

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Využití robotizace při měření strojírenských součástí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Jan Škvarka

Studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Štajnochr

Praha, 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Škvarka** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **457296**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití robotizace při měření strojírenských součástí

Název diplomové práce anglicky:

The use of robotics in measuring mechanical parts

Pokyny pro vypracování:

1. Ověřte použitelnost bezkontaktních metod měření při robotické manipulaci.
2. Proveďte praktické ověření přesnosti měření průměrů broušených součástí optickým mikrometrem.
3. Navrhněte a ověřte robotickou manipulaci se součástí pro měření na různých měřicích stanovištích.
4. Ověřte při praktických zkouškách přesnost měření na profilovém konturografu a optickém mikrometru.
5. Zhodnoťte použitelnost robotické manipulace pro měření.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Lubomír Štajnochr, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

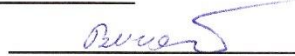
Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: _____



Ing. Lubomír Štajnochr
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotace:

Tato práce se zabývá využitím robotizace pro aplikaci při měření součástí přímo při výrobním procesu. Jednotlivá měřicí stanoviště v případě robotizace musí splňovat mnoho kritérií pro to, aby bylo možné takové měření úspěšně, opakovaně provádět. Využití robotů při manipulaci v průmyslových aplikacích je v současné době velice žádané. Pokud budou výrobní linky rozšířeny o automatizovaná měřicí stanoviště, dojde ke zvýšení produktivity práce. Je ovšem důležité si uvědomit všechny aspekty, za kterých je takové nasazení robotů možné.

Klíčová slova:

robotizace; automatizace; optické měřicí systémy; dotykové měřicí systémy; optický mikrometr; konturograf

Anotation:

This work deals with the use of robotics for application in the measurement of components in the production process. In the case of robotization, individual measuring stations must meet many criteria for measurements to be carried out successfully and repeatedly. The use of robots for handling in industrial applications is currently in great demand. If the production lines are expanded with automated measuring stations, work productivity will increase. However, it is important to be aware of all aspects in which such deployment of robots is possible.

Key words:

robotization; automation; optical measuring systems; touch measuring systems; optical micrometer; contourgraph

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Dne:

Podpis:

Poděkování:

Mé poděkování patří Ing. Lubomíru Štajnochrovi za cenné rady a obětavou pomoc při zpracování diplomové práce.

Obsah

Úvod	9
1. Způsoby měření a měřicí přístroje	10
1.1. Kontaktní metody měření	10
1.1.1. Souřadnicové měřicí stroje s dotykovými senzory	11
1.1.2. Profilový konturograf.....	11
1.2. Bezdotykové měřicí systémy.....	13
1.2.1. Optický mikrometr	14
2. Robotické manipulátory.....	20
2.1. Kinetické koncepce ramen manipulátorů	22
2.2. Motory robotů.....	25
3. Broušení	26
3.1. Brusky.....	26
3.1.1. Brusky rovinné	26
3.1.2. Hrotové brusky	27
3.1.3. Bezhruté brusky.....	29
3.1.4. Brusky na díry	30
3.1.5. Nástrojové brusky	30
4. Ověření měřicích metod a jejich aplikace na zkušebním procesu	32
4.1. Popis zkušebního procesu.....	32
4.2. Zkušební vzorek	34
4.3. Nástrojová bruska BUA 16 CNC	35
4.4. Manipulátor Racer 5	37
4.5. Měřicí zařízení.....	39
4.5.1. RXi Laser mikrometr	39
4.5.2. RXi Laser mikrometr – ověření měřidla	42
4.5.3. Mahr XC 2 – konturograf.....	54

5. Diskuze	58
5.1. Robotická manipulace	58
5.2. Optická měřidla	59
5.3. Dotyková měřidla	60
6. Závěr	62
Bibliografie.....	63

Úvod

Automatizace a robotizace výrobních procesů je v současné době již zcela běžnou praxí. Jak automatizační, tak robotizační prostředky jsou používány pro zvýšení efektivity práce. Stroje eliminují lidský faktor ve výrobě, díky čemu jsou jejich pracovní výsledky konzistentní, nepotřebují pauzy ani přestávky.

Běžnou praxí v moderních podnicích je začleňování automatizačních a robotizačních prvků do linek tak, aby od vstupu po výstup z linky výrobek nemusel projít lidskýma rukama. Nezbytným prvkem takových linek je i sofistikovaný systém naváděcích a měřicích přístrojů, který zaručí přepravu materiálu, detekci výrobků neshodných s tolerancí operace, a ve finále i výstupní kontrolu.

Je otázkou, na kolik mohou robotizační zařízení manipulující s výrobkem k výstupní kontrole a v jejím průběhu ovlivnit přesnost měření. Samotná měřicí zařízení mají velice často velmi dobrou rozlišovací schopnost. Otázkou ovšem zůstává, jak tuto přesnost ovlivní manipulátor (svým chvěním, přesností umístění výrobku na pozici měření, přesností uchopení, vzdáleností od podstavy, nebo jinak).

V této diplomové práci bude provedena série pokusů, která by měla určit vliv robotizační techniky na přesnost měření. Pro měření bude užito jak metod dotykových – bude se jednat o profilový konturograf, tak metod optických – pomocí optického mikrometru. Na těchto přístrojích určíme míru ovlivnění měření robotizační technikou.

1. Způsoby měření a měřicí přístroje

V oblasti působení měřicí techniky dochází k neustálému vývoji měřicích zařízení, která musí měřit se stále větší přesností a musí být schopna měřit velké množství dat. Důležité při měření je, aby měřidla podávala stabilní a opakovatelné výsledky. [1]

V průmyslu nejčastěji používanými měřidly jsou měřidla nestanovená, která se v rámci návaznosti metrologického systému vztahují a kalibrují na úrovni národních, popřípadě nadnárodních institutů. Pomocí systému metrologické návaznosti jsou tak vztažena k primárním etalonům a je zajištěna shodnost výsledků měření na různých místech.

Pro měření zadaných součástí v různých podmínkách má být volena vždy nejlepší možnost měření. Volba optimálního způsobu měření se odvíjí od kvalitativních parametrů, které mají být měřeny, a od požadavků na množství měření, která mají být prováděna. Obecně lze konstatovat, že čím přesněji chceme měřit, tím delší čas je k takovému měření potřeba. Na druhou stranu, je spousta odvětví, kdy není potřeba měřit s maximální přesností, ale je zapotřebí, aby bylo naměřeno velké množství dat. Z takových podmínek se pak odvíjí volba měřicího zařízení.

Při volbě měřidla je nutné vždy měřit měřidlem, které má větší rozlišovací schopnost, než je nejmenší měřená délka, aby měření mohlo být realizováno. Moderní technologie umožňují v současné době využívat velké množství různých měřidel. Pro zjištění rozměrové přesnosti se nejčastěji používají tři způsoby měření:

- 1) absolutní – jsou měřeny celkové rozměry na součásti
- 2) komparační – zjišťujeme hodnoty odchylek od jmenovitých rozměrů
- 3) toleranční – je zjišťováno, jsou-li naměřené hodnoty v tolerančním poli

Podle způsobu sběru dat můžeme rozdělit měřicí metody na metody kontaktní a bezkontaktní. [2]

1.1. Kontaktní metody měření

Kontaktní měření je založeno na principu převedení vertikálního pohybu měřicí sondy při doteku na kolimátorem generovaný elektrický signál, který je pak konvertován na signál digitální, který je analyzován na PC. Analýza je prováděna dle norem:

- pro 2D měření: ČSN EN ISO 3274 [3]
- pro 3D měření: ČSN EN ISO 25178-601 [4]

Kontaktní dotykové metody zastávají ve strojírenském prostředí nezastupitelnou roli. Oproti optickým metodám měření nejsou zejména tolik náchylné na znečištění měřeného dílu. Snímač dokáže odsunout drobné nečistoty na povrchu měřeného dílce a dokáže snímat data i přes zbytky olejové/emulzní vrstvy při nedůkladném očištění povrchu. [5]

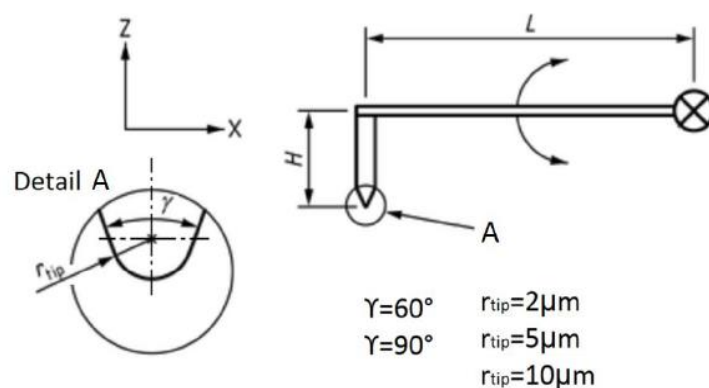
1.1.1. Souřadnicové měřicí stroje s dotykovými senzory

Instalace dotykových měřicích systémů na CMM (Coordinate Measuring Machine) – souřadnicové měřicí stroje – je jednou z nejčastějších aplikací při měření touto technikou. Souřadnicové měřicí stroje pracují s kartézským souřadným systémem a jsou založeny na principu zjišťování souřadnic X, Y a Z jednotlivých bodů na výrobku. Snímání bodů probíhá buď ručně (snímání provádí operátor), nebo je řízeno počítačem a provádí se v automatickém módu.

Body odečtené z měření jsou zpracovány ve vyhodnocovacím softwaru. Při vyhodnocování jsou body prokládány geometrické prvky, které jsou následně vztahovány k modelu prvku a jsou vyhodnocovány jejich vzájemné odchylky.

1.1.2. Profilový konturograf

Měření drsnosti povrchu pomocí konturografu dotykovou metodou využívá stejný princip, jako využívají drsnoměry. U konturografu je zvětšen rozsah posuvu v x i rozsah měřené amplitudy. Využívá se kontinuálního snímání dotyku měřicí sondy s povrchem, při spojitosti velikosti naměřené amplitudy na vzdálenosti posuvu x. Pro tato měření by byl ideální bodový styk, který ovšem, vzhledem k technologickým možnostem, není proveditelný, a proto je dle normy ČSN EN ISO 25178-601 upravena velikost diamantového hrotu snímače do následujících rozměrů:

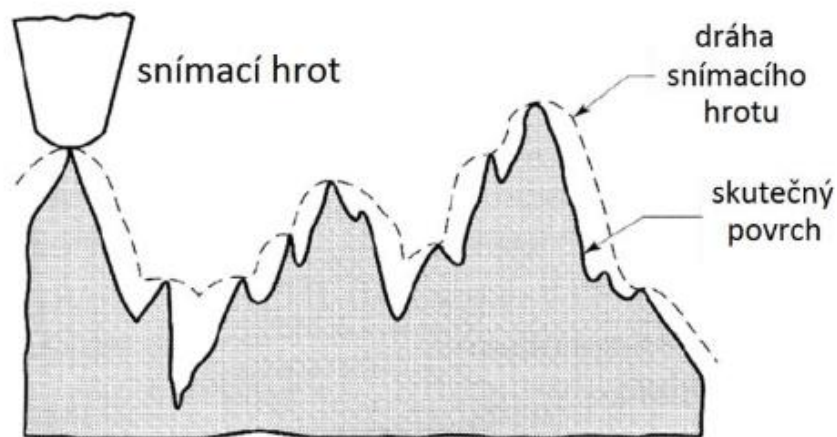


Obrázek 1 Definice geometrie diamantového hrotu ČSN EN ISO 25178-601 [4]

Konturografy pracují na dvou systémech měření. Při relativním snímání dochází k odfiltrování profilu vlnitosti vodící patkou, výsledkem je tedy profil drsnosti. U přístrojů s absolutním snímáním jdou zaznamenávaná data dále filtrovat a získat tak profil drsnosti i profil vlnitosti. [6]

a) Profilové měření

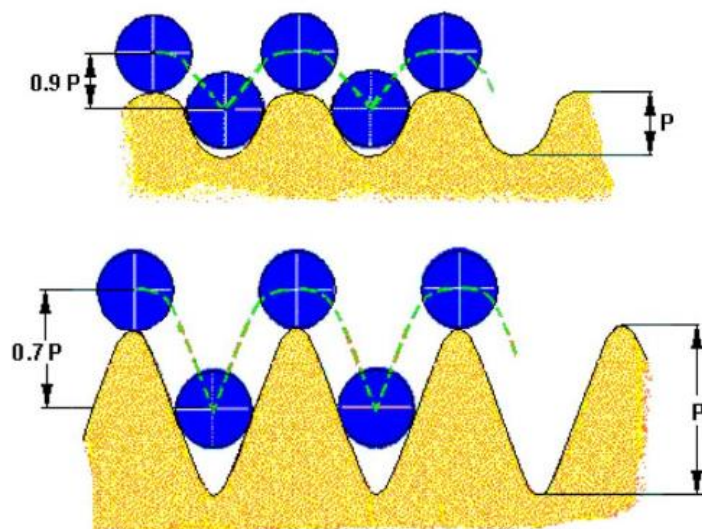
Při profilovém měření dochází ke snímání povrchu pomocí sondy s určitým rádiusem na konci. Toto zaoblení udává míru odklonu měřené plochy od reálu. Ve výsledku je tedy měřena křivka, která je od původního profilu vzdálena o poloměr hrotu snímače. Toto odklonění je dobře patrné na následujícím obrázku a je dále uvažováno při vyhodnocování povrchu.



Obrázek 2 Odklonění při měření povrchu [6]

Proto, aby byly měřené hodnoty co nejméně odlišné od skutečnosti je potřeba, aby hrot a jeho zaoblení byly co nejmenší. Pokud je rádius a špička dostatečně malá, dokáže sledovat i jemné textury na povrchu. U výrazných struktur na povrchu hrot při měření často vynechává hluboké, úzké prohlubně, díky limitování svým rozměrem, a dochází tak k „zahmlžení“ povrchu při měření.

Na výsledek snímání povrchu má vliv řada parametrů povrchu, jedním z nejvýznamnějších je výška profilu. Při zachování stejných rozestupů výstupků na profilu je dobře viditelný vliv výšky profilu na naměřená data. V podstatě je zde ukázáno, že čím je povrch jemnější, tím dochází k menším nepřesnostem při měření. Ze stejného důvodu je nemožné měřit prohlubně o rozměru menším než průměr nástroje. [2]



Obrázek 3 Vliv velikosti výstupků na měřený profil [2]

b) Plošné profilové měření

V případě potřeby lze pomocí konturografu snímat i 3D konturu povrchu. Pro tyto aplikace je nezbytné osazení měřiče další posuvnou osou, která zajistí pohyb do strany. Je důležité si uvědomit, že se nejedná o 3D síť bodů, ale o seskupení více profilových křivek uspořádaných vedle sebe s pravidelným odstupem. Pomocí softwaru jsou pak data spojena a je vytvořené 3D zobrazení povrchu.

1.2. Bezdotykové měřicí systémy

Hlavní odlišností bezdotykových měřících systému proti metodám dotykovým je možnost sběru velkého množství dat. Množství dat je zejména důležité v případech, kdy jsou parametry struktury povrchu stanovovány matematicky. Většina optických zařízení je závislá na zaostřování bodů na měřeném povrchu. Výsledný povrch je následně odvozen z průměrného signálu detekovaného z plochy zaostřeného bodu. Zaostřený bod má většinou rozměr několika mikrometrů čtverečných a jeho velikost se mění v závislosti na vzdálenosti od snímacího zařízení. Vzhledem k detekci průměrného signálu na zaostřeném bodě dochází k vyhlazení dat.

Na rozdíl od dotykových sond u optického snímání není nutné při vyhodnocování brát v úvahu velikost a tvar snímacího mechanismu. Je ovšem nutné dát pozor na složitější tvarové plochy, kdy při prudkých změnách tvaru na hranách, které nejsou přibližně kolmé na snímač (typicky

drážky a výstupky) může docházet ke ztrátě, nebo zkreslení informací o daném segmentu. Ztráta dat může být také způsobována odrazivostí materiálu, která je u optických zařízení jedním z největších problémů. Velice těžko se klasicky měří lesklé povrchy, kdy nedochází ke konstantním odrazům. V takových případech se používají různé clony pro odstranění okolního záření, nebo zatemnění. [5]

1.2.1. Optický mikrometr

Optické přesné mikrometry fungují podle principu Thru Beam – přes paprsek. Vysílač vytváří paralelní světelnou clonu, která je přenášena prostřednictvím uspořádání čoček do přijímací jednotky. Paprsek se přeruší, pokud je ve světelné dráze objekt. Stínování, které je předmětem tohoto objektu, je zaznamenáno přijímajícím optickým systémem a výstupem je geometrická hodnota. Technologie Thru Beam se používají v několika různých sensorových modelech v rozsahu tak, aby pokrývaly tak široké pole aplikací, jak je to možné. Optické mikrometry lze použít pro rozměrová měření ve výrobních, zabezpečovacích a servisních úkolech. Lze měřit faktory jako je průměr, mezera, výška, poloha a také přijaté množství světla nebo krytí. Paralelní světelná clona je vytvořena speciálním uspořádáním čočky ve světelném zdroji (vysílači). Vysoce kvalitní komponenty v přijímajícím optickém systému, např. filtr a čočky, umožňují dosažení vysoké přesnosti. Proto jsou mikrometry ideální pro aplikace, kde je vyžadována vysoká přesnost a vysoká míra spolehlivosti. [7]

1.2.1.1. *Obrazový snímač*

Obrazový snímač je elektrotechnické zařízení, které slouží k převodu světelného/vlnového signálu do elektronické podoby pro zápis dat. Základním prvkem je světlocitlivá křemíková fotodiody. Tato polovodičová dioda je tvořena stykem dvou polovodičů (přechod PN) různých elektrických vlastností. Dioda pracuje pod polarizovaným elektrickým napětím. Ve chvíli, kdy na diodu dopadnou fotony, se fotony přemění vlivem přiváděného napětí na elektrony, ty se pak hromadí na kladné elektrodě fotodiody. Takto je utvořen elektrický náboj, který odpovídá intenzitě ozáření diody a který je následně měřen.

Na obrazových snímačích se nachází velké množství fotodiód vedle sebe a obraz zachycený přes objektiv je tak rozložen na malé body, ze kterých lze získat informaci o intenzitě dopadajícího světla. Tyto informace je možné jednoduše přenášet a dále zpracovávat. [8]

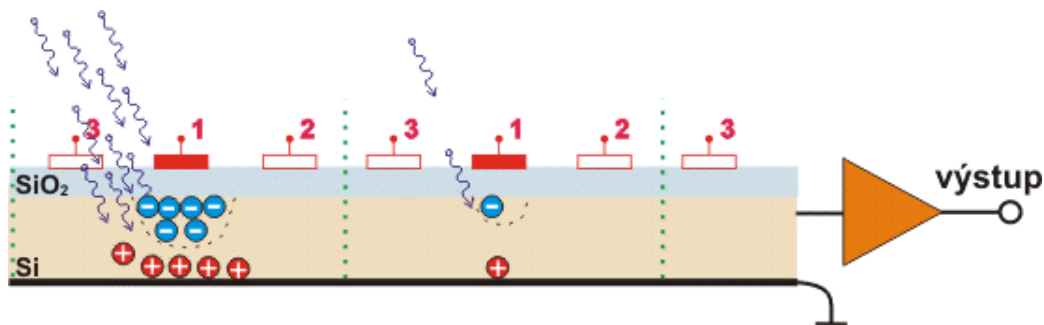
a) CCD snímače

Zkratka CCD pochází z anglického Charge-Coupled Device, což v překladu znamená zařízení s vázanými náboji. Tyto senzory využívají fotoefektu. Princip je založen na tom, že foton

při nárazu na atom polovodiče dokáže některý z jeho elektronů převést do excitovaného stavu. Tento excitovaný elektron se pak podílí na zvýšení elektrické vodivosti polovodiče a je možné ho z něj připojenou elektrodou odvést. Elektroda je však od polovodiče izolována tenkou vrstvou SiO_2 , která slouží jako izolace. [9]

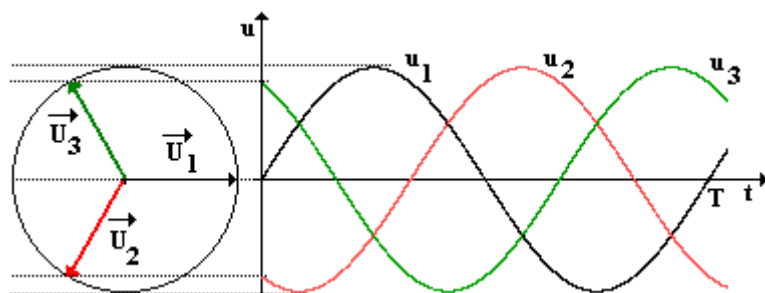
Činnost CCD:

- a) Vyčištění snímače – bez přístupu světla dojde ke smazání všech předešlých stop na snímači.
- b) Expozice obrazu – Na schématu CCD čipu je znázorněno, jak na elektrodu s číslem 1 je napojeno kladné napětí. Přivede-li se světlo na prostor čipu, dopadající fotony začnou excitovat elektrony v polovodičích a ty jsou pak přitahovány ke kladně nabitě elektrodě. V polovodiči tak vzniká kladný náboj absencí elektronů. Takovému místu se říká „díra“, která působí jako kladný náboj. Tyto „díry“ jsou přitahovány elektrodou, která je ve spodní části čipu. Svislé tečkované čáry označují hranice pixelů. Protože na pixel vlevo dopadlo více fotonů, je u jeho elektrody shromážděno více elektronů než u pixelu vpravo.



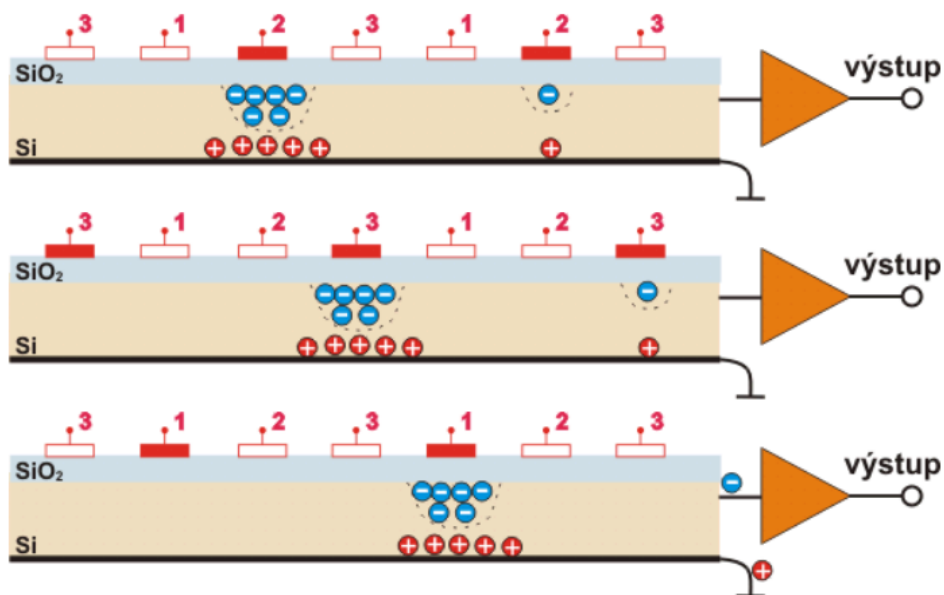
Obrázek 4 Schéma expozice na CCD [11]

- c) Sejmутí obrazu – po době nastavené pro expozici se uzavře přívod světla a začne se na elektrody 1, 2 a 3 přivádět trojfázový proud. Na schématu proudu vidíme, že od maxima amplitudy proudu na elektrodě 1 se na ní proud snižuje, zatímco na elektrodě 2 dochází k jeho navyšování. Elektrony, které tak byly přitahovány k elektrodě 1, se pomalu od ní odpoutávají a přesouvají se k elektrodě 2, která je přetáhne na sebe. Takto je realizován pohyb náboje v CCD snímači



Obrázek 5 Trojfázový proud [10]

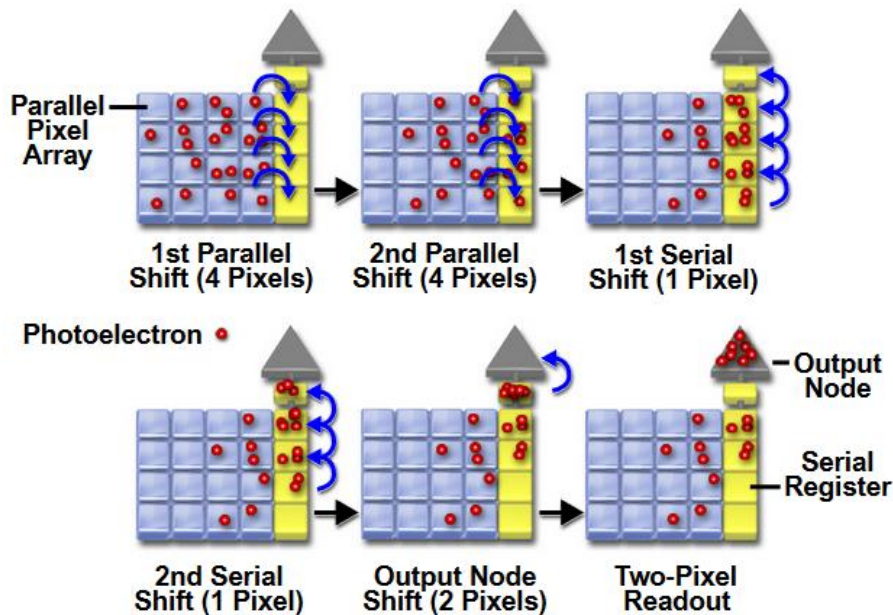
Následně se celý děj opakuje mezi elektrodami 2 a 3, dále mezi 3 a 1 a tak dokola. Shluky elektronů z jednotlivých pixelů se posouvají přes sousední pixely směrem k výstupnímu zesilovači (na obrázcích vpravo). Tento zesilovač pak zesílí malý proud odpovídající počtu nachytnutých elektronů v jednotlivých pixelech na napěťové úrovni vhodné pro další zpracování obrazu. [9]



Obrázek 6 Schéma sejmutí obrazu na CCD [11]

Plošné snímače CCD

Plošné snímače CCD jsou modifikovaným seskupěním lineárních CCD snímačů uzpůsobených ke snímání dvourozměrného obrazu a jeho převádění do elektronické podoby. Princip snímání je v podstatě stejný, dochází pouze k přidání dalšího CCD – sériového – traktu sběrnic na místo, kde byl původně umístěn výstup. Tímto přidruženým snímačem pak posouvají k jednomu výstupu. Nejlépe lze tento snímací systém pochopit ze schématu plošného 2x2 pixelového čipu snímacího čipu.



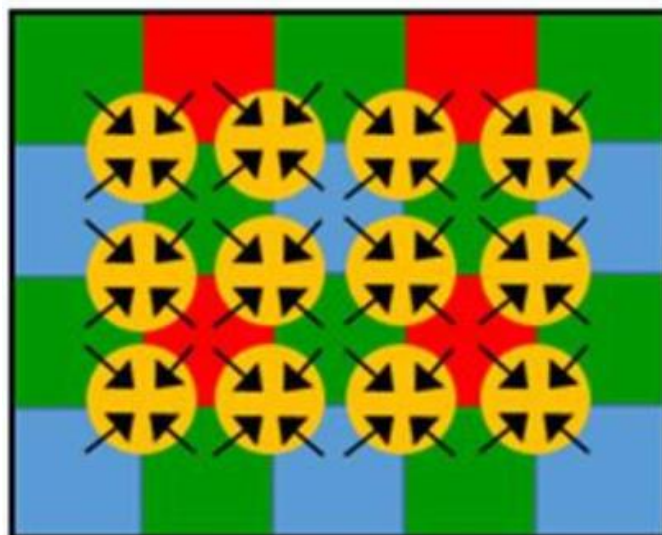
Obrázek 7 Sekvence přenosu elektronů 2 x 2 pixely [12]

Schéma ukazuje, že dochází pomocí trojfázového proudu ke dvěma lineárním posunům y, které přesunou elektrony do sériové sběrnice, ze které jsou elektrony odváděny pomocí trojfázového proudu x na výstup, kde jsou převedeny do elektrického signálu. Pak dojde ke dvěma dalším lineárním posunům y zbylých elektronů na sériové sběrnice a jejich odvedení x do výstupu obdobně, jako u prvních dvou pixelů. Tímto zřetězením je možné vyrábět různě velká pole. Celý tento cyklus se opakuje, dokud nejsou ze sloupců vyprázdněny všechny pixely. [12]

Barevné snímače CCD

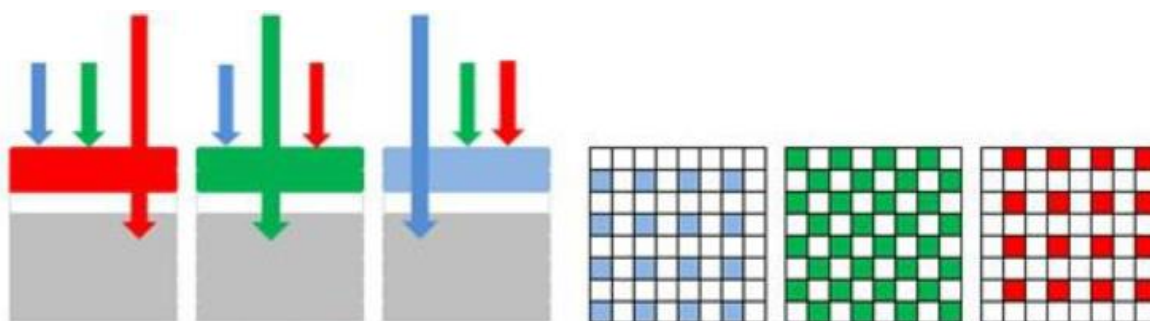
Doposud popisované CCD snímače měly možnost pouze černobílého snímání. Technologie CCD je ovšem schopna zachycovat i barevné obrazy. K zachycení barev je nutné použít k čipu barevné filtry. Vzhledem k tomu, že lidské oko nejcitlivěji vnímá zelenožlutou barvu, používají se Bayerovo filtry. Podle toho, jestli barvu snímá jeden čip, nebo více, rozlišujeme:

- Snímání jedním čipem – použije se jeden CCD snímač a před jednotlivé pixely se šachovnicově umístí barevné filtry. K sejmutí signálu dochází obvyklým postupem, teprve při dalším zpracování procesorem se interpolují jednotlivé barvy z nejbližších pixelů RGB šachovnice.



Obrázek 8 Interpolace barev z RGB šachovnice [13]

- Snímání třemi čipy – obraz v tříčipovém uspořádání prochází objektivem a následně soustavou dvou polopropustných zrcadel s nanesenými barevnými filtry. Tato optická soustava ho rozdělí na obrazy pro tři CCD snímače.

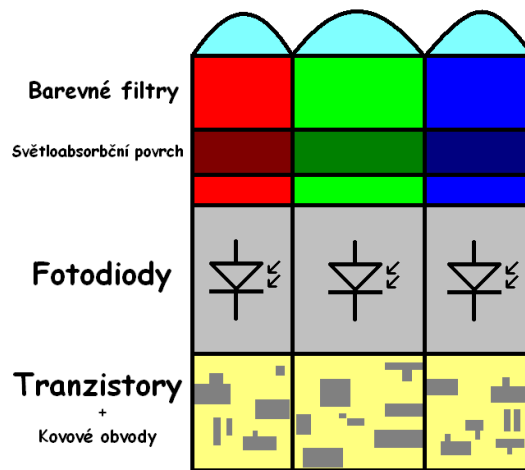


Obrázek 9 Snímání barev 3 čipy [13]

b) CMOS snímače

CMOS je zkratka pro Complementary Metal Oxide Semiconductor. Jedná se o zkratku technologie, kterou se vyrábějí. Integrace součástek vyráběných technologií CMOS neustále roste. V důsledku velkého objemu výroby klesá cena CMOS čidel, což je hlavní výhodou proti technologii CCD. Nezanedbatelná není ani řádově nižší spotřeba energie. U technologie CCD dochází k odvodu signálu jedním výstupním bodem. V případě technologie CMOS má každý element vlastní odvod signálu, funguje nezávisle na ostatních a sbírání informace je mnohem rychlejší. Speciální obvody pro každou buňku jsou nutné, neboť je třeba odfiltrovat náhodný (šumový) náboj, který je jiný u každé elementární buňky. Pomocné obvody zabírají značnou část každé buňky. Uvádí se dokonce i tzv. faktor zaplnění, který vyjadřuje, jak velká část buňky funguje jako světlocitlivá plocha. Obecně platí, že čím větší je velikost světlocitlivé plochy,

tím je kvalita snímání vyšší. V případě malé světlocitlivé plochy jsou používány optické prvky pro cílení paprsků na světlocitlivou plochu, aby nedocházelo ke snížení využitelnosti. [14]



Obrázek 10 CMOS napojení fotodiod [14]

2. Robotické manipulátory

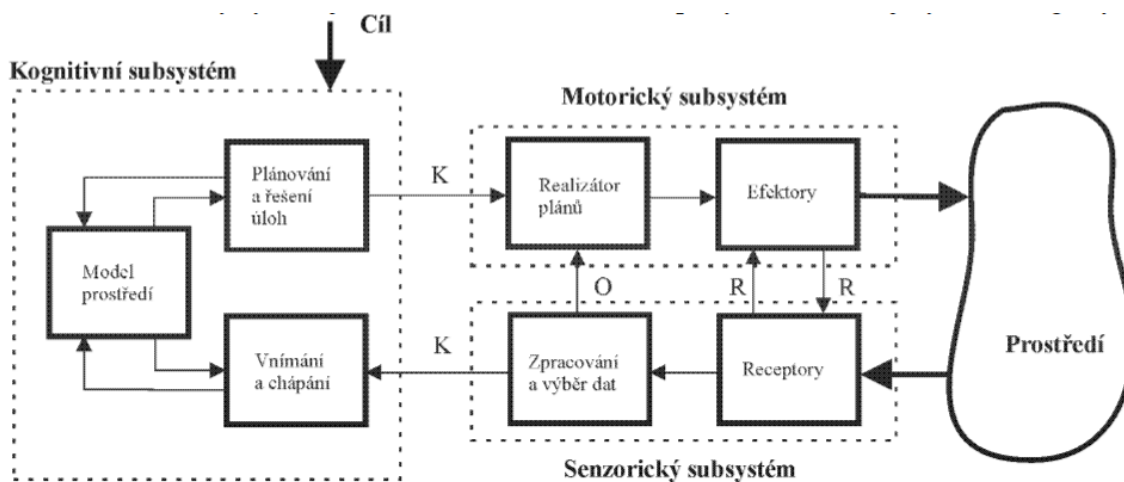
Automatizace a robotizace výrobních procesů jsou nedílnou součástí vývoje průmyslu již od 70. let 20. století. Tato forma zvyšování efektivity a opakovatelnosti práce ve výrobních procesech je dána především prudkým vývojem v oblastech strojírenství, elektrotechniky, mechaniky a mnoha dalších. Výroba robotů a nejrůznějších manipulátorů je následovníkem tvrdé mechanizace, která na bázi centrálních pohonů zajišťovala chod linek v dřívějších dobách. Takové linky byly ovšem jednoúčelové a jejich adaptace na jiné výrobky byla obtížná. Proto s nástupem manipulátorů a robotů s vlastním pohonem vzrostla míra přizpůsobitelnosti linek a v současné době je možné velice efektivně měnit výrobní sortiment s minimálními náklady.

Vzhledem k tomu, že výše zmiňované obory by nebylo možné zdaleka obsáhnout lidskou myslí, jedná se v oboru robotiky o multidisciplinární spolupráci odborníků ze svých oborů, kteří takové stroje dokáží konstruovat, modifikovat a neustále vylepšovat. V následujících odstavcích proto bude provedeno rychlé shrnutí základů o robotice, stavbě manipulátorů a jejich pohonů.

Malou historickou vsuvkou si dovolím pro začátek připomenout tři zákony robotiky, jak je v knize Já Robot (1950) formuloval Issac Asimov, které jsou obecně uznávány za etický základ robotického výzkumu: [15]

1. Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby člověku bylo ublíženo.
2. Robot musí uposlechnout příkazů člověka, kromě případů, kdy tyto příkazy jsou v rozporu s prvním zákonem.
3. Robot musí chránit sám sebe před zničením, kromě případů, kdy tato ochrana je v rozporu s prvním nebo druhým zákonem.

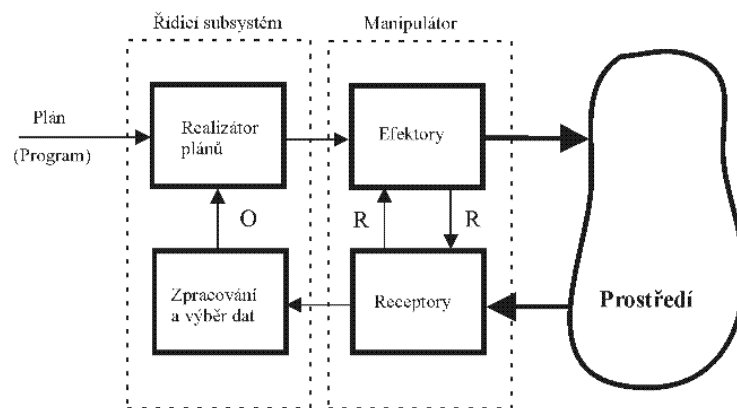
Jako první odlišme robota a manipulátor, protože mezi těmito pojmy je zásadní rozdíl. K tomuto účelu si dovolím citovat a využít následující schéma z práce Robotika od Doc. Ing. Františka Šolce, CSc. a Ing. Lud'ka Žaluda, Ph.D.: (V seznamu literatury pod číslem [16])



Obrázek 11 Blokové schéma obecného robotu [16]

„Jak by vlastně měl vypadat **robot**, tak jak jsme jej popisovali v historické exkurzi? Nejvýstižnější popis takového dává blokové schéma z obr.3.1. [v našem případě 11] Robot, který by měl nahrazovat člověka musí být schopen fyzicky ovlivňovat prostředí ve kterém se robot nachází a v tomto prostředí se pohybovat. To zajišťuje jeho motorický subsystém, ten svými efekty prostředí ovlivňuje. Efekty také zajišťují pohyb robota v prostoru. Robot musí být schopen nějakým způsobem reagovat na prostředí a jeho změny. To zajišťuje senzorický subsystém. Nad těmito systémy je nadřazen kognitivní subsystém, ve kterém probíhá rozhodovací a hlavní řídicí činnost. V tomto subsystému je ukryta inteligence robota. Sensorický systém je rozdělen na dvě části, receptory, které snímají fyzikální signály z prostředí a převádí je na vhodné vnitřní signály, druhou část tvoří systém zpracování a výběru dat, který vybírá z takových signálů informace důležité pro robota. Příkladem může být snímání prostředí televizní kamerou a vyhodnocení tvaru a polohy předmětu, který má robot uchopit. motorický systém je rovněž rozdělen na dvě části, efekty, které provádějí zásahy do prostředí a realizátor plánů, podle kterým jsou efekty řízeny. Příkladem může být rameno robota, servomechanizmy a řídicí počítač, který takové rameno řídí. Kognitivní subsystém představuje nadřazené inteligentní řízení. tento subsystém provádí hlubší analýzu informace přicházející ze sensorického subsystému, taková analýza již zahrnuje vnímání a chápání. Tato analýza vyžaduje, aby robot měl vybudován nějaký model prostředí a stanoven cíl své práce. Na základě této analýzy, modelu prostředí a cíle práce se zde také provádí řešení úloh a plán akcí, které nakonec robot provede. Kognitivní systém tak uzavírá nejvyšší smyčku zpětné vazby K, která je potřebná pro inteligentní chování robota. Mezi sensorickým a motorickým systémem existují ještě zpětnovazební smyčky nižší úrovně. Je to tzv. operační smyčka O která zajišťuje vykonání naplánované úlohy. Operační smyčky jsou u robotů představovány např. smyčkami servomechanismů, které pohybují ramenem robota. Nejnižší úroveň řízení představují tzv. reflexivní smyčky R, které řeší základní jednoduché problémy podobně jako u člověka reflexy např. na popálení. Příkladem může být smyčka nárazník – motory, která zastaví pohyb robota při dotyku s překážkou. Podobně jako u člověka, je zapotřebí aby jednotlivé výše popsané subsystémy byly v harmonické rovnováze.“

Druhým pojmem je **manipulátor**. K jeho definici můžeme zjednodušeně říci, že se jedná o velice zjednodušeného robota. Na následujícím schéma jsou součásti, ze kterých se manipulátor skládá.



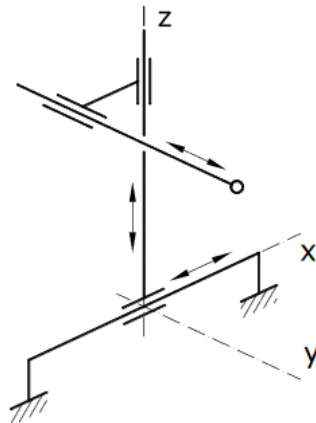
Obrázek 12 Blokové schéma manipulátoru [16]

Jak je znázorněno, u manipulátorů postrádáme kognitivní řízení. Veškeré činnosti jsou manipulátoru programovány člověkem prostřednictvím programů, které jsou zpracovávány v řídicím subsystému, nejčastěji na bázi počítače. U manipulátorů také postrádáme velice často část receptorů, které by monitorovali bourání jeho mechanických částí a díky jejich absenci se tyto stroje velice často umisťují do oddělených pracovišť, kam nemají lidé přístup, aby nemohlo dojít k jejich zranění. Současně je třeba na toto myslet při tvorbě a ladění programu pro manipulátor, kde musí být zohledněny bezpečné transportní cesty a celkové rozložení pracoviště. Chybným návrhem manipulátoru a jeho pohybů může dojít ke zraněním osob, nebo poničení manipulátoru bouráním. [16]

2.1. Kinetické koncepce ramen manipulátorů

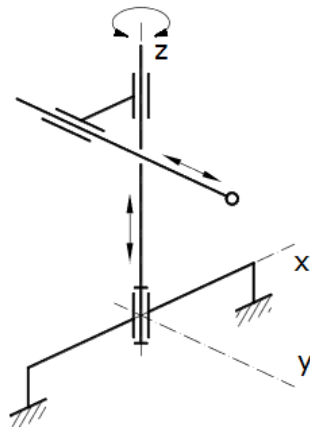
Ramena manipulátorů určují míru jejich využitelnosti, jejich rozsah, dosah a manipulovatelnou hmotnost. Současné univerzální průmyslové manipulátory mají běžně 6 stupňů volnosti. Tyto jsou realizovány pohyby rotačními nebo translačními (posuvnými). Stejně tak, jako každý translační prvek, i každý rotační pohyb se realizuje v jedné z základních os (x ; y ; z). Speciální nebo jednoúčelové stroje pak mohou mít pohybový aparát složený tak, že mají méně stupňů volnosti pro simplifikaci zadávání, zvyšování přesnosti usazovaného dílu (přidáním každé další osy se nepřesnost ustavení na poloze zvětšuje), nebo zvyšování nosnosti, či zlepšování dynamiky manipulátoru. Různým řazením podle druhu pohybu a užití osy souřadného systému získáme určitou koncepci robotu s charakteristickými vlastnostmi, často velmi rozdílnými. [17]

V technických provozech se zvláště osvědčilo několik konstrukčních typů manipulátorů, které pokrývají většinu potřeb manipulace s materiály. V současné době se samozřejmě vyvíjejí i speciální koncepce kinetických struktur. Nejčastějšími koncepcemi stále zůstávají následující:



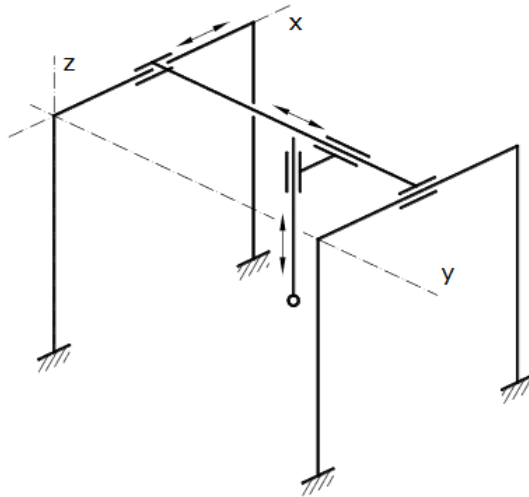
Obrázek 13 Kinetická struktura T_x ; T_z ; T_y [17]

- Struktura T_x ; T_y ; T_z využívá kartézského souřadného systému. Jedná se o stojanovou konstrukci strojů. Souhrnně bývají nazývány stojanovými kartézskými manipulátory.



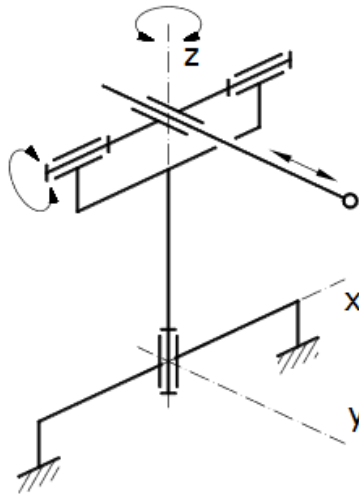
Obrázek 14 Kinetická struktura R_z ; T_z ; T_y [17]

- Struktura R_z ; T_z ; T_y využívá cylindrického souřadného systému. Konstrukce je opět stojanová. Nesou souborný název stojanové cylindrické manipulátory.



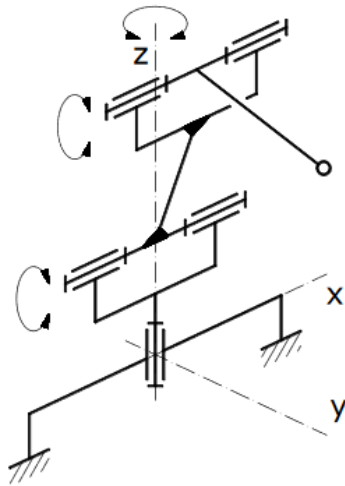
Obrázek 15 Kinetická struktura $T_x; T_y; T_z$ [17]

- Struktura T_x, T_y, T_z využívá opět kartézského systému. Její stavba je na rozdíl od struktury $T_x; T_y; T_z$ portálová. Někdy také nese název Gantry. Jedná se tedy o portálové kartézské manipulátory.



Obrázek 16 Kinetická struktura $R_z; R_x; T_y$ [17]

- Struktura $R_z; R_x; T_y$ pracuje ve sférickém souřadném systému. Vidíme zde pouze jeden posuvný člen umístěný na konci řetězce. Vzájemné poměry délek ramen a umístění rotací dovoluje použití konstrukce pro rozmanité aplikace.



Obrázek 17 Kinetická struktura Rz; Rx; Rx [17]

- U konstrukce Rz; Rx; Rx je vidět jeden z nejušestrannějších modelů. Největší počet manipulátorů v současnosti pracuje právě pouze s rotačními členy a označují se jako angulární (úhlové). Je klasickým obrazem průmyslových ramen výrobních linek se složitějšími úkony.

Důležitými faktory pro výběr struktury manipulátoru jsou:

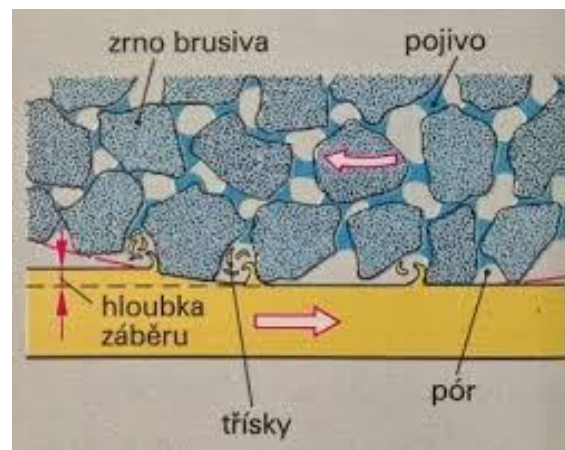
- velikost pracovního prostoru
- přesnost polohování
- rozložení pracovního prostoru
- orientace prostoru
- druh pohonu manipulátoru
- konstrukční provedení kinematických dvojic (kloub-rameno)
- způsob a zapojení dalších pomocných systémů/přípravků

2.2. Motory robotů

Nezbytným prvkem kinetických struktur manipulátorů a robotů jsou motory, které zajišťují pohyby jednotlivých ramen. Vzhledem k různým užitím manipulátorů je nezbytné volit takový pohon, který zajistí patřičnou nosnost, polohovou tuhost, nízkou energetickou náročnost a další požadavky. U pohonných motorů je důležité, aby měly plynulý rozběh a plynulé brzdění, kvůli dynamickým účinkům hmotnosti manipulátoru. S tím je spojen minimální moment setrvačnosti jeho konstrukce. Samozřejmostí je, aby byl zachován vysoký měrný výkon motoru. Podle všech těchto pravidel je nutno zvolit nejvhodnější druh pohonu. [18]

3. Broušení

Broušení je druhem obrábění, používaného zejména pro dokončovací operace. Při broušení jsou odebrány drobné třísky mnohabřitým nástrojem s neurčitou geometrií – brusným kotoučem. Broušení slouží k dosažení přesných rozměrů, požadovaných tvarů a drsnosti povrchu Ra 0,8 až 0,2 μm . Brusné nástroje se skládají z pojiva a brusných částic. Vlastnosti nástrojů se odvíjejí od druhu použitého brusiva – nejčastěji se jedná o korund (oxidy hliníku) nebo karbidy křemíku.



Obrázek 18 Schéma broušení [19]

Pojivo, které drží jednotlivá zrna v brusném nástroji je voleno tak, aby v průběhu broušení docházelo k vylamování opotřebených zrn a do záběru se dostávala nová, ostrá zrna. V závislosti na vlastnostech broušeného materiálu se proto volí nástroj s vhodným pojivem. Při obrábění měkkých materiálů dochází k vylamování zrn pomaleji než u broušení tvrdých, nebo chemicko-tepelně zpracovaných materiálů, kde dochází k většímu opotřebením a tím i vylamování zrn. [19]

Charakteristické rysy broušení:

- vznik vysokých teplot, nutnost chlazení
- nepravidelný úběr materiálu daný nedefinovanou geometrií nástroje
- postupná ztráta řezivosti nástroje opotřebením zrn a zanesením kotouče

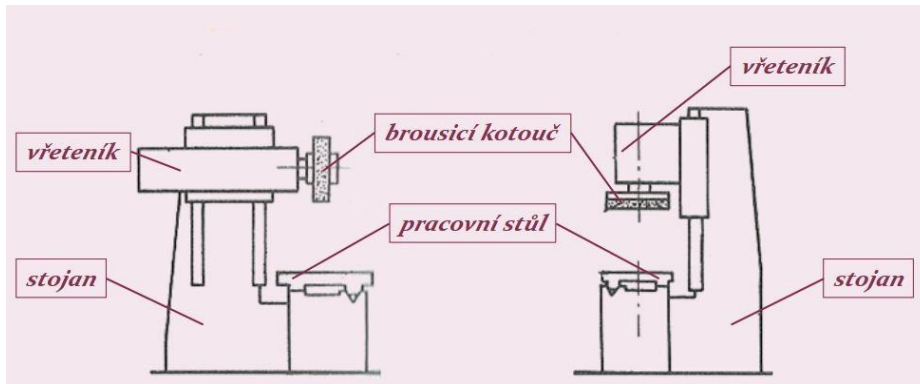
3.1. Brusky

3.1.1. Brusky rovinné

Rovinné brusky se používají pro broušení rovinných ploch a úkosů. Upínání na rovinných bruskách je standardně pomocí elektromagnetické podložky. V případě broušení

korozivzdorných ocelí, nebo jiných nemagnetických kovů, lze využít upínky. Podle pohybu kotouče rozdělujeme rovinné brusky: [20]

- a) **Brusky vodorovné** – osa vřeteně je vodorovná a dochází k broušení obvodem kotouče
- b) **Brusky svislé** – osa vřeteně je svislá a dochází k broušení čelem



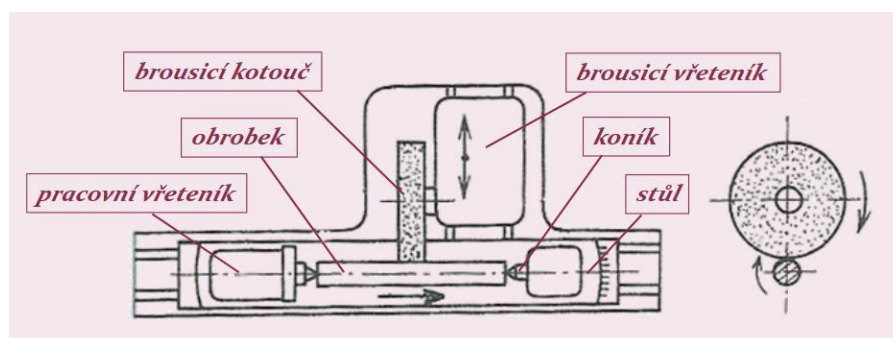
Obrázek 19 Rovinné brusky – vodorovná (vlevo); svislá (vpravo) [8]

3.1.2. Hrotové brusky

Hrotové brusky jsou určeny především pro broušení válcových a kuželových ploch na hřídelích. Jak již z názvu vyplývá, upnutí obrobku je nejčastěji realizováno mezi dva hroty – na pracovním řemeníku a hrotu koníku. Někdy je hrot v pracovním řemeníku nahrazen klasickým sklíčidlem. Podle způsobu pohybu brusného nástroje, nebo obrobku rozeznáváme několik typů brusek:

a) Hrotové brusky s posuvným stolem

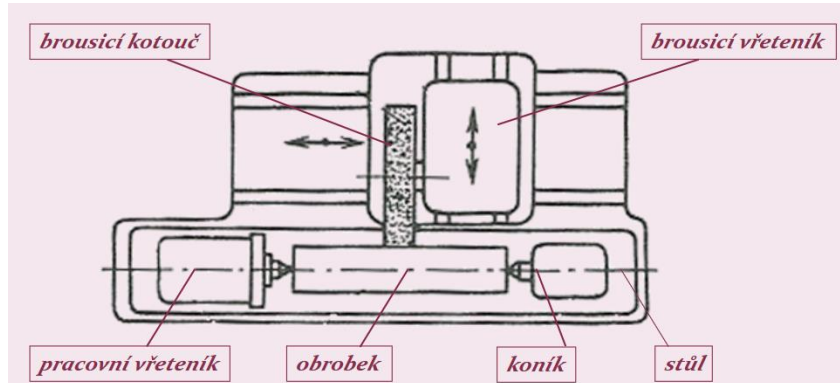
Na pracovním stole je upnut mezi hroty obrobek a celý pracovní stůl vykonává lineární pohyb podél brusného kotouče. Brousící vřeteník zajišťuje přísuv nástroje k obrobku.



Obrázek 20 Hrotová bruska s posuvným stolem [21]

b) Hrotové brusky s posuvným vřeteníkem

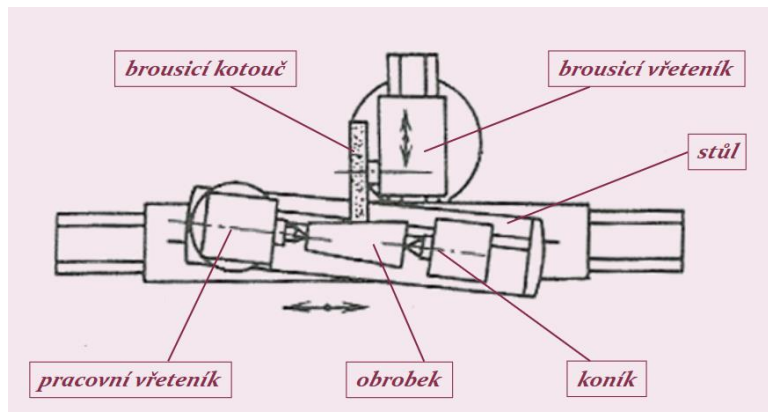
Obrobek je upnut mezi hroty na pevném stole, Brousicí vřeteník vykonává jak přísuv nástroje k obrobku, tak lineární pohyb podél obrobku.



Obrázek 21 Hrotová bruska s posuvným vřeteníkem [21]

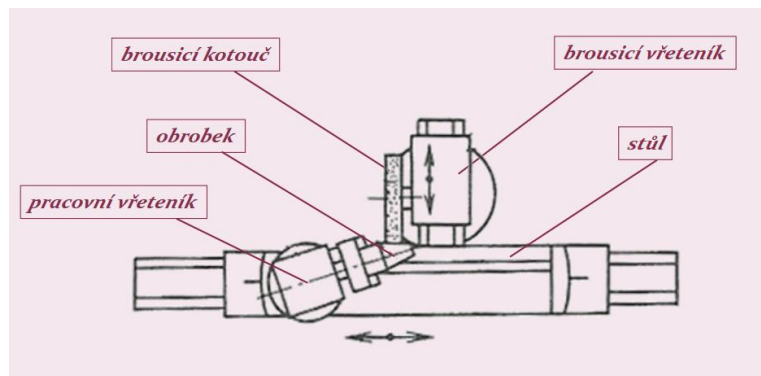
Při broušení kuželových ploch na hrotových bruskách se využívá stejných principů, které se používají při soustružení kuželových ploch:

a) Natočení pracovního stolu



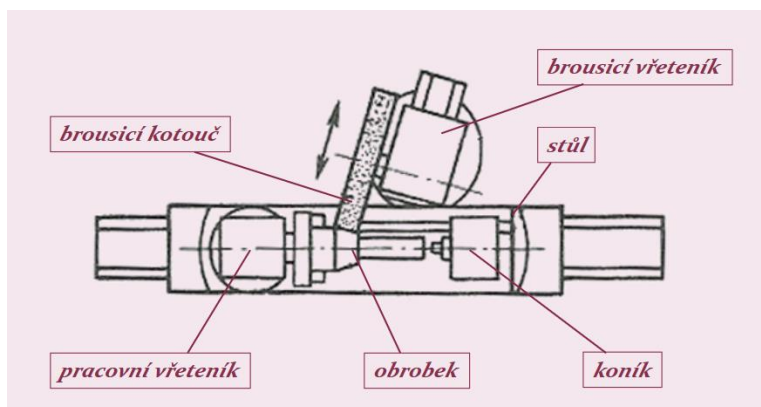
Obrázek 22 Natočení pracovního stolu při broušení kuželových ploch [21]

b) Natočení pracovního vřeteníku



Obrázek 23 Natočení pracovního vřeteníku při broušení kuželových ploch [21]

c) Natočení brousícího vřeteníku

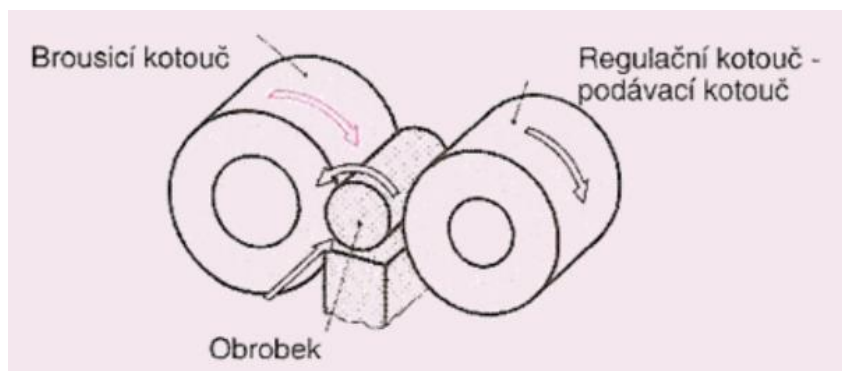


Obrázek 24 Natočení brousícího vřeteníku při broušení kuželových ploch [21]

3.1.3. Bezhruté brusky

Bezhruté brusky slouží zejména pro broušení vnějších válcových ploch. Největším rozdílem proti hrotovým bruskaám je to, že broušený díl není upnut napevno mezi hroty, ale je podpírán pravítkem, přes které je unášecím kotoučem přitlačován k brousicímu kotouči. Unášecí kotouč zajišťuje nejen přísun k brusnému kotouči, ale zároveň díky natočení osy kotouče o několik stupňů (většinou 3° , nebo 5°) i jeho posun.

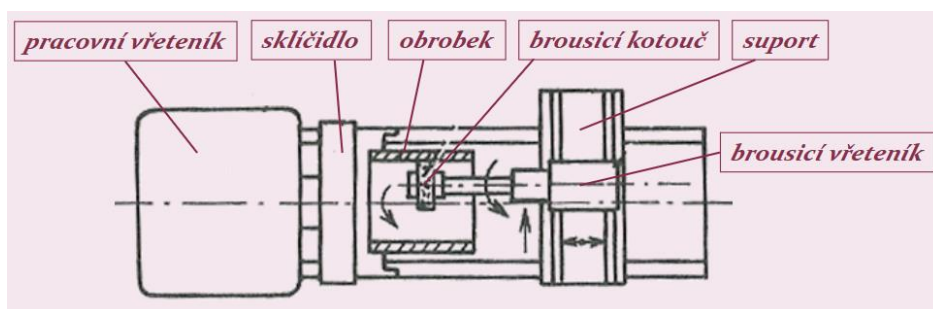
Bezhruté broušení se často používá v hromadné výrobě při broušení drobných součástí, jako jsou přesné kolíky, kuličky a válečky do valivých ložisek. Takové součásti by se velice těžko upínaly na hrotové brusky. [22]



Obrázek 25 Schéma broušení na bezhroté brusce [21]

3.1.4. Brusky na díry

Pro broušení válcových a kuželových děr na rotačních součástech jsou používány brusky na díry. Součást se upíná do sklíčidla a brusný nástroj je upnut do brusného vřeteníku, který má podélný i příčný posuv.



Obrázek 26 Bruska na díry [21]

3.1.5. Nástrojové brusky

Nástrojové brusky, někdy též ostříčky, jsou určeny k broušení nástrojů, jako jsou vrtáky, frézy, záhlubníky, soustružnické nože a další tvarové nástroje. Tyto brusky jsou velice přizpůsobivé a zvládají brousit velmi složité tvary. Brousicí kotouč je výškově stavitelný a brusný vřeteník je možné natáčet. Bohaté nástrojové příslušenství zajišťuje možnost broušení složitých tvarových ploch. [23]

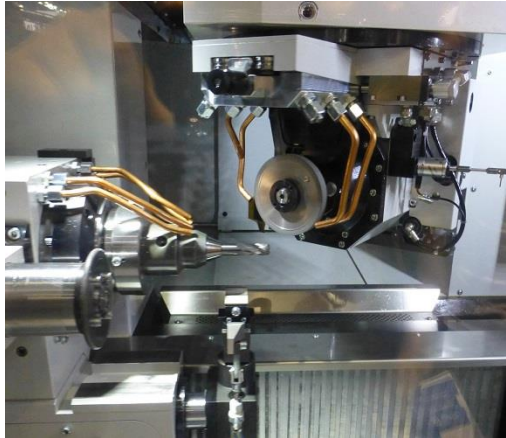
Nástrojové brusky se dělí:

a) Univerzální ostříčky nástrojů

Univerzální ostříčky se používají především pro údržbu – ostření zejména vyvrtávacích nástrojů a fréz. Tyto brusky mají často kombinované možnosti ovládní. Kromě numerického řízení tak u starších typů zůstává i možnost ručního řízení podélného posuvu a dělení.

b) Automatické univerzální ostříčky

Automatické ostříčky se často používají v brusírnách nástrojů velkých podniků, nebo u specializovaných výrobců nástrojů. Tyto ostříčky jsou schopné vybrušovat tvar do plného materiálu buď s pomalým posunem na jeden průchod, nebo postupně větším počtem průchodů.



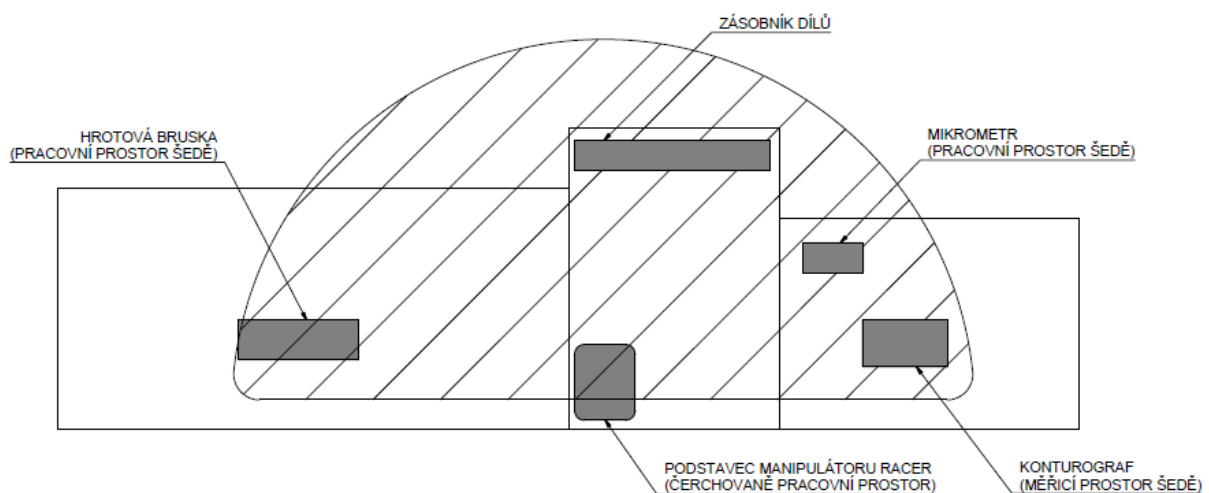
Obrázek 27 Nástrojová bruska [23]

4. Ověření měřicích metod a jejich aplikace na zkušební procesu

Hlavním cílem práce je ověření použitelnosti měřidel pro zkušební výrobní proces. Měřidla fungují při různých aplikacích různě. Z tohoto důvodu je zapotřebí ověřit, zda jsou jednotlivá měřidla pro konkrétní případ vhodná, či nikoliv. Velice důležité je, že zkušební proces má být ve výsledku plně automatický. Veškerá manipulace bude tedy probíhat pomocí robota. Je otázkou, na kolik ovlivní použití robota výsledky měření, je-li taková manipulace ve všech případech možná, není-li zapotřebí použít další přípravky pro měření, do kterých by robot měřené součásti usazovat a mnoho dalších otázek s tím spojených.

4.1. Popis zkušebního procesu

Zkušební proces se bude zabývat výrobou jednoduchého broušeného válečku s co největší přesností (na mikrometr) ze soustruženého polotovaru. V procesu bude využito automatické řízení, které by mělo zajistit bezzmetkovost výroby, včasnou regulaci a přestřování brusného kotouče. Dané součásti je věnován další oddíl - 4.2. Pro zjednodušení popisu procesu je přiloženo schéma a následně i reálná podoba celého zařízení.



Obrázek 28 Schéma rozložení zařízení pro výrobu broušené součásti



Obrázek 29 Fotografie zařízení pro výrobu broušené součásti

Bodový postup výroby:

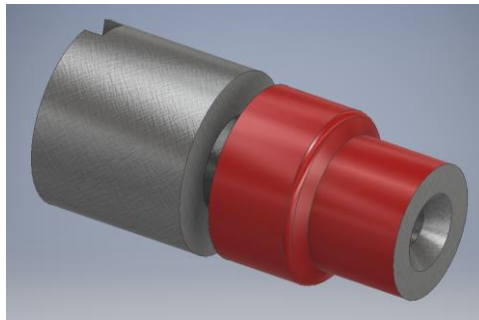
1. vyjmutí polotovaru ze zásobníku a umístění do zásobníku brusky
2. vyjmutí broušeného dílu z brusky a umístění do zásobníku brusky
3. vložení polotovaru do brusky
4. vyjmutí obrobku ze zásobníku brusky a transport k mikrometru
5. 5x opakování měření na mikrometru
6. transport do přípravku konturografu
7. měření na konturografu
8. vyjmutí z přípravku konturografu a dle výsledku měření:
 - 8.1. vyhovující měření – umístění do zásobníku OK dílů
 - 8.2. nevyhovující měření, opravitelný – vrací se na brusku
 - 8.3. nevyhovující měření, neopravitelný – umístit do zásobníku NOK dílů

Pro takto nastavený proces s využitím regulačních mezí procesu užších, než jsou meze toleranční, by nemělo docházet k výrobě zmetkových součástí. Výroba zmetku by nastávala s největší pravděpodobností pouze z důvodu náhodných vnějších vlivů, nebo vad materiálu.

4.2. Zkušební vzorek

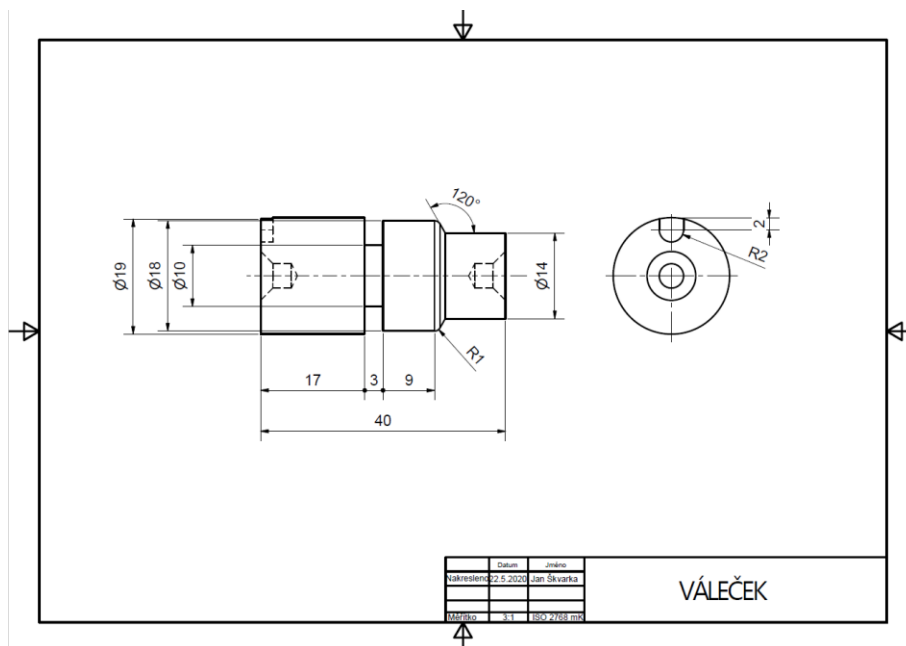
Jako zkušební vzorek pro ukázkový výrobní proces je zadána následující součást: jedná se o soustružený váleček se zápichem z běžné konstrukční oceli. Na 3D modelu je červeně znázorněna část, která je broušena. Jedná se o 4 tvarové úseky:

1. válec, $\text{Ø}18$ mm
2. radius R1
3. zkosení 30°
4. válec $\text{Ø}14$ mm



Obrázek 30 3D model zkušební součásti

Váleček má dva středící důlky, za které je upínán mezi hroty na brusce a následně i do přípravku k měření konturografem. Na čele se nachází vyfrézovaná drážka, do které zapadne unašeč brusky pro přenos krouticího momentu. Nebroušená část ($\text{Ø}19$ mm) slouží pro uchopení válečku při manipulaci.



Obrázek 31 výkres válečku

4.3. Nástrojová bruska BUA 16 CNC

„Hrotová bruska BUA 16 CNC (výrobce původní mechaniky stroje TOS a.s.) v provedení s řídicím systémem MIKRONEX SN 600.4 je určena pro klasické vnější broušení nakulato malých a vysoce přesných součástí. Umožňuje broušení ruční i broušení v automatických pracovních cyklech. Ovládací panel řídicího systému je umístěn na otočném rameni, na kterém jsou soustředěny všechny ovládací prvky pro obsluhu stroje. Pro snadné nastavování polohy, případně pro ruční broušení, je k dispozici ruční ovládací kolečko. V systému jsou výrobcem instalovány cykly pro broušení vnějších rotačních a kuželových ploch obrobků podélným nebo zapichovacím způsobem. Bruska umožňuje rovněž broušení čelních ploch samostatně nebo současně s válcovými plochami a při použití zařízení pro vnitřní broušení (jiné provedení) také broušení vnitřních válcových a kuželových otvorů.“ Oficiální text distributora [24]



Obrázek 32 Bruska BUA 16 CNC z katalogu Mikronex

Základní technické parametry: [24]

Maximální oběžný průměr	160 mm
Vzdálenost mezi hroty	250 mm
Broušící kotouč	250x76x20 mm
Otáčky broušícího vřetena	2420, 3290 ot/min. (plynulá změna otáček)

Otáčky pracovního vřetena - 4 stupně	250-355-500-710 ot/min. (plynulá změna otáček)
Nejmenší inkrement přídavku	0.0005 mm
Maximální rychlost posuvu stolu	5000 mm/min
Výkon hlavního motoru	1,1 kW
Hmotnost obrobku v hrotech	10 kg
Hmotnost letmo upnutého obrobku	8 kg
Kužel pracovního vřetene	Morse 3
Kužel v hrotové objímce koníku	Morse 2
Natočení stolu oboustranně	10 stupňů
Hmotnost stroje	1500 kg

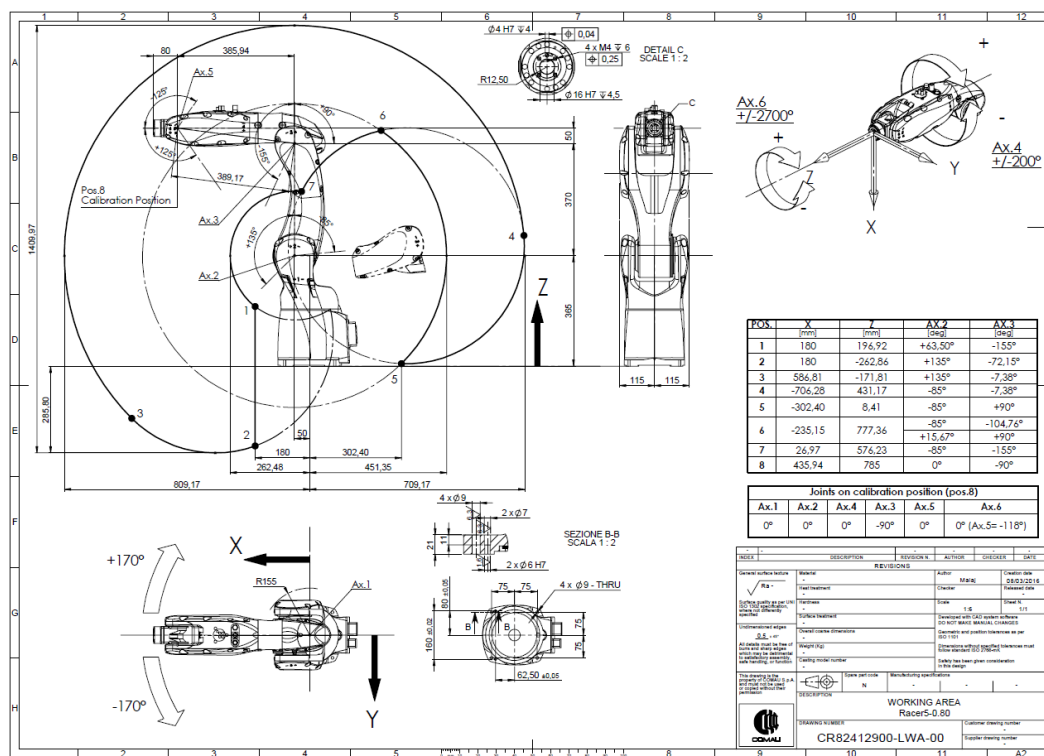
Pro zapojení brusky do automatizovaného zkušební procesu byl pomocí hydraulického pístu nahrazen ruční pohyb hrotu na koníku a byl přidělán odkládací zásobník, který umožní rychlou výměnu broušeného válečku na brusce za použití pouze jednoho chapadla bez nutnosti dlouhých přejezdů zpět k zásobníku polotovarů.



Obrázek 33 Odkládací zásobník

4.4. Manipulátor Racer 5

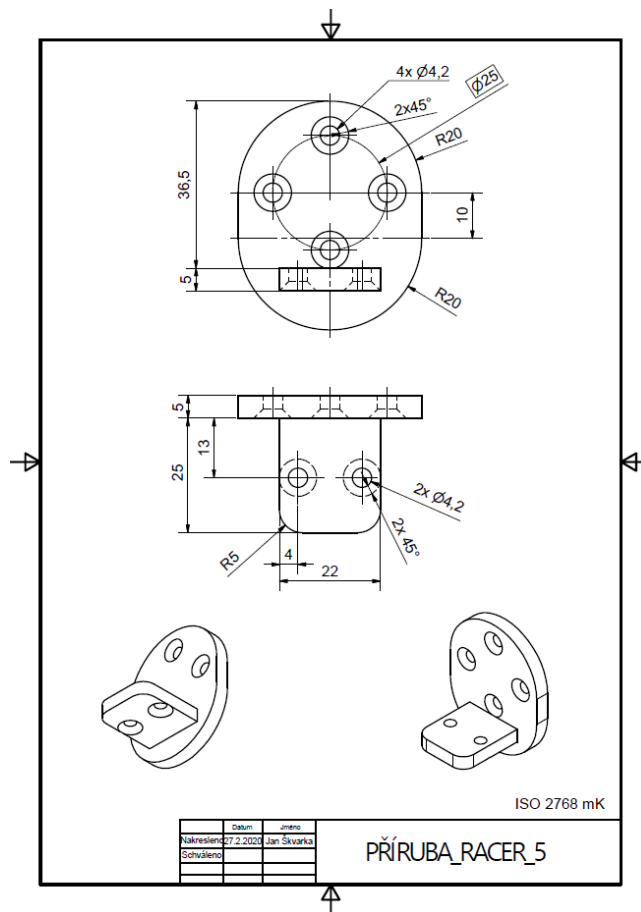
Manipulátor Racer 5 byl zvolen, jako klasický představitel 6 osých průmyslových robotů, které jsou v současné době často nasazovány v podnicích pro efektivní manipulaci s díly na výrobních linkách. Tento robot má dostatečné pohybové možnosti a dosah proto, aby mohl být nasazen pro automatizaci zadaného zkušebního procesu. Pomocí tohoto manipulátoru bude prováděna manipulace válečků mezi pořadačem, bruskou, stanovištěm s optickým měřidlem a stanovištěm s měřidlem dotykovým. V kapitole o zkušebním procesu je podrobněji popsáno, jak zadaná manipulace bude vypadat. Niž je výkres pracovního prostoru, kde je robot schopen pracovat. Tento výkres a další informace pocházejí ze stránek společnosti Comau S.p.A. která robota vyrábí. V seznamu literatury je pod číslem [25].



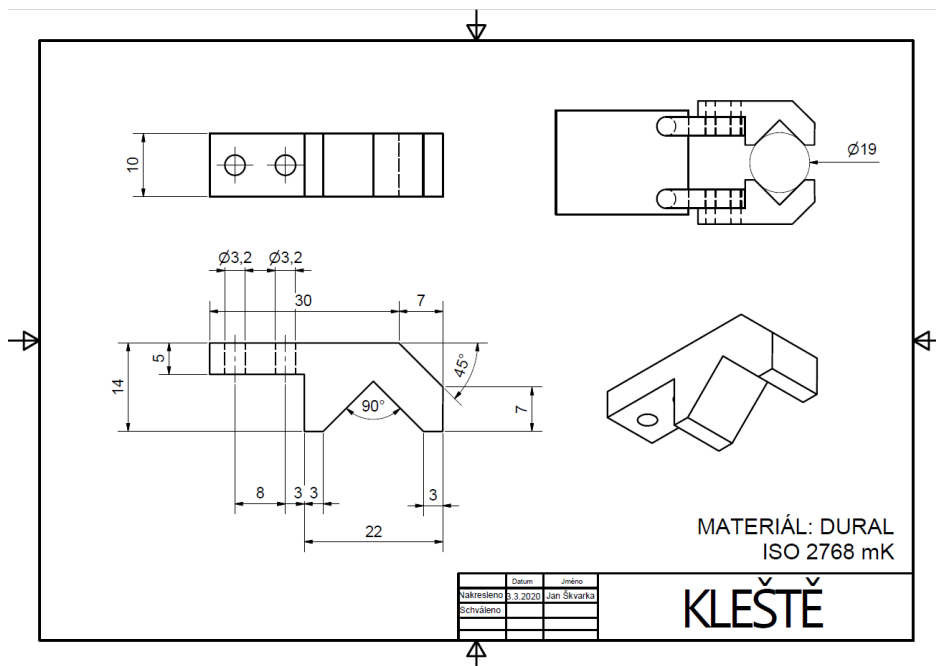
Obrázek 34 Výkres pracovního prostoru a možností pohybu robota Racer 5

Pro nasazení ve zkušebním procesu bylo zapotřebí vytvořit uchopovací systém, který bude instalován na přírubu robota. Uchopovací chapadlo je od firmy Stránský a Petržík, Pneumatické válce spol. s r.o., konkrétně se jedná o chapadlo PMCHA 16 – Pneumatické úhlové chapadlo průměr pístu 16 mm s magnetem. Pro toto chapadlo byla vytvořena příruba a kleště. Niž jsou přiloženy výkresy příruby a kleští, které byly následně dle zde zobrazené dokumentace vyrobeny z duralu. Při výrobě bylo důležité zachovat osu uchopeného válečku ve středu otáčení hlavy Raceru 5 a zkonstruovat kleště tak, aby při maximálním otevření

chapadla bylo možno váleček vyjmout nejen pohybem v ose, ale kvůli upínání v brusce a na konturografu i bokem přes válcový průměr 19 mm.



Obrázek 35 Výkres příruby



Obrázek 36 Výkres kleští



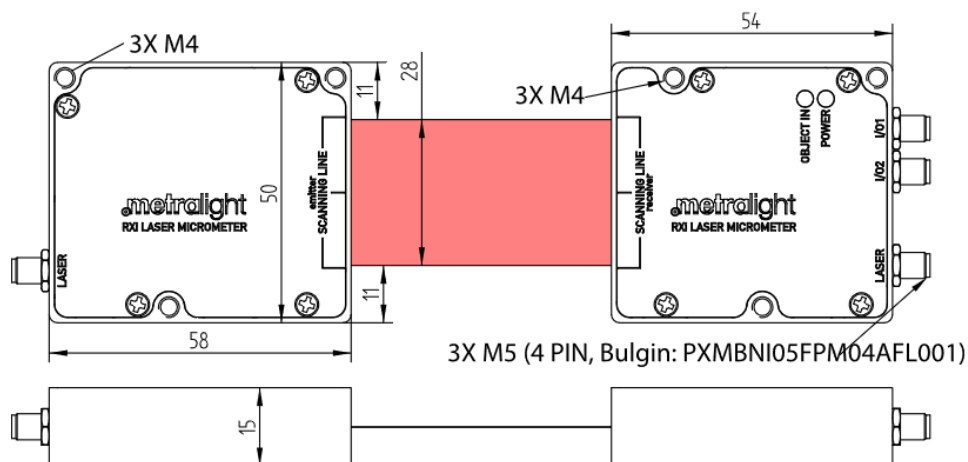
Obrázek 37 Uchopovací sestava pro Racer 5

Po zkonstruování příruby a kleští bylo chapadlo osazeno na manipulátor Racer 5 a bylo ověřeno, že způsob uchopení je pro manipulaci použitelný a lze provádět veškeré úchopové a manipulační práce v zadaném prostoru.

4.5. Měřicí zařízení

4.5.1. RXi Laser mikrometr

Senzor RXi je vysoce přesný laserový mikrometr od společnosti Metralight, Inc. určený pro průmyslové aplikace. Výrobce udávané rozlišení je $0.4375 \mu\text{m}$. Informace v této kapitole byly čerpány ze stránek společnosti Metralight. Uvedené stránky je možno nalézt v seznamu použité literatury pod číslem [26].



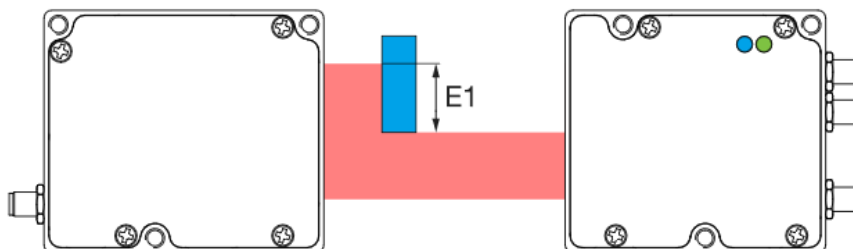
Obrázek 38 Rozměry senzoru RXi

Tabulka 1 Specifikace vlastností senzoru RXi

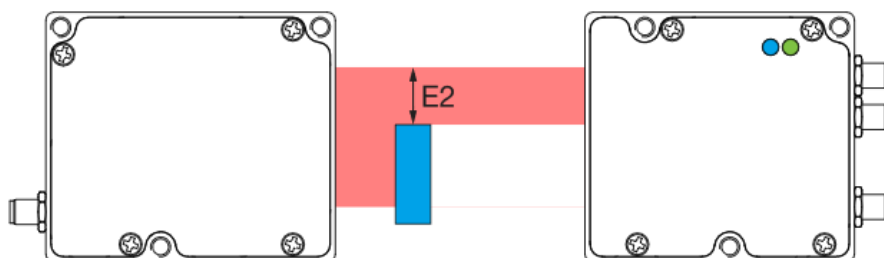
Specifikace vlastností senzoru RXi	
Metoda detekce	Laserový průchozí paprsek s CMOS prvkem
Zdroj světla	Laserová dioda třídy I 670nm
Výstup	Sériové (RS232) nebo analogové rozhraní
Rozsah měření	140 μm to 28 mm
Rozlišení	0.4375 μm
Doba odezvy	0.391 ms
Nelinearita	0,1 % celkového rozsahu
Napájení	12 až 24 VDC / 80 mA
Váha	200 g

Režimy měření:

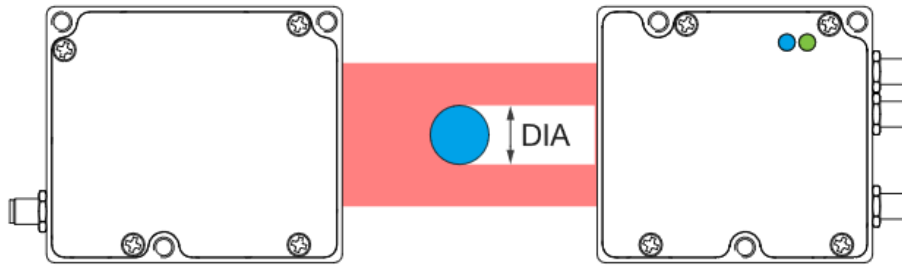
- Režim měření Okraj 1



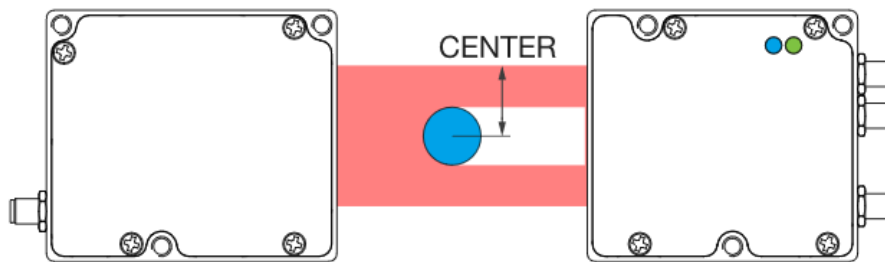
- Režim měření Okraj 2



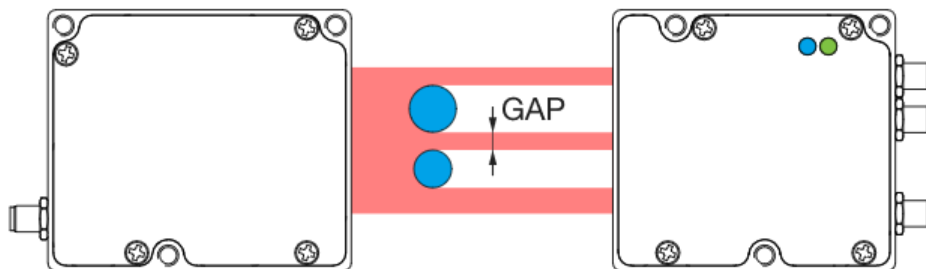
- Režim měření průměru



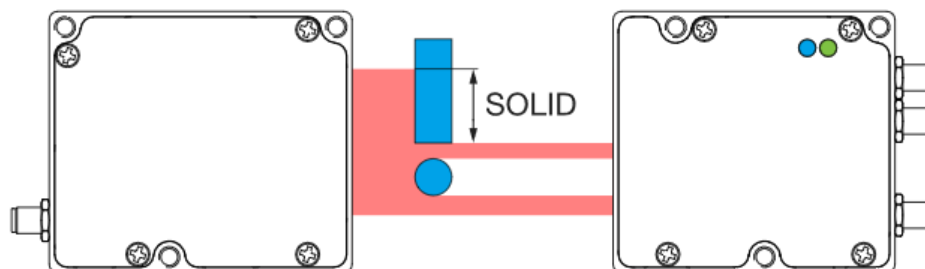
- Režim středového měření



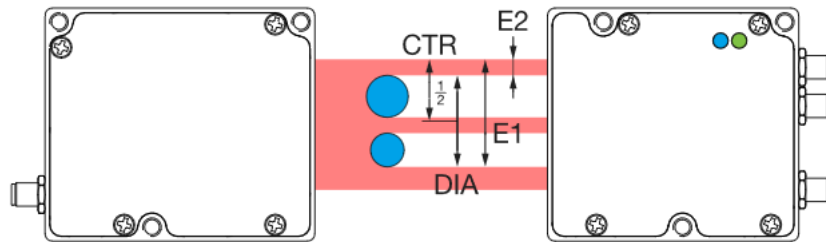
- Režim měření mezery



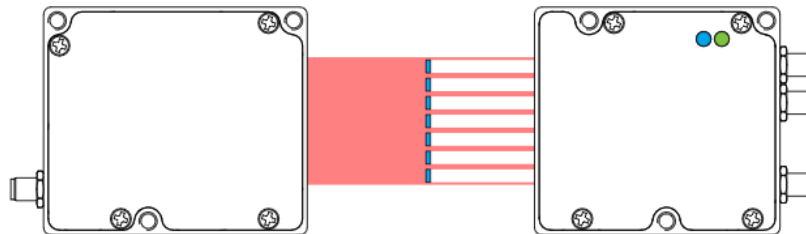
- Pevný režim měření



- Režimy měření více objektů



- Vlastní měřicí režim



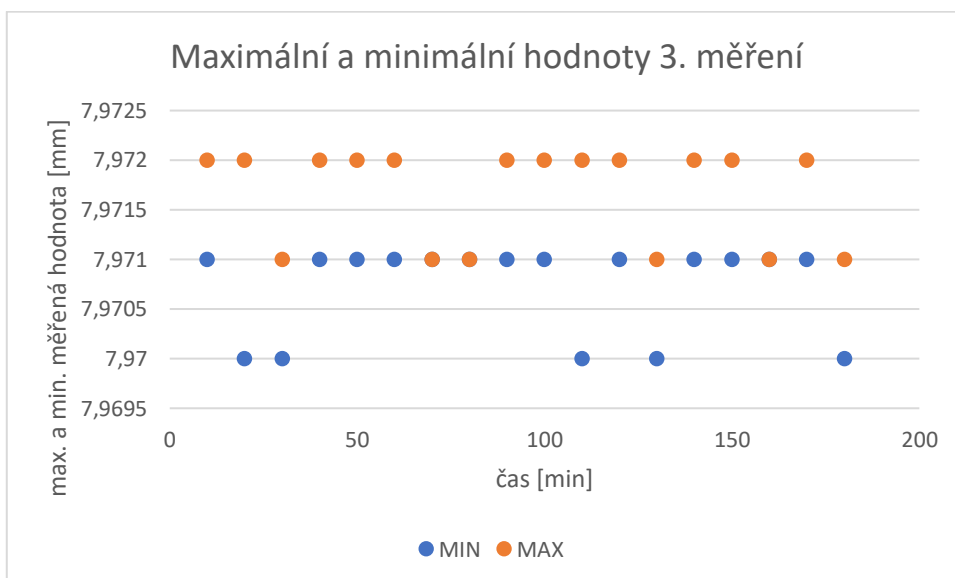
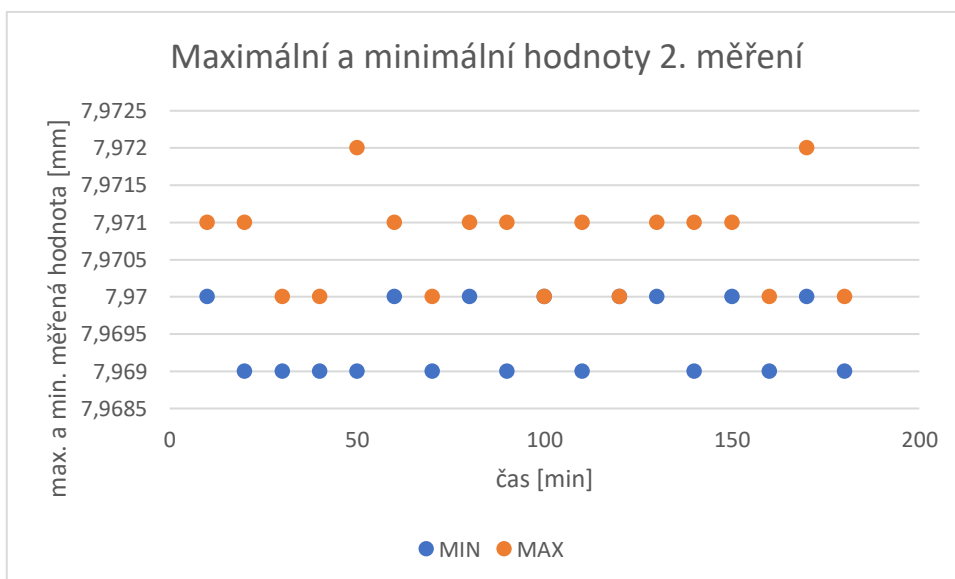
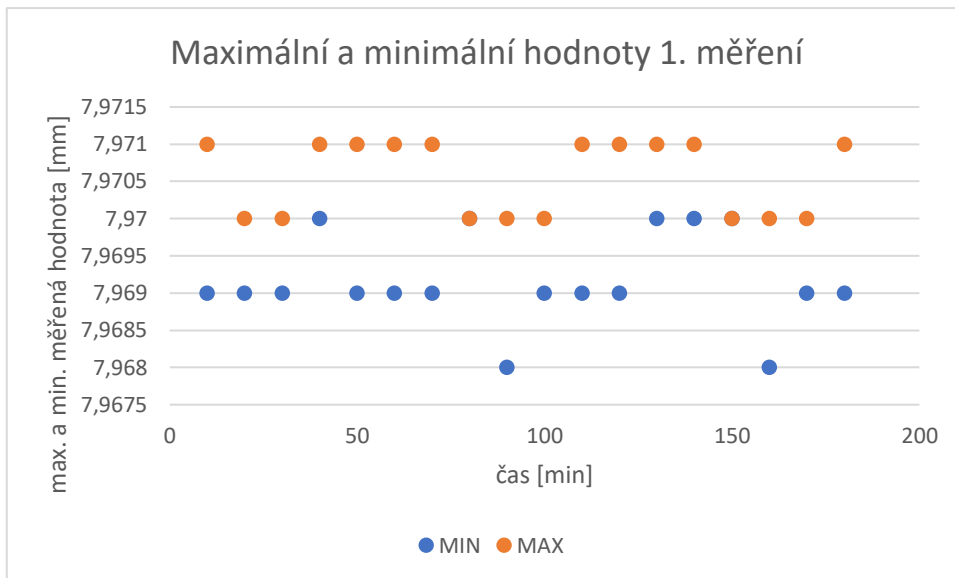
4.5.2. RXi Laser mikrometr – ověření měřidla

Výrobce udává rozlišení mikrometru $0.4375 \mu\text{m}$. Tato hodnota ovšem není zdaleka jediným parametrem, který udává výsledek a přesnost měření. Proto, abychom mohli správně interpretovat měřené veličiny, je nezbytné měřidlo celkově „poznat“, vědět, jak se chová za určitých podmínek, jak pracuje s daty, podává-li shodné výsledky měření v celém měřicím rozsahu, nebo je-li nezbytné pro měření vytvořit nějak specifické podmínky, ať již na měřidle, nebo na měřené součásti.

V další části budou sepsány poznatky z různých sekčních měření, která by měla odhalit, jak optimálně mikrometr použít při aplikaci do zkušebního procesu.

4.5.2.1. Měření za klidu

Prvním měřením bylo měření součásti „za klidu“. Toto měření mělo za cíl zjistit, jak se měřidlo chová při opakovaném zapnutí a vypnutí. Měřená součást – měrka o průměru $7,97 \text{ mm}$ – byla uložena do prizmatu a zatížena, aby byla zachována její orientace a docházelo tak při měření k měření stále stejného průměru měrky. Měrka byla umístěna doprostřed měřené oblasti. Byla provedena tři měření na sobě nezávislá. Každé trvalo 180 minut a v 10 minutových intervalech byl mikrometr zapnut, změřena hodnota naměřeného maxima a minima průměru, a následně vypnut. Výsledky jsou následující:



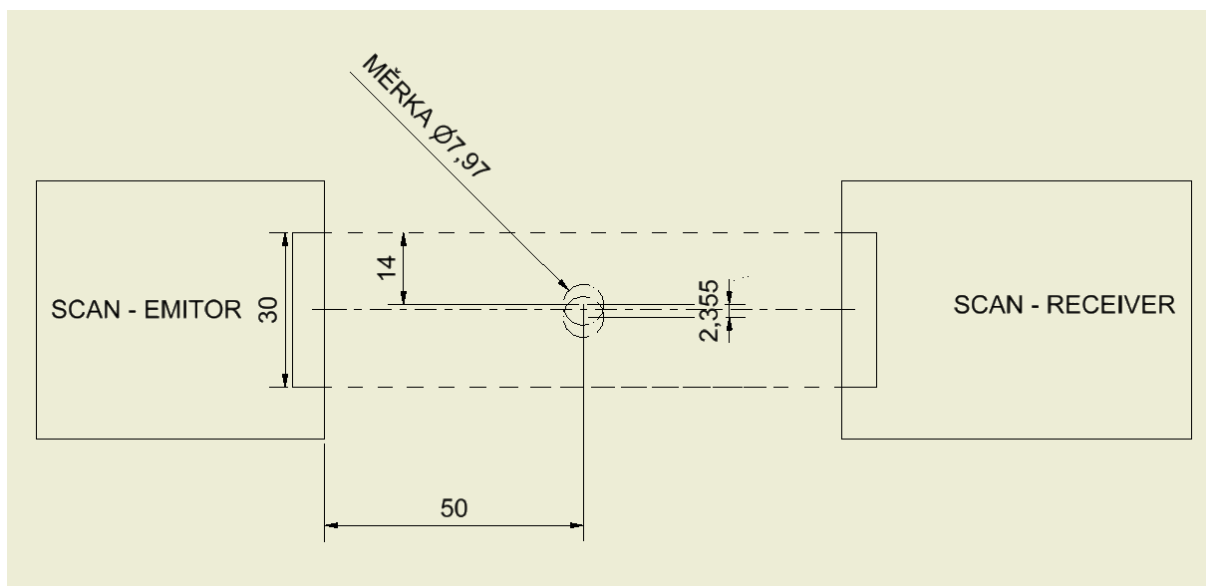
Z uvedených grafů je možné vyčíst hodnoty maxim a minim v průběhu času při jednotlivých měřeních. Je vidět že tyto hodnoty pro každé měření mají rozptyl 3 μm . Vzhledem k rozlišení mikrometru 0,4375 μm je tato hodnota poměrně velká. Na dotaz ohledně toho problému výrobce odpověděl, že přesnosti lze dosáhnout, pokud je se součástí mírně pohybováno.

4.5.2.2. Měření přejezdu v x po 0,005 mm

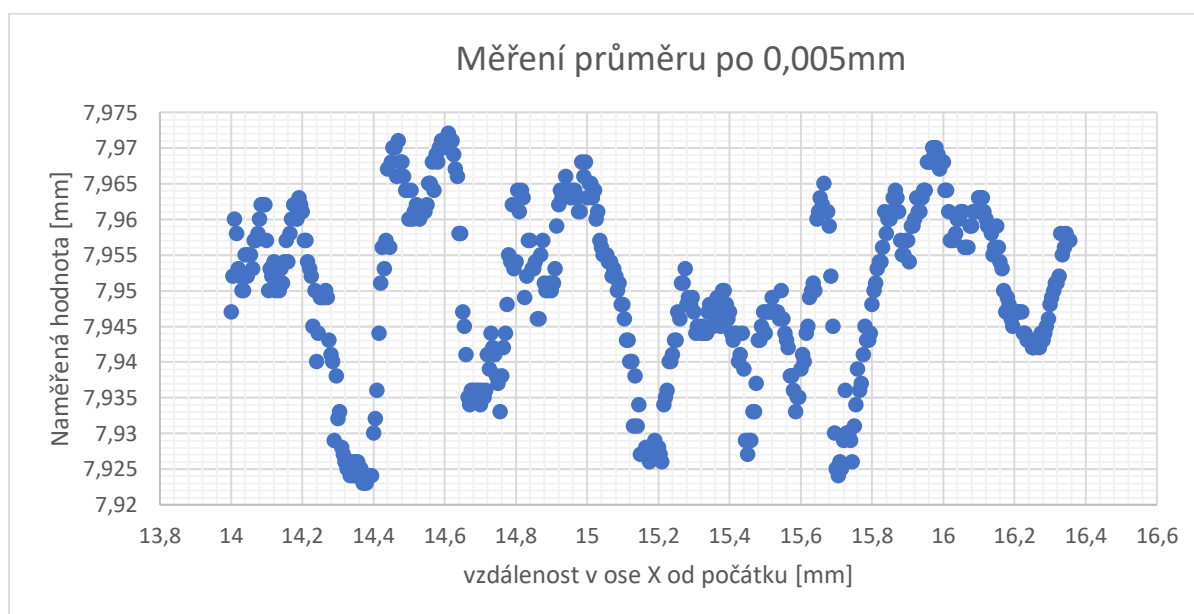
Měření přejezdu mezi emitorem a receiverem bylo uskutečněno osou měrky ve vzdálenosti 50 mm od receiveru (v poloviční vzdálenosti mezi emitorem a receiverem). Posun mezi jednotlivými měřeními byl 5 μm . Pro dosažení přesnosti polohování byla využita nástrojová bruska BN 102 CN, která polohuje s přesností na μm . Díky tomu můžeme prohlásit, že měřený průměr měrky byl díky přišroubování k držáku stále stejný a na měřenou hodnotu bude mít vliv pouze ustavení měrky a tedy citlivost jednotlivých senzorů mikrometru.



Obrázek 39 fotografie měření na brusce



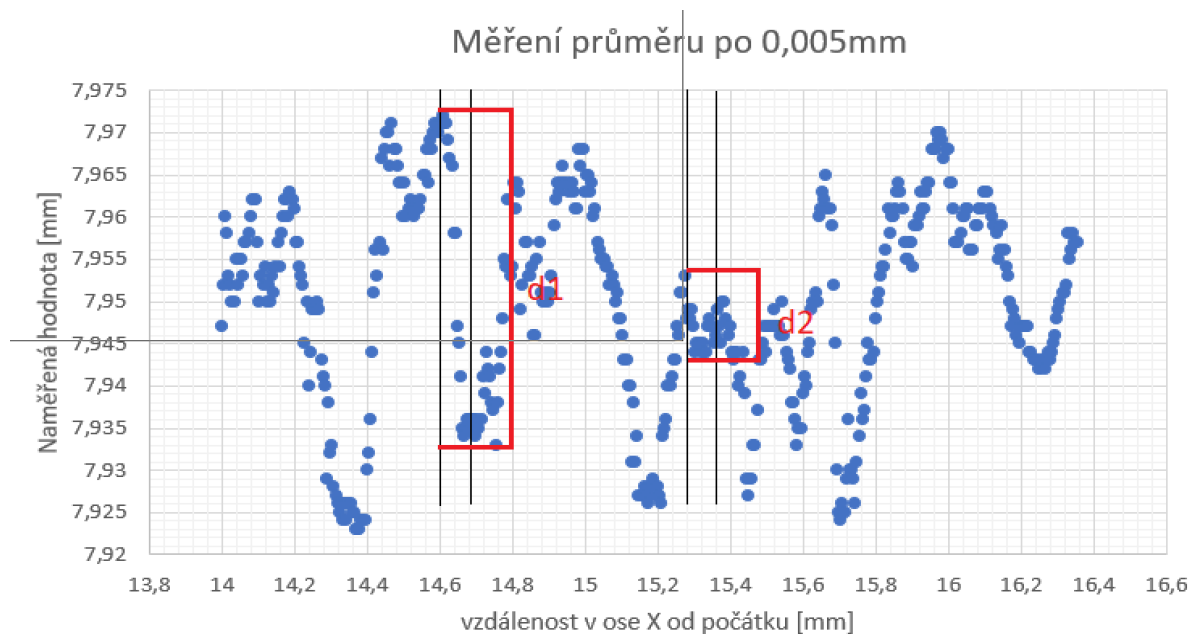
Obrázek 40 schéma měřené úsečky 2,355 mm



V grafu jsou vyznačeny naměřené hodnoty při posunu o 5 μm ve středu měřicí oblasti mikrometru na polovině vzdálenosti emitoru a receiveru. Na grafu je vykresleno, jak se mění naměřená hodnota v závislosti na posunutí měrky. Vzhledem k přesnosti polohování a napevno uchycené měrce je měřen stále jeden průměr a rozdílné naměřené výsledky jsou vlastností polohy senzorů na receiveru a matematického výpočtu průměru softwaru Microstudio 1.10. Na grafu je vidět, že rozptyl ve výsledku měření je kolem 40 μm .

Pro další postup měření je důležité prozkoumat hypotézu: Pokud bude díl opakovaně umísťován na jedno místo, bude měřena stejná hodnota s danou přesností?

Již v prvotních úvahách je nezbytné si uvědomit, že pokud bude měřená hrana umístěna na místo, kde dochází k prudkým změnám výsledku měření, bude toto měření nestabilní s velkým rozsahem, jak je znázorněno níže. Pro stejný rozsah posunutí měřky je znázorněna šíře naměřených hodnot:



Další pokusy ukáží, s jakou přesností bude možné měřit při opakovaném najetí na stejné místo. Výjezd z pozice a navrácení bude provedeno do každého směru (x, y, z) o 30 mm.

4.5.2.3. Výjezd v ose x, y, z

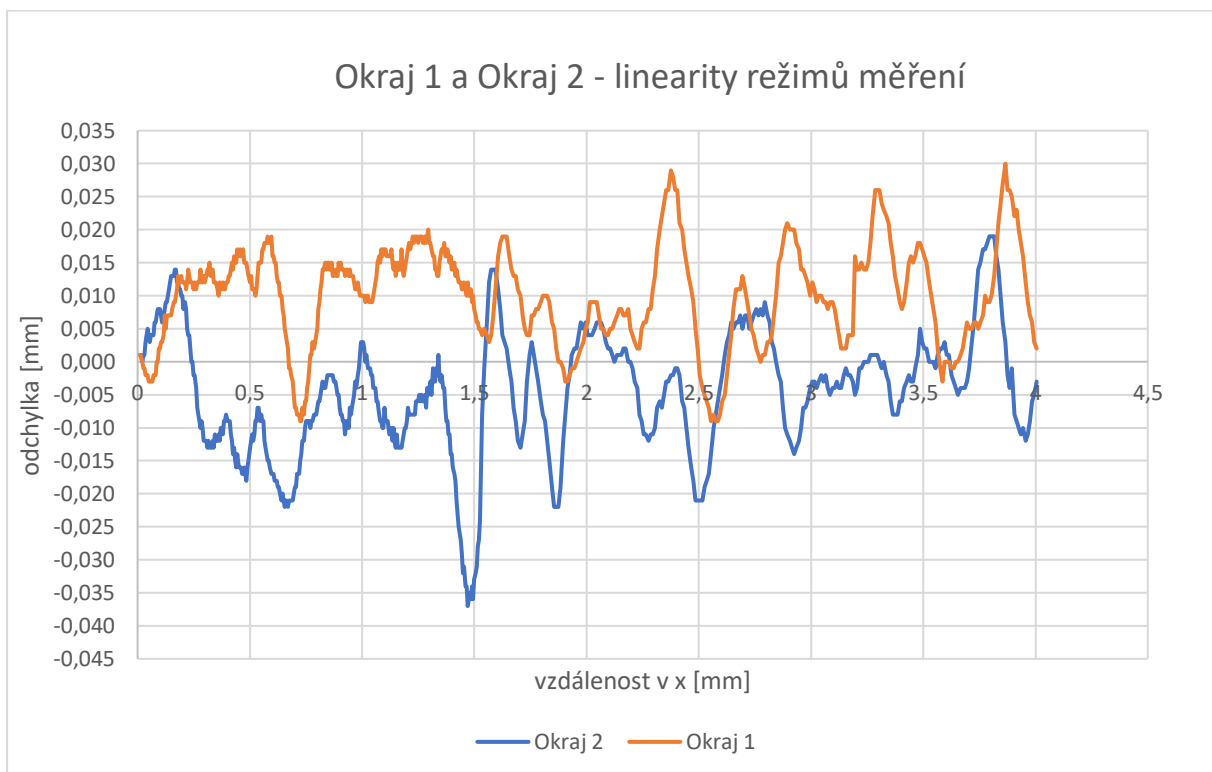
Následující měření navazují na měření přejezdu v x po 0,005 mm. Mají za cíl zjistit, bude-li výsledná naměřená hodnota podobná, pokud bude přesně daná poloha a bude z ní proveden nějaký úkon, v našem případě vyjetí a návrat o 30 mm ve směru os x, y, z. Měření je opět prováděno na brusce BN 102 CN, která zajistí přesnost polohování měřky. Aparatura zůstává stejná jako u měření přejezdu. Tabulka výsledných hodnot:

Tabulka 2 Výsledky měření výjezdů x, y, z

číslo měření\osa	x		y		z	
1	7,926	max 7,928	7,924	max 7,925	7,925	max 7,926
2	7,926	min 7,926	7,924	min 7,924	7,926	min 7,925
3	7,926		7,924		7,926	
4	7,927		7,924		7,926	
5	7,927		7,924		7,926	
6	7,927		7,924		7,926	
7	7,927		7,924		7,926	
8	7,927		7,924		7,925	
9	7,927		7,924		7,925	
10	7,927		7,924		7,925	
11	7,927		7,924		7,925	
12	7,927		7,924		7,925	
13	7,927		7,924		7,925	
14	7,927		7,924		7,925	
15	7,927		7,924		7,925	
16	7,927		7,924		7,925	
17	7,927		7,924		7,925	
18	7,927		7,924		7,925	
19	7,927		7,924		7,925	
20	7,927		7,924		7,925	
21	7,927		7,924		7,925	
22	7,927		7,924		7,925	
23	7,927		7,924		7,925	
24	7,927		7,924		7,925	
25	7,928		7,924		7,925	
26	7,927		7,924		7,925	
27	7,927		7,925		7,925	
28	7,928		7,924		7,925	
29	7,927		7,924		7,925	
30	7,927		7,925		7,925	

Z naměřených hodnot můžeme prohlásit, že pokud se jedná o jeden průměr a je umístěn na stejné místo s maximální přesností, je zajištěna opakovatelnost měření v rozsahu několika mikrometrů. Musíme mít ovšem na paměti, že válečky, které budou měřeny, mohou mít rozměry jiné a v tu chvíli hodnoty odečítané mikrometrem nebudou díky vlnitému průběhu měření konstantní a bude docházet k chybnému měření.

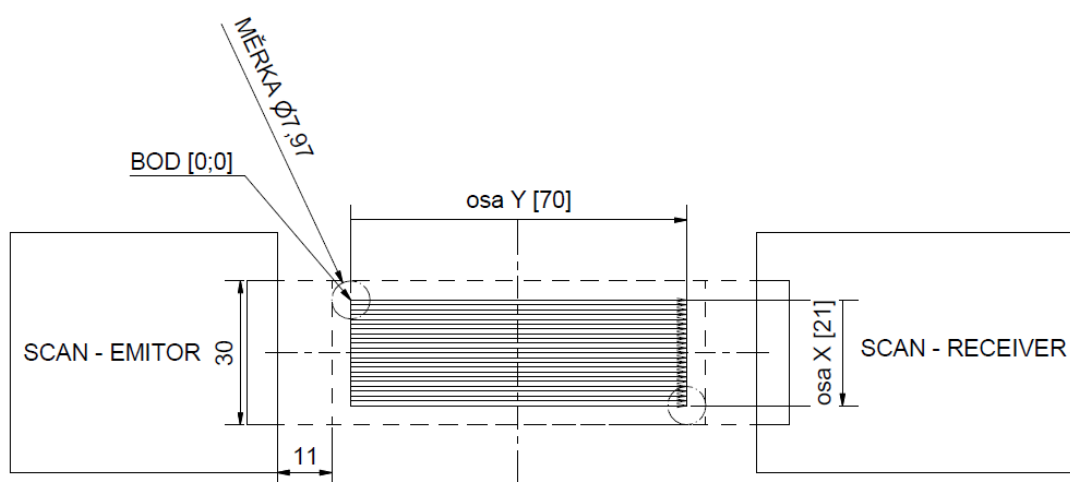
V případě, že by došlo k přesnému zmapování vlnitosti naměřených hodnot, by bylo možné vytvořit korekční systém, který by tyto vlnitosti eliminoval. V současné době jde o měření průměru. Odečet průměru je tvořen dvěma částmi, a to odečtem dvou hran válečku, jedná se tedy o kombinaci dvou chybových funkcí. Aby mohl být vytvořen korekční systém, je nezbytné pracovat s režimy měření Okraj 1 a Okraj 2, popsány výše. Pro každý z těchto režimů je třeba vytvořit kompletní chybovou funkci pro daný rozsah měření a následně při měření pracovat s těmito režimy a hodnoty z nich korigovat. Na následujícím grafu je znázorněna mapa linearity těchto režimů v jednom 4 mm dlouhém úseku s krokem 5 μm . Pro reálnou korekční mapu je nezbytné, aby byl krok menší.



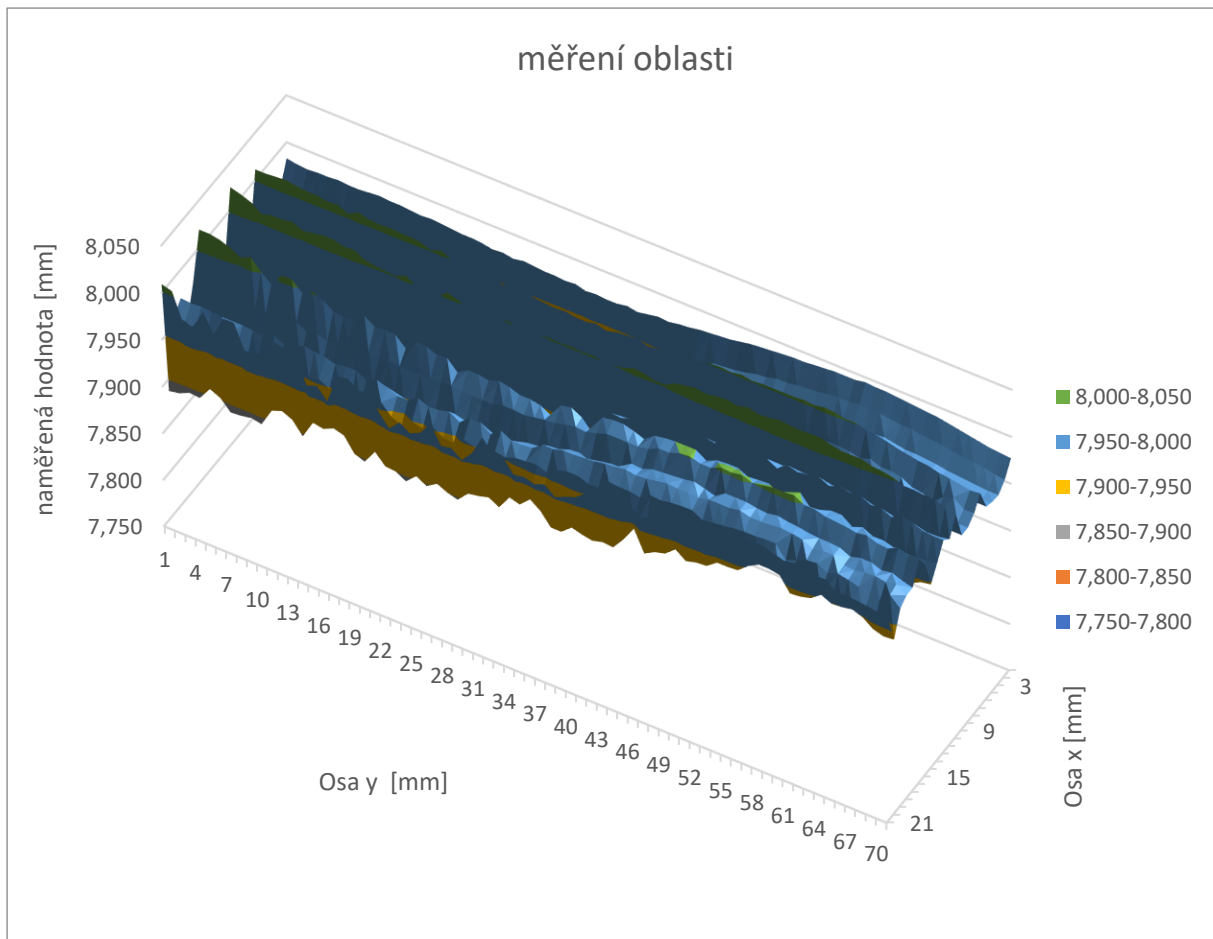
Z grafu můžeme odhadnout, že linearita Okraj 1 a Okraj 2 mají v jistých prvcích stejné tendence – jsou si podobné, ale jsou dlouhé úseky, kde tomu tak není. Vytvoření korekčního aparátu by bylo komplikovaným řešením.

4.5.2.4. Plošné měření

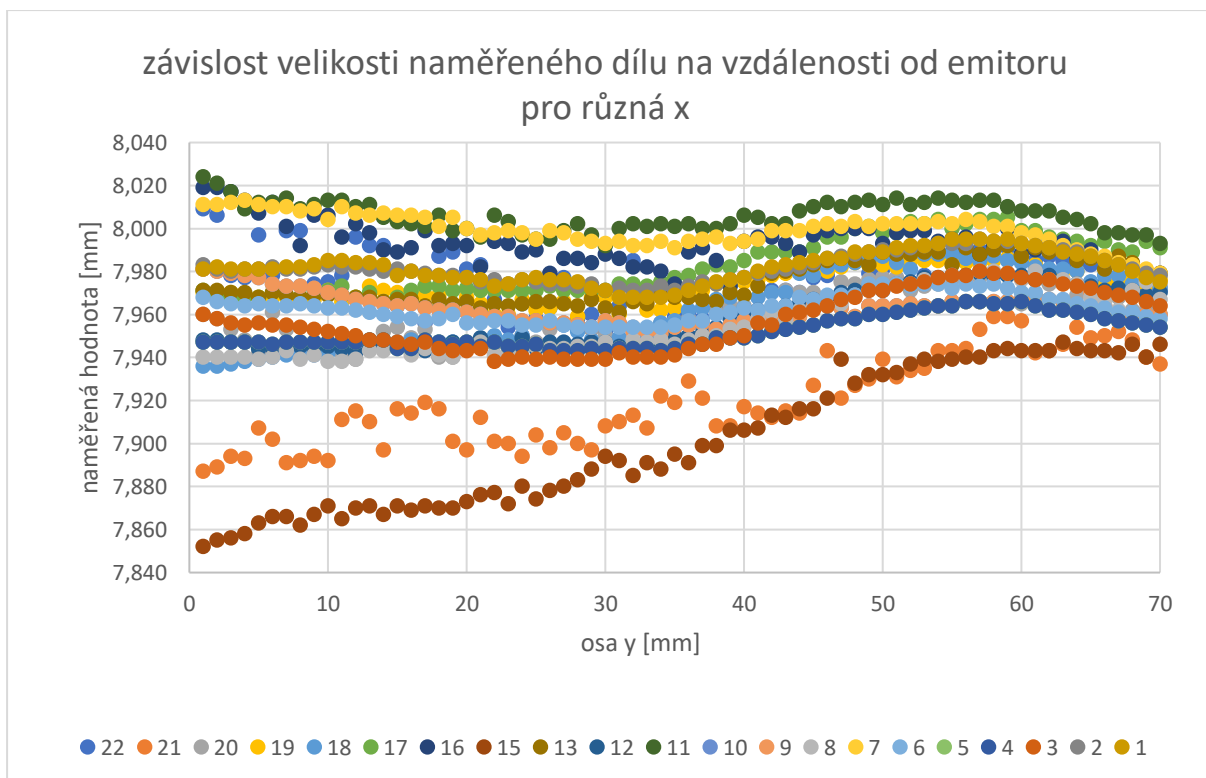
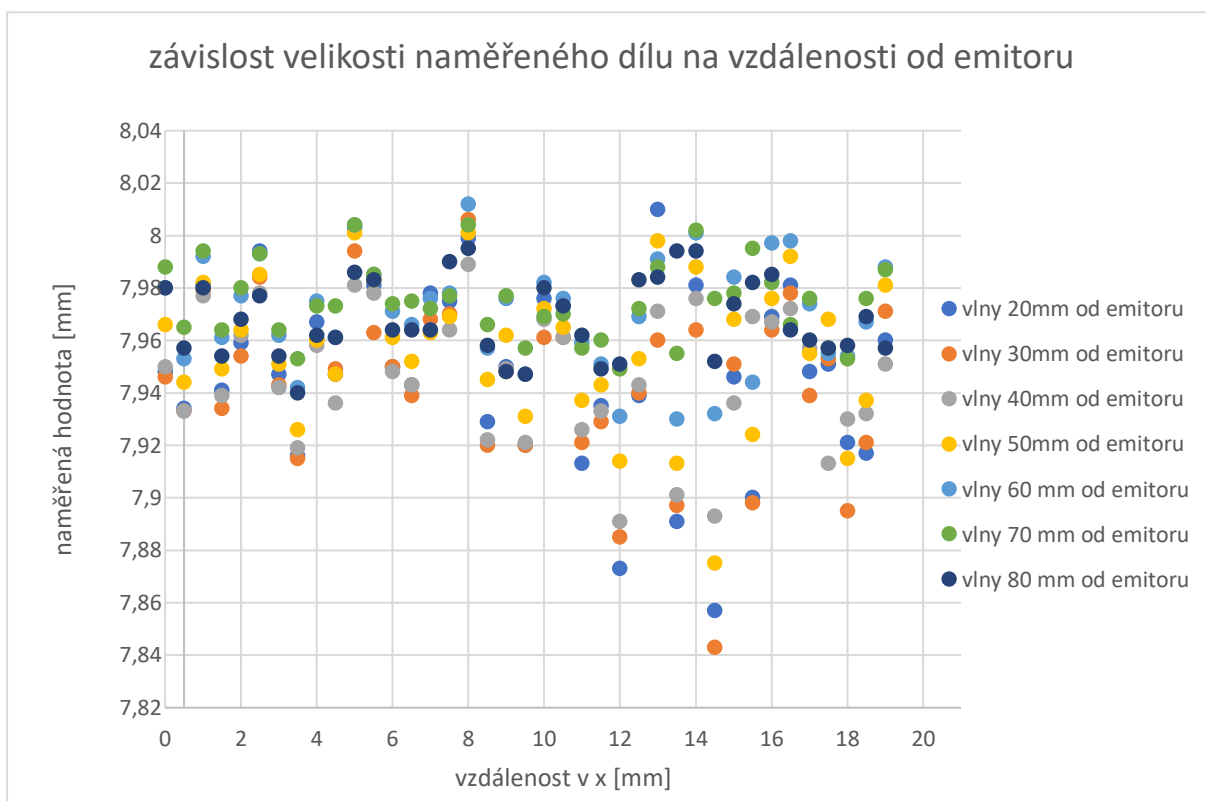
Další skutečnost, kterou je důležité na přístroji ověřit je to, zda jsou měřené veličiny shodné v celé měřicí oblasti, nebo zda se zde vyskytují nějaké nahodilé jevy. Z předchozích měření víme, že měření na pozici jsou poměrně dobře opakovatelná (viz kapitola Výjezd v ose x, y, z). V následujícím měření proměříme bodově prostor mezi skenerem a receiverem. Tato síť nám podá informace o závislosti naměřené veličiny nejen v ose x (před scannerem), ale i o závislosti na ose y (je-li měřená součást blíže k receiveru či emitoru). Tato měření probíhala za stejných podmínek, jako Měření přejezdu v x po 0,005 mm na brusce BN 102 CN.



Obrázek 41 Schéma měření



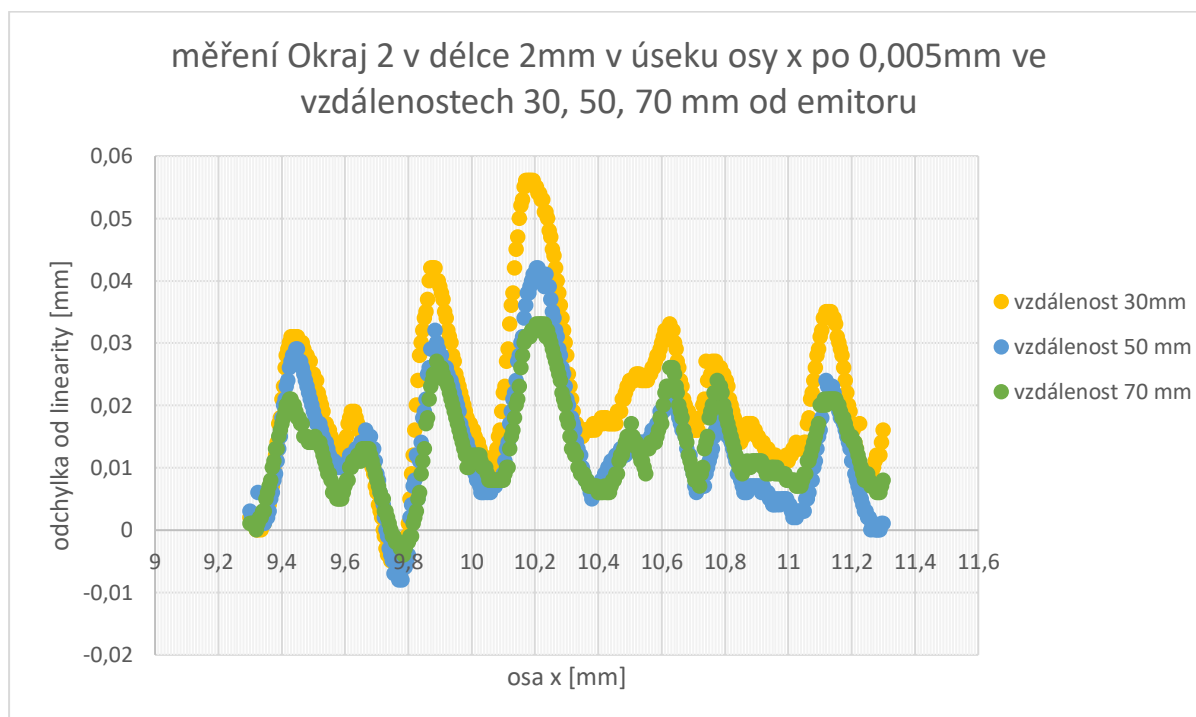
U následujícího grafu, ačkoliv je znázorněn plošně, je důležité zmínit, že se jedná o soustavu separátně měřených bodů a plošné znázornění je využito pouze z důvodu grafické přehlednosti. Graf můžeme rozdělit na dvě části. Část první značí závislost velikosti naměřeného dílu na vzdálenosti od emitoru. Druhá část pak ukazuje výsledky v průběhu osy y.



Výše zobrazené grafy rozebírají graf 3D plochy. Nemůžeme díky těmto hodnotám určit oblast stabilního měření, protože hodnoty jsou od sebe tak daleko, že pouze mapují přibližný průběh.

4.5.2.5. Měření okraj 2 po 0,005mm

Po předcházejících měřeních budeme zkoumat, jestli je závislost na poloze v ose x výrazně ovlivňována posunem od emitoru, jsou-li průběhy vln při měření stále stejné, nebo jestli se výrazně liší.



Toto měření ukazuje, že vzdálenost od emitoru neovlivňuje tvar zvlnění, ovlivňuje pouze jeho amplitudu, případně posunutí.

4.5.2.6. Měření přejezdem

Vzhledem k obtížím s ustavením dílu a rozdílným hodnotám při měření na různých průměrech byl proveden pokus s přejezdem dílu v celém rozsahu tak, aby při konstantní rychlosti byl při vjezdu dílu zahájen měřicí proces a s výjezdem dílu byl ukončen. Každý měřený díl tak projde přes všechny senzory a následně bude matematicky vypočtena průměrná hodnota z průběhu celého skenování.

Ať již při pokusech na brusce BN 102 CN, nebo následně za pomoci robota na již vzniklém měřicím stanovišti, byly výsledky nad očekávání uspokojivé. Měření byla prováděna již v automatickém módu (s konstantním posunem zajištěným bruskou, nebo robotem). Při měřeních bylo dosahováno na jedno upnutí zkušební dílu, nebo měřky, přesnosti na 1 μ m. Na přiloženém obrázku je vidět obrazovka měřicího stanoviště, kde je vždy 5 přejezdů mikrometru a pod nimi počet hodnot, ze kterých je počítán průměr. Jsou zde tři série, každá s novým uchopením dílu. Opakovaně při 5 měřeních bylo vždy dosaženo stejného náměru.

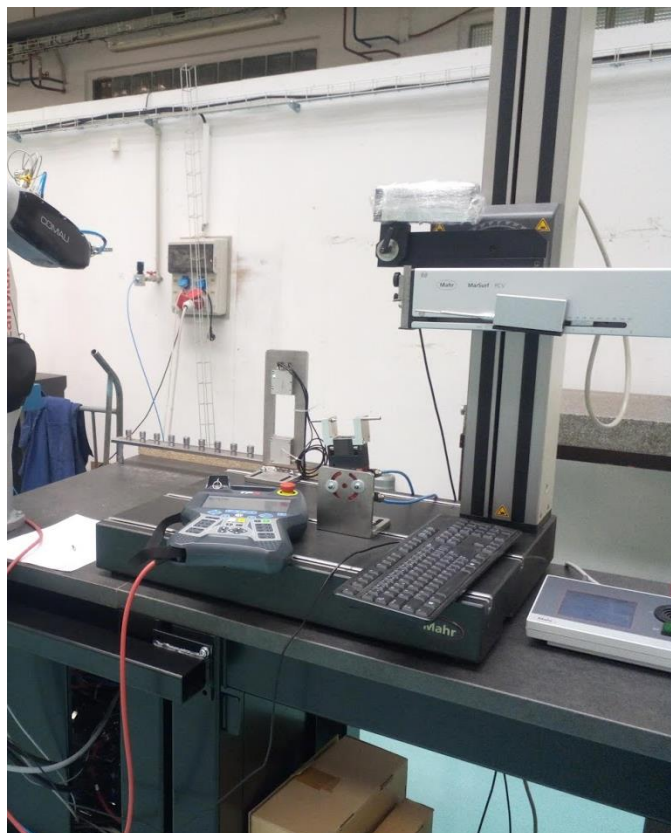


Obrázek 42 Fotografie obrazovky na měřicím stanovišti

Vzhledem k opakovatelnosti měření můžeme prohlásit, že pokud zvolíme přejezd přes celé pásmo měřicích jednotek na snímači mikrometru a jsou-li tyto následně statisticky zpracovány, získáváme konstantní systém pro měření průměru válečků pomocí optického mikrometru. Nejistota měření zůstává v přesnosti uchopení válečku, kolmosti jeho osy na rovinu měření a přesnosti vyrobených válečků.

4.5.3. Mahr XC 2 – konturograf

Jako představitel dotykových měřicích systémů je použit konturograf XC 2 od firmy Mahr spol. s r.o. Tento přístroj je možné využívat v módech pro měření drsnosti, nebo pro měření profilu. Vyniká vysokou stabilitou, klidným chodem a přesností. Veškeré dostupné informace jsou čerpány ze stránek a katalogu Mahr. V seznamu literatury je možné je nalézt pod číslem [27].



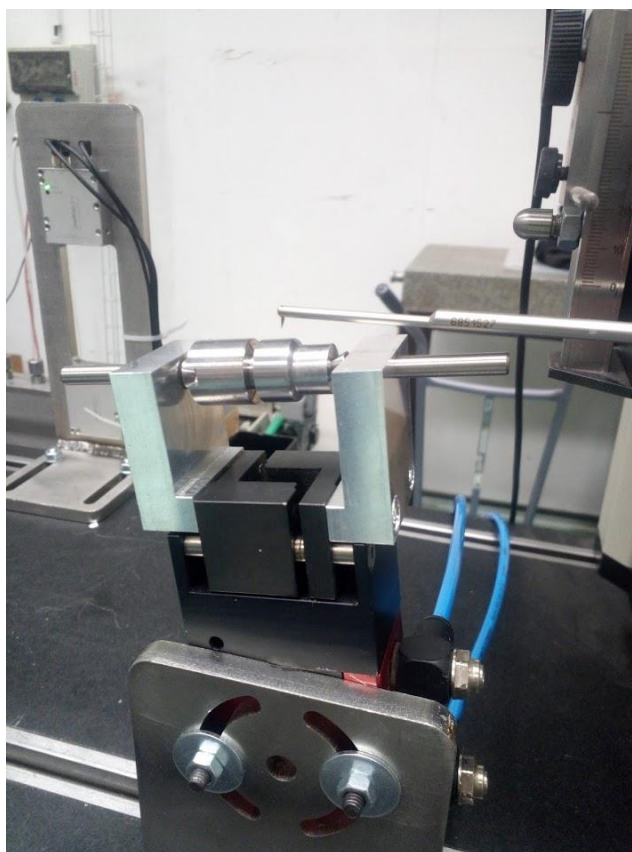
Obrázek 43 Konturograf XC 2

Tabulka 3 Specifikace vlastností XC 2

9999340 - MESSPLATZ XC 2 MarWin MarSurf	
Snímací úhel	na hladkých površích podle vybočení: klesající čela do 88°, stoupající čela do 77°
Snímaná délka (v ose X) konec	120 mm
Snímaná délka (v ose X) začátek	0,2 mm
Délka snímacího ramena	175 mm, 350 mm
Rychlost snímání (v Z)	0,1 až 1 mm/s
Odchylka vedení	< 1 μ m (přes 120 mm)
Rychlost polohování	V ose X a rychlost zpětného chodu: 0,2 až 8 mm/s V ose Z: 0,2 až 10 mm/s
Poloměr hrotu snímače	25 μ m

Rozlišení	V ose Z, vzhledem k snímacímu hrotu: 0,38 μm (u snímacího ramena 350 mm) / 0,19 μm (u snímacího ramena 175 mm) V ose Z, vzhledem k měřicímu systému: 0,04 μm
Rychlost měření	0,2 mm/s až 4 mm/s
Rozsah měření mm	(v ose Z) 50 mm
Snímaná délka	0,2 mm až 120 mm
Síla při měření (N)	1 mN až 120 mN

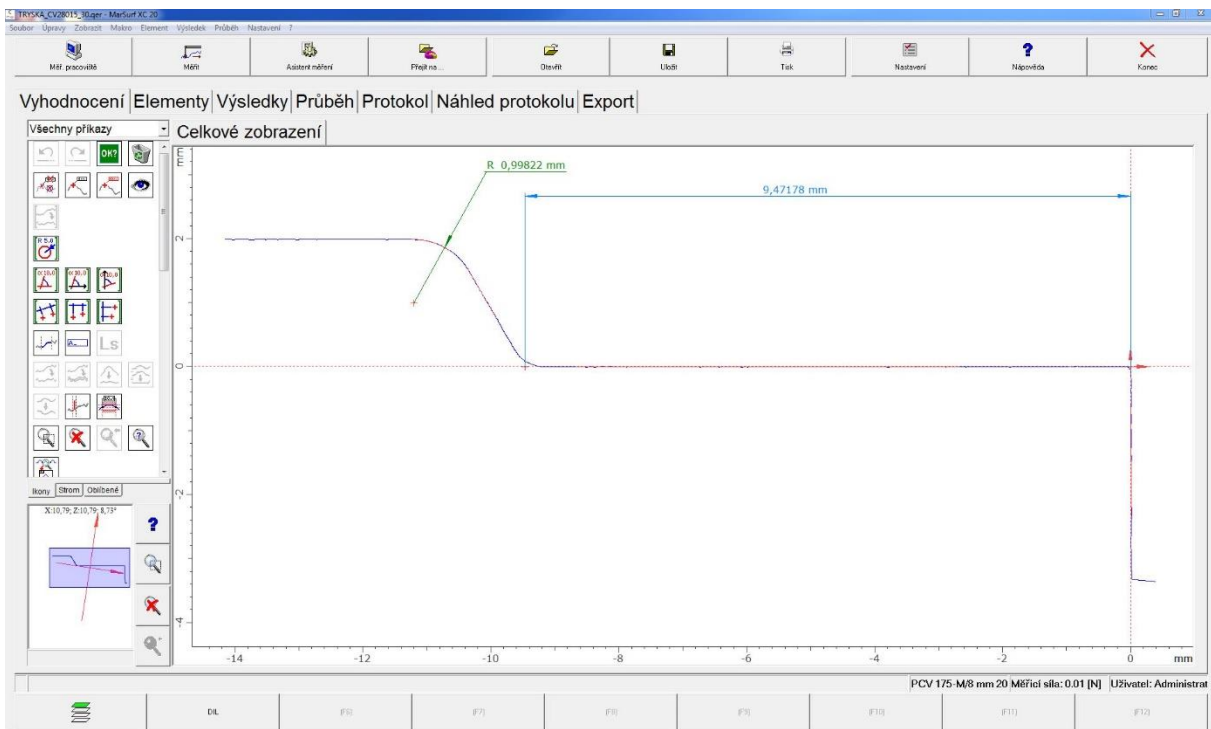
Profilový konturograf je schopen měřit drsnosti povrchu v závislosti na velikosti poloměru špičky snímací jehly. Ve zkušebním procesu má za úkol změřit vnější konturu na povrchu válečku, ze které je vyhodnocován radius R1 a délka od 30° zkosení po konec válečku. Vzhledem k tomu, že profil povrchu se nepohybuje v mikrometrových, ale milimetrových jednotkách, je zajištěna přesnost měření. Důležitými otázkami v tomto oddíle je hlavně to, jak musí být součást napolohována a umístěna, aby docházelo k měření pouze na horní straně válečku a nedocházelo k jeho odklonu. Výrobce v katalogu u robota uvádí i přesnost polohování – 0,03mm, což by znamenalo výrazné vybočení válečku. Proto bylo nutno použít pro upnutí válečku pneumatického přípravku znázorněného na obrázku níže.



Obrázek 44 Upínací přípravek pro XC 2

Upínání je realizováno hydraulicky mezi dva kalené hroty, které zajistí napolohování válečku přes středící důlky a zajistí tak pozici válečku pro měření konturografem. Celý upínací aparát je nakloněn, aby docházelo k co nejpřesnějšímu snímání kontury profilu válečku a aby byl zajištěn plynulý sjezd měřicí jehly po čele válečku na konci měření. Takto realizovaný sjezd je ke snímání citlivější, než kolmý pád na konci měření a náraz do kalené jehly. Naklonění zároveň umožňuje snazší přístup robota k upínači, který se nachází na okraji pole dosahu robota.

Výsledné měření realizované na profilovém konturografu poskytuje data o velikosti a tvaru rádiusu a zkosení na válečku. Tyto informace jsou dále zaslány na brusku, kde dojde k jejich vyhodnocení, korekci kotouče, nebo jeho orovnění. Níže je přiložen výstup z jednoho z měření jak v jeho grafickém znázornění v měřicím systému, tak v jeho datové podobě ukládané a odesílané k dalšímu zpracování na brusku.



Obrázek 45 Grafickém znázornění v měřicím systému Mahr

```
TRYSKA_CV28015_30.txt - Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
Inspector::urban Jan
workpiece name::
TITLE_1::CVUT Praha,
TITLE_2::Fakulta strojní
TITLE_3::
Drawing No.::
Comment::
Machining operation::
Meas. record No.::
Department::CVUT v Praze
Machine No.::Marsurf PCV
Documentation on Duty:-
Job No.::
Signature:
Standard:-
Nominal:-
Resolution:-
MarWin Version::8.00-24
Meas. station::270805
MarCtrl Version::4.02-02
Export Date/Time::09.07.20/11:20:47
manufacturing Date/Time:-
Digits:0
Part construction Id:-
Spindel:-
Charge:-
Detail:-
Name;Datum;Nominal;L_TOL;U_TOL;Value;Unit;Feature;low nat. Border;Type;No.;Date;Time;Operator
r(r1);; 1.00000; -0.10000; 0.10000; 0.98979;mm;0;1;9304;1;09.07.20;11:20:03;urban Jan
l;; 9.60000; -0.10000; 0.10000; 9.47178;mm;0;1;9315;2;09.07.20;11:20:03;urban Jan
r(radius);; 0.00000; 0.00000; 0.00000; 0.99822;mm;0;0;9304;3;09.07.20;11:20:03;urban Jan
```

Obrázek 46 Datová podoba výsledků měření

5. Diskuze

V této práci je shromážděno poměrně velké množství informací, co se robotizace a měřících systémů týče. Považuji za hodnotné provést shrnutí těchto poznatků, kde dojde k jejich rekapitulaci a systematizování. Je důležité brát zřetel na to, že každá aplikace těchto poznatků může s sebou nést různá úskalí, se kterými nyní nebylo pracováno a ta mohou výrazně ovlivnit výsledky. Pro správně fungující měřicí proces je zásadní znalost měřidel, která mají být využívána, aby bylo možné je správně aplikovat, a pouze nevhodným použitím nebyla jejich měření devalvována. Musíme mít neustále na paměti, že veškeré výrobní procesy jsou svodem mnoha odborných disciplín, které se navzájem doplňují a ovlivňují a je tedy důležitá mezioborová spolupráce pro vytvoření funkčních řešení.

V následujících oddílech jsou v teoretické rovině shrnuty faktory, které jednotlivá měřicí stanoviště ovlivňují, je nutno je optimálně nastavit, aby byla zajištěna opakovatelnost a správnost měření.

5.1. Robotická manipulace

Nosným tématem práce je robotická manipulace jako taková. Z dříve uváděných kapitol věnovaných této problematice vyplývá, co to vlastně ona robotizace je a jaké druhy robotů se nejčastěji v průmyslových aplikacích vyskytují. Hned první věcí, kterou je důležité důkladně promyslet, je nákup vhodného robota. Prodejci nabízejí nepřehledné množství různých robotů, které zvládají od běžných až po nejsložitější manipulační činnosti. Při výběru robotů je nutno dbát zejména na účel, ke kterému má robot sloužit. Je zbytečné kupovat speciální roboty na jednoduché manipulační úkony, které by šly vyřešit formou jednoduchých automatizačních prvků a stejně tak je nešťastné koupit obyčejného robota, který nakonec nezvládne speciální použití v dané aplikaci a je nutné dále investovat do jeho přestavby, nebo výměny.

Poté, co je správně zvolen robot pro danou aplikaci, je třeba vhodně rozvrhnout pracovní prostor robota. Valná většina robotů nemůže z bezpečnostních důvodů (chybějící vnější sensorika) kolaborovat s lidmi a je zapotřebí tomuto podřídit pracovní prostor. Robot musí být oddělen pevnou překážkou, nebo musí být zajištěno, že se člověk do pracovního prostoru robota nemůže dostat. I v průběhu zkušebního procesu byl pomocí pevných dorazových kolíků na první rotační ose robota Racer 5 omezen pohyb na rozsah $\pm 90^\circ$ od počátku rotační osy (oproti původním 170° viz. Výkres pracovního prostoru a možností pohybu robota Racer 5) a tak bylo zamezeno jeho vyjetí mimo prostor stanoviště. Dalšími osvědčenými možnostmi jsou různé mechanické zábrany či optické závory. Bezpečnost stanoviště by měla být vždy prioritou.

Samotný pracovní prostor manipulátoru by měl být logicky uspořádán tak, aby nedocházelo ke zbytečně dlouhým přejezdům, křížení drah a aby byly minimalizovány prodlevy obsluhovaných stanovišť. Je možné použít různé odkládací zásobníky, které zrychlí výměnu kusů za použití jednoho chapadla, případně na robota nainstalovat více chapadel, která zajistí ještě rychlejší výměnu.

Vyvrcholením instalace robota je návrh manipulačních pohybů. Různé úkony, které robot zvládne, se převážně skládají z lineárních, případně kruhových drah. Takto segmentované pohyby je nezbytné vhodně poskládat tak, aby výsledný pohyb včetně nájezdů a přejezdů byl optimální. Jedná se o obdobnou práci, jako při tvorbě CL dat v CAM softwarech.

5.2. Optická měřidla

Pokud mají být do procesu zařazena optická měřidla, je nutné zvažovat velké množství okolností, za kterých mají být tato použita. Optická měřidla se obecně vyznačují schopností odečítat velké množství dat, díky velkým snímkovacím frekvencím. Tato data jsou ovšem často zkreslována různými vlivy, mezi které patří šum, odrazivost povrchu, okolní světelné znečištění a podobně. Proto chceme-li tato měřidla použít ve výrobních procesech, je třeba jejich užití řádně ověřit.

Nejprve je důležité vybrat měřidlo vhodné pro danou aplikaci. Existuje velké množství měřidel založených na různých principech měření. Existují jednoduché optické závory, které pracují s binární informací je/není signál. Jiné dokáží detekovat například i barevné značení. Důležité je, jestli potřebujeme měřit bodové, liniové, nebo plošné oblasti. Pro bodové oblasti stačí jednoduchá laserová zařízení, která s odečtem posunu zvládají i měření linií. V případě měřidel, které rovnou zvládají měřit linie, jako jsou laserscanery, je možné je využít k přímému měření celé linie a díky možnosti streamování dat se hojně využívají k navádění svitků do pracovního prostoru lisů. Opatříme-li takový laserscanner posunem, získáváme měřidlo schopné měřit 3D povrch. Laserscanner umístěný na měřicí rameno se pak dá použít například při reverzním inženýrství pro osnímání součásti ze všech stran a po filtraci odlehlých bodů k vytvoření 3D modelu součásti.

Velkým problémem u měření pomocí optických systémů je odrazivost materiálu. Většina technických kovů má po soustružení a dalších dokončovacích úpravách lesklý povrch. V takovém případě dochází k odrazům paprsků a povrch je buď neměřitelný, nebo měřitelný s obtížemi, šumem. V takovém případě je možnost měřené úseky opatřit matnou povrchovou úpravou. Je ovšem otázkou, na kolik je tato povrchová úprava ekonomická.

Další věcí, na kterou je třeba brát ohled u optických měřicích metod je filtrace dat a jejich zpracování. Vzhledem k tomu, že v okolí měřicích stanovišť je spousta faktorů, které zhoršují přesnost měření a vnášejí do procesu nejistotu, je nezbytné data filtrovat a statisticky zpracovávat. Jak bylo popsáno i v této práci, kde byl řešen problém, jak upravit měřicí proces tak, aby byl opakovatelný, bylo nakonec přistoupeno k přejezdu přes všechny snímače senzoru a následně toto bylo statisticky zpracováno. Výsledek tedy říká, že odečte-li hodnotu každý snímač a jsou-li tyto hodnoty zprůměrovány, dostaneme pokaždé stejný výsledek, což bylo i ověřeno. Při využití jiných systémů snímání může takového výsledku dosaženo nejrůznějšími dalšími způsoby, odvíjejícími se od druhu měřidla a jeho poznání aplikujícím člověkem.

Velké množství naměřených bodů je u optických systémů velkou výhodou pro aplikace, kde je požadováno velké množství dat. Máme-li velké tvarové plochy, nikdy bychom je dotykovým způsobem nebyli schopni tak rychle změřit. Přesnost dotykových systémů je sice obecně vzato vyšší než přesnost systémů optických, ale sběr dat trvá mnohonásobně déle. Bude-li tedy aplikováno optické měřicí zařízení, u kterého se spokojíme s nižší přesností, ovšem mnohásobně větším množstvím změřených bodů, ve výsledku dostaneme mnohem lepší představu o výsledném tvaru dané plochy.

5.3. Dotyková měřidla

Dotyková měřidla jsou dlouhodobě používaným a ověřeným systémem měření. Obecně, budeme-li se bavit v rovině přesného měření, podávají přesnější výsledky než měřidla optická. Tato přesnost je ovšem vykoupena dobou trvání měřicího procesu. Měření pomocí dotykových měřicích systémů je obecně časově náročnější. Je to zapříčiněno delší dobou dojezdu sondy k měřenému bodu, rychlostí snímání a odjezdem od součásti. Tyto body jsou u optických systémů rychlejší, nebo vypadávají zcela.

Chceme-li použít dotyková měřidla na robotizovaném stanovišti, musíme se nejprve podívat na požadovanou dosahovanou přesnost měření. Kupříkladu robot Racer má přesnost polohování 0,03 mm. Pokud chceme měřit s přesností nižší, je naprosto nutné, aby přesnost uložení dílu byla co nejlepší a je nutné vytvořit přípravek – upínač, který zajistí přesnou polohu měřeného dílu, tak jako v našem případě hydraulický upínák. Pokud by se tak nestalo, tak by přesné měření dílu bylo prováděno na nepřesném místě a docházelo by ke znehodnocení měření. Oproti tomu při optickém měření přesnost polohování není natolik zásadní, jelikož je možné sejmout větší množství bodů, ze kterého pak probíhá vyhodnocení. Pokud je tedy nezbytné konstruovat upínač, musí být opět uvažováno, jak celý proces měření bude probíhat,

kudy bude prováděna robotická manipulace a dostane-li robot měřený díl na danou pozici bez problému s dosahem/má-li dostatek stupňů volnosti k polohování.

Existuje i velké množství měřicích systémů, kde přesnost polohování není tak zásadní. Jsou to různé dotykové lišty, které sevaknutím měří průměry válců, nebo jiné podobné přístroje, kde přesnost polohování není natolik zásadní. U takových měřidel pak není problém použít součást přímo uchopenou v robotu.

6. Závěr

Tato práce se zabývá použitelností robotizace pro nasazení do procesů měření optickými a dotykovými měřicími systémy. Byla navržena robotická obsluha pro metrologická pracoviště tak, aby optické i dotykové měřidlo byly schopny měřit zadané parametry na zkušebním tělese.

V rámci práce došlo k ověření použitelnosti optického mikrometru, kde bylo nezbytné zmapovat princip fungování mikrometru a následně navrhnout způsob měření pro získání opakovatelného měřicího procesu.

Samotná robotická manipulace se součástí v průběhu procesu zajišťuje stálost upnutí a měření přesně zadaných parametrů. Ve zkušebním procesu se robot osvědčil při měření na optickém mikrometru, kde díky konstantnímu posunu celým jeho rozsahem dostáváme statisticky zpracovanou hodnotu výsledku měření.

U konturografu bylo pro zachování přesnosti nezbytné použití upínače, kam robot vkládá zkušební těleso a následně ho vyjímá po měření. Takovým způsobem je možné provádět opakovaně měření. Robotická manipulace i na tomto stanovišti byla prováděna bez obtíží.

Souhrnně je možné konstatovat, že za předpokladu správného použití robotické manipulace, případně dalších nezbytných přípravků (pořadačů, zásobníků, upínačů) jsou robotizační prostředky schopny fungovat v metrologických procesech a je možné je začleňovat do výrobních procesů.

Bibliografie

- [1] A. Fischer, „Recent trends in surface metrology,“ *WEAR*, pp. 494-508, 2011.
- [2] J. Metelková, Pokročilé metody vyhodnocování topografie povrchu, Brno: Vakilářské práce VUT, 2014.
- [3] ČSN EN ISO 3274 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotkových (hrotových) přístrojů.*
- [4] ČSN EN ISO 25178-601 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 601: Jmenovité charakteristiky dotkových (hrotových) přístrojů.*
- [5] Z.N., „Dotkové, nebo bezdotkové měření povrchu,“ *MM Průmyslové spektrum*, p. 23, 15 6 2005.
- [6] T. Bozdana, „Engineering Metrology and Quality Control,“ Univerzity of Gaziantep, 2012.
- [7] „Micero-epsilon,“ [Online]. Available: <https://www.micro-epsilon.cz/download/products/cat--optoCONTROL-ODC--en.pdf>. [Přístup získán 30. 03. 2020].
- [8] D. Sauterr a H. Weinerth, *Lex. Elektronik Mikroelektronik*, Düsseldorf: VDI-Verlag, 2018.
- [9] C. Peterson, „How It Works: The Charged-Coupled Device, or CCD,“ *Journal of Young Investigators*, p. <http://legacy.jyi.org/volumes/volume3/issue1/features/peterson.html>, 01. 03. 2001.
- [10] „Encykpedie fyziky, Generátor střídavého proudu,“ [Online]. Available: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/324-generator-stridaveho-proudu>. [Přístup získán 02. 04. 2020].
- [11] „Charge-coupled device,“ [Online]. Available: https://cs.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device.

- [12] K. R. Spring, T. J. Fellers a M. W. Davidson, „Introduction to Charge-Coupled Devices (CCDs),“ Microscopyu, [Online]. Available: <https://www.microscopyu.com/digital-imaging/introduction-to-charge-coupled-devices-ccds>. [Přístup získán 06. 04. 2020].
- [13] L. Nevařilová, „Reprodukce barevného obrazu EL29,“ [Online]. Available: <https://slideplayer.cz/slide/3091134/>. [Přístup získán 06. 04. 2020].
- [14] A. Macenauer, „CMOS čidla a jejich vlastnosti,“ fotoaparát.cz, [Online]. Available: <https://www.fotoaparát.cz/clanek/234/cmos-cidla-a-jejich-vlastnosti-5022/>. [Přístup získán 06. 04. 2020].
- [15] I. Assimov, Já Robot, Ivo Železný, 1993.
- [16] F. Šolc a L. Žalud, Robotika, Brno: FEKT Vysokého učení technického v Brně , 2002.
- [17] J. Skařupa, „Roboty a manipulátory,“ Vysoká škola báňská –Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2012.
- [18] J. Skařupa, Průmyslové roboty a manipulátory, Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007.
- [19] L. Kudláč, Optimalizace procesu obrábění u odlitků z vysokotlakého lití, Pardubice: Diplomová práce Univerzita Pardubice, 2016.
- [20] R. Bartoňová, „Technologie broušení,“ VOŠ, SOŠ A SOU KOPŘIVNICE, 2010.
- [21] M. Iveta, „Strojní obrábění - Broušení IV,“ [Online]. Available: <https://slideplayer.cz/slide/1977266/>. [Přístup získán 25. 03. 2020].
- [22] J. Řasa a V. Gabriel, Strojírenská technologie 3, Praha: Sciencia, 2005.
- [23] P. Jalůvka, „Nástrojové brusky,“ ELUC, [Online]. Available: <https://eluc.kr-lomoucky.cz/verejne/lekce/1249>. [Přístup získán 26. 03. 2020].
- [24] Mikronex, „BUA16CNC,“ [Online]. Available: <http://www.mikronex.cz/BUA16CNC.pdf>. [Přístup získán 19. 06. 2020].
- [25] COMAU, [Online]. Available: <https://www.comau.com/en/our-competences/robotics/robot-team/racer-5-0-80>. [Přístup získán 13. 07. 2020].

- [26] „Metralight,“ [Online]. Available: <https://www.metralight.com/products/doc/rxi/rxi.pdf> .
[Přístup získán 30. 03. 2020].
- [27] Mahr, [Online]. Available: <https://www.mahr.com/cs/Produkty-a-slu%C5%BEby/V%C3%BDrobn%C3%AD-m%C4%9B%C5%99ic%C3%AD-technika/Produkty/MarSurf---P%C5%99%C3%ADstroje-na-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-kontury/XC-2/> . [Přístup získán 20. 06. 2020].
- [28] „www.e-konstrukter.cz,“ [Online]. Available: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/drsnost-povrchu>. [Přístup získán 24. 03. 2020].
- [29] [Online]. Available: http://naradi-sv.cz/czech/brh_20.php. [Přístup získán 25. 03. 2020].
- [30] M. Adámek, „Elektrické zdroje,“ Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.