezimů, udělují bakterii schopnost specifické adherence na povrch hostitele nebo vodou ke spojování buněk [40,41].
- Bičinky: jsou dlouhá nerozvětvená vlákna. Bakterie mohou mít až 100 bičků a to různě lokalizovaných. Bičík se skládá ze tří částí: vlákna bičku (je umístěno pod povrchem buňky, vlákno je křehké, snadno se odlomí, avšak doroste až cca za 10 – 20 min.), háčku (kryje vlákno bičku a připojuje ho k bazální části) a bazální části (ukotvení k do buněčné stěny a cytoplasmatické membrány) [40,41].

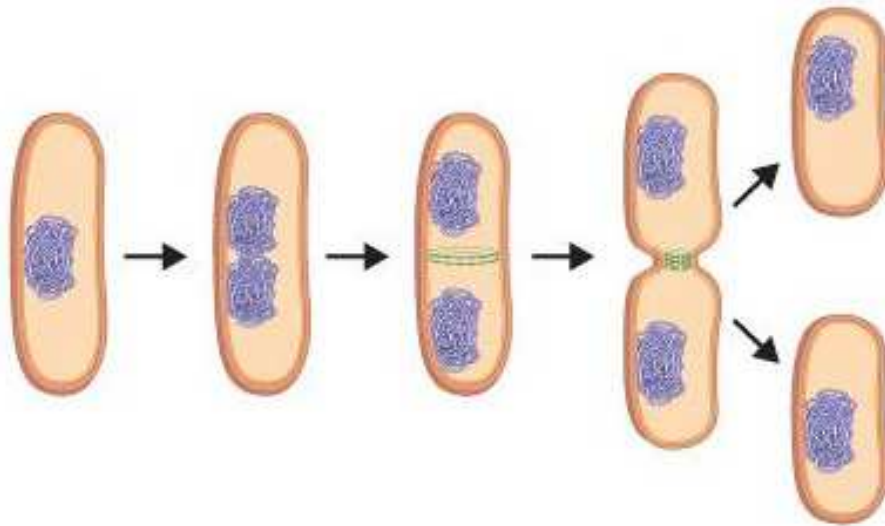


Obr. 40. Struktura bakteriální buňky [43].

3.3 Rozmnožování bakterií

Bakterie se většinou rozmnožují dělením. Pouze několik málo druhů se rozmnožuje pučením. Nachází-li se buňka ve vhodném prostředí, narůstá do určité velikosti a pak se rozdělí. Souhrn těchto pochodů se nazývá růstový cyklus.

Impulz k zahájení replikace je s největší pravděpodobností dán určitou hodnotou velikostí rostoucí buňky, poměrem buněčných bílkovin k DNA. Při dělení buňky se ve střední části buňky vychlípí cytoplazmatická membrána směrující dovnitř buňky, až se vytvoří přepážka rozdělující buňku na dvě stejně velké části. Přepážka se potom pokryje buněčnou stěnou, takže z původní buňky vzniknou dvě, které se od sebe oddělí nebo zůstanou v řetízku [39].



Obr. 41. Schéma dělení buňky bakterií [44].

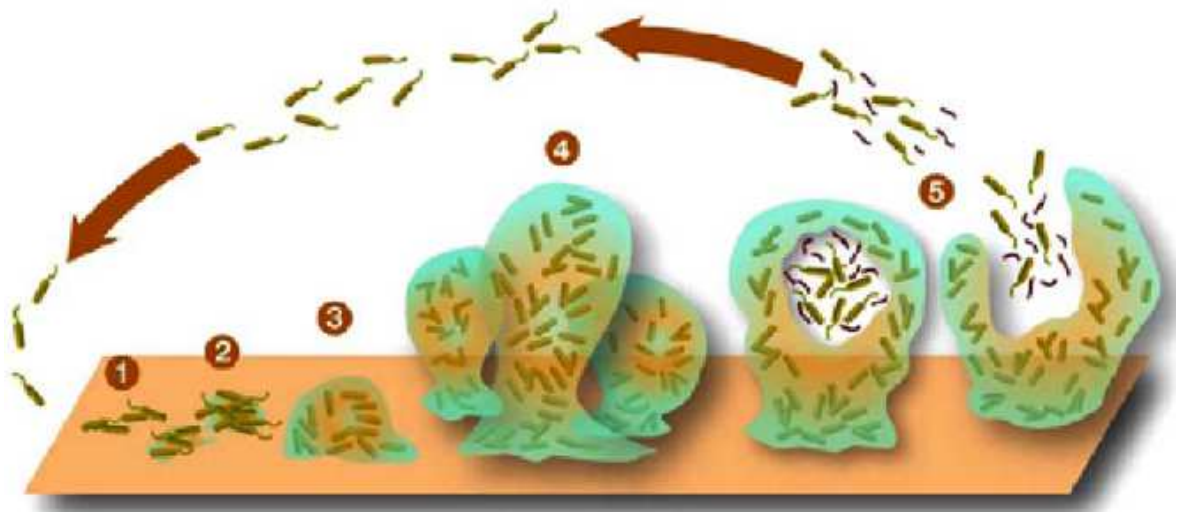
3.4 Biofilm

Bakterie mohou žít volně ve vodě, planktonicky nebo ve společenství tvořící biofilm. Život v biofilmu je pro ně nejvýhodnější; buňky se rychle množí, vytvářejí si vlastní stabilní prostředí a bariéru proti rušivým vlivům (z okolí např. jsou značně odolnější proti antibiotikům). Přirozeným vodním prostředím pro volně se pohybující bakterie jsou vodstva, řeky, oceány, odpady a jiné. Přejít bakteriální volné (planktonické) buňky do stavu života v biofilmu nastává při za vhodných podmínek při kontaktu s pevným povrchem.

Ke tvorbě biofilmu se uchyluje mnoho druhů bakterií, a to zejména ve vlhkém či vodním prostředí při nedostatku živin. Mikroorganismy zmenší své buňky, jejich povrch odpuzuje vodu a stávají se přilnavějšími. Pokud najdou vhodné místo, zachytí se, začnou růst, množit se a vytvářet značné množství polysacharidu, který tvoří lepkavý hlen, který svou hmotností může až stokrát převýšit hmotnost vlastních mikroorganismů. Polysacharidová vrstva (EPS) drží biofilm pohromadě [39,45,46].

Průběh vzniku biofilmu (viz obr. 42):

- 1) Při adhezi dochází k překonání vzájemných odpuzivých sil planktonické buňky a povrchu. Buňky jsou stále citlivé k antibiotikům, během několika minut aktivují geny pro přisedlý růst, zejména pak pro tvorbu polysacharidů, které zpevní vazbu k povrchu.
- 2) Přejít z reversibilního připojení na ireversibilní díky silné produkci EPS, popřípadě dalších adhezinů.
- 3) Množení, vznik mikrokolonií obalených exopolysacharidovou matrix, formování biofilmové struktury.
- 4) Maturace mikrokolonií ve zralý biofilm, pokračující produkce EPS, v matrix se formují kanálky a póry. Mohou se tvořit charakteristické věžovité nebo hříbovité útvary, biofilm může dosáhnout až 50 μm tloušťky.
- 5) Uvolňování buněk z biofilmu do prostředí, které se šíří a osidluje další místa. Toto uvolňování může být způsobeno aktivitou bakteriofágů uvnitř biofilmu [46].



Obr. 42. Tvorba biofilmu [47].

Biofilm se tvoří a je nežádoucí na trupech lodí, potrubích pro ropovod, výměnících tepla, kde zvyšuje odpor pro tok kapaliny a snižuje účinnost.

Závažné problémy biofilmy způsobují při vnášení implantátů do lidského těla, například u kloubních náhrad, katetrů, umělých chlopní či silikonových prsních implantátů. Ulpí-li bakterie tvořící biofilm na implantátu, který je následně vnesen do organismu, hrozí vznik infekce.

Biofilm lze nejlépe odstranit mechanicky nebo za použití agresivních chemikálií. Nejefektivnější je předejít jeho vzniku pomocí nepřilnavých povrchů nebo eliminovat bakterie již v tekutině, ještě než dojde k adhezi [39].

3.4.1 Faktory, které ovlivňují adhezi bakterií k povrchu materiálu

Bakteriální adheze je velmi komplikovaným procesem, který ovlivňuje řada faktorů, včetně některých charakteristik samotných bakterií, cílový povrchový materiál a faktory prostředí. Pojem adheze zahrnuje různé fáze. Fází přichycení, která nastane rychle a zahrnuje krátkodobé fyzikálně-chemické vazby mezi buňkami a materiály. A fází adheze, která probíhá delší dobu a zahrnuje řadu biologických částic [45].

Faktory ovlivňující adhezi z hlediska povahy prostředí:

- Přítomnost proteinů, antibiotik, solí a iontů.
- Velikost pH a iontová síla.
- Rychlost toku okolní tekutiny.
- Doba vystavení bakteriálnímu působení.

Faktory, které ovlivňují adhezi z hlediska vlastnosti mikroorganismů:

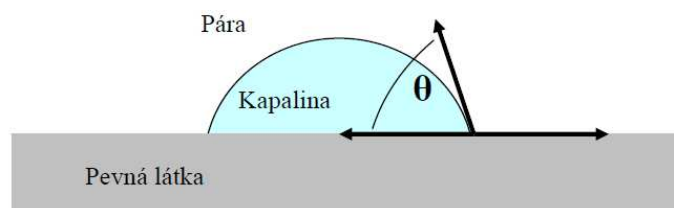
- Membránové vlastnosti jako hydrofobicita bakterií, která je důležitým fyzikálním faktorem pro adhezi, obzvlášť když jsou povrchy substrátu buď hydrofilní nebo hydrofobní. Hlavním faktorem zodpovídajícím za hydrofóbní charakter buněčného povrchu je lipoteichoová kyselina (LTA). Hydrofobicitu bakterií lze získat pomocí měření kontaktních úhlů (viz obr. 43) [45].
- Náboj povrchu bakterie, neboli zeta potenciál. Náboj povrchu přitahuje ionty opačného znaménka v médiu. Bakterie ve vodném roztoku jsou vždy nabitý záporně. Povrchový náboj bakterie se liší podle druhu bakterie [45].

Platí, že se snižující se hydrofobicitou povrchu bakterií (nebo pevného povrchu) se schopnost adheze snižuje a naopak se snižujícím se zeta potenciálem roste. Většina bakterií má při neutrálním pH záporný zeta potenciál. [45].

Mezi faktory z hlediska vlastností povrchu materiálu lze zařadit:

- Hydrofobita (smáčivost). Zjednodušeně můžeme povrchy rozdělit na hydrofilní, smáčivé vodou $\theta < 90^\circ$, které zahrnují povrchy s vysokou povrchovou energií, např. sklo, a hydrofobní $\theta > 90^\circ$, jež zahrnují povrchy s nízkou povrchovou energií, např. silikon (viz obr. 43. Vlevo) [40,46].
- Drsnost povrchu. Se zvyšující se hrubostí povrchu se zvyšuje se i jeho kolonizace mikroorganismy. K tomu dochází z toho důvodu, že se zmenšuje vliv sil, jež by mohly bakterie oddělit od pevného povrchu a drsnější profil má rovněž větší povrch [5].

Prokázalo se, že se snižující se drsností klesá i kolonizace bakterií. Ale od hodnoty $R_a 0,16 \mu\text{m}$ dochází ke zvýšení kolonizace [48].



Obr. 43. Ukázka smáčení a kontaktního úhlu [40].

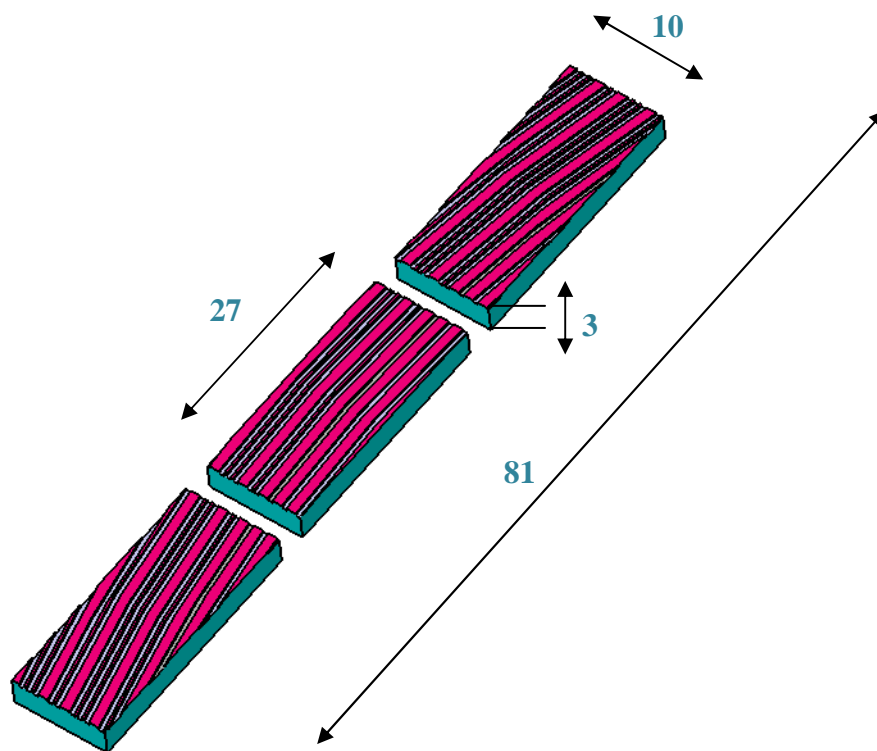
II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Při přípravě vzorků jsem musel zvážit různá hlediska. Zejména časová, tak finanční, tak i co se dostupnosti zařízení týče.

Vzorek musel splňovat i různé požadavky jako např.: být z plastu, jelikož je to levný a hojně používaný materiál a nepřekročit určitou velikost, aby se vlezl do laboratorní zkumavky.

Jako vhodné polotovary pro finální vzorky k pokusu, byly vybrány výstříky pro tahovou a rázovou zkoušku.



Obr. 44. Ukázka rozměrů vzorku.

4.1 Vstřikování

Vstřikování je cyklický proces, kdy je vstřikovaný materiál ve formě granulí za pomoci tepla převeden do tekutého stavu, následně pak tlakem vstříknut do dutiny formy, poté dojde k ochlazení a vyhození výstřiku.

Využil jsem vstřikovací stroj na UTB ve Zlíně, Fakultě technologické, kde byla i forma na výstřik pro tahovou a rázovou zkoušku seřízena. Polymerní materiál, na který byl stroj společně s formou seřízen, plně postačoval našim požadavkům. Jednalo se o termoplast Polypropylen Mosten GB 005 viz tab. 2.



Obr. 45. Ukázka výstřiku a univerzitního vstřikovacího stroje.

Tab. 2. Vlastnosti použitého polypropylenu.

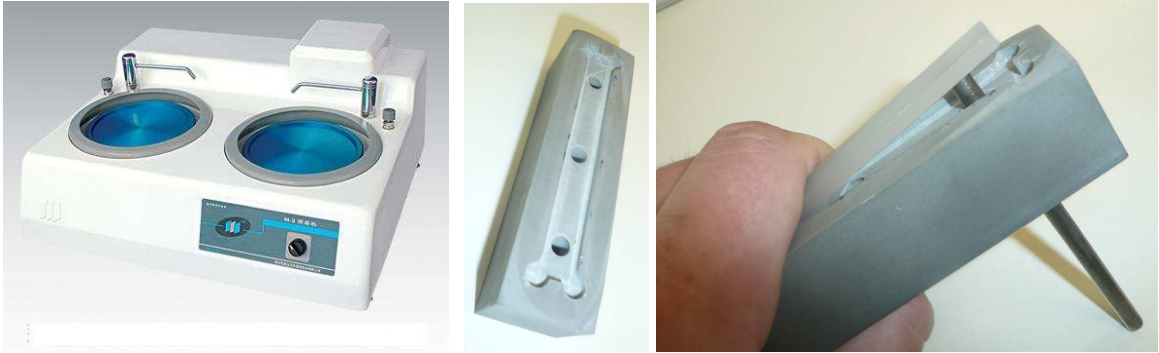
| Polypropylen Mosten GB 005 | | | |
|--|------------------------|-------------------|------------------------|
| Vlastnost | Typická hodnota | Jednotka | Zkušební metoda |
| Index toku taveniny (230/2,16) | 5,0 | g/10 min | ISO 1133 |
| Napětí na mezi kluzu | 34 | MPa | ISO 527 |
| Celková tažnost | 100 | % | ISO 527 |
| Ohybový modul | 1600 | MPa | ISO 178 |
| Vrubová houževnatost CHARPY 23°C | 4,0 | kJ/m ² | ISO 179 |
| Vrubová houževnatost CHARPY -20°C | - | kJ/m ² | ISO 179 |
| Teplota měknutí dle VICATA | 155 | °C | ISO 306 |
| HDT (1,8 MPa) | 55,000 | °C | ISO 75 |

4.2 Broušení

Pro měření bylo třeba vytvořit cca deseti různých drsností v rozmezí Ra 0,05 – 4 μm . Každá drsnost po čtyřech vzorcích.

Došlo tedy k použití univerzitních metalografických brusek a různých typů brousících papírů. Broušení bylo nutno provádět pod vodou z důvodu odplavování třísky a chlazení. Jelikož byly vzorky štíhlého charakteru, hrozila by při broušení neovladatelnost, špatný sklon přitlaku či poranění prstů, bylo zapotřebí vyrobit přípravek pro broušení.

Přípravek se vzorkem byl lehce přitlačován k otáčejícímu se kruhu, na kterém byl odstředivou silou udržován brousící papír. Všechny vzorky byly broušeny přibližně na stejné obvodové části, aby byla pokud možno na všech vzorcích stejná charakteristika brousících drah.

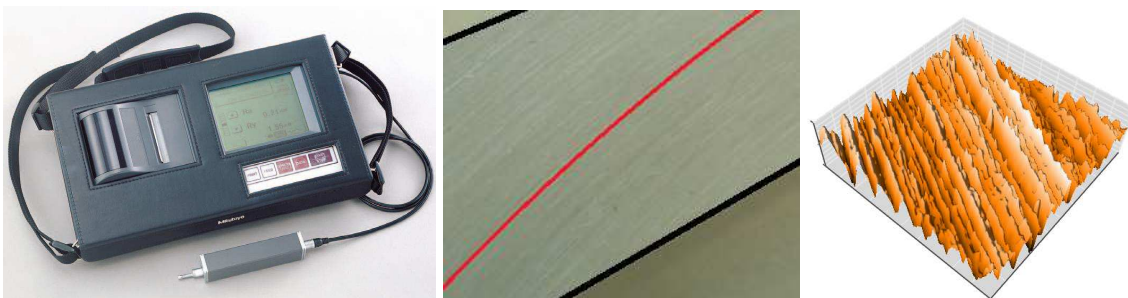


Obr. 46. Ukázka metalografických brusek a ukázka přípravku pro broušení.

U broušení menších drsností bylo z časových důvodů výhodnější předbroušení drsnějšími brousícími papíry.

Po každé výměně brousícího papíru a vybroušení určité plochy došlo k orientačnímu přeměření na dílenském dotykovém drsnoměru (ve směru největší drsnosti), jakou drsnost lze takto vybrousit.

Boky vzorků se brousily na nejjemnější možnou drsnost a to již bez pomocného přípravku.



Obr. 47. Dotykový drsnoměr SJ 301, detail tvaru brousících drah na vzorku a ukázka broušeného povrchu vzorku pomocí AFM měření.

Poté se dílky nařezaly na tři díly pomocí pilky na železo. Následovalo přeměření pomocí posuvky a spočítání obsahů potřebných ploch. Poté ojhlení hran dílků pomocí odjehlovače a vyfoukání zbytků třísky po broušení a řezání stlačeným vzduchem.

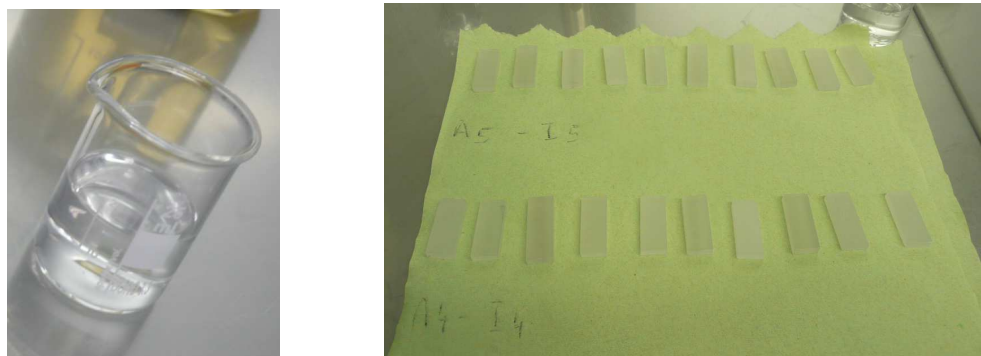
5 BAKTERIÁLNÍ TESTY

Bakteriální testy byly prováděny v mikrobiologické laboratoři v univerzitním vědeckotechnologickém parku. Metoda zjištění míry bakteriální adheze (tvorby biofirmy) byla zvolena podle postupů uváděných ve vědeckých člancích a literatuře [49]. V bakteriálním prostředí je povrch vzorku vystaven tvorbě biofirmy, který je po inkubační době z povrchu odstraněn a množství bakterií je spočítáno. Provoz se zde řídí pravidly práce v čistých prostorách, aby se předešlo nechtěné kontaminaci (sterilizace nástrojů, zvýšená hygiena, apod.).

5.1 Sterilizace

Vzorky byly očištěny od hrubých nečistot stlačeným vzduchem. Zbývalo vzorky očistit chemicky, aby nedošlo ke komplikacím při bakteriálních testech.

Vzorky byly jednotlivě opláchnuty v 70% etanolu a ponechány na papírovém ubrousku k osušení.

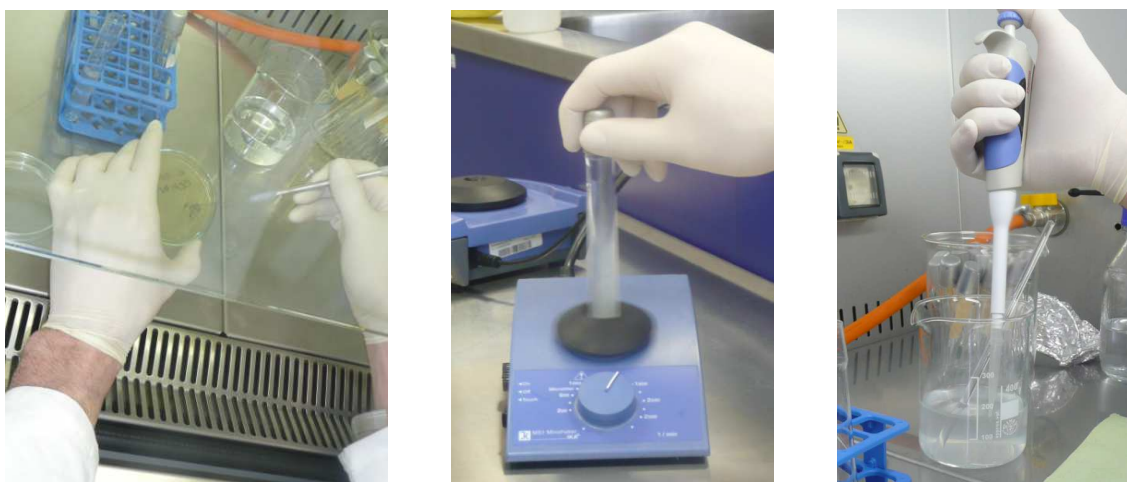


Obr. 48. Kádinka s etanolem a ukázka připravených vzorků k inkubaci.

5.2 Inokulum

Koncentrace bakteriálního roztoku byla zvolena podle norem a publikací v rozmezí 10^7 - 10^8 CFU/ml. Tato laboratorní jednotka vyjadřuje počet životaschopných bakterií na jednotku. Příprava roztoku probíhala podle standardních mikrobiologických postupů. Na přípravu byla použita demineralizovaná voda a čerstvě nakultivované bakterie *Escherichia Coli*.

Připravili jsme 310 ml koncentráту postačující na testování 20 vzorků a 20 zkumavek, do kterých se vlije 10 ml roztoku.



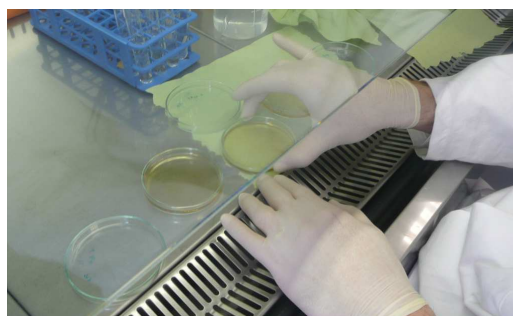
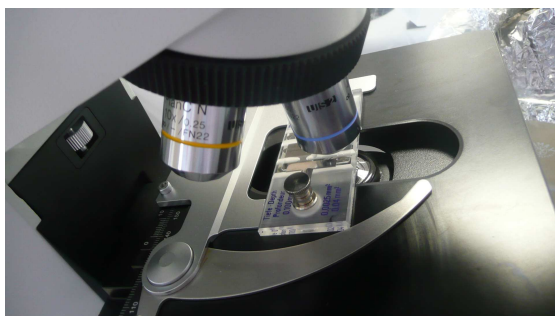
Obr. 49. Vlevo nabírání bakterií pomocí kličky dále laboratorní vibrační třepačka a vpravo kádinka s koncentrátem.

Jako předběžná kontrola koncentrace inokula v průběhu jeho přípravy sloužil mikroskop s počítací komůrkou. Laboratorní pipetou se nanese kapka roztoku na sklíčko a přiloží přes něj jiné a vloží pod mikroskop. Následně dojde k vizuálnímu počítání bakterií.

Jako přesné určení koncentrace bakterií sloužila rozředovací metoda s kultivací na agaru, viz tab. 3. 1 ml inokula byl smíchán s tekutým agarem. Agar je živná půda zajišťující bakteriím ideální podmínky pro růst a rozmnožování. Při práci s živnou půdou je důležitá zručnost pracovníka a to z důvodu dobrého promíchání agaru s bakteriemi. Do několika minut dochází k želatinaci agaru. Následně se umístí petriho miska do inkubátoru a to dnem nahoru, kde bakterie rostou 24 hodin při teplotě 37°C , kolonie jsou pak spočítány a vyhodnoceny.

Tab. 3. Použitá živná půda.

| Identifikace živné půdy | Popis | Název živné půdy |
|-------------------------|---|-----------------------------|
| 02 | Živný agar pro stanovení celkového počtu mikroorganismů | GTK agar (Plate-Count-Agar) |



Obr. 50. Vlevo předběžná kontrola koncentrace roztoku a vpravo kontrola koncentrace pomocí živné půdy.

5.3 Inkubace vzorků v inokulu

Podle počtu vzorků a počtu opakování je zapotřebí i zkumavek. V tomto případě 2 x 10 zkumavek. Do každé zkumavky bylo laboratorní pipetou dáno 10 ml připraveného bakteriálního roztoku. Poté již etanolem očištěné vzorky byly vhozeny do zkumavek s roztokem a uzavřeny. Vzorky byly takto inkubovány 24 hodin při teplotě 37°C za stálého třepání na třepačce.

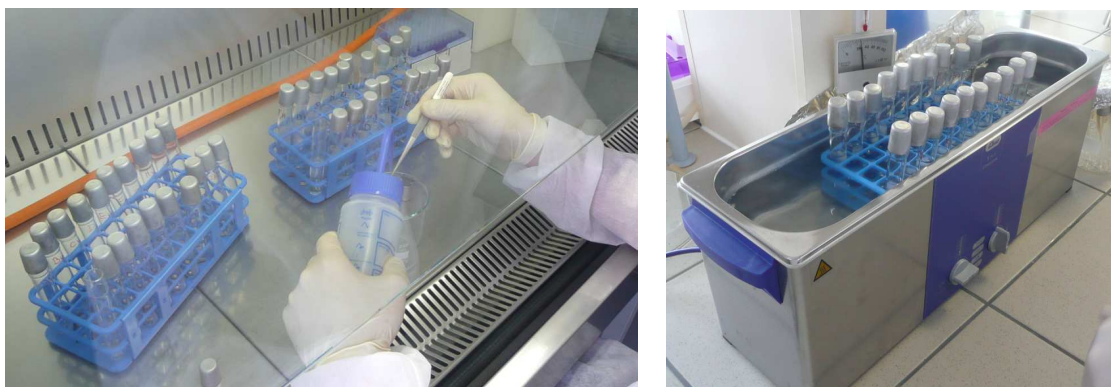


Obr. 51. Vlevo ukázka vzorků v roztoku a vpravo vzorky na třepačce.

5.4 Ultrazvukové odstranění bakteriální vrstvy

Po inkubaci, abychom mohli přistoupit k odstranění bakteriální vrstvy a poté k následnému měření přichycených bakterií, bylo nejprve třeba opláchnout jemným proudem demineralizované vody bakterie, které nebyly přichyceny k povrchu vzorku. Šlo o vyjmutí vzorku pomocí pinzety ze zkumavky a opláchnutí pomocí stříčky. Následně pak byly omyté vzorky vloženy do nových zkumavek s 10 ml demineralizované vody.

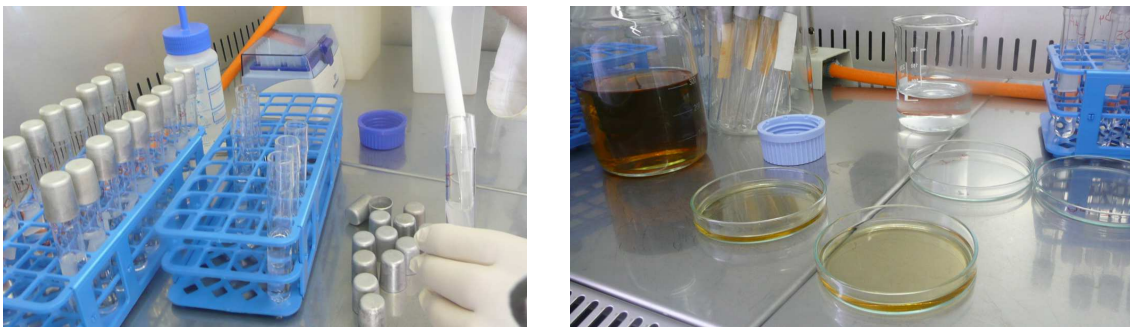
Jako velmi vhodný nápad, jak odstranit bakteriální vrstvu, se naskytla laboratorní ultrazvuková čistička značky ELMA. Tato čistička odstraňovala bakterie z povrchu velmi účinně, což se prokázalo zkouškou pomocí živné půdy. Tím se i potvrdilo, že nedochází k hubení bakterií. Vzorky ve zkumavce s vodou byly v čističce po dobu 3 minut. Tato doba byla postačující k odstranění bakterií z povrchu a jejich přenesení z povrchu vzorku do zkumavky s vodou.



Obr. 52. Vlevo oplachování nepřichycených bakterií a vpravo vzorky ve vibrační čističce.

5.5 Zjištění koncentrace přichycených bakterií pomocí ředění a kultivace na agaru

V této části dochází k samotnému k tzv. počítání bakterií, které se přichytily k povrchům vzorků. Bylo nutné každý roztok získaný z ultrazvukového čištění ředit několikrát v desetinásobném poměru vodou a získat tak řadu ředění od 10^{-1} do 10^{-6} . Pokud by byla koncentrace roztoku příliš velká (ředění příliš malé), počet bakterií by nebylo možné spočítat. Následovalo zalití agarem a kultivace 24h při 37°C . Tento proces by byl ale značně náročný, neboť rozředění se provádí do několika řádů a to alespoň třech. Následně dochází ke zkoušce pomocí živné půdy, kde je opakovanost alespoň dvakrát. Z toho vyplívá velká materiální a časová náročnost na zkoušku pomocí živné půdy.



Obr. 53. Vlevo ředění odstraněné bakteriální vrstvy s vodou a vpravo kultivace pomocí agaru.

Poté už jde pouze o manuální práci: odebrání určité části z roztoku přichycených bakterií, přidání do zjištěné koncentrace vody, protřepání na třepačce a nalití určité části na petriho misku a provedení kultivace pomocí agaru.

Po 24 hodinách se petriho misky vyjmou z inkubátoru a dochází k přepočítání bakterií. K této záležitosti je velmi vhodné využít počítač kolonií, kterým se velmi přesně dají kolonie spočítat.

Spočítaný počet bakterií stačí vynásobit řádem zředění a zjistíme skutečný počet přichycených bakterií.



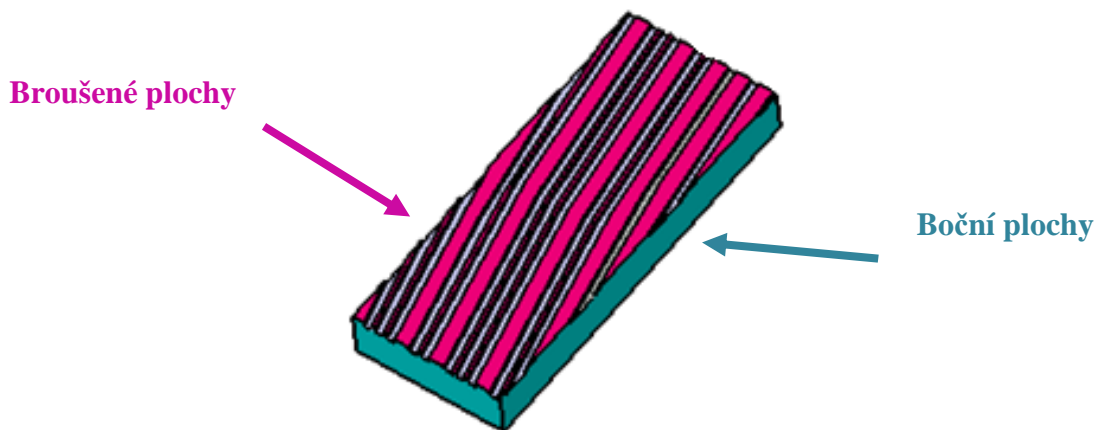
*Obr. 54. Vlevo ukázka počítání kolonií za pomoci počítače kolonií
a vpravo detail kolonií.*

6 VÝPOČET ADHEZE BAKTERIÍ, CHARAKTERIZACE POVRCHŮ VZORKŮ A VYHODNOCENÍ

Aby bylo možno vyhodnotit vztah bakteriální adheze na parametrech drsnosti, bylo nutné charakterizovat jednotlivě vybroušené vzorky.

6.1 Výpočet adheze bakterií

Při výpočtu se vycházelo ze vzorku F, který je ze všech stran leštěn stejným papírem o zrnitosti 2000. Na každém vzorku jsou boky leštěny tímto papírem. Bylo tedy zapotřebí zjistit, jaká je adheze na povrchu obrobeném papírem o zrnitosti 2000. Bakteriální testy byly prováděny dvakrát a při výpočtu se tedy vycházelo z průměrů dvou vzorků F (F_4 , F_5), které mají stejný povrch, avšak jinou plochu.



Obr. 55. Ukázka modelu vzorku.

$$F_{\text{počet bakterií celkem}} = \frac{27 + 19 + 40 + 26}{4} * 1000 = 28000$$

$$S_F \text{ všech ploch} = \frac{758,5 + 807,68}{2} = 783,09 \text{ mm}^2$$

$$\text{Adheze bakterií na povrchu F} = F_{\text{počet bakterií celkem}} / S_F \text{ všech ploch} =$$

$$28000 / 783,09 = 35,76 \text{ CFU/mm}^2$$

Následně bylo možno přepočítat, jaký počet se na každých bocích každého vzorku přichytilo bakterií.

Příklad vzorku A:

$$A_{\text{počet bakterií na bocích}} = S_{\text{A bočních ploch}} * \text{Adheze bakterií na povrchu F} = \\ 239,44 * 35,76 = 8\,562$$

$$A_{\text{počet bakterií na broušených plochách}} = A_{\text{počet bakterií celkem}} - A_{\text{počet bakterií na bocích}} = \\ 12\,500 - 8\,562 = 3\,938$$

$$\text{Adheze bakterií na povrchu A} = A_{\text{počet bakterií na broušených plochách}} / S_{\text{A broušených ploch}} = \\ 3\,938 / 494 = 7,97 \text{ CFU/mm}^2$$

6.2 Charakterizace povrchů vzorků

Jako první byl použit univerzitní dotykový drsnoměr SJ 301 vhodný pro dílenské měření, pro převážně soustružené a frézované povrchy. V našem případě, kde povrchy vzorků byly broušeny, až leštěny postačoval jen k orientačnímu přeměření. Přesto byl použit k naměření podélných drsnostních hodnot. Na jednotlivých vzorcích bylo provedeno 10 měření v různé vzdálenosti, na vyhodnocovací délce 4 mm. Na vyhodnocovací délce tj.: 4 mm je 5 základních délek, to znamená, že základní délka je 0,8 mm. Měření proběhlo ve směru největší drsnosti.

K podrobnější charakterizaci povrchu byl použit univerzitní AFM měřicí přístroj s názvem Nanosurf easyScan 2. Technologie funguje na principu atomárních sil, které hrot přitahují nebo odpuzují. Maximální nastavitelná snímatelná oblast je 50 x 50 μm a to je pro charakterizaci našich vzorků příliš málo. AFM měřicí přístroj byl alespoň využit k pořízení zobrazení povrchu ve 3D.

Jako nejvýhodnější měřicí zařízení byl použit univerzitní bezdotykový drsnoměr Talysurf CLI 500 od výrobce Taylor Hobson. Byl použit k naměření především výškových parametrů drsnosti. Princip je založen na laserovém paprsku, které dopadá na snímanou plochu a zase se odráží zpět. Následně dochází k vyhodnocení intenzity odraženého paprsku. Na vzorku bylo zvoleno 10 měření na vyhodnocovací délce 4 mm ve vzdálenosti 0,5 mm od sebe. Na vyhodnocovací délce tj.: 4 mm je 5 základních délek, to znamená, že základní délka je 0,8 mm. Měření proběhlo ve směru největší drsnosti.



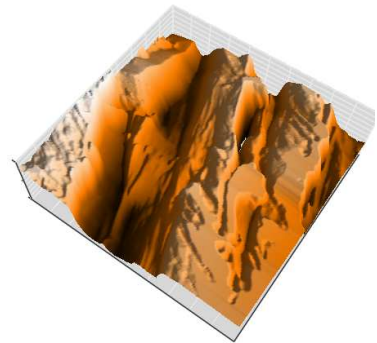
Obr. 56. Vlevo měřicí přístroj AFM Nanosurf easyScan a vpravo bezdotykový měřicí přístroj Talysurf CLI 500.

V následujících tabulkách jsou uvedeny jednotlivé vzorky A až I, u nichž jsou uvedeny výškové a délkové drsnostní parametry. Dále je zde uveden odhad směrodatné odchylky, vypočítaná bakteriální adheze, typ brousícího papíru a detail povrchu vzorku pořízený pomocí AFM technologie. Rozměry snímané oblasti snímků pořízených pomocí AFM technologie jsou $x = 50 \mu\text{m}$, $y = 50 \mu\text{m}$, $z =$ přibližně hodnotě R_z .

U hodnot označených * adheze nemusela být ve skutečnosti nulová, ale byla pod hranicí citlivosti naší metody.

Tab. 4. Parametry drsnosti vzorku A.

| Bezdotkový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| A | R_p | R_v | R_z | R_c | R_t | R_a | R_q | R_{sk} | R_{ku} | R_{mr} | R_{dc} |
| | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] |
| \emptyset | 2,94 | 2,70 | 5,74 | 2,98 | 7,42 | 0,90 | 1,14 | 0,14 | 3,91 | 1,50 | 1,90 |
| SM | 0,21 | 0,27 | 0,32 | 0,17 | 0,40 | 0,05 | 0,06 | 0,2 | 0,33 | 0,27 | 0,11 |
| Dotykový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| A | R_{sm} | R_s | R_{pc} | Adheze | Papír | | | | | | |
| | [μm] | [μm] | [počet/cm] | [CFU/mm ²] | [zrnitost] | | | | | | |
| \emptyset | 61,50 | 30,50 | 173,87 | 7,97 | 220 | | | | | | |
| SM | 5,59 | 1,69 | 33,10 | | | | | | | | |



Obr. 57. Povrch vzorku A.

Tab. 5. Parametry drsnosti vzorku B.

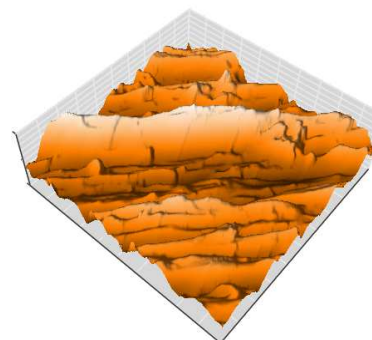
| Bezdotkový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| B | R_p | R_v | R_z | R_c | R_t | R_a | R_q | R_{sk} | R_{ku} | R_{mr} | R_{dc} |
| | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] |
| \emptyset | 0,68 | 0,62 | 1,30 | 0,63 | 1,56 | 0,21 | 0,27 | 0,12 | 3,37 | 71,05 | 0,42 |
| SM | 0,10 | 0,02 | 0,10 | 0,03 | 0,10 | 0,01 | 0,10 | 0,19 | 0,53 | 18,87 | 0,01 |
| Dotykový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| B | R_{sm} | R_s | R_{pc} | Adheze | Papír | | | | | | |
| | [μm] | [μm] | [počet/cm] | [CFU/mm ²] | [zrnitost] | | | | | | |
| \emptyset | 66,50 | 16,60 | 222,29 | 4,85 | 1200 | | | | | | |
| SM | 39,01 | 1,96 | 134,61 | | | | | | | | |



Obr. 58. Povrch vzorku B.

Tab. 6. Parametry drsnosti vzorku C.

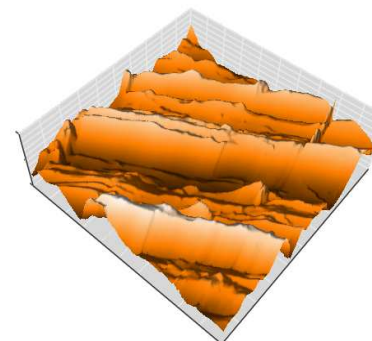
| Bezdotykový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| C | R_p | R_v | R_z | R_c | R_t | R_a | R_q | R_{sk} | R_{ku} | R_{mr} | R_{dc} |
| | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] |
| Ø | 0,74 | 0,75 | 1,50 | 0,72 | 2,14 | 0,24 | 0,31 | 0,05 | 3,76 | 42,67 | 0,50 |
| SM | 0,11 | 0,05 | 0,09 | 0,03 | 0,30 | 0,01 | 0,01 | 0,25 | 0,73 | 22,18 | 0,02 |
| Dotykový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| C | R_{sm} | R_s | R_{pc} | Adheze | Papír | | | | | | |
| | [μm] | [μm] | [počet/cm] | [CFU/mm ²] | [zrnitost] | | | | | | |
| Ø | 39,50 | 18,60 | 254,43 | 8,33 | 800 | | | | | | |
| SM | 1,96 | 1,11 | 13,62 | | | | | | | | |



Obr. 59. Povrch vzorku C

Tab. 7. Parametry drsnosti vzorku D.

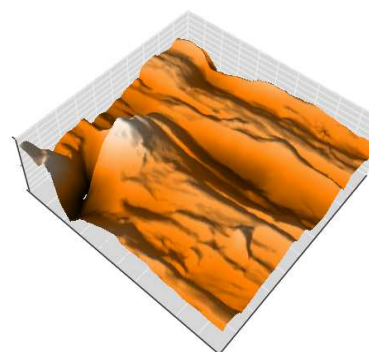
| Bezdotykový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| D | R_p | R_v | R_z | R_c | R_t | R_a | R_q | R_{sk} | R_{ku} | R_{mr} | R_{dc} |
| | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] |
| Ø | 0,71 | 0,74 | 1,43 | 0,73 | 1,82 | 0,23 | 0,30 | -0,08 | 3,26 | 64,36 | 0,48 |
| SM | 0,06 | 0,08 | 0,12 | 0,07 | 0,20 | 0,02 | 0,02 | 0,13 | 0,30 | 12,49 | 0,11 |
| Dotykový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| D | R_{sm} | R_s | R_{pc} | Adheze | Papír | | | | | | |
| | [μm] | [μm] | [počet/cm] | [CFU/mm ²] | [zrnitost] | | | | | | |
| Ø | 30,50 | 17,50 | 326,73 | 0* | 500 | | | | | | |
| SM | 1,36 | 0,81 | 13,48 | | | | | | | | |



Obr. 60. Povrch vzorku D.

Tab. 8. Parametry drsnosti vzorku E.

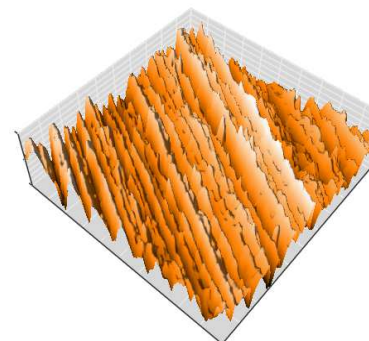
| Bezdotykový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| E | R_p | R_v | R_z | R_c | R_t | R_a | R_q | R_{sk} | R_{ku} | R_{mr} | R_{dc} |
| | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] |
| Ø | 0,85 | 0,82 | 1,66 | 0,82 | 2,02 | 0,27 | 0,34 | -0,03 | 3,43 | 45,29 | 0,54 |
| SM | 0,05 | 0,08 | 0,09 | 0,04 | 0,13 | 0,01 | 0,01 | 0,16 | 0,28 | 6,47 | 0,02 |
| Dotykový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| E | R_{sm} | R_s | R_{pc} | Adheze | Papír | | | | | | |
| | [μm] | [μm] | [počet/cm] | [CFU/mm ²] | [zrnitost] | | | | | | |
| Ø | 33,00 | 18,10 | 306,89 | 0* | 360 | | | | | | |
| SM | 2,65 | 0,83 | 23,93 | | | | | | | | |



Obr. 61. Povrch vzorku E.

Tab. 9. Parametry drsnosti vzorku F.

| Bezdotykový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| F | R_p | R_v | R_z | R_c | R_t | R_a | R_q | R_{sk} | R_{ku} | R_{mr} | R_{dc} |
| | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] | [μm] |
| Ø | 0,36 | 0,35 | 0,72 | 0,33 | 1,01 | 0,11 | 0,14 | -0,05 | 4,12 | 98,91 | 0,22 |
| SM | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,20 | 0,01 | 0,01 | 0,23 | 0,80 | 2,36 | 0,01 |
| Dotykový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| F | R_{sm} | R_s | R_{pc} | Adheze | Papír | | | | | | |
| | [μm] | [μm] | [počet/cm] | [CFU/mm ²] | [zrnitost] | | | | | | |
| Ø | 26,60 | 13,80 | 383,23 | 36,19 | 2000 | | | | | | |
| SM | 3,72 | 0,40 | 44,96 | | | | | | | | |

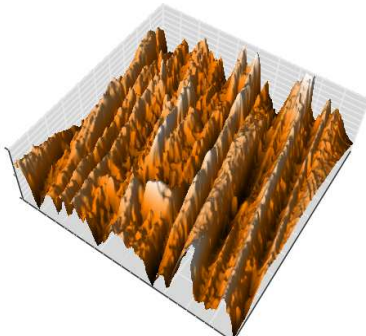


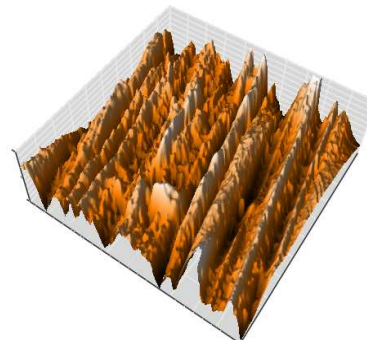
Obr. 62. Povrch vzorku F.

Tab. 10. Parametry drsnosti vzorku G.

| Bezdotkový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---------------|------------------------|----------------------------------|---------------------|--|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| G | R_p [μm] | R_v [μm] | R_z [μm] | R_c [μm] | R_t [μm] | R_a [μm] | R_q [μm] | R_{sk} [μm] | R_{ku} [μm] | R_{mr} [μm] | R_{dc} [μm] |
| Ø | 9,20 | 9,30 | 18,69 | 9,26 | 24,62 | 2,94 | 3,77 | 0,002 | 3,99 | 0,66 | 5,63 |
| SM | 0,59 | 1,04 | 1,65 | 0,48 | 2,97 | 0,16 | 0,23 | 0,14 | 0,47 | 0,26 | 0,16 |
| Dotkový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| G | R_{sm} [μm] | R_s [μm] | R_{pc} [počet/cm] | Adheze [CFU/mm ²] | Papír [zrnitost] | Nelze vykreslit povrch pomocí AFM technologie, z důvodu příliš velké drsnosti povrchu. | | | | | |
| Ø | 100,80 | 52,10 | 99,77 | 289,70 | 100 | | | | | | |
| SM | 6,75 | 3,65 | 7,32 | | | | | | | | |

Tab. 11. Parametry drsnosti vzorku H.

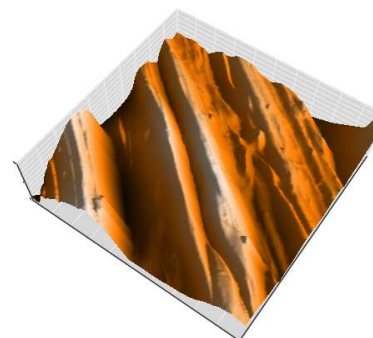
| Bezdotkový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---------------|------------------------|----------------------------------|---------------------|---|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| H | R_p [μm] | R_v [μm] | R_z [μm] | R_c [μm] | R_t [μm] | R_a [μm] | R_q [μm] | R_{sk} [μm] | R_{ku} [μm] | R_{mr} [μm] | R_{dc} [μm] |
| Ø | 1,08 | 0,70 | 1,81 | 1,02 | 2,46 | 0,32 | 0,40 | 0,90 | 3,52 | 22,17 | 0,69 |
| SM | 0,10 | 0,05 | 0,14 | 0,10 | 0,23 | 0,02 | 0,02 | 0,12 | 0,37 | 9,94 | 0,03 |
| Dotkový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| H | R_{sm} [μm] | R_s [μm] | R_{pc} [počet/cm] | Adheze [CFU/mm ²] | Papír [zrnitost] |  | | | | | |
| Ø | 111,20 | 27,80 | 94,09 | 13,72 | výstřík | | | | | | |
| SM | 24,94 | 2,52 | 18,73 | | | | | | | | |



Obr. 63. Povrch vzorku H.

Tab. 12. Parametry drsnosti vzorku CH.

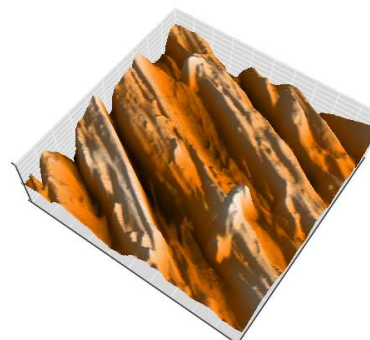
| Bezdotkový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---------------|------------------------|------------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| CH | R_p [μm] | R_v [μm] | R_z [μm] | R_c [μm] | R_t [μm] | R_a [μm] | R_q [μm] | R_{sk} [μm] | R_{ku} [μm] | R_{mr} [μm] | R_{dc} [μm] |
| Ø | 7,55 | 6,63 | 14,35 | 7,12 | 18,16 | 2,19 | 2,82 | 0,27 | 4,30 | 0,72 | 4,27 |
| SM | 0,75 | 0,52 | 0,80 | 0,43 | 1,78 | 0,10 | 0,12 | 0,19 | 0,77 | 0,25 | 0,14 |
| Dotkový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| CH | R_{sm} [μm] | R_s [μm] | R_{pc} [počet/cm] | $Adheze$ [CFU/mm ²] | | $Papír$ [zrnitost] | | | | | |
| Ø | 87,50 | 46,60 | 115,64 | 338,93 | | 120 | | | | | |
| SM | 10,14 | 3,72 | 12,51 | | | | | | | | |



Obr. 64. Povrch vzorku CH.

Tab. 13. Parametry drsnosti vzorku I.

| Bezdotkový drsnoměr Talysurf CLI 500 | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---------------|------------------------|------------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| I | R_p [μm] | R_v [μm] | R_z [μm] | R_c [μm] | R_t [μm] | R_a [μm] | R_q [μm] | R_{sk} [μm] | R_{ku} [μm] | R_{mr} [μm] | R_{dc} [μm] |
| Ø | 2,62 | 3,17 | 5,80 | 3,06 | 8,18 | 0,89 | 1,14 | -0,35 | 4,27 | 1,49 | 1,89 |
| SM | 0,17 | 0,37 | 0,28 | 0,11 | 0,81 | 0,03 | 0,04 | 0,22 | 0,62 | 0,73 | 0,06 |
| Dotkový drsnoměr SJ 301 | | | | | | | | | | | |
| I | R_{sm} [μm] | R_s [μm] | R_{pc} [počet/cm] | $Adheze$ [CFU/mm ²] | | $Papír$ [zrnitost] | | | | | |
| Ø | 64,40 | 32,70 | 155,67 | 127,16 | | 150 | | | | | |
| SM | 3,50 | 1,55 | 7,99 | | | | | | | | |

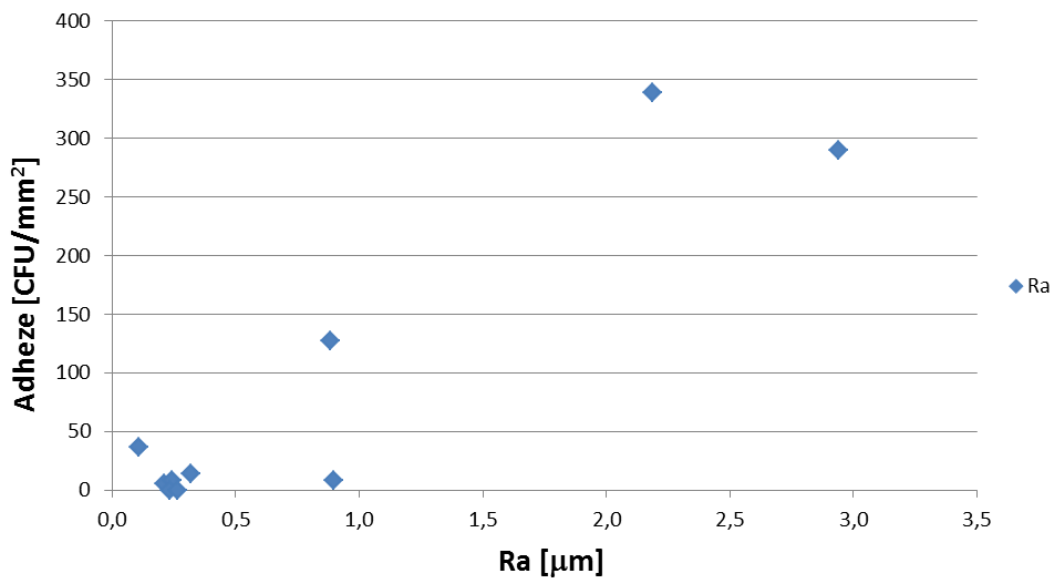


Obr. 65. Povrch vzorku I.

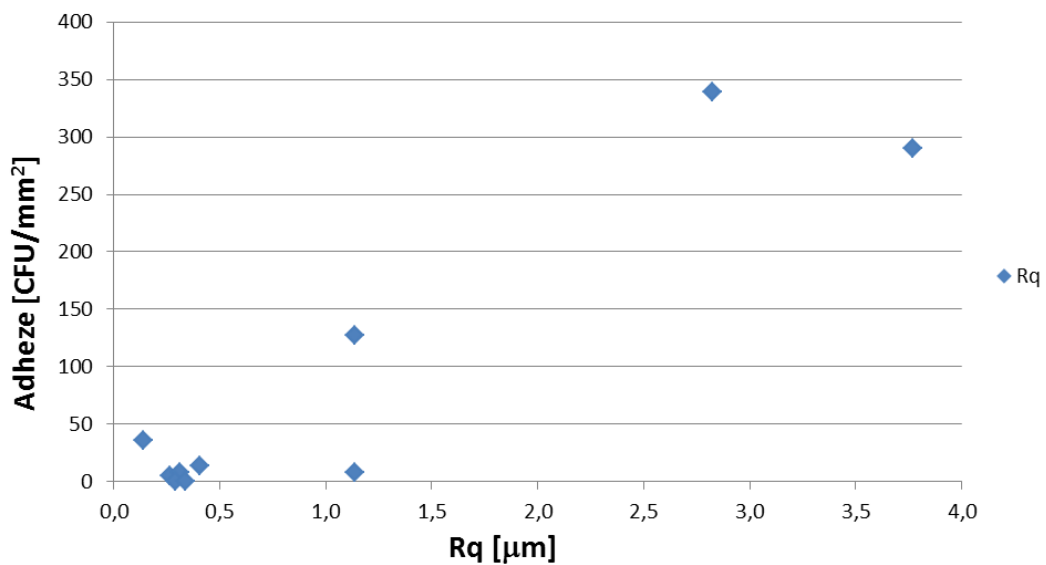
6.3 Vyhodnocení

Zde byly vyneseny jednotlivé parametry výškových a podélných drsností v závislosti na adhezi a sledoval se jejich průběh.

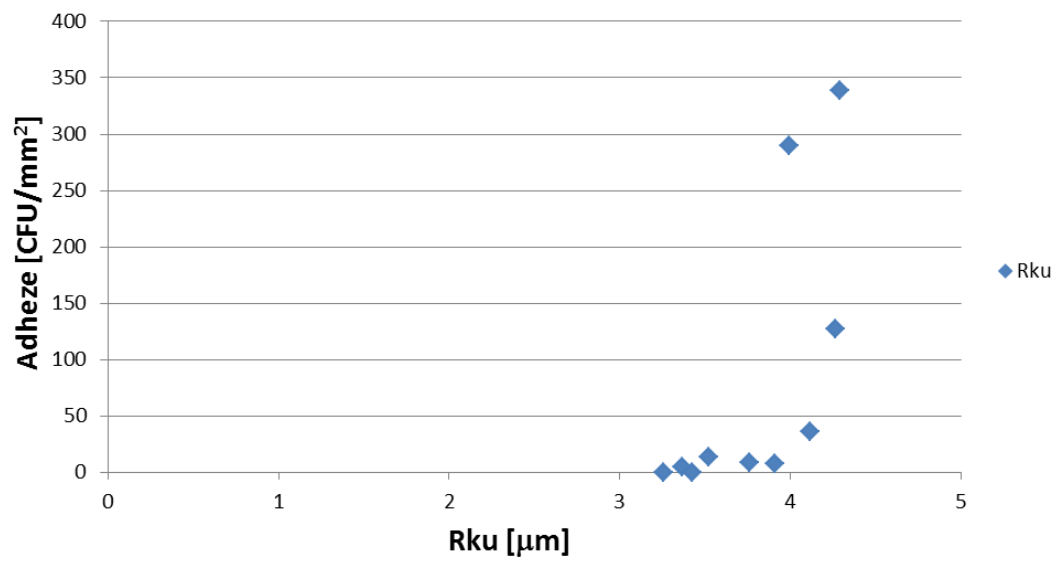
Výškové parametry:



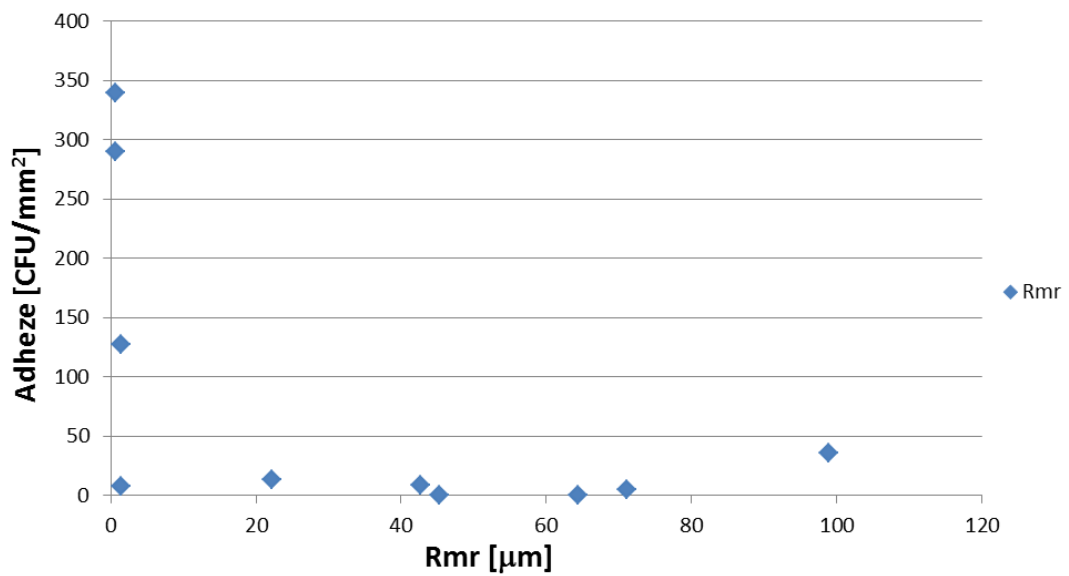
Obr. 66. Průměrná aritmetická úchylka profilu od střední čáry
v rozsahu základní délky.



Obr. 67. Průměrná kvadratická úchylka profilu v rozsahu základní délky.



Obr. 68. Špičatost.



Obr. 69. Materiálový podíl.

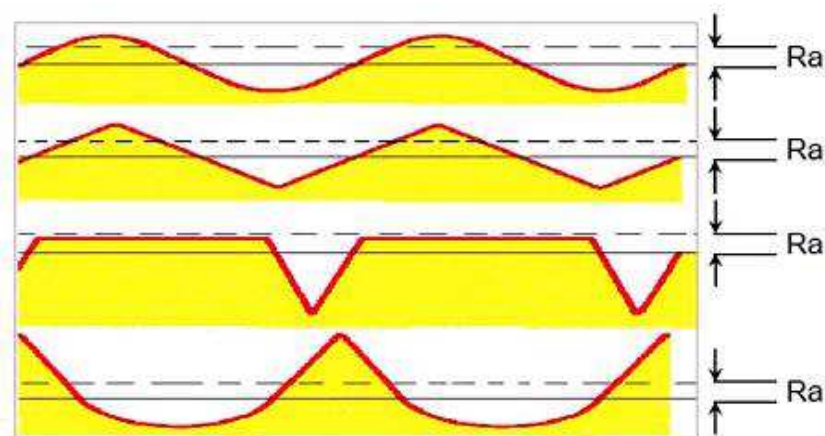
Závěr:

Sám o sobě parametr R_a je málo vypovídající hodnota. Nerozlišuje totiž mezi výstupky a prohlubněmi viz obr. 70. Ale spolu s parametrem R_q lze už usoudit, že bakteriální adheze klesá spolu s poklesem těchto parametrů až do hodnot $R_a = R_q = 0,25 \mu\text{m}$, kde je adheze nejmenší. Dále když však tyto parametry drsnosti klesají pod tuto hodnotu, adheze se začíná zase zvyšovat. Průběh potvrzuje i grafická závislost ostatních parametrů (R_t , R_z , R_v , R_p).

Hodnoty R_{ku} jsou u vzorků v rozmezí 3 - 5. Distribuční křivka je tvarem „Leptokurtotic“ a má relativně mnoho vysokých vrcholů a nízké údolí. Z grafu lze usoudit, že se zvyšující se špičatostí roste i adheze.

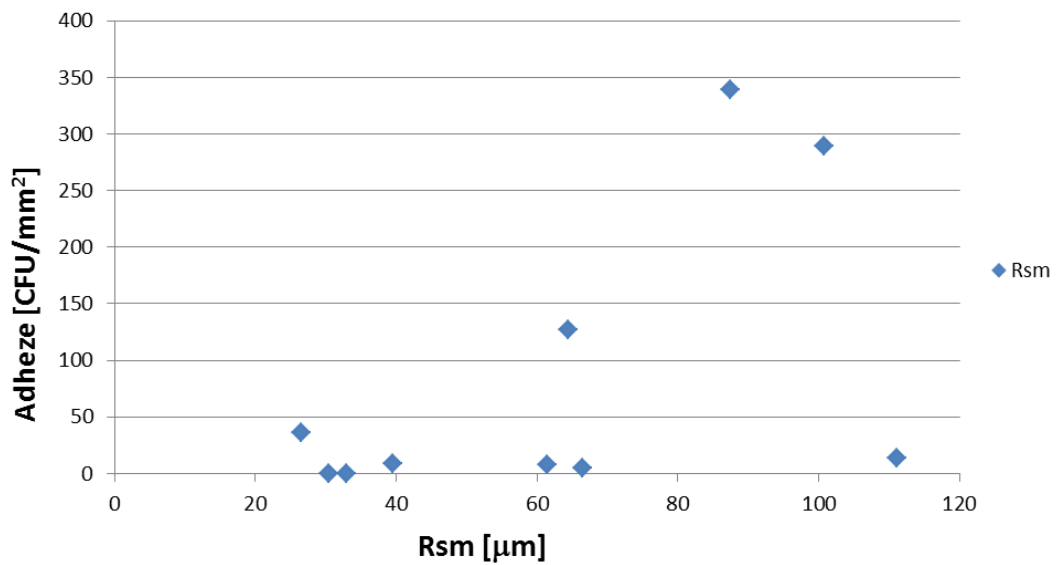
Z parametr R_{mr} v závislosti na adhezi nelze z důvodu nízké opakovatelnosti vyvodit nějakou závislost.

Veškeré další grafy uvedených parametrů drsnosti jsou uvedeny v příloze.

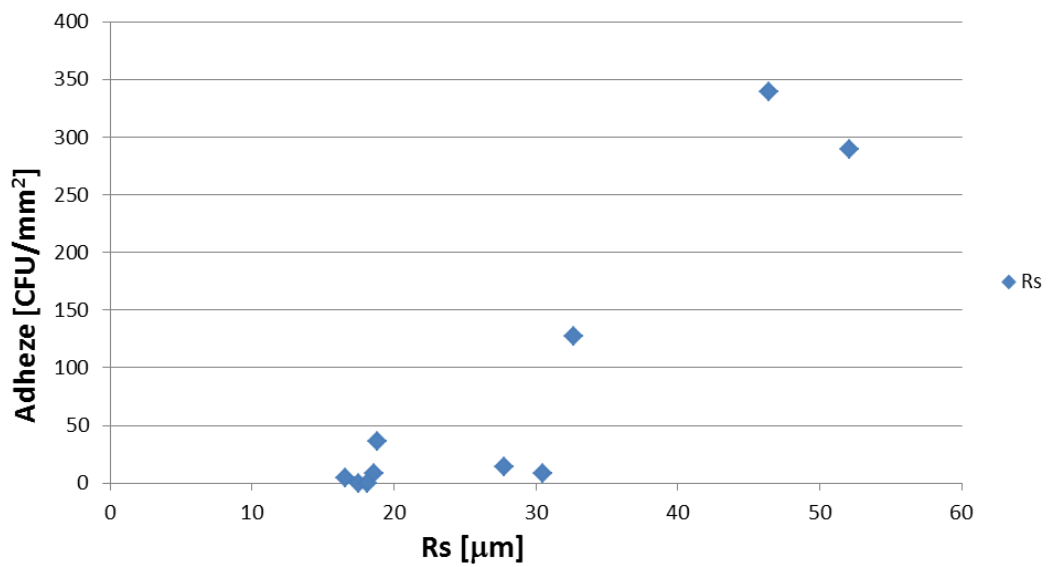


Obr. 70. Rozdílné profily avšak stejná hodnota R_a [37].

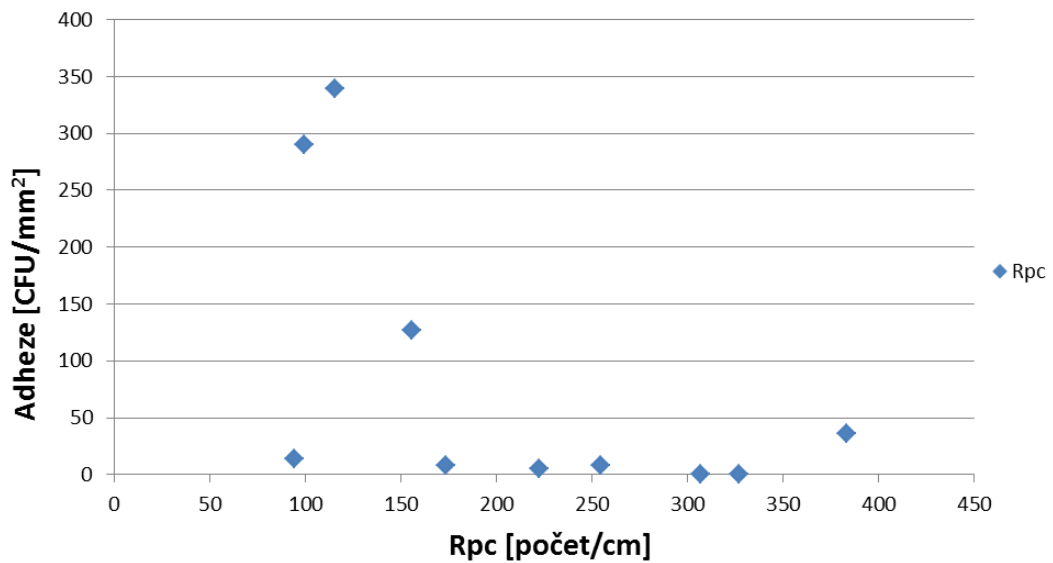
Délkové parametry:



Obr. 71. Průměrná vzdálenost výstupků na střední čáře v rozsahu základní délky.



Obr. 72. Průměrná vzdálenost sousedních vrcholů profilu v rozsahu základní délky.



Obr. 73. Počet výstupků.

Závěr:

Parametr R_{sm} v závislosti na bakteriální adhezi ukazuje, že adheze postupně klesá spolu s poklesem tohoto parametru. V rozmezí asi $R_{sm} = 25 - 65 \mu m$ je adheze nejnižší. Od hodnoty $R_{sm} = 25 \mu m$ dochází opět ke zvyšování adheze.

Parametr R_s v závislosti na bakteriální adhezi ukazuje, že adheze postupně klesá spolu s poklesem tohoto parametru. V rozmezí asi $R_s = 15 - 30 \mu m$ je adheze nejnižší. Od hodnoty $R_{sm} = 15 \mu m$ dochází opět ke zvyšování adheze.

Z grafu parametru R_{pc} v závislosti na bakteriální adhezi lze usoudit, že při počtu výstupků v rozmezí $170 - 330 / cm$ dochází k minimální adhezi.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo snížit adhezi bakterií *E. Coli* na povrch PP pomocí změn drsnosti jeho povrchu, což je šetrnější a méně náročný způsob, než snížení adheze mechanickým či chemickým způsobem. Následně bylo nutno charakterizovat jednotlivé vzorky a vyhodnotit, které parametry drsnosti ovlivňují bakteriální adhezi.

Připravilo se 10 vzorků pomocí 10 vodních brousících papírů. Byly udělány laboratorní testy, kde se vzorky vystavily bakteriálnímu prostředí. Poté pomocí kultivace na agaru se zjistilo k jaké adhezi, na jakém vzorku došlo.

Nejmenší bakteriální adheze byla dosažena u vzorků broušených papírem 360 a 500. Naopak největší byla u vzorků broušených papírem 120. Více je uvedeno v příloze [P. XII]

Výškové parametry drsnosti vzorků byly charakterizovány pomocí bezdotykového drsnoměru Talysurf CLI 500 a podélné pomocí dotykového drsnoměru SJ 301 a všechny parametry byly vyneseny do grafu v závislosti na adhezi. V časovém rozsahu této diplomové práce nebylo možné vícerych opakování bakteriálních adhezí a sesbírání takového množství dat, které by bylo dostatečné k statisticky platnému výsledku. Není tedy zcela zřejmé, který parametr je skutečně na adhezi závislý a který není.

Ukazuje se však, že bakteriální adheze většiny výškových parametrů R_a , R_q , R_t , R_z , R_v , R_p klesá spolu s poklesem těchto parametrů až do určitého minima, které se nachází kolem $0,25 \mu\text{m}$. Když však tyto parametry drsnosti klesají pod tuto hodnotu, adheze se začíná zase zvyšovat. Hodnoty R_{ku} jsou u vzorků v rozmezí $3 - 5 \mu\text{m}$. Lze předpokládat, že se zvyšující se špičatostí roste i adheze.

Délkový parametr R_{sm} ukazuje, že v rozmezí asi $25 - 65 \mu\text{m}$ je adheze nejnižší. Od hodnoty $R_{sm} = 25 \mu\text{m}$ dochází opět ke zvyšování adheze. Parametr R_s ukazuje, že v rozmezí asi $15 - 30 \mu\text{m}$ je adheze nejnižší. Od hodnoty $R_{sm} = 15 \mu\text{m}$ dochází opět ke zvyšování adheze. Parametr R_{pc} ukazuje, že při počtu výstupků v rozmezí $170 - 330 / \text{cm}$ dochází k minimální adhezi.

Získané výsledky ukazují na fakt, že na křivce závislosti drsnostních parametrů na bakteriální adhezi se nachází minimum. Získáním většího počtu dat, by bylo možné zjistit, jak je který parametr na adhezi závislý a vhodnými úpravami jej měnit. Výsledný povrchový profil by se potom uplatnil jako vzor snižující bakteriální adhezi. Např. při povrchové úpravě vstřikovací formy, nebo jako povrch dezénovacího válce na folie apod.

Dále bych práci směřoval tak, aby se vyrobily vzorky s hodnotou $R_a = 0,25 \mu\text{m}$ avšak odlišnými technologiemi a sledovaly se ostatní parametry drsnosti, které ovlivňují adhezi. Také bych doporučil změnit materiál zkušebních vzorků s jinou pevností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [4] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. Vydání, Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [2] ČEP, R. *Technologie II. : 2. díl*. VŠB Ostrava. 2012.
- [3] HUMÁR, A. *Technologie I, Technologie obrábění - 3. část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia. 2005. 57 s.
- [4] MÁDL, J., KAFKA, J., VRABEC, M., DVOŘÁK, R. *Technologie obrábění*. 3. díl. České vysoké učení technické v Praze.
- [5] SABRI, L., MANSORI, M. E. Process variability in honing of cylinder liner with vitrified bonded diamond tools. *Surf. Coat. Technol.* [online]. 2009, vol. 204, no. 6-7 [cited 2013-04-06], p. 1046–1050. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2009.05.013. ISSN 0257-8972.
- [6] *Precision Engine* [online]. [cit. 2012-12-22]. Dostupné z: <<http://www.precisionenginetech.com/products/2010/01/28/new-sunnen-honing-stones/>>
- [7] *Direct Industry* [online]. [cit. 2012-12-22]. Dostupné z: <<http://www.directindustry.com/prod/kadia-production/honing-tools-27734-428577.html>>
- [8] *Rottler* [online]. [cit. 2012-12-22]. Dostupné z: <<http://www.rottlermfg.com/diamond-honing-machine.php?model=HP6A>>
- [9] MARINOV, V. *Manufacturing Technology: Finishing Processes*. [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <http://me.emu.edu.tr/me364/ME364_abrasive_finishing.pdf>
- [10] *Tanabe Crystal Blank Manufacture* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <http://www.tanabefa.com/eng/high_frequency_fundamental_crystal_blank.html>
- [11] *Gontermann-Peipers GmbH* [online]. [cit. 2011-20-03]. Dostupné z: <<http://www.gontermann-peipers.de/en/products/castproducts/lapping-tools/>>.
- [12] *PR HOFFMAN Machine Products, Inc.* [online]. [cit. 2011-20-03]. Dostupné z: <<http://www.prhoffman.com/>>

- [13] TSCHÄTSCH, H. *Applied machining technology*. Dordrecht: Springer, 2009, XVII, 398 s. ISBN 978-3-642-01007-1.
- [14] *Darmann Abrasive Products Inc.* [online]. [cit. 2011.21.03]. Dostupné z: <http://www.darmann.com/assets/The_Art_of_Superfinishing.pdf>
- [15] *Ficars* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <<http://www.ficars.cz/s374-katalog/508-cosworth/>>
- [16] FRIEDRICH, U. *Nová generace superfinišovacích zařízení* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-superfinisovacich-zarizeni.html>>
- [17] *Náradí tip* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <<http://www.naradi-tip.cz/skds-B147/>>
- [18] KOSMAČ, A. *Elektrolytické leštění korozivzdorných ocelí* [online]. [cit. 2012-12-23]. ISBN 978-2-87997-319-7.
- [19] *Braunoviny* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <<http://braunoviny.bbraun.cz/clanky/enduro-endoproteza-kolenniho-kloubu/>>
- [20] *General Introduction to Shot Blasting* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <<http://www.cym-shotblasting.com/reports/shot-blasting-introduction.pdf>>
- [21] *Mec Shot* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <http://www.mecshot.net/files/downloads/products/Shot_Peening_Aviation_Solution.pdf>
- [22] *Strojírna Vodrlind* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <<http://strojvo.eu/povrchova-uprava.html>>
- [23] *Povrchové úpravy* [online]. [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: <http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/09_predupravy.pdf>
- [24] *Beli Base Company* [online]. [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: <http://www.belibase.cz/index.php?11=fotogalerie>
- [25] *Alba precision, spol s.r.o.* [online]. [cit. 2011 -10 - 05]. Dostupné z: <<http://www.albaprecision.cz/baublies.php>>.

- [26] VAJSKEBR, J., ŠPETA, Z. *Dokončování a zpevňování povrchu strojních součástí válečkováním*. Praha: SNTL 1984.
- [27] YAMASA [online]. [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: http://www.yamasa.com.tr/eng/roll_burn.htm
- [28] PÍŠKA, M. et al. *Speciální technologie obrábění*. 1. Brno : CERM, 2009.246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [29] Ege Takim [online]. [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: <http://www.egetakim.com.tr/>
- [30] Baublies AG [cit. 2012-04-05] z: <http://www.baublies.com/en/index.html>.
- [31] BENEŠOVÁ, D. *Řízené kuličkování* [online]. [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rizene-kulickovani.html>
- [32] Challenge [online]. [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: <http://www.challengept.cz/sortiment/ozubena-kola-soukoli-hrebeny/>
- [33] Kilen [online]. [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: <http://www.kilensprings.com/federn-produktion/fertigung.asp>
- [34] Tmf [online]. [cit. 2012-12-24]. Dostupné z: <http://www.tmfshotpeening.com/validated-shot-peening>
- [35] JURENA, P. *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem: Diplomová práce*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 13. 5. 2011.
- [36] DOVICA, M. *Metrológi a v strojárstve*. Vyd. 1. Košice: Emilena, 2006, 350 s. ISBN 8080734070.
- [37] NOVÁK, Z. *Zvýšení kvality hodnocení textury povrchu*. [online]. [cit. 2012-12-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvyseni-kvality-hodnoceni-textury-povrchu.html>
- [38] GADELMAWLA, E. S., KOURA, M. M., MAKSOU, T. M. A., ELEWA, I. M., SOLIMAN, H. H. Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2002, vol. 123, no. 1 [cited 2013-04-06], p. 133–145. DOI: 10.1016/S0924-0136(02)00060-2. ISSN 0924-0136.

- [39] SCHINDLER, J. *Ze života bakterií*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2008, 143 s., [16] s. obr. příl. ISBN 978-80-200-1666-9.
- [40] JAVŮREK, J. *Povrchové vlastnosti mikroorganismů a jejich vliv na adhezi k povrchům: Bakalářská práce*. Masarykova Univerzita v Brně, přírodovědecká fakulta, 13. 5. 2010.
- [41] *Biology II Notes* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.terrebonneonline.com/b2eukpro.htm>
- [42] *Pathogen Profile Dictionary* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.ppdictionary.com/gnbac.htm>
- [43] *Stavba bakteriální buňky* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.sszdra-karvina.cz/bunka/bi/02pro/prot2.htm>
- [44] *Comparing Cell Division in Animals, Plants, and Bacteria* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/division-bacterial-cell-daughter-cells-accomplished-protein-called-fts-fts-similar-tubul-q1613324>
- [45] JANČÁROVÁ, E. *Vliv povrchové energie zubních materiálů na depozici mikrobiálního plaku: Bakalářská práce*. Masarykova Univerzita, přírodovědecká fakulta, 2006
- [46] JAVŮREK, J. *Vliv povrchové hydrofobicity klinicky významných mikroorganismů na adhezi k umělým povrchům: Diplomová práce*. Masarykova Univerzita, přírodovědecká fakulta, 2012
- [47] *Bacterial Biofilms* [online]. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://prometheus.matse.illinois.edu/glossary/biofilms/>
- [48] CRAWFORD, R. J., TRUONG, V. K., HASAN, J., IVANOVA, E. P. Surface topographical factors influencing bacterial attachment. *Advances in Colloid and Interface Science* [online]. 2012, vol. 179-182 [cited 2013-04-06], p. 142–149. DOI: 10.1016/j.cis.2012.06.015. ISSN 0001-8686.

- [49] ASADINEZHAD, Ahmad, Igor NOVÁK, Marián LEHOCKÝ, František BÍLEK, Alenka VESEL, Ita JUNKAR, Petr SÁHA a Anton POPELKA. Polysaccharides Coatings on Medical-Grade PVC: A Probe into Surface Characteristics and the Extent of Bacterial Adhesion. *Molecules* [online]. 2010, vol. 15, iss. 2, s. 1007-1027. [cit. 2013-05-05]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1420-3049/15/2/1007/>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|---------|--|
| IT | Třída přesnosti |
| HRC | Tvrдость podle Rockwella |
| ISO | International Organization for Standardization" |
| DIN | Deutsche Industrie-Norm |
| DNA | Deoxyribonucleic acid- nosič genetické informace |
| EPS | Polysacharidová vrstva |
| LTA | Lipoteichoová kyselina |
| AFM | Atomic Force Microscopy |
| CFU | Počet životaschopných bakterií na jednotku |
| GTK | Plate Count Agar |
| PP | Polypropylene |
| SM | Odhad směrodatné odchylky |
| E. Coli | Escherichia coli |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1. Model záběru brousícího zrna [2].</i> | 13 |
| <i>Obr. 2. Vlevo ukázka vylamování zrn a vpravo ukázka nepravidelného úběru třísky [2].</i> | 14 |
| <i>Obr. 3. Princip honování a ukázka charakteristické plochy po honování [5].</i> | 16 |
| <i>Obr. 4. Vlevo honovací kameny, uprostřed honovací nástroj s 15-ti kameny, vpravo jednovřetenový honovací stroj [6-8].</i> | 18 |
| <i>Obr. 5. Schéma ručního (jedno kotoučového) lapování a princip úběru materiálu [9].</i> | 19 |
| <i>Obr. 6. Schéma strojního (dvoukotoučového) lapování [10].</i> | 20 |
| <i>Obr. 7. Vlevo nahoře lapovací kotouč, vlevo dolů lapovací deska pro ruční lapování a vpravo svislý lapovací stroj Servo RS 5400 [11,12].</i> | 21 |
| <i>Obr. 8. Schéma superfinišování [9,2].</i> | 22 |
| <i>Obr. 9. Vlevo typy superfinišovacích kamenů, vpravo nahoře ukázka využití a vpravo dole ukázka superfinišovacího prostředí. [14-16]</i> | 23 |
| <i>Obr. 10. Princip leštění kotoučem a ukázka nástrojů [9,17].</i> | 24 |
| <i>Obr. 11. Schéma elektrolytického leštění [18].</i> | 24 |
| <i>Obr. 12. Pohled na povrch před a po elektrolytickém leštění a příklad použití [18,19].</i> | 25 |
| <i>Obr. 13. Princip tryskání [21].</i> | 26 |
| <i>Obr. 14. Blok motoru před a po tryskání [22].</i> | 27 |
| <i>Obr. 15. Pohled na omílací proces a díly před a po omílání [22,24].</i> | 29 |
| <i>Obr. 16. Ukázka vnějšího hlazení [25].</i> | 30 |
| <i>Obr. 17. Schéma průběhu napětí, geometrických</i> | 31 |
| <i>Obr. 18. Statické vnější a nástroj pro dynamické vnitřní válečkování [29,30].</i> | 31 |
| <i>Obr. 19. Schéma kalibrovacích nástrojů (kulička, trn) [4].</i> | 32 |
| <i>Obr. 20. Princip metody a ukázka komprese dokončeného materiálu [31].</i> | 33 |
| <i>Obr. 21. Příklady dílců, kde je možné využití technologie [32-34].</i> | 34 |
| <i>Obr. 22. Skutečný profil povrchu [35].</i> | 35 |
| <i>Obr. 23. Jemná nerovnost (drsnost povrchu) [35].</i> | 35 |
| <i>Obr. 24. Vlnitost povrchu [35].</i> | 36 |
| <i>Obr. 25. Obecný tvar povrchu [35].</i> | 36 |
| <i>Obr. 26. Vlnitost povrchu [35].</i> | 36 |

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 27. Drsnost povrchu [35].</i> | 37 |
| <i>Obr. 28. R_a - průměrná aritmetická odchylka [38].</i> | 40 |
| <i>Obr. 29. R_z (ISO) a R_z (DIN) [38].</i> | 41 |
| <i>Obr. 30. R_p, R_v, R_{pm}, R_{vm}, R_{max} [38].</i> | 42 |
| <i>Obr. 31. RHSC - počet přesahujících nerovností [38].</i> | 43 |
| <i>Obr. 32. RP_c - počet výstupků [38].</i> | 44 |
| <i>Obr. 33. RS_m - průměrná vzdálenost výstupků na střední čáře [38].</i> | 45 |
| <i>Obr. 34. R_S - průměrná vzdálenost sousedních vrcholů [38].</i> | 46 |
| <i>Obr. 35. R_{da} - průměrný aritmetický sklon [38].</i> | 47 |
| <i>Obr. 36. R_γ - profil tratě [38].</i> | 48 |
| <i>Obr. 37. R_{sk} - šikmost profilu [38].</i> | 49 |
| <i>Obr. 38. R_{ku} - špičatost [38].</i> | 50 |
| <i>Obr. 39. Základní tvary bakteriálních buněk [42].</i> | 51 |
| <i>Obr. 40. Struktura bakteriální buňky [43].</i> | 53 |
| <i>Obr. 41. Schéma dělení buňky bakterií [44].</i> | 54 |
| <i>Obr. 42. Tvorba biofilmu [47].</i> | 56 |
| <i>Obr. 43. Ukázka smáčení a kontaktního úhlu [40].</i> | 58 |
| <i>Obr. 44. Ukázka rozměrů vzorku.</i> | 60 |
| <i>Obr. 45. Ukázka výstřiku a univerzitního vstřikovacího stroje.</i> | 61 |
| <i>Obr. 46. Ukázka metalografických brusek a ukázka přípravku pro broušení.</i> | 63 |
| <i>Obr. 47. Dotykový drsnoměr SJ 301, detail tvaru brousících drah na vzorku</i> | 63 |
| <i>Obr. 48. Kádinka s etanolem a ukázka připravených vzorků k inkubaci.</i> | 64 |
| <i>Obr. 49. Vlevo nabírání bakterií pomocí kličky dále laboratorní vibrační třepačka</i> | 65 |
| <i>Obr. 50. Vlevo předběžná kontrola koncentrace roztoku a vpravo kontrola</i> | 66 |
| <i>Obr. 51. Vlevo ukázka vzorků v roztoku a vpravo vzorky na třepačce.</i> | 66 |
| <i>Obr. 52. Vlevo oplachování nepřichycených bakterií a vpravo</i> | 67 |
| <i>Obr. 53. Vlevo ředění odstraněné bakteriální vrstvy s vodou a vpravo</i> | 68 |
| <i>Obr. 54. Vlevo ukázka počítání kolonií za pomoci počítače kolonií</i> | 69 |
| <i>Obr. 55. Ukázka modelu vzorku.</i> | 70 |
| <i>Obr. 56. Vlevo měřicí přístroj AFM Nanosurf easyScan a vpravo</i> | 72 |
| <i>Obr. 57. Povrch vzorku A.</i> | 73 |
| <i>Obr. 58. Povrch vzorku B.</i> | 73 |
| <i>Obr. 59. Povrch vzorku C</i> | 74 |

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 60. Povrch vzorku D.</i> | 74 |
| <i>Obr. 61. Povrch vzorku E.</i> | 75 |
| <i>Obr. 62. Povrch vzorku F.</i> | 75 |
| <i>Obr. 63. Povrch vzorku H.</i> | 76 |
| <i>Obr. 64. Povrch vzorku CH.</i> | 77 |
| <i>Obr. 65. Povrch vzorku I.</i> | 77 |
| <i>Obr. 66. Průměrná aritmetická úchylka profilu od střední čáry</i> | 78 |
| <i>Obr. 67. Průměrná kvadratická úchylka profilu v rozsahu základní délky.</i> | 78 |
| <i>Obr. 68. Špičatost.</i> | 79 |
| <i>Obr. 69. Materiálový podíl.</i> | 79 |
| <i>Obr. 70. Rozdílné profily avšak stejná hodnota Ra [37].</i> | 80 |
| <i>Obr. 71. Průměrná vzdálenost výstupků na střední čáře v rozsahu základní délky.</i> | 81 |
| <i>Obr. 72. Průměrná vzdálenost sousedních vrcholů profilu</i> | 81 |
| <i>Obr. 73. Počet výstupků.</i> | 82 |

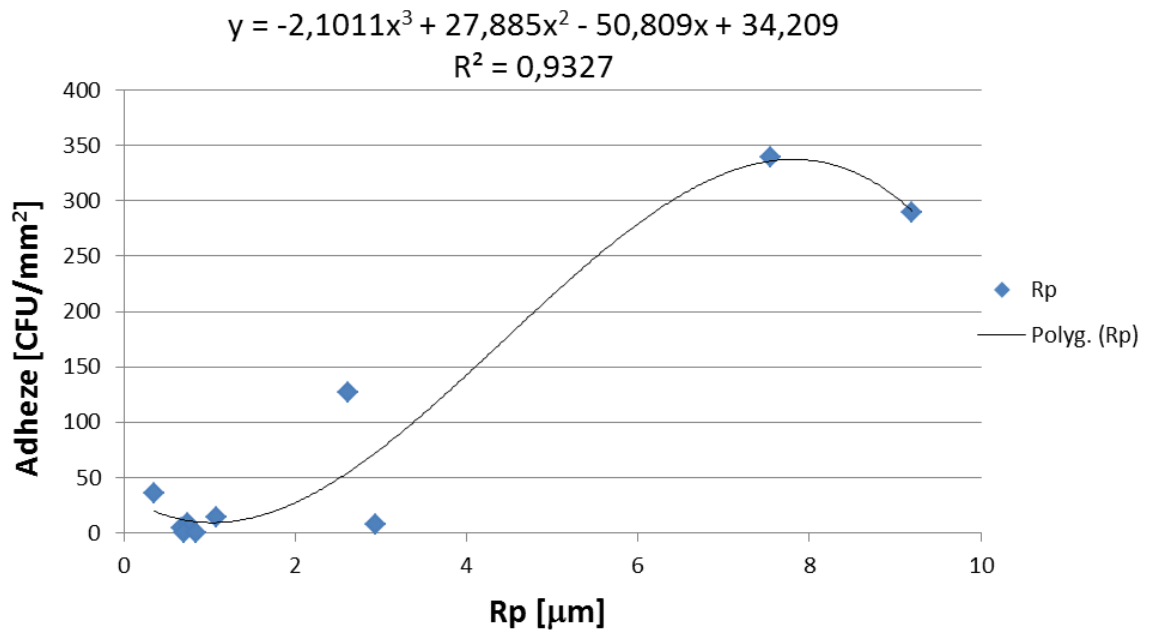
SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| <i>Tab. 1. Hodnoty Ra vybraných technologií.</i> | 12 |
| <i>Tab. 2. Vlastnosti použitého polypropylenu.</i> | 62 |
| <i>Tab. 3. Použitá živná půda.</i> | 66 |
| <i>Tab. 4. Parametry drsnosti vzorku A.</i> | 73 |
| <i>Tab. 5. Parametry drsnosti vzorku B.</i> | 73 |
| <i>Tab. 6. Parametry drsnosti vzorku C.</i> | 74 |
| <i>Tab. 7. Parametry drsnosti vzorku D.</i> | 74 |
| <i>Tab. 8. Parametry drsnosti vzorku E.</i> | 75 |
| <i>Tab. 9. Parametry drsnosti vzorku F.</i> | 75 |
| <i>Tab. 10. Parametry drsnosti vzorku G.</i> | 76 |
| <i>Tab. 11. Parametry drsnosti vzorku H.</i> | 76 |
| <i>Tab. 12. Parametry drsnosti vzorku CH.</i> | 77 |
| <i>Tab. 13. Parametry drsnosti vzorku I.</i> | 77 |

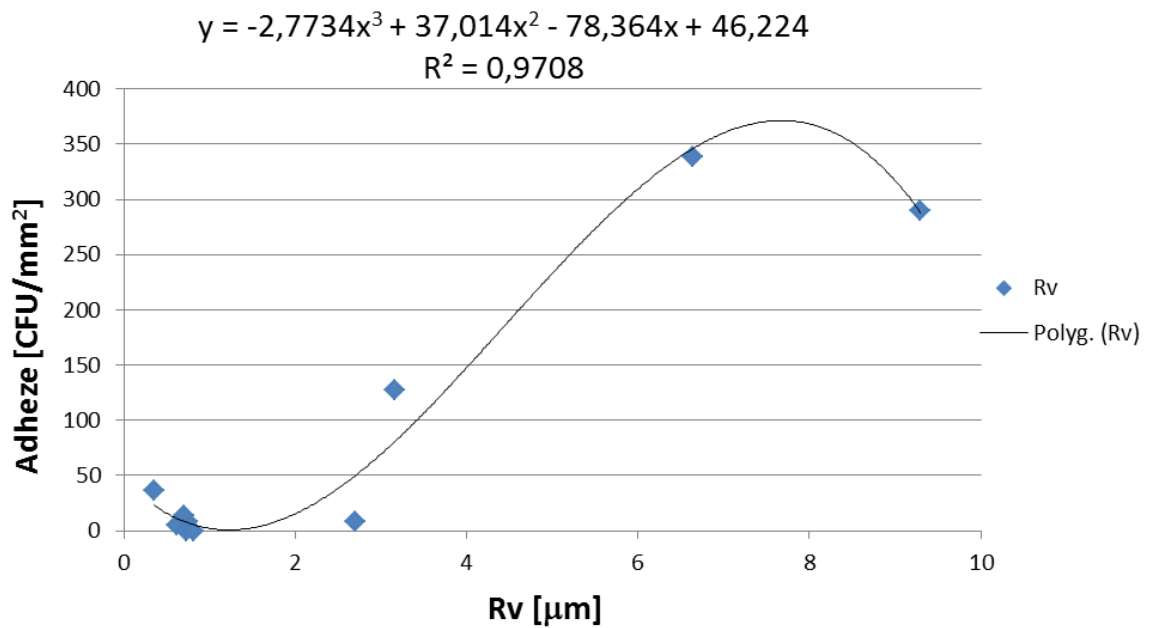
SEZNAM PŘÍLOH

- P I Závislost adheze na parametru drsnosti R_p
- P II Závislost adheze na parametru drsnosti R_v
- P III Závislost adheze na parametru drsnosti R_z
- P IV Závislost adheze na parametru drsnosti R_c
- P V Závislost adheze na parametru drsnosti R_t
- P VI Závislost adheze na parametru drsnosti R_a
- P VII Závislost adheze na parametru drsnosti R_q
- P VIII Závislost adheze na parametru drsnosti R_{sk}
- P IX Závislost adheze na parametru drsnosti R_{ku}
- P X Závislost adheze na parametru drsnosti R_{mr}
- P XI Závislost adheze na parametru drsnosti R_{dc}
- P XII Závislost adheze na zrnitosti brousících papírů

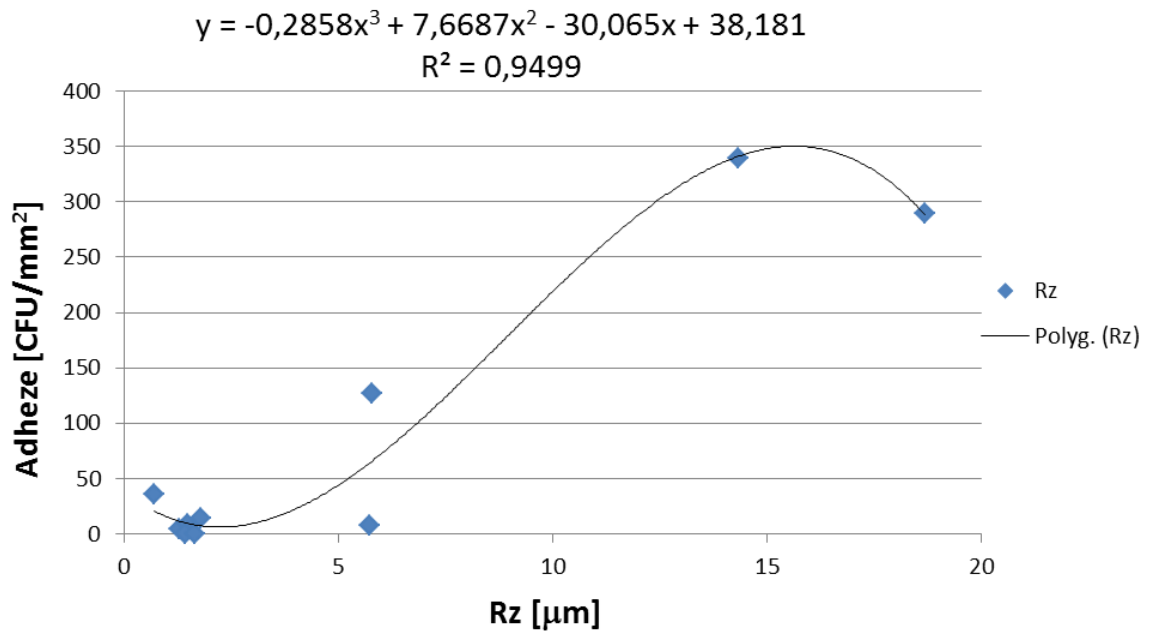
Příloha P I: Závislost adheze na parametru drsnosti Rp



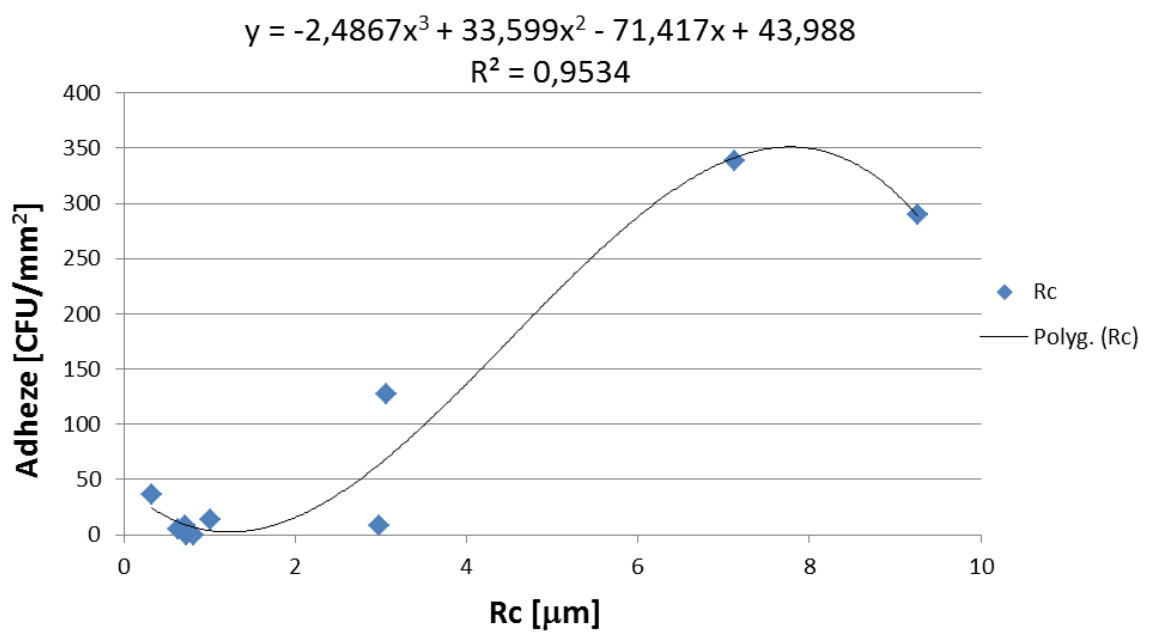
Příloha P II: Závislost adheze na parametru drsnosti Rv



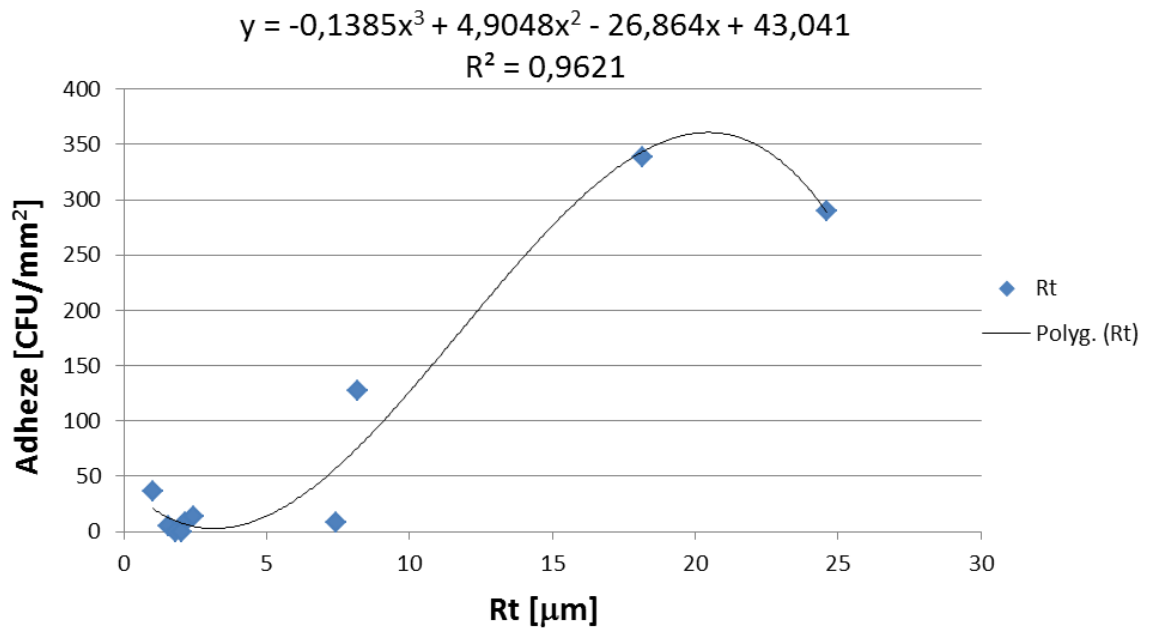
Příloha P III: Závislost adheze na parametru drsnosti Rz



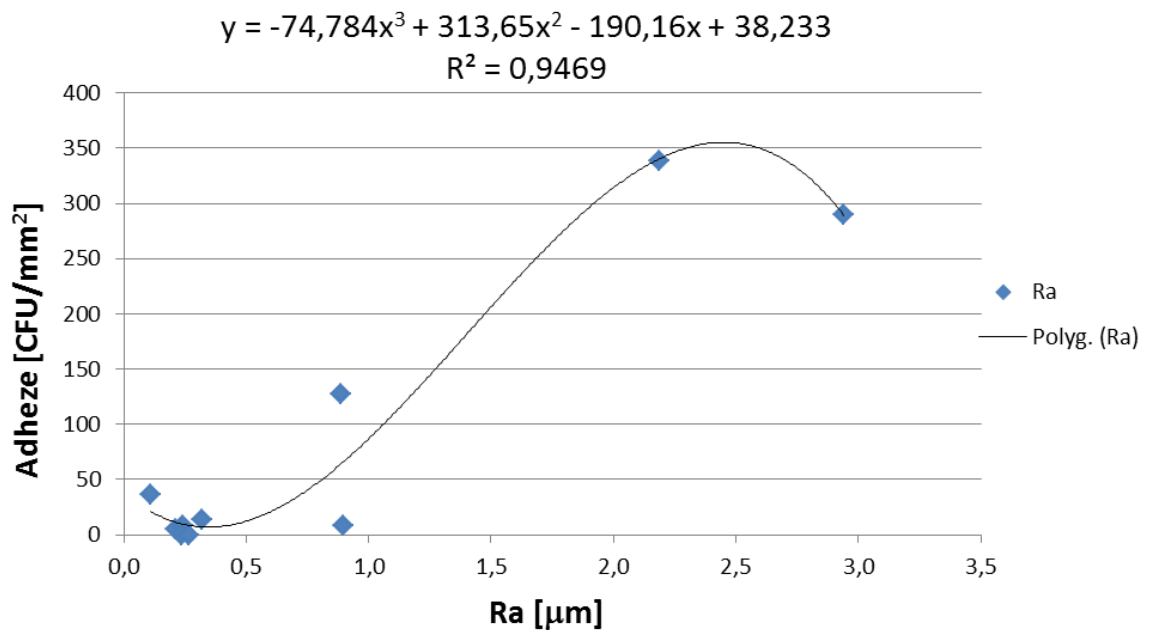
Příloha P IV: Závislost adheze na parametru drsnosti Rc



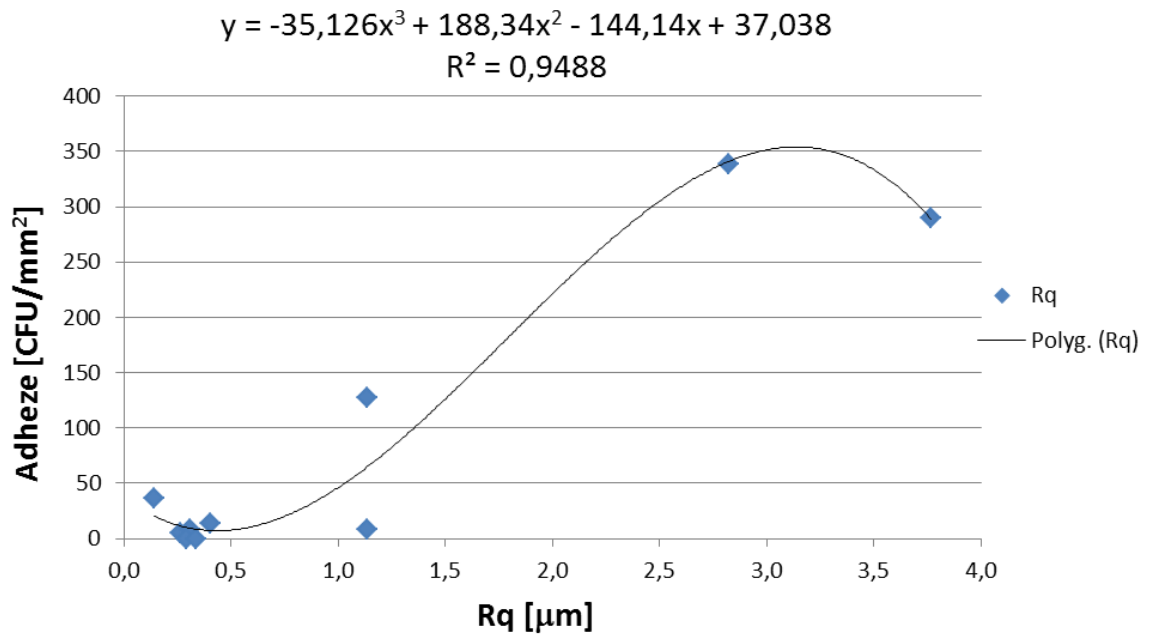
Příloha P V: Závislost adheze na parametru drsnosti Rt



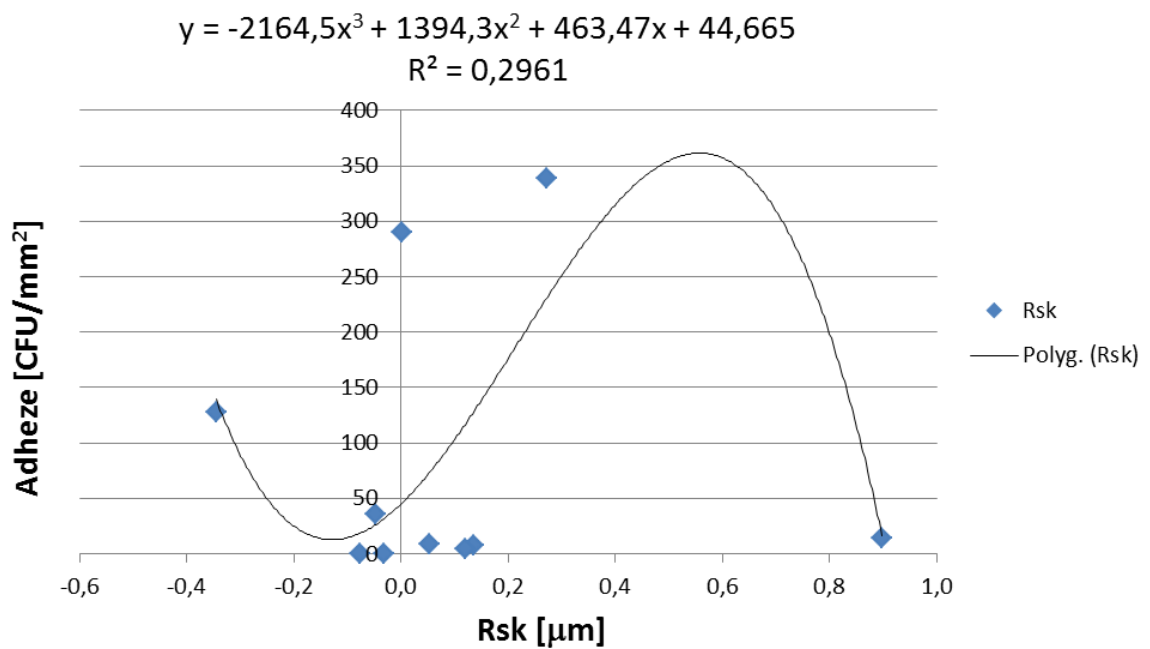
Příloha P VI: Závislost adheze na parametru drsnosti Ra



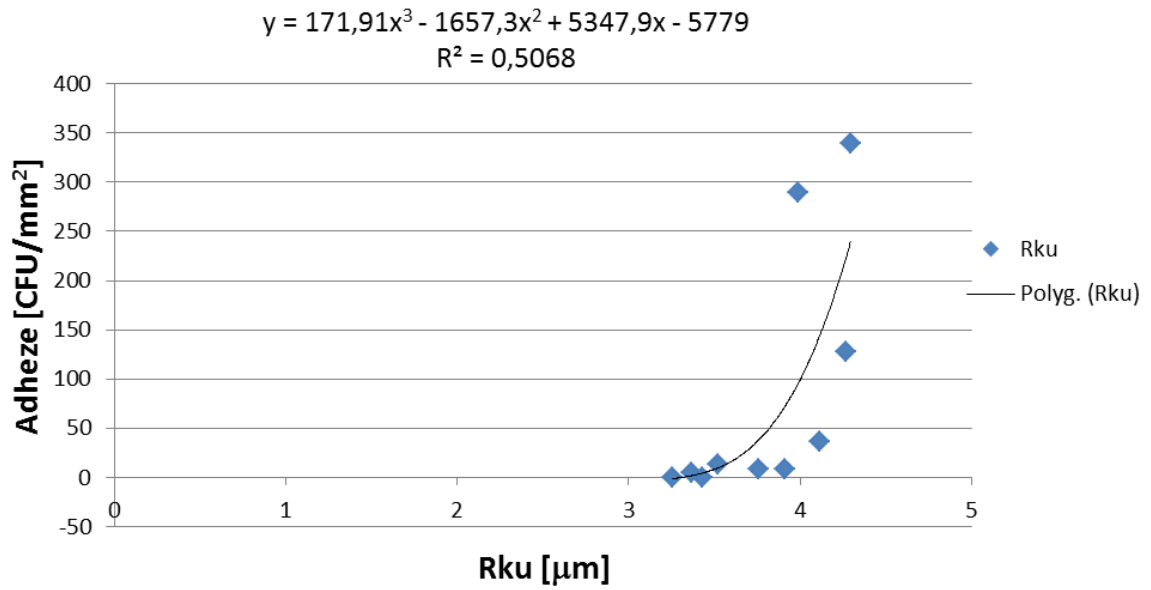
Příloha P VII: Závislost adheze na parametru drsnosti Rq



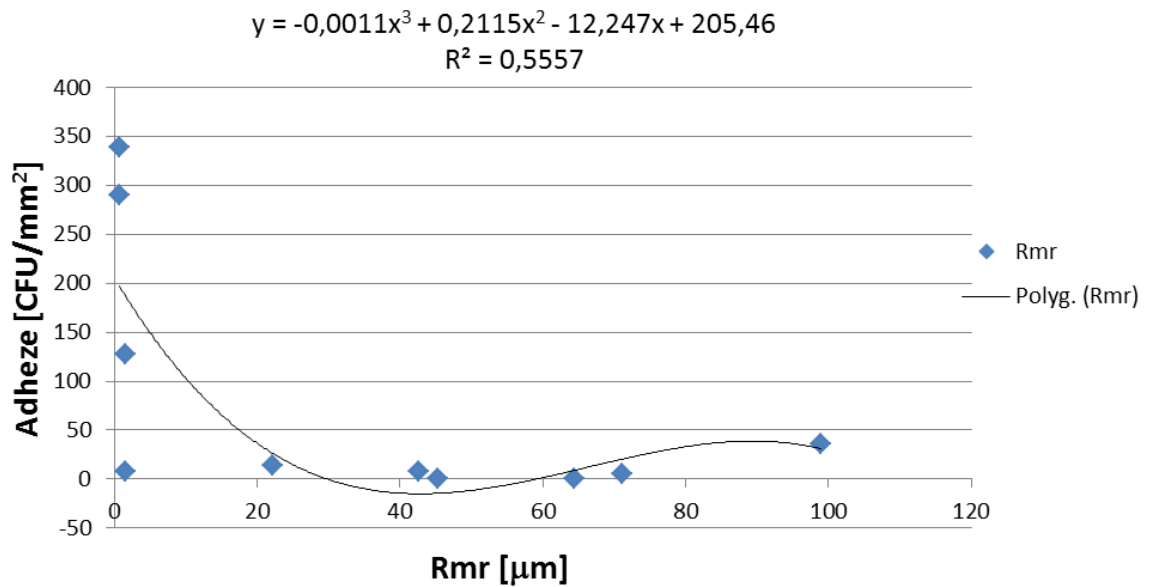
Příloha P VIII: Závislost adheze na parametru drsnosti Rsk



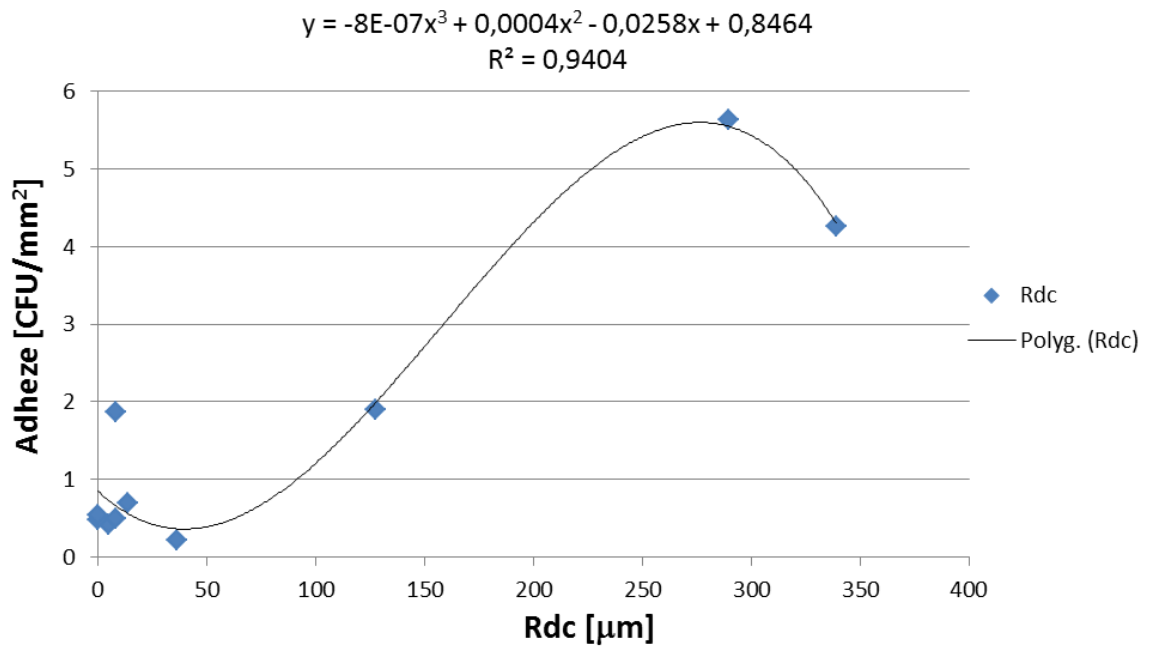
Příloha P IX: Závislost adheze na parametru drsnosti Rku



Příloha P X: Závislost adheze na parametru drsnosti Rmr



Příloha P XI: Závislost adheze na parametru drsnosti Rdc



Příloha P XII: Závislost adheze na zrnitosti brousících papírů

