



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**VYUŽITÍ HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU PŘI VÝROBĚ
REVOLVERU**

UTILIZATION OF SURFACE TEXTURE EVALUATION IN REVOLVER PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Robert Kolena

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Robert Kolena
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití hodnocení textury povrchu při výrobě revolveru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V praxi výrobce chybí vhodný nástroj pro odhalení nedokonalosti důležité výrobní operace. Úkolem je změřit a analyzovat texturu zvolených součástí po sobě následujících operacích (např. frézování a broušení), přičemž druhá operace je vnímána jako definitivní a tato musí vést ke zlepšení parametrů textury. Naměřené údaje se využijí pro výběr vhodných parametrů specifikace textury, které umožní zachytit nedokonalost první i druhé operace.

Cíle diplomové práce:

Popis současného stavu vědy a techniky v oblasti hodnocení textury.

Systémový rozbor problému hodnocení textury součástí revolveru při výrobě.

Návrh součástí revolveru a zdůvodnění postupu zavedení systému hodnocení textury při výrobě.

Aplikace vybraných postupů hodnocení textury na zvolené součásti po technologické operaci.

Technické posouzení naměřených výsledků ve výrobě.

Vlastní závěry a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

WHITEHOUSE, David J. Handbook of surface and nanometrology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4200-8201-2.

LEACH, Richard. Characterisation of areal surface texture. Heidelberg: Springer, 2013. ISBN 978--642-36458-7.

MURALIKRISHNAN, Bala and Jay RAJA. Computational surface and roundness metrology. New York: Springer, 2009. ISBN 978-1-84800-296-8.

ŽUK, Aleksandr Borisovič. Revolvery a pistole. 2. dopl. vyd. Praha: Naše vojsko, 1993. ISBN 80-20-0364-6.

MOURET, Jean-Noel. Revolvery a pistole: Svět krátkých palných zbraní. Praha: Rebo, 1994. ISBN 80-85815-33-8.

JANKOVÝCH, Róbert. Hlavňové zbraně a střelivo. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce řeší problematiku využití hodnocení textury povrchu při výrobě revolveru s aplikací na kohout. Zabývá se odhalováním nedokonalostí jednotlivých výrobních operací, návrhem nápravného opatření a jeho realizací. Jako nápravné opatření bylo zvoleno použití nového brusného kotouče. Ke specifikaci textury povrchu po frézování byl použit parametr Rzmax, po broušení byla použita kombinace parametrů Rzmax a Rpmax.

ABSTRACT

This diploma thesis addresses the issue of using the evaluation of surface texture in the manufacture of revolver with application to a cock. It deals with the detection of imperfections of production operations, the proposal of corrective measures and its implementation. The use of new grinding wheel was chosen as a corrective measure. The Rzmax parameter was used to specify the surface texture after milling and a combination of the Rzmax and Rpmax parameters was used to specify surface texture after grinding.

KLÍČOVÁ SLOVA

Výroba součástí revolveru, textura povrchu, kohout revolveru, specifikace textury povrchu

KEYWORDS

Production of revolver components, surface texture, revolver cock, surface texture specifications

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLENA, Robert. *Využití hodnocení textury povrchu při výrobě revolveru*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2020, 96 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Róbert Jankových, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Róbert Jankových, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.6.2020

.....

Bc. Robert Kolena

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	MOTIVACE	15
3	SOUČASNÝ STAV HODNOCENÍ TEXTURY	17
3.1	Přehled metod měření textury	21
3.2	Hodnocení textury povrchu profilovou metodou	22
3.2.1	Přehled vybraných profilových parametrů	24
3.2.2	Postup vyhodnocení profilových parametrů	31
3.3	Hodnocení textury povrchu plošnou metodou	34
3.3.1	Přehled vybraných plošných parametrů	36
3.3.2	Postup vyhodnocení plošných parametrů	43
3.4	Měřicí přístroje pro hodnocení textury povrchu	44
3.4.1	Postup měření	45
4	VÝROBA REVOLVERU	47
4.1	Hodnocení textury povrchu při výrobě revolveru	48
4.1.1	Výroba odlitků	50
4.1.2	Frézování	50
4.1.3	Broušení	51
5	HODNOCENÍ TEXTURY A ANALÝZA VÝSLEDKŮ	55
5.1	Parametr Ra	56
5.2	Parametry Rz, Rp, Rv	59
5.3	Parametr Rt	65
5.4	Parametr Rsk	68
5.5	Parametr Sa	71
5.6	Parametry Sz, Sp, Sv	74
5.7	Volba kritéria pro specifikaci textury povrchu	80
6	DOPORUČENÍ PRO PRAXI	83
7	ZÁVĚRY	85
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	89
9	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	91
9.1	Seznam tabulek	92
9.2	Seznam obrázků	92

1 ÚVOD

Palné zbraně využívají k pohonu střely chemicko-tepelnou přeměnu střeliviny (zvláštní pohonné hmoty), jejímž výsledkem je prudký vývin plynů. První exempláře se objevily již počátkem 14. století a první „malé pušky“, dovolující střelbu jednou rukou, byly vyrobeny v polovině 16. století, historie revolverů je poměrně nedávná. První velmi úspěšný revolver vznikl až v roce 1836, a byl vyroben Samuelem Coltem. Jeho jméno „Paterson“ bylo vybráno podle názvu města, kde vznikl. Colt nebyl skutečným konstruktérem této zbraně, byl pouze podnikavým průmyslníkem. Skutečný tvůrce revolveru byl John Pearson. [1]

Revolvery jsou krátké zbraně s pevnou hlavní. Disponují otáčivým válcem s nábojovými komorami, které se mezi jednotlivými výstřely natačejí do osy hlavně. Nejčastěji má revolver pět až šest nábojových komor. V každé z nich se nachází jeden náboj. [2]

V současnosti se výrobou revolverů zabývá mnoho firem. Mezi nejznámější značky a výrobce patří např. Smith & Wesson, Ruger, Astra a Magnum Research. Na obr. 1 je model Magnum Research BFR v ráži .30. [2]



Obr. 1 Magnum Research BFR, .30/30 Winchester Revolver 7.5“ [21]

K zajištění funkčnosti a bezproblémového užívání revolveru je nutná co nejpreciznější výroba jeho jednotlivých funkčních součástí. Jedním z posuzovaných kritérií je textura povrchu, a to zejména u těch částí, kde dochází k vzájemnému pohybu ploch vůči sobě. V případě nedodržení předepsaných parametrů při výrobě (nebo jejich špatného stanovení konstruktérem) může snadno docházet k jeho zasekávání, vzniku otřepů při tření ploch, či jiným vadám. Toto je nežádoucí jak pro koncového zákazníka a uživatele zbraně, tak pro firmu, která revolvery vyrábí, a to z důvodu potenciálních reklamací a špatných referencí.

Práce je členěna do sedmi kapitol. První kapitolou je úvod, druhá kapitola obsahuje motivaci pro vytvoření této práce.

Ve třetí kapitole je popsán současný stav vědy a techniky v oblasti hodnocení textury povrchu, který je relevantní vzhledem ke zkoumané problematice. Tato kapitola se rovněž zabývá profilovou i plošnou metodou, profilovými i plošnými parametry a měřicím přístrojem, který byl použit k experimentální části práce.

Předmětem čtvrté kapitoly je rozbor současného stavu výroby a současného způsobu hodnocení textury ve spolupracující firmě. Kapitola dále obsahuje rozbor jednotlivých výrobních operací při výrobě kohoutů a návrh vhodných parametrů specifikace textury.

Pátá kapitola popisuje experimentální část práce. V této kapitole je provedeno hodnocení textury po jednotlivých výrobních operacích a následné technické posouzení výsledků. Kapitola rovněž obsahuje návrhy vhodných parametrů pro specifikaci textury povrchu kohoutů.

Šestá kapitola se zabývá konkrétními doporučeními pro praxi, následuje sedmá kapitola se závěry této diplomové práce.

2 MOTIVACE

Hodnocení textury a jeho využití při výrobě součástí revolveru je hlavní náplní této práce ve spolupráci s českou firmou vyrábějící revolvery (dále jen firmou). V praxi firmy se objevovala nedokonalost důležité výrobní operace. Úkolem bylo změřit a analyzovat texturu po sobě následujících výrobních operacích, přičemž druhá je vnímána jako definitivní a musí vést ke zlepšení parametrů textury.

Po dohodě s firmou a vedoucím diplomové práce byly stanoveny následující cíle, kterých má být v diplomové práci dosaženo.

Prvním cílem práce je popis současného stavu vědy a techniky v oblasti hodnocení textury povrchu. Tento cíl byl řešen ve třetí kapitole, kde byla problematika podrobně rozebrána, a kde jsou uvedeny relevantní informace k řešenému problému.

Druhým cílem je provést systémový rozbor problému hodnocení textury součástí revolveru při výrobě. Tento cíl byl řešen ve čtvrté kapitole, kde byly analyzovány současné specifikace pro hodnocení textury povrchu a vhodnost jejich využití.

Třetím cílem práce je návrh součástí revolveru a zdůvodnění postupu zavedení systému hodnocení textury při výrobě. Tento cíl byl řešen ve čtvrté kapitole. Součástí byl po dohodě se spolupracující firmou a vedoucím diplomové práce zvolen kohout konkrétního typu a provedení revolveru. Rovněž byl v rámci plnění tohoto cíle řešen návrh alternativy specifikace textury povrchu a analýza jednotlivých výrobních operací.

Čtvrtým cílem je aplikace vybraných postupů hodnocení textury na zvolenou součást po technologické operaci. Tento cíl byl řešen v páté kapitole, v rámci které byl měřen povrch kohoutu po jednotlivých operacích.

Pátým cílem práce je technické posouzení naměřených výsledků. Tento cíl byl řešen v páté kapitole, kde byla vyhodnocena a posouzena naměřená data po jednotlivých technologických operacích.

Šestým cílem práce je formulace doporučení pro praxi. Tento cíl byl řešen v šesté kapitole, kde byly identifikovány jednotlivé problémy výroby a technologického postupu včetně návrhu jejich řešení.

Dalším hlavním úkolem práce bylo navržení a aplikace nápravného opatření, které vyřeší problémovou technologickou operaci a zajistí zlepšení výsledné textury povrchu. Opatření bylo navrženo v rámci čtvrté kapitoly, následně byla v páté kapitole ověřována a vyhodnocována jeho účinnost.

3 SOUČASNÝ STAV HODNOCENÍ TEXTURY

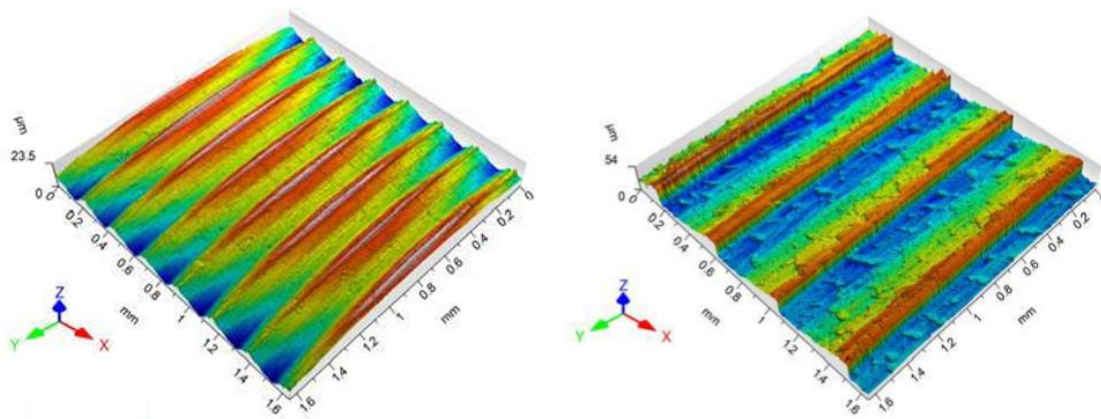
Předmětem této kapitoly a prvním cílem práce je vytvoření přehledu o současném stavu poznání vědy a techniky v oblasti hodnocení textury povrchu. V kapitole je rozebrán pojem textura povrchu a její jednotlivé složky textury. Dále se kapitola zabývá profilovou a plošnou metodou hodnocení textury. Dle pokynů vedoucího diplomové práce jsou v této kapitole objasněny vybrané profilové i plošné parametry a způsoby jejich vyhodnocování. Závěr kapitoly se věnuje popisu přístroje na měření textury povrchu, který byl využit při praktické části práce, a také způsobu měření na tomto zařízení.

V českých normách se objevují různé varianty překladu anglického výrazu „*surface texture*“, a to jako „*struktura povrchu*“ (např. ČSN EN ISO 3274 (1999), přeložená z EN ISO 3274 (1996)) a „*textura povrchu*“ (např. ČSN EN ISO 25178-701 (2011), přeložená z ISO 25178-701 (2010)). Pojem struktura lze přirozeně chápat spíše jako způsob složení, či vnitřního uspořádání, nějaké látky. Oproti tomu pojem textura - složení (např. dřeva) lze chápat ve smyslu přirozené kresby dřeva patrné zpravidla na tangenciálním řezu. [3] Dále je po dohodě s vedoucím diplomové práce využívána pouze varianta překladu „*textura povrchu*“ bez ohledu na použitou normu.

Textura povrchu je dle příslušné normy ČSN EN ISO 8785 charakterizována jako soubor opakovaných nebo náhodných odchylek od geometrického povrchu, které utváří třírozměrnou topografii povrchu. [4] Texturu povrchu lze charakterizovat několika složkami, a to stopami po předchozím obrábění, drsností, vlnitostí, nedokonalostmi povrchu (např. škrábance, rýhy), odchylkami tvaru na vyhodnocované ploše. [3]

Drsnost a vlnitost jsou dvě specifické geometrické vlastnosti textury povrchu a vzájemně jsou velmi úzce propojené. Ani jednu z nich nelze přímo měřit na povrchu zkoumané součásti nebo materiálu. K získání hodnot jejich jednotlivých parametrů je nutné získat pomocí smluveného způsobu filtrování naměřených dat. Vlnitost je tedy specifická vlastnost textury povrchu, na níž je superponovaná drsnost. Drsnost lze potom považovat za takovou vlastnost textury povrchu, která je vlastní použitému technologickému postupu. V těchto souvislostech lze říci, že drsnost i vlnitost jsou superponovány na základním tvaru zkoumaného funkčního povrchu. [3]

Stopy po obrábění jsou další charakteristickou složkou textury povrchu. Každá technologická operace má své stopy po obrábění specifické. Směr, v jakém zůstanou na předmětném povrchu stopy po obrábění lze ve shodě s normou ČSN EN ISO 1302:2002 určit ve výrobním výkresu. Modely stop po obrábění jsou znázorněny na obr. 2. [3]



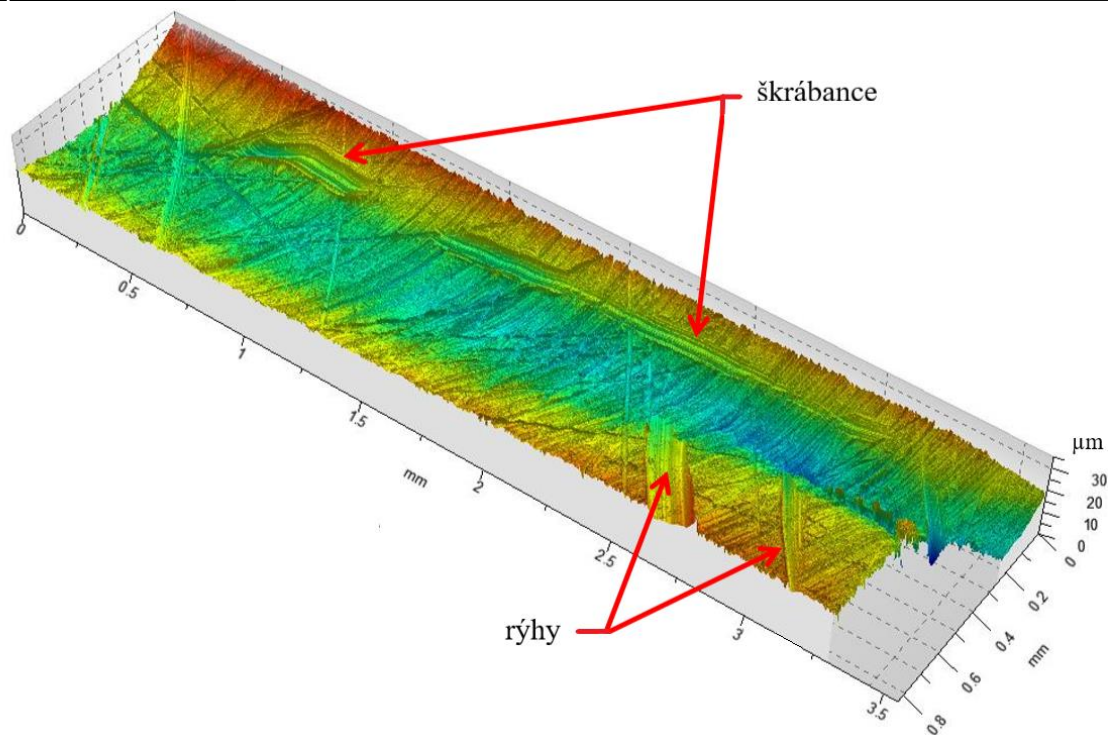
Obr. 2 Modely stop po obrábění soustruženého (vlevo) a frézovaného povrchu (vpravo) [3]

Mezi složky textury povrchu jsou řazeny také odchylky tvaru, které jsou vyhodnocovány dle normy ČSN EN ISO 1101:2014, a to jako charakteristiky kruhovitosti, válcovitosti, přímosti, rovinnosti, tvaru profilu libovolné čáry a tvary profilu libovolné plochy. [3]

Nedokonalostí povrchu, která je také složkou textury povrchu, se rozumí prvek, nepravidelnost nebo skupinu prvků a nepravidlostí skutečného povrchu, neúmyslně nebo náhodně zapříčiněné v průběhu výroby, při skladování, nebo při využívání povrchu k funkci, pro kterou byl vyroben. [4] Není na místě označovat nedokonalosti povrchu vadami (ve smyslu normy ISO 8402, dnes EN ISO 9000), protože vadami mohou být, ale také nemusí. Výskyt nedokonalostí povrchu automaticky neindikuje nefunkčnost, či nezpůsobilost povrchu k jeho použití. Míra přijatelnosti nedokonalostí povrchu je určena funkcí povrchu a způsobem jeho použití, charakterizují ji některé vhodné druhy veličin, a to např. délka, hloubka, šířka, výška nebo počet nedokonalostí na jednotku plochy (plošná hustota). [3] Mezi typy nedokonalostí povrchu se řadí např.:

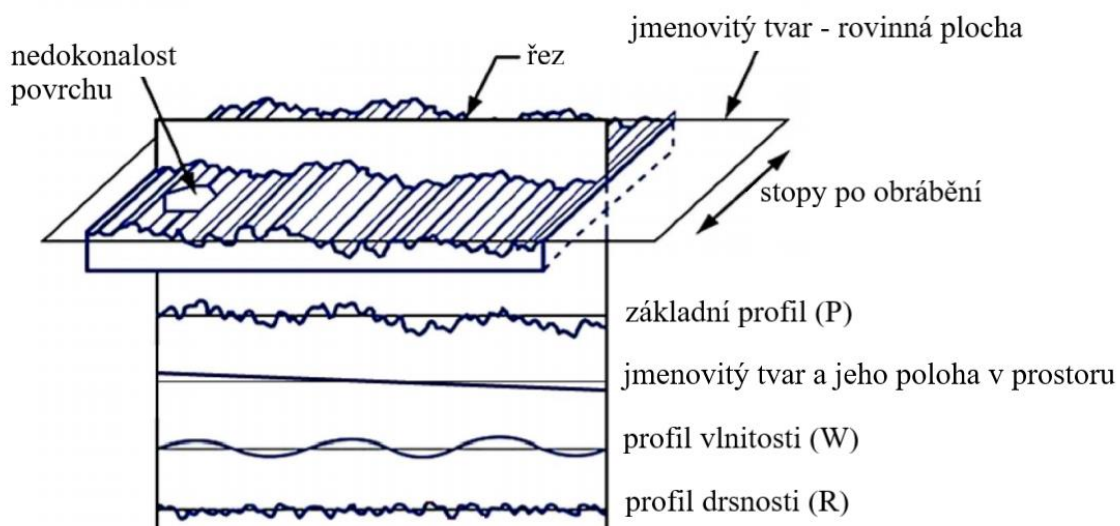
- škrábance, rýhy, prohlubeniny, trhliny, póry, dutiny, bubliny, staženiny, štěrbin, oblíny, vtisky, vybolení, šupiny, vměstky, ořepky
- kombinované nedokonalosti - krátery, vytrženiny, překrytí, přeložky, poškrábání
- plošné nedokonalosti - stopy po smýkání, skvrny, pruhy, povrchová koroze, důlková koroze, odbarvení [4]

Nedokonalosti povrchu jsou ilustrovány na modelu ručně broušeného povrchu nábojové komory na obr. 3, kde je znázorněn povrch obsahující náhodně způsobené rýhy (délkové prohlubeniny se zaobleným nebo plochým dnem) a škrábance (nepravidelné prohlubeniny neurčitého směru), které vznikly během zavádění vodícího pouzdra do válcového vedení. [3]



Obr. 3 Model ručně broušeného povrchu s rýhami a škrábanci [3]

Použitím různých metod filtrace profilových i plošných dat lze vzájemně rozlišit a oddělit výše zmíněné složky textury povrchu, a to pomocí jejich vlnových délek. Drsnosti se přisuzuje oblast s jejich nejnižšími hodnotami vlnových délek, tvarovým odchytkám naopak oblasti s vyššími hodnotami než u drsnosti a vlnitosti. [5] Rozložení jednotlivých složek je znázorněno na obr. 4.



Obr. 4 Jednotlivé složky textury povrchu [3]

Nutnost měřit texturu povrchu vznikla z mnoha důvodů, které ovlivňují jeho základní vlastnosti. Jedná se zejména o procesy ve výrobě při obrábění a zpracování materiálu. Příkladem takovýchto faktorů jsou:

- nedokonalost a různorodost mikrostruktury materiálu (odlišná mikrostruktura různých materiálů reaguje odlišně na výrobní procesy a vzniká různý povrch),
- působení řezného nástroje,
- nestabilita řezného nástroje,
- chyby vedení obráběcích strojů,
- vibrace,
- deformace v důsledku vnitřního napětí materiálu. [3]

Texturu povrchu je tudíž nutné vyhodnocovat kvůli odhalení potenciálních vad, či naopak žádoucích vlastností. Na základě toho lze optimalizovat výrobní procesy a zvýšit výslednou kvalitu povrchu. Díky vyhodnocení textury lze zaznamenat např.:

- hluboké prohlubně náchylné k šíření lomů,
- příliš velké množství výstupků způsobujících předčasné opotřebení povrchu a poškození při kontaktu s protikusem, nebo naopak příliš malé množství výstupků k udržení nátěru a lepidel,
- nadměrnou vlnitost způsobující hlučnost nebo indikující problémy s obráběním,
- dostatek vhodně velkých prohlubní, které umožní zadržování oleje, jsou-li podstatné mazací vlastnosti,
- dostatečné rozložení prohlubní kvůli tvárnosti,
- hladký profil povrchu, který umožní snížení tření, hluku a vibrací, a vysokou odrazivost. [3]

Posouzení textury povrchu bylo dříve realizováno zejména na základě hodnocení profilů, protože byla dostupná jen profilová měřicí zařízení. Ty byly postupně vystřídány modernějšími technologiemi, které umožňují např. bezkontaktní měření. Postupně se tedy přechází od měření profilů k měření ploch. Na základě tohoto technologického posunu také vznikly nové technické normy, které se zabývají hodnocením textury povrchu pomocí plošné metody. [6]

Zařízení umožňující profilové měření textury jsou zpravidla kontaktní. Oproti tomu přístroje, které poskytují možnost plošného měření textury fungují převážně bezkontaktním způsobem. Tento rozdíl ve způsobu měření textury a v získávání příslušných dat o zkoumaném povrchu může být jednou z příčin odlišných hodnot naměřených plošných a profilových parametrů. [6]

Zavádění bezkontaktního vyhodnocování textury povrchu poskytuje skvělou možnost měření plošných parametrů, jeho realizace v praxi je však stále trochu problematická. Velké množství firem v dnešní době stále ještě nemá dostatečné zkušenosti s předepisováním a kontrolou plošných parametrů. Z tohoto důvodu stále existuje potřeba provádět měření textury i pomocí profilové metody, kterou však bezkontaktní přístroje nejsou z konstrukčního hlediska schopny provést identickým způsobem jako při měření kontaktními metodami. Toto je pro

současný průmysl v oblasti metrologie textury povrchu velkou výzvou, a hledají se cesty a způsoby co nejvyšší vzájemné kompatibility plošného a profilového hodnocení. [7]

Zásadním rozdílem mezi výše zmíněnými metodami vyhodnocování textury povrchu je v použité filtraci. Profil, který je získán z S-L či S-F povrchu, není matematicky shodný s profilem, který byl měřen na sérii standartních profilů. Po použití plošných filtrů a použití stejného druhu filtru a cut-off se mohou výsledky lišit. [6]

Některé hodnoty plošných a profilových parametrů lze porovnávat, ale pouze je-li splněna podmínka jejich analogického výpočtu, a to např. R_q (profilový parametr, průměrná kvadratická odchylka) s S_q (plošný parametr, průměrná kvadratická výška). Oproti tomu např. S_{tr} (plošný parametr, poměr stran textury) nelze porovnávat s žádným profilovým parametrem. [6]

Při srovnávání parametrů, které charakterizují extrémny povrchu, dosahují vyšších hodnot zpravidla parametry plošné (S_p , S_v , S_z) oproti parametrům profilovým (R_p , R_v , R_z). Příčinou je zřejmě fakt, že poloha nejvyššího bodu profilu není na vrcholu předmětného profilu, ale nachází se na jeho úpatí. Kvůli všem výše uvedených příčin nelze hodnoty plošných a profilových parametrů textury zkoumaného povrchu přímo srovnávat, obecně však mezi nimi existuje určitá korelace. [6]

3.1 Přehled metod měření textury

Vizuálně-srovnávací metoda je nejstarší metodou měření textury povrchu. Jedná se o kombinaci hodnocení zrakem, a zároveň přejetí prstem či nehtem po zkoumaném povrchu. Poté může následovat také porovnání se sadou srovnávacích vzorků. Míra přesnosti této metody je vysoce závislá na zkušenostech člověka, který toho vyhodnocení provádí. [5]

Pneumatická metoda je dalším způsobem hodnocení textury, která byla rovněž používána v minulosti. Princip této metody spočívá v přiložení měřicí hlavy těsně ke zkoumanému povrchu a následném měření celkového množství vzduchu, které z této hlavy uniká. [5]

Elektrická metoda se také řadí mezi metody používané v minulosti. Při použití tohoto způsobu vyhodnocení textury povrchu se provádí měření elektrické kapacity soustavy referenční elektrody a zkoumaného povrchu. [5]

Skenovací mikroskopie patří k metodám přesnějším. Jedná se o bezkontaktní způsob vyhodnocení textury pomocí snímání předmětného povrchu přesným hrotem. Mezi hrotem a povrchem dochází k vzájemnému působení na kvantové úrovni. [5]

Elektronová mikroskopie se řadí mezi nejpřesnější metody hodnocení textury povrchu. Elektromagnetická čočka zde nahrazuje optickou soustavu a namísto světla je zde využit elektronový paprsek. [5]

Dotyková metoda hodnocení textury povrchu je poměrně přesná a obvykle se provádí kuželovým diamantovým hrotem, který má zakulacenou špičku a dotýká se povrchu. Ten je

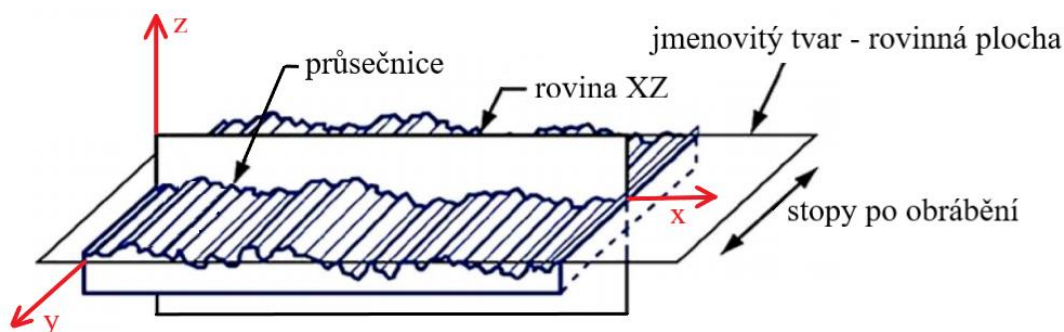
tímto způsobem snímán a data jsou poté vyhodnocena a zpracována příslušnou výpočetní technikou. Jedná se tedy o kontaktní profilovou metodu měření textury povrchu. [5]

Koherenčně korelační interferometrie je jednou ze světelně-optických metod měření textury povrchu. Jedná se o velmi přesnou bezkontaktní metodu, která využívá k získání dat o povrchu zkoumané součásti interferenci koherentního světla. [5]

3.2 Hodnocení textury povrchu profilovou metodou

Tento způsob měření textury zkoumaného povrchu je realizován pomocí matematicko-statistického zpracování dat ze základního profilu (P). Základní profil je základem pro hodnocení parametrů základního profilu a je vytvořen úpravou profilu, který je sejmut ze skutečného zkoumaného povrchu. [8]

Při tomto způsobu vyhodnocování textury povrchu se využívá pravoúhlého souřadnicového systému. Platí pro něj, že osa X představuje střední čáru snímaného profilu a míří ve směru snímání. Osa Y je rovnoběžná se zkoumaným povrchem a kolmá na osu X. Osa Z míří do prostoru z měřeného povrchu a je kolmá na osu X i na osu Y. Průsečnice roviny XZ a vyhodnocovaného povrchu tvoří profil povrchu. Vše je znázorněno na obr. 5. [8]



Obr. 5 Znáznornění souřadného systému [3]

Pro vytvoření jednotlivých profilů povrchu je nutné použít filtr profilu, který je příslušnou normou definován. Filtr profilu je takový filtr, který dělí profil na jeho krátkovlnné a dlouhovlnné složky. [8]

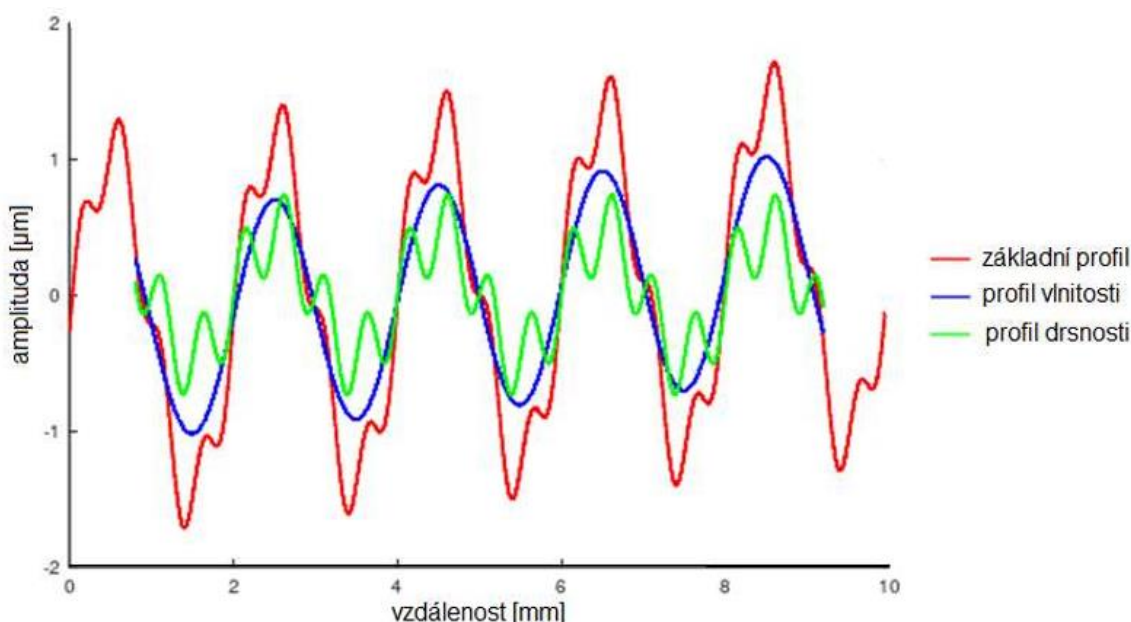
Aplikací kontaktního přístroje, který snímá reálný povrch, vzniká úplný profil. Jedná se o matematické číselné vyjádření polohy snímače (tzv. *snímaný profil*) vůči dráze, kterou je veden snímač (tzv. *referenční profil*). [9]

Po odstranění jmenovitého tvaru a aplikaci krátkovlnného filtru λ_s , dojde z úplného profilu k vytvoření základního profilu. Střední čára základního profilu je následně stanovena použitím metody nejmenších čtverců a přiléhá jmenovitému tvaru základního profilu. [8]

Využitím příslušného filtru je ze základního profilu (P) dále vyhodnocen profil drsnosti (R) a profil vlnitosti (W), což znázorňuje obr. 6. Na horizontální ose je vzdálenost v mm,

vertikální osa představuje amplitudu v μm . Profil drsnosti je odvozen od základního profilu tak, že dojde použitím filtru λ_c k potlačení dlouhovlnných složek. Tato potlačená dlouhovlnná složka reprezentuje střední čáru profilu drsnosti. [8] Profil vlnitosti je obdrženo pomocí aplikace filtrů λ_f a λ_c na základní profil. Prvně dojde k aplikaci filtru λ_f , který potlačí dlouhovlnné složky, následně je použit filtr λ_c k potlačení krátkovlnných složek. Dlouhovlnná složka, která byla potlačena filtrem λ_f , reprezentuje střední čáru profilu vlnitosti. [10]

Nejvíce používaným a rozšířeným filtrem k analyzování profilu povrchu součásti je tzv. *Gaussov filtr*. Využitím Gaussova hornopropustného filtru s cut-off λ_c lze ze základního profilu získat profil drsnosti, využitím Gaussova dolnopropustného filtru λ_{sw} dojde k vytvoření profilu vlnitosti. Lze tedy uvažovat profil vlnitosti jako rozdíl mezi základním profilem a profilem drsnosti. [11]



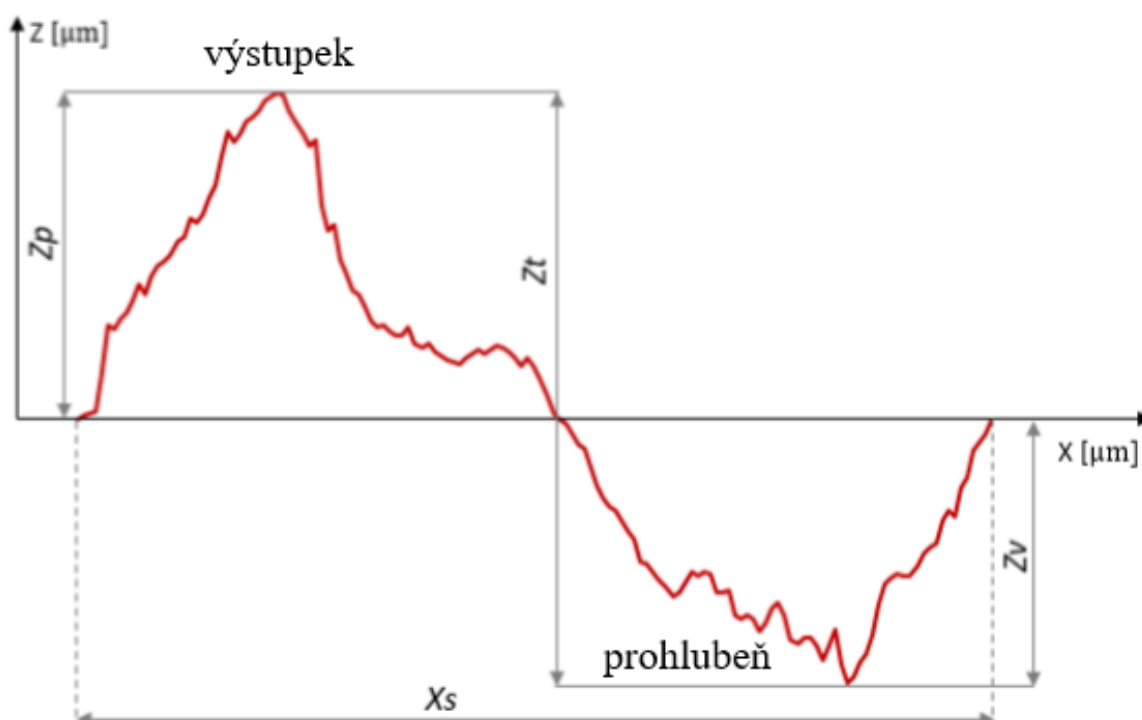
Obr. 6 Odvození profilu drsnosti a vlnitosti ze základního profilu [12]

Stanovení profilových parametrů textury povrchu se provádí buď na základním profilu (tzv. *P-parametry*), na profilu drsnosti (tzv. *R-parametry*), či profilu vlnitosti (*W-parametry*). Příslušná norma přesně stanovuje, je-li parametr stanovován na:

- vyhodnocované délce (l_n), což je délka ve směru osy x, která je použita k posouzení vyhodnocovaného profilu,
 - základní délce (l_p , l_r , l_w), tedy délce ve směru osy x, použití k identifikaci nerovností, které charakterizují vyhodnocovaný základní profil (P), profil drsnosti (R), profil vlnitosti (W).
- [8]

U P-parametrů je vyhodnocovaná délka identická se základní délkou, v případě R-parametrů může vyhodnocovaná délka zahrnovat jednu či více základních délek. W-parametry tento poměr jasně specifikovaný normou nemají. [10]

Každý profil je tvořen výstupky, prohlubněmi a prvky profilu, které jsou definované vůči střední čáře. Výstupek je znázorněn spojnici dvou průsečíků s osou x , přičemž tato část profilu vystupuje z povrchu ven do okolí a je charakterizována výškou výstupku Z_p . Prohlubeň je část profilu vstupující do povrchu z okolí, rovněž definována spojnici dvou průsečíků s osou x a je charakterizována hloubkou prohlubně Z_v . Výstupkem či prohlubní se rozumí pouze taková nerovnost profilu, která přesahuje výšku nebo hloubku určenou jako podíl celkové výšky (např. 10% P_z , R_z , W_z). Prvek profilu je tvořen výstupkem a k němu přilehlou prohlubní. Je definován výškou profilu Z_t (součet výšky výstupku a hloubky prohlubně) a šířkou prvku profilu X_s (délka úseku osy x , kterou protíná prvek profilu). Vše je přehledně znázorněno na obr. 7. [8]



Obr. 7 Výstupek a přilehlá prohlubeň tvořící prvek profilu [12]

3.2.1 Přehled vybraných profilových parametrů

V této podkapitole budou rozebrány a blíže popsány některé vybrané profilové parametry. Jejich seznam je uveden v tabulce 1.

Tab. 1 Seznam vybraných profilových parametrů [8]

Označení	Jednotka	Název
Rp	μm	Největší výška výstupku profilu
Rv	μm	Největší hloubka prohlubně profilu
Rz	μm	Největší výška profilu
Rc	μm	Průměrná výška prvků profilu
Ra	μm	Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu
Rt	μm	Celková výška profilu
Rq	μm	Průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu
Rsk	-	Šikmost posuzovaného profilu
Rku	-	Špičatost posuzovaného profilu
RSm	mm	Průměrná šířka prvků profilu
RΔq	°	Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu

Parametr R_p je největší výška výstupku profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a jeho hodnota odpovídá nejvyššímu výstupku profilu v rozsahu jeho základní délky. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$R_p = \max(Zp_i) [\mu m] \quad (1)$$

kde: R_p je největší výška výstupku profilu drsnosti [μm]

Zp_i jsou jednotlivé výšky výstupků v rozsahu základní délky [μm] [8]

Parametr R_p je znázorněn na obr. 8. V tomto případě tedy $R_p = Zp_1$

Parametr R_v je největší hloubka prohlubně profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a odpovídá absolutní hodnotě nejhlubší prohlubně profilu v rozsahu jeho základní délky. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$R_v = \max(|Zv_i|) [\mu m] \quad (2)$$

kde: R_v je největší hloubka prohlubně profilu drsnosti [μm]

Zv_i jsou jednotlivé hloubky prohlubní v rozsahu základní délky [μm] [8]

Parametr R_v je znázorněn na obr. 8. V tomto případě tedy $R_v = |Z_{v_2}|$

Parametr R_z je největší výška profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a jeho hodnota odpovídá součtu výšky nejvyššího výstupku profilu Z_p (parametr R_p) a hloubky nejnižší prohlubně profilu Z_v (parametr R_v) v rozsahu základní délky. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$R_z = R_p + R_v = \max(Z_{p_i}) + \max(|Z_{v_i}|) [\mu m] \quad (3)$$

kde: R_z je největší výška profilu drsnosti [μm]

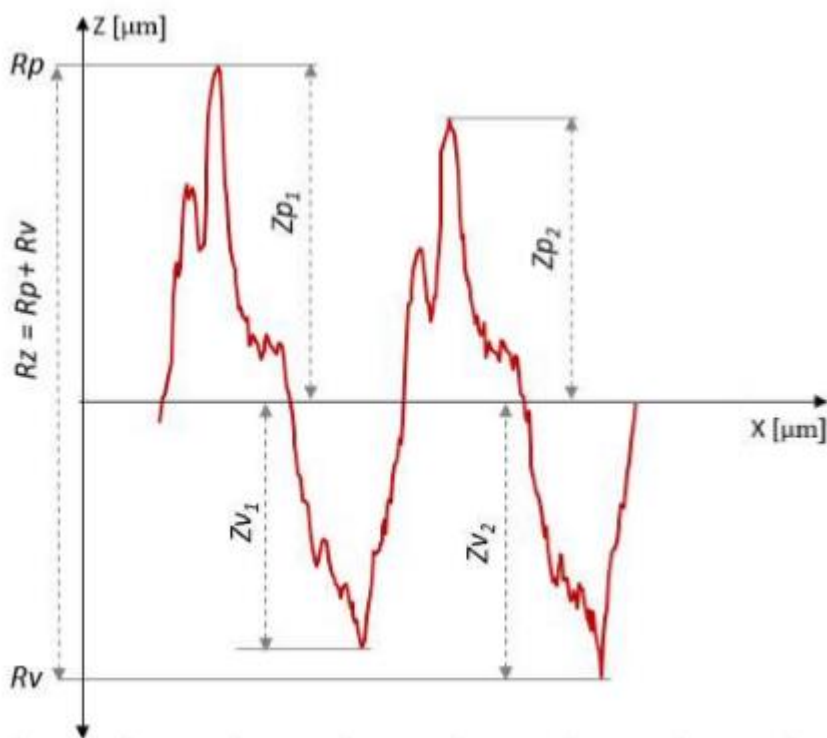
R_p je největší výška výstupku profilu drsnosti [μm]

R_v je největší hloubka prohlubně profilu drsnosti [μm]

Z_{p_i} jsou jednotlivé výšky výstupků v rozsahu základní délky [μm]

Z_{v_i} jsou jednotlivé hloubky prohlubní v rozsahu základní délky [μm] [8]

Parametr R_z je znázorněn na obr. 8. V tomto případě tedy $R_z = Z_{p_1} + |Z_{v_2}|$



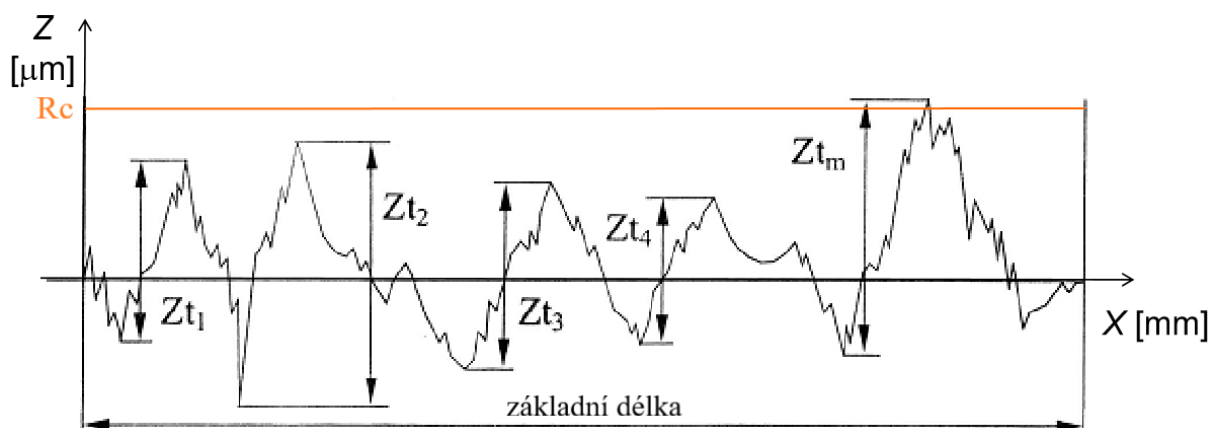
Obr. 8 Znázornění parametrů R_p , R_v a R_z [12]

Parametr R_c je průměrná výška prvků profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a jeho hodnota odpovídá průměrné výšce prvků profilu drsnosti Z_t v rozsahu základní délky. Znázorněn je na obr. 9. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} [\mu\text{m}] \quad (4)$$

kde: R_c je průměrná výška prvků profilu drsnosti [μm]

Z_{t_i} jsou jednotlivé výšky prvků v rozsahu základní délky [μm] [8]



Obr. 9 Znázornění parametru R_c [3]

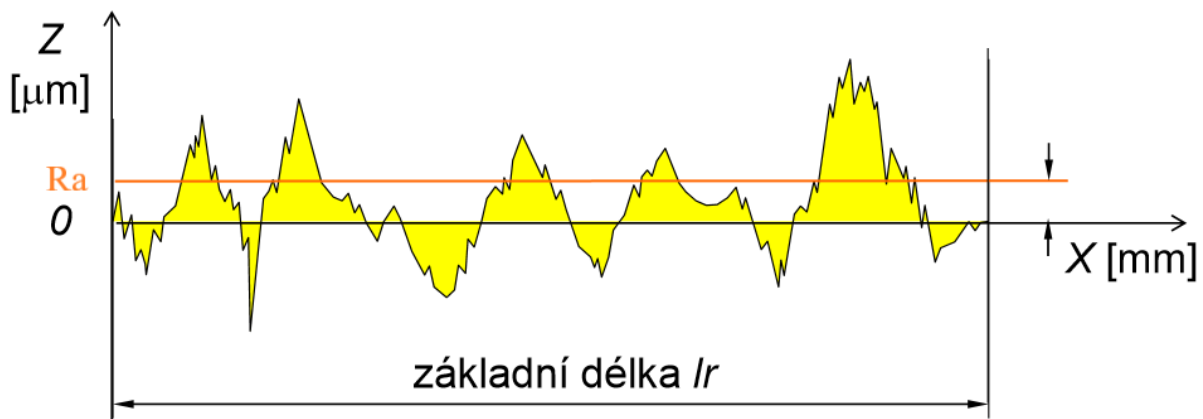
Parametr R_a je průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a jeho hodnota odpovídá aritmetickému průměru absolutních hodnot souřadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. Znázorněn je na obr. 10. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx [\mu\text{m}] \quad (5)$$

kde: R_a je průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu drsnosti [μm]

$Z(x)$ jsou jednotlivé souřadnice Z v rozsahu základní délky [μm]

l_r je základní délka [mm] [8]



Obr. 10 Znáornění parametru Ra [3]

Parametr R_t je celková výška profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a jeho hodnota je součet výšky nejvyššího výstupku profilu Z_p a absolutní hodnoty hloubky nejnižší prohlubně profilu Z_v v rozsahu **vyhodnocované délky l_n** . Znáorněn je na obr. 11. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$R_t = Z_p + Z_v = \max(Z_{p_i}) + \max(|Z_{v_i}|) [\mu m] \quad (6)$$

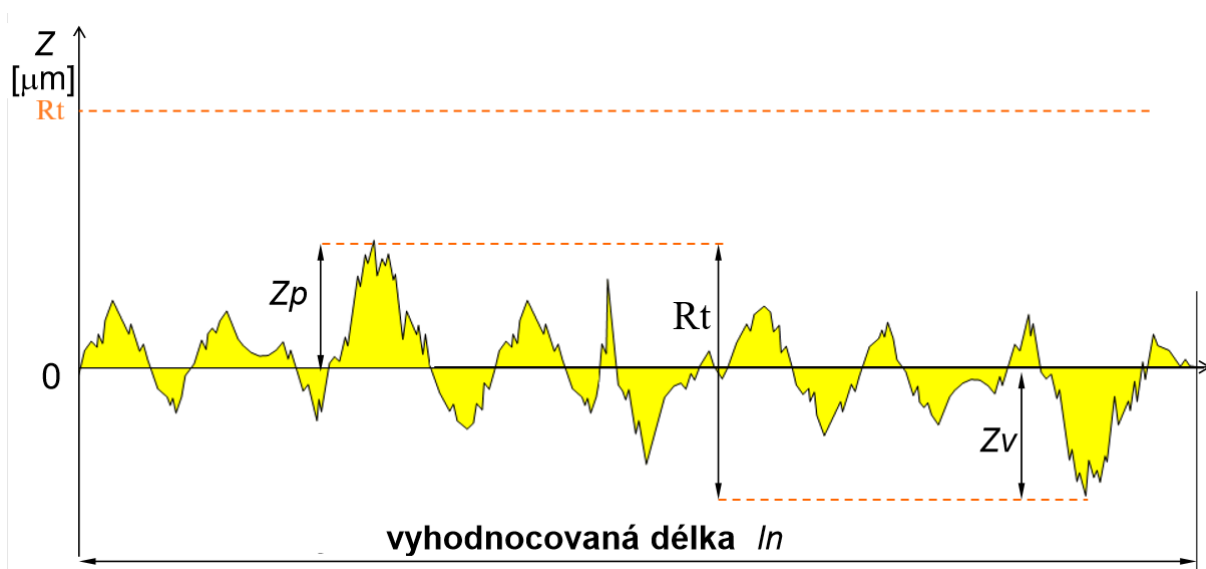
kde: R_t je celková výška profilu drsnosti [μm]

Z_p je nejvyšší výstupek profilu drsnosti v rozsahu vyhodnocované délky [μm]

Z_v je nejhlubší prohlubeň profilu drsnosti v rozsahu vyhodnocované délky [μm]

Z_{p_i} jsou jednotlivé výšky výstupků v rozsahu vyhodnocované délky [μm]

Z_{v_i} jsou jednotlivé hloubky prohlubní v rozsahu vyhodnocované délky [μm] [8]



Obr. 11 Znáornění parametru R_t [3]

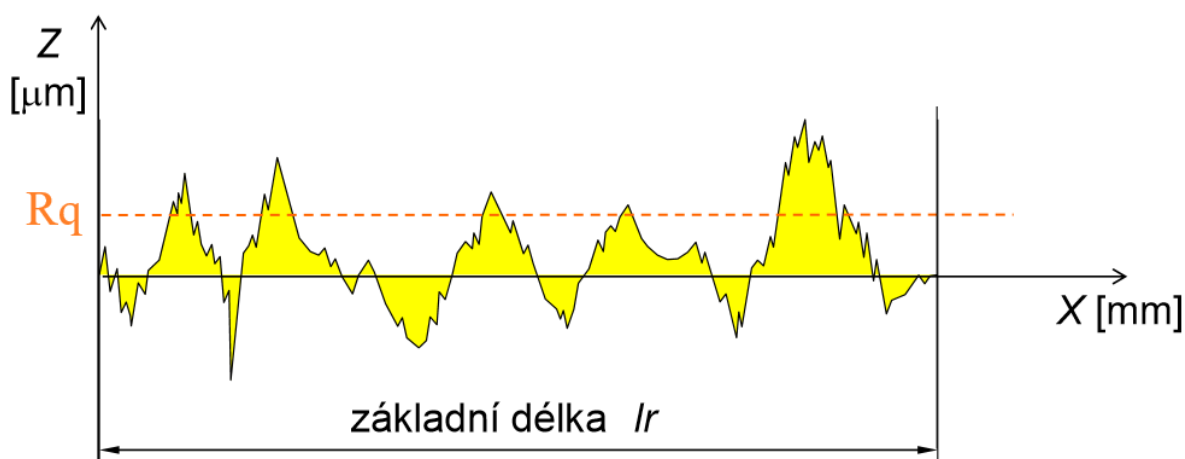
Parametr Rq je průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a jeho hodnota je směrodatná odchylka (kvadratický průměr) souřadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. Znázorněn je na obr. 12. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^2(x) dx} [\mu\text{m}] \quad (7)$$

kde: Rq je průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu drsnosti [μm]

$Z(x)$ jsou jednotlivé souřadnice Z v rozsahu základní délky [μm]

l_r je základní délka [mm] [8]



Obr. 12 Znázornění parametru Rq [3]

Parametr Rsk je šikmost posuzovaného profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a jeho hodnota odpovídá podílu průměrné hodnoty třetích mocnin souřadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky. Protože se jedná o podíl (poměr), nemá tento parametr svou charakteristickou jednotku. Definován je v intervalu $(-\infty; +\infty)$ a číselná hodnota šikmosti udává, jak se funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$ posouvá k vrcholům (kladné hodnoty Rsk) nebo k prohlubním (záporné hodnoty Rsk). V případě nulových hodnot šikmosti jsou profily souměrné a vykazují nulovou asymetrii. Vztah pro výpočet tohoto parametru je následující:

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^3(x) dx \right] [-] \quad (8)$$

kde: Rsk je šikmost posuzovaného profilu drsnosti [-]

Rq je průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu drsnosti [μm]

$Z(x)$ jsou jednotlivé souřadnice Z v rozsahu základní délky [μm]

l_r je základní délka [mm] [8]

Parametr Rku je špičatost posuzovaného profilu drsnosti. Jedná se o výškový parametr a jeho hodnota odpovídá podílu průměrné hodnoty čtvrtých mocnin souřadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky. Identicky jako špičatost také nemá svou charakteristickou jednotku, protože se jedná o podíl (poměr). Vztah pro výpočet tohoto parametru je následující:

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^4(x) dx \right] [-] \quad (9)$$

kde: Rku je špičatost posuzovaného profilu drsnosti [-]

Rq je průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu drsnosti [μm]

$Z(x)$ jsou jednotlivé souřadnice Z v rozsahu základní délky [μm]

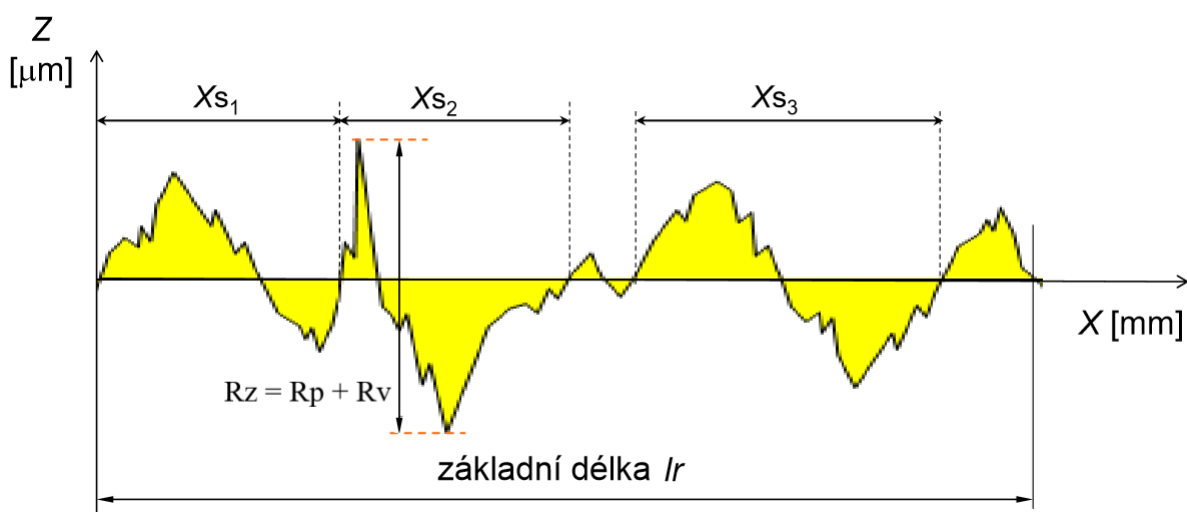
lr je základní délka [mm] [8]

Parametr RSm je průměrná šířka prvků profilu drsnosti. Jedná se o délkový parametr a jeho hodnota je aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky. Znázorněn je na obr. 13. Parametr Rsm vyžaduje výškové a délkové omezení, a to např. omezení výšek 10 %, omezení roztečí 1 % základní délky. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i [mm] \quad (10)$$

kde: RSm je průměrná šířka prvků profilu drsnosti [mm]

Xs_i jsou jednotlivé šířky prvků v rozsahu základní délky [mm] [8]



Obr. 13 Znázornění parametru RSm [3]

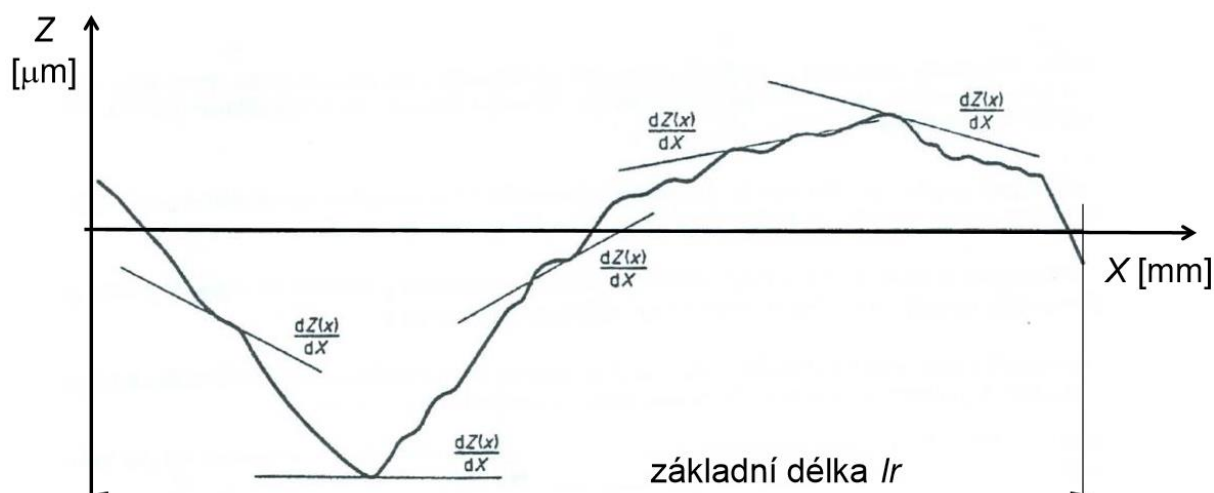
Parametr $R\Delta q$ je průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu drsnosti. Jedná se o tvarový parametr a jeho hodnotou je kvadratický průměr sklonů souřadnic dZ/dX v rozsahu základní délky. Jeho číselná hodnota je udávána ve stupních (jedná se o sklon). Znázorněn je na obr. 14. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} \left[\frac{d}{dx} Z(x) \right]^2 dx} \text{ [}^\circ\text{]} \quad (11)$$

kde: $R\Delta q$ je průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu drsnosti [°]

$Z(x)$ jsou jednotlivé souřadnice Z v rozsahu základní délky [μm]

lr je základní délka [mm] [8]



Obr. 14 Znázornění parametru $R\Delta q$ [3]

3.2.2 Postup vyhodnocení profilových parametrů

Pro vyhodnocení profilových parametrů je nutné udělat několik postupných kroků, které jsou zahrnuty v této podkapitole. Provedení těchto kroků je definované příslušnými normami a jejich dodržení je zcela zásadní, protože v opačném případě negativně ovlivní výsledky a přesnost provedeného měření příslušných parametrů.

Volba vhodného místa měření

Výběr vhodného místa či vhodných míst na profilu je první krokem vyhodnocení profilových parametrů. Vybrané místo by nemělo zahrnovat nedokonalosti povrchu (rýhy, škrábance atd). [10] Jejich vyhodnocováním se zabývá jiná norma a již byly dříve v této práci vyjmenovány a popsány.

Pokud je směr měření určen, bude měření provedeno v tomto směru. Není-li směr měření blíže specifikován, je nutné nastavit polohu měřené součásti a směr řezu způsobem, kdy jsou naměřeny největší hodnoty výškových parametrů drsnosti. Zpravidla se jedná o kolmý směr vůči stopám po obrábění. [10]

Místo či místa na zkoumaném povrchu musí být zvolena tak, aby naměřené parametry odpovídali hodnotám na celém povrchu. Není-li povrch homogenní, nebo se tak jeví, je příslušnou normou doporučeno hodnoty na jednotlivých částech povrchu oddělit a porovnávat se specifikacemi a tolerancemi předepsaných ve výrobní dokumentaci samostatně. Provedená měření v jednotlivých částech mají být rozložena rovnoměrně z důvodu získání nezkrášených a věrohodných výsledků. Rovněž se doporučuje provádět měření na těch částech povrchu, které vykazují známky potenciálních kritických hodnot. [10]

Volba základní délky

Volba základní délky pro vyhodnocování profilových parametrů textury se řídí dle příslušné normy, tedy:

- P-parametry jsou vyhodnocovány na celé délce měřeného prvku, tedy délce, která je stanovena ve výrobní dokumentaci
- R-parametry jsou obvykle vyhodnoceny na délce o rozměru pětinasobku základní délky, která odpovídá příslušné vlnové délce filtru λ_c nestanoví-li to výrobní dokumentace jinak (např. Ra3 pro vyhodnocení Ra na třech základních délkách)
- W-parametry jsou obvykle vyhodnoceny zároveň s parametry drsnosti, a to na stejné vyhodnocované délce [10]

Norma ČSN EN ISO 3274 předepisuje normalizované řady základních délek, z nichž se vybírá příslušná hodnota. Není-li hodnota předepsána ve výrobní dokumentaci, postupuje se dle normy ČSN EN ISO 4288. Hodnoty základní délky jsou voleny dle rozsahu hodnot parametrů drsnosti Ra, Rz a RSm. Tyto rozsahy a příslušné základní délky jsou uvedeny v tab. 2. Tabulka rovněž uvádí vyhodnocované délky drsnosti odpovídající pětinasobku délky základní. Způsob volby základní délky se liší pro periodický a neperiodický profil drsnosti. [10]

Tab. 2 Volba základní délky dle ČSN EN ISO 4288 [3]

Ra [μm] (+Rq,Rsk,Rku,RΔq) Rz, Rz1max [μm] (Rv,Rp,Rc,Rt) + +Rv1max,Rp1max,Rc1max RSm [mm]	Základní délka drsnosti/ Cut-off lr = λc [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti/ roughness evaluation length ln = 5xlr (= 5x λc) [mm]
(0,006) < Ra ≤ 0,02 (0,025) < Rz, Rz1max ≤ 0,1 0,013 < RSm ≤ 0,04	0,08	0,40
0.02 < Ra ≤ 0,1 0,1 < Rz, Rz1max ≤ 0,5 0,04 < RSm ≤ 0,13	0,25	1,25
0.1 < Ra ≤ 2 0,5 < Rz, Rz1max ≤ 10 0,13 < RSm ≤ 0,4	0,80	4,00
2 < Ra ≤ 10 10 < Rz, Rz1max ≤ 50 0,4 < RSm ≤ 1,3	2,50	12,50
10 < Ra ≤ 80 50 < Rz, Rz1max ≤ 200 1,3 < RSm ≤ 4	8,00	40,00

Pro periodický povrch je typická pravidelně se opakující topografie. Základní délka pro určení všech parametrů drsnosti je vybrána dle hodnoty průměrné šířky profilu drsnosti RSm, a to tak, že výsledek měření předmětného povrchu součásti udává platnou dvojici hodnot průměrné šířky profilu drsnosti RSm a základní délky lr podle tab. 2. [10]

Neperiodický povrch je typ povrchu neobsahující patrné pravidelné uspořádání. Stejně jako u periodického povrchu je nutné vytvoření platné dvojice hodnot parametrů a základní délky lr dle tab. 2. K vyhodnocování parametrů lze využít tři parametry referenční. RSm je použito pouze v případě vyhodnocování samotného parametru RSm, Rz se využívá v případě vyhodnocování výškových parametrů výstupků a prohlubní, tedy Rz, Rv, Rp, Rc a Rt, Ra se použije pro všechny ostatní parametry a křivky. [10]

V případě povrchů s více platnými kombinacemi základní délky lr s referenčními parametry se použije nižší hodnota platné základní délky lr. [10]

Vyhodnocení parametrů

Prvním krokem je zde zjištění hodnoty parametru, který je definován na základní délce. To se provádí zvlášť pro každou základní délku vyhodnocovaného profilu. Poté je proveden aritmetický průměr všech těchto hodnot. [10]

V případě, že je vyhodnocování prováděno jinak než na normalizovaném počtu základních délek, je nutné u značky parametru uvést tento počet. Příkladem lze uvést Rz1, Rz3, Ra1, RSm3 apod. [10]

V případě, že je parametr definován na vyhodnocované délce, je jeho jednota vypočtena na vyhodnocované délce, která odpovídá normalizovanému počtu základních délek. [10]

Vyhodnocují-li se křivky a odpovídající parametry, využívají se data, která jsou naměřena z jedné křivky. Ta je sestrojena z dat, které mají rozsah vyhodnocované délky. [10]

Porovnání parametrů s výrobní dokumentací

Existují dva způsoby porovnání naměřených parametrů textury povrchu s výrobní dokumentací, které předepisuje norma ČSN EN ISO 4288.

Prvním způsobem je tzv. *pravidlo 16 %*. Toto pravidlo uvádí, že povrch je posouzen a vyhodnocen jako přijatelný, pokud méně než 16 % veškerých naměřených hodnot parametru přesáhne předepsanou horní mez. V případě dolní meze toto platí obdobně, tedy méně než 16 % hodnot je pod hodnotou předepsané dolní meze parametru. Pro aplikaci tohoto pravidla je nutné normální rozdělení naměřených hodnot, tedy cca 16 % naměřených dat parametru má vyšší hodnotu než $\mu + \sigma$ nebo nižší hodnotu než $\mu - \sigma$, kde μ je aritmetický průměr naměřených hodnot parametru a σ směrodatná odchylka. [10] Jako problematické se u této metody jeví zaručení normálního rozdělení naměřených hodnot parametrů.

Dalším způsobem je tzv. *pravidlo maxima*. Toto pravidlo předepisuje, že žádná naměřená hodnota parametru textury povrchu nepřekročí výrobní dokumentací předepsanou hodnotu. Takto předepsaný parametr je ve výkresu doplněn indexem „max“, tedy např. Rzmax, Ramax, Rpmax apod. [10] Naměřené hodnoty, které tomuto pravidlu nevyhovují, mohou stále vyhovovat pravidlu 16 %. Z principu se tedy pravidlo maxima jeví jako striktnější, přesnější a vhodnější oproti pravidlu 16 %.

Při vyhodnocování přijatelnosti povrchu se uvažují nejistoty měření. Při využití pravidla 16 % se do výpočtu nejistot nezahrnuje nehomogenita povrchu, protože je již brána v úvahu přídatkem 16 %. [10]

3.3 Hodnocení textury povrchu plošnou metodou

Při snímání zkoumaného povrchu dochází k jeho vzájemnému působení s použitým měřicím zařízením. Jedná se o interakci mechanickou (např. zařízení s kulovým snímačem s konkrétním průměrem), nebo elektromagnetickou (bezkontaktní, např. paprsky světla). [5], [13]

Obdobně jako u metody profilové je plošná metoda hodnocení textury povrchu realizována za pomoci matematického zpracování dat. Tyto data jsou obdrženy z modely

neideálního povrchu. Z něj je následně vzorkováním a použitím krátkovlnného s-filtru získán základní povrch. [14]

S-filtr je druh filtru, který dokáže potlačit malé stranové složky povrchu. Tím je z původních číselných dat vytvořen základní povrch. Vůči filtru λ_s , který je využíván při metodě profilové, je plošným ekvivalentem. [9], [14]

Plošné parametry textury povrchu jsou vyhodnoceny na S-F nebo S-L povrchu. S-F povrch je odvozen od základního povrchu pomocí F-operace. Ta umožňuje separaci a odstranění jmenovitého tvaru od základního povrchu a je to nezbytný úkon pro použití mnoha druhů L-filtrů. S-F povrch je tedy ekvivalentem základního profilu. L-filtr je druh filtru, který potlačuje značné stranové složky základního povrchu nebo S-F povrchu. To má za následek vznik S-L povrchu, který je plošným ekvivalentem profilu drsnosti. [8], [9], [14]

Pojem posuzovaný povrch zahrnuje S-F i S-L povrch. Ty jsou dále zpracovány téměř identickým způsobem. Posuzovaný povrch je definován v pravoúhlém kartézském souřadnicovém systému, kde osa X a osa Y společně utváří základní rovinu povrchu. Osa Z vystupuje do volného povrchu, a to kolmo k rovině, kterou utváří osy X a Y. Nulová hodnota souřadnice osy Z leží v úrovni tzv. *referenčního povrchu*. Ten reprezentuje povrch o ideálním geometrickém tvaru (např. ideální rovina, koule nebo válec), který je dále, podle předem určených kritérií, posuzovanému povrchu přiřazen. U posuzovaného povrchu jsou dále definovány oblast hodnocení a definiční oblast. Definiční oblast zde tvoří takovou podoblasti oblasti hodnocení, kde jsou definovány vyhodnocované plošné parametry textury povrchu. [14]

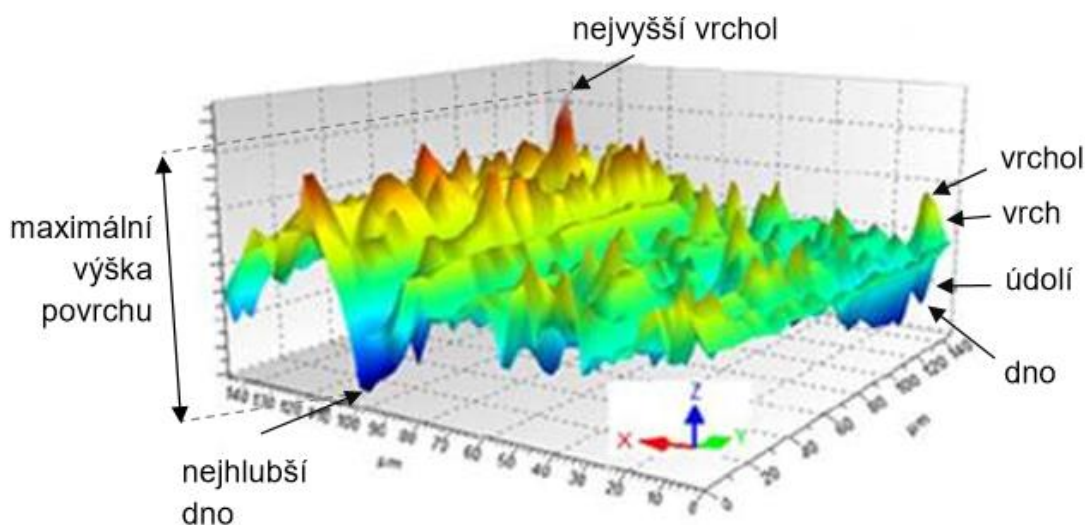
Na povrchu zkoumané součásti lze pozorovat určité topografické prvky, které jsou níže definovány a popsány. Znázorněny jsou na obr. 15. [6], [14]

Pojmem vrchol se rozumí bod, který je vyšší oproti všem bodům v jeho okolí. Jedná se tedy o lokální maximum. Jako vrch je definována oblast, kde všechny čáry s největším spádem končí ve vrcholu. Vrchol je tedy nejvyšší bod vrchu. Údolnice je čára, která odděluje přilehlé vrchy. [6], [14]

Pojmem dno se rozumí takový bod, který je nižší oproti všem bodům v jeho okolí. Jedná se tudíž o lokální minimum. Jako údolí je definována oblast, kde všechny čáry s největším spádem končí na dně. Dno je tedy nejnižším bodem údolí. Hřbetnice je čára, která odděluje přilehlá údolí. [6], [14]

Sedlo je označení, kterým se popisuje množina bodů, kde dochází k protnutí hřbetnic a údolnic. Sedlovým bodem se rozumí takový bod, který je jediným průsečíkem hřbetnic a údolnic. [6], [14]

Výše popsané topografické prvky se řadí do společných skupin dle jejich charakteru. První skupinou jsou bodové prvky (vrcholy a dna), druhou tvoří čárové prvky (hřbetnice a údolnice), třetí jsou plošné prvky (vrchy a údolí). [6], [14]



Obr. 15 Znárodnění základních prvků plošné metody [12]

3.3.1 Přehled vybraných plošných parametrů

V této podkapitole budou rozebrány a blíže popsány některé vybrané plošné parametry. Jejich seznam je uveden v tabulce 3.

Tab. 3 Seznam vybraných plošných parametrů [14]

Označení	Jednotka	Název
Sp	μm	Maximální výška vrcholu posuzované plochy
Sv	μm	Maximální hloubka dna posuzované plochy
Sz	μm	Maximální výška posuzované plochy
Sa	μm	Průměrná aritmetická výška posuzované plochy
Sq	μm	Průměrná kvadratická výška posuzované plochy
Ssk	-	Šikmost posuzované plochy
Sku	-	Špičatost posuzované plochy
Sal	mm	Délka autokorelace
Str	-	Poměr směrových vlastností textury posuzované plochy
Std	$^{\circ}$	Směr textury posuzované plochy
Sdq	rad	Střední kvadratický sklon posuzované plochy
Sdr	%	Poměr přírůstku mezifázové plochy k velikosti posuzované plochy

Parametr S_p je maximální výška vrcholu posuzované plochy. Jedná se o jeden z výškových parametrů, které představují statistickou charakteristiku výšky $z(x,y)$ posuzované plochy. Tento parametr představuje nejvyšší hodnotu výšky vrcholu posuzované plochy. Lze jej také popsat jako vzdálenost mezi nejvyšším vrcholem a střední rovinou. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$S_p = \max\{z_p(x, y)\} [\mu\text{m}] \quad (12)$$

kde: S_p je maximální výška vrcholu posuzované plochy [μm]

$z_p(x,y)$ jsou souřadnice Z jednotlivých vrcholů posuzované plochy [μm] [14], [15]

Parametr S_v je maximální hloubka dna posuzované plochy. Jedná se o jeden z výškových parametrů, které představují statistickou charakteristiku výšky $z(x,y)$ posuzované plochy. Tento parametr odpovídá absolutní hodnotě nejhlubšího dna posuzované plochy. Lze jej také popsat jako vzdálenost mezi nejhlubším dnem a střední rovinou. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$S_v = \max\{|z_v(x, y)|\} [\mu\text{m}] \quad (13)$$

kde: S_v je maximální hloubka dna posuzované plochy [μm]

$z_v(x,y)$ jsou souřadnice Z, které mají jednotlivá dna posuzované plochy [μm] [14], [15]

Parametr S_z je maximální výška posuzované plochy. Jedná se o jeden z výškových parametrů, které představují statistickou charakteristiku výšky $z(x,y)$ posuzované plochy. Tento parametr odpovídá součtu maximální výšky vrcholu posuzované plochy S_p a maximální hloubky dna posuzované plochy S_v . Lze jej také popsat jako vzdálenost mezi nejhlubším dnem a nejvyšším vrcholem. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$S_z = S_p + S_v = \max\{z_p(x, y)\} + \max\{|z_v(x, y)|\} [\mu\text{m}] \quad (14)$$

kde: S_z je maximální výška posuzované plochy [μm]

S_p je maximální výška vrcholu posuzované plochy [μm]

S_v je maximální hloubka dna posuzované plochy [μm]

$z_p(x,y)$ jsou souřadnice Z jednotlivých vrcholů posuzované plochy [μm]

$z_v(x,y)$ jsou souřadnice Z, které mají jednotlivá dna posuzované plochy [μm] [14], [15]

Parametr Sa je průměrná aritmetická výška posuzované plochy. Jedná se o jeden z výškových parametrů, které představují statistickou charakteristiku výšky $z(x,y)$ posuzované plochy. Tento parametr odpovídá aritmetickému průměru absolutních hodnot výškových souřadnic bodů posuzované plochy. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$Sa = \frac{1}{|A|} \iint_A |z(x, y)| dx dy \quad [\mu\text{m}] \quad (15)$$

kde: Sa je průměrná aritmetická výška posuzované plochy [μm]

$z(x,y)$ jsou výškové souřadnice bodů posuzované plochy [μm]

A je plošný obsah posuzované plochy [μm] [14], [15]

Parametr Sq je průměrná kvadratická výška posuzované plochy. Jedná se o jeden z výškových parametrů, které představují statistickou charakteristiku výšky $z(x,y)$ posuzované plochy. Tento parametr představuje střední kvadratickou hodnotu výškových souřadnic posuzované plochy. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{|A|} \iint_A z^2(x, y) dx dy} \quad [\mu\text{m}] \quad (16)$$

kde: Sq je průměrná kvadratická výška posuzované plochy [μm]

$z(x,y)$ jsou výškové souřadnice bodů posuzované plochy [μm]

A je plošný obsah posuzované plochy [μm] [14], [15]

Parametr Ssk je šikmost posuzované plochy. Jedná se o jeden z výškových parametrů, které představují statistickou charakteristiku výšky $z(x,y)$ posuzované plochy. Tento parametr odpovídá podílu průměrné hodnoty třetích mocnin hodnot výškových souřadnic a třetí mocniny Sq posuzované plochy. Protože se jedná o podíl (poměr), nemá tento parametr svou charakteristickou jednotku. Může nabývat kladných, nulových nebo záporných hodnot a popisuje tvar topografického rozdělení výšky. Číselná hodnota šikmosti určuje, zda zkoumaný povrch vykazuje dominantní přítomnost vrcholů (kladné hodnoty Ssk) nebo převažují dna (záporné hodnoty Ssk). V případě nulových hodnot šikmosti vykazuje plocha symetrickou topografii a Gaussovo rozdělení výšky. Kladné hodnoty Ssk budou vykazovat např. litinové či pórovité povrchy. Záporné hodnoty Ssk budou dominovat u součástí, kde je zásadní např. udržení maziva v hlubokých údolích (např. ložiska). Vztah pro výpočet tohoto parametru je následující:

$$Ssk = \frac{1}{Sq^3} \left[\frac{1}{|A|} \iint_A z^3(x, y) dx dy \right] \quad [-] \quad (17)$$

kde: Ssk je šikmost posuzované plochy [-]
 $z(x,y)$ jsou výškové souřadnice bodů posuzované plochy [μm]
 Sq je průměrná kvadratická výška posuzované plochy [μm]
 A je plošný obsah posuzované plochy [μm] [14], [15], [16]

Parametr Sku je špičatost posuzované plochy. Jedná se o jeden z výškových parametrů, které představují statistickou charakteristiku výšky $z(x,y)$ posuzované plochy. Tento parametr odpovídá podílu průměrných hodnot čtvrtých mocnin hodnot výškových souřadnic a čtvrté mocniny Sq posuzované plochy. Protože se jedná o podíl (poměr), nemá tento parametr svou charakteristickou jednotku. Může nabývat kladných či nulových hodnot a určuje rozptyl rozdělení výšky. Plocha s hodnotou špičatosti tři reprezentuje Gaussovo rozdělení výšky. Parametr udává, jsou-li špičky na povrchu rozloženy rovnoměrně. Povrch s vyšší hodnotou tohoto parametru bude obsahovat větší množství špiček, rovný povrch bude naopak vykazovat hodnotu špičatosti téměř nulovou (nebo nulovou, a to pouze v případě dokonale rovného povrchu). Vztah pro výpočet tohoto parametru je následující:

$$Sku = \frac{1}{Sq^4} \left[\frac{1}{|A|} \iint_A z^4(x, y) dx dy \right] [-] \quad (18)$$

kde: Sku je špičatost posuzované plochy [-]
 $z(x,y)$ jsou výškové souřadnice bodů posuzované plochy [μm]
 Sq je průměrná kvadratická výška posuzované plochy [μm]
 A je plošný obsah posuzované plochy [μm] [14], [15], [16]

Výše zmíněné výškové parametry textury povrchu mohou být citlivé na výjimečný výskyt extrémů, které však nemusí být pro celkový povrch zcela zásadní. Tento fakt však lze naopak využít např. při identifikaci výskytu ořepů na povrchu nebo výskytu ojedinělé ostré špičky. [16]

Parametr Sal je délka autokorelace. Patří do skupiny prostorových parametrů, které popisují prostorové vlastnosti povrchů. Mohou být obzvlášť užitečné v případě odlišování náhodných povrchů od těch, které jsou výrazně tvarované. Parametr Sal reprezentuje horizontální vzdálenost $f_{ACF}(t_x, t_y)$, u které dochází k nejrychlejšímu rozpadu specifikované hodnoty s , pro $0 \leq s < 1$. Vzorec pro výpočet tohoto parametru je následující:

$$Sal = \min \sqrt{t_x^2 + t_y^2} [\text{mm}] \quad (19)$$

pro t_x a $t_y \in R$, kde $R = \{(t_x, t_y) : f_{ACF}(t_x, t_y) \leq s\}$

ACF je druh autokorelační funkce, zapsané jako f_{ACF} , která popisuje vzájemnou korelaci mezi povrchy, tedy mezi povrchem a identickým povrchem posunutým o (t_x, t_y) na definiční ploše A. Rovnice autokorelační funkce je následující:

$$f_{ACF}(t_x, t_y) = \frac{\iint_A z(x,y)z(x-t_x, y-t_y) dx dy}{\iint_A z^2(x,y) dx dy} \quad (20)$$

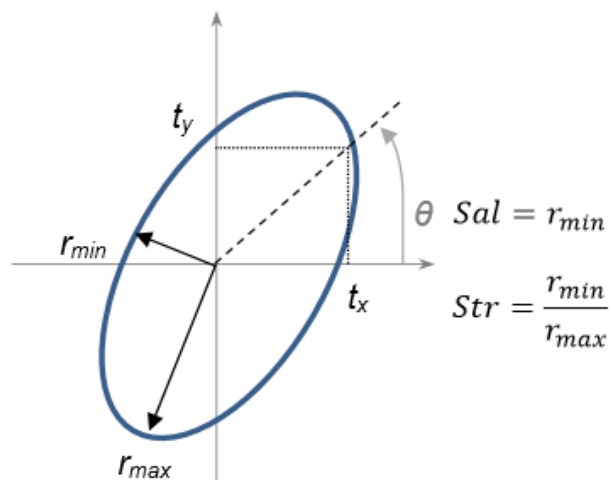
Není-li definováno jinak, výchozí hodnota pro parametr s je uvedena v ČSN EN ISO 25178-3, a to $s = 0,2$. Tato hodnota se obvykle využívá pro relativně hladké povrchy. V případě anizotropního povrchu bude mít parametr Sal kolmý směr vůči směru povrchu. [6], [14], [15], [16]

Parametr Str je poměr směrových vlastností textury posuzované plochy nebo také poměr aspektu textury. Patří do skupiny prostorových parametrů, které popisují prostorové vlastnosti povrchů. Mohou být obzvlášť užitečné v případě odlišování náhodných povrchů od těch, které jsou výrazně tvarované. Udává poměr horizontální vzdálenosti $f_{ACF}(t_x, t_y)$, u které dochází k nejrychlejšímu rozpadu specifikované hodnoty parametru s vzhledem k horizontální vzdálenosti $f_{ACF}(t_x, t_y)$, která má nejpomalejší rozpad k s, pro $0 \leq s < 1$. Jedná se o parametr bez jednotky, protože se jedná o poměr. Vzorec pro výpočet tohoto parametru je následující:

$$Str = \frac{\min \sqrt{t_x^2 + t_y^2}}{\max \sqrt{t_x^2 + t_y^2}} [-] \quad (21)$$

pro t_x a $t_y \in R$, kde $R = \{(t_x, t_y) : f_{ACF}(t_x, t_y) \leq s\}$

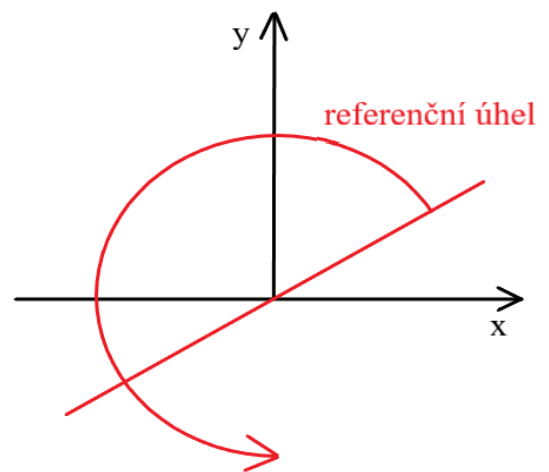
Není-li definováno jinak, výchozí hodnota pro parametr s je uvedena v ČSN EN ISO 25178-3, a to $s = 0,2$. Parametr Str se dá považovat za jeden z velmi významných pro hodnocení povrchu plošnou metodou a udává míru izotropie povrchu. Jeho hodnota je vypočítána z minimálních a maximálních poloměrů, které jsou nalezeny (při stejných podmínkách) v grafu autokorelace. Toto je znázorněno na obr. 16. Vyšší hodnota (přibližně $Str > 0,5$) udává jednotnou texturu pro všechny směry, čili bez



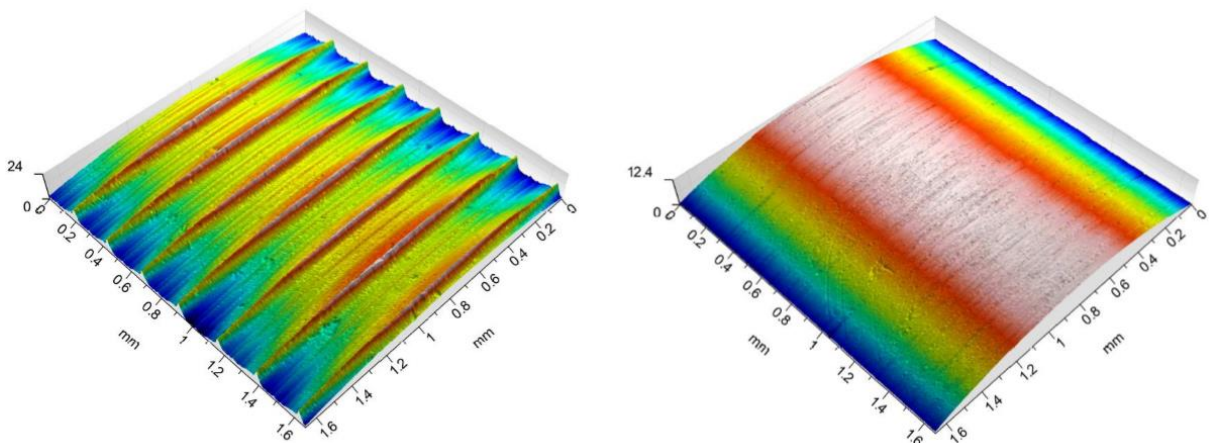
Obr. 16 Význam autokorelační délky v polárních souřadnicích [12]

definovaných stop po obrábění. Nižší hodnota (přibližně $Str < 0,3$) udává silnou směrovou texturu nebo stopu po obrábění. [6], [14], [15], [16]

Parametr Std je směr textury posuzované plochy nebo také směr textury omezené stupnice povrchu. Jedná se o smíšený parametr a určuje hlavní úhel textury povrchu, představuje maximum polárního spektra. Má význam v případech, kdy je $Str < 0,5$ a udává se ve stupních. Referenční úhel je znázorněn je na obr. 17. Na obrázku 18 je znázorněno porovnání dvou různě upravených povrchů (soustružený a lapovaný), na kterých jsou porovnávány hodnoty Sal , Str a Std . Zároveň je zde vyhodnocena významnost parametru Std .



Obr. 17 Referenční úhel [15]



Obr. 18 Srovnání dvou povrchů, vlevo vzorek 258, vpravo vzorek 341 [15]

Vzorek 258 – soustruženo Hsk 3,2

$Sal = 0,036933$ mm

$Str = 0,044449$

$Std = 90,024^\circ$

Vzorek 341 – lapováno Hsk 0,05

$Sal = 0,11344$ mm

$Str = 0,52488$

$Std = 88,761^\circ$

V případě vzorku 258 je $Str < 0,3$, vzorek má silnou směrovou texturu způsobenou soustružením. Std je zde významný parametr. V případě vzorku 341 je $Str > 0,5$, lze tedy říci, že povrch vykazuje jednotnou texturu ve všech směrech, čili bez definovaných stop po předchozím obrábění. Parametr Std tedy lze považovat za nevýznamný. [14], [15]

Parametr Sdq je střední kvadratický sklon posuzované plochy. Jedná se o jeden z hybridních parametrů, které jsou založeny na amplitudě a prostorových informacích. Tento druh parametrů vymezuje číselně hybridní topografické vlastnosti (např. sklon povrchu,

zakřivení odlehlých hodnot a mezifázové plochy). Všechny změny, které se objeví u amplitudy nebo rozteče mohou ovlivnit hybridní vlastnosti. Parametr Sdq je základ průměrného čtverce povrchu gradientu uvnitř určené plochy A omezené stupnicí povrchu. Udává se v radiánech. Jeho porovnání na reálných vzorcích znázorněno je na obr. 19. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$Sdq = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A \left[\left(\frac{\partial z(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z(x,y)}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy} \text{ [rad]} \quad (22)$$

kde: Sdq je střední kvadratický sklon posuzované plochy [rad]

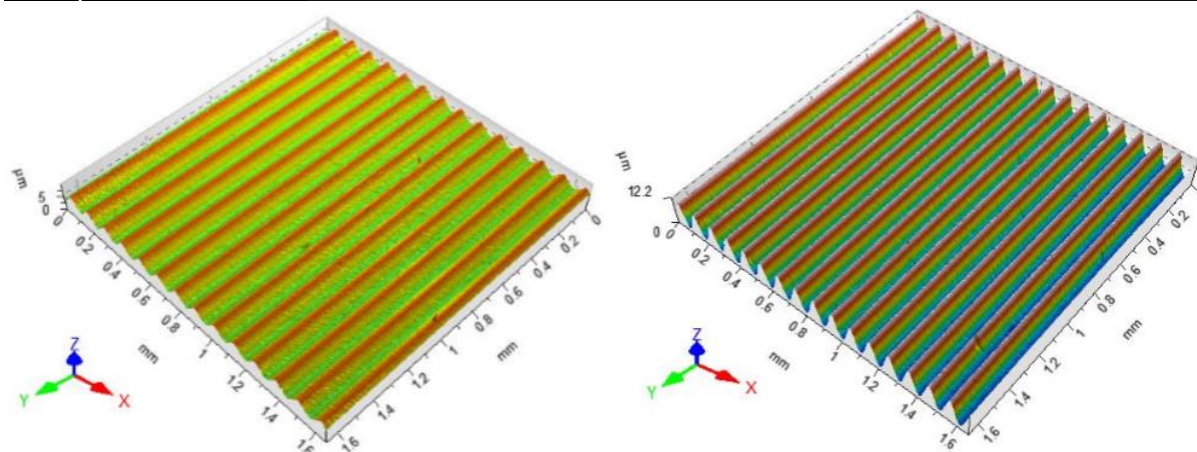
A je plošný obsah posuzované plochy [μm] [14], [15]

Parametr Sdr je poměr přírůstku mezifázové plochy k velikosti posuzované plochy. Jedná se o jeden z hybridních parametrů, které jsou založeny na amplitudě a prostorových informacích. Tento druh parametrů vymezuje číselně hybridní topografické vlastnosti (např. sklon povrchu, zakřivení odlehlých hodnot a mezifázové plochy). Všechny změny, které se objeví u amplitudy nebo rozteče mohou ovlivnit hybridní vlastnosti. Parametr Sdr je poměr přírůstku mezifázové plochy omezené stupnice povrchu uvnitř určené plochy A v rozsahu určené plochy. Udává se v procentech. Jeho porovnání na reálných vzorcích je na obr. 19. Vztah pro jeho výpočet je následující:

$$Sdr = \frac{1}{A} \left[\iint_A \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z(x,y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z(x,y)}{\partial y} \right)^2} - 1 \right) dx dy \right] * 100 \text{ [%]} \quad (23)$$

kde: Sdr je poměr přírůstku mezifázové plochy k velikosti posuzované plochy [%]

A je plošný obsah posuzované plochy [μm] [14], [15]



Obr. 19 Porovnání dvou povrchů hybridními parametry [15]

Etalon Mahr

$R_a = 0,90 \mu\text{m}$

$S_{dq} = 0,06731 \text{ rad}$

$S_{dr} = 0,22539 \%$

Etalon Mitutoyo

$R_a = 3,05 \mu\text{m}$

$S_{dq} = 0,22786 \text{ rad}$

$S_{dr} = 2,5430 \%$

V tomto případě byly porovnávány dva etalony, a to Mahr a Mitutoyo. Ze srovnání jsou patrně nižší hodnoty S_{dq} a S_{dr} u etalonu Mahr s nižší hodnotou R_a . [15]

3.3.2 Postup vyhodnocení plošných parametrů

V současnosti není k dispozici normou definovaný postup vyhodnocení plošných parametrů tak jako u profilové metody. Postup vyhodnocení je tedy inspirován profilovou metodou a je zvolen dle následujících odstavců, které již byly dříve v jiných předchozích pracích aplikovány. [7]

Nejprve dojde k načtení základního povrchu a následně se eventuální nenaměřená místa dopočítají pomocí interpolace. Takto doplněný a dopočítaný povrch je následně vyrovnán pomocí výpočtu, čímž dojde k odstranění jeho náklonu. V případě povrchů, které nejsou rovinné, je provedena F-operace a dochází k odstranění tvaru. Ten je odstraněn tělesem, které odpovídá jmenovitému tvaru (je-li to možné koulí nebo válcem nejmenších čtverců, není-li to možné tak polynomem nejmenšího možného stupně kvůli eliminaci zkreslení F-operací). [7]

Pokud se po těchto operacích objeví drobné a velmi vysoké extrémy (vrchy a údolí), které jsou zjevně nereálné, je do postupu zařazena operace pro jejich potlačení. Je-li těchto extrémů na zkoumaném povrchu minimální množství, lze aplikovat ruční retušování jednotlivých bodů a použít průměrování výškových souřadnic v nejbližším okolí těchto bodů. Je-li těchto extrémů příliš velké množství, lze aplikovat např. mediánový filtr, který potlačí šum. [7]

Z S-F povrchu se mohou následně vypočítat plošné parametry (ekvivalentní parametrům základního profilu), vybrat profily pro profilové vyhodnocení (dle normy ISO 4288), nebo lze aplikovat L-filtr. [7]

Z důvodu získání co nejlépe srovnatelných hodnot profilových a plošných parametrů byl zvolen jako L-filtr Gaussův filtr se stejnou vlnovou délkou cut-off, která by byla použita při vyhodnocování totožných dat profilovou metodou. [7]

3.4 Měřicí přístroje pro hodnocení textury povrchu

K vyhodnocování textury povrchu existují různé přístroje a zařízení. Pro tuto práci byl zvolen přístroj Taylor Hobson Talysurf CCI Lite, který je umístěn v Laboratoři přesné a experimentální metrologie ÚVSSR VUT FSI a v této části bude blíže popsán a přiblížen. Znázorněn je na obr. 20.



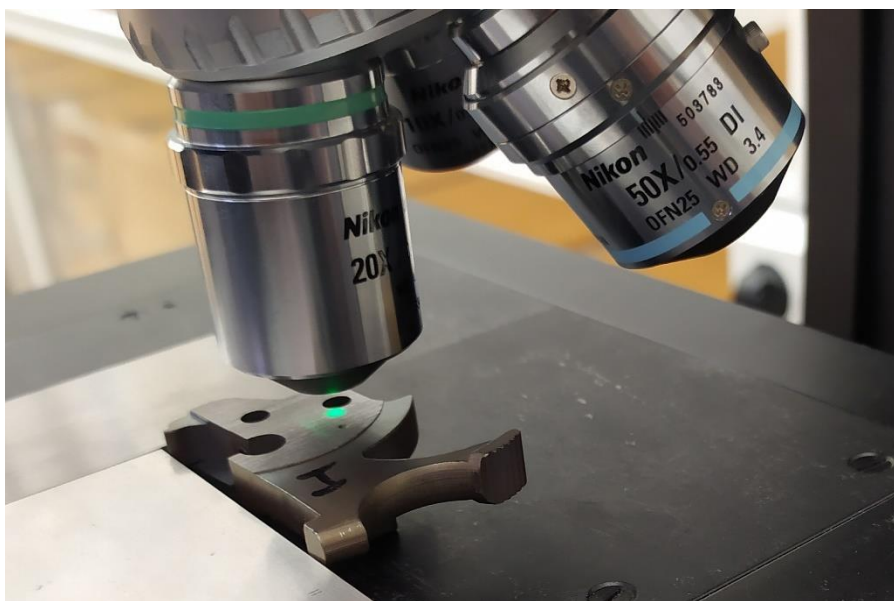
Obr. 20 Taylor Hobson Talysurf CCI Lite [7]

Toto zařízení je vyrobeno společností Taylor Hobson a jedná se o velmi přesný 3D bezdotykový profilometr. Princip měření spočívá v koherenčně rastrovací interferometrii. Zkratka CCI v jeho názvu reprezentuje anglické slovní spojení „coherence correlation interferometry“, v překladu koherenčně korelační interferometrie. Toto označení je pouze jiný termín pro výše zmíněnou koherenčně rastrovací interferometrii. [7]

V průběhu měření je povrch zkoumané součásti osvětlován pomocí nekoherentního polychromatického světla skrze interferometrický objektiv. Zdroj světla je zajištěn pomocí zelené LED diody (dobře pozorovatelné na obr. 21). Při určité vzdálenosti součásti od objektivu (jedná se o úzkou oblast) dojde na povrchu této součásti k interferenci světla, které má různé vlnové délky. To způsobí změnu výsledné intenzity odraženého světla a dojde tak k vzniku interferenčních proužků na CCD snímači. Následně obdrží jednotlivé body, které jsou na

povrchu snímány, výškovou souřadnici pomocí autokorelačního algoritmu. Tato souřadnice odpovídá výšce, ve které byla zaznamenána maximální intenzita světla, které dopadlo na snímač. [7]

Snímač obrazu tohoto zařízení má rozlišení 1024 x 1024 bodů a obsahuje tři interferometrické objektivy se zvětšením 10x, 20x a 50x. Přibližný rozměr vyhodnocované plochy je 1,65 x 1,65 mm pro zvětšení 10x, 0,83 x 0,83 mm pro zvětšení 20x a 0,33 x 0,33 mm pro zvětšení 50x. [7] V této práci bylo využito zvětšení 20x u všech vyhodnocovaných povrchů. Objektiv je zachycen v průběhu měření experimentu, kterým se zabývá tato práce, na obr. 21.



Obr. 21 Použitý objektiv v průběhu měření experimentu

Obsluha zařízení je zajištěna pomocí software TalySurf CCI, který naměřená data zaznamenává a ukládá. Tyto data je možné dále zpracovávat a vyhodnocovat pomocí software TalyMap. Ten poskytuje uživateli možnost znázornění 3D modelu povrchu, úpravy modelu povrchu, odstranění tvaru, výpočetního vyrovnání náklonu povrchu, interpolace nenaměřených bodů a vyhodnocení příslušných parametrů textury povrchu, tedy plošných i profilových. Toto vyhodnocení lze dále exportovat pro další použití v jiných formátech. [7]

3.4.1 Postup měření

Samotný postup měření a vyhodnocení textury jednotlivých částí povrchu je poměrně zdlouhavý. Nejdříve je nutné nastavit zvolený objektiv do pracovní (měřicí) polohy. V softwaru TalySurf CCI, pomocí kterého je měření prováděno, je nutné tento objektiv nastavit jako aktuální. V opačném případě by nedošlo ke správnému přepočtu pixelů na jednotlivé rozměry. Zkoumaný vzorek se následně uloží na pohyblivý stůl, a to tak, aby výška vzorku nedosahovala vyšší hodnoty, než je vzdálenost mezi stolem a čočkou objektivu. Není-li toto splněno, je nutné nejdříve objektiv pomocí elektrických posuvů oddálit od posuvného stolu (pohyb v ose Z, vertikální směr) a stanovit limit posuvu v ose Z pomocí funkce Z-stop tak, aby ke kontaktu

vzorku a čočky objektivu nemohlo dojít. Následně již je umožněno ovládat posuvy i v osách X a Y (horizontální směry), a tím manipulovat se zkoumanou součástí a nastavit její polohu, ve které bude provedeno měření. [7]

Po dokončení první fáze popsané výše je nutné nastavit správný rozsah měření. Ta je nastavována manuálně, a to za pomoci velmi malého posuvu a volby měřicího pásma v ose Z. Je nutné, aby bylo měření provedeno v kompletním rozsahu viditelnosti interferenčních obrazců, v opačném případě dojde k chybnému, neúplnému a zkreslenému měření. Nastavení příliš velkého rozsahu pásma v ose Z nad rámec viditelnosti interferenčních obrazců naopak způsobí zbytečné prodloužení samotného procesu měření. Zkrácení času měření lze dosáhnout i pomocí vyrovnání vzorku naklápěním stolku pomocí dvou šroubů. [7]

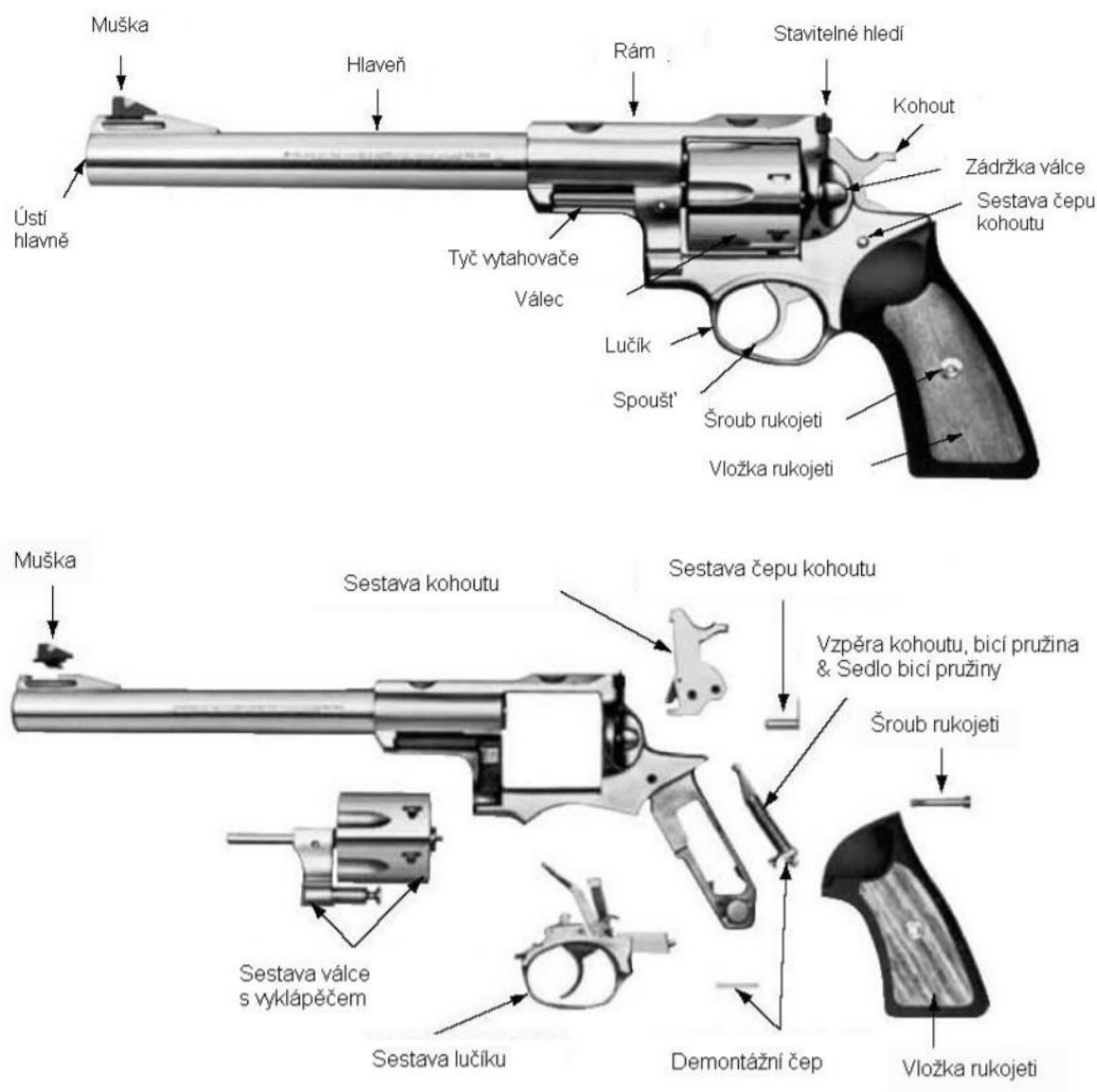
Posledním krokem před zahájením samotného měření je nastavení intenzity osvětlení povrchu zkoumané součásti. Zde je vhodné volit nejvyšší možnou hodnotu, při které ještě nedochází k saturaci snímače v některém z měřených bodů. Dále už se jen zvolí cílové místo uložení souboru v PC s naměřenými daty a lze zahájit měření. [7]

Samotná doba měření je závislá na výše popsaných faktorech, a také na složitosti a členitosti vyhodnocovaného povrchu. [7]

4 VÝROBA REVOLVERU

Předmětem této kapitoly, a zároveň druhým a třetím cílem této práce, je rozbor současného stavu výroby a současného způsobu hodnocení textury, rozbor jednotlivých výrobních operací a jejich kritérií, návrh vhodných parametrů specifikace textury a návrh nápravného opatření řešící problém nedokonalosti výrobní operace. Rovněž jsou na začátku kapitoly uvedeny základní obecné informace o revolveru.

Revolver se skládá z mnoha součástí. Ty jsou přehledně znázorněny na obr. 22. Jedná se o revolver Ruger Super Redhawk & Alaskan.



Obr. 22 Jednotlivé části revolveru [22]

Revolvery jsou krátké zbraně s pevnou hlavní. Disponují otáčivým válcem s nábojovými komorami, které se mezi jednotlivými výstřely natáčejí do osy hlavně. Nejčastěji má revolver pět až šest nábojových komor. V každé z nich se nachází jeden náboj. [2]

Podle konstrukce bicího a spoušťového ústrojí dělíme revolvry na jednočinné, dvojčinné a pouze se spoušťovým napínáním. Jednočinné revolvry dovolují uskutečnit každý výstřel pouze po předcházejícím natažení kohoutu, tj. střelec musí pokaždé kohout dopravit prstem dozadu. Střelba spoušťovým napínáním probíhá bez předchozího natažení kohoutu, pouhým stisknutím spouště. Pro další výstřel je nutné přerušit tlak na spoušti, dát jí možnost zaujmout původní polohu a poté stisknutím spouště opakovat. Takovýto způsob střelby značně zvyšuje rychlost střelby, ale snižuje přesnost zásahů. Rovněž vyžaduje použití větší síly při stisknutí spouště. Dvojčinný mechanismus umožňuje střelci zvolit si jeden z těchto způsobů v závislosti na situaci. [1]

Pro dosažení vysoké kvality revolveru je nutná co nejpreciznější výroba jeho jednotlivých součástí, které jsou znázorněny na obr. 22. Jedním z posuzovaných kritérií je textura povrchu, a to zejména u jeho funkčních součástí.

4.1 Hodnocení textury povrchu při výrobě revolveru

V současnosti je ve firmě zaveden určitý výrobní a technologický postup pro výrobu revolveru a jeho jednotlivých součástí. Požadavky na texturu povrchu jednotlivých součástí jsou definovány v příslušné výrobní a výkresové dokumentaci. Ta není v této diplomové práci uvedena, neboť se jedná o duševní majetek společnosti a je jejím obchodním tajemstvím.

Textura povrchu je u některých součástí revolveru specifikována. Jedná se zejména o funkční části, kde dochází k vzájemnému pohybu ploch vůči sobě, či jinému pohybu zajišťujícímu správný chod zbraně. Existuje zde tedy důvodná potřeba dosahovat určitého stupně kvality textury povrchu. Dosahována je volbou vhodných výrobních operací, které mají požadovanou kvalitu povrchu zajistit. Jako posuzovací kritérium firma využívá profilový parametr R_a (průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu), který byl rozebrán a specifikován v podkapitole 1.2.1. Tento parametr je při posuzování textury povrchu v současnosti různými firmami využíván velmi často.

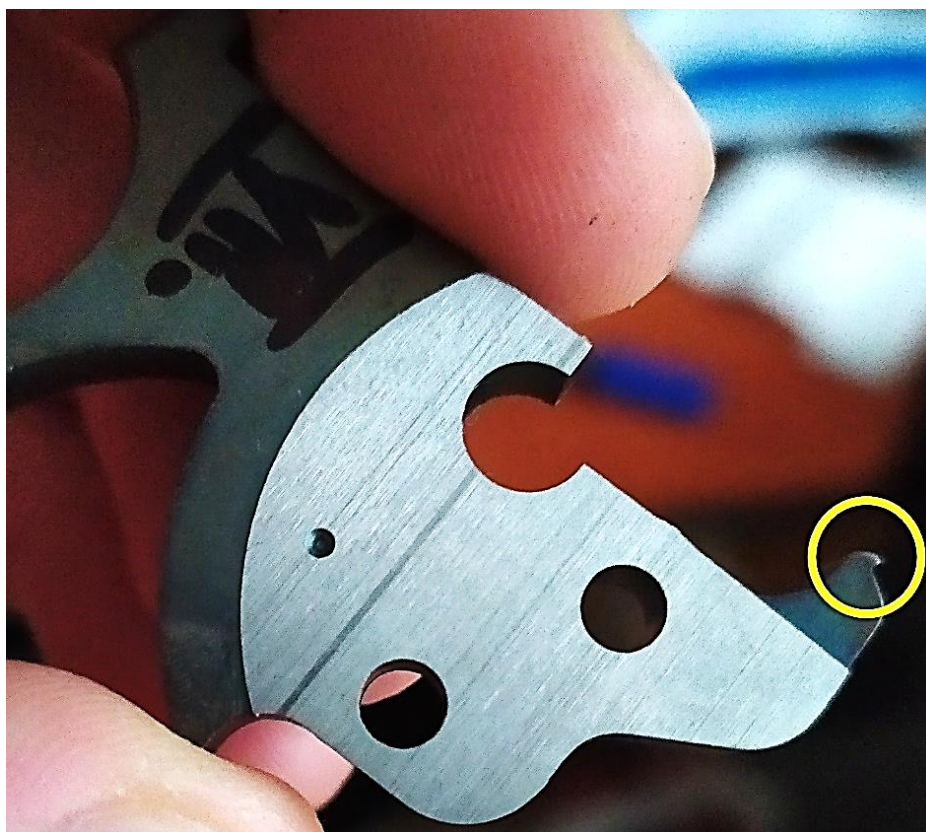
Ačkoliv je parametr R_a při posuzování textury povrchu v současnosti v mnoha firmách hojně využíván, nejedná se o nejvhodnější volbu. Povrch může obsahovat např. vyšší výstupky a nižší prohlubně, což se projeví při kontaktu s protikusem. Parametr R_a není schopen toto v dostatečné míře identifikovat. Může tudíž docházet k předčasnému opotřebení povrchů, vyššímu tření, poškození povrchu, či horšímu zadržování maziva.

Při volbě vhodnějšího kritéria pro specifikaci textury povrchu se nabízí použití parametru R_p (podkapitola 1.2.1) a parametru R_v (podkapitola 1.2.1). Vhodným kompromisem je použití parametru R_z (podkapitola 1.2.1), který do své hodnoty zahrnuje jak výstupky, tak prohlubně. Při aplikaci stále stejného výrobního postupu je tedy zřejmé, že dojde-li k náhlému

zvýšení hodnot Rz, objevují se v povrchu určité extrémny, a to ať na straně výstupků, nebo prohlubní. Na zvážení je i použití parametru Rt (podkapitola 1.2.1), který rovněž pracuje s výstupky i prohlubněmi. Všechny zmíněné parametry byly při konkrétním experimentu v další části této diplomové práce zpracovány a vhodnost jejich použití vyhodnocena. Analyzován byl i parametr Rsk (podkapitola 1.2.1), a to z důvodu zkoumání, zda se funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$ posouvá k vrcholům nebo prohlubním.

Existuje zde také možnost použití plošných parametrů pro hodnocení textury povrchu. Nabízejí se plošné ekvivalenty výše zmíněným profilovým parametrům, a to Sa, Sp, Sv, Sz (podrobněji zpracovány v podkapitole 1.3.1). Tyto parametry byly také vyhodnoceny v konkrétním experimentu.

Jako příklad funkčních částí revolveru lze uvést kohout či spoušť. V případě kohoutu se jedná např. o plochu ze strany (z boku) kohoutu, kde dochází k vzájemnému pohybu vůči jiné ploše, či ostrý zobáček. Obě tyto části jsou velmi dobře viditelné na obr. 23. Funkční plocha kohoutu je šedá. Ostrý zobáček je velmi malý, proto je tedy v obrázku zvýrazněn žlutým kolečkem.



Obr. 23 Funkční plocha kohoutu a ostrý zobáček

Boční plocha kohoutu se jeví jako vhodná část pro podrobnější hodnocení textury povrchu. Její kvalita je zásadní pro správnou funkci revolveru a byla po dohodě s firmou a s vedoucím práce v další kapitole podrobena experimentu. Za další vhodnou součást pro podrobnější hodnocení textury a aplikaci experimentu je možné považovat výše zmíněnou spoušť, ta však z důvodu časové náročnosti měření není dále v práci rozebrána. Práce se rovněž dále nezabývá ostrým zobáčkem kohoutu, a to z totožných důvodů.

Výsledný povrch bočních stran kohoutu je v současnosti utvářen v několika po sobě jdoucích operacích. Zde je nutné poznamenat, že se společnost zabývá sériovou výrobou, což odráží výrobní a technologický postup, tedy dochází k úpravě několika stovek kusů před přistoupením k další operaci. Mezi jednotlivými kroky (operacemi) nastává významná časová prodleva, během které může být povrch vystaven negativním vlivům, např. hromadné neoddělené skladování ve velké bedně či nešetrné zacházení (házení na hromadu), čímž může být jeho kvalita částečně degradována (vznik škrábanců, rýh).

4.1.1 Výroba odlitků

Prvním krokem výroby kohoutů je výroba odlitků. Ty jsou vyhotoveny dle příslušné výkresové dokumentace. Firma produkuje více druhů kohoutů, k výrobě je používána konstrukční i korozivzdorná ocel. Rozměry kohoutů zůstávají identické, odlišnost je pouze v použitém materiálu.

V současnosti není textura povrchu po odlití nijak specifikována. To lze považovat za přijatelné, protože zkoumaná plocha odlitků je dále podrobena dvěma dalším operacím, kde je výsledná textura povrchu této součásti teprve utvářena.

Odlitky jsou podrobeny i jiným výrobním operacím, kde dochází k úpravě jejich tvaru, tyto operace však nemají žádný vliv na texturu povrchu zkoumané boční plochy kohoutu a nejsou tedy v této práci nijak dále rozebírány a zpracovány.

4.1.2 Frézování

Dalším krokem po vyhotovení odlitků je operace frézování, kde dochází k hrubšímu úběru materiálu. Pro tuto operaci rovněž není nijak konkrétně specifikována výsledná textura povrchu a je využit pouze stanovený technologický postup. Z charakteru operace a obecných požadavků vyplývá, že by výsledná plocha měla disponovat hodnotou parametru $Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$.

Řezné podmínky frézování jsou nastaveny dobře, výsledný povrch skutečně dosahuje výrazně lepších hodnot, což již bylo měřeno v identických podmínkách v jiné diplomové práci [12]. Výsledky zmíněné diplomové práce ukázaly, že textura povrchu po frézování byla velmi dobrá a ve většině případů se hodnota pohybovala v rozmezí $Ra = 0,3$ až $0,65 \mu\text{m}$. Toto bylo (mimo jiné) dále ověřeno v experimentální části.

Po této operaci následuje další krok, a to broušení. Frézování je v současnosti prováděno na rozměr s ponechaným celkovým přírůstkem na broušení $0,5 \pm 0,01 \text{ mm}$, konkrétně tedy $0,25 \text{ mm}$ z každé strany kohoutu. Takto stanovený přírůstek na broušení lze považovat za příliš velký, a to hned z několika důvodů:

- v minulosti byla prokázána v diplomové práci [12] velmi dobrá textura povrchu po frézování, není tedy potřeba povrch dále upravovat takto výrazně,
- vyšší opotřebení brusného kotouče, způsobené zbytečně velkým úběrem materiálu,

- nárůst času potřebný pro broušení, protože je nutné materiál brousit po velmi malých úběrech (přibližně 0,01 mm).

4.1.3 Broušení

Poslední (finální) operací k dokončení kohoutů je broušení. Při této operaci má být dosaženo konečné textury povrchu boční plochy kohoutů, která je specifikována ve výkresové dokumentaci, a to parametrem $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$. Od této operace se očekává finální povrch kohoutu, který odpovídá požadovanému stupni specifikace.

Technologie broušení funguje na principu hromadného rychlostního mikrořezání (lze také použít výraz odírání) povrchu. Toho je dosahováno pomocí zrn brusiva, které jsou spojeny pojivem v brousící nástroj (např. brusný kotouč). Při broušení lze dosahovat velmi vysoké přesnosti obrábění a odpovídající kvality povrchu (velmi dobré). Používá se především k dokončovacím operacím. [17]

Nejvíce používaným brusným nástrojem je brusný kotouč. Ten je definován jako mnohobřítý řezný nástroj, kde jednotlivá zrna brusiva tvoří řezné břity a každé z nich odebrává velmi malé třísky. Tyto třísky mají malý průřez a jsou odstraňovány ve formě jisker z důvodu vysokých teplot vzniklých při kontaktu kotouče s obrobkem. [17], [18]

Volba vhodného brusného kotouče je ovlivněna několika faktory. Prvním z nich je zrnitost. Obecně lze říci, že kotouče s hrubými zrny jsou vhodnější na hrubování, oproti tomu jemná zrna jsou vhodná pro dokončovací operace a umožní lepší a kvalitnější výslednou texturu povrchu. Dalším faktorem je tvrdost kotouče, která udává odpor zrn proti odlomení, neboli schopnost zrn udržet se ve vazbě. Vhodně zvolenou tvrdost lze poznat tak, že dochází k vylomení zrn brusiva jakmile dojde k jejich opotřebení. Obvykle platí, že měkký materiál je vhodné brousit tvrdým kotoučem a naopak. [17], [18], [19]

V současnosti je firmou využíván brusný kotouč od společnosti Tyrolit, dále jen původní kotouč, který je vyroben ze světle růžového umělého korundu a jednotlivá zrna jsou spojena keramickým pojivem. Zrnitost je výrobcem v katalogu stanovena na hodnotu 46 a spadá tedy do kategorie střední (30 až 60). Z hlediska tvrdosti je kotouč klasifikován jako měkký. Doporučená obvodová rychlost je $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Kotouč je výrobcem doporučován pro použití na konstrukční i korozivzdorné typy ocelí.

Výsledná textura povrchu při použití původního kotouče již byla v minulosti zkoumána a vyhodnocována v jiné diplomové práci, a to [12]. V práci bylo prokázáno, že výsledná textura povrchu přibližně v polovině případů nedosahovala požadované specifikace parametrem Ra , tedy v polovině případů bylo $Ra > 0,8 \mu\text{m}$. V cca 20 % případů bylo $Ra > 1 \mu\text{m}$. Z výsledků této práce rovněž vyplývá, že výsledná textura povrchu byla broušením zhoršena oproti stavu po frézování. Toto bylo v experimentální části této diplomové práce ověřeno.

Z důvodu předpokladu potvrzení výše zmíněných výsledků bylo jedním z úkolů této práce navržení nápravného opatření, které vyřeší problém zhoršení textury povrchu po provedení operace broušení.

Jako vhodná alternativa původního kotouče byl po osobní konzultaci s dodavatelem vybrán a použit typ ze stejné skupiny kotoučů od identického výrobce. Jedná se rovněž o kotouč značky Tyrolit, dále jen nový kotouč, který je také vyroben ze světle růžového umělého korundu s keramickým pojivem, který je vhodný a doporučený pro broušení konstrukčních i korozivzdorných ocelí. Zrnitost tohoto kotouče je výrobcem stanovena hodnotou 80. Nový kotouč je tedy na rozdíl od původního řazen do kategorie jemné zrnitosti (70 až 180) a je tedy vhodnější pro dokončovací operace. Jeho tvrdost je klasifikována jako střední oproti původní měkké variantě. Doporučená obvodová rychlost je stejně jako u současného $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

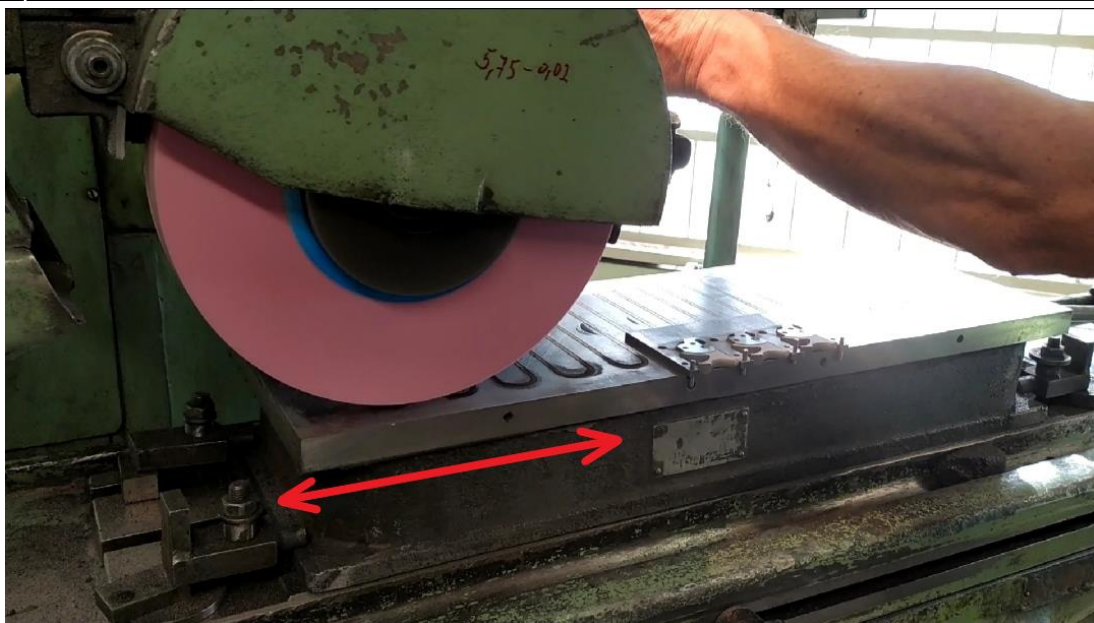
V průběhu broušení dochází ke kontaktu jednotlivých zrn kotouče s obráběným povrchem jen v místě jejich styku. V tomto místě budou vznikat velmi vysoké teploty, které mohou mít vliv na proces broušení, vlastnosti i kvalitu povrchu obráběného materiálu. Za zdroj tepla jsou považovány zejména práce plastické deformace na obráběném povrchu a tření zrn brusiva (a pojiva) při kontaktu s tímto povrchem. K nárůstu třecích sil dochází zejména při broušení s již otupeným kotoučem. [17]

Po čase používání brusných kotoučů vzniká nutnost jejich orovnávaní, a to z důvodu otupení ostří zrn a zanesení pórů kotouče vnikajícími třískami z obrobku, což způsobuje ztrátu rezivosti. Tu lze obnovit pomocí orovnávače brusných kotoučů. [17], [18]

Z těchto důvodů lze považovat velmi vysoký přídavek na broušení za nevhodný (bylo částečně rozebíráno i v rozboru předchozí operace frézování 2.1.2). Takto vysoký přídavek bude způsobovat velmi rychlé zanášení kotouče, vysoký nárůst teplot a nutnost jeho orovnávaní může být velmi častá. Návrh na úpravu této části technologického postupu bude rozebrán v rámci kapitoly doporučení pro praxi.

Rovinné broušení obvodem kotouče je prováděno na rovinné brusce. Tento typ brusky je obvykle používán k realizaci dokončovacích operací, kdy je ubíráno malé množství materiálu. To má v kombinaci s vhodně zvoleným brusným kotoučem za následek malou drsnost povrchu a vysokou tvarovou přesnost obrobku. Posuvový pohyb je realizován pracovním stolem. Obrobek je na stůl upnut obvykle pomocí elektromagnetických upínačů, nebo různých svěráků a upínek. [18], [20]

Ve firmě je tato dokončovací operace prováděna na tomto typu zařízení. Použitá rovinná bruska během broušení bočních ploch kotoučů je znázorněna na obr. 24. Směr posuvného pohybu pracovního stolu vůči brusnému kotouči je zvýrazněn červenou šipkou. Tento typ brusky není vybaven žádným typem chlazení obrobku.



Obr. 24 Rovinná bruska během broušení kohoutů

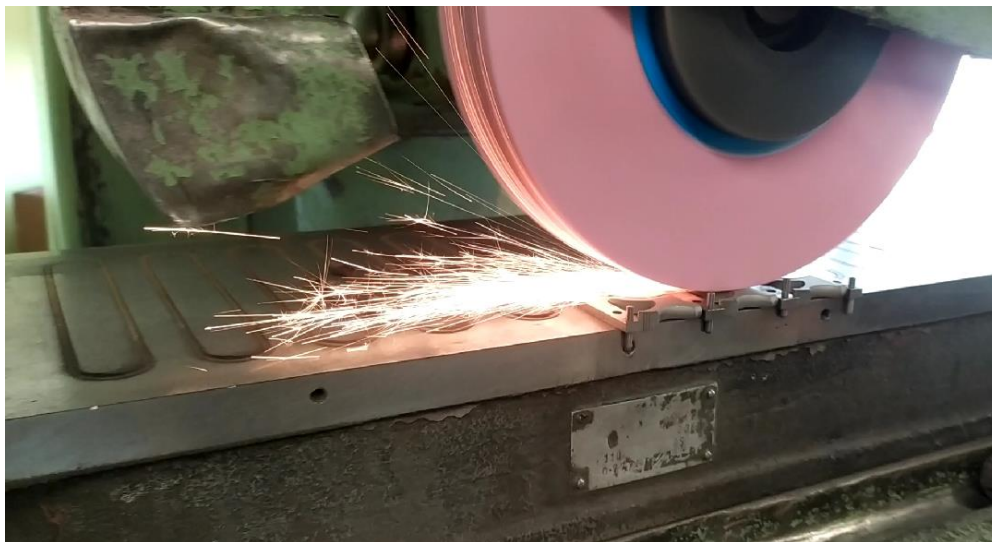
Na obr. 24 lze rovněž pozorovat upnutí 3 kusů kohoutů. Během osobní účasti při broušení bylo upnutí vyhodnoceno jako problematické, neboť kohouty nejsou zcela upevněny a může dojít k jejich mírnému náklonu v upnutí během broušení. Je to způsobeno rozdílnou tloušťkou v určitých místech kohoutu. To může mít za následek nerovnost nebo sklon povrchu. Upnutí a broušení pouze 3 kusů najednou se rovněž jeví jako neefektivní, protože tento typ rovinné brusky je schopen brousit 6 až 8 takto upnutých kusů najednou, což je z obr. 24 patrné. Úprava na větší počet kusů výrazně zvýší efektivitu a rychlost broušení velkého počtu kusů během sériové výroby a tím dojde ke snížení vynaložených nákladů firmy na výrobu jednoho kusu. Lepší detail upnutí kohoutů je dále znázorněn na obr. 25. Doporučení upravit upnutí bylo dále rozebráno v rámci kapitoly doporučení pro praxi.



Obr. 25 Upnutí kohoutů k pracovnímu stolu rovinné brusky

Broušení se vyznačuje nepravidelným úběrem třísky, což je způsobeno nepravidelným rozložením jednotlivých zrn v nástroji. To lze pozorovat při opakovaných posuvech, kdy se nemění hodnota záběru brousícího nástroje, ale dochází stále k vyjiskřování při kontaktu broušeného povrchu s brousícím nástrojem. [17], [18]

Výše zmíněné vyjiskřování bylo u osobní účasti velmi dobře pozorovatelné. Docházelo k němu při třech až pěti průjezdech beze změny hodnoty záběru brousícího kotouče. Vyjiskřování bylo výrazné a s přibývajícím počtem průjezdů úměrně sláblo. Po ustání vyjiskřování byla změněna hodnota záběru kotouče pracovníkem provádějícím broušení. Vyjiskřování během broušení kotoučů (za neměnné hodnoty záběru kotouče) je znázorněno na obr. 26.

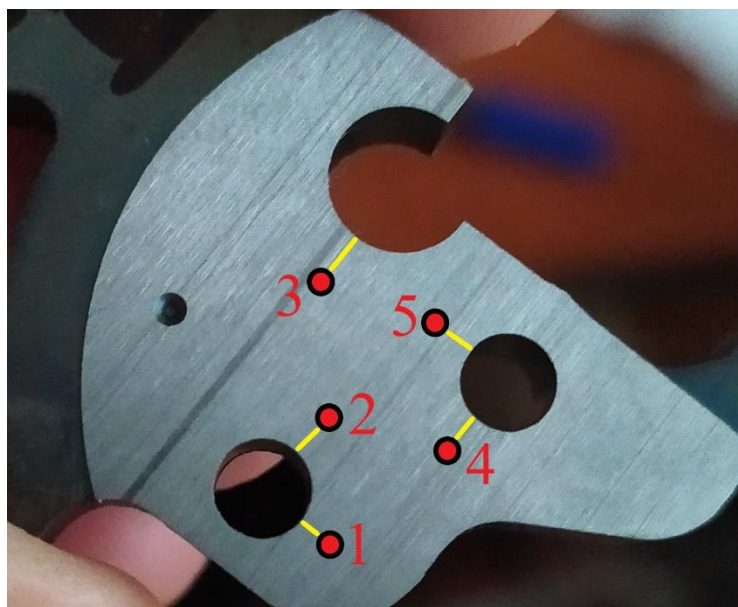


Obr. 26 Vyjiskřování v průběhu broušení kohoutů

5 HODNOCENÍ TEXTURY A ANALÝZA VÝSLEDKŮ

Předmětem této kapitoly, a zároveň čtvrtým a pátým cílem této práce, je experimentální měření textury povrchu boční plochy kohoutů po jednotlivých výrobních operacích, které byly popsány v podkapitolách 2.1.2 a 2.1.3, a také technické posouzení a vyhodnocení naměřených výsledků. Analýza byla provedena na profilových a plošných parametrech, které byly vybrány jako relevantní, a jejichž aplikovatelnost pro zkoumanou problematiku byla rozebrána v podkapitole 2.1. Všechny tyto parametry byly blíže specifikovány a popsány v podkapitolách 1.2.1 a 1.3.1. Postup vyhodnocení těchto parametrů byl proveden dle popisu v podkapitolách 1.2.2 a 1.3.2. Měření bylo provedeno na přístroji Taylor Hobson Talysurf CCI Lite popsáném v podkapitole 1.4, a to postupem dle podkapitoly 1.4.1.

Měřeno bylo 5 kusů kohoutů z korozivzdorné oceli po operaci frézování a po operaci broušení. Na každé straně kohoutu bylo zvoleno 5 míst pro provedení měření. Tyto místa jsou po obě strany kohoutu identická. Celkově tedy bylo vyhodnocováno 50 míst (10 míst na jednom kohoutu) po každé operaci. Kritéria pro vhodnou volbu místa měření byla blíže popsána v podkapitole 1.2.2, tato místa jsou znázorněna na obr. 27. Označena jsou červeným kolečkem a příslušným označením číslicí od 1 do 5. Žluté úsečky představují vzdálenost 2 mm od hrany otvorů (žlutá úsečka je kolmá k tečně hrany otvoru). Místa byla zvolena rovněž s ohledem na replikovatelnost měření (z důvodu měření skutečně stejných míst na všech kohoutech).



Obr. 27 Zvolená místa měření

V průběhu analýzy byly potvrzeny dříve zjištěné výsledky jiné diplomové práce [12], pro broušení původním kotoučem byl následně použit i nový kotouč (podkapitola 2.1.3), operace byla provedena znova, měření bylo opakováno a všechny výsledky byly níže analyzovány a vyhodnoceny.

Rozlišení přístroje je 1024 x 1024 bodů (pro jedno místo), výsledná hodnota zkoumaného parametru pro jedno měřené místo je tedy průměrem hodnot všech jednotlivých bodů měřeného místa. Pro vyhodnocení profilových parametrů byl využit Gaussův filtr 0,8 mm, plošné parametry byly získány z vyrovnaného S-F povrchu bez použití filtrů.

Použitá obvodová rychlost je $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a je shodná pro broušení oběma kotouči, a to z důvodu eliminace dalších vlivů na povrch, které mají za následek zlepšení/zhoršení parametrů. Manipulace s velikostí obvodové rychlosti při broušení může být námětem pro další zkoumání v budoucnu, či jinou diplomovou práci.

Ke zpracování dat byl použit software MS Excel. Pro přehlednost jsou data zpracována do ilustračních histogramů, z kterých je velmi dobře viditelné a rozpoznatelné rozložení jednotlivých hodnot parametrů a jejich četnost v jednotlivých třídách. Třídy byly voleny s důrazem na jednoduchost a přehlednost analýzy. Rovněž je uvedena základní statistika souboru dat.

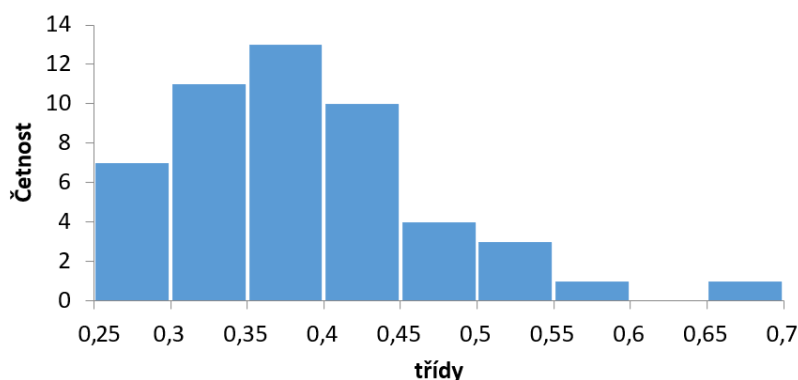
U naměřených dat byl proveden Anderson-Darlingův test normality v softwaru MiniTab. V případě, že je výsledná p-hodnota testu menší než 0,05, lze s 95 % spolehlivostí říci, že data pochází ze souboru, který nemá normální rozdělení. Výsledky testu a p-hodnoty jsou uvedeny u histogramů společně se základní statistikou souboru.

5.1 Parametr Ra

Jak již bylo rozebráno v podkapitole 2.1, parametr Ra je firmou v současnosti využíván jako kritérium pro posuzování textury povrchu kohoutů po jednotlivých operacích. Jeho analýza je tedy zásadní, a to z důvodu vyhodnocení aktuálního plnění předepsaného kritéria pro jakost povrchu.

Nejdříve byl povrch vyhodnocen po operaci frézování. Výsledná data jsou znázorněna na obr. 28. Z histogramu je patrné, že pro všechny naměřené hodnoty platí, že $Ra < 0,8 \mu\text{m}$. Pro 41 z 50 hodnot dokonce platí, že $Ra < 0,45 \mu\text{m}$. Povrch je tedy z hlediska tohoto kritéria velmi dobrý, a to vysoce nad rámec požadavků (požadováno obecně $Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$). Z tohoto důvodu lze považovat za nepotřebné porovnávání levých a pravých stran, či porovnávání jednotlivých míst.

Ra - frézovaný povrch



požadavek $Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$

$n = 50$

průměr = $0,3884 \mu\text{m}$

směr. odchylka = $0,0851 \mu\text{m}$

minimum = $0,2633 \mu\text{m}$

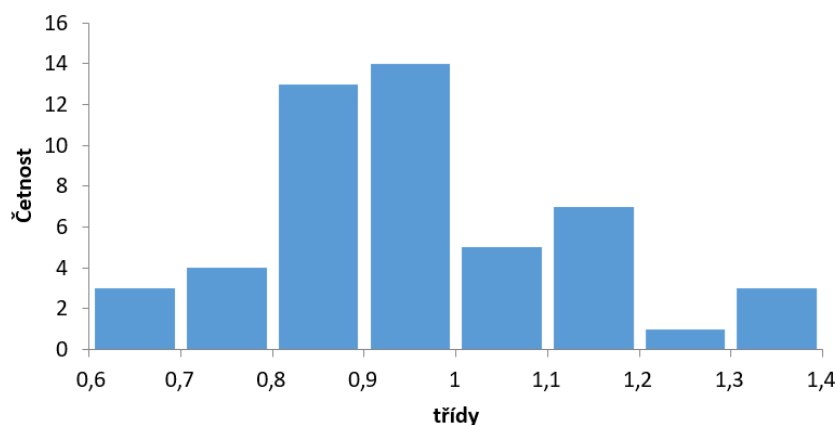
maximum = $0,6885 \mu\text{m}$

AD p-hodnota = $0,009$

Obr. 28 Parametr Ra – frézovaný povrch

Následně byl povrch vyhodnocován po broušení původním kotoučem. Specifikace je $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$. Naměřená data jsou znázorněna na obr. 29.

Ra - broušený povrch, původní kotouč



požadavek $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$

$n = 50$

průměr = $0,9586 \mu\text{m}$

sm. odchylka = $0,1688 \mu\text{m}$

minimum = $0,6438 \mu\text{m}$

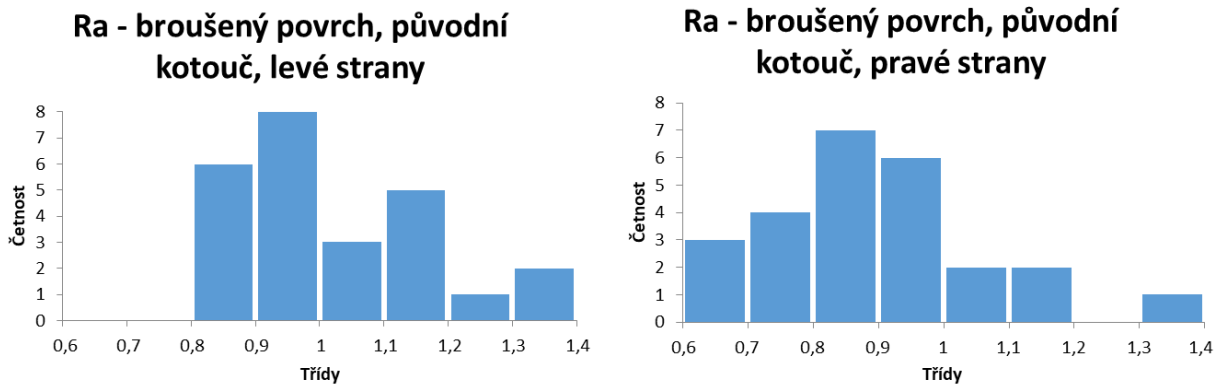
maximum = $1,3617 \mu\text{m}$

AD p-hodnota = $0,040$

Obr. 29 Parametr Ra – broušený povrch, původní kotouč

Z výsledného histogramu naměřených dat lze pozorovat, že pouze 7 z 50 hodnot (tzn. 14 %) splňuje předepsanou specifikaci. Největší množství hodnot se koncentruje v rozsahu $Ra = 0,8$ až $1,0 \mu\text{m}$. Jedná se o 27 z 50 hodnot (tzn. 54 %). Zbylých 16 hodnot (tzn. 32 %) se pohybuje v rozmezí $Ra = 1,0$ až $1,4 \mu\text{m}$.

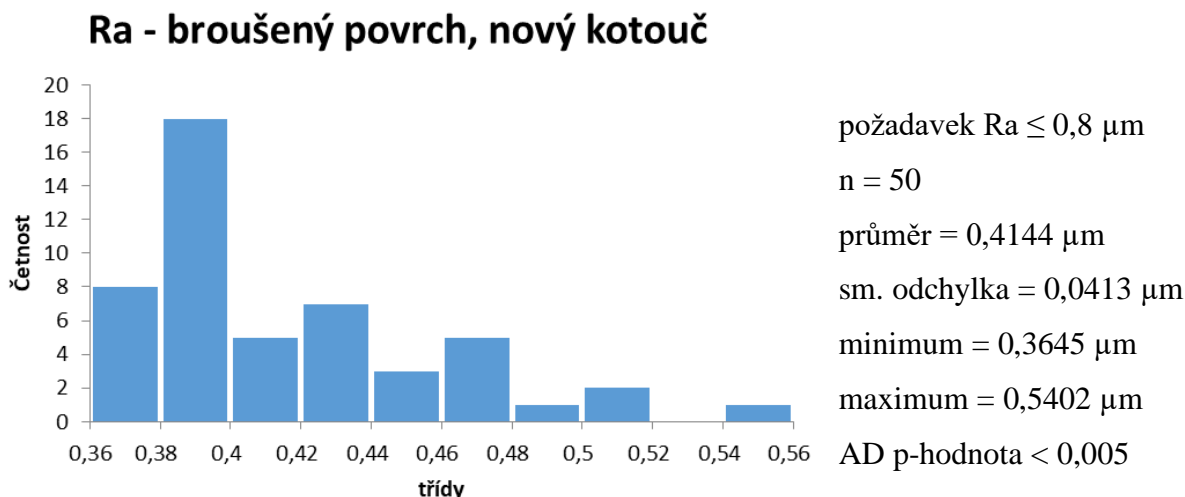
Z důvodu identifikace míst s hodnotami v souladu s požadavky specifikace byly porovnány levé a pravé strany, což je znázorněno na obr. 30. Veškeré hodnoty, které splňují předepsanou specifikaci (7 hodnot), se koncentrují na pravých stranách, a to v místě měření 3 (4 hodnoty) a místě měření 4 (3 hodnoty).



Obr. 30 Parametr Ra – broušený povrch, původní kotouč, porovnání levých a pravých stran

Rozdíl mezi levými a pravými stranami je poměrně nevýznamný (většina hodnot na „lepší“ straně stejně nesplňuje specifikaci). Povrch tedy z hlediska kritéria Ra nesplňuje předepsané požadavky (86 % hodnot přesahuje hranici $Ra = 0,8 \mu\text{m}$), a také je z tohoto hlediska výrazně horší oproti frézovanému.

Následně byl povrch broušen novým kotoučem a po provedení operace byl povrch měřen. Získaná data jsou znázorněna na obr. 31.



Obr. 31 Parametr Ra – broušený povrch, nový kotouč

Z naměřených dat je zřejmé velmi výrazné zlepšení povrchu oproti původnímu brusnému kotouči. Všechny hodnoty splňují základní specifikaci a platí pro ně $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$. U 26 z 50 hodnot (tzn. 52 %) je výsledné $Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$. U 47 z 50 hodnot (tzn. 94 %) je výsledné $Ra \leq 0,5$. Došlo k mírnému zvýšení průměru všech hodnot oproti frézovanému povrchu, a to z $Ra = 0,3884 \mu\text{m}$ po frézování na $Ra = 0,4144 \mu\text{m}$ po broušení. Došlo také ke snížení naměřeného maxima, a to z $Ra = 0,6885 \mu\text{m}$ po frézování na $Ra = 0,5402 \mu\text{m}$ po broušení. Z důvodu velmi dobrých výsledků po broušení novým kotoučem není považováno za potřebné dále porovnávat levé a pravé strany.

Z důvodu celkové přehlednosti a zhodnocení vývoje povrchu po jednotlivých operacích jsou základní statistická data znázorněna v tab. 4.

Tab. 4 Tabulka dat parametru Ra

Parametr Ra	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	0,3884	0,0851	0,2633	0,6885
Původní kotouč	0,9586	0,1688	0,6438	1,3617
Nový kotouč	0,4144	0,0413	0,3645	0,5402

Při srovnání dat z tabulky 4 je zřejmý nárůst průměru hodnot po broušení původním kotoučem vůči stavu po frézování. Neplnění předepsané specifikace $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ pro broušený povrch při použití původního kotouče je zřejmé. Jak již bylo zmíněno výše, 86 % hodnot přesahuje předepsanou mez, což není v souladu s pravidlem 16 %. Parametrem Ra tedy byla identifikována nedokonalost této operace.

Zřejmý je také mírně vyšší průměr hodnot po broušení novým kotoučem vůči frézovanému povrchu. Zde je však důležitějším faktorem maximum naměřených hodnot, které vůči stavu po frézování velmi významně pokleslo. Výsledné hodnoty Ra jsou po použití nového kotouče predikovatelnější, v užším pásmu hodnot ($< 0,2 \mu\text{m}$) a neobjevují se hodnoty výrazněji odchýlené od průměru. Povrch je konzistentnější. Z hlediska specifikace textury lze aplikovat pravidlo maxima, které lépe eliminuje vyšší hodnoty, které se objevily v případě frézovaného povrchu.

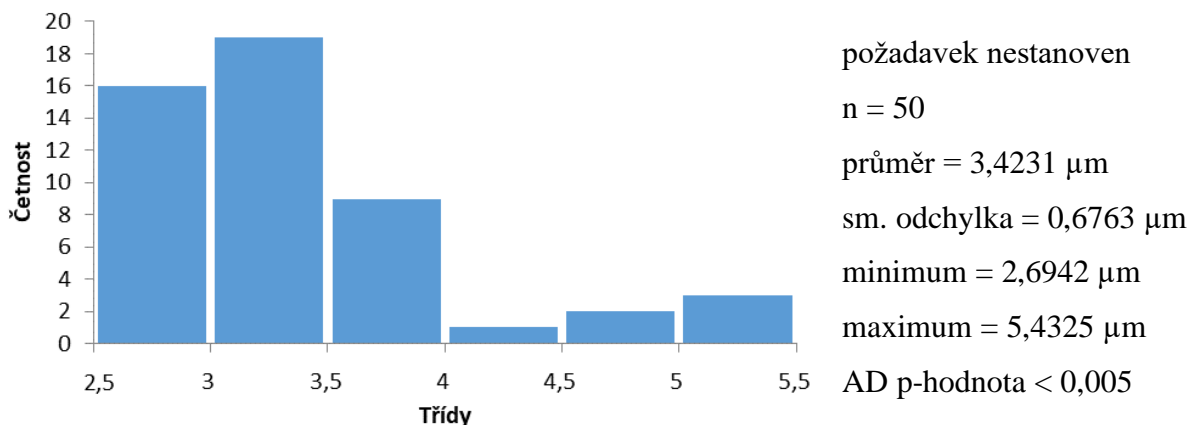
Z výše provedené analýzy vyplývá, že Ra je jedním z vhodných nástrojů pro specifikaci textury povrchu. Jeho použití je možné a lze s tímto kritériem dále při výrobě setrvat s mírnou úpravou, a to použitím pravidla maxima. Použitím parametru Ra byla odhalena nedokonalost 2. operace. Rovněž bylo úspěšně aplikováno nápravné opatření (nový kotouč).

5.2 Parametry Rz, Rp, Rv

Dalším z možných parametrů, které lze potenciálně využít pro specifikaci textury povrchu, je parametr Rz. V tomto případě neexistuje specifikace stanovená výrobní dokumentací. Parametr byl analyzován a vyhodnocen dle naměřených dat. Nejdříve byl povrch vyhodnocen po operaci frézování. Výsledná data jsou znázorněna na obr. 32.

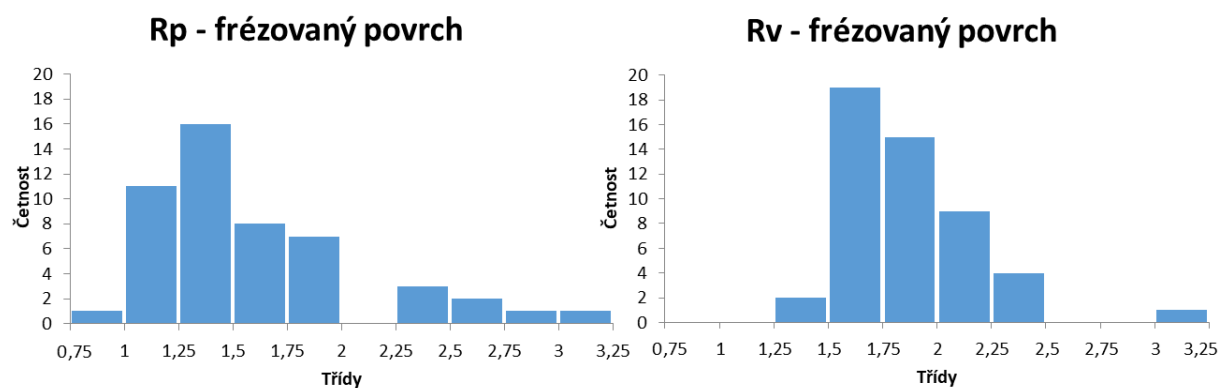
Většina naměřených hodnot se pohybuje v rozmezí od uvedeného minima do hodnoty $Rz \leq 4 \mu\text{m}$, konkrétně se jedná o 44 z 50 hodnot (tzn. 88 %). 35 z 50 hodnot dosahuje $Rz \leq 3,5 \mu\text{m}$. Tři nejvyšší naměřené hodnoty byly dosaženy na třech různých kohoutech a v odlišných místech měření. Ke koncentraci na jednu stranu kohoutů nedošlo.

Rz - frézovaný povrch



Obr. 32 Parametr Rz – frézovaný povrch

Pro bližší rozbor parametru Rz bylo nutné zanalyzovat i parametry Rp a Rv, které s parametrem Rz úzce souvisí. Příslušná data jsou znázorněna na obr. 33.



Obr. 33 Parametry Rp, Rv – frézovaný povrch

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 1,5999 μm

sm. odchylka = 0,4839 μm

minimum = 0,9955 μm

maximum = 3,1626 μm

AD p-hodnota < 0,005

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 1,8581 μm

sm. odchylka = 0,3059 μm

minimum = 1,4073 μm

maximum = 3,0214 μm

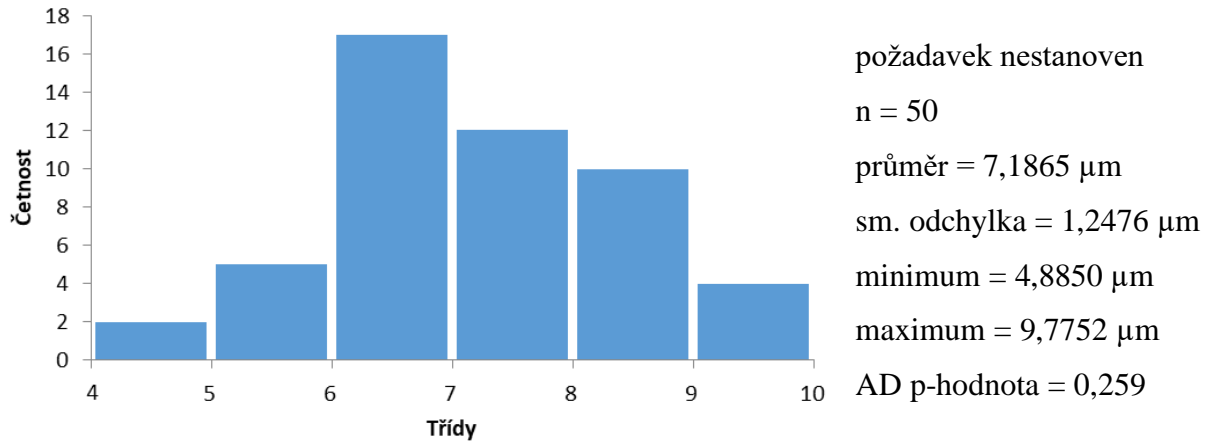
AD p-hodnota = 0,011

Z dat získaných o parametrech Rp a Rv lze blíže analyzovat skladbu parametru Rz po operaci frézování. Z obr. 33 je patrné, že Rz je tvořeno menšími výstupky a většími prohlubněmi. 42 z 50 hodnot (tzn. 84 %) parametru Rp se pohybuje v rozmezí Rp = 1 až 2 μm . 43 z 50 hodnot (tzn. 86 %) parametru Rv se pohybuje v rozmezí Rv = 1,5 až 2,25 μm . Toto také dokládá počet hodnot menších než 1,5 μm u obou parametrů (27 hodnot Rp \leq 1,5 μm , 2 hodnoty Rv \leq 1,5 μm). Průměr hodnot je také vyšší ve prospěch parametru Rv. Z výsledků lze

říci, že operace frézování tvoří v povrchu hlubší prohlubně a menší výstupky. Povrch je dále upravován další operací (broušením) a jeho vlastnosti se budou dále měnit, není tudíž potřebné analyzovat jednotlivé strany kohoutů či jednotlivá měřená místa.

Následně byl povrch vyhodnocován po broušení původním kotoučem. Naměřená data znázorněna na obr. 34.

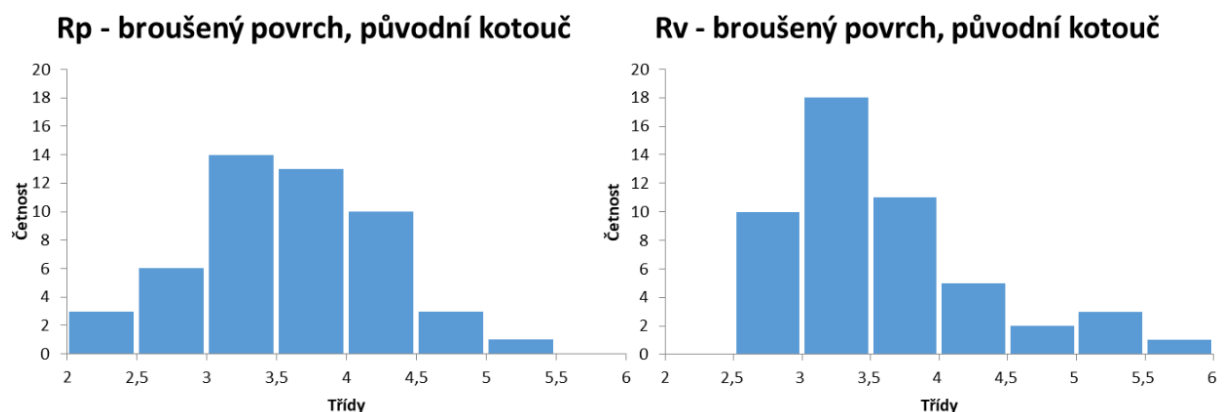
Rz - broušený povrch, původní kotouč



Obr. 34 Parametr Rz – broušený povrch, původní kotouč

Z naměřených dat je patrné, že došlo k jednoznačnému zhoršení parametru Rz po provedení broušení na stávajícím kotouči. 43 z 50 hodnot (tzn. 86 %) přesahuje 6 μm , tedy platí, že $Rz > 6 \mu\text{m}$, zatímco naměřené maximum po frézování je $Rz = 5,4325 \mu\text{m}$. Parametr Rz zde tedy jednoznačně indikuje zhoršení povrchu. Porovnávání levých a pravých stran, či porovnávání měřených míst, postrádá význam, protože lze říci, že výsledky jsou velmi špatné bez ohledu na jejich eventuální rozložení.

Z výsledku parametru Rz však nelze jednoznačně určit, zda došlo k nárůstu jeho hodnot z důvodu zvětšení výstupků, prohlubní nebo jejich kombinací. Z tohoto důvodu byla provedena analýza parametrů R_p a R_v . Naměřená data jsou znázorněna na obr. 35.



Obr. 35 Parametry R_p , R_v – broušený povrch, původní kotouč

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 3,5626 μm

sm. odchylka = 0,6492 μm

minimum = 2,2502 μm

maximum = 5,1690 μm

AD p-hodnota = 0,955

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 3,5648 μm

sm. odchylka = 0,7496 μm

minimum = 2,5460 μm

maximum = 5,8686 μm

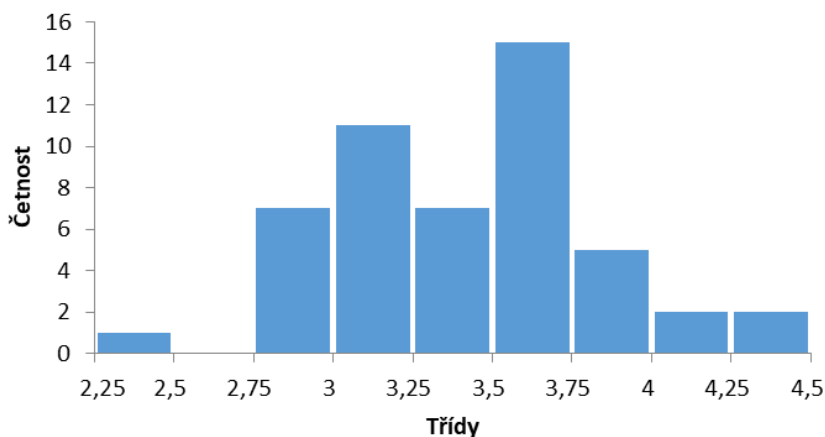
AD p-hodnota < 0,005

Z dat parametrů Rp a Rv vyplývá, že došlo ke srovnání výšek výstupků a hloubky prohlubní. Pro 27 z 50 hodnot (tzn. 54 %) parametru Rp platí, že $Rp \geq 3,5 \mu\text{m}$. Pro 22 z 50 hodnot (tzn. 44 %) parametru Rv platí, že $Rv \geq 3,5 \mu\text{m}$. Největší množství hodnot (33 hodnot, 66 %) parametru Rp se koncentruje v rozsahu $Rp = 3$ až $4,5 \mu\text{m}$. Největší množství hodnot (39 hodnot, 78 %) parametru Rv se koncentruje v rozsahu $Rv = 2,5$ až $4 \mu\text{m}$. Při srovnání průměru všech hodnot Rp a Rv je dosaženo téměř identického výsledku. U obou parametrů došlo také k výraznějšímu nárůstu maxim oproti minimům, což způsobuje výsledný širší pás hodnot. Minimum parametru Rp se posunulo z $0,9955 \mu\text{m}$ (po frézování) na $2,2502 \mu\text{m}$ (po broušení), zatímco maximum vzrostlo z $3,1626 \mu\text{m}$ (po frézování) na $5,1690 \mu\text{m}$ (po broušení). Minimum parametru Rv se posunulo z $1,4073 \mu\text{m}$ (po frézování) na $2,5460 \mu\text{m}$ (po broušení), zatímco maximum vzrostlo z $3,0214 \mu\text{m}$ (po frézování) na $5,8686 \mu\text{m}$ (po broušení).

Z výsledků lze říci, že nárůst parametru Rz oproti stavu po frézování je způsoben zejména zvýšením hodnot výstupků. Porovnání levých a pravých stran obdobně jako u Rz po broušení nemá význam, a to z důvodu poměrně výrazného zhoršení parametrů, tedy lze říci, že výsledky jsou obecně špatné bez ohledu na jejich lokalizaci.

Následně byl povrch broušen novým kotoučem a po provedení operace byl povrch měřen. Získaná data jsou znázorněna na obr. 36.

Rz - broušený povrch, nový kotouč



požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 3,4217 μm

sm. odchylka = 0,4137 μm

minimum = 2,3251 μm

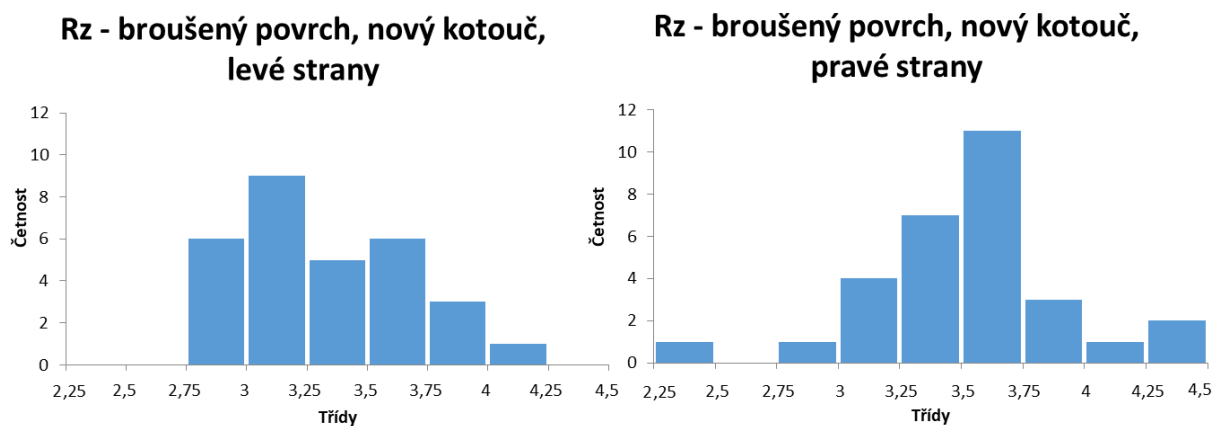
maximum = 4,4458 μm

AD p-hodnota = 0,443

Obr. 36 Parametr Rz – broušený povrch, nový kotouč

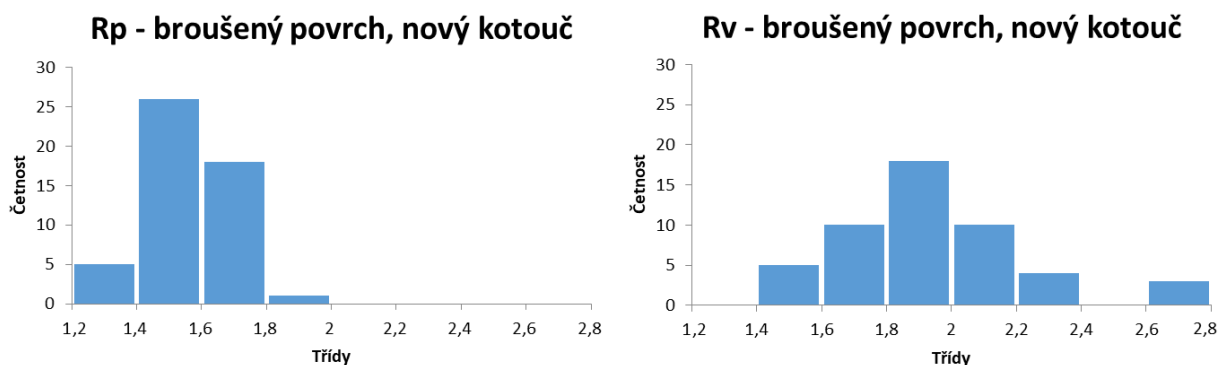
Z naměřených dat je patrné výrazné zlepšení parametru Rz při použití nově navrženého kotouče. Všechny naměřené hodnoty (tzn. 100 %) jsou nižší, než je minimum v případě broušení původním kotoučem (nejnižší hodnota po broušení původním kotoučem je $Rz = 4,8850 \mu\text{m}$). Parametr Rz tedy indikuje velmi významné zlepšení povrchu. Největší koncentrace hodnot je v rozsahu $Rz = 2,75$ až $3,75 \mu\text{m}$, konkrétně 40 z 50 hodnot (tzn. 80 %). Povrch také dosahuje lepších hodnot Rz v porovnání s frézovaným povrchem. Minimum po frézování je $2,6942 \mu\text{m}$, zatímco minimum po broušení novým kotoučem je $2,3251 \mu\text{m}$. Maximum po frézování je $5,4325 \mu\text{m}$, zatímco maximum po broušení novým kotoučem je $4,4458 \mu\text{m}$. Došlo také ke snížení rozdílu mezi maximem a minimem oproti frézování, tedy výsledné spektrum hodnot je v užším pásu a hodnoty jsou konzistentnější. Průměry všech naměřených hodnot Rz po frézování a po broušení jsou téměř identické, v případě frézovaného povrchu je průměr všech hodnot $3,4231 \mu\text{m}$, zatímco u broušeného novým kotoučem je průměr hodnot $3,4217 \mu\text{m}$.

Z důvodu potvrzení výsledků byly analyzovány i levé a pravé strany zvlášť. Výsledná data jsou znázorněna na obr. 37. Data jsou rozložena mezi obě strany poměrně rovnoměrně a nedochází k výraznější koncentraci horších hodnot na jedné straně kohoutů. V rozsahu $Rz = 2,75$ až $3,75 \mu\text{m}$, kde se nachází největší množství hodnot, jsou na tom mírně hůře pravé strany kohoutů, rozdíl je však velmi malý. Zajímavým jevem je, že minimum a tři nejvyšší hodnoty (včetně maxima) byly naměřeny všechny na pravých stranách a každá z těchto hodnot v jiném místě měření. Konkrétně minimum $2,3251 \mu\text{m}$ na kohoutu 3 v měřeném místě 5, maximum $4,4458 \mu\text{m}$ na kohoutu 1 v měřeném místě 1. Zmíněné další dvě hodnoty pak na kohoutu 4 v měřeném místě 2 a na kohoutu 5 v měřeném místě 3.



Obr. 37 Parametr Rz – broušený povrch, nový kotouč, porovnání levých a pravých stran

Pro bližší určení rozložení Rz mezi výstupky a prohlubně bylo nutné opět analyzovat i parametry Rp a Rv. Naměřená data jsou znázorněna na obr. 38.



Obr. 38 Parametry Rp, Rv – broušený povrch, nový kotouč

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 1,5617 μm

sm. odchylka = 0,1266 μm

minimum = 1,3133 μm

maximum = 1,8330 μm

AD p-hodnota = 0,351

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 1,9323 μm

sm. odchylka = 0,2746 μm

minimum = 1,4761 μm

maximum = 2,7103 μm

AD p-hodnota = 0,023

Ze získaných dat je patrné, že u zkoumaného parametru Rz jednoznačně převažují hlubší prohlubně. Výšky výstupků oproti prohlubním jsou znatelně menší. Pro 49 z 50 hodnot (tzn. 98 %) parametru Rp platí, že jejich hodnota $R_p \leq 1,8 \mu\text{m}$, zatímco u parametru Rv je 35 z 50 hodnot (tzn. 70 %) vyšší než tato hodnota (tedy platí, že pro tyto hodnoty $R_v > 1,8 \mu\text{m}$). Rozdíl mezi minimem a maximem parametru Rv je také znatelně vyšší oproti rozdílu minima a maxima parametru Rp. Lze tedy říci, že Rz bylo touto operací významně sníženo oproti původnímu kotouči, a to zejména zmenšením výstupků.

Z důvodu celkové přehlednosti a zhodnocení vývoje povrchu po jednotlivých operacích jsou základní statistická data znázorněna v tab. 5,6 a 7.

Tab. 5 Tabulka dat parametru Rz

Parametr Rz	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	3,4231	0,6763	2,6942	5,4325
Původní kotouč	7,1865	1,2476	4,8850	9,7752
Nový kotouč	3,4217	0,4137	2,3251	4,4458

Tab. 6 Tabulka dat parametru Rp

Parametr Rp	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	1,5999	0,4839	0,9955	3,1626
Původní kotouč	3,5626	0,6492	2,2502	5,1690
Nový kotouč	1,5617	0,1266	1,3133	1,8330

Tab. 7 Tabulka dat parametru Rv

Parametr Rv	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	1,8581	0,3059	1,4073	3,0214
Původní kotouč	3,5648	0,7496	2,5460	5,8686
Nový kotouč	1,9323	0,2746	1,4761	2,7103

Při srovnání dat z tabulek 5, 6 a 7 je zřejmý nárůst průměru hodnot parametru Rz po broušení původním kotoučem vůči stavu po frézování. Děje se tak z důvodu vyššího nárůstu výšky výstupků a nižšího nárůstu hloubky prohlubní, což je zřejmé z průměrů hodnot Rp a Rv. To je pro povrch negativní z důvodu vyššího tření při kontaktu s protikusem. Ačkoliv je maximum Rv po broušení původním kotoučem vyšší než maximum Rp, předchozí analýza dat ukázala rovnoměrné rozložení mezi výstupky a prohlubně. Parametrem Rz tedy byla identifikována nedokonalost této operace.

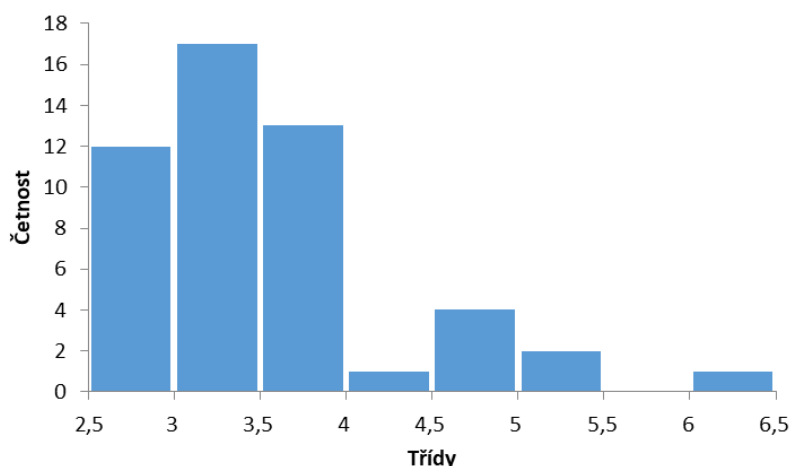
Při srovnání povrchu po frézování a po broušení novým kotoučem je zřejmé zlepšení povrchu po provedení broušení. Ačkoliv průměry hodnot Rz zůstaly po těchto operacích téměř identické, došlo k mírnému snížení průměrné výšky výstupků Rp a k mírnému zvýšení průměrné hloubky prohlubní Rv. To je pro povrch výhodné z důvodu lepšího zadržování maziva a nižšího tření při kontaktu s protikusem. Rovněž došlo k významnému snížení naměřeného maxima Rz po broušení novým kotoučem vůči stavu po frézování, což je pro specifikaci textury zásadní. Lze tedy aplikovat pravidlo maxima, které eliminuje vyšší hodnoty, které se objevily v případě frézovaného povrchu. Naměřené minimum Rz je také nižší ve prospěch broušení novým kotoučem.

Z výše provedené analýzy vyplývá, že Rz je jedním z vhodných nástrojů pro specifikaci textury povrchu. Jeho použití je možné, v současnosti však není stanovena mezní hodnota výrobní specifikací. Tu je nutné stanovit na základě provedené analýzy pomocí pravidla maxima. Pro broušený povrch lze považovat za přínosné použití kombinace parametrů Rz a Rp z důvodu omezení výšky výstupků pro finální povrch. Použitím parametru Rz byla odhalena nedokonalost 2. operace. Rovněž bylo úspěšně aplikováno nápravné opatření (nový kotouč).

5.3 Parametr Rt

Dalším z možných parametrů, které lze potenciálně využít pro specifikaci textury povrchu, je Rt. V tomto případě neexistuje specifikace stanovená výrobní dokumentací. Parametr byl analyzován a vyhodnocen dle naměřených dat. Nejdříve byl povrch vyhodnocen po operaci frézování. Výsledná data jsou znázorněna na obr. 39.

Rt - frézovaný povrch



požadavek nestanoven

$n = 50$

průměr = $3,5672 \mu\text{m}$

sm. odchylka = $0,7656 \mu\text{m}$

minimum = $2,7027 \mu\text{m}$

maximum = $6,4805 \mu\text{m}$

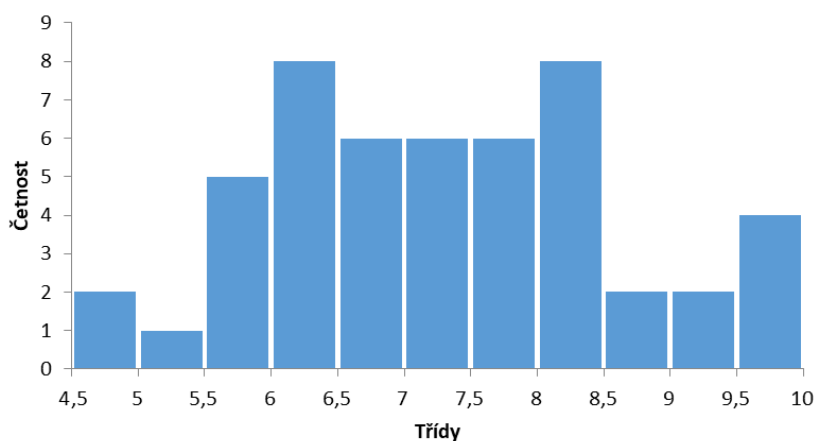
AD p-hodnota < $0,005$

Obr. 39 Parametr Rt – frézovaný povrch

Ze získaných dat vyplývá, že po provedení frézování se největší množství hodnot koncentruje v rozsahu $Rt = 2,5$ až $4 \mu\text{m}$. Konkrétně se jedná o 42 z 50 hodnot (tzn. 84 %). Dalších 7 z 50 hodnot (tzn. 14 %) je v rozsahu $Rt = 4$ až $5,5 \mu\text{m}$. Hodnota maxima je pak $6,4805 \mu\text{m}$.

Následně byl povrch vyhodnocován po broušení původním kotoučem. Naměřená data jsou znázorněna na obr. 40.

Rt - broušený povrch, původní kotouč



požadavek nestanoven

$n = 50$

průměr = $7,2765 \mu\text{m}$

sm. odchylka = $1,2838 \mu\text{m}$

minimum = $4,8850 \mu\text{m}$

maximum = $9,7768 \mu\text{m}$

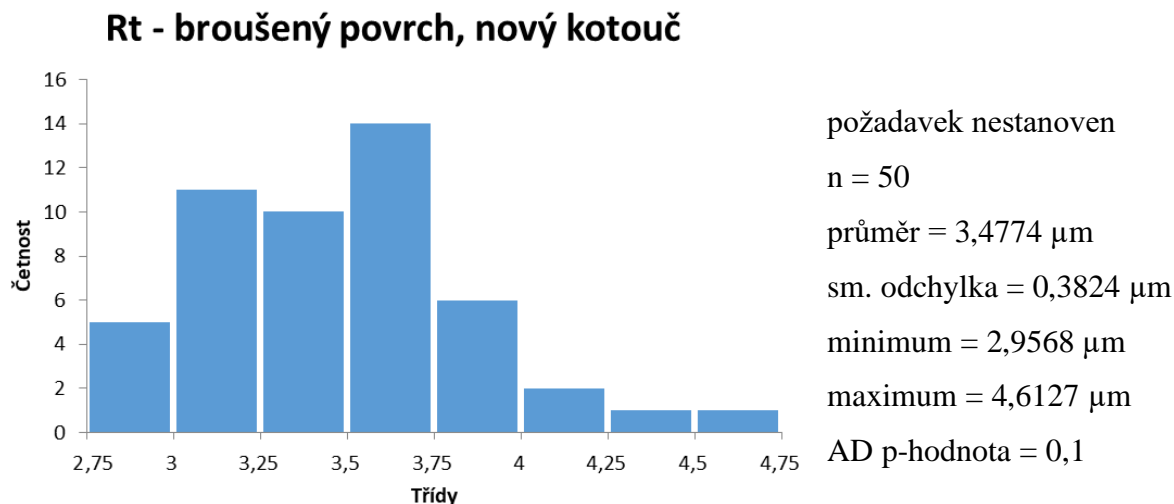
AD p-hodnota = $0,506$

Obr. 40 Parametr Rt – broušený povrch, původní kotouč

Z naměřených dat je patrné, že došlo k výraznému zhoršení povrchu po provedení broušení. Průměr všech naměřených hodnot se oproti povrchu po frézování přibližně zdvojnásobil (po frézování průměrné $Rt = 3,5672 \mu\text{m}$, po broušení původním kotoučem průměrné $Rt = 7,2765 \mu\text{m}$). Pro 47 z 50 hodnot (tzn. 94 %) platí, že $Rt > 5,5 \mu\text{m}$. Oproti tomu po frézování překročila tuto hranici pouze jedna hodnota. Největší množství hodnot se koncentruje v rozmezí $Rt = 5,5$ až $8,5 \mu\text{m}$ (39 hodnot, 78 %). Rozdíl mezi minimem a maximem je $4,8918 \mu\text{m}$, což způsobuje široké spektrum naměřených hodnot parametru Rt. Informaci o změnách velikosti výstupků a prohlubní nelze získat stejným způsobem jako u Rz. Posuzování

levých a pravých stran zvláště není podstatné, protože povrch je obecně významně horší bez ohledu na rozmístění hodnot.

Následně byl povrch broušen novým kotoučem a po provedení operace byl povrch měřen. Získaná data jsou znázorněna na obr. 41.



Obr. 41 Parametr Rt – broušený povrch, nový kotouč

Z naměřených dat je patrné, že po broušení nově navrženým kotoučem došlo k výraznému zlepšení parametru Rt. 46 z 50 hodnot (tzn. 92 %) parametru Rt se pohybuje v rozsahu Rt = 2,75 až 4 μm. 35 z 50 hodnot (tzn. 70 %) je v rozmezí Rt = 3 až 3,75 μm. Maximum po broušení novým kotoučem má nižší hodnotu (4,6127 μm), než minimum po broušení původním kotoučem (4,8850 μm). To jednoznačně dokládá výrazné zlepšení povrchu. Došlo k snížení průměru hodnot vůči stavu po frézování. Průměr všech hodnot Rt po broušení novým kotoučem je 3,4774 μm, po frézování je průměr hodnot 3,5672 μm. Došlo také k výraznému snížení maxima oproti stavu pro frézování (po frézování je maximum 6,4805 μm, po broušení novým kotoučem je maximum 4,6127 μm).

Z důvodu celkové přehlednosti a zhodnocení vývoje povrchu po jednotlivých operacích jsou základní statistická data znázorněna v tab. 8.

Tab. 8 Tabulka dat parametru Rt

Parametr Rt	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	3,5672	0,7656	2,7027	6,4805
Původní kotouč	7,2765	1,2838	4,8850	9,7768
Nový kotouč	3,4774	0,3824	2,9568	4,6127

Při srovnání dat z tabulky 8 je zřejmý nárůst průměru hodnot po broušení původním kotoučem vůči stavu po frézování. Tento nárůst je přibližně dvojnásobný. Významně také narostlo minimum i maximum naměřených hodnot. Parametrem Rt tedy byla identifikována nedokonalost této operace.

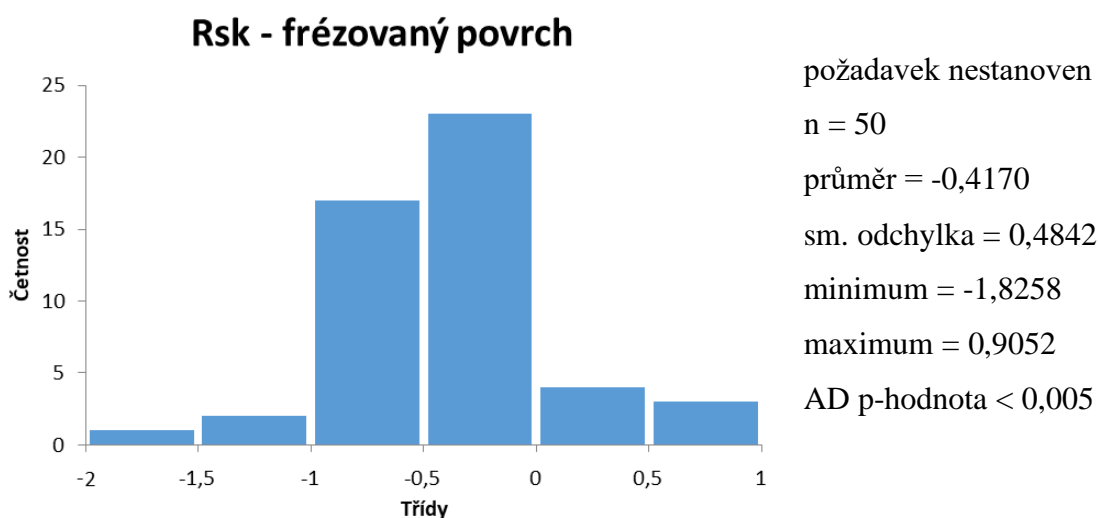
Při srovnání povrchu po frézování a po broušení novým kotoučem je zřejmé zlepšení povrchu po provedení broušení. Celkový průměr hodnot mírně poklesl. Rovněž došlo k významnému snížení naměřeného maxima R_t po broušení novým kotoučem vůči stavu po frézování, což je pro specifikaci textury zásadní. Lze tedy aplikovat pravidlo maxima, které eliminuje vyšší hodnoty, které se objevily v případě frézovaného povrchu. Navržené nápravné opatření (nový kotouč) bylo úspěšně aplikováno. Pomocí tohoto parametru byla úspěšnost ověřena.

Z výše je provedené analýzy vyplývá, že parametr R_t lze použít pro specifikaci textury povrchu použitím pravidla maxima. Nelze však jednoznačně identifikovat charakter povrchu z hlediska výšky výstupků a hloubky prohlubní jako v případě parametrů R_z , R_p a R_v . Z hlediska specifikace ve výrobní dokumentaci se použití tohoto parametru jeví bez dalšího přínosu oproti použití parametru R_z . Parametr R_t tudíž z tohoto důvodu lze považovat za méně vhodný nástroj pro hodnocení textury povrchu pro tuto konkrétní aplikaci.

5.4 Parametr R_{sk}

V této podkapitole bude analyzována šikmost posuzovaného povrchu R_{sk} . Ačkoliv tento parametr nelze považovat za nejvhodnější volbu jako specifikaci textury povrchu, jeho rozbor po jednotlivých operacích je důležitý pro potvrzení správnosti nápravného opatření při broušení, a kvůli zisku informace o tom, jak se funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$ posouvá k vrcholům (kladné hodnoty R_{sk}) nebo k prohlubním (záporné hodnoty R_{sk}) po jednotlivých operacích. Žádoucím jevem jsou v tomto případě záporné či téměř nulové hodnoty. Protože neexistuje žádná specifikace výrobní dokumentací, bylo nutné srovnávat vývoj hodnot po provedení jednotlivých operací.

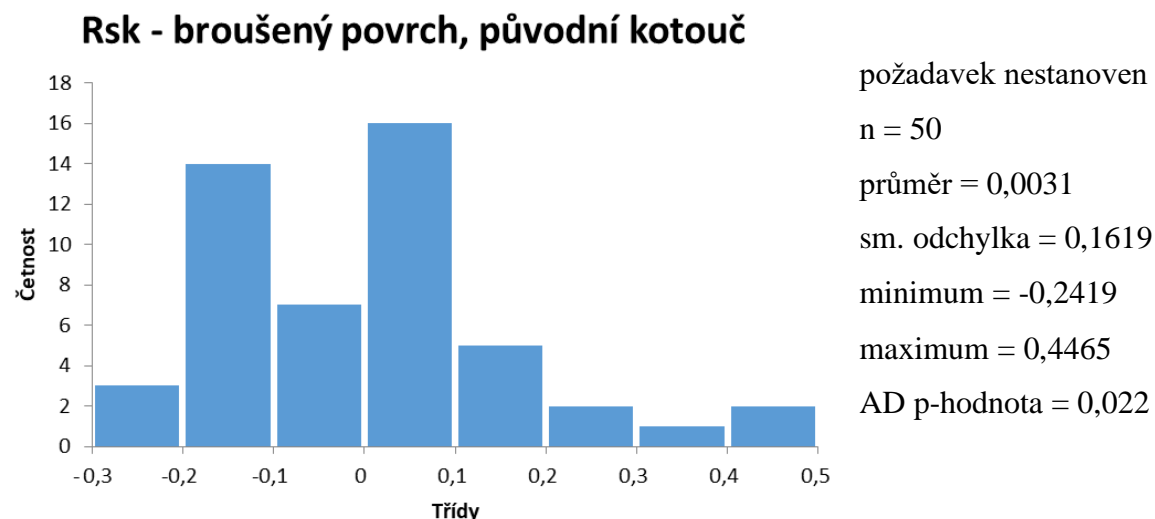
Nejdříve byl povrch vyhodnocen po operaci frézování. Výsledná data jsou znázorněna na obr. 42.



Obr. 42 Parametr R_{sk} – frézovaný povrch

Mezi naměřenými daty dominují záporné hodnoty parametru Rsk. Pouze 7 z 50 hodnot (tzn. 14 %) je kladných. Většina hodnot se koncentruje v rozmezí $Rsk = -1$ až 0, konkrétně 40 z 50 (tzn. 80 %). Funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$ se tedy posouvá více k prohlubním. Průměr všech hodnot je $Rsk = -0,4170$. Alespoň jedna kladná hodnota byla naměřena v každém z pěti měřených míst a na každém z pěti kohoutů. 4 ze 7 kladných hodnot byly naměřeny na pravých stranách kohoutů.

Následně byl povrch vyhodnocován po broušení původním kotoučem. Naměřená data jsou znázorněna na obr. 43.



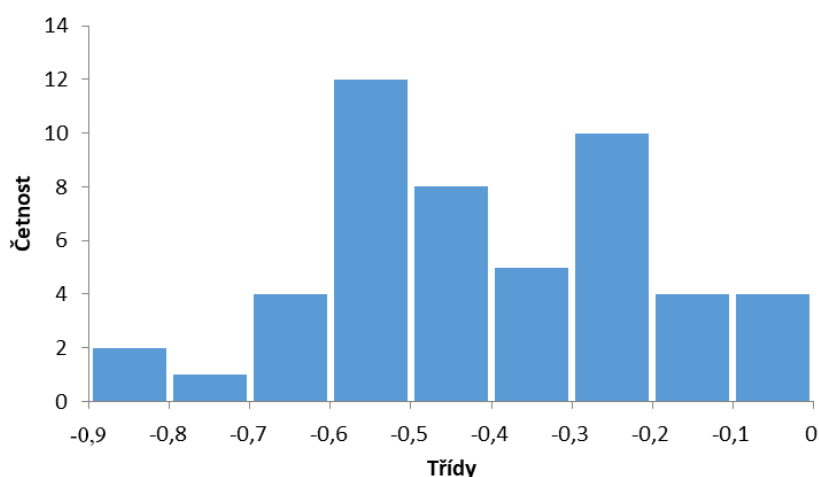
Obr. 43 Parametr Rsk – broušený povrch, původní kotouč

Z naměřených dat po broušení původním kotoučem je patrný posun směrem k nulovým a kladným hodnotám. Průměr hodnot po frézování je $-0,4170$, po broušení je $0,0031$. 42 z 50 hodnot (tzn. 84 %) se koncentruje v rozsahu $Rsk = -0,2$ až $0,2$. Přesně polovina z těchto hodnot (21 hodnot, 42 %) pak spadá do intervalu $Rsk = -0,2$ až 0 , druhá polovina těchto hodnot do intervalu $Rsk = 0$ až $0,2$. Lze tedy říci, že oproti frézovanému povrchu se funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$ posunula od prohlubní k více symetrickému povrchu až lehké dominanci výstupků.

Následně byl povrch broušen novým kotoučem a po provedení operace byl povrch měřen. Získaná data jsou znázorněna na obr. 44.

Z naměřených dat po broušení novým kotoučem je zřejmý posun funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$ k prohlubním. To dokládá fakt, že žádná z 50 naměřených hodnot nebyla kladná. Míra vychýlení k prohlubním je pro povrch výhodná a realizuje se v dostatečném rozsahu. Hodnota minima je $-0,8869$, hodnota maxima je $-0,0553$. 35 z 50 hodnot (tzn. 70 %) se koncentruje v rozsahu $Rsk = -0,6$ až $-0,2$. Hodnota průměru všech hodnot je velmi podobná jako po frézování (průměr po frézování $Rsk = -0,4170$, průměr po broušení novým kotoučem $-0,4125$), rozsah hodnot je však oproti frézovanému povrchu výrazně užší a povrch je konzistentnější.

Rsk - broušený povrch, nový kotouč



požadavek nestanoven

n = 50

průměr = -0,4125

sm. odchylka = 0,2055

minimum = -0,8869

maximum = -0,0553

AD p-hodnota = 0,083

Obr. 44 Parametr Rsk – broušený povrch, nový kotouč

Z důvodu celkové přehlednosti a zhodnocení vývoje povrchu po jednotlivých operacích jsou základní statistická data znázorněna v tab. 9.

Tab. 9 Tabulka dat parametru Rsk

Parametr Rsk	Průměr	Sm. Odchylka	Minimum	Maximum	Počet kladných hodnot	Počet záporných hodnot
Frézovaný povrch	- 0,4170	0,4842	- 1,8258	0,9052	7	43
Původní kotouč	0,0031	0,1619	- 0,2419	0,4465	26	24
Nový kotouč	- 0,4125	0,2055	- 0,8869	- 0,0553	0	50

Při srovnání dat z tabulky 9 pro frézovaný povrch a pro povrch broušený původním kotoučem je zřejmý nárůst průměru hodnot po broušení. Funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$ se posunula od prohlubní k více symetrickému povrchu. Tento jev je indikován i počtem naměřených kladných a záporných hodnot. Protože jsou pro povrch výhodnější mírně dominantnější prohlubně, lze tento posun vnímat jako negativní. Výskyt vysokých absolutních hodnot minima a maxima v případě frézovaného povrchu také není nejvhodnější, a to z důvodu méně konzistentnějšího povrchu.

Při srovnání povrchu po frézování a po broušení novým kotoučem je zřejmé zlepšení povrchu po provedení broušení. Přestože průměr naměřených hodnot je téměř identický, po broušení novým kotoučem nebyla naměřena žádná kladná hodnota. Zároveň také došlo k významnému přiblížení hodnot minima a maxima. Maximum se blíží nulové hodnotě (stále je však záporné). Míra vychýlení funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$ k prohlubním je pro povrch výhodná, protože se realizuje v dostatečném rozsahu, a zároveň není příliš velká. To má za následek snížení tření při kontaktu s protikusem, lepší zadržování

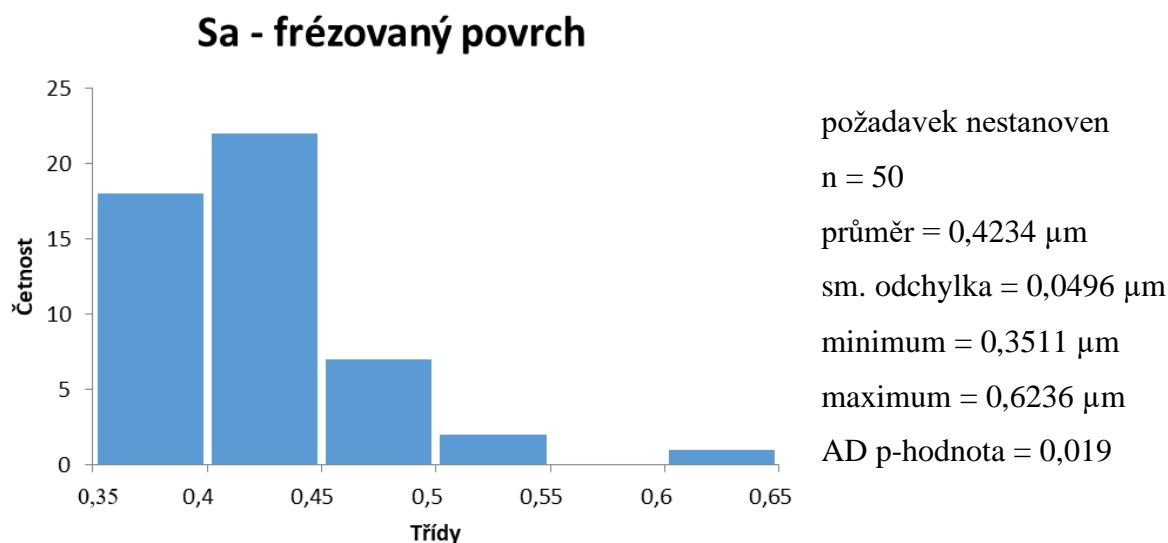
maziva, a zároveň menší riziko vzniku trhlin (trhliny mohou vznikat z důvodu přítomnosti příliš hlubokých prohlubní). Navržené nápravné opatření (nový kotouč) bylo úspěšně aplikováno. Pomocí tohoto parametru byla úspěšnost ověřena.

Použití samostatného parametru Rsk pro specifikaci textury povrchu nelze považovat za nejvhodnější volbu, protože z jeho hodnot nelze jednoznačně identifikovat charakter povrchu, ale pouze vychýlení funkce hustoty pravděpodobnosti souřadnic $Z(x)$. Jeho použití pro specifikaci povrchu lze eventuálně považovat za možné v kombinaci s jinými parametry, existují však vhodnější kritéria.

5.5 Parametr Sa

V této podkapitole byl analyzován parametr Sa (plošný ekvivalent profilového parametru Ra). Jedná se o jednu z potenciálních alternativ při specifikaci textury povrchu (v případě přechodu na hodnocení pomocí plošné metody). Firma má v současnosti pouze malé zkušenosti s použitím plošných parametrů. Rovněž neexistuje žádná specifikace stanovená výrobní dokumentací. Parametr bylo nutné analyzovat a vyhodnotit dle naměřených dat.

Nejdříve byl povrch vyhodnocen po operaci frézování. Výsledná data jsou znázorněna na obr. 45.

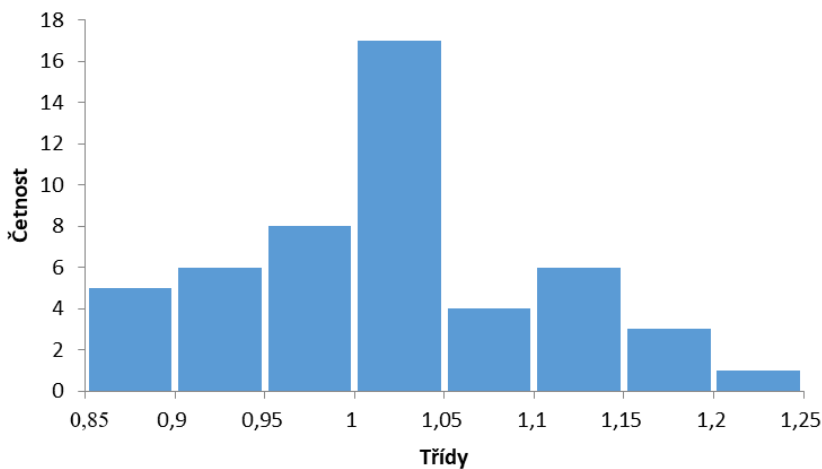


Obr. 45 Parametr Sa – frézovaný povrch

Pro 40 z 50 hodnot (tzn. 80 %) platí, že se koncentrují v rozsahu $Sa = 0,35$ až $0,45 \mu\text{m}$. 7 z 50 hodnot (tzn. 14 %) je pak v rozsahu $Sa = 0,45$ až $0,5 \mu\text{m}$. Naměřené maximum $Sa = 0,6236 \mu\text{m}$ je ostatním hodnotám poměrně vzdálené. Nachází se na kohoutu 5 na levé straně v měřeném místě 3. Rozložení hodnot mezi levé a pravé strany nebylo dále analyzováno z důvodu další úpravy povrchu.

Následně byl povrch vyhodnocován po broušení původním kotoučem. Naměřená data jsou znázorněna na obr. 46.

Sa - broušený povrch, původní kotouč



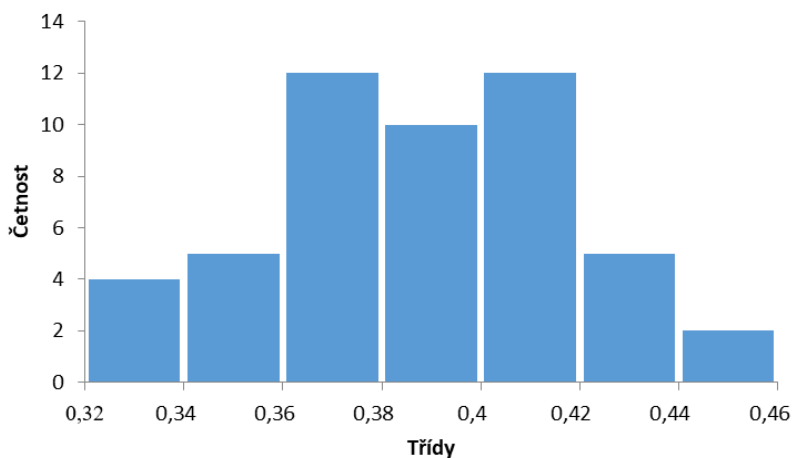
požadavek nestanoven
 n = 50
 průměr = 1,0250 μm
 sm. odchylka = 0,0886 μm
 minimum = 0,8561 μm
 maximum = 1,2215 μm
 AD p-hodnota = 0,337

Obr. 46 Parametr Sa – broušený povrch, původní kotouč

Po broušení původním kotoučem je parametrem Sa indikováno zhoršení povrchu. Průměrná hodnota se zvýšila přibližně 2,5x vůči stavu po frézování (po frézování je průměr Sa = 0,4234 μm, po broušení původním kotoučem je průměr Sa = 1,0250 μm). Minimum po broušení původním kotoučem (Sa = 0,8561 μm) je významně vyšší, než maximum po frézování (Sa = 0,6236 μm). Největší množství hodnot se koncentruje v rozsahu Sa = 1 až 1,05 μm, konkrétně 17 z 50 hodnot (tzn. 34 %). Pro 19 z 50 hodnot (tzn. 38 %) platí, že Sa < 1 μm, pro 14 z 50 hodnot (tzn. 28 %) platí, že Sa ≥ 1,05 μm. Levé a pravé strany nebyly dále porovnávány z důvodu obecně špatných výsledků bez ohledu na jejich rozložení.

Následně byl povrch broušen novým kotoučem a po provedení operace byl povrch měřen. Získaná data jsou znázorněna na obr. 47.

Sa - broušený povrch, nový kotouč



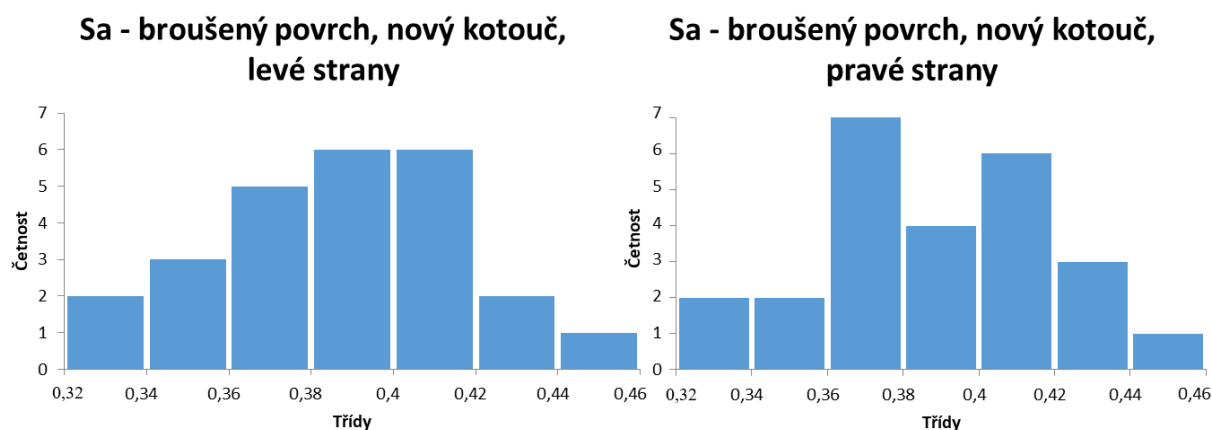
požadavek nestanoven
 n = 50
 průměr = 0,3898 μm
 sm. odchylka = 0,0308 μm
 minimum = 0,3216 μm
 maximum = 0,4587 μm
 AD p-hodnota = 0,632

Obr. 47 Parametr Sa – broušený povrch, nový kotouč

Z naměřených dat po broušení novým kotoučem je zřejmé zlepšení parametru Sa vůči oběma předchozím stavům. Povrch dosahuje nejnižšího průměru, minima i maxima. Rozdíl

mezi minimem a maximem se významně snížil, hodnoty se nacházejí v mnohém užším pásmu hodnot a jsou konzistentnější. Největší množství hodnot (34 z 50, 68 %) se koncentruje v rozsahu $Sa = 0,36$ až $0,4 \mu\text{m}$.

Z důvodu potvrzení výsledků byly analyzovány i levé a pravé strany zvlášť. Naměřená data jsou znázorněna na obr. 48. Obě strany vykazují podobné rozložení hodnot. Pro obě strany platí, že v rozsahu $Sa = 0,36$ až $0,42 \mu\text{m}$ se koncentruje 17 z 25 hodnot. V případě levých stran pro 5 z 25 hodnot platí, že $Sa < 0,36 \mu\text{m}$, v případě pravých stran pro 4 z 25 hodnot platí, že $Sa < 0,36 \mu\text{m}$. Průměry hodnot obou stran jsou téměř identické (průměr levých stran je $Sa = 0,3891 \mu\text{m}$, průměr pravých je stran $Sa = 0,3906 \mu\text{m}$).



Obr. 48 Parametr Sa – broušený povrch, nový kotouč, porovnání levých a pravých stran

Z důvodu celkové přehlednosti a zhodnocení vývoje povrchu po jednotlivých operacích jsou základní statistická data znázorněna v tab. 10.

Tab. 10 Tabulka dat parametru Sa

Parametr Sa	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	0,4234	0,0496	0,3511	0,6236
Původní kotouč	1,0250	0,0886	0,8561	1,2215
Nový kotouč	0,3898	0,0308	0,3216	0,4587

Při srovnání dat z tabulky 10 je zřejmý výrazný nárůst průměru hodnot po broušení původním kotoučem vůči stavu po frézování. Významně také narostlo minimum i maximum naměřených hodnot. Minimum po broušení původním kotoučem je významně vyšší, než maximum po frézování. Parametrem Sa byla identifikována nedokonalost této operace.

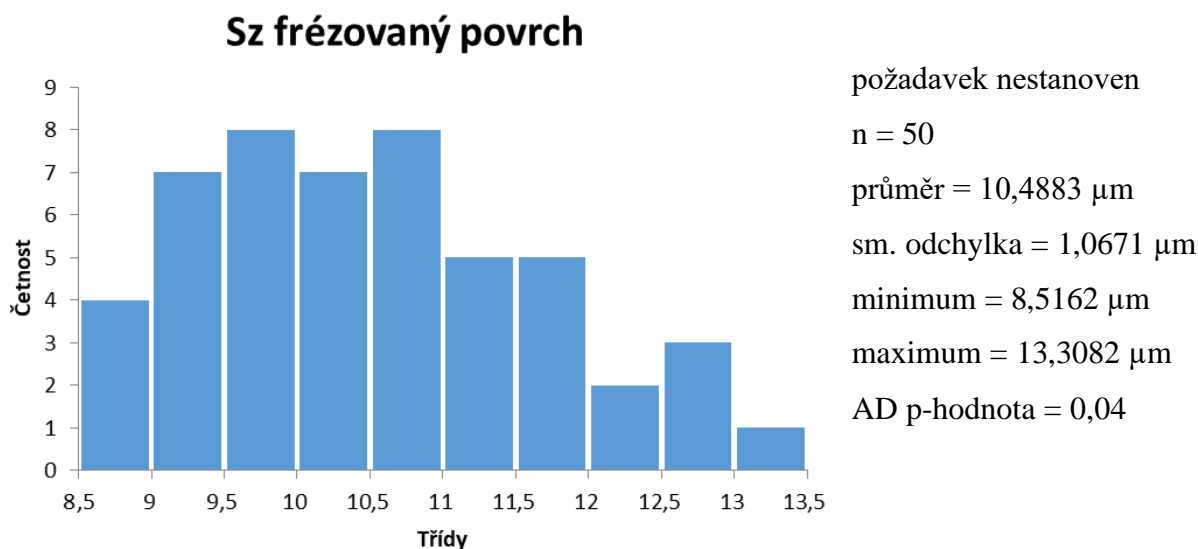
Při srovnání povrchu po frézování a po broušení novým kotoučem je zřejmé zlepšení povrchu po provedení broušení. Celkový průměr hodnot se snížil. Rovněž došlo k významnému snížení naměřeného maxima Sa po broušení novým kotoučem vůči stavu po frézování, což je pro specifikaci textury zásadní. Lze tedy aplikovat pravidlo maxima, které eliminuje vyšší hodnoty, které se objevily v případě frézovaného povrchu. Navržené nápravné opatření (nový kotouč) bylo úspěšně aplikováno. Pomocí tohoto parametru byla úspěšnost ověřena.

Parametr Sa lze obecně považovat za jeden z vhodných nástrojů pro specifikaci textury povrchu. Výsledky analýzy parametru Sa jsou srovnatelné s výsledky analýzy parametru Ra, využití parametru Sa ke specifikaci textury povrchu tedy v tomto případě neposkytuje žádný další přínos v porovnání s použitím parametru Ra, Z důvodu malých zkušeností firmy s používáním plošných parametrů je považováno za vhodnější setrvání s parametrem Ra.

5.6 Parametry Sz, Sp, Sv

V této podkapitole byl analyzován parametr Sz (plošný ekvivalent profilového parametru Rz). Zároveň byly analyzovány i parametry Sp a Sv (plošné ekvivalenty profilových parametrů Rp a Rv) z důvodu získání podrobnějších informací o povrchu. Parametr Sz lze považovat za jednu z potenciálních alternativ při specifikaci textury povrchu (v případě přechodu na hodnocení pomocí plošné metody). Firma má v současnosti pouze malé zkušenosti s použitím plošných parametrů. Rovněž neexistuje žádná specifikace stanovená výrobní dokumentací. Parametry bylo nutné analyzovat a vyhodnotit dle naměřených dat.

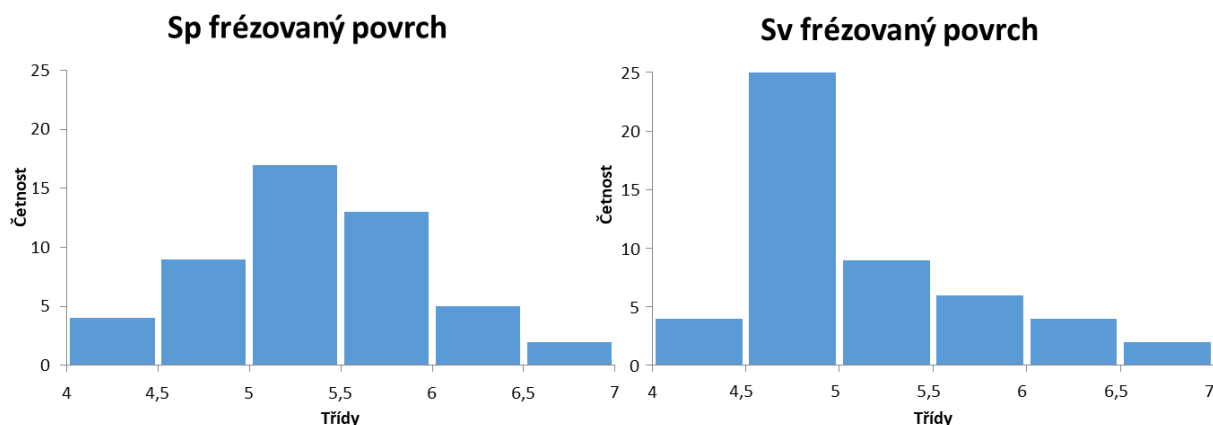
Nejdříve byl povrch vyhodnocen po operaci frézování. Výsledná data jsou znázorněna na obr. 49.



Obr. 49 Parametr Sz – frézovaný povrch

Naměřená data vykazují poměrně rovnoměrné rozložení do většiny tříd. Naměřené minimum je Sz = 8,5162 μm, naměřené maximum je Sz = 13,3082 μm. 30 z 50 hodnot (tzn. 60 %) se koncentruje v rozsahu Sz = 9 až 11 μm. V této oblasti se nachází průměr hodnot Sz = 10,4883 μm. Dalších 10 z 50 hodnot (tzn. 20 %) se nachází v rozsahu Sz = 11 až 12 μm. Pro 6 z 50 nejvyšších hodnot (tzn. 12 %) pak platí, že Sz > 12 μm. Oproti tomu pro 4 z 50 hodnot (tzn. 8 %) je hodnota Sz ≤ 9 μm.

Pro bližší rozbor parametru Sz bylo nutné zanalyzovat i parametry Sp a Sv, které s parametrem Sz úzce souvisí. Příslušná data jsou znázorněna na obr. 50.



Obr. 50 Parametry Sp, Sv – frézovaný povrch

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 5,3887 μm

sm. odchylka = 0,6278 μm

minimum = 4,2581 μm

maximum = 6,9877 μm

AD p-hodnota = 0,741

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 5,1460 μm

sm. odchylka = 0,6261 μm

minimum = 4,1895 μm

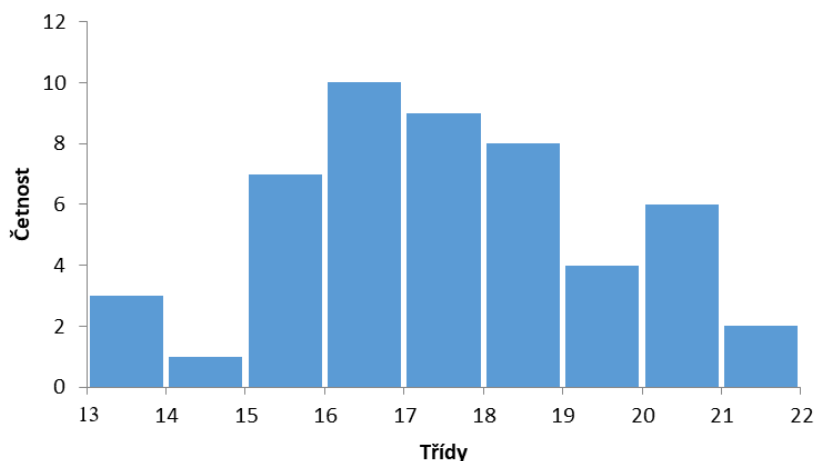
maximum = 6,9881 μm

AD p-hodnota < 0,005

Z naměřených dat vyplývá, že parametr Sz se po frézování rozkládá mezi vrcholy a dna poměrně rovnoměrně. Minimální výška vrcholu je $S_p = 4,2581 \mu\text{m}$, minimální hloubka dna je $S_v = 4,1895 \mu\text{m}$. Maximální výška vrcholu je $S_p = 6,9877 \mu\text{m}$, maximální hloubka dna je $S_v = 6,9881 \mu\text{m}$. Průměr hodnot je vyšší ve prospěch vrcholů, které jsou mírně dominantnější (průměrné $S_p = 5,3887 \mu\text{m}$, průměrné $S_v = 5,1460 \mu\text{m}$). Hodnoty parametru Sv se koncentrují dominantně v rozsahu $S_v = 4,5$ až $5 \mu\text{m}$, konkrétně 25 z 50 naměřených hodnot (tzn. 50 %). Pro 20 z 50 hodnot (40 %) Sp platí, že $S_p > 5,5 \mu\text{m}$, zatímco pouze 12 z 50 hodnot (24 %) má hodnotu $S_v > 5,5 \mu\text{m}$. Lze tedy říci, že po provedení frézování jsou mírně dominantnější vrcholy.

Následně byl povrch vyhodnocován po broušení původním kotoučem. Naměřená data znázorněna na obr. 51.

Sz broušený povrch, původní kotouč



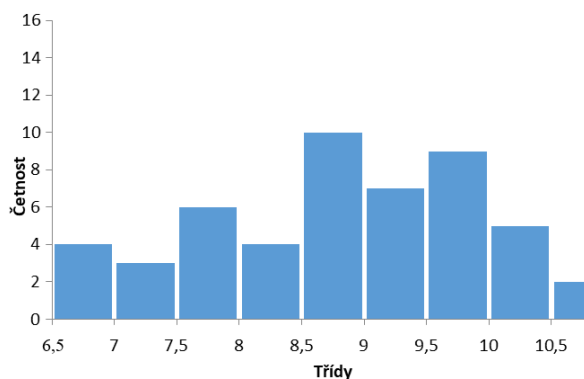
požadavek nestanoven
 n = 50
 průměr = 17,3962 μm
 sm. odchylka = 1,7174 μm
 minimum = 13,6841 μm
 maximum = 21,5367 μm
 AD p-hodnota = 0,101

Obr. 51 Parametr Sz – broušený povrch, původní kotouč

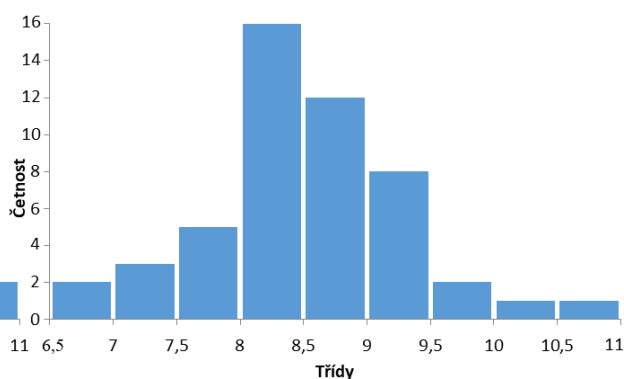
Z naměřených dat je zřejmé výrazné zhoršení parametru Sz vůči stavu po frézování. Maximum po frézování Sz = 13,3082 μm je nižší než minimum po broušení původním kotoučem, které má hodnotu Sz = 13,6841 μm . Největší množství hodnot po broušení novým kotoučem se koncentruje v rozsahu Sz = 15 až 19 μm , konkrétně 34 z 50 hodnot (tzn. 68 %). Pro 12 z 50 hodnot (tzn. 24 %) platí, že Sz > 19 μm . Pro 4 z 50 hodnot (tzn. 8 %) je Sz \leq 15 μm . Porovnávání levých a pravých stran, či porovnávání měřených míst, postrádá význam, protože lze říci, že výsledky jsou velmi špatné bez ohledu na jejich eventuální rozložení.

Z důvodu zjištění bližších informací o stavu povrchu po provedení této operace byly analyzovány i parametry Sp a Sv. Naměřená data jsou znázorněna na obr. 52.

Sp broušený povrch, původní kotouč



Sv broušený povrch, původní kotouč



Obr. 52 Parametry Sp a Sv – broušený povrch, původní kotouč

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 9,0723 μm

sm. odchylka = 0,9311 μm

minimum = 6,9817 μm

maximum = 10,9881 μm

AD p-hodnota < 0,005

požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 8,4985 μm

sm. odchylka = 0,8207 μm

minimum = 6,7024 μm

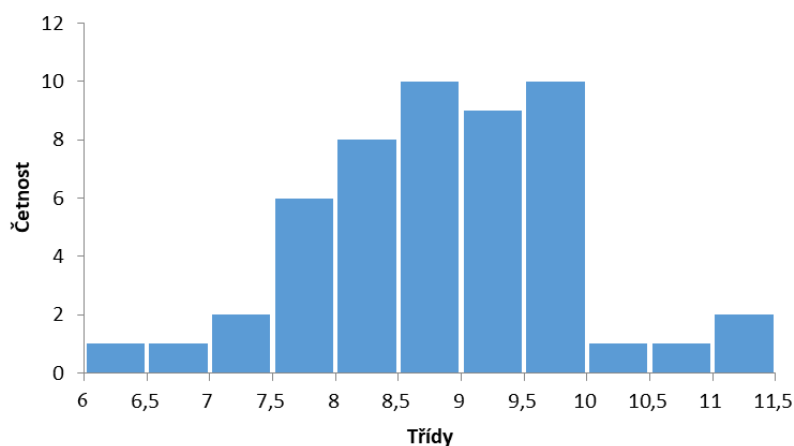
maximum = 10,5486 μm

AD p-hodnota = 0,432

Z naměřených dat je patrné výrazné zhoršení obou parametrů. Maximum parametru Sp po frézování je $Sp = 6,9877 \mu\text{m}$ a minimum po broušení stávajícím kotoučem je $Sp = 6,9817 \mu\text{m}$. 49 z 50 hodnot (tzn. 98 %) je po broušení vyšší než maximum po frézování. Obdobně je to u parametru Sv. Maximum parametru Sv po frézování je $Sv = 6,9881 \mu\text{m}$ a minimum po broušení původním kotoučem je $Sv = 6,7024 \mu\text{m}$. 48 z 50 hodnot (tzn. 96 %) je po broušení vyšší než maximum po frézování. Došlo také ke zvýšení rozdílu mezi průměrem Sp a Sv ve prospěch parametru Sp, dominance vrcholů oproti stavu po frézování se tedy mírně zvýšila. Hodnoty parametru Sp jsou rozloženy v jednotlivých třídách poměrně rovnoměrně, zatímco hodnoty parametru Sv se koncentrují zejména v rozsahu $Sv = 8$ až $9,5 \mu\text{m}$.

Následně byl povrch broušen novým kotoučem a po provedení operace byl povrch měřen. Získaná data jsou znázorněna na obr. 53.

Sz broušený povrch, nový kotouč



požadavek nestanoven

n = 50

průměr = 8,7996 μm

sm. odchylka = 0,9512 μm

minimum = 6,3872 μm

maximum = 11,1005 μm

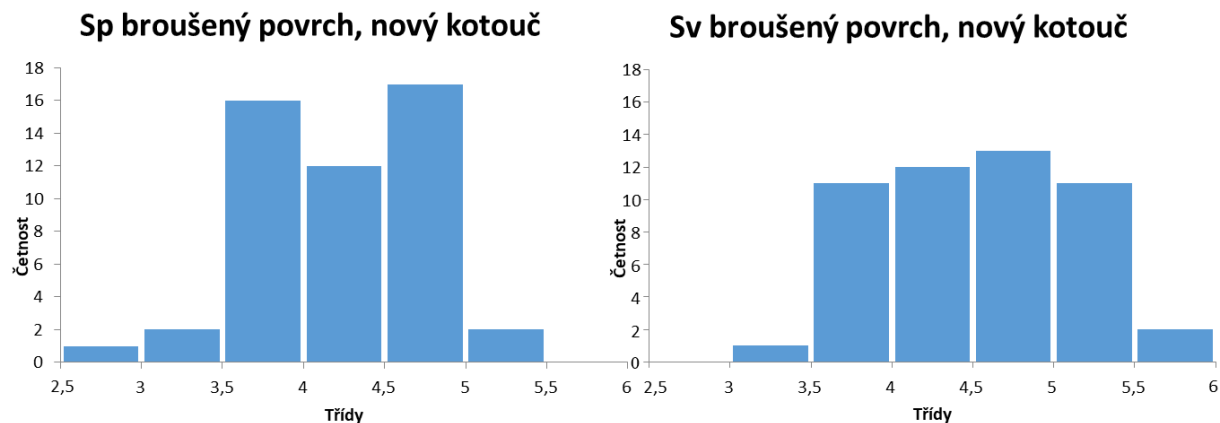
AD p-hodnota = 0,203

Obr. 53 Parametr Sz – broušený povrch, nový kotouč

Z naměřených dat je patrné výrazné zlepšení textury povrchu vůči stavu po frézování. Minimum po broušení novým kotoučem je $Sz = 6,3872 \mu\text{m}$, zatímco po frézování je minimum $Sz = 8,5162 \mu\text{m}$. Minimum se tedy významně snížilo. Maximum po broušení novým kotoučem je $Sz = 11,1005 \mu\text{m}$, zatímco po frézování je maximum $Sz = 13,3082 \mu\text{m}$. Rovněž tedy došlo k významnému poklesu. Průměr hodnot po broušení novým kotoučem je $Sz = 8,7996 \mu\text{m}$, zatímco po frézování je průměr hodnot $Sz = 10,4883 \mu\text{m}$. Průměr hodnot tedy poklesl v podobné míře jako minimum a maximum. 42 z 50 hodnot (tzn. 84 %) se koncentruje

v rozsahu $Sz = 7,5$ až $10 \mu\text{m}$. Pro 4 z 50 hodnot (8 %) platí, že $Sz > 10 \mu\text{m}$, pro další 4 hodnoty z 50 (8 %) pak platí, že $Sz \leq 7,5 \mu\text{m}$. Porovnávání levých a pravých stran lze považovat za nepodstatné z důvodu výrazného zlepšení textury povrchu bez ohledu na rozložení naměřených hodnot.

Z důvodu získání bližších informací rozložení parametru Sz mezi vrcholy a dna bylo nutné opět analyzovat i parametry Sp a Sv . Naměřená data jsou znázorněna na obr. 54.



Obr. 54 Parametry Sp a Sv – broušený povrch, nový kotouč

požadavek nestanoven

$n = 50$

průměr = $4,2244 \mu\text{m}$

sm. odchylka = $0,5229 \mu\text{m}$

minimum = $2,9807 \mu\text{m}$

maximum = $5,2049 \mu\text{m}$

AD p-hodnota = $0,151$

požadavek nestanoven

$n = 50$

průměr = $4,5768 \mu\text{m}$

sm. odchylka = $0,4891 \mu\text{m}$

minimum = $3,4065 \mu\text{m}$

maximum = $5,8173 \mu\text{m}$

AD p-hodnota = $0,111$

Z naměřených dat vyplývá, že po broušení novým kotoučem jsou dominantnější dna oproti prohlubním. Minimum, maximum i průměr hodnot jsou vyšší v případě Sv . 45 z 50 hodnot (tzn. 90 %) parametru Sp se koncentruje v rozsahu $Sp = 3,5$ až $5 \mu\text{m}$ a pro 2 hodnoty (4 %) pak platí, že $Sp > 5 \mu\text{m}$. V případě parametru Sv se 36 z 50 hodnot (tzn. 72 %) koncentruje v rozsahu $Sv = 3,5$ až $5 \mu\text{m}$ a pro 13 hodnot (26 %) pak platí, že $Sv > 5 \mu\text{m}$. Toto také dokazuje dominantnější roli prohlubní.

Z důvodu celkové přehlednosti a zhodnocení vývoje povrchu po jednotlivých operacích jsou základní statistická data znázorněna v tab. 11, 12 a 13.

Tab. 11 Tabulka dat parametru Sz

Parametr Sz	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	10,4883	1,0671	8,5162	13,3082
Původní kotouč	17,3962	1,7174	13,6841	21,5367
Nový kotouč	8,7996	0,9512	6,3872	11,1005

Tab. 12 Tabulka dat parametru Sp

Parametr Sp	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	5,3887	0,6278	4,2581	6,9877
Původní kotouč	9,0723	0,9311	6,9817	10,9881
Nový kotouč	4,2244	0,5229	2,9807	5,2049

Tab. 13 Tabulka dat parametru Sv

Parametr Sv	Průměr [μm]	Sm. Odchylka [μm]	Minimum [μm]	Maximum [μm]
Frézovaný povrch	5,1460	0,6261	4,1895	6,9881
Původní kotouč	8,4985	0,8207	6,7024	10,5486
Nový kotouč	4,5768	0,4891	3,4065	5,8173

Při srovnání dat z tabulek 11, 12 a 13 je zřejmý výrazný nárůst průměru hodnot parametru Sz po broušení původním kotoučem vůči stavu po frézování. Nárůst průměru hodnot parametru Sp je vyšší, než nárůst průměru hodnot parametru Sv. V povrchu tedy více dominují vrcholy, což je pro povrch negativní z důvodu vyššího tření při kontaktu s protikusem. To dokládá významné zhoršení povrchu vůči stavu po frézování. Parametrem Sz byla identifikována nedokonalost této operace.

Při srovnání povrchu po frézování a po broušení novým kotoučem je zřejmé výrazné zlepšení povrchu po provedení broušení. Hodnoty průměru, minima i maxima všech tří parametrů jsou po broušení novým kotoučem nižší než po frézování. Zároveň je po broušení novým kotoučem průměr hodnot, minimum i maximum parametru Sv vyšší, než v případě parametru Sp. V povrchu jsou tedy dominantnější dna, což je pro povrch výhodné z důvodu lepšího zadržování maziva a nižšího tření při kontaktu s protikusem. Navržené nápravné opatření (nový kotouč) bylo úspěšně aplikováno. Pomocí těchto parametrů byla úspěšnost ověřena.

Z výše provedené analýzy vyplývá, že Sz je jedním z možných nástrojů pro specifikaci textury povrchu. Výsledky analýzy parametru Sz jsou srovnatelné s výsledky analýzy parametru Rz, využití parametru Sz ke specifikaci textury povrchu tedy v tomto případě neposkytuje žádný další přínos v porovnání s použitím parametru Rz. Z důvodu malých zkušeností firmy s používáním plošných parametrů je považováno za vhodnější použití parametru Rz.

5.7 Volba kritéria pro specifikaci textury povrchu

V předchozích podkapitolách byly analyzovány jednotlivé vybrané parametry pro specifikaci textury povrchu boční plochy kohoutů. Jejich použitelnost a aplikovatelnost byla vyhodnocena v závěru každé z těchto podkapitol. Některé z těchto parametrů byly vyhodnoceny jako vhodné, jiné jako méně vhodné. Všemi analyzovanými parametry byla indikována určitá míra zhoršení textury povrchu po provedení broušení původním kotoučem vůči stavu po frézování. Úspěšně tedy byla odhalena nedokonalost této výrobní operace. Zároveň byla všemi parametry indikována určitá míra zlepšení po broušení novým kotoučem vůči stavu povrchu po frézování. Tím byla prokázána účinnost nápravného opatření (nový kotouč).

Při volbě parametru pro specifikaci textury povrchu boční plochy kohoutů byly na základě provedených měření a analýz vyhodnoceny jako nejvhodnější dvě varianty. Jednou z nich je zachování parametru R_a , který firma dosud využívá. Rovněž zde existují konstruktérem zvolené požadavky na povrch, a to $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ po frézování a $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ po broušení. Takto nastavené požadavky jsou po aplikaci nápravného opatření plněny s velkou rezervou. V případě původního kotouče tyto požadavky plněny nebyly. Vzhledem k naměřeným výsledkům lze navrhnout změnu specifikace pro broušený povrch na $R_{\text{max}} = 0,8 \mu\text{m}$. Aplikací pravidla maxima dojde k zpřísnění požadavků na broušený povrch. Takto nastavené kritérium eliminuje potenciální nedokonalost operace, rovněž však není příliš přísné, protože naměřená data měla výrazně lepší hodnoty.

Druhou variantou je přechod na specifikaci pomocí parametru R_z pro frézovaný povrch a kombinace parametrů R_z a R_p pro broušený povrch. Nastavení požadavků na R_z a zároveň R_p zajistí omezení výšky profilu a zároveň omezení výšky výstupků na definitivním povrchu. To má za následek zaručení určité míry dominance prohlubní, která je pro povrch výhodná.

Na základě naměřených dat lze nastavit mezní hodnotu R_z po frézování na $R_{z\text{max}} = 6,5 \mu\text{m}$. Tato hodnota je mírně vyšší, než hodnota součtu průměru naměřených hodnot a čtyřnásobku směrodatné odchylky těchto hodnot (součet těchto hodnot je $6,1283 \mu\text{m}$).

Požadovanou hodnotu R_z pro broušený povrch lze nastavit na $R_{z\text{max}} = 5,1 \mu\text{m}$. Tato hodnota přibližně odpovídá součtu průměru naměřených hodnot a čtyřnásobku směrodatné odchylky těchto hodnot (součet těchto hodnot je $5,0765 \mu\text{m}$). Zároveň je na základě naměřených dat stanovena požadovaná hodnota R_p pro broušený povrch na $R_{p\text{max}} = 2,1 \mu\text{m}$, což zajistí dominanci prohlubní. Tato hodnota rovněž přibližně odpovídá součtu průměru naměřených hodnot a čtyřnásobku směrodatné odchylky těchto hodnot (součet těchto hodnot je $2,0681 \mu\text{m}$). Takto nastavené požadavky eliminují potenciální nedokonalost operace broušení.

Čtyřnásobek směrodatné odchylky pro stanovení specifikace povrchu byl zvolen s ohledem na index způsobilosti procesu. Takto nastavená hodnota velmi pravděpodobně zajistí index způsobilosti procesu nejméně 1,33.

Ačkoliv je varianta použití parametru Rz považována za vhodnější volbu z důvodu konkrétnější specifikace povrchu po broušení, v rámci výroby kohoutů bylo identifikováno několik závažnějších nedostatků. Problémem nebylo špatně nastavené kritérium pro povrch, ale jeho dodržení. Rovněž se objevily nedokonalosti v technologickém postupu. Tyto nedostatky byly rozebrány v další kapitole v rámci doporučení pro praxi. Do jejich odstranění je doporučeno dočasně setrvat s parametrem Rmax. Po jejich vyřešení je doporučeno specifikovat texturu povrchu pomocí parametrů Rzmax a Rpmax.

6 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

V této kapitole jsou rozebrány konkrétní doporučení pro praxi, což je zároveň šestým cílem této práce. Kapitola obsahuje návrh řešení problémů, které se v průběhu výroby kohoutů objevily. Jejich řešení je považováno za velmi důležité a povede k optimalizaci výrobního procesu a zrychlení výrobních časů.

První doporučení se týká změny technologického postupu v případě přídávku na broušení. Jak již bylo zmíněno v podkapitolách 2.1.2 a 2.1.3, frézování je v současnosti prováděno na rozměr s ponechaným celkovým přídávkem na broušení $0,5 \pm 0,01$ mm, konkrétně tedy 0,25 mm z každé strany kohoutu. Takto velký přídavek je zbytečný, způsobuje velmi rychlé zanášení brusného kotouče a zvyšuje frekvenci jeho orovnávaní. Rovněž způsobuje prodloužení času potřebného pro broušení. Navrženo je snížení celkového přídávku na broušení na hodnotu $0,2 \pm 0,01$ mm, konkrétně tedy 0,1 mm z každé strany kohoutu. Po provedení této změny je vhodné povrch znovu analyzovat a eventuálně přikročit k dalšímu postupnému snižování přídávku po malých krocích (po 0,01 až 0,02 mm). Povrch je nutné vyhodnotit znovu po každém takovémto snížení přídávku.

Druhé doporučení se týká upínání pouze tří kusů při broušení. Během osobní účasti bylo zjištěno, že bruska je na svém pracovním stole schopna brousit až osm kusů kohoutů najednou při použití stejného typu upnutí. Již zvýšení ze tří na šest najednou broušených kusů sniží v kombinaci s předchozím doporučením čas potřebný pro broušení více než o polovinu. Je vhodné zvážit výrobu či koupi zcela nového typu upínání, které zamezí naklápění a pohybu kohoutů během broušení. Nedostatečně pevným a stabilním upnutím je zhoršována výsledná textura povrchu po broušení.

Třetím doporučením je důsledné hlídání zanášení brusného kotouče a jeho včasné orovnávaní. V opačném případě bude zhoršena výsledná textura povrchu některých kusů. Přestože má častější orovnávaní za následek mírně vyšší časovou náročnost, v případě splnění prvního a druhého doporučení bude rychlost výroby kohoutů stále významně zvýšena.

7 ZÁVĚRY

Tato diplomová práce se zabývá problematikou využití hodnocení textury povrchu při výrobě revolveru, aplikací na vybranou součást, odhalování nedokonalostí jednotlivých výrobních operací, návrhem nápravného opatření a jeho aplikací. K hodnocení textury povrchu byly využity vybrané parametry textury povrchu.

Prvním cílem této práce byl popis současného stavu vědy a techniky v oblasti hodnocení textury povrchu. Tento cíl byl splněn v kapitole 3, kde byla definována textura povrchu a její jednotlivé složky. Kapitola dále obsahuje přehled metod měření textury a popis profilové i plošné metody hodnocení textury. V této kapitole byly rovněž podrobně popsány vybrané profilové i plošné parametry a způsob jejich vyhodnocování. Přístroj pro hodnocení textury, který byl využit k praktické části této práce, je specifikován v závěru této kapitoly včetně použitého postupu měření.

Druhým cílem práce bylo provést systémový rozbor problému hodnocení textury součástí revolveru při výrobě. Tento cíl byl splněn v kapitole 4, kde byla posuzována vhodnost použití parametru R_a , který firma pro specifikaci textury povrchu součástí dosud využívala. Z důvodu neschopnosti jednoznačně identifikovat charakter povrchu z hlediska poměru výšky výstupků vůči hloubce prohlubní byl parametr R_a vyhodnocen jako méně vhodný v porovnání s jinými parametry.

Třetím cílem práce byl návrh součásti revolveru a zdůvodnění postupu zavedení systému hodnocení textury při výrobě této součásti. Tento cíl je rovněž splněn v kapitole 4. Součástí byl po dohodě s firmou a s vedoucím diplomové práce zvolen kohout. Hodnocení textury povrchu boční plochy kohoutů bylo vybráno z důvodu nedokonalosti důležité (definitivní) technologické operace broušení při jejich výrobě.

V rámci plnění tohoto cíle byl proveden rozbor jednotlivých výrobních operací, dle kterého bylo broušení vyhodnoceno jako problematické. Identifikovány byly problémy s upínáním kohoutů, příliš velký přídavek na broušení a nevhodně zvolený brusný kotouč. Dále byly navrženy potenciální alternativy pro specifikaci textury povrchu, a to parametry R_p , R_v , R_z , R_t , S_a , S_p , S_v a S_z . Jejich vhodnost a schopnost odhalit nedokonalost broušení byla dále posuzována dle výsledků praktické části práce v rámci kapitoly 5.

V kapitole 4 bylo dále navrženo nápravné opatření, které mělo zajistit zlepšení textury povrchu po broušení vůči stavu po frézování. Tímto opatřením je použití nového brusného kotouče, který byl vybrán po osobní konzultaci s dodavatelem. Původní i nový kotouč jsou značky Tyrolit a jsou vyrobeny ze světle růžového umělého korundu s keramickým pojivem. Nový kotouč disponuje jemnější zrnitostí, vyšší tvrdostí a je vhodnější pro dokončovací operace tohoto typu kohoutu. Vliv nového kotouče na texturu povrchu po broušení byl posuzován dle výsledků praktické části práce v rámci kapitoly 5.

Čtvrtým a pátým cílem práce bylo hodnocení textury po jednotlivých výrobních operacích a následné technické posouzení naměřených výsledků. Tyto cíle jsou splněny v kapitole 5. Analyzována byla textura povrchu boční plochy kohoutů po frézování, po broušení původním kotoučem a po broušení novým kotoučem pomocí parametru Ra a dalších alternativ parametrů drsnosti, které byly navrženy v rámci plnění třetího cíle práce. Naměřená data byla poté srovnávána a vyhodnocována.

Všechny analyzované parametry indikovaly zhoršení textury povrchu po broušení původním kotoučem vůči stavu po frézování. Tímto byla potvrzena nedokonalost této výrobní operace. Tyto parametry rovněž indikovaly zlepšení textury povrchu po broušení novým kotoučem vůči stavu po frézování. Tím byla prokázána úspěšná realizace nápravného opatření.

V rámci kapitoly 5 byla rovněž vyhodnocena vhodnost použití analyzovaných parametrů jako kritéria pro specifikaci textury povrchu. Jako nejvhodnější kritérium pro frézovaný povrch byl vyhodnocen parametr Rz. Doporučená specifikace byla stanovena na hodnotu $Rz_{max} = 6,5 \mu\text{m}$ použitím pravidla maxima, a to na základě výsledků měření a s ohledem na dosažení hodnoty indexu způsobilosti procesu nejméně 1,33.

Nejvhodnějším kritériem pro broušený povrch byla vyhodnocena kombinace parametrů Rz a Rp. Nastavení požadavků na Rz a zároveň Rp zajistí omezení výšky profilu drsnosti a zároveň omezení výšky výstupků na definitivním povrchu. To má za následek zaručení určité míry dominance prohlubní, která je pro povrch výhodná z důvodu nižšího tření při kontaktu s protikusem a lepšího zadržování maziva. Doporučená specifikace byla stanovena na hodnotu $Rz_{max} = 5,1 \mu\text{m}$ a $Rp_{max} = 2,1 \mu\text{m}$ použitím pravidla maxima, a to na základě výsledků měření a s ohledem na dosažení hodnoty indexu způsobilosti procesu nejméně 1,33.

Z důvodu výskytu jiných závažných nedostatků ve výrobním procesu a technologickém postupu bylo firmě doporučeno pouze dočasné používání parametru Ra do jejich vyřešení. Navrženo bylo ponechání specifikace pro frézovaný povrch $Ra = 3,2 \mu\text{m}$ a úprava specifikace pro broušený povrch z $Ra = 0,8 \mu\text{m}$ na $Ra_{max} = 0,8 \mu\text{m}$. Po vyřešení těchto nedostatků byl firmě doporučen přechod na specifikaci textury povrchu boční plochy kohoutů pomocí parametru Rz_{max} , respektive kombinace parametrů Rz_{max} a Rp_{max} .

Šestáým cílem práce bylo formulovat doporučení pro praxi. Tento cíl je splněn v kapitole 6. Uvedená doporučení se týkala nedostatků ve výrobním procesu a technologickém postupu. Firmě bylo doporučeno snížení přídatku na broušení a zvýšení počtu kusů kohoutů, které jsou broušeny najednou. Dále bylo doporučeno zvážit výrobu či koupi nového typu upínání kohoutů, které zamezí jejich naklápění během broušení. Poslední doporučení se týkalo včasného orovnávání nového kotouče z důvodu jeho postupného zanášení. V případě broušení zaneseným kotoučem dojde ke zhoršení výsledné textury povrchu.

V rámci pokračování hodnocení textury povrchu boční plochy kohoutů lze na tuto práci navázat analýzou obvodové rychlosti brusného kotouče a jejího vlivu na výslednou texturu povrchu. Rovněž je možné pokračovat optimalizací jednotlivých výrobních procesů, a to z důvodu snížení času potřebného pro výrobu jednoho kusu. Další možností je analýza vlivu nedokonalého upnutí kohoutů při broušení na texturu povrchu. Vyhodnocovat lze míru zlepšení textury při lepším upnutí, a to za použití stejného kotouče a stejné obvodové rychlosti kotouče.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŽUK, Aleksandr Borisovič. *Revolvery a pistole*. 2. dopl. vyd. Praha: Naše vojsko, 1993. ISBN 80-206-0364-6.
- [2] MOURET, Jean-Noel. *Revolvery a pistole: Svět krátkých palných zbraní*. Praha: Rebo, 1994. ISBN 80-858-1533-8.
- [3] JANKOVÝCH, Róbert. *Metrologie textury povrchu I*. Brno, 2019. [přednáška]. VUT.
- [4] ČSN EN ISO 8785. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Nedokonalosti povrchu - Termíny, definice a parametry*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [5] WHITEHOUSE, David J. *Handbook of surface and nanometrology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4200-8201-2.
- [6] ČSN EN ISO 25178-3. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 3: Specifikace operátorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2013.
- [7] HARČARÍK, Matej. *Měření parametrů textury povrchu výrobků kontaktní a bezkontaktní metodou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 81 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.
- [8] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [9] ČSN EN ISO 3274. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999.
- [10] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [11] MURALIKRISHNAN, Bala. a J. RAJA. *Computational surface and roundness metrology*. New York: Springer, 2009. ISBN 978-1-84800-296-8.
- [12] ŠPAČKOVÁ, M. *Využití parametrů textury povrchu pro posuzování shody a řízení procesu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 79 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Matej Harčarík.

- [13] ČSN EN ISO 17450-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Obecné pojmy Část 1: Model geometrické specifikace a jeho ověřování*. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [14] ČSN EN ISO 25178-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. Praha: ÚNMZ, 2012
- [15] JANKOVÝCH, Róbert. *Metrologie textury povrchu VI - plošné parametry textury povrchu*. Brno, 2019. [přednáška]. VUT.
- [16] LEACH, Richard. *Characterisation of areal surface texture*. Heidelberg: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-36458-7.
- [17] MASLOV, J. *Teorie broušení kovů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979, 246 s
- [18] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005,. ISBN 80-214-3068-0.
- [19] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Broušení kovů: teoretické i praktické základy brusičské praxe a příklady nové techniky broušení*. Praha: SNTL, 1959. Knižnice strojírenské výroby
- [20] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3337-1.
- [21] MAGNUM RESEARCH: *BFR, .30/30 Winchester Revolver, Stainless Steel* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://shopkahrfirearmsgroup.com/firearms/magnum-research-3030-win-revolver-75-inch-barrel.asp>
- [22] MPICZ: *Obchod s vojenským materiálem* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.mpicz.com/images/servis/manualy/ruger-redhawk-and-alaskan.pdf>

9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

λ_s	krátkovlnný filtr, jehož aplikací na úplný profil vznikne základní profil
λ_c	filtr, který odděluje profil drsnosti a složky, které mají větší vlnovou délku
λ_f	filtr, který odděluje profil vlnitosti a složky, které mají větší vlnovou délku
λ_{sw}	Gaussův dolnoproputný filtr, vytváří profil vlnitosti ze základního profilu
l_n	vyhodnocovaná délka, používá se k posouzení vyhodnocovaného profilu
l_p	základní délka pro základní profil
l_r	základní délka pro profil drsnosti
l_w	základní délka pro profil vlnitosti
Z_p	výška výstupku profilu
Z_v	hloubka prohlubně profilu
Z_t	výška prvku profilu
X_s	šířka prvku profilu
P_z	největší výška profilu pro základní profil
R_z	největší výška profilu pro profil drsnosti
W_z	největší výška profilu pro profil vlnitosti
R_p	největší výška výstupku profilu
R_v	největší hloubka prohlubně profilu
R_z	největší výška profilu
R_c	průměrná výška prvků profilu
R_a	průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu
R_t	celková výška profilu
R_q	průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu
R_{sk}	šikmost posuzovaného profilu
R_{ku}	špičatost posuzovaného profilu
R_{Sm}	průměrná šířka prvků profilu
$R_{\Delta q}$	průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu
S_p	maximální výška vrcholu posuzované plochy
S_v	maximální hloubka dna posuzované plochy
S_z	maximální výška posuzované plochy
S_a	průměrná aritmetická výška posuzované plochy
S_q	průměrná kvadratická výška posuzované plochy
S_{sk}	šikmost posuzované plochy

Sku	špičatost posuzované plochy
Sal	délka autokorelace
Str	poměr směrových vlastností textury posuzované plochy
Std	směr textury posuzované plochy
Sdq	střední kvadratický sklon posuzované plochy
Sdr	poměr přírůstku mezifázové plochy k velikosti posuzované plochy
AD	Anderson-Darlingův test normality
Ramax	Specifikace textury povrchu parametrem Ra pomocí pravidla maxima
Rzmax	Specifikace textury povrchu parametrem Rz pomocí pravidla maxima
Rpmax	Specifikace textury povrchu parametrem Rp pomocí pravidla maxima

9.1 Seznam tabulek

Tab. 1) Seznam vybraných profilových parametrů [8].....	25
Tab. 2) Volba základní délky dle ČSN EN ISO 4288 [3].....	33
Tab. 3) Seznam vybraných plošných parametrů [14].....	36
Tab. 4) Tabulka dat parametru Ra.....	59
Tab. 5) Tabulka dat parametru Rz.....	64
Tab. 6) Tabulka dat parametru Rp.....	64
Tab. 7) Tabulka dat parametru Rv.....	65
Tab. 8) Tabulka dat parametru Rt.....	67
Tab. 9) Tabulka dat parametru Rsk.....	70
Tab. 10) Tabulka dat parametru Sa.....	73
Tab. 11) Tabulka dat parametru Sz.....	79
Tab. 12) Tabulka dat parametru Sp.....	79
Tab. 13) Tabulka dat parametru Sv.....	79

9.2 Seznam obrázků

Obr. 1 Magnum Research BFR, .30/30 Winchester Revolver 7.5“ [21].....	13
Obr. 2 Modely stop po obrábění soustruženého (vlevo) a frézovaného povrchu (vpravo) [3]....	18
Obr. 3 Model ručně broušeného povrchu s rýhami a škrábanci [3].....	19
Obr. 4 Jednotlivé složky textury povrchu [3].....	19
Obr. 5 Znázornění souřadného systému [3].....	22
Obr. 6 Odvození profilu drsnosti a vlnitosti ze základního profilu [12].....	23
Obr. 7 Výstupek a přilehlá prohlubeň tvořící prvek profilu [12].....	24
Obr. 8 Znázornění parametrů Rp, Rv a Rz [12].....	26
Obr. 9 Znázornění parametru Rc [3].....	27

Obr. 10 Znázornění parametru Ra [3].....	28
Obr. 11 Znázornění parametru Rt [3].....	28
Obr. 12 Znázornění parametru Rq [3].....	28
Obr. 13 Znázornění parametru RSm [3].....	30
Obr. 14 Znázornění parametru RΔq [3].....	31
Obr. 15 Znázornění základních prvků plošné metody [12].....	36
Obr. 16 Význam autokorelační délky v polárních souřadnicích [12].....	40
Obr. 17 Referenční úhel [15].....	41
Obr. 18 Srovnání dvou povrchů, vlevo vzorek 258, vpravo vzorek 341 [15].....	41
Obr. 19 Porovnání dvou povrchů hybridními parametry [15].....	43
Obr. 20 Taylor Hobson Talysurf CCI Lite [7].....	44
Obr. 21 Použitý objektiv v průběhu měření experimentu.....	45
Obr. 22 Jednotlivé části revolveru [22].....	47
Obr. 23 Funkční plocha kohoutu a ostrý zobáček.....	49
Obr. 24 Rovinná bruska během broušení kohoutů.....	53
Obr. 25 Upnutí kohoutů k pracovnímu stolu rovinné brusky.....	53
Obr. 26 Vyjiskřování v průběhu broušení kohoutů.....	54
Obr. 27 Zvolená místa měření.....	55
Obr. 28 Parametr Ra – frézovaný povrch.....	57
Obr. 29 Parametr Ra – broušený povrch, původní kotouč.....	57
Obr. 30 Parametr Ra – broušený povrch, původní kotouč, porovnání levých a pravých stran.....	58
Obr. 31 Parametr Ra – broušený povrch, nový kotouč.....	58
Obr. 32 Parametr Rz – frézovaný povrch.....	60
Obr. 33 Parametry Rp, Rv – frézovaný povrch.....	60
Obr. 34 Parametr Rz – broušený povrch, původní kotouč.....	61
Obr. 35 Parametry Rp, Rv – broušený povrch, původní kotouč.....	61
Obr. 36 Parametr Rz – broušený povrch, nový kotouč.....	63
Obr. 37 Parametr Rz – broušený povrch, nový kotouč, porovnání levých a pravých stran.....	63
Obr. 38 Parametry Rp, Rv – broušený povrch, nový kotouč.....	64
Obr. 39 Parametr Rt – frézovaný povrch.....	66
Obr. 40 Parametr Rt – broušený povrch, původní kotouč.....	66
Obr. 41 Parametr Rt – broušený povrch, nový kotouč.....	67
Obr. 42 Parametr Rsk – frézovaný povrch.....	68
Obr. 43 Parametr Rsk – broušený povrch, původní kotouč.....	69
Obr. 44 Parametr Rsk – broušený povrch, nový kotouč.....	70
Obr. 45 Parametr Sa – frézovaný povrch.....	71
Obr. 46 Parametr Sa – broušený povrch, původní kotouč.....	72

Obr. 47 Parametr Sa – broušený povrch, nový kotouč.....	72
Obr. 48 Parametr Sa – broušený povrch, nový kotouč, porovnání levých a pravých stran.....	73
Obr. 49 Parametr Sz – frézovaný povrch.....	74
Obr. 50 Parametry Sp, Sv – frézovaný povrch.....	75
Obr. 51 Parametr Sz – broušený povrch, původní kotouč.....	76
Obr. 52 Parametry Sp, Sv – broušený povrch, původní kotouč.....	76
Obr. 53 Parametr Sz – broušený povrch, nový kotouč.....	77
Obr. 54 Parametry Sp, Sv – broušený povrch, nový kotouč.....	78