

PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě písemnou práci ke státní doktorské zkoušce, zpracovanou na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci na téma:

Integrovatelný manipulační systém pro metrologii s diagnostikou

vypracoval samostatně, pod odborným dohledem školitele a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Plzni dne:.....

.....

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Především děkuji mému školiteli doc. Ing. Janu Řehořovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Martinu Melicharovi, Ph.D. za vedení, věcné připomínky v průběhu celého studia a především při zpracování této disertační práce.

Dále bych chtěl poděkovat Katedře technologie obrábění a Regionálnímu technologickému institutu za zázemí, které mi během studia a řešení disertační práce poskytovaly. Velké poděkování patří také Ing. Miroslavu Gombárovi, Ph.D. za pomoc v oblasti návrhu experimentu a statistického vyhodnocení. Dále děkuji všem osloveným, především Ing. Kateřině Bícové, Ph.D., za jejich rady a připomínky, které mi v souvislosti s touto prací poskytovali.

Poděkování také patří mojí přítelkyni a přátelům, bez jejichž podpory bych nemohl tuto práci zpracovat.

ANOTACE

AUTOR	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kutlwašer	Jméno Jan
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie-technologie obrábění	
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D.	Jméno Jan
PRACOVISŤE VEDOUcíHO	Katedra technologie obrábění, Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni	
DRUH PRÁCE	disertační	
NÁZEV PRÁCE	Integrovatelný manipulační systém pro metrologii s diagnostikou	

Fakulta: Strojní
Katedra: Strojírenská technologie-technologie obrábění
Rok odevzdání: 2017

Počet stránek (A4 a ekvivalentů A4)

Celkem	90	Textová část	55	Grafická část	35
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce se zabývá návrhem integrovatelného manipulačního zařízení pro metrologii s diagnostikou. Je zdůvodněna potřeba takového zařízení. Experimentálně je zjištěn vliv vyosení senzoru měřicího přístroje mimo osu měřené díry. Dále je v práci popsán návrh konstrukce, návrh diagnostiky a návrh celkové integrace zařízení do vybraného měřicího stroje.
KLÍČOVÁ SLOVA	Měření; struktura povrchu; diagnostika; LabVIEW;

SUMMARY

AUTHOR	Surname (including of Degrees) Ing. Kutlwašer	Name Jan
FIELD OF STUDY	Technology of Metal Cutting	
SUPERVISOR	Surname (including of Degrees) Doc. Ing. Řehoř, Ph.D.	Name Jan
INSTITUTION	Department of machining technology, Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia in Pilsen	
TYPE OF WORK	dissertation	
TITLE OF THE WORK	Manipulation system for metrology with diagnostics and integration possibility	

Faculty: Mechanical Engineering
 Department: Technology of Metal Cutting
 Submitted in: 2017

Number of pages (A4 and eq. A4)

Totally	90	Text part	55	Graphical part	35
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis works with the proposal of manipulation device for metrology with diagnostics and possibility of diagnostics. The need of such of device is described. The influence of sensor misalignment in measured hole axis is found out experimentally. Further is in the thesis described a proposal of device design, a proposal of diagnostics and finally the proposal of complete integration of the device into selected measurement machine
KEY WORDS	Measurement; surface structure; diagnostics; LabVIEW

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	9
Seznam zkratk	10
Úvod	13
1 Cíle disertační práce	14
2 Rozbor současného stavu	15
2.1 Drsnost povrchu	15
2.2 Měření drsnosti povrchu	15
2.3 Parametry drsnosti povrchu	16
2.4 Vliv vyosení snímače drsnoměru na hodnoty měřené drsnosti	19
2.5 Manipulační stolek	20
2.6 Diagnostický systém	21
2.6.1 Justace zkušebních těles s malými otvory	21
2.6.2 Měření dna válcového zahloubení	21
3 Experimentální zjištění vlivu vyosení snímače na hodnotu měření	23
3.1 Úvod	23
3.2 Preexperiment pro zjištění vlivu vyosení snímače	24
3.2.1 Analýza výsledků preexperimentu	25
3.2.2 Zhodnocení preexperimentu	29
3.3 Experimentální zjištění vlivu vyosení snímače drsnoměru na hodnotu měření	30
3.3.1 Řiditelné faktory	30
3.3.2 Fixní faktory	32
3.3.3 Odezva	33
3.3.4 Sestavení plánu experimentu	34
3.3.5 Odezva - procentuální rozdíl	34
3.3.6 Analýza matematických modelů - procentuální rozdíl	35
3.3.7 Odezva - rozdíl	37
3.3.8 Analýza matematických modelů - rozdíl	37
3.3.9 Souhrn k experimentu	41
3.4 Experiment č. 2	42
3.4.1 Řiditelné faktory druhého experimentu	42
3.4.2 Odezva pro experiment č. 2	43
3.4.3 Plán experimentu č. 2	43
3.4.4 Matematické modely experimentu č. 2	43

3.5	Závěr k experimentálnímu zjištění vlivu vyosení snímače na hodnotu měření .	46
4	Návrh konstrukce motorizovaného manipulačního stolku	48
4.1	Funkční struktura manipulačního stolku.....	48
4.2	Návrh variant konstrukce stolku	50
4.2.1	Morfologická matice	50
4.3	Hodnocení navržených variant.....	51
4.4	Popis výsledné konstrukční varianty	51
4.4.1	Odhad přesnosti polohování.....	53
4.5	Kontrolní výpočty mechanické části.....	54
4.5.1	Síly na pohybovém šroubu.....	54
4.5.2	Pevnostní kontrola pohybového šroubu	55
4.5.3	Kontrola pohybového šroubu na vzpěr	55
4.5.4	Kontrola závitů matice pohybového šroubu na otláčení.....	56
5	Návrh diagnostiky polohy otvoru vůči senzoru	57
5.1	Návrh diagnostického systému	57
5.1.1	Snímací senzor - kamera	58
5.1.2	Teoretické ověření přesnosti odměřování pomocí webkamery.....	59
5.2	Návrh algoritmu diagnostiky polohy osy díry vůči senzoru	60
5.3	LabVIEW	63
5.3.1	LabVIEW Machine Vision	63
6	Návrh celkové integrace stolku do zařízení.....	66
	Závěr.....	67
	Citovaná literatura	68
	Přílohy.....	i

Seznam obrázků

Obrázek 1: Celkový pohled na drsnoměr HOMMEL-ETAMIC T-8000	13
Obrázek 2: Oddělení profilů drsnosti a vlnitosti ze základního profilu	15
Obrázek 3: Označení délek při měření drsnosti	16
Obrázek 4: Parametr Rp	16
Obrázek 5: Parametr Rv	17
Obrázek 6: Parametr Rz.....	17
Obrázek 7: Parametr Rc.....	18
Obrázek 8: Parametr Rsm	19
Obrázek 9: Chyba tvaru vzniklá nesprávným zarovnáním měřeného dílu [10]	20
Obrázek 10: Současný manipulační stolek	20
Obrázek 11: Justace zkušební těleso s otvory průměru 6mm	21
Obrázek 12: Měření válcového zahloubení.....	22
Obrázek 13: Schéma technologického procesu	23
Obrázek 14: Schematický nákres vyosení hrotu snímače	24
Obrázek 15: Zkušební těleso pro preexperiment.....	25
Obrázek 16: Grafické shrnutí výsledků preexperimentu	26
Obrázek 17: Kontakt snímače se stěnou díry	27
Obrázek 18: Ishikawův diagram procesu měření drsnosti povrchu.....	30
Obrázek 19: Zkušební tělesa použita při experimentu	31
Obrázek 20: Nastavení měřicích podmínek pro experiment	33
Obrázek 21: Nastavení SW pro návrh experimentu	34
Obrázek 22: Porovnání matematických modelů pro proměnnou Ra%	35
Obrázek 23: Graf normality reziduí (Rz)	39
Obrázek 24: Residual vs. fitted plot (Rz)	39
Obrázek 25: Graf odlehklých hodnot (Rz)	40
Obrázek 26: Cook's distance plot (Rz)	40
Obrázek 27: Box-Cox plot parametru Rz	41
Obrázek 28: Vyhodnocení parametru Pa (12 mm)	46
Obrázek 29: Funkční struktura manipulačního stolku	48
Obrázek 30: Kuličkové vedení HIWIN [27]	49
Obrázek 31: Kombinované lineární vedení společnosti REXROTH [28]	49
Obrázek 32: Morfologická matice manipulačního stolku	50
Obrázek 33: Kolejnička lineárního vedení [27]	51
Obrázek 34: Přírubový vozík lineárního vedení [27]	51
Obrázek 35: Momentová charakteristika krokového motoru 57HS09 [30]	52
Obrázek 36: Krokový motor s řídicím modulem [31]	52
Obrázek 37: Celkový pohled na CAD návrh stolku	52
Obrázek 38: Kompletní sestava vítězné konstrukční varianty	53
Obrázek 39: Řetězec snímání a zpracování obrazu [36]	57
Obrázek 40: Schéma umístění senzorů (kamer)	58
Obrázek 41: Pohled kamery na zkušební těleso před měřením	58
Obrázek 42: Lineární projekce [40]	59
Obrázek 43: Fotografie webkamery s uvedením ohniskové vzdálenosti [44].....	59
Obrázek 44: Algoritmus diagnostiky polohy díry vůči senzoru	61
Obrázek 45: Algoritmus inicializace	62

Obrázek 46: Programovací jazyk LabVIEW - prostředí.....	63
Obrázek 47: Detail funkce z nápovědy LabVIEW [42]	63
Obrázek 48: Paleta funkcí modulu Machine Vision	64
Obrázek 49: Paleta s nástroji obraz a různými oblastmi zájmu (ROI)	64
Obrázek 50: Terminály funkce IMAQ Find circular edge [43]	64
Obrázek 51: Část nápovědy k funkci Find Circular Edge [43].....	64
Obrázek 52: Terminály funkce IMAQ Find Edge [43]	64
Obrázek 53: Část detailní nápovědy k funkci Find Edge [43]	65
Obrázek 54: Funkce IMAQ Find CoordSys [43]	65
Obrázek 55: Detail nápovědy k IMAQ Find CoordSys [43].....	65
Obrázek 56: Schéma plné integrace stolku	66
Obrázek 57: Protokol z kontrolního měření etalonu	ii

Seznam tabulek

Tabulka 1: Měřené hodnoty parametru Ra z preexperimentu	25
Tabulka 2: Měřené hodnoty parametru Rz z preexperimentu	26
Tabulka 3: výsledek testu normality	28
Tabulka 4: Výsledek testu shodnosti rozptylů	28
Tabulka 5: Výsledek analýzy rozptylu u parametru Ra	29
Tabulka 6: Výsledek analýzy rozptylu u parametru Rz.....	29
Tabulka 7: Přehled faktorů experimentu	32
Tabulka 8: Přehled sledovaných veličin experimentu.....	34
Tabulka 9: Lack of Fit test u parametru Ra%.....	36
Tabulka 10: Hodnocení modelu Ra%	36
Tabulka 11: Hodnocení matematických modelů popisujících procentuální rozdíly	37
Tabulka 12: Hodnocení matematických modelů popisujících rozdíl	38
Tabulka 13: Řiditelné faktory druhého experimentu.....	42
Tabulka 14: Hodnocení matematických modelů pro průměry 6 a 8 mm	44
Tabulka 15: Hodnocení matematických modelů pro průměry 10 a 12 mm	45
Tabulka 16: Shrnutí maximálních vyosení pro jednotlivé parametry (hodnota vyosení v mm).....	46
Tabulka 17: Hodnocení variant návrhů	51
Tabulka 18: Plán experimentu	iv
Tabulka 19: Měřené hodnoty z experimentu (Hodnoty vyosení v [mm] a měřené hodnoty v [μm])	vii
Tabulka 20: Plán druhého experimentu.....	xii
Tabulka 21: Data měřená ve druhém experimentu pro 1. skupinu otvorů	xiv
Tabulka 22: Data měřená ve druhém experimentu pro 2. skupinu otvorů	xv

Seznam zkratk a symbolů

α ... úhel stoupání na středním průměru závitu [°]

α ... hladina statistické významnosti [-]

β ... vrcholový úhel závitu [°]

η ... účinnost šroubového převodu [-]

λ ... štíhlost [-]

λ ... parametr, podle kterého je vybírána transformace měřených dat v SW Design Expert [-]

λ_k ... štíhlost kritická [-]

σ ... axiální (osové) napětí [MPa]

σ_d ... dovolené napětí [MPa]

σ_{max} ... maximální napětí [MPa]

σ_{red} ... redukované napětí [MPa]

τ_k ... napětí v krutu [MPa]

A, B, C ... označení faktorů experimentu [-]

A/D ... analogově digitální převod [-]

A_s ... průřez šroubu [mm²]

d ... velký průměr závitu šroubu [mm]

d ... vzdálenost snímaného objektu od kamery [m]

D_1 ... malý průměr závitu matice [mm]

d_2 ... střední průměr závitu šroubu [mm]

d_3 ... malý průměr závitu šroubu [mm]

DF ... stupně volnosti (degrees of freedom) [-]

DOE ... design of experiment (plánování experimentů)

E ... modul pružnosti v tahu [MPa]

F ... hodnota Fisherova rozdělení [-]

f ... součinitel tření v závitu [-]

f ... ohnisková vzdálenost objektivu [mm]

F_A ... axiální (osová) síla [N]

h ... výška snímaného objektu [m]

- H_0 ... nulová statistická hypotéza [-]
- H_a ... alternativní statistická hypotéza [-]
- l, j, k, l ... indexy značící sled faktorů [-]
- J_x ... kvadratický moment průřezu v ohybu [mm^4]
- k ... bezpečnost [-]
- k_m ... momentový koeficient [-]
- l ... zatěžovaná délka šroubu [mm]
- l_c, l_r, λ_c ... mezní vlnová délka (cut-off) [mm]
- l_n ... vyhodnocovaná délka ($5 \times l_c$) [mm]
- l_m ... délka závitů matice [mm]
- l_s, λ_s ... mezní vlnová délka mezi R profilem a menšími prvky povrchu [mm]
- l_v, λ_v ... mezní vlnová délka mezi W profilem a delšími prvky povrchu [mm]
- l_t ... celková dráha, kterou urazí snímač po povrchu [mm]
- M ... maximální krouticí moment motoru [Nm]
- P ... označení primárního profilu a parametrů z něj počítaných [-]
- P ... stoupání závitu [mm]
- p ... pravděpodobnost [-]
- p ... tlak v závitech matice [MPa]
- p ... index označující vrchol (peak) profilu povrchu [-]
- p_d ... dovolený tlak v závitech matice [MPa]
- R ... označení profilu drsnosti a parametrů z něj počítaných [-]
- R^2 ... koeficient determinace [-]
- R^2_{adj} ... upravený koeficient determinace [-]
- SW ... software [-]
- x ... kontrolovaný faktor [-]
- x ... velikost snímaného obrazu na snímači [mm]
- X ... rozdíl vzdálenosti mezi středem díry a středem drážky [-]
- y ... odezva procesu [-]
- v ... konstantní faktor [-]

v ... index označující údolí (valley) profilu povrchu [-]

v_t ... měřicí rychlost drsnoměru [mm/min]

w ... náhodný faktor [-]

W ... označení profilu vlnitosti a parametrů z něj počítaných [-]

Z ... označení výšky profilu [-]

Úvod

Při velkém počtu měření děr (sériová výroba hydraulických komponent v oblasti automobilového nebo leteckého průmyslu, výzkumné projekty zabývající se vrtáním a vystružováním (projekt ALFA řešený v letech 2012 – 2015 na Západočeské univerzitě atd.) se projeví větší časová náročnost počáteční justace dílů na měřicím stroji. Dalším problémem může být navádění snímače měřicího přístroje do osy díry pouhým okem. Další oblastí justace měřeného dílu, která je náročná, je navádění senzoru do malých děr. Justace měřených dílů patří mezi neproduktivní časy a obecně je potřeba tyto časy zkracovat a dosahovat tím vyšší efektivity využití laboratorních přístrojů s vysokou hodinovou sazbou.

Tato disertační práce je zaměřena na návrh integrovatelného manipulačního zařízení pro metrologii s možností diagnostiky polohy měřené součásti vůči senzoru měřicího přístroje pro měření lineární drsnosti povrchu. Integrovatelné manipulační zařízení bude testováno na laboratorním měřicím stroji pro měření drsnosti povrchu a profilu Hommel Etamic T-8000 (Obrázek 1), který se nachází v laboratoři metrologie Katedry technologie obrábění.

Analýzou velké série měřených dat v rámci výzkumného projektu ALFA (cca 2500 měření) byly zjištěny hodnoty drsnosti, které nápadně vystupovaly z řady hodnot. Vzhledem k jejich velikosti je ovšem nebylo možné prohlásit za hrubou chybu měření. U některých skokových změn drsnosti povrchu byl zjištěn vliv technologie, u několika případů však vliv technologie nebyl patrný. Z toho vyplývá hypotéza, že vyšší hodnota měření byla způsobena jiným vlivem, například vyosením senzoru měřicího přístroje mimo osu měřené díry. Právě tímto vlivem se v rámci dílčího cíle tato práce zabývá.



Obrázek 1: Celkový pohled na drsnoměr HOMMEL-ETAMIC T-8000

1 Cíle disertační práce

Cílem disertační práce je navrhnout integrovatelný manipulační stolek, který nalezne své uplatnění při měření parametrů struktury povrchu v laboratoři Katedry technologie obrábění a nahradí současný manipulační stolek, jehož některé nevýhody jsou v práci prezentovány.

Hlavní cíl práce byl rozdělen na následující dílčí cíle:

- Zjištění vlivu vyosení snímače na měřenou hodnotu parametrů struktury povrchu.
- Konstrukce manipulačního stolku.
- Návrh diagnostiky polohy díry vůči senzoru.
- Návrh celkové integrace stolku do měřicího stroje.

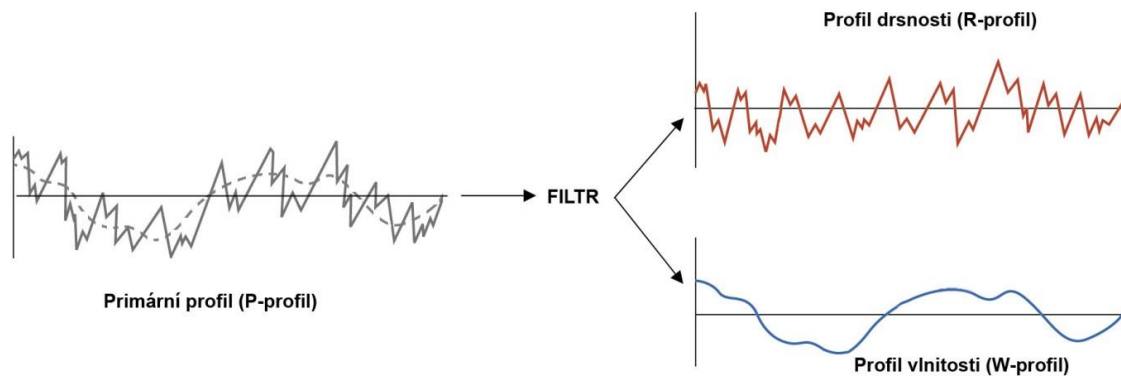
2 Rozbor současného stavu

2.1 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu patří do oblasti geometrické specifikace produktu (GPS). Značení drsnosti povrchu na výkresech popisuje norma [1].

2.2 Měření drsnosti povrchu

Tato práce se zabývá hodnocením drsnosti povrchu měřením na drsnoměru HOMMEL-ETAMIC T-8000, který patří mezi přístroje, které měří lineární drsnost povrchu kontaktní metodou. Principem měření je digitalizace profilu [2] povrchu, po kterém je tažen snímací hrot, jehož základní tvar a rozměry jsou definovány v normě [3]. Snímací hrot je k měřenému povrchu přitlačován definovanou silou. Na digitalizovaný profil je posléze aplikován filtr [4], který od sebe oddělí krátkovlnné složky (drsnost) a dlouhovlnné složky (vlnitost) viz (Obrázek 2).

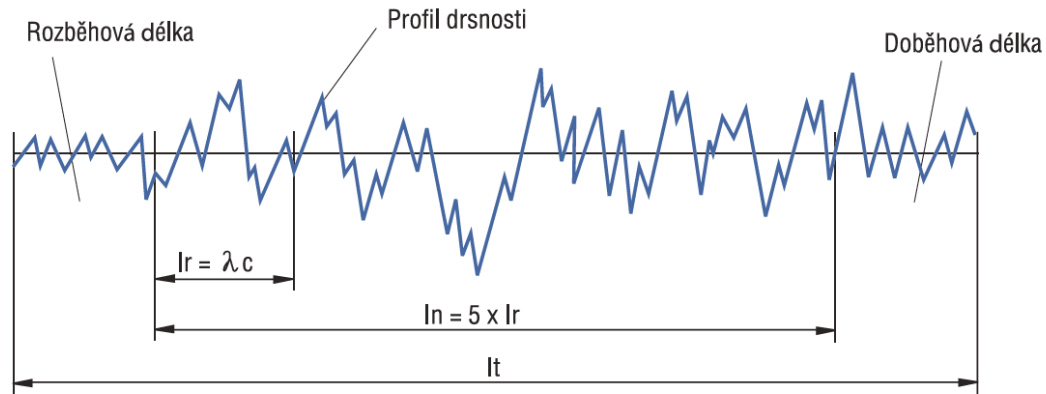


Obrázek 2: Oddělení profilů drsnosti a vlnitosti ze základního profilu

V drtivé většině případů je vzájemné oddělení profilů provedeno Gaussovými filtry [5]. Poté lze pro profily R a W vypočítat jednotlivé parametry [2]. Vstupním parametrem filtrů je mezní vlnová délka l_c . Normy [2] [3] označují základní délku měření l_r , která odpovídá mezní vlnové délce filtru. Filtry mají dále definovanou mezní délku l_s (λ_s) a l_f (λ_f), které představují hranici mezi profilem drsnosti a kratšími prvky na povrchu respektive mezi profilem vlnitosti a delšími prvky na hodnoceném povrchu [2].

Vyhodnocení by mělo být provedeno na pěti po sobě jdoucích základních délkách, proto senzor na povrchu urazí vzdálenost $l_n = 5 \times l_r$.

V případě přístroje T-8000 je navíc přidána polovina základní délky na rozběh senzoru a další polovina na jeho doběh. Celkově tedy senzor při měření urazí vzdálenost l_t (Obrázek 3).



Obrázek 3: Označení délek při měření drsnosti

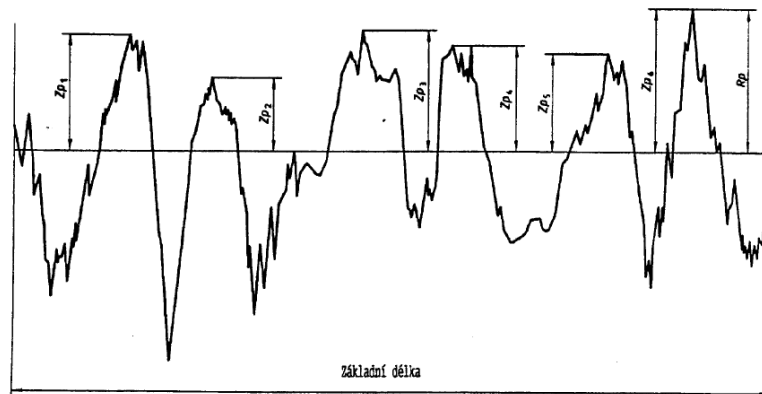
2.3 Parametry drsnosti povrchu

Definice parametrů drsnosti povrchu vychází z normy [2]. Parametry drsnosti povrchu lze rozdělit na: výškové, průměrované a délkové. Ze stejných definic vychází parametry, které se určují pro základní profil (P) a pro profil vlnitosti (W), jen místo R v označení parametru je použito písmeno příslušného profilu.

1) výškové parametry

- R_p - největší výška výstupku profilu

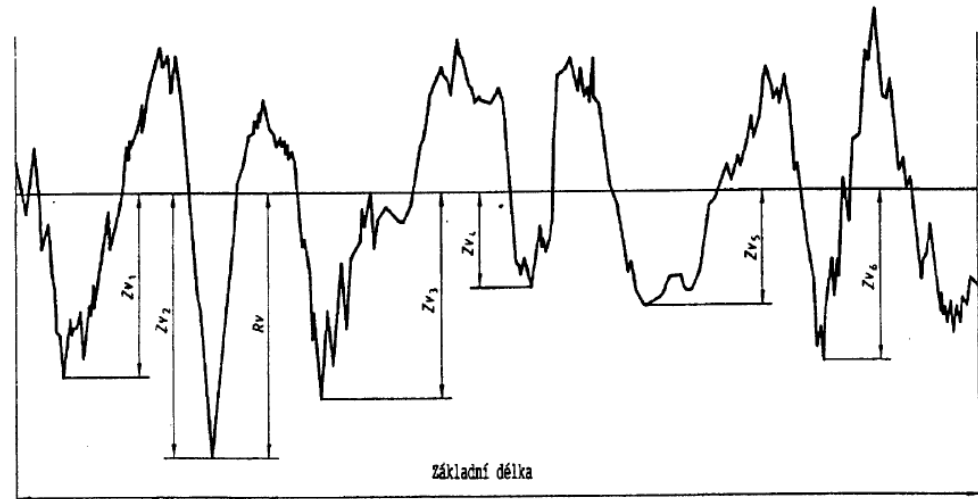
Výška nejvyššího výstupku Z_p profilu od střední čáry profilu v rozsahu základní délky.



Obrázek 4: Parametr R_p

- R_v - největší hloubka prohlubně profilu

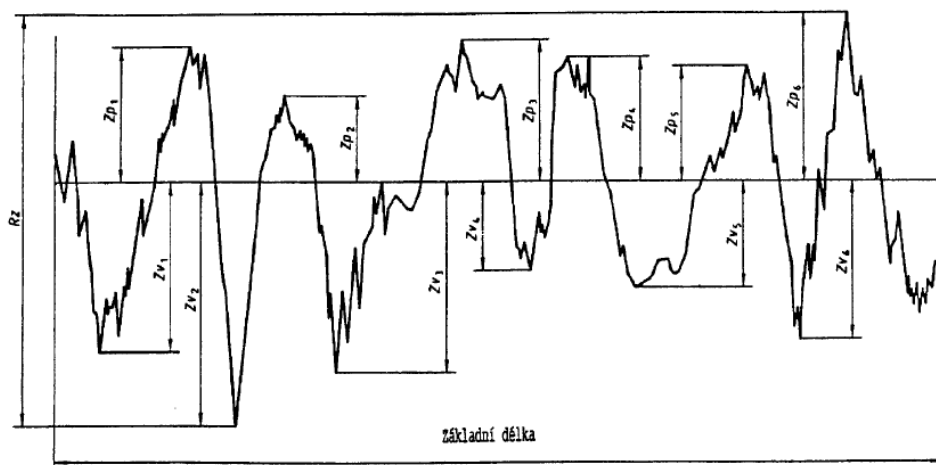
Hloubka nejnižší prohlubně Z_v profilu od střední čáry profilu v rozsahu základní délky.



Obrázek 5: Parametr R_v

- R_z - největší výška profilu

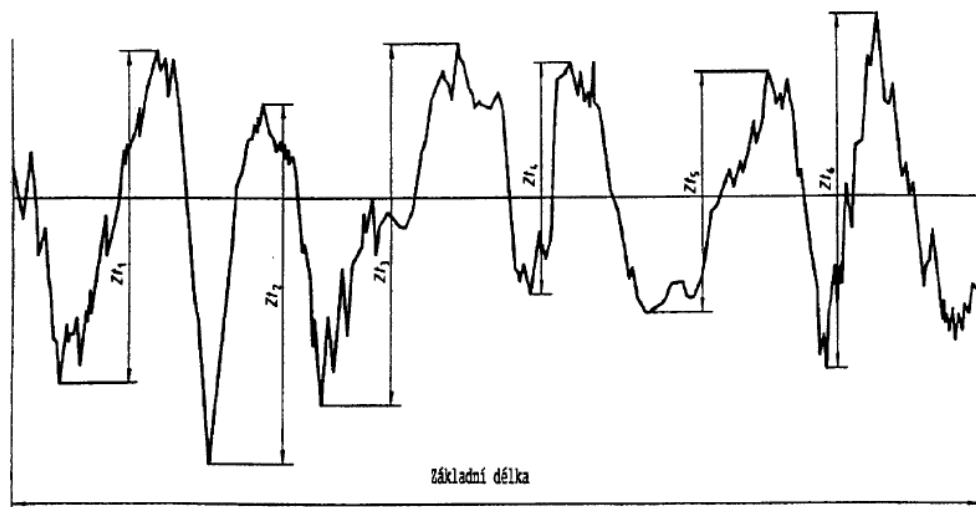
Součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.



Obrázek 6: Parametr R_z

- R_c - průměrná výška prvků profilu

Průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky.



Obrázek 7: Parametr Rc

- Rt - celková výška profilu

Součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně v rozsahu vyhodnocované délky. (Obrázek 4 a Obrázek 5)

2) výškové parametry průměrované

- Ra - průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu

Aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic Z(x) v rozsahu základní délky.

$$Ra = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (1)$$

- Rq - průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu

Kvadratický průměr pořadnic Z(x) v rozsahu základní délky.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^2(x)| dx} \quad (2)$$

- Rsk - šikmost posuzovaného profilu

Podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic Z(x) a třetí mocniny parametru Rq.

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

- Rku - špičatost posuzovaného profilu

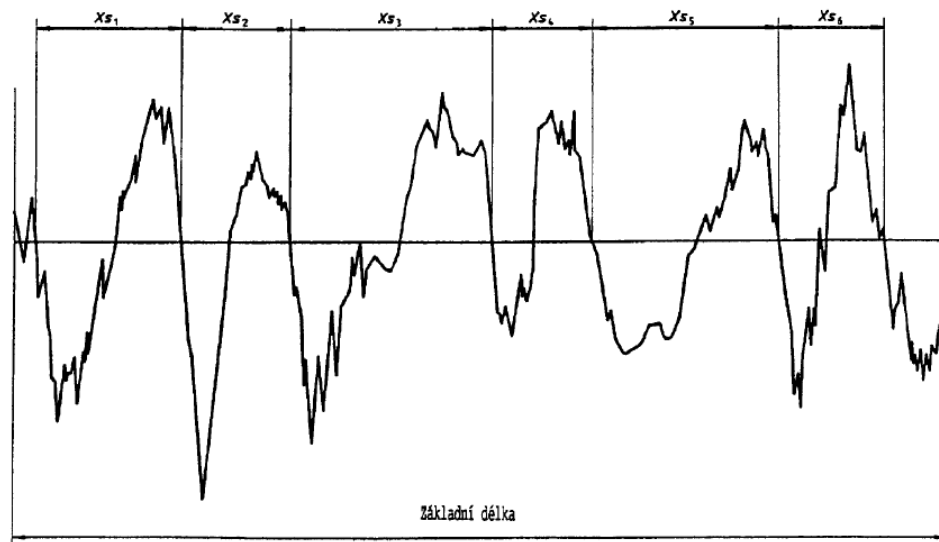
Podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Rq .

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

3) délkové parametry

- RSm - průměrná šířka prvků profilu

Aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky.

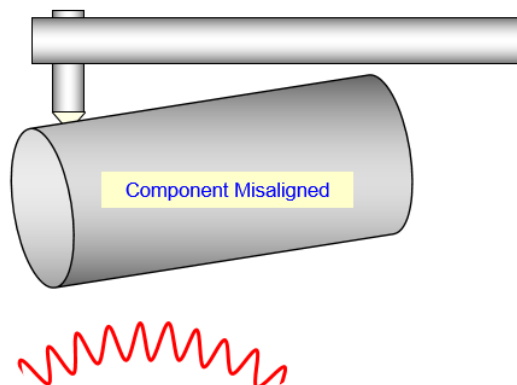


Obrázek 8: Parametr Rsm

2.4 Vliv vyosení snímače drsnoměru na hodnoty měřené drsnosti

Normy v oblasti měření drsnosti popisují vyhodnocované parametry [2, 6], matematické popisy filtrů [4], parametry měřicích přístrojů [3], příručky [7, 8, 9, 10] se obvykle zabývají rozpoznáním typu měřeného povrchu (periodický, neperiodický), volbou typu filtru a jeho nastavením, vyhodnocením měřených dat atp. Manuály [11] uživatele seznamují se základní obsluhou a nastavením přístroje, aby měření odpovídalo výše zmíněným normám. Vědecké články vyhledané v plnotextových databázích se zabývají modelováním parametrů struktury povrchu, nikoliv však samotným měřením a vlivem vyosení senzoru z osy měřené díry.

Pouze příručka společnosti Talyor Hobson [10] upozorňuje na chybu tvaru, která je způsobena nezarovnáním měřené součásti vůči směru posuvu raménka drsnoměru (Obrázek 9). Není zde vyjádření, zda má tato chyba vliv na měřenou hodnotu parametrů struktury povrchu, případně jakou a není zde popsán vliv na měření vnitřního povrchu, tedy díry. Zřejmě platí předpoklad, že lineárně měřená drsnost povrchu díry by se měla měřit v ose díry, rovnoběžně s osou měřené díry. Nikde však není uvedeno pojednání o vlivu vyosení na hodnotu měřené drsnosti. Proto bylo navrženo tento vliv zjistit experimentálně.

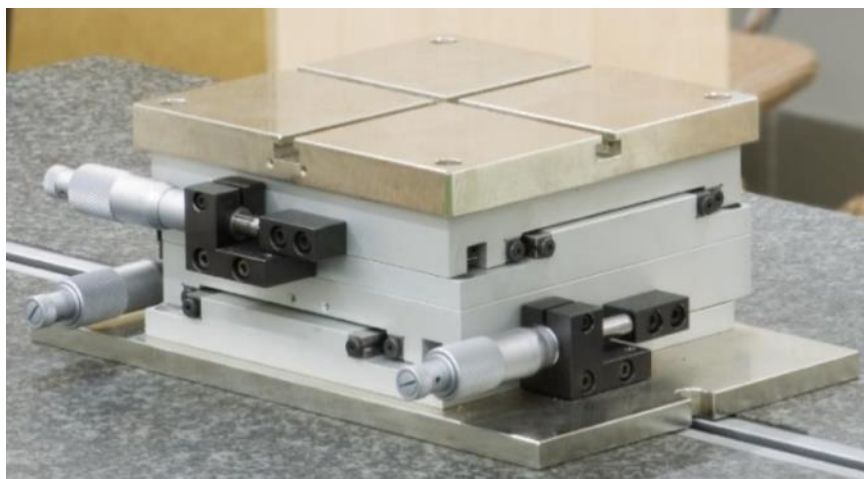


Obrázek 9: Chyba tvaru vzniklá nesprávným zarovnáním měřeného dílu [10]

Na základě rešerše odborné literatury na úrovni norem, příruček, manuálů, česky psané literatury, zahraničních publikací se dá říci, že neexistují žádné studie, které by detailně řešily vliv vyosení snímače na hodnotu měřeného parametru struktury povrchu. Proto bylo rozhodnuto zjistit tento vliv experimentálně.

2.5 Manipulační stolek

Jak ukazuje (Obrázek 1) a v detailu i (Obrázek 10) lze ke stroji HOMMEL zakoupit příslušenství ve formě manipulačního stolku s mikrometrickými šrouby (rozsah pohybu 25 mm), případně stolku, který disponuje krokovým motorem s možností posuvu v ose příčné na směr měření [12]. Výrobce udává, že takovýto stolek je vhodný pro topografická měření, ale stolek samotný disponuje opět velmi malým rozsahem pohybu, který je dostatečný pro výše uvedené měření, ale nedostatečný pro manipulaci se zkušební tělesem větších rozměrů (např. 200x200 mm).



Obrázek 10: Současný manipulační stolek

Nedostatečný rozsah pohybu mikrometrického šroubu lze ukázat na příkladu zkušební tělesa s deseti řadami děr průměru 12 mm se stěnou mezi otvory 5 mm. Rozteč děr je v takovém případě 17 mm a to znamená, že mikrometrický šroub s rozsahem 25 mm postačí pro měření dvou po sobě jdoucích děr a poté je nutné stolek vrátit do původní polohy, měřený

kus posunout, zafixovat a znovu sesouhlasit rovnoběžnost čelní plochy stolku a čelní plochy měřeného kusu.

Jak ukazuje dosavadní práce na Západočeské univerzitě v Plzni [13], která vychází z disertační práce [14], je při velmi přesném laboratorním měření, navzdory přesným přístrojům a řízenému laboratornímu prostředí, nutné dbát také na počáteční justaci měřených součástí před samotným provedením měření a to na každém měřicím přístroji. Tím lze významně omezit časy potřebné pro přípravu měření, zkrátit množství opakovaných měření a tím celkově zefektivnit laboratorní práci.

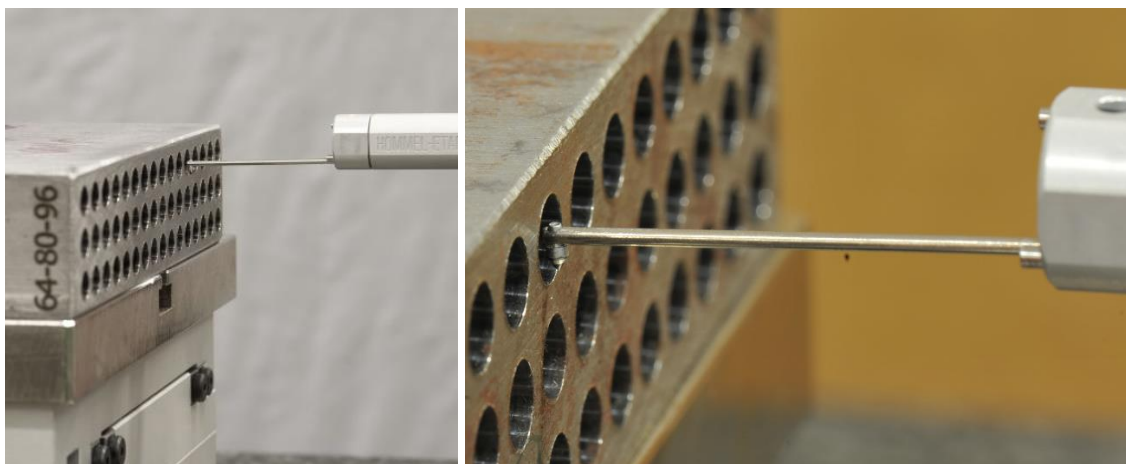
Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o návrhu nového manipulačního stolku, který bude schopen na svou délku pohybu umožnit měření více po sobě jdoucích otvorů.

2.6 Diagnostický systém

Návrhem vhodného diagnostického systému, který by diagnostikoval vzájemnou polohu snímače a vybraného měřené díry, lze zjednodušit práci operátora při justaci některých specifických měřených těles. Mezi takové patří například měření malých děr a měření povrchu na čele válcových zahloubení.

2.6.1 Justace zkušebních těles s malými otvory

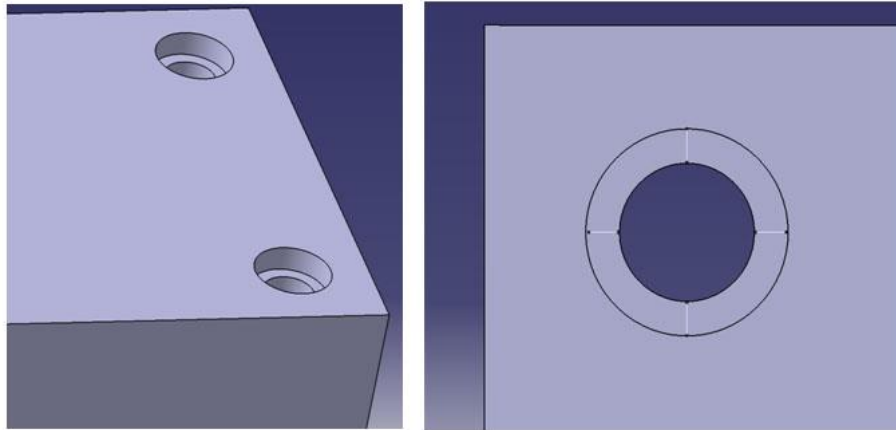
V případě justace dílu s malými dírami se objeví první úskalí správné a rychlé justace dílu na drsnoměru. Jako příklad poslouží zkušební těleso (Obrázek 11) s dírami průměru 6 mm. Instalovaný snímací dotek TS1 KE5/90GD T1,9 D 4/30 (Obrázek 11) má možnost měřit od průměru 4 mm v hloubce 30 mm. Vzhledem k rozměrům snímacího doteku v poměru k měřené díře je pro operátora velmi náročné navést snímací dotek do díry takovým způsobem, aby nedošlo k poškození snímacího doteku nebo a dotek nebyl v kontaktu se stěnou díry.



Obrázek 11: Justace zkušebního těleso s otvory průměru 6mm

2.6.2 Měření dna válcového zahloubení

Dalším příkladem měření vyžadujícím delší justační časy je měření dna válcového zahloubení (Obrázek 12). V takovém případě bude mít vyosení senzoru z osy významný vliv, protože stopy po nástroji v tomto případě byly soustředné s osou zahloubení. Obrázek 12 vpravo ukazuje stopy měření požadované zákazníkem.



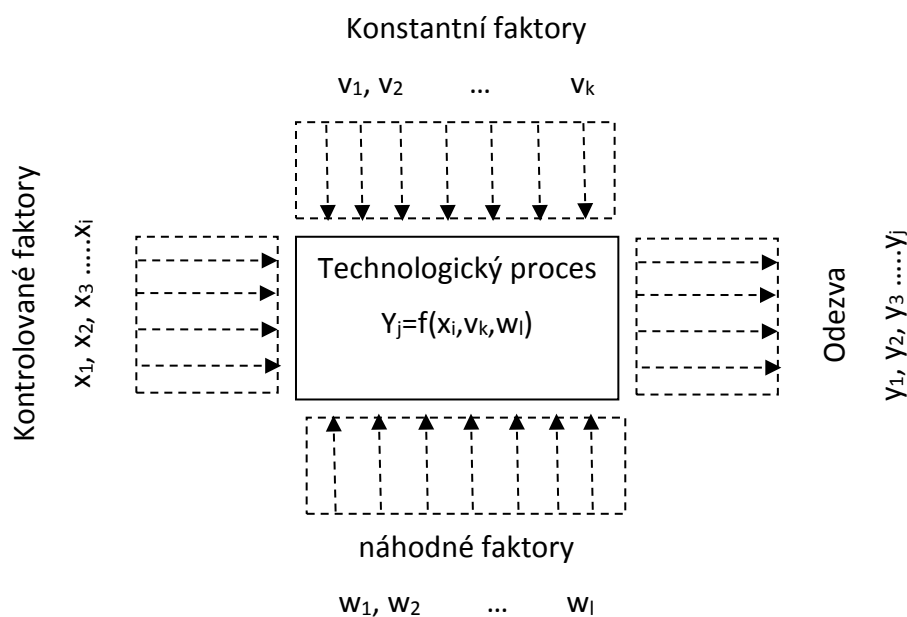
Obrázek 12: Měření válcového zahloubení

Předchozí odstavce popisují dva příklady, u kterých je diagnostika vzájemné polohy senzoru a osy měřeného otvoru velmi vhodná, protože usnadní práci operátora měřicího přístroje a případně zamezí kolizi snímače s měřeným kusem.

3 Experimentální zjištění vlivu vyosení snímače na hodnotu měření

3.1 Úvod

„Častým úkolem (nejen) technologicko-technické praxe je zjištění vazeb a vztahů mezi určitými veličinami zkoumaného procesu. Jde zvláště o případy, kdy proces je velice složitý a neexistuje pro jeho popis (dostatečně) vhodný matematicko-fyzikálně-chemický model“. [15] K tomuto účelu se dobře hodí experimentální zjištění odezvy zkoumaného procesu na změnu některého z faktorů. „V plánovaném experimentu jde o vytvoření takových podmínek, aby rozsah experimentu byl co nejmenší, ale objem i forma informací co nejkvalitnější“. [15] Na technologický proces působí řada faktorů, které jej ovlivňují a mění výsledné parametry procesu. (Obrázek 13)



Obrázek 13: Schéma technologického procesu

Úkolem experimentátora je definovat říditelné faktory, konstantní faktory, omezit ostatní (náhodné) faktory, které by mohly vést ke znehodnocení výsledků experimentu. U říditelných faktorů se definují jejich úrovně ve vybraném rozsahu. Dále je potřeba definovat sledované veličiny. Kombinace druhů faktorů a očekávaného typu chování procesu (lineární, kvadratický atd.) určuje nejvhodnější metodu tvorby plánu experimentu.

Plán experimentu stanovuje 3 charakteristiky: [16]

- počet pokusů, ze kterých se experiment skládá,
- podmínky, za kterých se jednotlivé pokusy uskuteční,
- pořadí pokusů.

Pokusem se rozumí zjištění hodnoty odezvy procesu za předem daných podmínek. Provedením sady pokusů v určitém pořadí je proveden experiment.

Faktor, ve smyslu návrhu experimentu, označuje proměnnou, kterou volí na počátku experimentátor. [17] Aby bylo možné provést experiment podle plánu, který je sestaven dle několika možných pravidel, musí být tyto proměnné říditelné a na sobě nezávislé.

Z hlediska DOE rozeznáváme dva základní druhy proměnných (faktorů) [17]:

1. diskrétní kvalitativní nebo kvantitativní (někdy označovanou jako kategoriální),
2. spojitou.

Metody tvorby plánu experimentu [16] [17]:

- plnofaktorový experiment na dvou úrovních,
- částečný faktorový experiment na dvou úrovních,
- Latinské čtverce,
- centrální kompozitní plány,
- Taguchiho plány,
- optimální plány.

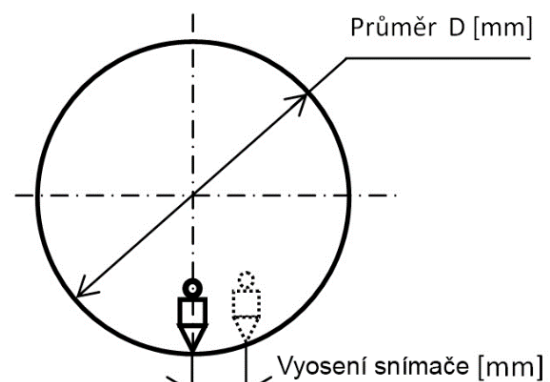
Po sestavení plánu experimentu a jeho provedení následuje jeho vyhodnocení. Vyhodnocení experimentů provedených podle specifického plánu je založeno na statistickém přístupu. Jsou používány matematické nástroje: analýza rozptylu, regresní analýza a další. [16] [18]

3.2 Preexperiment pro zjištění vlivu vyosení snímače

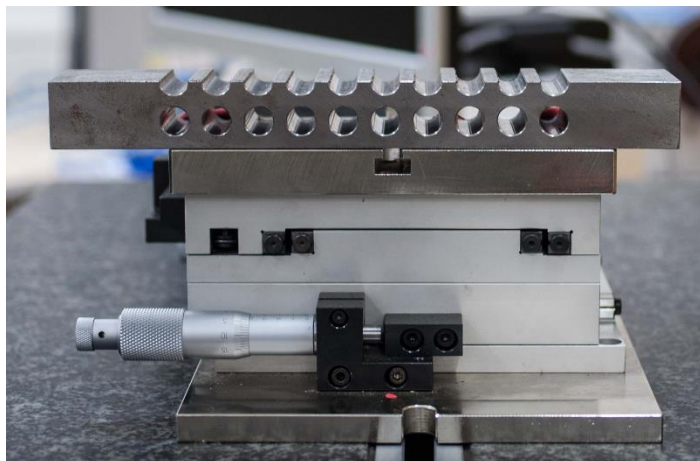
Pro první prokázání, zdali má vyosení snímače mimo osu díry statisticky významný vliv na měřenou hodnotu drsnosti povrchu, je vhodné navrhnout preexperiment.

V tomto případě se jedná o plnofaktorový experiment, kdy jediným měněným faktorem je vyosení hrotu snímače měřicího stroje (Obrázek 14). Faktor nabývá devíti úrovní od 0 mm do 4 mm s krokem 0,5 mm. Krok 0,5 mm odpovídá jedné otáčce mikrometrického šroubu u manipulačního stolečku a byl zvolen pro jednoduchost manipulace. Aby bylo možné prokázat, zda vyosení díry způsobí větší rozptyl naměřených hodnot, než samotné měření, je zapotřebí provést několik opakování měření. Z praxe na stroji HOMMEL byla zjištěna vysoká variabilita výsledků opakovaných měření, proto bylo rozhodnuto provést šest opakování měření.

Pro experiment byl vybrán vzorek po vystružování díry průměru 10 mm (Obrázek 15).



Obrázek 14: Schematický náčrt vyosení hrotu snímače



Obrázek 15: Zkušební těleso pro preexperiment

Osa díry byla nalezena pomocí sledování výchylky snímače v ovládacím SW měřicího stroje při justaci a ruční manipulací mikrometrickým šroubem současného manipulačního stolečku (Obrázek 3). Tento postup je však časově náročný a posunem měřeného povrchu kolmo k hrotu snímače dochází zřejmě k jeho nevhodnému zatížení.

Vyhodnocení parametrů je provedeno pro nejpoužívanější parametry drsnosti - Ra a Rz. Právě z povahy vybraných parametrů lze vyslovit hypotézu, že vliv vyosení snímače bude více výrazný právě u parametru Rz, protože se jedná o výškový parametr a je citlivější na místo měření než průměrovaný parametr Ra.

3.2.1 Analýza výsledků preexperimentu

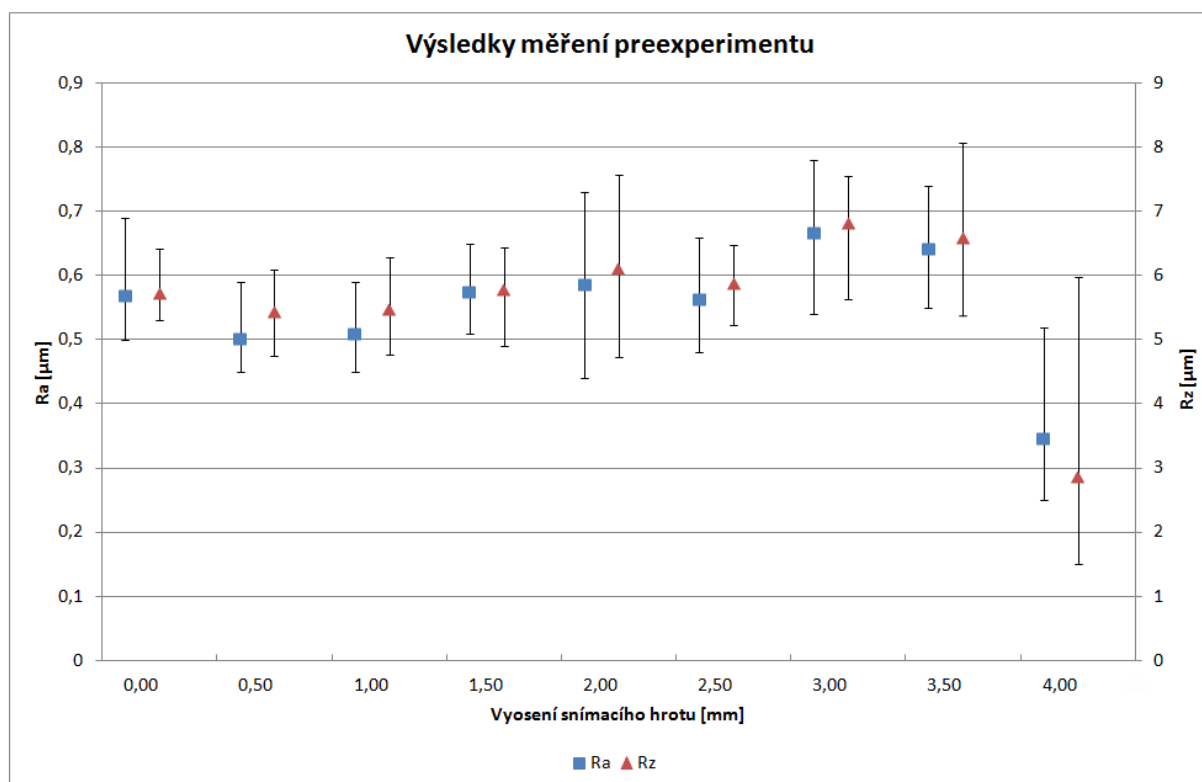
Z naměřených dat (Tabulka 1, Tabulka 2 a Obrázek 16) jsou vidět obrovské rozdíly při vyosení snímače o hodnotu 4 mm, což odpovídá téměř poloměru díry. Tento jev je způsoben nevhodným kontaktem mezi hrotem snímače a měřenou plochou, jak ukazuje Obrázek 17. Pro další analýzu bude tato sada dat vyřazena.

Tabulka 1: Měřené hodnoty parametru Ra z preexperimentu

Průměr 10 mm - Ra									
	Vyosení hrotu snímače								
	0,0 mm	0,5 mm	1,0 mm	1,5 mm	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm	3,5 mm	4,0 mm
Měření 1	0,52	0,45	0,45	0,60	0,56	0,51	0,60	0,63	0,32
Měření 2	0,50	0,47	0,47	0,57	0,52	0,48	0,54	0,57	0,27
Měření 3	0,56	0,50	0,54	0,65	0,73	0,66	0,70	0,59	0,52
Měření 4	0,55	0,46	0,59	0,51	0,44	0,56	0,60	0,55	0,25
Měření 5	0,59	0,52	0,53	0,55	0,69	0,66	0,71	0,74	0,32
Měření 6	0,69	0,52	0,48	0,61	0,60	0,58	0,74	0,73	0,27
Měření 7	0,57	0,59	0,50	0,54	0,56	0,49	0,78	0,68	0,47

Tabulka 2: Měřené hodnoty parametru Rz z preexperimentu

Průměr 10 - Rz									
	Vyosení hrotu snímače								
	0,0 mm	0,5 mm	1,0 mm	1,5 mm	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm	3,5 mm	4,0 mm
Měření 1	5,46	5,28	4,77	6,11	5,94	5,69	7,49	6,43	2,37
Měření 2	5,30	6,09	5,29	6,31	5,77	5,68	6,59	5,68	1,67
Měření 3	5,45	5,58	5,53	6,44	7,57	6,19	6,78	6,45	4,27
Měření 4	5,59	4,75	6,29	4,90	4,73	6,15	5,64	5,39	1,50
Měření 5	5,96	5,65	5,31	5,21	6,82	6,47	6,56	7,41	2,60
Měření 6	6,42	5,42	5,58	5,92	6,10	5,70	7,09	8,08	1,72
Měření 7	5,95	5,34	5,64	5,56	5,91	5,23	7,56	6,68	5,97



Obrázek 16: Grafické shrnutí výsledků preexperimentu



Obrázek 17: Kontakt snímače se stěnou díry

Pro otestování hypotézy, že není pozorovatelný rozdíl mezi jednotlivými měřeními (šumem) a rozdíly způsobenými vyosením snímače, se jeví jako nejlepší nástroj analýza rozptylu - ANOVA [18]. Detailní popis funkce analýzy rozptylu vč. příkladu je uveden v [19] a [20].

Pro použití analýzy rozptylu platí, že všechny pozorované náhodné veličiny jsou nezávislé s normálním rozdělením a stejným rozptylem. [21] [20] Proto je potřeba tyto předpoklady ověřit následujícími testy.

Test normality

Test normality byl proveden s pomocí statistického nástroje (Statistic Toolbox) SW Matlab. Byl vybrán Lillieforsův test, který je podobný Kolmogorovo-Smirnovovu testu, ale nepotřebuje předem specifikovat parametry ověřované distribuční funkce. Ty jsou odhadnuty přímo z měřených dat. [22]

Test normality se provádí pro každou skupinu měřených dat. V tabulce (Tabulka 3) jsou uvedeny výsledky testu pro všechny skupiny (jednotlivá vyosení snímače) parametrů R_a i R_z a z výsledků je patrné, že všechny skupiny hodnot obdržných při měření se na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ řídí normálním rozdělením a tudíž i druhý předpoklad analýzy rozptylu je splněn.

Testované hypotézy:

- H_0 : Jednotlivé náměry ve vybrané skupině se řídí normálním rozdělením.
- H_a : Jednotlivé náměry se ve vybrané skupině řídí jiným než normálním rozdělením.

Tabulka 3: výsledek testu normality

Parametr Ra			Parametr Rz		
Číslo skupiny	Vyosení snímače	Platí H_0 ?	Číslo skupiny	Vyosení snímače	Platí H_0 ?
1	0%	Ano	1	0%	Ano
2	5%	Ano	2	5%	Ano
3	10%	Ano	3	10%	Ano
4	15%	Ano	4	15%	Ano
5	20%	Ano	5	20%	Ano
6	25%	Ano	6	25%	Ano
7	30%	Ano	7	30%	Ano

Test shodnosti rozptylů

Pro test shodnosti rozptylů byl vybrán Bartlettův test, který ve většině pramenů uváděn na prvním místě [23]. Je citlivý na porušení podmínek normality. V takovém případě je pro test shodnosti rozptylů nutné použít jiný test, např. tzv. Levenův. Měřená data vykazují normální rozdělení, proto je možné pro test shodnosti rozptylů použít Bartlettův test.

Testované hypotézy:

- H_0 : Rozptyly testovaného souboru jsou shodné
- H_a : Minimálně jeden pár rozptylů v testovaném souboru dat shodný není

Tabulka 4: Výsledek testu shodnosti rozptylů

Parametr	Hodnota pravděpodobnosti	Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ nulovou hypotézu:
Ra	0,231	nezamítáme
Rz	0,189	nezamítáme

Z výsledku testu shodnosti rozptylu (Tabulka 4) je zřejmé, že nulová hypotéza nebyla zamítnuta a tudíž lze říci, že rozptyly testovaného souboru jsou shodné a tím je tento požadavek pro analýzu rozptylu splněn.

Analýza rozptylu

Z předcházejícího je zřejmé, že předpoklady pro analýzu rozptylu jsou splněny a lze tedy přikročit k vlastnímu porovnání rozptylů.

Formulace hypotéz:

- H_0 : Vliv faktoru (vyosení snímače) není statisticky významný, tj. hlavní podíl na rozptylu mezi hodnotami je způsoben rozdíly mezi měřeními.
- H_a : Vliv faktoru je statisticky významný.

Tabulka 5: Výsledek analýzy rozptylu u parametru Ra

Ra	Zdroj variability	Počet stupňů volnosti	Součet čtverců	Průměrný čtverec	F	p
	faktor	7	12,11985	1,73141	4,431	0,0007279
	šum	48	18,75634	0,39075		
	celkem	55	30,87620			

Tabulka 6: Výsledek analýzy rozptylu u parametru Rz

Rz	Zdroj variability	Počet stupňů volnosti	Součet čtverců	Průměrný čtverec	F	p
	faktor	7	16,90125	2,41446	8,2061	0,0000003
	šum	48	21,18444	0,29423		
	celkem	55	38,08569			

Je-li hodnota pravděpodobnosti p menší než α , je nulová hypotéza zamítnuta a platí alternativní hypotéza.

3.2.2 Zhodnocení preexperimentu

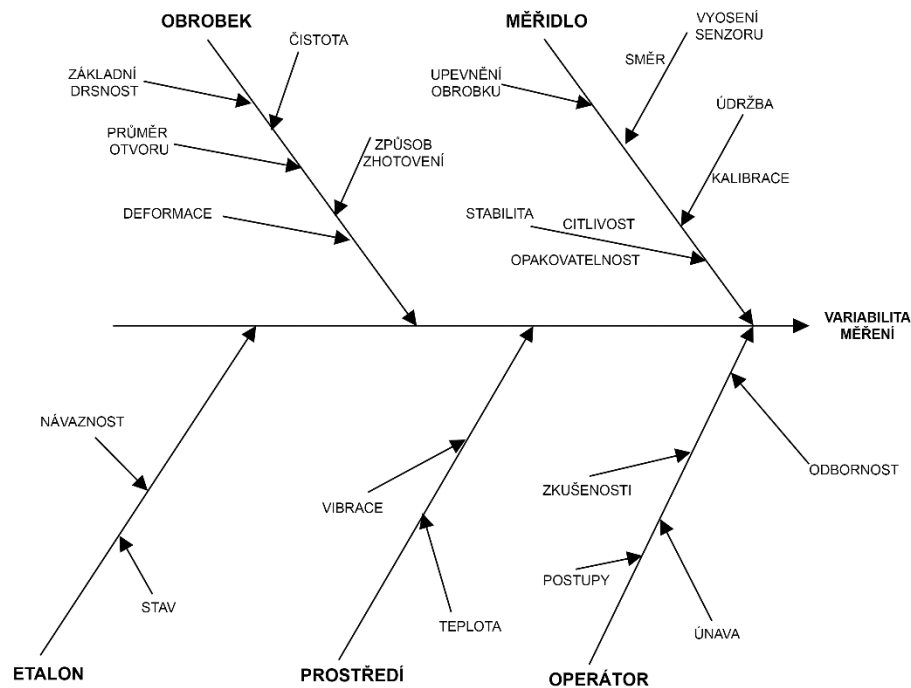
Na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$ je u parametru Ra (Tabulka 5) hodnota pravděpodobnosti p menší, nulová hypotéza je tedy zamítnuta a lze říci, že u parametru Ra je statisticky významný rozdíl způsobený vyosením snímače měřicího stroje. U parametru Rz (Tabulka 6) je situace stejná, tudíž u obou zvolených parametrů drsnosti je statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými vyoseními hrotu snímače měřicího stroje.

Při samotném měření bylo pečlivým pozorováním zjištěno, že měřicí přístroj HOMMEL po stisku tlačítka "návrat na původní pozici měření" (funkční klávesa F6), neprovedl návrat na přesně stejnou hodnotu pozice x . Tím je měřená přímka (vzdálenost l_t) vždy posunuta směrem ke kladným hodnotám vzhledem k počáteční pozici měření a tím dochází k rozdílům ve výpočtu parametrů, který se více projeví u parametru Rz. V následujícím experimentu bude zajištěn návrat na vždy stejnou pozici.

Preexperiment potvrdil domněnku, že vyosení snímače drsnoměru má vliv na výslednou měřenou hodnotu, alespoň pro průměr díry 10 mm se základní drsností Ra 0,52 μm a parametr Ra a Rz. Následující experiment podá lepší představu o chování měřených hodnot struktury povrchu při změně vyosení senzoru.

3.3 Experimentální zjištění vlivu vyosení snímače drsnoměru na hodnotu měření

Protože jednou ze zásad pro přípravu experimentu je důkladné poznání zkoumaného procesu, je výhodné pro zkoumaný proces sestavit např. Ishikawův diagram (Obrázek 18). Ishikawův diagram je jedním ze základních nástrojů řízení kvality a používá se pro zobrazení a následnou analýzu příčin a následků.



Obrázek 18: Ishikawův diagram procesu měření drsnosti povrchu

3.3.1 Řiditelné faktory

Pro experiment byly vybrány následující říditelné, nezávisle proměnné faktory:

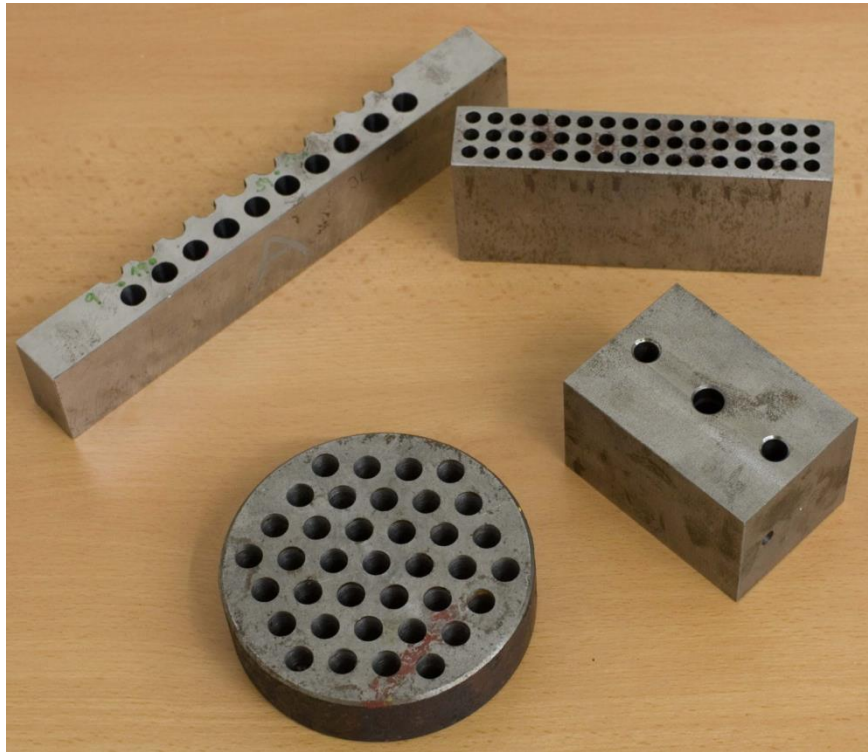
- **Základní drsnost**

Základní drsnost představuje drsnost otvoru, kterou lze obdržet měřením v ose otvoru. Lze vyjádřit názor, že vyosení senzoru může mít vyšší vliv u větších základních drsností. Základní drsnost je kategoriální proměnnou se dvěma úrovněmi, vysoká a nízká. Vysokou hodnotu základní drsnosti reprezentují vrtané otvory a nízkou hodnotu otvory vystružované.

- **Průměr díry**

Pro zjednodušení přípravných prací před experimentem bylo rozhodnuto využít vystružené a vrtané díry z předchozích experimentů vedených v rámci diplomových a bakalářských prací na Katedře technologie obrábění (Obrázek 19).

Z tohoto důvodu je průměr díry považován za kategoriální proměnnou se třemi úrovněmi: 6, 10 a 12 mm.



Obrázek 19: Zkušební tělesa použitá při experimentu

- **Vyosení snímače**

Vyosení snímače je jediný faktor v experimentu, který lze považovat za spojitě proměnný, proto v rámci plánu experimentu dosahuje pěti hodnot: 0,1; 0,65; 0,83; 0,95; 1,2 mm. Maximální hodnota vyosení snímače byla volena s ohledem na minimální průměr měřeného otvoru 6 mm, kde vyosení 1,2 mm dosahuje 20% průměru otvoru a skýtá dostatek prostoru pro manipulaci s hrotem snímače, aniž by došlo k jeho nechtěnému kontaktu se stěnou díry, jak tomu bylo v průběhu preexperimentu.

- **Směr posunu snímače**

Pro ověření vlivu směru posunu snímače je vhodné experiment provést s posunem snímače měřicího stroje jako samostatného faktoru a to na obě strany od osy díry. V tomto případě se opět jedná o kategoriální proměnnou na dvou úrovních.

Tabulka 7: Přehled faktorů experimentu

Faktor	Označení	Jednotka	Rozsah	Typ proměnné
Základní drsnost	A	-	Vysoká / nízká	kategoriální
Průměr díry	B	mm	6; 10; 12	kategoriální
Vyosení snímače	C	mm	0,1 ÷ 1,2	numerická
Směr posunu snímače	D	-	+1 / -1	kategoriální

3.3.2 Fixní faktory

Ostatní faktory, které by mohly mít vliv na výsledek měření, byly zafixovány na konstantních úrovních.

Jedná se hlavně o:

- **Správnost kalibrace měřicího přístroje**

Před vlastním provedením experimentálního měření bylo provedeno ověřovací měření etalonu. Protokol z měření etalonu je uveden v příloze na straně ii.

- **Poloměr hrotu snímače**

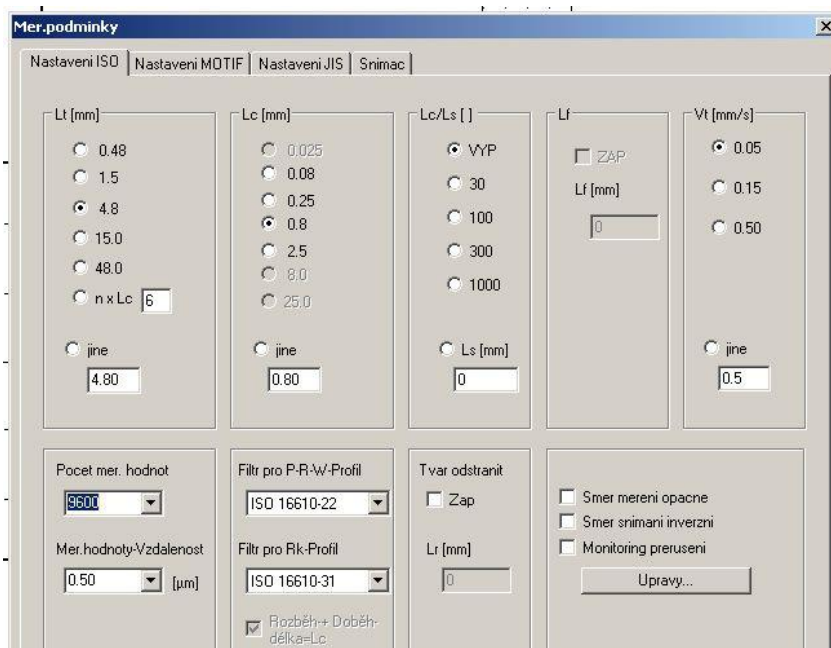
Všechny pokusy je vhodné změřit se stejnými podmínkami, mezi které patří i rádius poloměru snímače. K dispozici je snímač s poloměrem hrotu 5 μm .

- **Měřicí rychlost.**

Měřicí rychlost je zvolena spíše menší a to zejména z důvodu velké variability základních drsností, kdy u vrtaných otvorů s vysokou drsností může vlivem vyšší rychlosti dojít ke ztrátě kontaktu měřicího hrotu s měřeným povrchem. Stroj HOMMEL disponuje nejmenší rychlostí posunu snímače $v_t = 0,05 \text{ mm/min}$.

- **Nastavení filtru λ_c , λ_s a jeho typ.**

Pro celý experiment je ponechán nastaven filtr typu Gauss dle normy ISO 16610-22, nastavený na hodnotu $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$. Filtr λ_s je nastaven na hodnotu 0 (Obrázek 20), což vyplývá z doporučení aplikačního technika firmy HOMMEL CS.



Obrázek 20: Nastavení měřicích podmínek pro experiment

- **Rovnoběžnost osy měřené díry ke směru pojezdu snímače.**

Rovnoběžnost osy měřeného povrchu ke směru snímače je jediný případ, který je popsán v prameni [10], ale je zdůrazněn pouze vliv na chybu tvaru.

V případě navrhovaného experimentu je vrchní deska manipulačního stolku, která je otočně spojena se základnou, vyrovnána pomocí číselníkového úchylkoměru. Základna stolku se pohybuje pomocí vodicích kamenů v drážce granitové desky měřicího přístroje HOMMEL a k té samé drážce je sesouhlasena osa pojezdu snímacího hrotu. Tím je zajištěna kolmost přední strany stolku ke směru pojezdu snímače. Poté již stačí měřený zkušební kus sesouhlasit s čelem stolku. Všechny díry byly vyrobeny do zkušebních úhlových polotovarů, proto je i zde předpoklad správného sesouhlasení osy měřené díry a směru pojezdu snímače.

- **Teplota a vibrace**

Celý experiment je proveden v laboratorních podmínkách laboratoře metrologie Katedry technologie obrábění. Stroj HOMMEL je postaven na pevném stole, který stojí na vibračně odrušeném základu. Od desky stolu je granitová deska izolována gumovými patkami. Stálou teplotu v laboratoři udržuje klimatizace.

3.3.3 Odezva

Pro úplný přehled o chování jednotlivých parametrů struktury povrchu, je rozhodnuto provést vyhodnocení experimentu pro zástupce výškových i průměrovaných parametrů u všech třech typů profilů (Tabulka 8).

Tabulka 8: Přehled sledovaných veličin experimentu

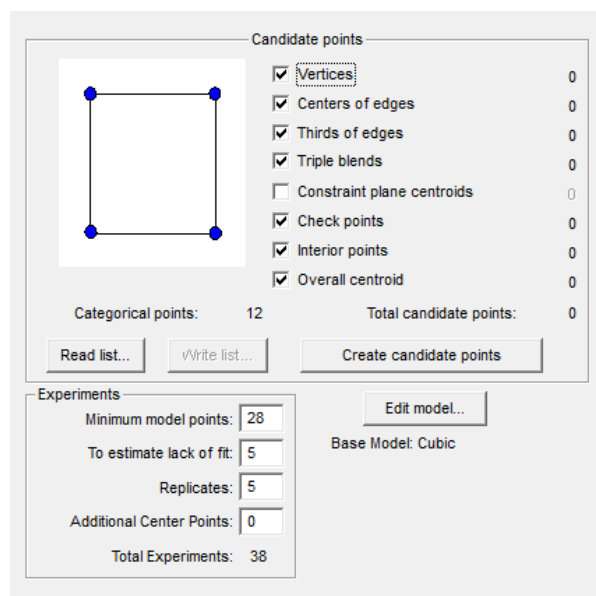
	Základní profil	Profil drsnosti	Profil vlnitosti
Výškový parametr	Pt, Pz	Rt, Rz	Wt, Wz
Průměrovaný parametr	Pa, Pq	Ra, Rq	Wa

3.3.4 Sestavení plánu experimentu

Vzhledem k tomu, že kategoriální proměnné převyšují počtem proměnné spojité, je pro sestavení plánu experimentu potřeba použít D-optimální návrh [17] [24], který umí počítat s větším množstvím kategoriálních proměnných. S takovým zadáním si poradí například SW Design Expert, který je pro sestavení návrhu použit.

Studie pro získání odezvové plochy (response surface) se jeví jako nejlepší a proto je zvolena pro návrh tohoto experimentu. Jako nejvyšší matematický model, který daný návrh dokáže popsat, je zvolen model kubický a to z důvodu tvaru křivky, kterou vytváří měřená data z preexperimentu (Obrázek 7).

Souhrn nastavení před samotným generováním plánu experimentu ukazuje Obrázek 21. Přehled faktorů a jejich úrovní je v Tabulka 7. Úplný plán experimentu je v příloze na stranách iv, v.



Obrázek 21: Nastavení SW pro návrh experimentu

3.3.5 Odezva - procentuální rozdíl

Odezvou, kterou má matematický model vytvořený pomocí výše zmíněného SW popisovat, je zvolen procentuální rozdíl (Rovnice 5) mezi hodnotou parametru drsnosti obdrženu při hodnotě vyosení 0 a hodnotou parametru drsnosti měřenou při vyosení snímače dle plánu experimentu. Pro každý z 38 bodů plánu experimentu je tedy potřeba provést dvě měření. V ose otvoru a v patřičném vyosení.

$$Ra\% = \frac{|Ra_0 - Ra_{vyoseni}|}{Ra_0} \cdot 100 \quad (5)$$

3.3.6 Analýza matematických modelů - procentuální rozdíl

Pro každou zkoumanou veličinu vytvoří statistický SW matematický model od jednoduchého lineárního až po zadaný kubický. První analýza, která je provedena, je porovnání matematických modelů mezi sebou na základě výsledků analýzy rozptylu.

V tomto případě analýza rozptylu ukazuje, jestli variabilita způsobená náhodnými chybami je výrazně menší než variabilita měřených hodnot vysvětlená modelem. Hodnota Prob>F poukazuje na adekvátnost modelu podle Fisher-Snedecorovo testovacího kritéria.

Nulová hypotéza v tomto případě hovoří o tom, že žádný z členů modelu nemá vliv na hodnotu odezvy. Při hladině významnosti 5% to znamená, že pokud Prob>F je menší než 0,05 se nulová hypotéza zamítá a v takovém případě vždy existuje alespoň jeden člen v modelu, který má vliv na výslednou odezvu. Každý matematický model splňující tuto podmínku je vyhodnocen jako doporučený pro další analýzu. Příklad je uveden u parametru Ra% (viz Obrázek 22).

Response: Ra%

Sequential Model Sum of Squares

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Mean	4194.68	1	4194.68			
<u>Linear</u>	<u>1379.91</u>	<u>5</u>	<u>275.98</u>	<u>5.17</u>	<u>0.0014</u>	<u>Suggested</u>
2FI	743.44	9	82.60	1.97	0.0920	
Quadratic	3.169E-004	1	3.169E-004	7.216E-006	0.9979	
Cubic	367.14	12	30.59	0.51	0.8652	
Residual	598.96	10	59.90			
Total	7284.12	38	191.69			

Obrázek 22: Porovnání matematických modelů pro proměnnou Ra%

Další test matematického modelu je test chyby nedostatečného přizpůsobení modelu, který testuje rozptyl reziduí a porovná jej s rozptylem naměřených dat uvnitř skupin. Tím ukáže, zda regresní model dostatečně vystihuje sledovanou odezvu.

Nulová hypotéza v tomto případě vychází z předpokladu, že rozptyl reziduí je menší nebo rovný jako rozptyl uvnitř skupin. Oproti tomu alternativní hypotéza říká, že rozptyl reziduí je větší než rozptyl uvnitř skupin.

Tabulka 9 ukazuje chybu přizpůsobení modelu pro veličinu Ra%. Z dat je patrné, hodnota Fisherova testovacího kritéria převedeného do pravděpodobnostního měřítka je v tomto případě 0,4593. Při hladině významnosti $\alpha = 0,05$ tedy nulovou hypotézu nezamítáme, tudíž platí, že rozptyl reziduí je menší nebo rovný rozptylu uvnitř skupin a můžeme tvrdit, že model je dostatečný.

Tabulka 9: Lack of Fit test u parametru Ra%

Source	Sum of squares	DF	Mean Squire	F Value	Prob > F
Lack of Fit	1428,00	26	54,92	1,17	0,4593
Pure Error	281,53	6	46,92		
Cor Total	3089,44	37			

Mezi další parametry modelu patří koeficient determinace R^2 (R-Squared) a jeho upravená varianta (Adj R-Squared). Koeficient determinace vyjadřuje míru, kterou je model schopný vysvětlit změnu veličiny, která je způsobena změnou jednotlivých parametrů zahrnutých v modelu a není způsobena náhodnými vlivy, případně šumem. Je-li jeho hodnota nad 70%, můžeme model považovat za dostatečný pro technickou praxi. V případě modelu Ra% je hodnota upraveného koeficientu determinace 0,3602 (viz Tabulka 10), což znamená, že model dokáže vysvětlit 36,02% rozptylu hodnot procentuálního rozdílu parametru drsnosti Ra.

Tabulka 10: Hodnocení modelu Ra%

Std. Dev.	7,31	R^2	0,4467
Mean	10,51	R^2_{adj}	0,3602
C.V.	69,57	Pred R^2	0,2247
PRESS	2395,37	Adeq Precision	8,579

Hodnocení navržených matematických modelů popisujících chování procentuálních rozdílů jednotlivých parametrů obsahuje Tabulka 11. Z tabulky je patrné, že chování procentuálního rozdílu nelze modelovat u žádného z vybraných parametrů.

Tabulka 11: Hodnocení matematických modelů popisujících procentuální rozdíly

Parametr	Navržený model	Prob>F modelu	Prob>F testu Lack of Fit	Upravený index determinace	Navržený model vyhovuje?
Pa	Lineární	0,0472	0,4184	0,1733	ne
Pq	2FI	0,3522	0,8422	0,0633	ne
Pz	žádný				
Pt	kvadratický	0,0644	0,0264	0,0082	ne
Ra	Lineární	0,014	0,4588	0,3597	ne
Rq	Lineární	0,0734	0,5111	0,1443	ne
Rz	žádný				
Rt	žádný				
Wa	2FI	< 0,0001	0,0006	0,8194	ne
Wz	Lineární	0,0030	0,0689	0,3238	ne
Wt	žádný				

3.3.7 Odezva - rozdíl

Předchozí kapitola dokazuje, že není možné modelovat procentuální rozdíl jako samostatnou veličinu. Proto je přistoupeno k nové analýze měřených dat, kdy je za modelovanou veličinu dosazen rozdíl osových hodnoty parametru struktury povrchu a jeho hodnota při vyosení snímače v daném bodě dle plánu experimentu.

3.3.8 Analýza matematických modelů - rozdíl

Souhrnné hodnocení matematických modelů popisujících chování rozdílu osových hodnoty vybraného parametru struktury povrchu a jeho změny při vyosení snímače obsahuje Tabulka 12.

Z hodnocení vyplývá, že rozdíly v naměřených hodnotách lze modelovat pouze v případě průměrovaných filtrovaných parametrů, tedy Ra, Rq a Wa.

Tabulka 12: Hodnocení matematických modelů popisujících rozdíl

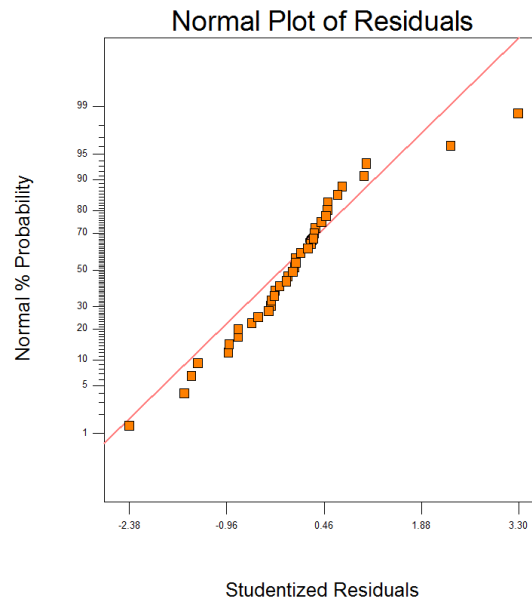
Parametr	Navržený model	Prob>F modelu	Prob>F testu Lack of Fit	Upravený index determinace	Navržený model vyhovuje?
Pa	Lineární	0,0053	0,8501	0,2971	ne
Pq	Lineární	0,0024	0,9516	0,3350	ne
Pz	Lineární	0,0056	0,5251	0,2706	ne
Pt	Lineární	0,0078	0,3809	0,2769	ne
Ra	2FI	< 0,0001	0,5508	0,7738	ano
Rq	2FI	< 0,0001	0,9513	0,7333	ano
Rz	Lineární	0,0052	0,9621	0,2981	ne
Rt	Lineární	0,0213	0,6900	0,2013	ne
Wa	2FI	< 0,0001	0,0637	0,7709	ano
Wz	Lineární	< 0,0001	0,1817	0,5752	ne
Wt	Lineární	< 0,0001	0,1305	0,5565	ne

Navržené modely, které vyhovují předchozím podmínkám, je nutné podrobit další diagnostice.

K diagnostice navržených a platných matematických modelů nabízí SW Design Expert řadu grafických nástrojů. Mezi ně patří například:

- **Normal probability plot** - slouží pro ověření normality. Vykresluje rezidua vůči jejich očekávané hodnotě při normálním rozdělení [25]. Příklad pro parametr Rz zobrazuje Obrázek 23.

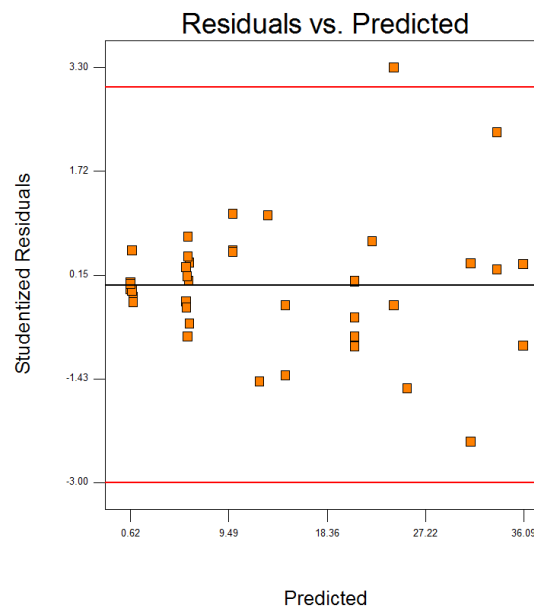
DESIGN-EXPERT Plot
Rz



Obrázek 23: Graf normality reziduí (Rz)

- **Residual vs. fits plot** - velmi často používaný graf při hodnocení reziduí regresní analýzy. Graf je využíván k nalezení nelinearity, nestejného rozptylu chyby a odlehlých hodnot. [25]. Příklad pro parametr Rz zobrazuje Obrázek 24.

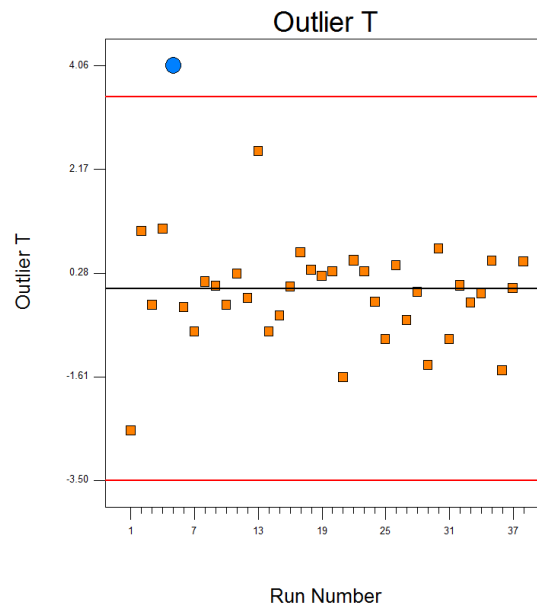
DESIGN-EXPERT Plot
Rz



Obrázek 24: Residual vs. fitted plot (Rz)

- **Graf odlehlých hodnot (Outlier)** - graf odlehlých hodnot parametru Rz ukazuje Obrázek 25.

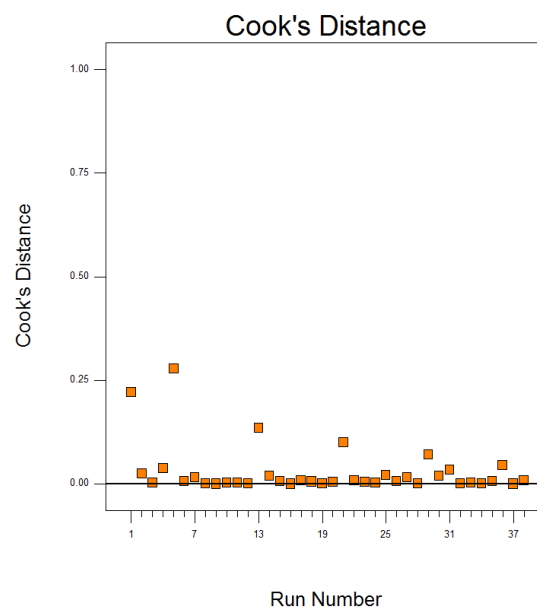
DESIGN-EXPERT Plot
Rz
Std Order 37
X: 5
Y: 4.065



Obrázek 25: Graf odlehlých hodnot (Rz)

- **Cook's distance plot** - graf zobrazující Cookovu vzdálenost D_i , která určuje který bod z měřených dat má vyšší vliv. Čím vyšší vliv měřeného bodu na model, tím je vyšší číslo D_i . Obrázek 26 obsahuje graf pro parametr Rz.

DESIGN-EXPERT Plot
Rz



Obrázek 26: Cook's distance plot (Rz)

- **Box-Cox Plot for Power Transform** - z tohoto grafu lze určit, jestli existuje transformace, která je schopna normalizovat data a jaký má být její parametr (λ) [26]. Obrázek 27 obsahuje graf Box-Coxovo transformace pro Rz. Z obrázku je

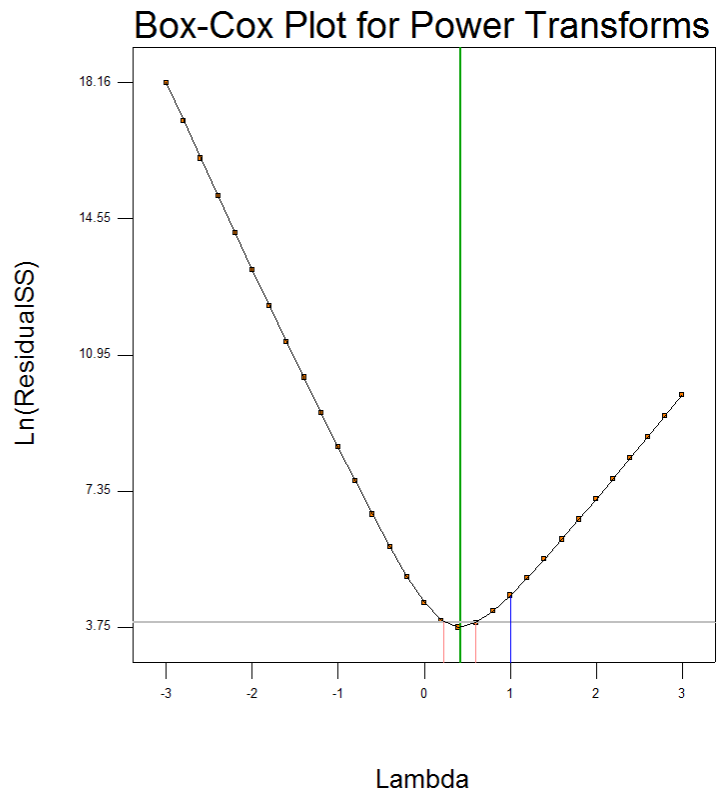
patrné, že je doporučeno transformovat vstupní data s parametrem $\lambda = 0,5$, což odpovídá transformaci podle vzorce (6).

$$y' = \sqrt{y + k} \quad (6)$$

DESIGN-EXPERT Plot
Rz

Lambda
Current = 1
Best = 0.42
Low C.I. = 0.23
High C.I. = 0.6

Recommend transform:
Square Root
(Lambda = 0.5)



Obrázek 27: Box-Cox plot parametru Rz

3.3.9 Souhrn k experimentu

Modelování rozdílu hodnoty v ose díry a ve vyosení snímače také nepřineslo kýžený výsledek. Z toho vyplývá, že je nutné modelovat chování samotného parametru struktury povrchu. Pro tento úkol však není dostatečný rozsah hodnot vyosení předchozího experimentu. Je tedy nutné provést nový experiment.

3.4 Experiment č. 2

Protože původní teze modelovat procentuální rozdíl měřené hodnoty nebyla potvrzena a modely rozdílů hodnot také nebyly validní, je nutné provést experiment znovu s rozšířením oblasti vyosení senzoru a s využitím poznatků získaných předchozím experimentem. Fixní faktory zůstávají stejné, pouze říditelné faktory jsou změněny.

3.4.1 Říditelné faktory druhého experimentu

Následuje popis říditelných faktorů pro druhý experiment, které souhrnně zobrazuje Tabulka 13.

- **Základní drsnost**

Tento faktor zůstává shodný s předchozím experimentem. Vysokou základní drsnost povrchu reprezentují vrtané díry a nízkou základní drsnost zase díry vystružované

- **Průměr otvoru**

Maximální hodnota vyosení snímače byla v předchozím experimentu 1,2 mm, tato hodnota nedává příliš dobrou představu o chování měřených hodnot v případě větších průměrů. Proto bylo rozhodnuto sloučit průměry do skupin a do experimentu vřadit průměr 8 mm. Tím pádem je možné zvětšit maximální velikost vyosení snímače u větších průměru a dojde tím k získání lepší představy o chování parametrů struktury povrchu v závislosti na vyosení snímače senzoru. Výsledné dvě skupiny jsou 6 + 8 mm a 10 + 12 mm.

- **Vyosení snímače**

Pro obě skupiny děr je plánována maximální velikost vyosení snímače jako 30% průměru nejmenšího průměru skupiny. Pro 6 mm je to 1,8 mm a pro 10 mm je vyosení 3 mm.

- **Směr posunu snímače**

Z předchozího experimentu vyplývá, že tento faktor nemá statisticky významný vliv a dále již nebude uvažován.

Tabulka 13: Říditelné faktory druhého experimentu

Faktor	Označení	Jednotka	Rozsah	Typ proměnné
Základní drsnost	B	-	Vysoká / nízká	kategoriální
Průměr díry	C	mm	6; 8 (skupina 1) 10; 12 (skupina 2)	kategoriální
Vyosení snímače	A	mm	0,0 ÷ 1,8 (skupina 1) 0,0 ÷ 3,0 (skupina 2)	numerická

3.4.2 Odezva pro experiment č. 2

Odezvami, pro druhý experiment jsou opět zástupci všech parametrů struktury povrchu P, R a W ve variantě průměrovaných (X_a , X_q) tak výškových (X_t , X_z).

3.4.3 Plán experimentu č. 2

Plán druhého experimentu je potřeba opět sestavit s pomocí SW Design Expert ve variantě D-optimálního plánu a to z důvodu většího počtu kategoriálních proměnných než numerických proměnných. Pro každou skupinu otvorů je sestaven plán experimentu.

Celý plán druhého experimentu pro obě skupiny otvorů shrnuje Tabulka 20 v příloze na straně xii.

3.4.4 Matematické modely experimentu č. 2

Jako odezvy jsou do SW Design Expert zadány měřené parametry parametrů P_t , P_z , P_a , P_q , R_t , R_z , R_a , R_q , W_t , W_z a W_a viz Tabulka 21 a Tabulka 22 na stranách xiv a xv přílohy.

Ze zadaných dat jsou sestaveny, ohodnoceny a diagnostikovány matematické modely pro každý parametr. Toto je provedeno pro obě skupiny průměrů děr. (Tabulka 14, Tabulka 15)

Tabulka 14: Hodnocení matematických modelů pro průměry 6 a 8 mm

Průměry 6 mm a 8 mm						
Parametr	Statisticky významné členy modelu	Transformace dat	Faktor A statisticky významný?	Prob>F modelu	Prob>F testu Lack of Fit	Upravený index determinace
Pa	A, B, C, BC, A ² B	logaritmická	ano	< 0,0001	0,0509	0,9941
Pq	A, B, C, AB, BC	logaritmická	ano	< 0,0001	0,1282	0,9913
Pz	A, B, C, BC	logaritmická	ano	< 0,0001	0,7679	0,9848
Pt	B, C, BC	logaritmická	ne	< 0,0001	0,6966	0,9832
Ra	B, C, BC	logaritmická	ne	< 0,0001	0,8628	0,9945
Rq	A, B, C, BC	odmocninová	ano	< 0,0001	0,9501	0,9876
Rz	B, C, BC	logaritmická	ne	< 0,0001	0,9964	0,9833
Rt	B, C, BC	logaritmická	ne	< 0,0001	0,9997	0,9729
Wa	A, B, C, BC	logaritmická	ano	< 0,0001	0,2112	0,9827
Wz	B, C, BC	logaritmická	ne	< 0,0001	0,0828	0,9777
Wt	B, C, BC	logaritmická	ne	< 0,0001	0,0497	0,9658

Tabulka 15: Hodnocení matematických modelů pro průměry 10 a 12 mm

Průměry 10 mm a 12 mm						
Parametr	Statisticky významné členy modelu	Transformace dat	Faktor A statisticky významný?	Prob>F modelu	Prob>F testu Lack of Fit	Upravený index determinace
Pa	B, C, AB, AC, BC	odmocninová	Jen interakce	< 0,0001	0,0298	0,9956
Pq	B, C, AB, BC	odmocninová	Jen interakce	< 0,0001	0,0581	0,9907
Pz	B, C	logaritmická	ne	< 0,0001	0,4730	0,9434
Pt	B, C, BC	žádná	ne	< 0,0001	0,0847	0,9548
Ra	A, B, C, A ² , AB, AC, BC, A ² C, ABC	odmocninová	ano	< 0,0001	0,1452	0,9984
Rq	A, B, C, A ² , AB, AC, BC, A ² B, A ² C, ABC	žádná	ano	< 0,0001	0,0490	0,9993
Rz	A, B, C, A ² , AB, BC, A ² B, A ² C	žádná	ano	< 0,0001	0,3374	0,9962
Rt	A, B, C, BC	žádná	ano	< 0,0001	0,3650	0,9720
Wa	B, AB, BC	logaritmická	Jen interakce	< 0,0001	0,0054	0,9610
Wz	A, B, AB, BC	logaritmická	ano	< 0,0001	0,0098	0,9809
Wt	A, B, C, AB, BC	Inverzní odmocninová	ano	< 0,0001	0,0056	0,9707

3.5 Závěr k experimentálnímu zjištění vlivu vyosení snímače na hodnotu měření

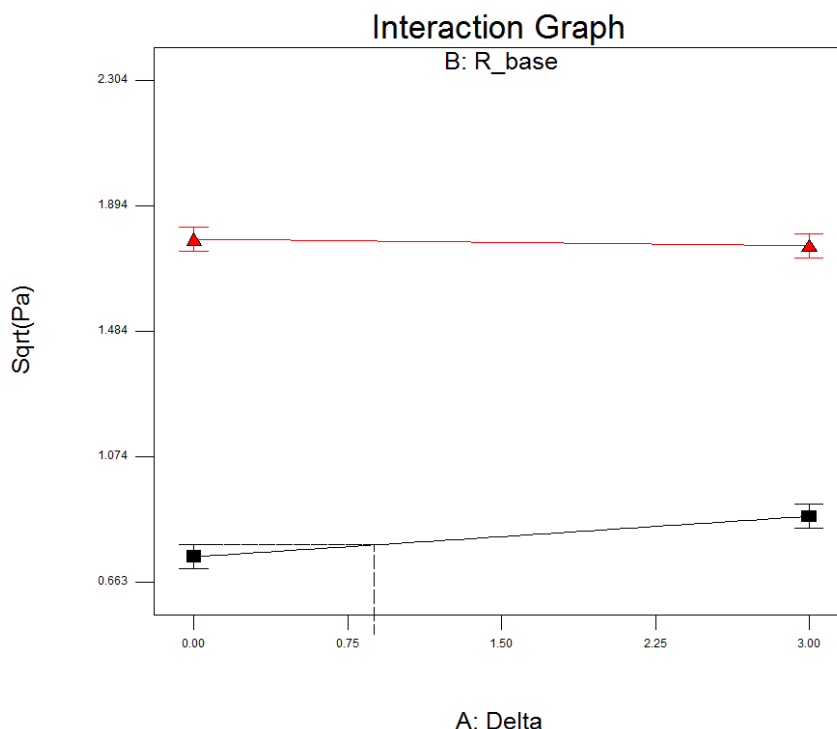
Tabulka 14 pro nižší průměry a Tabulka 15 pro vyšší průměry shrnují hodnocení matematických modelů parametrů struktury povrchu pro druhý experiment. Z tabulek je zřejmé, že v některých případech parametrů struktury povrchu není statisticky významný faktor vyosení snímače (C), v některých případech pouze v interakci (převážně s faktorem B, což je v tomto případě základní drsnost otvoru. Dále tabulky poukazují na skutečnost, že u některých modelů nevychází test nedostatečnosti přizpůsobení modelu (Lack Of Fit test). Z tohoto důvodu nelze jednoduše popsat chování jednotlivých parametrů v závislosti na vyosení senzoru. Proto je následující vyhodnocení provedeno grafickou metodou ze zobrazení modelu v SW Design Expert (model graphs). S využitím chybových úseček, které jsou obdrženy z opakování nulového bodu plánu experimentu, lze určit pro každý modelovaný parametr mezní hodnotu vyosení, kdy již tato způsobí změnu daného parametru struktury povrchu, která je větší než chyba vzniklá rozdílem mezi dvěma měřeními. Příklad vyhodnocení pro parametr Pa a průměr otvoru 12 mm ukazuje Obrázek 28. Jak je z obrázku vidět, pro nižší základní drsnost je mezní hodnota vyosení senzoru 0,88 mm, pro vyšší základní drsnost je hodnota parametru Pa téměř rovnoběžná s osou a tudíž lze říci, že v tomto případě parametr Pa téměř nemění svou hodnotu s vyosením senzoru. Takto obdržené maximální hodnoty vyosení senzoru pro jednotlivé parametry shrnuje Tabulka 16. Hodnocení je provedeno i pro parametry jejichž modely vykazují chybu v přizpůsobení modelu.

DESIGN-EXPERT Plot

Sqrt(Pa)

X = A: Delta
Y = B: R_base

■ B1 low
▲ B2 high
Actual Factor
C: D = 12



Obrázek 28: Vyhodnocení parametru Pa (12 mm)

Tabulka 16: Shrnutí maximálních vyosení pro jednotlivé parametry (hodnota vyosení v mm)

Parametr	Průměr 6 mm	Průměr 8 mm	Průměr 10 mm	Průměr 12 mm

	Nižší základní drsnost	Vyšší základní drsnost	Nižší základní drsnost	Vyšší základní drsnost	Nižší základní drsnost	Vyšší základní drsnost	Nižší základní drsnost	Vyšší základní drsnost
Pa	1,54	0,28	1,57	0,24	-	0,91	-	0,88
Pq	-	0,51	-	0,51	-	1,04	-	1,00
Pz	1,05	1,1	1,1	1,1	-	-	-	-
Pt	-	-	-	-	-	-	-	-
Ra	-	-	-	-	0,48	0,83	0,72	1,0
Rq	1,15	1,1	1,1	1,2	0,39	1,17	0,39	1,25
Rz	-	-	-	-	1,2	1,2	1,2	1,2
Rt	-	-	-	-	1,85	1,2	1,98	1,96
Wa	1,2	1,2	1,2	1,2	0,96	0,96	0,96	0,96
Wz	-	-	-	-	0,54	-	0,56	2,8
Wt	-	-	-	-	0,55	-	0,55	-
Nejmenší maximální hodnota vyosení pro daný průměr a hodnotu základní drsnosti	1,05	0,28	1,1	0,24	0,48	0,83	0,39	0,88

Z tabulky je patrné, že v případě menších děr (průměry 6 mm a 8 mm) a nižších základních drsností nejsou parametry struktury povrchu příliš citlivé na vyosení senzoru, které může dosáhnout hodnoty až 1,05 mm. V případě vyšších drsností (vrtané díry) je u některých parametrů potřeba dodržet maximální vyosení 0,24 mm. U vyšších průměrů (10 mm a 12 mm) je situace obrácená. Větší vyosení senzoru je možné v případě vyšších základních drsností povrchu (vrtané díry). Nejmenší hodnota vyosení je v tom případě 0,83 mm. Pro nižší základní drsnost je nutné dodržet hodnotu vyosení do 0,39 mm.

Pro účely této práce bude jako maximální hodnota vyosení senzoru považována hodnota 0,24 mm. Tuto hodnotu musí být manipulační stolek ve spojení s diagnostickým systémem zajistit, aby žádná z měřených hodnot nebyla vyosením senzoru ovlivněna.

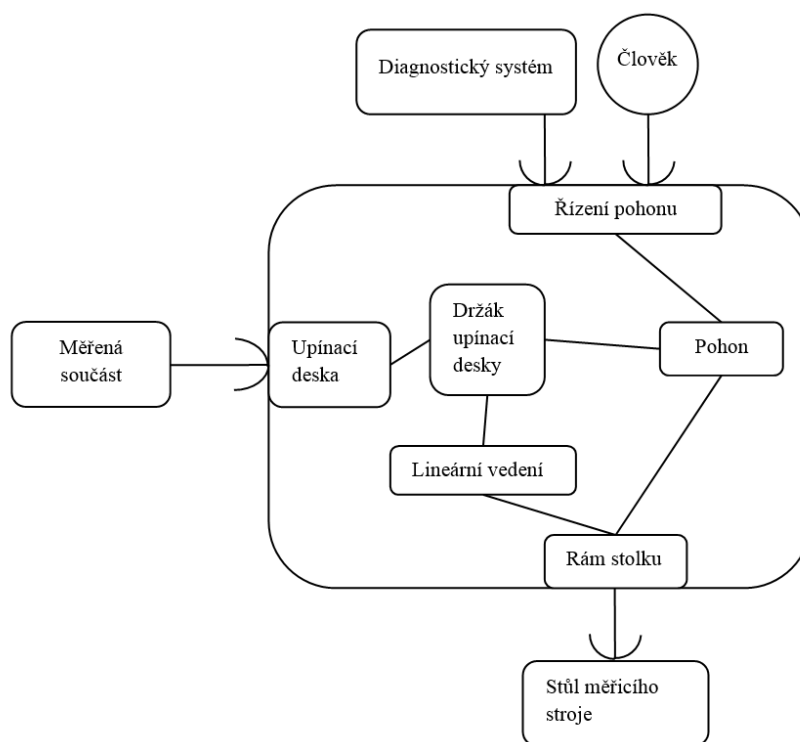
4 Návrh konstrukce motorizovaného manipulačního stolku

Výrazného zkrácení manipulačního (tedy neproduktivního) času je možné docílit motorizovaným manipulačním stolem s větším rozsahem pohybu, který nahradí současný manipulační stolek (viz kapitola 2.5). Jednoosý motorizovaný stolek splní tento požadavek. To znamená, že bude obstarávat pohyb pouze kolmo na pohyb snímače měřicího stroje. Přísuv snímače ve směru měřicího pohybu bude stále prováděn posuvem v ose X na samotném měřicím stroji.

Hlavním požadavkem je možnost elektronického řízení ve vazbě na diagnostický systém a rapidní zvětšení pracovního rozsahu.

4.1 Funkční struktura manipulačního stolku

Funkční struktura ukazuje rozpad navrhovaného výrobku na jednotlivé funkční a konstrukční skupiny a jejich interakce. Funkční struktura pro manipulační stolek vyobrazuje Obrázek 29, její slovní popis následuje.



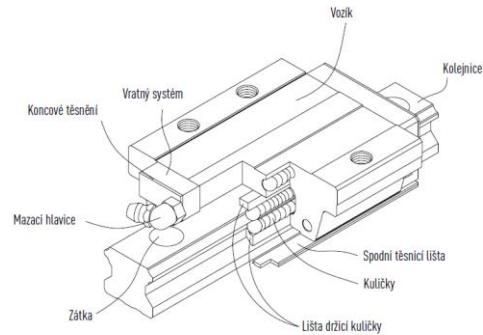
Obrázek 29: Funkční struktura manipulačního stolku

Rám manipulačního stolku

Rám v tomto případě znamená základovou desku stolku, ke které budou připojeny ostatní součásti, jako je lineární vedení, pohon stolku a kameny, které zajistí stolek v drážce na pracovním stole měřicího stroje. Konstrukce bude vycházet z použitých dílů, jejichž výběr a návrh bude proveden dále.

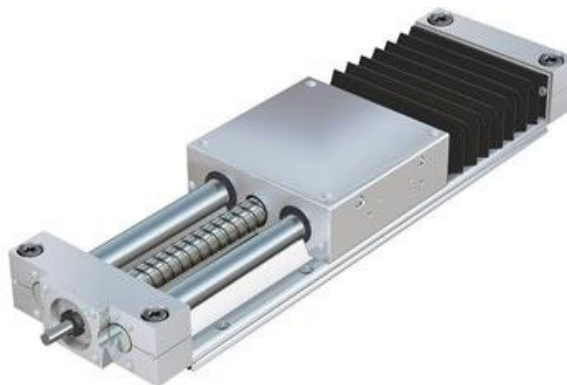
- **Lineární vedení**

Lineárních vedení existuje řada druhů od řady výrobců. Lze na ně pohlížet jako na samostatná a kombinovaná, kdy kombinované vedení znamená, že lineární vedení je zároveň spojeno s pohonem, který bývá nejčastěji realizován kuličkovým šroubem. Příkladem samostatného lineárního vedení je kuličkové lineární vedení firmy HIWIN (Obrázek 30).



Obrázek 30: Kuličkové vedení HIWIN [27]

Příkladem kombinovaného vedení je kuličkové lineární vedení v kombinaci s kuličkovým šroubem, které dodává společnost REXROTH (Obrázek 31). Výhodou samostatného vedení je možnost použití několika vozíků na jedné kolejnici, v čemž lze spatřit jednoznačnou výhodu z hlediska uvažovaným rozměrům a délce pojezdu u navrhovaného stolku.



Obrázek 31: Kombinované lineární vedení společnosti REXROTH [28]

- **Pohon stolku**

Pohon manipulačního stolku lze opět realizovat několika variantami. Lineárním pohonem, dvouosým krokovým motorem, ozubenými řemeny, kuličkovým šroubem, trapézovým šroubem atd.

- **Upínací deska stoku**

Upínací deska slouží pro uložení, případně upnutí, měřené součásti. Její konstrukce vychází z ostatních prvků manipulačního stolku. Plocha horní desky je uvažována v rozměru 180 x 180 mm, aby bylo možné na desku uložit i rozměrnější součásti. Místo T-drážek vytvořených v horní desce současného upínacího stolku je vhodnější do horní desky stolku vytvořit rastr závitových otvorů M6, které lze využít v kombinaci s montážní sadou CarFIT.

- **Držák upínací desky**

Držák upínací desky zprostředkovává styk mezi deskou a lineárním vedením a zároveň k němu je připojen pohon. Jeho konstrukce vychází z ostatních komponent.

4.2 Návrh variant konstrukce stolku

4.2.1 Morfologická matice

Morfologická matice (Obrázek 32) představuje souhrn jednotlivých prvků navrhovaného technického systému a jejich typové představitele. V této tabulce lze pak s výhodou najít několik variant navrhovaného řešení, ze kterých je pak vybrána optimální varianta a ta je posléze rozpracována do finálního řešení.

Funkční část (funkce)	Orgán				
Lineární vedení (zachytit hmotnost měřené součásti)	Samostatné lineární vedení				
Pohon (přenést hnací sílu ze zdroje)	Trapézový šroub			Kuličkový šroub	Ozubený řemen
Zdroj hnací síly	Krokový motor	Servomotor			

var. 1

var. 2

var. 3

var. 4

Obrázek 32: Morfologická matice manipulačního stolku

Výše uvedené čtyři varianty je nyní potřeba ohodnotit a vybrat z nich tu, která lépe vystihne požadavky návrhu.

4.3 Hodnocení navržených variant

Pro vybrané parametry jsou jednotlivé varianty návrhu ohodnoceny. 1 bod značí nejhorší a 5 bodů nejlepší. Souhrn hodnocení variant ukazuje Tabulka 17.

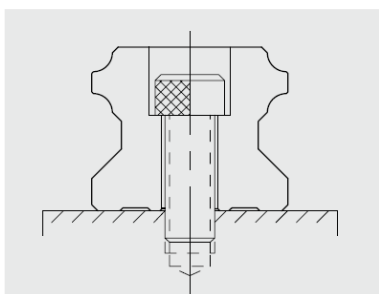
Tabulka 17: Hodnocení variant návrhů

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Cena	5	3	2	1
Přesnost polohování	3	5	4	5
Nutnost údržby	5	4	4	5
Hmotnost	5	3	3	2
Výška	3	4	3	5
Součet	21	19	16	18
Pořadí variant	1	2	4	3

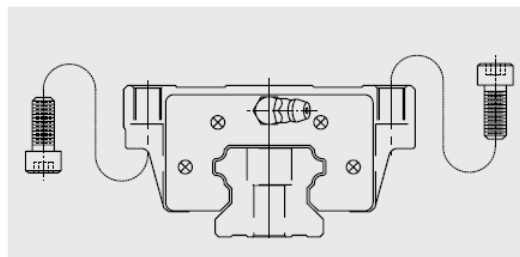
4.4 Popis výsledné konstrukční varianty

Jako vítězná varianta se jeví varianta 1 (Obrázek 37) se samostatným lineárním vedením od výrobce HIWIN, pohonem pohybovým šroubem s trapézovým závitem v kombinaci s maticí z termoplastického materiálu ZEDEX 100-A. energii pohonu dodává krokový motor.

Výhoda této varianty spočívá jak v ceně, tak v použití trapézové matice, která má závit zhotoven z plastické hmoty s označením ZEDEX 100-A, která při provozu nevyžaduje údržbu a mazivo [29]. Kolečnička lineárního vedení (Obrázek 33) byla vybrána typu HGR, velikosti 15. R značí variantu přichycením shora, což je výhodné z hlediska montáže kolejničky pomocí lišt k základní desce.



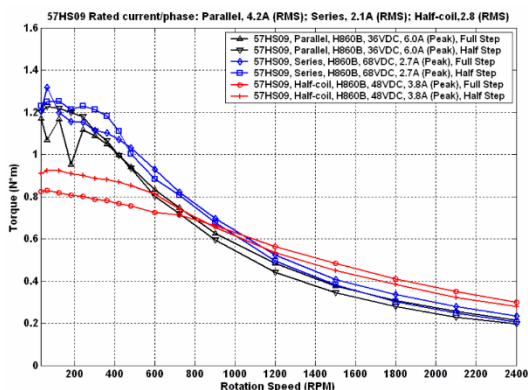
Obrázek 33: Kolečnička lineárního vedení [27]



Obrázek 34: Přírubový vozík lineárního vedení [27]

Vozík lineárního vedení je vybrán přírubový s označením HGW, který umožňuje připojení šrouby shora i ze spodu, jak ukazuje Obrázek 34.

Vzhledem k velikosti stolku je zvolen dvoufázový krokový motor 57HS09 s maximálním krouticím momentem 1,3 Nm (Obrázek 35) od výrobce LEADSHINE, Co, Ltd. Vybraný krokový motor je vybaven sjednocenou přírubou NEMA 23.



Obrázek 35: Momentová charakteristika krokového motoru 57HS09 [30]

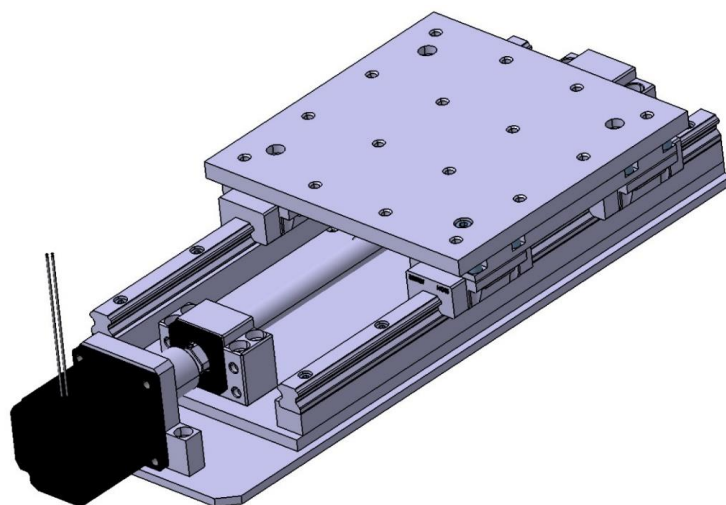


Obrázek 36: Krokový motor s řídicím modulem [31]

Výrobce LEADSHINE dodává ke krokovým motorům i řídicí elektroniku (Obrázek 36), která řídí motor dle signálů, které jsou přivedeny na její vstupy. Vstupními informacemi pro řídicí jednotku krokového motoru jsou: pulsy (hodinový signál) určující rychlost pohybu krokového motoru, signál udávající směr otáčení motoru, a signál zajišťující připojení/odpojení motoru k/od napájecího napětí, což je vhodné pro ruční manipulaci se stolcem, snížení spotřeby zařízení a tepelného zatížení motoru.

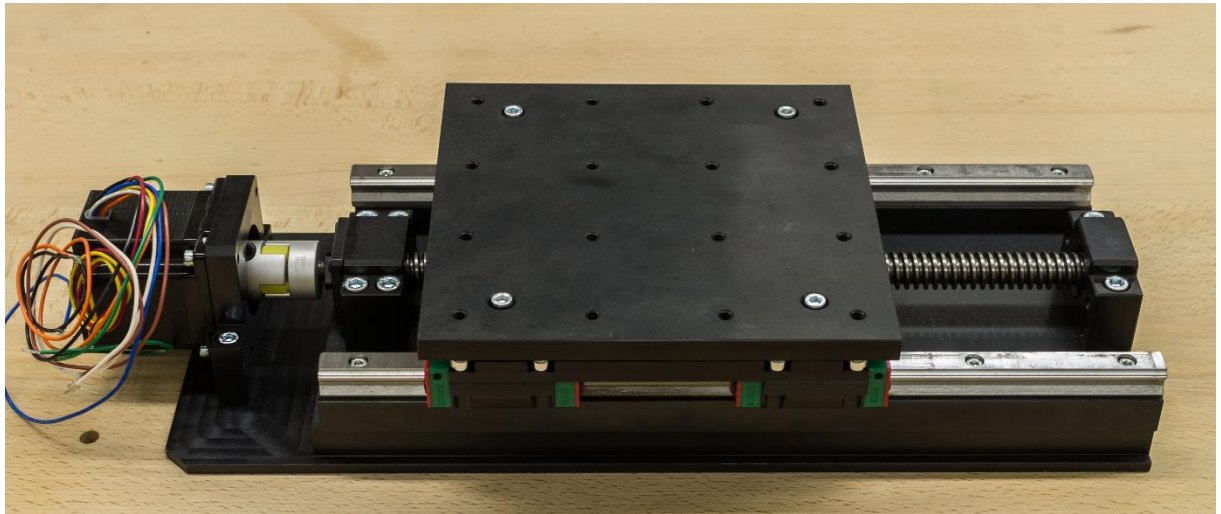
Ovládání řídicí elektroniky krokového motoru je potřeba zhotovit jednak v manuální variantě, pro případ potřeby ručního polohování stolečku a dále je třeba zajistit možnost ovládání systémem diagnostiky.

V případě manuálního ovládání stolku je přepínačem určován směr pohybu stolečku, jako zdroj hodinového signálu skvěle poslouží časovač NE555 zapojený dle katalogového zapojení v stabilním provozu [32]. Tím uživatel může ovládat rychlost pojezdu stolku. Připojení motoru k napájecímu napětí je realizováno tlačítkem. Tím dojde ke kýženému pohybu zvoleným směrem a nastavenou rychlostí.



Obrázek 37: Celkový pohled na CAD návrh stolku

Obrázek 38 ukazuje hotovou kompletní sestavu nového typu manipulačního stolku.



Obrázek 38: Kompletní sestava vítězné konstrukční varianty

4.4.1 Odhad přesnosti polohování

Vybraný krokový motor disponuje minimálním krokem $1,8^\circ$ a závit pohybového šroubu má stoupání 4 mm. Řídící elektronika motoru umožňuje řídit takový krokový motor v režimu mikrokroků (microstep), to znamená, že elektronika řízení drží hřídel motoru v mezipoloze pomocí cívek elektromagnetů připojených proti sobě k napájecímu napětí. Z tabulky kombinací mikrospínačů řídicí elektroniky [31, pp. 8,9], které nastaví počet mikrokroků, lze vyčíst, že minimální počet pulsů na otáčku je 400, maximální pak 25000. Při minimálním množství pulsů 400 na otáčku se měřený kus při jednom pulsu posune o 0,01 mm. Tato hodnota platí za předpokladu vymezení vůlí v mechanismu a dává dobrý předpoklad pro další pokračování práce.

4.5 Kontrolní výpočty mechanické části

Následující kapitola byla sestavena s následujícími prameny [27] [33] [34] [29].

4.5.1 Síly na pohybovém šroubu

Vstupní parametry výpočtu pro pohybový šroub se závitem Tr 16x4 dle DIN103:

- Součinitel tření v závitu: $f = 0,1 \div 0,15$... zvoleno $f = 0,15$.
- Vrcholový úhel závitu: $\beta = 30^\circ$.
- Střední průměr závitu: $d_2 = D - 0,5.P = 16 - 0,5.4 = 14$ mm.
- Stoupání závitu: $P = 4$ mm.
- Koeficient momentu $k_m = 0,7$.
- Maximální moment krokového motoru: $M = 1,3$ Nm

Součinitel tření v závitu:

$$f' = \frac{f}{\frac{\cos\beta}{2}} \quad (7)$$

Úhel stoupání na středním průměru závitu:

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{P}{\pi.d_2} \quad (8)$$

Účinnost šroubového převodu:

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha+f')} \approx \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha+f'} = \frac{\frac{P}{\pi.d_2}}{\frac{P}{\pi.d_2} + \frac{f}{\cos\frac{\beta}{2}}} = \frac{\frac{4}{\pi.14}}{\frac{4}{\pi.14} + \frac{0,15}{\cos\frac{30}{2}}} = 0,369 \quad (9)$$

Převodový poměr:

$$i = \frac{P}{O} = \frac{P}{\pi.d_2} = \frac{4}{\pi.14} = 0,091 \quad (10)$$

Síla na středním průměru závitu:

$$F_{d2} = 1000 \frac{M.k_m}{\frac{d_2}{2}} = 2000 \frac{1,3.0,7}{14} = 130N \quad (11)$$

Výsledná axiální síla:

$$F_A = \frac{F_{d2}}{i} = \frac{2000 \frac{M.k_m}{d_2}}{\frac{P}{\pi.d_2}} \cong 1450 N \quad (12)$$

4.5.2 Pevnostní kontrola pohybového šroubu

Dáno:

- Materiál pohybového šroubu: ocel ekv. 41 2023 dle ČSN
- Střední průměr závitu $d_2 = 14$ mm.
- Malý průměr závitu $d_3 = 10,5$ mm.
- Stoupání závitu $P = 4$ mm.
- Dovolené napětí v tahu $\sigma_D = 95$ MPa (míjivé).

Průřez šroubu

$$A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{14 \text{ mm} + 10,5 \text{ mm}}{2} \right)^2 = 117,8 \text{ mm}^2 \quad (13)$$

Napětí od síly na středním průměru závitu

$$\tau_k = \frac{F d_2 \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot d_3^3} = \frac{130 \text{ N} \cdot \frac{14 \text{ mm}}{2}}{\frac{\pi}{16} \cdot 10,5^3 \text{ mm}} \cong 4 \text{ MPa} \quad (14)$$

Napětí od axiální síly

$$\sigma = \frac{F_A}{A_S} = \frac{1450}{117,8} \cong 12,3 \text{ MPa} \quad (15)$$

Redukované napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{12,3^2 + 3 \cdot 4^2} \cong 14 \text{ MPa} \quad (16)$$

Bezpečnost vůči dovolenému napětí

$$k = \frac{\sigma_D}{\sigma_{red}} = \frac{95}{14} \cong 6,5 \quad (17)$$

Pohybový šroub z hlediska dovoleného napětí vyhovuje.

4.5.3 Kontrola pohybového šroubu na vzpěr

Vstupní parametry pro výpočet:

- Modul pružnosti v tahu $E = 210000$ MPa.
- Průřez šroubu $A_S = 117,8$ mm².
- Střední průměr závitu $d_2 = 14$ mm.
- Malý průměr závitu $d_3 = 10,5$ mm.
- Dovolené napětí v tlaku $\sigma_T = 95$ MPa (míjivé).
- Axiální síla $F_A = 1450$ N.
- Zatěžovaná délka šroubu $l = 280$ mm.

Kvadratický moment průřezu v ohybu

$$J_x = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^4}{64} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{14\text{mm} + 10,5\text{mm}}{2}\right)^4}{64} = 1105\text{mm}^4 \quad (18)$$

Koeficient dle uložení šroubu

$$\alpha = \pi\sqrt{2} \quad (19)$$

Štíhlost šroubu

$$\lambda = \frac{l}{\sqrt{\frac{J_x}{A_S}}} = \frac{280\text{mm}}{\sqrt{\frac{1105\text{mm}^4}{117,8\text{mm}^2}}} = 91,5 \quad (20)$$

Kritická štíhlost

$$\lambda_k = \alpha \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_T}} = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{210000\text{MPa}}{95\text{MPa}}} \cong 209 \quad (21)$$

Je-li štíhlost šroubu menší, než štíhlost kritická, rozhodující je mezní stav pružnosti

$$\sigma_{max} = \frac{F_A}{A_S} = \frac{1450\text{N}}{117,8\text{mm}^2} = 12,3\text{MPa} \quad (22)$$

Bezpečnost k dovolenému napětí

$$k_\sigma = \frac{\sigma_T}{\sigma_{max}} = \frac{95\text{MPa}}{12,3\text{MPa}} \cong 7,5 \quad (23)$$

Pohybový šroub z hlediska dovoleného napětí vyhovuje.

4.5.4 Kontrola závitů matice pohybového šroubu na otláčení

Vstupní parametry pro výpočet:

- Axiální síla $F_A = 1450\text{N}$.
- Velký průměr závitů šroubu $d = 16\text{mm}$.
- Malý průměr závitů matice $D_1 = 12\text{mm}$.
- Dovolенý tlak $p_D = 9\text{MPa}$.
- Délka matice $l_m = 40\text{mm}$.
- Stoupání závitů $P = 4\text{mm}$.

Tlak v závitech

$$p = \frac{4 \cdot F_A}{i \cdot \pi \cdot (d^2 - D_1^2)} = \frac{4 \cdot F_A}{\frac{l_m}{P} \cdot \pi \cdot (d^2 - D_1^2)} = \frac{4 \cdot 1450\text{N}}{\frac{40\text{mm}}{4\text{mm}} \cdot \pi \cdot (16^2\text{mm} - 12^2\text{mm})} \cong 1,5\text{MPa} \quad (24)$$

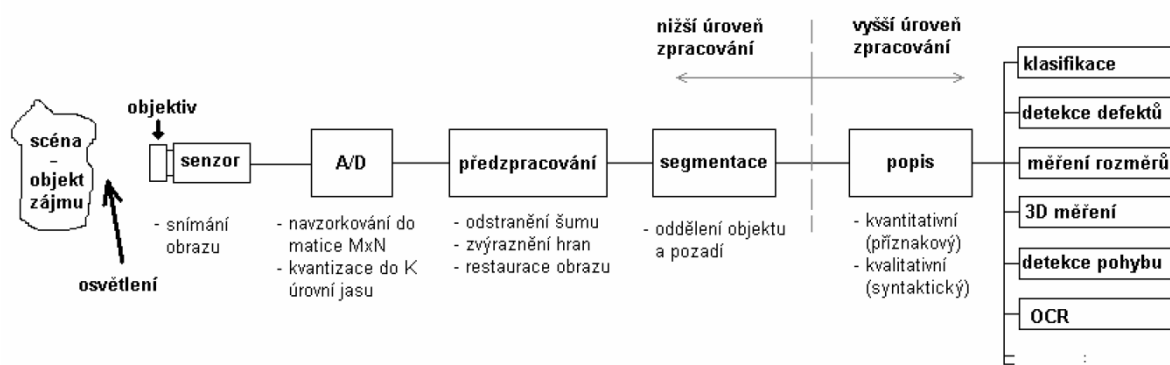
Tlak v závitech matice je menší než dovolený tlak, matice tedy vyhovuje.

5 Návrh diagnostiky polohy otvoru vůči senzoru

Aby bylo možné určit polohu vybraného otvoru vůči senzoru měřicího stroje, je nutné určit nějakou měřenou veličinu, která bude snadno měřitelná, zpracovatelná a vzájemnou polohu snímače a otvoru bude dostatečně reprezentovat.

Proto se jako nejvhodnější jeví použití počítačového vidění (Computer Vision), které tvoří základnu pro obor strojního vidění (Machine Vision), jehož uplatnění lze nalézt v řadě oborů, například v robotice nebo při kontrole výrobků na výrobních linkách, případně při měření. Rozdíl mezi pojmy strojové vidění a počítačové vidění vysvětluje pramen [35]. Vhodnost takového způsobu diagnostiky lze spatřit hlavně v jeho relativní jednoduchosti (malé množství komponentů), univerzálnosti a dobré přesnosti.

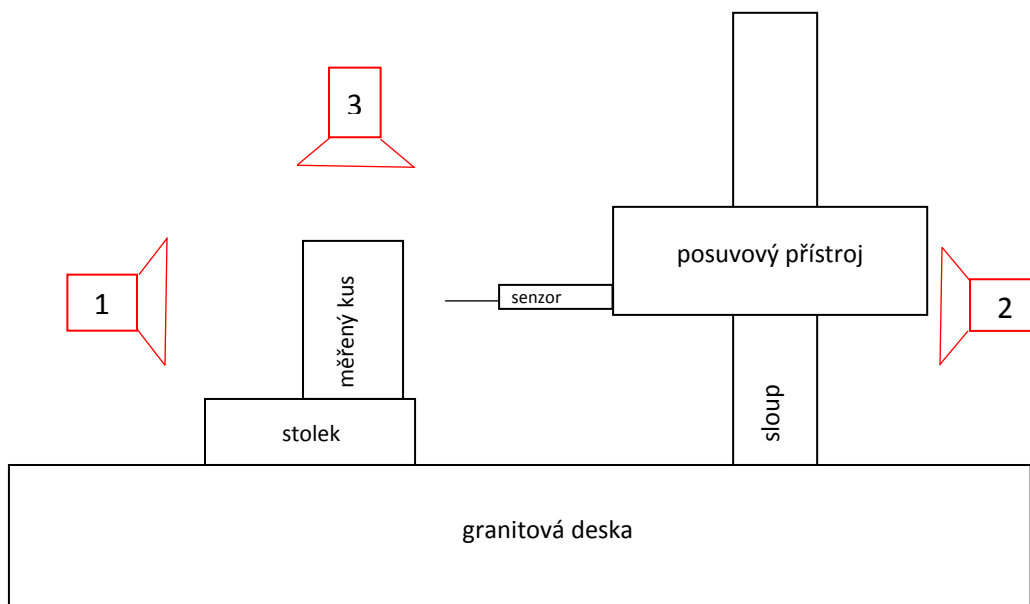
Obraz ze snímané scény je sejmut, digitalizován a zpracován (Obrázek 39). První část řetězce dnes tvoří kamera obsahující objektiv, senzor a A/D převodník. Zbylé úkony, ať se jedná o nižší či vyšší úroveň zpracování, poté provádí specializovaný SW v počítači.



Obrázek 39: Řetězec snímání a zpracování obrazu [36]

5.1 Návrh diagnostického systému

Možná umístění kamery pro diagnostický systém v případě stroje HOMMEL ukazuje Obrázek 40. Poloha číslo 1 je vhodná pouze pro průchozí otvory, případně oboustranně vrtané otvory za předpokladu, že osy otvorů na obou stranách zkušebního kusu si odpovídají. Měření neprůchozích otvorů řeší poloha č. 2. Poloha č. 3 je specifické umístění pro nalezení osy otvoru při měření parametrů struktury povrchu čel zahloubení. (viz kapitola 2.6.2)

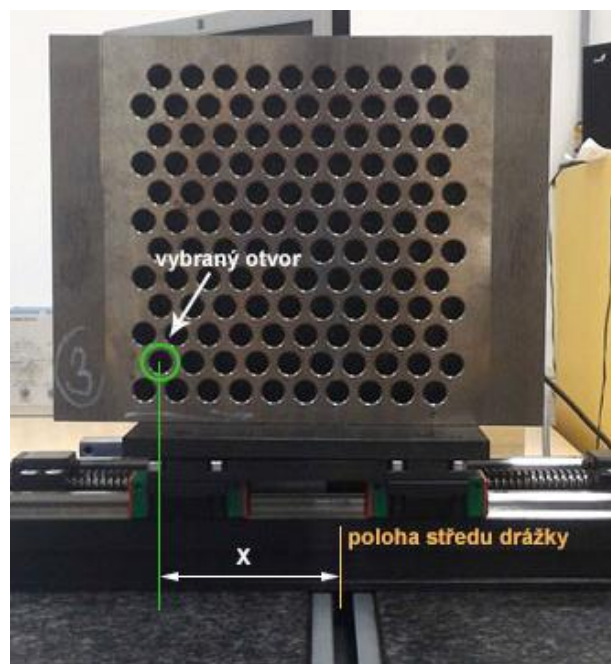


Obrázek 40: Schéma umístění senzorů (kamer)

Obrázek 41 reprezentuje pohled kamery z polohy č. 2. Jedná se o obrázek zkušební tělesa s neprůchozími otvory, který v takovém případě snímá kamera diagnostického systému.

Pro diagnostiku je jako diagnostikovaná veličina vybrána vzdálenost mezi osou otvoru a osou drážky granitové desky měřicího stroje HOMMEL. Je-li rozdíl vzdáleností menší nebo roven předem nastavené hodnotě, která v tuto chvíli slouží jako zastavovací podmínka algoritmu, lze říci, že snímač měřicího stroje míří do osy otvoru. Alespoň v jedné vyhodnocované ose v obrazu.

Výhoda výběru osy drážky granitové desky spočívá ve skutečnosti, že k této drážce je sesouhlasen snímač a zároveň lze k této drážce sesouhlasit přední plochu upínací desky stolku a také kolmost pojezdu stolku.



Obrázek 41: Pohled kamery na zkušební těleso před měřením

Specializovaný SW, který umí provést úpravy a zpracování obrazu v rámci počítačového vidění, je např. software MATLAB - s doplňkem Computer Vision System Toolbox [37] - a LabVIEW, který obsahuje doplněk Machine Vision. Pro návrh systému vidění pro účely této práce je použit SW LabVIEW.

5.1.1 Snímací senzor - kamera

Vzhledem k vysokým cenám specializovaného HW pro získání a zpracování obrazu od společnosti National Instruments [38] a možnosti použití jakékoliv webkamery pro získání

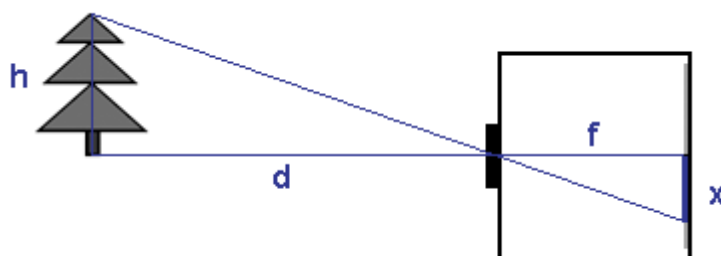
obrazu pro SW LabVIEW, o které hovoří pramen [39], bylo rozhodnuto použít pro snímání obrazu standardní webkameru.

5.1.2 Teoretické ověření přesnosti odměřování pomocí webkamery

Snímání obrazu (např. webkamerou) se řídí optickými zákony, ve zjednodušené podobě tzv. lineární projekcí (Obrázek 42). Snímaná předloha výšky h ve vzdálenosti d je pomocí objektivu s ohniskovou vzdáleností f promítnuta na snímač, kde se promítne ve velikosti x , kterou lze vypočítat dle vzorce o podobnosti trojúhelníků (25)

$$\frac{x}{f} = \frac{h}{d} \quad (25)$$

Výpočtem podle vzorce (25) lze při znalosti ohniskové vzdálenosti objektivu, fyzické velikosti senzoru a jeho rozlišení, předem určit, kolik obrazových bodů přibližně zabere na snímači webkamery uvažovaný průměr otvoru.



Obrázek 42: Lineární projekce [40]

Výrobci spotřební elektroniky k webkamerám málokdy dodávají kompletní specifikaci, jako je tomu například u digitálních fotoaparátů. V drtivé většině případů není k dispozici informace o ohniskové vzdálenosti a fyzické velikosti snímače webkamery. V některých případech se lze setkat s informací o ohniskové vzdálenosti objektivu (Obrázek 43). V takovém případě je potřeba zjistit fyzické rozměry snímače měřením. K tomu postačí v definované vzdálenosti umístit objekt známých rozměrů před objektiv kamery a sejmout obrázek. Změřením počtu pixelů, které obrázek při daném rozlišení snímače objekt zabere, lze dopočítat velikost snímače v obou směrech.



Obrázek 43: Fotografie webkamery s uvedením ohniskové vzdálenosti [44]

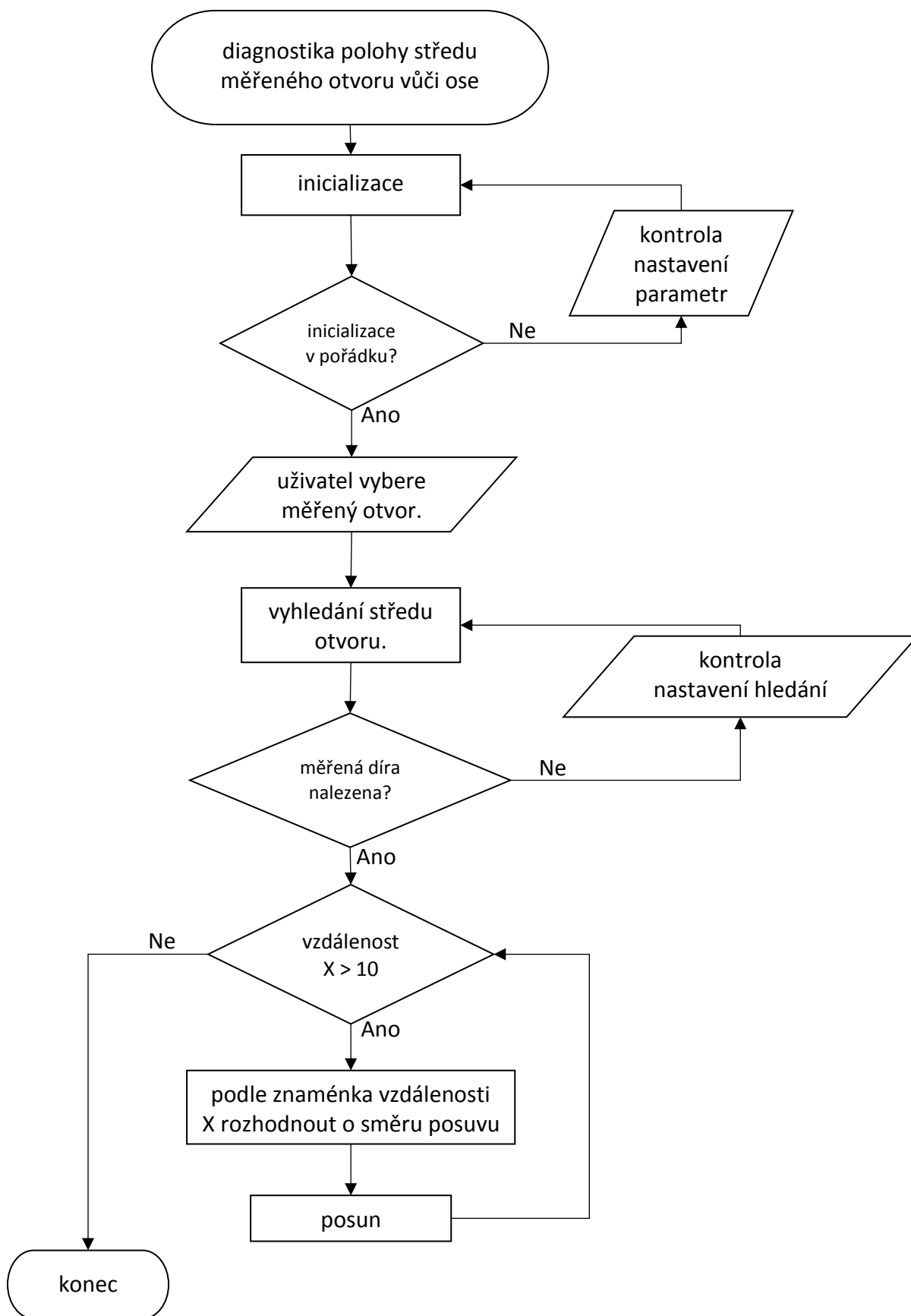
Při znalosti vzdálenosti od měřeného objektu, jeho velikosti, ohniskové vzdálenosti objektivu kamery, fyzické velikosti snímače a jeho rozlišení lze výpočtem zjistit, jakou reálnou vzdálenost představuje případná hystereze v pixelech, která bude zadaná jako zastavovací

podmínka při sesouhlasení polohy středu. Ta musí mít maximální velikost, kterou určil experiment č. 2 (kapitola 3.5), tedy 0,24 mm. Tím bude zajištěno, že diagnostický systém bude schopen diagnostiky polohy senzoru vůči otvoru v dostatečné přesnosti. Pokud nebudou všechny potřebné parametry známy, bude potřeba provést kontrolu nastavení hystereze ručně.

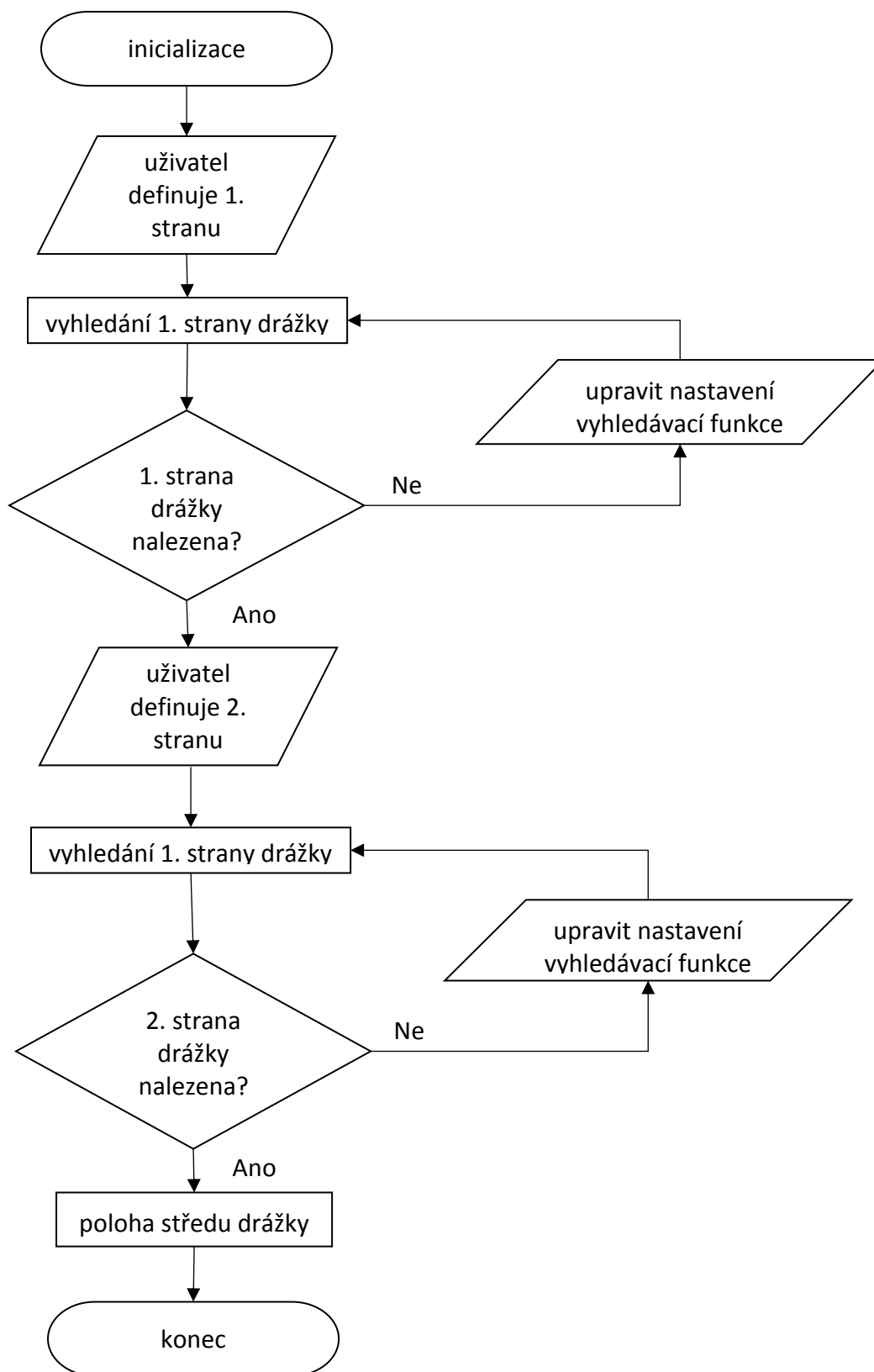
5.2 Návrh algoritmu diagnostiky polohy osy díry vůči senzoru

Pro účely této práce bude navržen algoritmus pro diagnostiku polohy osy měřené díry, který je vyroben v rastru v obdélníkovém zkušebním tělese. Obrázek 41 ukazuje zkušební těleso s rastrem neprůchozích děr uložené na desce manipulačního stolku. Celá sestava je umístěna na granitovou desku stroje HOMMEL. Zelený kruh reprezentuje ROI umístěný na vybranou díru. Poloha vyhodnocované díry je porovnána se středem drážky granitové desky, ke které je snímač zarovnan. Vzdálenost mezi středem drážky a středem vybrané díry je označena X.

Algoritmus vyhodnocení zobrazuje Obrázek 44, algoritmus inicializace zase Obrázek 45.



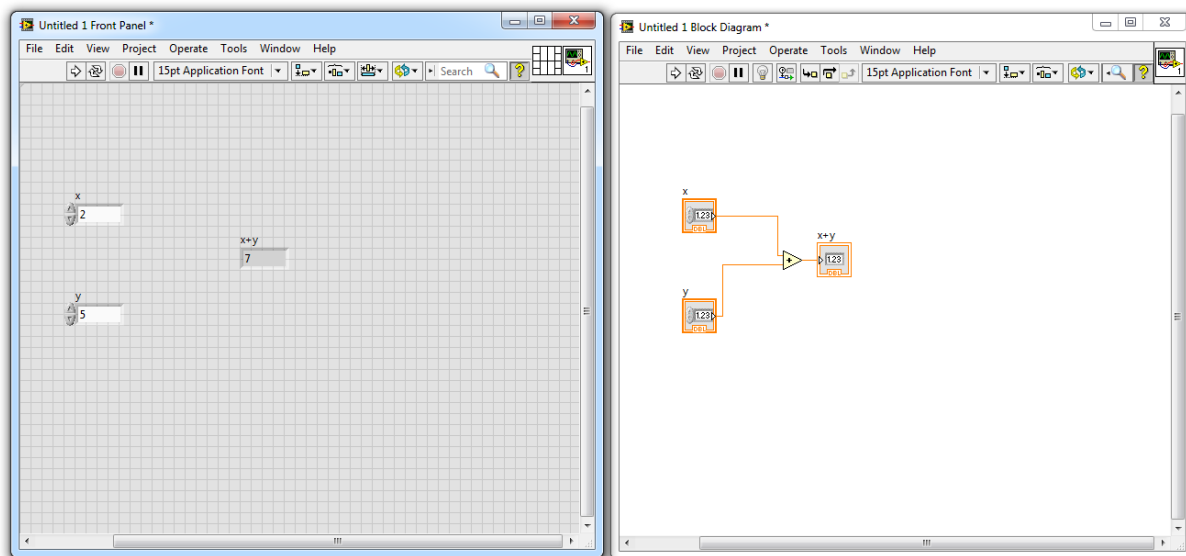
Obrázek 44: Algoritmus diagnostiky polohy díry vůči senzoru



Obrázek 45: Algoritmus inicializace

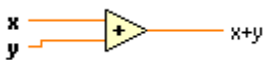
5.3 LabVIEW

LabVIEW je objektově orientovaný programovací jazyk vyvinutý společností National Instruments [41]. Program v LabVIEW je uložen s příponou *.vi (Virtual Instrument) a obsahuje dvě okna. V prvním okně (Front panel) lze definovat ovládací, zobrazovací a vstupní prvky programu a to slouží pro interakci s uživatelem, tedy tzv. uživatelské rozhraní. V druhém okně (Block diagram) je grafický kód, kdy programátor spojuje jednotlivé prvky programu pomocí vodičů, které zajišťují datový tok v programu. Zásadou je, že program je vykonáván zleva doprava. Příklad prostředí zobrazuje (Obrázek 46), zde je vidět program zajišťující součet dvou hodnot zadaných ve vstupních polích x a y.



Obrázek 46: Programovací jazyk LabVIEW - prostředí

Každá funkce v LabVIEW má nadefinovány vstupní a výstupní terminály [42]. Opět platí zásada, že vlevo jsou kresleny vstupní terminály a výstupní vpravo, aby byl dodržen tok dat zleva doprava. Je-li některý vstupní terminál zakreslen tučně, znamená to, že je nezbytný pro proběhnutí kódu dané funkce a bez připojení takového terminálu nepůjde program spustit (Obrázek 47).

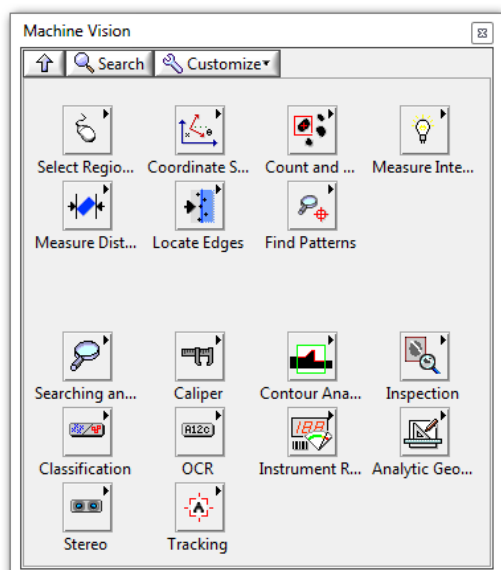


Obrázek 47: Detail funkce z nápovědy LabVIEW [42]

5.3.1 LabVIEW Machine Vision

Společnost National Instruments vyvinula pro svůj programovací jazyk modul týkající se strojního vidění, který nese označení NI Vision Development Module. Instalací této nadstavby se v prostředí SW objeví paleta (Obrázek 48) s funkcemi pro programování a příslušnými ovládacími prvky pro stavbu uživatelského prostředí.

SW LabVIEW používá pro určení části obrazu, ve které má dojít k požadovanému úkonu (např. vyhledání hrany), pojem oblast zájmu, anglicky Region of interest (zkratka ROI). Těch je možné nadefinovat několik typů podle základních geometrických obrazců. U objektu typu obraz (Image) je poté zobrazena paleta s nástroji (lupa, kurzor ...) a nástroje pro ROI (Obrázek 49).

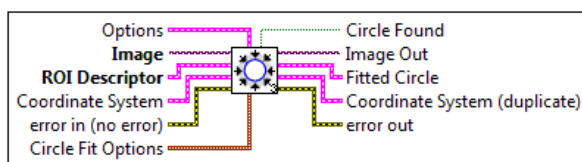


Obrázek 48: Paleta funkcí modulu Machine Vision

V případě vyhledávání pozice kruhové díry je nasnadě použití funkce IMAQ Find Circular Edge (Obrázek 50), která na výstupu v klastru Fitted Circle vrací pozici středu nalezené kružnice (Obrázek 51).



Obrázek 49: Paleta s nástroji obraz a různými oblastmi zájmu (ROI)

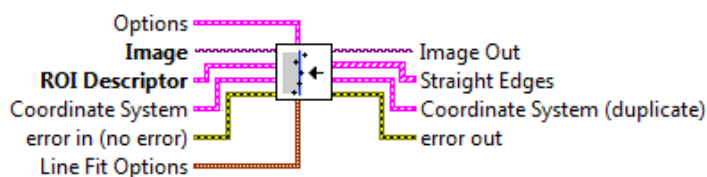


Obrázek 50: Terminály funkce IMAQ Find circular edge [43]




- Fitted Circle** is a cluster that contains the position and characteristics of the fitted circle.
- Center (Pixels)** lists the coordinates of the center of the circle in pixels.
 - X** is the x-coordinate of the center of the circle.
 - Y** is the y-coordinate of the center of the circle.
- Radius (Pixels)** indicates the radius, in pixels, of the circle formed by the detected edge.

Obrázek 51: Část nápovědy k funkci Find Circular Edge [43]

Pro provedení inicializace (algoritmus viz Obrázek 45) je potřeba nalézt střed drážky granitové desky. To lze nejlépe provést nalezením rovných hran na obou okrajích a z jejich vzájemné pozice vypočítat střed drážky. K tomuto účelu se hodí příkaz IMAQ Find Edge, jehož terminály jsou rozkresleny na Obrázek 52. Zde je vidět, že důležité terminály jsou oblast zájmu a obrázek, na který má být příkaz aplikován. Výstupem je pole klastrů s nalezenými hranami (Straight Edges). Klaster obsahuje mimo jiné i informaci o počátečním a koncovém bodu nalezené přímky. (Obrázek 53)

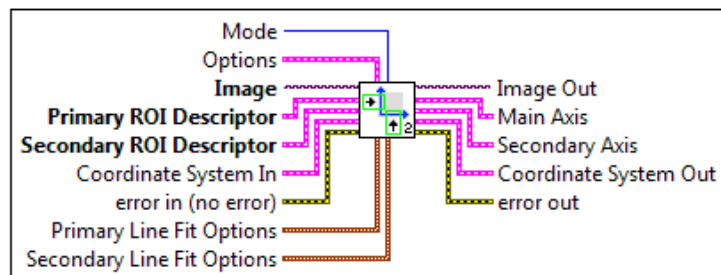


Obrázek 52: Terminály funkce IMAQ Find Edge [43]








-  **Straight Edges** contains information about the detected straight edges.
-  **Point1 (Pixels)** is the start point of the detected straight edge in pixel units.
-  **Point2 (Pixels)** is the end point of the detected straight edge in pixel units.

Obrázek 53: Část detailní nápovědy k funkci Find Edge [43]

Zkušebním naprogramováním algoritmů bylo zjištěno, že pro snazší výpočty je vhodné zavést do obrazu souřadný systém. To lze provést příkazem IMAQ Find CoordSys (Obrázek 54), který po zadání dvou na sebe kolmých hran vytvoří v jejich průsečíku nulový bod, který je obsažen v klastru Coordinate System Out (Obrázek 55).



Obrázek 54: Funkce IMAQ Find CoordSys [43]

-  **Coordinate System Out** is a cluster returning the position of the coordinate system.
-  **Reference System** is a cluster containing the following elements.
 -  **Origin** is a point cluster that specifies the origin of the base-reference coordinate system.
 -  **X** is the x-coordinate of the point.
 -  **Y** is the y-coordinate of the point.
 -  **Angle (deg)** is the angle the base-reference coordinate system makes with the image coordinate system.
 -  **Axis Reference** is the direction of the y-axis of the base-reference coordinate system.

Obrázek 55: Detail nápovědy k IMAQ Find CoordSys [43]

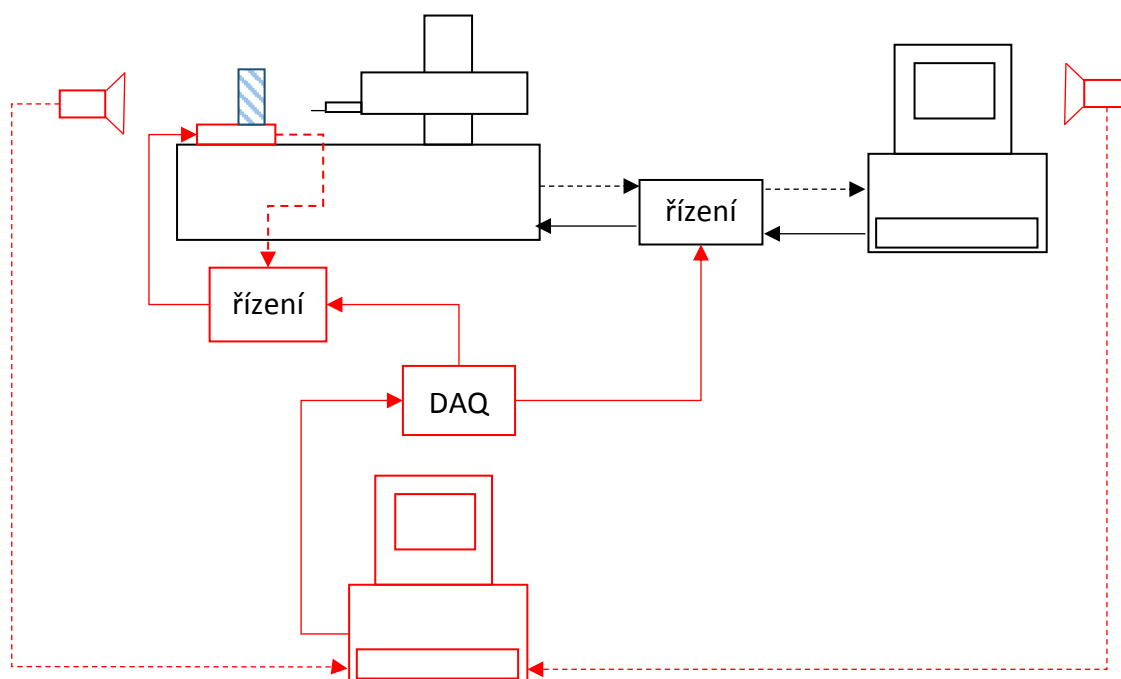
Do algoritmu inicializace je tedy vhodné zařadit na začátek nalezení souřadného systému přes dvě hrany v obraze. Pro pravouhlý měřený kus (Obrázek 41) se pro souřadný systém použije levá svislá hrana a hrana definující rozhraní mezi kusem a stolcem.

6 Návrh celkové integrace stolku do zařízení

Schéma plné integrace stolku (Obrázek 56) je barevně rozděleno na dvě části. Černě jsou zakresleny stávající komponenty měřicího stroje HOMMEL. Jsou to: samotný měřicí stroj, jeho řízení a ovládací počítač. Mezi těmito komponentami probíhá výměna dat, kdy datový tok je kreslen čárkovanou, řídicí signály plnou šipkou.

Červeně jsou kresleny nově přidané komponenty. Hlavní komponentou je motorizovaný stolek (kapitola 4) na němž je umístěn měřený kus (šrafován modře). O řízení motorizovaného stolku se stará jeho řízení, které přebírá řídicí signály od diagnostického systému pomocí DAQ karty. Samotný diagnostický systém je složen z programu v LabVIEW, který přebírá informace o vzájemné poloze osy drážky (potažmo i snímači) a otvoru ve zkušebním kusu z kamery vlevo. Kamera vpravo se stará o to, aby pojezd stolku byl prováděn pouze ve stavu, že měřicí stroj neprovádí žádné polohování ani měření. Datová šipka ze stolku do jeho řízení (případně do DAQ systému) vyjadřuje informaci o dosažení koncových poloh pojezdem stolku.

Řídicí šipka z DAQ systému do řízení měřicího stroje má sloužit pro případ, kdy by bylo potřeba nouzově zastavit polohování snímače (např. pokud by měřicí stroj začal polohovat směrem do součásti, ale ještě nebyl nastaven střed otvoru a hrozila by kolize snímače s měřeným kusem). Alternativně by bylo možné řídit řídicí počítač měřicího stroje komunikací mezi oběma počítači a vysláním např. simulovaného stisku softwarového stop tlačítka.



Obrázek 56: Schéma plné integrace stolku

Závěr

Cílem předkládané disertační práce byl návrh integrovatelného manipulačního zařízení pro metrologii s diagnostikou, který zabezpečuje hned několik nedostatků stávající práce s přístrojem pro měření drsnosti povrchu, a to:

- Usnadňuje operátorovi stroje justaci dílů s malými dírami,
- Zajišťuje diagnostiku vzájemné polohy měřené díry a snímače,
- Odstraňuje chybu měření vzniklou vyosením snímače.

Problematika změny hodnoty vybraných parametrů struktury povrchu s vyosením snímače je podrobně rozebrána v samostatné kapitole (kapitola 3). Zde je popsáno experimentální zjištění vlivu vyosení snímače na vybrané parametry struktury povrchu provedené na měřicím stroji HOMMEL ETAMIC T-800. Experiment prokázal, že při měření a vyhodnocení parametrů struktury povrchu je u nižších základních drsností (vystružované díry) menších průměrů (6 a 8 mm) je možné senzor vyosít až o 1,05 mm aniž by došlo ke zkreslení měřené hodnoty s respektováním chyby měření, kterou SW Design Expert vypočte z opakovaného měření vybraného bodu plánu experimentu. Zatímco u vyšších průměrů děr je situace podobná, jen u parametrů Pa, Pq je nutné dodržet vyosení senzoru maximálně 0,39 mm. V případě vrtaných otvorů (s vyšší základní drsností) je situace opačná. Menší průměry (6 a 8 mm) jsou na vyosení senzoru citlivější a největší možná míra vyosení je 0,24 mm. Větší vrtané průměry vykazují maximální míru vyosení 0,83 mm.

Experiment zároveň prokázal, že v dané konfiguraci snímače nesmí vyosení senzoru být rovno a větší 40% průměru měřené díry, protože poté dochází ke kontaktu snímače se stěnou otvoru a k hrubému zkreslení měřených dat.

Dále práce předkládá návrh konstrukce jednoosého motorizovaného manipulačního stolku (kapitola 4), který je následován návrhem diagnostického systému (kapitola 5). Poslední kapitola se věnuje návrhu celkové integrace stolku včetně diagnostického systému do systému měřicího stroje.

Z výše uvedeného lze konstatovat, že cíl práce (kapitola 1) byl splněn a to včetně dílčích cílů. Navržený manipulační systém s diagnostikou je navržen a částečně již ověřen na základě soudobých vědeckých přístupů k této oblasti metrologie a bude přínosem pro řešenou problematiku měření parametrů struktury povrchu kontaktní metodou a to zejména pro projekty v rámci výzkumného programu Katedry technologie obrábění a Regionálního technologického institutu. Jedná se hlavně o probíhající projekty SGS, RoRTI (A7) a plánovaného projektu MPO TRIO.

Během experimentů byly identifikovány další možné směry pro hlubší prozkoumání. Kromě toho připadá v úvahu dostavení a odlazení manipulačního stolku s následným použitím/odzkoušením přímo v praxi, a to jak pro různé typy zkušebních těles a průměry děr v různých umístění kamery. Dalším úkolem bude návrh a sestavení diagnostického programu pro zkušební kusy vyrobené z kruhové tyče.

Dále je uvažováno o provedení testů kvality odměřování např. metodou MSA, či jinou vhodnou metodou, která ověří kvalitu odměřování pomocí diagnostického systému s webkamerou.

Citovaná literatura

- [1] ČSN EN ISO 1302. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Označování struktury povrchu v technické dokumentaci výrobků*. Praha: Český normalizační institut, 2002. Třídící znak 014457.
- [2] ČSN ISO 4287:1997. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, březen 1999. Třídící znak 014450.
- [3] ČSN ISO 3274:1997. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů*. Praha: Český normalizační institut, únor 1999. Třídící znak 252322.
- [4] ČSN ISO 16610-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 1: Přehled a základní koncepce*. Praha: Český normalizační institut, 2015. Třídící znak 014445.
- [5] ČSN ISO 16610-21. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 21: Lineární profilové filtry: Gaussovy filtry*. Praha: Český normalizační institut, duben 2012. Třídící znak 014445.
- [6] ČSN EN ISO 4288:1997. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, březen 1999. Třídící znak 014449.
- [7] LEACH, R. K.: *The Measurement of Surface Texture using Stylus Instruments*, Issue 2 editor, Queen's Printer and Controller of HMSO, 2014. Dostupné z: publications.npl.co.uk/npl_web/pdf/mgpg37.pdf
- [8] VORBURGER, T. V. a J. RAJA: *Surface finish metrology tutorial*, Galthersburg: National Institute of Standards and Technology, 1990. Dostupné z: <https://www.nist.gov/document-14637>
- [9] HOMMEL CS. *Systém měření drsnosti - parametry drsnosti*. [Online]. 2017 [Cit. 2017-07-14]. Dostupné z: https://www.hommel-etamic.cz/files/094_14-hommel-plakat-drsnost-1000x700mm.pdf
- [10] TAYLOR HOBSON. *Surface Finish Metrology*. Taylor Hobson, 2003.
- [11] HOMMEL-ETAMIC GmbH. *Popis funkce povrchu pro obsluhu TURBO WAVE*. HOMMEL CS, 2008.
- [12] HOMMEL CS. *HOMMEL CS*. [Online]. 2017 [Cit. 2017-07-14]. Dostupné z: <https://www.hommel-etamic.cz/cz/produkty/mereni-drsnosti-kontury/prislusenstvi/>
- [13] MELICHAR, M. a J. KUTLWAŠER: *The Issue of Contactless Setup before Measuring Process*. Procedia Engineering, 2014.
- [14] MELICHAR M.: *Náhrada dotykové justace kruhoměru metodou bezdotykovou*. Plzeň, 2011. Disertační práce. ZČU v Plzni, Fakulta strojní, Katedra technologie obrábění.
- [15] MORÁVKA J. a B. MAROŠ, K. MICHALEK: *Vliv neortogonalitý plánu experimentu*. Mezinárodní konference Technical Computing Prague 2008. [Online] 2016. [Cit. 2016-11-01.] Dostupné z: http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB08/prispevky/073_moravka.pdf.

- [16] TOŠENOVSKÝ, J.: *Plánování experimentů - Učební text*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2592-2.
- [17] CAVAZZUTI, M.: *Optimization Methods. Theory to Design Scientific and Technological Aspects in Mechanics*. Springer, 2013. ISBN 978-3-642-31186-4.
- [18] MONTGOMERY, Douglas C.: *Design and analysis of experiments - 5th edition*. John Wiley & Sons, Inc., 2001. ISBN 0-471-31649-0.
- [19] VOLKO, V.: *Jak na test ANOVA v Excelu?* [Online] 2017. [Cit. 2017-07-14] Dostupné z: http://www.volko.cz/new/anova_v_excelu.php.
- [20] ROST, M.: *Problematika analýzy rozptylu*. [Online] 2006. [Cit. 2016-05-24] Dostupné z: <http://www2.ef.jcu.cz/~rost/courses/stata/Prednes/prednes11.pdf>.
- [21] ANDĚL, J.: *Matematická statistika*. Praha: MatfyzPress, 2011. ISBN 978-80-7378-162-0.
- [22] BOHÁČOVÁ, J.: *Testy statistických hypotéz založené na empirických distribučních funkcích*. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova univerzita Brno.
- [23] LITSCHMANOVÁ, J.: *Úvod do statistiky*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava a Západočeská univerzita v Plzni, Ostrava, 2012
- [24] MICHÁLEK, J.: *Navrhování a vyhodnocování experimentů (DOE)*. [Online] 2016. [Cit. 2016-05-24] Dostupné z: http://www.crr.vutbr.cz/system/files/brozura_05_1012_2.pdf.
- [25] PARDOE, I.: *STAT 501 online course material website*. [Online] The Pennsylvania State University, 2017. [Cit. 2017-06-30] Dostupné z: <https://onlinecourses.science.psu.edu/stat501/node/2>.
- [26] Box-Cox Normality Plot. *NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*. [Online] 2013. [Cit. 2017-06-30] Dostupné z: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda336.htm>.
- [27] HIWIN s.r.o.: *Katalog lineárních vedení*. [Online] [Cit. 2015-05-01] Dostupné z: http://www.hiwin.cz/media/files/01_Linearni_vedeni.pdf.
- [28] REXROTH. *Elektronický katalog produktů*. [Online] [Cit. 2015-05-01] Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/index>.
- [29] Materiálové vlastnosti materiálu ZEDEX. *Wolkoplast*. [Online] 1994-2017. [Cit. 2017-06-13] Dostupné z: <http://www.wolkoplast.cz/files/zedex-100/material-zedex-100-vlastnosti.pdf>.
- [30] Leadshine Technology Co., Ltd.: *M Series - Classic Analog Stepper Drives*. [Online] [Cit. 2015-03-05] Dostupné z: <http://www.leadshine.com/series.aspx?type=products&category=stepper-products&producttype=stepper-drives&series=M>.
- [31] Leadshine Technology Co., Ltd. *57 HS Series Hybrid Stepping Motor*. [Online] [Cit. 2015-03-05] Dostupné z: <http://www.leadshine.com/UploadFile/Down/57HSxxd.pdf>.
- [32] GES electronic. *NE 555 - GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS*. [Online] 1998. [Cit. 2017-06-13] Dostupné z: http://www.ges.cz/sheets/n/ne555_st.pdf.
- [33] PODZEMNÝ, J.: *Frézka pro designérské účely*. Brno, 2006. Diplomová práce Vysoké učení technické v Brně.

- [34] LEINVEBER, J., J. ŘASA a P. VÁVRA. *Strojnické tabulky, Upravené a doplněné vydání*. Praha: Scientia, spol. s r. o., 1999. ISBN 80-7183-164-6.
- [35] Computer Vision vs. Machine Vision. *Vision online*. [Online] AIA - Global association for vision information, 2014. [Cit. 2016-12-01] Dostupné z: http://www.visiononline.org/vision-resources-details.cfm/vision-resources/Computer-Vision-vs-Machine-Vision/content_id/4585.
- [36] HORÁK, K., a další. *Počítačové vidění*. Brno, 2008. Text pro posluchače kurzu
- [37] Computer Vision System Toolbox. *MathWorks*. [Online] MathWorks. [Cit. 2016-12-01] Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/computer-vision/>.
- [38] National Instruments, Machine Vision. *National Instruments*. [Online] 2017. [Cit. 2017-07-14] Dostupné z: <http://www.ni.com/cs-cz/shop/select/machine-vision-category#facet:&productBeginIndex:0&orderBy:&pageView:grid&pageSize:&>.
- [39] NI-IMAQ for *USB Cameras*. [Online] National Instruments, 6. září 2016. [Cit. 2016-11-03] Dostupné z: <http://www.ni.com/example/30030/en/>.
- [40] TEZAUER, R.: *Hodina matematiky. PALADIX foto-on-line*. [Online] 04. prosinec 2016. [Cit. 2017-06-30] Dostupné z: <https://www.paladix.cz/clanky/hodina-matematiky.html>.
- [41] National Instruments, LabVIEW. *National Instruments*. [Online] 2017. [Cit. 2017-06-14] Dostupné z: <http://czech.ni.com/labview>.
- [42] National Instruments, LabVIEW. *LabVIEW™ Help*. [Online] 2011. [Cit. 2017-06-14] Dostupné z: <http://czech.ni.com/labview>.
- [43] National Instruments, LabVIEW. *NI Vision for LabVIEW™ Help*. [Online] 2003. [Cit. 2017-06-14] Dostupné z: <http://czech.ni.com/labview>.
- [44] CZC.cz. *Creative Live! Cam Sync HD*. [Online] 1998-2017. [Cit. 2017-08-18] Dostupné z: <https://www.czc.cz/creative-live-cam-sync-hd/113435/produkt>.

Seznam publikovaných prací

Seznam vlastních prací vztahujících se k tématu disertace:

1. MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J. Bezkontaktní justační jednotka. In *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference*. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, 2013. s. 3335-3340. ISBN: 978-80-87952-00-9
2. ŘEHOŘ, J., FULEMOVÁ, J., RUT, D., TRÍSKOVÁ, V., KUTLWAŠER, J., KOUŘIL, K. Vystružování velmi přesných děr u hydrostatických komponent. *Strojírenská technologie*, 2015, roč. XX, č. 1, s. 55-62. ISSN: 1211-4162
3. ŘEHOŘ, J., FULEMOVÁ, J., RUT, D., TRÍSKOVÁ, V., KUTLWAŠER, J., KOUŘIL, K. Reaming of Very Precise Holes in Hydrostatic Component. *Manufacturing Technology*, 2015, roč. 15, č. 3, s. 409-415. ISSN: 1213-2489
4. MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J., KUBÁTOVÁ, D. INFLUENCE OF INITIAL SETUP OF PARTS BEFORE ROUGHNESS EVALUATION. In *Proceedings of the International Conference of DAAAM Baltic "Industrial Engineering"*. Estonsko: DAAAM International, 2015. s. 52-56. ISBN: 978-1-5108-2263-4 , ISSN: 2346-612X
5. MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J. The Issue of Contactless Setup before Measuring Process. In *Procedia Engineering*. Vídeň: Elsevier Ltd, 2014. s. 1088-1093. ISBN: 978-3-901509-97-1 , ISSN: 1877-7058

Seznam vlastních prací nevztahujících se k tématu disertace:

1. HNÁTÍK, J., KUTLWAŠER, J., SKLENIČKA, J. iMachining cutting force measurement. In *Proceedings of the 26th DAAAM International Symposium*. Vienna: DAAAM International, 2016. s. 955-959. ISBN: 978-3-902734-07-5 , ISSN: 1726-9679
2. BÍCOVÁ, K., KUTLWAŠER, J., SKLENIČKA, J. Issue of high precision manufacturing analysis in automotive industry. In *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. Vienna: Danube Adria Association for Automation and Manufacturing, DAAAM, 2016. s. 353-357. ISBN: 978-3-902734-08-2 , ISSN: 1726-9679
3. MELICHAR, M., KUBÁTOVÁ, D., KUTLWAŠER, J. CMM measuring cycle and human factor. In *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. Vienna: Danube Adria Association for Automation and Manufacturing, DAAAM, 2016. s. 371-376. ISBN: 978-3-902734-08-2 , ISSN: 1726-9679
4. ZETKOVÁ, I., ZETEK, M., DAŇA, M., KUTLWAŠER, J. Critical Parameters of Metal Laser Sintering with its Impact on Geometrical Accuracy of a Component. *Manufacturing Technology*, 2016, roč. 16, č. 5, s. 1216-1222. ISSN: 1213-2489
5. HNÁTÍK, J., KROFT, L., KUTLWAŠER, J. Constant chip volume machining. In *Proceedings of the 26th DAAAM International Symposium*. Vienna: DAAAM International, 2016. s. 960-966. ISBN: 978-3-902734-07-5 , ISSN: 1726-9679
6. MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J., KUBÁTOVÁ, D. Effect of sweat aggressiveness on parameters of surface integrity. In *Annals of DAAAM and Proceedings of the*

- International DAAAM Symposium*. Zadar: Danube Adria Association for Automation and Manufacturing, DAAAM, 2016. s. 536-541. ISBN: 978-3-902734-07-5 , ISSN: 1726-9679
7. HNÁTÍK, J., KUTLWAŠER, J., SKLENIČKA, J. Měření řezných sil při obrábění metodou iMachining. *Strojírenská technologie*, 2014, roč. XIX, č. 2, s. 78-82. ISSN: 1211-4162
 8. MELICHAR, M., KUBÁTOVÁ, D., KUTLWAŠER, J., SKLENIČKA, J. Zpracování dat z automatizovaného měřicího pracoviště. In *Recenzovaný sborník příspěvků interdisciplinární mezinárodní vědecké konference doktorandů a odborných asistentů*. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, Hradec Králové, 2014. s. 1575-1584. ISBN: 978-80-87952-04-7
 9. MELICHAR, M., KUBÁTOVÁ, D., KUTLWAŠER, J. Zpracování dat z robotického měřicího pracoviště. *Strojírenská technologie*, 2014, roč. 19, č. 1, s. 37-42. ISSN: 1211-4162
 10. MELICHAR, M., KUBÁTOVÁ, D., KUTLWAŠER, J. Zpracování dat z robotického měřicího pracoviště. In *5. Mezinárodní konference ICTKI 2014: Sborník příspěvků*. Ústí nad Labem: Unverzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem (UJEP), 2014. s. 240-247. ISBN: 978-80-7414-679-4
 11. SKLENIČKA, J., KUTLWAŠER, J., ZETEK, M., SAMIECOVÁ, E. Observation of laser beam hardened layer hardness using cutting force measurement. In *Proceedings of International Conference on Innovative Technologies*. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2012. s. 491-494. ISBN: 978-953-6326-77-8
 12. ZETEK, M., ČESÁKOVÁ, I., SKLENIČKA, J., KUTLWAŠER, J. Integrita povrchu řezného nástroje. In *SEMDOK 2012*. Žilina: Žilinská univerzita, 2012. s. 226-230. ISBN: 978-80-554-0477-6
 13. SKLENIČKA, J., KUTLWAŠER, J. Experimentální metoda měření tvrdosti laserem kaleného povrchu. In *Zborník prednášok*. Trenčín: Miloš Vavřík-Kníhviazačstvo,, 2012. s. 109-114. ISBN: 978-80-970824-1-3
 14. SKLENIČKA, J., KUTLWAŠER, J. *Redukce šumu při experimentálním měření řezných sil*. Plzeň, 2011., ISBN: 978-80-7043-934-0,
 15. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., MELICHAR, M. The Issue of Compensation for the Conventional Alignment Method Using Contactless Method. In *Proceedings of 5th Conference for Young Researchers and PhD Students ERIN 2011*. Prešov: Harmony Aperion Non-profit Association, 2011. s. 499-504. ISBN: 978-80-89347-05-6
 16. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P. Measurement of electric vehicle energy consumption. In *Proceedings of 5th Conference for Young Researchers and PhD Students ERIN 2011*. Prešov: Harmony Aperion Non-profit Association, 2011. s. 505-510. ISBN: 978-80-89347-05-6
 17. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. Zjišťování parametrů na malém elektromobilu. In *ERIN 2010*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2010. ISBN: 978-80-7043-866-4
 18. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J., ŠVEC, M. Konstrukční uspořádání výrobních strojů a zařízení pro výukové účely. In *ERIN 2010*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2010. ISBN: 978-80-7043-866-4

19. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. Mechatronické systémy v manipulační technice. In *ERIN 2010*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2010. s. 1-6. ISBN: 978-80-7043-866-4

Průmyslový vzor

1. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Držák větrného deflektoru*. Praha, 2013.
2. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Držák hlavního předního osvětlení elektromobilu*. Bubeneč, Praha 6, Česká republika, 2012.
3. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Ukazatel napětí akumulátorů elektromobilu*. Praha, Bubeneč, Praha 6, Česká republika, 2012.
4. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Ukazatel proudového odběru pohonu elektromobilu*. Bubeneč, Praha 6, Česká republika, 2012.
5. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Víčko dobíjecí zásuvky elektromobilu*. Praha, 2011.
6. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Držák palubních teploměrů ve vozidle*. Praha, 2011.
7. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Přístrojová deska elektromobilu*. Praha, 2011.
8. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Držák měřících přístrojů*. Praha, 2011.
9. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Držák hlavního odpojovače elektromobilu*. Praha, 2011.
10. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Větrný deflektor*. Praha, 2011.
11. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J., KLEISNER, P., FRIML, V., NÁVARA, M., KRIEGLSTEIN, P. *Lišta přední kapoty elektromobilu*. Praha, 2011.

Prototyp, funkční vzor

1. SKLENIČKA, J., ŘEHOŘ, J., FULEMOVÁ, J., KUTLWAŠER, J. *Funkční vzorek pro testy měření řezných sil při vystružování*. 2014.
2. SKLENIČKA, J., ŘEHOŘ, J., KUTLWAŠER, J., DUCHEK, V. *Přípravek pro označování plášťů katalyzátorů*. 2014.
3. SKLENIČKA, J., FULEMOVÁ, J., KUTLWAŠER, J., BÍCOVÁ, K. *Sada přílohek ze speciálního plastu POM-C NATUR*. 2014.
4. SKLENIČKA, J., KUTLWAŠER, J., MATĚJKA, J., BÍCOVÁ, K. *Geometrická úprava základacího přípravku pro svařování II.*. 2014.
5. SKLENIČKA, J., FULEMOVÁ, J., KUTLWAŠER, J., HNÁTÍK, J., BÍCOVÁ, K. *Geometrická úprava základacího přípravku pro svařování I.*. 2014.

6. SKLENIČKA, J., KUTLWAŠER, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J. *Ustavovací prvky pláště katalyzátoru pro dovaření přípojných matic*. 2014.
7. FULEMOVÁ, J., KUTLWAŠER, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J. *Geometrická úprava základacího přípravku pro svařování III. (měď silná)*. 2014.
8. SKLENIČKA, J., ŘEHOŘ, J., FULEMOVÁ, J., KUTLWAŠER, J. *Funkční vzorek pro testy vystružování*. 2014.
9. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J. *Elektrické vozítko nejen pro hendikepované osoby*. Praha, 2011.
10. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J. *Zařízení pro monitorování základního zdravotního stavu řidiče*. Praha, 2011.
11. FORMÁNEK, J., KUTLWAŠER, J. *Pohybový mechanismus pro CNC stroje*. Praha, 2011.
12. MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J., FORMÁNEK, J., ZVONEČEK, F. *Bezkontaktní justační jednotka*. 2011.
13. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *3D frézovací minicentrum*. 2010.
14. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Elektronický diferenciál pro elektromobily*. 2010.
15. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Funkční laboratorní model elektrického vozidla*. 2010.
16. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Výuková CNC řezačka polystyrenu*. 2010.
17. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Polovodičový světlomet*. 2010.

Poloprovoz, ověřená technologie

1. MATĚJKA, J., KROFT, L., KUTLWAŠER, J. *Technologie obrobení speciálního stříhacího přípravku*. 2016.
2. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., KUTLWAŠER, J., MATĚJKA, J. *Frézování tvarově složitých ploch v technickém plastu POM*. 2014.
3. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., MELICHAR, M., FULEMOVÁ, J., KUTLWAŠER, J. *Inovativní technologie frézování L-profilu s využitím progresivních nástrojů a strategií*. 2014.
4. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., KUTLWAŠER, J., MATĚJKA, J. *Technologie frézování tvarového dílce z elektrodové mědi II*. 2014.
5. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., KUTLWAŠER, J., MATĚJKA, J. *Technologie výroby tenké hluboké drážky v rotačním dílu z elektrodové mědi CuCrZr*. 2014.
6. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., KUTLWAŠER, J., MATĚJKA, J. *Technologie obrobení přídržných rozpínacích čelistí z nástrojové oceli*. 2014.
7. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Technologie obrobení formy pro zalisování katalyzátoru*. 2013.
8. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Typová technologie obrobení základny základacího přípravku pro ohýbání trubek*. 2013.
9. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Typová technologie obrobení tvarové čelisti pro ohýbačku SILFAX*. 2013.

10. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Technologie frézování dílu z elektrodové mědi*. 2013.
11. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Technologie obrobení dílce z materiálu POM C BLACK pro kontrolu výfukových systémů*. 2013.
12. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Technologie frézování tenkostěnného štíhlého dílu ze slitiny leteckého hliníku*. 2013.
13. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Technologie obrobení tenkostěnných rámečků ze slitiny hliníku*. 2013.
14. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Technologie produktivního obrobení hluboké kapsy*. 2013.
15. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Technologie vrtání sklo-epoxidových pryskyřic na ocelovém podkladě*. 2013.
16. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Technologie frézování ozubení časovacího kotouče*. 2013.
17. SKLENIČKA, J., HNÁTÍK, J., MATĚJKA, J., KUTLWAŠER, J. *Typová technologie obrobení rovinné čelisti pro ohýbačku SILFAX*. 2013.
18. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Návrh technologie řídicího systému elektromobilu*. 2010.
19. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Návrh hlavního pohonu elektromobilu*. 2010.
20. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Ergonomické uspořádání přístrojů elektromobilu*. 2010.
21. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Návrh polovodičového (LED) osvětlení elektromobilu*. 2010.
22. FORMÁNEK, J., KLEISNER, P., KUTLWAŠER, J. *Optimalizace akumulátorového zdroje elektromobilu*. 2010.

Software

1. KUTLWAŠER, J. *Databáze vývoje nástrojů VRV*. 2013.

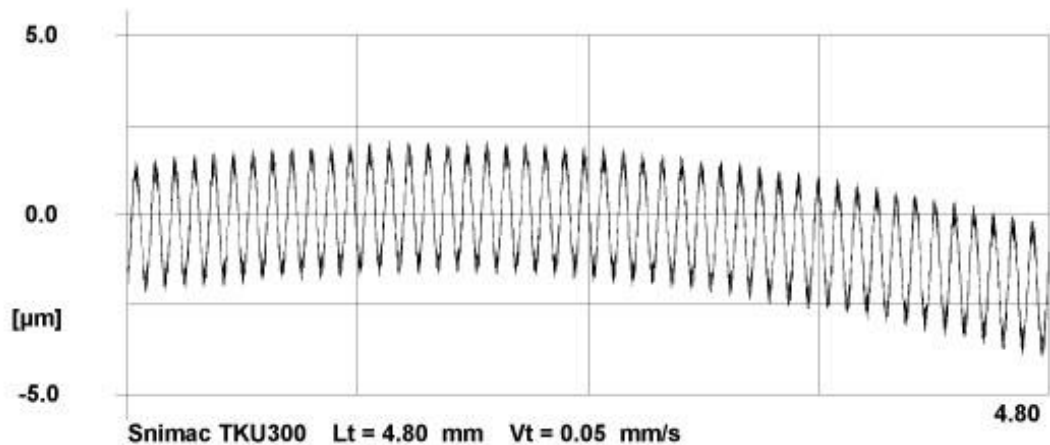
PŘÍLOHA č. 1

Protokol z měření etalonu

Měřicí protokol

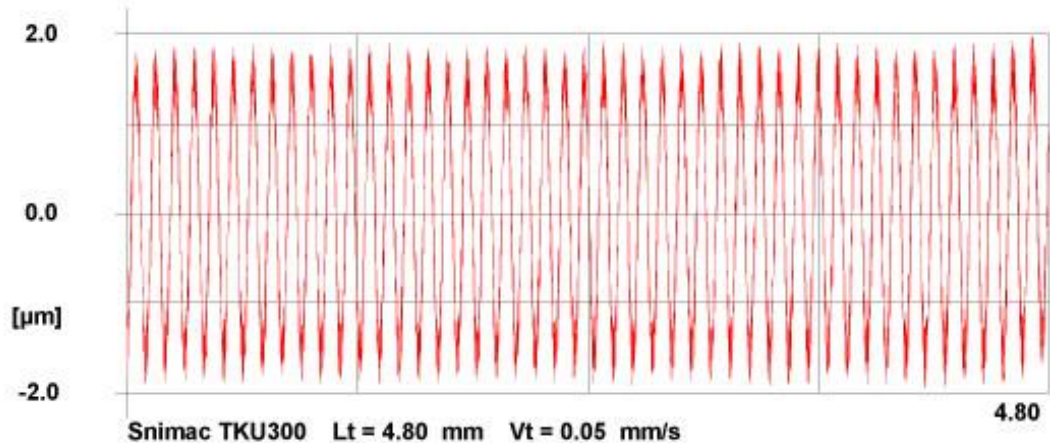
HOMMEL-ETAMIC TURBO WAVE V7.45 Měření podmínky Sniřac: TKU300 Mer.rozsah: 80 μm Lineární pos. přístroj: waveline 120 Měření dráha (Lt) : 4.80 mm Posuvová rychlost (Vt): 0.05 mm/s Měření hodnoty: 9600	Zakazník: Etalon
--	-------------------------

P- Profil vyrovnán Lc/Ls = VYP



Pt	6.05 μ m	Rz	3.34 μ m	Wt	2.58 μ m
Pz	5.51 μ m	Ra	1.03 μ m	Wz	0.62 μ m
Pa	1.11 μ m	RSm	0.1015 mm	Wa	0.51 μ m
PSm	0.1019 mm	Rq	1.14 μ m	WSm	--- mm

R- Profil vyrovnán Filtr ISO 16610-22 Lc = 0.800 mm



Měřil: Kutlwařer

Obrázek 57: Protokol z kontrolního měření etalonu

PŘÍLOHA č. 2

Tabulka plánu experimentu č. 1

Tabulka 18: Plán experimentu

Běh	Vyosení snímače	Základní drsnost	Průměr otvoru	Směr posunu
	A	B	C	D
1	0,1	vysoká	10	+1
2	0,83	vysoká	12	-1
3	1,2	vysoká	12	-1
4	0,1	vysoká	12	-1
5	0,93	vysoká	6	+1
6	1,2	nízká	10	-1
7	0,1	vysoká	6	+1
8	0,93	nízká	10	+1
9	0,1	vysoká	6	-1
10	0,93	vysoká	6	+1
11	1,2	nízká	12	-1
12	0,1	nízká	6	+1
13	0,65	vysoká	10	-1
14	0,65	nízká	12	-1
15	0,1	vysoká	6	+1
16	1,2	nízká	6	-1
17	0,47	vysoká	6	-1
18	0,1	nízká	10	-1
19	0,65	vysoká	10	+1

Tabulka 18: Plán experimentu (pokračování)

Běh	Vyosení snímače	Základní drsnot	Průměr otvoru	Směr posunu
	A	B	C	D
20	0,1	vysoká	10	-1
21	1,2	vysoká	6	-1
22	0,1	vysoká	12	+1
23	1,2	vysoká	10	-1
24	1,2	nízká	12	1
25	0,1	vysoká	6	-1
26	0,65	nízká	10	-1
27	0,1	nízká	10	+1
28	1,2	nízká	6	+1
29	1,2	vysoká	12	+1
30	0,38	nízká	12	+1
31	1,2	vysoká	10	+1
32	0,1	nízká	12	-1
33	0,1	nízká	6	-1
34	0,65	nízká	6	-1
35	0,65	nízká	6	+1
36	0,65	vysoká	12	+1
37	1,2	nízká	6	+1
38	0,1	vysoká	12	-1

PŘÍLOHA č. 3

Tabulka výsledků měření experimentu č. 1

Tabulka 19: Měřené hodnoty z experimentu (Hodnoty vyosení v [mm] a měřené hodnoty v [μm])

B.	Delta	Pa	Pq	Pz	Pt	Ra	Rq	Rz	Rt	Wa	Wz	Wt
	0	7,88	8,91	43,69	56,12	5,47	6,73	29,19	42,49	5,15	8,13	23,5
	0,1	7,58	8,07	41,17	41,17	5	6,17	27,58	35,93	4,39	6,58	18,93
	Rozdíl	0,3	0,84	2,52	14,95	0,47	0,56	1,61	6,56	0,76	1,55	4,57
	%Rozdíl	3,81	9,43	5,77	26,64	8,59	8,32	5,52	15,44	14,76	19,07	19,45
	0	2,15	2,64	12,33	12,33	1,91	2,32	10,35	11,89	0,59	1,93	2,68
	0,83	3,08	3,68	28,45	28,45	2,35	2,96	14,8	25,61	1,27	3,02	5,47
	Rozdíl	0,93	1,04	16,12	16,12	0,44	0,64	4,45	13,72	0,68	1,09	2,79
	%Rozdíl	43,26	39,39	130,74	130,74	23,04	27,59	43,00	115,39	115,25	56,48	104,10
	0	2,39	2,96	18,44	18,44	2,1	2,59	12,44	17,54	0,58	1,93	3,12
	1,2	3,11	3,61	20,25	20,25	2,47	3,07	14,14	17,92	1,67	3,9	6,21
	Rozdíl	0,72	0,65	1,81	1,81	0,37	0,48	1,7	0,38	1,09	1,97	3,09
	%Rozdíl	30,13	21,96	9,82	9,82	17,62	18,53	13,67	2,17	187,93	102,07	99,04
	0	2,48	3,24	26,98	26,98	2,15	2,74	14,29	26,05	0,59	2,09	2,94
	0,1	2,36	2,87	14,27	14,4	2,04	2,5	11,64	13,65	0,87	2,17	3,9
	Rozdíl	0,12	0,37	12,71	12,58	0,11	0,24	2,65	12,4	0,28	0,08	0,96
	%Rozdíl	4,84	11,42	47,11	46,63	5,12	8,76	18,54	47,60	47,46	3,83	32,65
	0	4,25	4,79	28,55	30,04	3,17	3,98	19,46	24,72	2,78	5,96	12,93
	0,93	5,66	7	46,21	46,21	4,37	5,65	29,88	44,26	2,85	7,1	12,72
	Rozdíl	1,41	2,21	17,66	16,17	1,2	1,67	10,42	19,54	0,07	1,14	0,21
	%Rozdíl	33,18	46,14	61,86	53,83	37,85	41,96	53,55	79,05	2,52	19,13	1,62
	0	0,54	0,91	6,11	6,23	0,51	0,81	5,05	5,82	0,18	0,54	1,16
	1,2	0,69	1,1	7,64	7,87	0,56	0,91	5,18	6,73	0,3	0,55	1,63
	Rozdíl	0,15	0,19	1,53	1,64	0,05	0,1	0,13	0,91	0,12	0,01	0,47
	%Rozdíl	27,78	20,88	25,04	26,32	9,80	12,35	2,57	15,64	66,67	1,85	40,52
	0	4,02	5,46	32,77	33,24	3,27	4,09	19,46	23,3	2,93	7,3	14,57
	0,1	4,42	5,85	30,78	35,8	3,24	4	19,55	23,38	3,54	8,14	18,11
	Rozdíl	0,4	0,39	1,99	2,56	0,03	0,09	0,09	0,08	0,61	0,84	3,54
	%Rozdíl	9,95	7,14	6,07	7,70	0,92	2,20	0,46	0,34	20,82	11,51	24,30
	0	0,6	0,92	7	7,36	0,52	0,82	5,09	6,41	0,28	0,6	1,26
	0,93	0,73	1,05	7,15	7,19	0,6	0,96	5,96	6,71	0,27	0,43	0,92
	Rozdíl	0,13	0,13	0,15	0,17	0,08	0,14	0,87	0,3	0,01	0,17	0,34
	%Rozdíl	21,67	14,13	2,14	2,31	15,38	17,07	17,09	4,68	3,57	28,33	26,98
	0	6,77	6,76	45,41	45,41	3,68	4,64	22,86	30,9	5,14	6,59	19,65
	0,1	5,88	6,24	38,08	38,08	3,54	4,39	20,95	29,8	4,43	7,29	16,73
	Rozdíl	0,89	0,52	7,33	7,33	0,14	0,25	1,91	1,1	0,71	0,7	2,92
	%Rozdíl	13,15	7,69	16,14	16,14	3,80	5,39	8,36	3,56	13,81	10,62	14,86
	0	6,41	6,23	40,83	41,43	3,61	4,55	22,45	28,96	5,04	6,36	19,79
	0,93	6,49	6,71	35,6	36,28	4,19	5,12	23,91	34,61	4,57	8,49	19,09
	Rozdíl	0,08	0,48	5,23	5,15	0,58	0,57	1,46	5,65	0,47	2,13	0,7
	%Rozdíl	1,25	7,70	12,81	12,43	16,07	12,53	6,50	19,51	9,33	33,49	3,54

Tabulka 19 (pokračování): Měřené hodnoty z experimentu (Hodnoty vyosení v [mm] a měřené hodnoty v [μm])

B.	Delta	Pa	Pq	Pz	Pt	Ra	Rq	Rz	Rt	Wa	Wz	Wt
	0	0,76	1,01	7,4	7,99	0,66	0,87	5,45	7,82	0,37	0,82	2,1
	1,2	0,78	1,08	9,24	9,24	0,76	1,01	6,06	8,64	0,21	0,57	0,79
	Rozdíl	0,02	0,07	1,84	1,25	0,1	0,14	0,61	0,82	0,16	0,25	1,31
	%Rozdíl	2,63	6,93	24,86	15,64	15,15	16,09	11,19	10,49	43,24	30,49	62,38
	0	0,19	0,17	1,37	1,75	0,08	0,09	0,61	0,64	0,22	0,29	1,18
	0,1	0,18	0,16	1,32	1,59	0,08	0,09	0,6	0,69	0,22	0,29	1,14
	Rozdíl	0,01	0,01	0,05	0,16	0	0	0,01	0,05	0	0	0,04
	%Rozdíl	5,26	5,88	3,65	9,14	0,00	0,00	1,64	7,81	0,00	0,00	3,39
	0	12,37	13,17	80,49	80,49	6,24	8,1	39,03	63,94	12,15	20,66	54,34
	0,65	10,7	13,29	58,38	58,38	7,46	8,97	37,56	56,9	5,67	17,9	31
	Rozdíl	1,67	0,12	22,11	22,11	1,22	0,87	1,47	7,04	6,48	2,76	23,34
	%Rozdíl	13,50	0,91	27,47	27,47	19,55	10,74	3,77	11,01	53,33	13,36	42,95
	0	0,83	0,92	7,06	7,16	0,62	0,79	4,86	6,75	0,54	1,03	2,34
	0,65	0,66	0,88	5,98	5,98	0,6	0,77	4,49	5,3	0,31	0,66	1,2
	Rozdíl	0,17	0,04	1,08	1,18	0,02	0,02	0,37	1,45	0,23	0,37	1,14
	%Rozdíl	20,48	4,35	15,30	16,48	3,23	2,53	7,61	21,48	42,59	35,92	48,72
	0	5,71	5,45	40,23	40,23	3,24	4	19,87	25,66	4,18	5,19	15,3
	0,1	5,65	5,47	33,03	35,59	3,32	4,15	20,04	22,78	4	6,47	17,05
	Rozdíl	0,06	0,02	7,2	4,64	0,08	0,15	0,17	2,88	0,18	1,28	1,75
	%Rozdíl	1,05	0,37	17,90	11,53	2,47	3,75	0,86	11,22	4,31	24,66	11,44
	0	0,11	0,13	1,29	1,31	0,08	0,1	0,76	1,29	0,09	0,18	0,58
	1,2	0,13	0,13	1,21	1,35	0,08	0,1	0,68	0,84	0,12	0,14	0,61
	Rozdíl	0,02	0	0,08	0,04	0	0	0,08	0,45	0,03	0,04	0,03
	%Rozdíl	18,18	0,00	6,20	3,05	0,00	0,00	10,53	34,88	33,33	22,22	5,17
	0	4,92	5,48	36,37	36,37	3,31	4,1	20,2	26,73	3,34	6,52	12,39
	0,47	4,72	5,54	35,78	35,78	3,68	4,59	23,57	35,28	2,83	4,42	10
	Rozdíl	0,2	0,06	0,59	0,59	0,37	0,49	3,37	8,55	0,51	2,1	2,39
	%Rozdíl	4,07	1,09	1,62	1,62	11,18	11,95	16,68	31,99	15,27	32,21	19,29
	0	0,76	1,21	7,43	7,6	0,69	1,13	6,61	7,51	0,21	0,81	1,6
	0,1	0,75	1,22	8,33	8,46	0,65	1,09	6,48	7,5	0,25	0,8	1,87
	Rozdíl	0,01	0,01	0,9	0,86	0,04	0,04	0,13	0,01	0,04	0,01	0,27
	%Rozdíl	1,32	0,83	12,11	11,32	5,80	3,54	1,97	0,13	19,05	1,23	16,88
	0	9,99	11,15	51,23	51,23	6,67	8,06	33,46	44,05	5,81	12,62	26,22
	0,65	9,87	12,2	56,85	56,85	7,18	8,61	34,1	42,55	5,09	15,05	28,59
	Rozdíl	0,12	1,05	5,62	5,62	0,51	0,55	0,64	1,5	0,72	2,43	2,37
	%Rozdíl	1,20	9,42	10,97	10,97	7,65	6,82	1,91	3,41	12,39	19,26	9,04
	0	7,74	9,6	48,66	48,66	6,14	7,32	28,96	42,18	2,66	7,54	15,13
	0,1	8,57	10,36	50,88	50,88	6,31	7,63	31,86	43,53	3,38	9,08	17,51
	Rozdíl	0,83	0,76	2,22	2,22	0,17	0,31	2,9	1,35	0,72	1,54	2,38
	%Rozdíl	10,72	7,92	4,56	4,56	2,77	4,23	10,01	3,20	27,07	20,42	15,73

Tabulka 19 (pokračování): Měřené hodnoty z experimentu (Hodnoty vyosení v [mm] a měřené hodnoty v [μm])

B.	Delta	Pa	Pq	Pz	Pt	Ra	Rq	Rz	Rt	Wa	Wz	Wt
	0	5,66	6,18	34,68	38,35	3,36	4,2	20,16	24,89	4,13	7,3	21,85
	1,2	7,43	7,5	47,98	48,76	4,11	5,04	23,12	27,49	6,04	8,45	27,37
	Rozdíl	1,77	1,32	13,3	10,41	0,75	0,84	2,96	2,6	1,91	1,15	5,52
	%Rozdíl	31,27	21,36	38,35	27,14	22,32	20,00	14,68	10,45	46,25	15,75	25,26
	0	2,37	2,9	14,71	14,71	2,1	2,54	11,49	14,05	0,73	2,08	4,09
	0,1	2,25	2,78	14,25	14,25	2,06	2,48	10,73	12,21	0,82	2,11	4,03
	Rozdíl	0,12	0,12	0,46	0,46	0,04	0,06	0,76	1,84	0,09	0,03	0,06
	%Rozdíl	5,06	4,14	3,13	3,13	1,90	2,36	6,61	13,10	12,33	1,44	1,47
	0	8,04	10,54	49,95	52,15	5,52	6,79	28,99	42,63	5,56	12,72	28,36
	1,2	8,57	10,71	55,7	55,7	6,79	8,25	36,59	49,43	3,24	9,4	19,8
	Rozdíl	0,53	0,17	5,75	3,55	1,27	1,46	7,6	6,8	2,32	3,32	8,56
	%Rozdíl	6,59	1,61	11,51	6,81	23,01	21,50	26,22	15,95	41,73	26,10	30,18
	0	0,69	0,97	8,78	8,78	0,59	0,81	5,36	7,92	0,34	1,02	1,77
	1,2	0,76	1,04	7,71	8,05	0,63	0,84	5,25	7,56	0,48	0,97	3,06
	Rozdíl	0,07	0,07	1,07	0,73	0,04	0,03	0,11	0,36	0,14	0,05	1,29
	%Rozdíl	10,14	7,22	12,19	8,31	6,78	3,70	2,05	4,55	41,18	4,90	72,88
	0	4,42	5,22	30,32	31,71	3,23	3,95	18,25	27,12	2,78	6,97	16,49
	0,1	4,38	5,6	29,54	31,82	3,26	4,02	19,31	23,95	3,24	8,11	17,04
	Rozdíl	0,04	0,38	0,78	0,11	0,03	0,07	1,06	3,17	0,46	1,14	0,55
	%Rozdíl	0,90	7,28	2,57	0,35	0,93	1,77	5,81	11,69	16,55	16,36	3,34
	0	0,78	1,04	7,32	7,44	0,59	0,95	5,45	6,79	0,43	0,7	2,29
	0,65	0,74	1,09	8,43	8,83	0,57	0,96	6,52	7,93	0,37	0,8	2,49
	Rozdíl	0,04	0,05	1,11	1,39	0,02	0,01	1,07	1,14	0,06	0,1	0,2
	%Rozdíl	5,13	4,81	15,16	18,68	3,39	1,05	19,63	16,79	13,95	14,29	8,73
	0	0,81	1,07	7,33	7,73	0,61	0,99	5,84	6,52	0,43	0,79	2,55
	0,1	0,71	0,9	7,43	7,73	0,51	0,78	5,04	6,41	0,46	0,69	2,33
	Rozdíl	0,1	0,17	0,1	0	0,1	0,21	0,8	0,11	0,03	0,1	0,22
	%Rozdíl	12,35	15,89	1,36	0,00	16,39	21,21	13,70	1,69	6,98	12,66	8,63
	0	0,19	0,18	1,48	1,89	0,07	0,08	0,61	0,73	0,23	0,32	1,31
	1,2	0,21	0,17	1,45	1,69	0,06	0,07	0,52	0,63	0,26	0,3	1,21
	Rozdíl	0,02	0,01	0,03	0,2	0,01	0,01	0,09	0,1	0,03	0,02	0,1
	%Rozdíl	10,53	5,56	2,03	10,58	14,29	12,50	14,75	13,70	13,04	6,25	7,63
	0	2,15	2,62	12,32	12,32	1,86	2,26	9,97	12,21	0,6	1,97	2,61
	1,2	3,23	3,55	19,72	20,84	2,18	2,68	12,43	14,67	2,23	4,54	10,22
	Rozdíl	1,08	0,93	7,4	8,52	0,32	0,42	2,46	2,46	1,63	2,57	7,61
	%Rozdíl	50,23	35,50	60,06	69,16	17,20	18,58	24,67	20,15	271,67	130,46	291,57
	0	0,92	1,15	8,47	8,47	0,87	1,09	6,12	8,67	0,27	0,56	1,33
	0,38	0,97	1,22	12,32	12,32	0,89	1,15	6,99	12,04	0,36	0,69	1,68
	Rozdíl	0,05	0,07	3,85	3,85	0,02	0,06	0,87	3,37	0,09	0,13	0,35
	%Rozdíl	5,43	6,09	45,45	45,45	2,30	5,50	14,22	38,87	33,33	23,21	26,32

Tabulka 19 (pokračování): Měřené hodnoty z experimentu (Hodnoty vyosení v [mm] a měřené hodnoty v [μm])

B.	Delta	Pa	Pq	Pz	Pt	Ra	Rq	Rz	Rt	Wa	Wz	Wt
	0	11,35	11,44	49,18	52,54	5,63	6,72	27,56	38,42	9,33	17,87	36,14
	1,2	11,34	12,34	59,99	61,95	7,33	8,73	34,63	45,44	7,47	16,89	35,04
	Rozdíl	0,01	0,9	10,81	9,41	1,7	2,01	7,07	7,02	1,86	0,98	1,1
	%Rozdíl	0,09	7,87	21,98	17,91	30,20	29,91	25,65	18,27	19,94	5,48	3,04
	0	0,94	1,19	8,16	8,39	0,88	1,11	6,16	7,74	0,27	0,5	1,47
	0,1	0,95	1,15	7,49	7,57	0,87	1,09	5,98	8,12	0,31	0,49	1,64
	Rozdíl	0,01	0,04	0,67	0,82	0,01	0,02	0,18	0,38	0,04	0,01	0,17
	%Rozdíl	1,06	3,36	8,21	9,77	1,14	1,80	2,92	4,91	14,81	2,00	11,56
	0	0,24	0,22	1,62	1,9	0,07	0,09	0,56	0,61	0,29	0,35	1,46
	0,1	0,25	0,21	1,67	1,77	0,06	0,07	0,47	0,6	0,3	0,32	1,27
	Rozdíl	0,01	0,01	0,05	0,13	0,01	0,02	0,09	0,01	0,01	0,03	0,19
	%Rozdíl	4,17	4,55	3,09	6,84	14,29	22,22	16,07	1,64	3,45	8,57	13,01
	0	0,19	0,18	1,38	1,77	0,06	0,08	0,6	0,87	0,24	0,33	1,34
	0,65	0,23	0,19	1,43	1,88	0,06	0,08	0,61	0,92	0,27	0,31	1,27
	Rozdíl	0,04	0,01	0,05	0,11	0	0	0,01	0,05	0,03	0,02	0,07
	%Rozdíl	21,05	5,56	3,62	6,21	0,00	0,00	1,67	5,75	12,50	6,06	5,22
	0	0,2	0,19	1,47	1,82	0,06	0,08	0,59	0,63	0,25	0,33	1,38
	0,65	0,24	0,21	3,76	3,76	0,07	0,1	1,62	3,75	0,28	0,32	1,29
	Rozdíl	0,04	0,02	2,29	1,94	0,01	0,02	1,03	3,12	0,03	0,01	0,09
	%Rozdíl	20,00	10,53	155,78	106,59	16,67	25,00	174,58	495,24	12,00	3,03	6,52
	0	2,13	2,66	12,9	12,9	1,9	2,33	10,47	11,72	0,63	2,05	2,95
	0,65	2,23	2,76	13,42	13,87	1,82	2,19	9,79	11,6	1,25	3,32	7,42
	Rozdíl	0,1	0,1	0,52	0,97	0,08	0,14	0,68	0,12	0,62	1,27	4,47
	%Rozdíl	4,69	3,76	4,03	7,52	4,21	6,01	6,49	1,02	98,41	61,95	151,53
	0	0,21	0,23	1,26	1,54	0,09	0,11	0,7	0,75	0,2	0,41	0,88
	1,2	0,18	0,15	1,27	1,39	0,08	0,1	0,64	0,71	0,19	0,22	0,75
	Rozdíl	0,03	0,08	0,01	0,15	0,01	0,01	0,06	0,04	0,01	0,19	0,13
	%Rozdíl	14,29	34,78	0,79	9,74	11,11	9,09	8,57	5,33	5,00	46,34	14,77
	0	2,34	3,12	26,37	26,37	2,1	2,66	13,99	25,53	0,75	2,47	3,47
	0,1	2,25	2,73	13,28	14,21	1,95	2,37	10,69	13,57	0,99	2,27	4,8
	Rozdíl	0,09	0,39	13,09	12,16	0,15	0,29	3,3	11,96	0,24	0,2	1,33
	%Rozdíl	3,85	12,50	49,64	46,11	7,14	10,90	23,59	46,85	32,00	8,10	38,33

PŘÍLOHA č. 4

Plán experimentu č. 2

Tabulka 20: Plán druhého experimentu

Běh	Skupina 1 Průměry 6 mm a 8 mm			Skupina 2 Průměry 10 mm a 12 mm		
	Faktor A Vyosení snímače /mm/	Faktor B Základní drsnost /-/	Faktor C Průměr otvoru /mm/	Faktor A Vyosení snímače /mm/	Faktor B Základní drsnost /-/	Faktor C Průměr otvoru /mm/
	1	0	nízká	6	0,00	nízká
2	0,45	nízká	6	0,00	vysoká	12
3	0	vysoká	8	1,50	vysoká	10
4	0	vysoká	6	0,75	Vysoká	10
5	1,35	nízká	8	0,75	nízká	12
6	1,8	vysoká	8	1,50	nízká	12
7	1,2	vysoká	6	0,00	vysoká	12
8	0,45	vysoká	6	3,00	nízká	12
9	0	nízká	8	2,25	vysoká	12
10	0,9	vysoká	6	1,50	Vysoká	12
11	1,8	vysoká	8	0,00	nízká	12
12	1,8	nízká	6	3,00	vysoká	10
13	0,9	vysoká	8	0,75	nízká	10
14	1,8	nízká	6	3,00	nízká	10
15	0	nízká	8	1,50	nízká	10
16	1,8	vysoká	6	3,00	nízká	12
17	0	vysoká	8	3,00	vysoká	10
18	0,9	nízká	6	0,00	vysoká	10
19	1,8	nízká	8	3,00	Nízká	10
20	0,9	nízká	8	3,00	vysoká	12

PŘÍLOHA č. 5

Data měřená při experimentu 2

Tabulka 21: Data měřená ve druhém experimentu pro 1. skupinu otvorů

Průměry 6 mm a 8 mm											
Běh	Pt	Pz	Pa	Pq	Ra	Rz	Rt	Rq	Wa	Wz	Wt
1	1,90	1,66	0,23	0,29	0,11	0,89	1,15	0,14	0,22	0,23	0,88
2	1,46	1,34	0,16	0,20	0,10	0,81	1,13	0,13	0,13	0,15	0,58
3	15,00	14,48	2,61	3,22	0,35	4,39	6,70	0,66	2,85	3,21	9,48
4	31,57	25,55	4,15	5,07	3,23	19,15	25,41	3,98	2,76	8,07	18,85
5	13,96	13,95	2,07	2,57	1,88	10,45	13,77	2,28	0,76	1,67	3,54
6	24,56	23,82	3,41	5,17	0,46	6,82	11,80	0,82	3,92	3,69	15,07
7	40,86	34,67	5,83	7,54	3,81	22,83	28,64	4,74	4,17	10,76	22,03
8	33,05	28,47	4,29	5,64	3,22	20,4	25,44	4,01	3,07	8,51	15,88
9	14,44	14,21	2,05	2,59	1,77	10,03	13,56	2,18	0,76	1,41	4,49
10	43,90	43,5	5,21	6,98	3,76	23,81	32,88	4,81	3,47	9,53	19,01
11	16,16	15,09	3,03	4,73	0,33	3,31	4,26	0,47	3,46	3,40	14,21
12	2,08	1,87	0,21	0,3	0,09	0,85	1,19	0,11	0,24	0,27	1,01
13	15,75	14,93	2,79	3,93	0,44	4,19	6,23	0,65	3,21	3,15	11,87
14	1,67	1,61	0,20	0,25	0,11	0,99	1,31	0,15	0,18	0,21	0,76
15	14,77	14,43	2,05	2,62	1,77	9,90	13,74	2,17	0,83	1,70	4,14
16	34,55	33,86	5,17	6,49	3,78	22,48	34,85	4,70	3,11	7,22	12,22
17	13,90	13,44	2,53	3,08	0,35	3,64	5,63	0,35	2,77	3,20	9,41
18	1,62	1,46	0,16	0,21	0,10	0,84	1,11	0,13	0,14	0,16	0,70
19	15,94	15,79	2,36	3,06	2,17	12,8	14,93	2,68	1,02	2,40	3,96
20	15,45	15,45	2,13	2,9	2,01	11,59	14,05	2,52	0,90	3,03	7,01

Tabulka 22: Data měřená ve druhém experimentu pro 2. skupinu otvorů

Průměry 10 mm a 12 mm											
Běh	Pt	Pz	Pa	Pq	Ra	Rz	Rt	Rq	Wa	Wz	Wt
1	6,57	6,29	0,51	0,86	0,42	5,14	5,96	0,75	0,21	0,35	0,96
2	19,69	19,22	3,23	4,12	1,85	10,73	14,72	2,25	2,91	4,01	12,86
3	31,92	31,92	5,31	6,74	3,14	18,65	23,33	3,86	4,27	7,72	18,63
4	32,90	32,9	5,21	6,83	3,11	19,2	25,91	3,89	4,15	7,54	19,19
5	7,19	6,35	0,61	0,81	0,56	4,35	6,38	0,73	0,32	1,03	1,81
6	7,26	6,04	0,59	0,8	0,59	5,19	7,14	0,82	0,28	0,84	1,56
7	19,82	19,27	3,24	4,11	1,85	10,98	14,86	2,26	2,91	4,05	12,96
8	6,57	5,76	0,78	0,94	0,60	4,14	5,87	0,76	0,51	1,26	2,77
9	23,49	23,49	3,10	3,91	1,93	12,20	16,64	2,42	2,41	2,84	9,21
10	16,42	16,42	2,93	3,48	1,98	11,16	15,26	2,41	1,70	4,37	7,10
11	4,65	4,65	0,57	0,71	0,50	3,42	4,03	0,62	0,23	0,58	1,04
12	28,69	25,92	4,58	5,65	3,94	21,79	25,1	4,87	2,17	5,62	11,86
13	5,59	5,38	0,44	0,64	0,37	3,81	5,26	0,57	0,14	0,35	0,86
14	11,91	10,45	0,55	0,87	0,48	6,25	10,93	0,79	0,31	0,78	1,43
15	6,21	6,21	0,44	0,64	0,40	4,55	5,96	0,61	0,13	0,49	1,15
16	7,09	5,68	0,83	1,00	0,61	4,19	5,97	0,79	0,57	1,36	3,13
17	28,48	26,44	4,59	5,66	3,92	21,78	25,64	4,87	2,25	5,85	12,17
18	31,5	31,50	4,91	6,37	2,99	19,21	23,55	3,79	3,54	6,18	16,38
19	8,63	6,63	0,49	0,71	0,43	5,31	7,83	0,71	0,27	0,71	1,49
20	22,38	18,21	3,27	4,00	2,12	12,75	14,45	2,65	2,51	4,25	15,82