



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

**Vývoj přípravku pro rozměrovou kontrolu s
využitím CMM**

**Development of fixture for dimensional
quality control using CMM**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

Bc. Václav PADEVĚT

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3911T035 Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Libor Beránek Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Padevět** Jméno: **Václav** Osobní číslo: **437262**
 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:

Vývoj přípravku pro rozměrovou kontrolu s využitím CMM

Název diplomové práce anglicky:

Development of fixture for dimensional quality control using CMM

Pokyny pro vypracování:

Vyžití CMM v oblasti kontroly kvality
 Systémy pro upínání dílů v rámci rozměrové kontroly
 Vývoj upínacího přípravku pro vybranou aplikaci v automobilovém průmyslu
 Návrh technologie výroby

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Libor Beránek, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

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

Datum zadání diplomové práce: **02.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Libor Beránek, Ph.D.,
podpis vedoucí(ho) práce

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

prof. Ing. Michael Valásek, DrSc.,
podpis konzultanta(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

17.4.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma Vývoj přípravku pro rozměrovou kontrolu s využitím CMM vypracoval samostatně a použil jsem pouze ty zdroje, které jsou uvedené v seznamu citované literatury.

V Praze dne:

.....



Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Liborovi Beránkovi Ph.D., za trpělivost, rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Děkuji i zadavateli mé diplomové práce, panu Ing. Tomášovi Zábranskému, za projevenou příležitost a důvěru při řešení této diplomové práce.

Touto cestou bych rád vyjádřil poděkování i své rodině, která mi při studiu a tvorbě diplomové práce byla velkou oporou.



Anotace

Tato diplomová práce pojednává o konstrukci souřadnicových měřících strojů, jejich vývoji a provedení. Dále je zde řešena problematika způsobů upínání pro nejrůznější druhy součástí s použitím modulárních a jednoúčelových upínacích systémů. V praktické části je navrhován jednoúčelový upínací systém pro upnutí osmi typů převodové skříně. Rovněž je zde také testován vliv tohoto systému na způsobilost měřidla.

Klíčová slova

Souřadnicový měřící stroj, přípravek, konstrukce, vývoj, kontrola kvality, technologie, upínání, koeficient způsobilosti

Abstract

This diploma thesis deals with the construction of coordinate measuring machines, their development and execution. Furthermore, the issue of clamping methods for various types of components using modular and single-purpose clamping systems is discussed. In the practical part is designed single-purpose clamping system for fastening eight types of transmission housings. Also, the effect of this system on the capability of the gauge is also tested.

Key words

Coordinate measuring machine, fixture, construction, development, quality control, technology, fastening, coefficient of gauge capability



Obsah

Obsah	- 6 -
Úvod	- 8 -
1 Využití CMM v oblasti kontroly kvality	- 9 -
1.1 Princip CMM	- 9 -
1.2 Postup kontroly součásti na CMM	- 11 -
1.3 Vývoj metrologických strojů	- 12 -
1.3.1 Rychlost	- 12 -
1.3.2 Způsobilost procesu měření	- 13 -
1.3.3 Flexibilita	- 14 -
2 Konstrukce CMM.....	- 15 -
2.1 Kartézské CMM.....	- 15 -
2.2 Konstrukční provedení kartézských CMM	- 18 -
2.3 Nekartézské CMM.....	- 19 -
2.3.1 CMM s cylindrickým souřadným systémem.....	- 19 -
2.3.2 CMM se sférickým souřadným systémem	- 20 -
3 Systémy pro upínání dílů v rámci rozměrové kontroly	- 25 -
3.1 Modulární upínací systémy	- 25 -
3.1.1 Zeiss – Carfit.....	- 27 -
3.1.2 Renishaw	- 31 -
3.1.3 Tetrafix.....	- 33 -
3.1.4 Matrix.....	- 34 -
3.1.5 Horst Witte – Alufix.....	- 36 -
3.2 Jednoúčelové upínací systémy	- 38 -
3.2.1 Pneumaticky ovládané upínání	- 43 -
4 Konstrukce upínacího přípravku	- 45 -
4.1 Optimalizace návrhu přípravku.....	- 47 -
4.2 Návrh technologie výroby.....	- 53 -
Vývoj přípravku pro rozměrovou kontrolu s využitím CMM	- 6 -



4.3	Rozbor kupovaných a vyráběných komponent	- 58 -
5	Analýza měření	- 61 -
5.1	Rozbor měřené součásti	- 62 -
5.2	Naměřené hodnoty.....	- 65 -
Závěr.....		- 73 -
Seznam použité literatury:		- 75 -

Úvod

Pro správnou funkci konečného výrobku je důležité splnit kvalitativní požadavky, které jsou zadány ve výkresové dokumentaci. Pokud je výrobní společnost schopná dosáhnout těchto specifikací a splnit tak požadovanou úroveň kvality, stává se konkurenceschopnou. Za splnění těchto požadavků zodpovídá management kvality, který rovněž plánuje, zlepšuje a kontroluje kvalitu.

Pro kontrolu kvality je důležité určit rozměrové a geometrické specifikace výrobku a porovnat je, zda odpovídají požadavkům. Tato činnost je prováděna pomocí měření a vyhodnocování.

V dřívějších dobách bylo měření prováděno pouze komunálními měřidly. Jejich funkce však zásadně podléhá vlivu operátora, který nemusí být přesný. Z toho důvodu přišla snaha eliminovat tento vliv a měření bylo zautomatizováno. Především v automobilovém průmyslu je využívána automatická kontrola kvality, kterou obstarává souřadnicový měřicí stroj (z anglického Coordinate Measuring Machine) CMM. Tento stroj je schopen zajistit potřebnou přesnost, rychlost a opakovatelnost měřicího procesu. Měřicí proces se neskládá pouze z měřicího zařízení, ale velmi důležitou roli představuje i vhodný upínací systém. Ten by měl zajistit přesné, opakovatelné a tuhé upnutí.

Cílem této práce je zjistit využití CMM v oblasti kontroly kvality a vyhledat vhodné systémy upínání pro různé aplikace. Vyvinout vlastní upínací systém pro aplikaci v automobilovém průmyslu a navrhnout jeho technologii výroby.

V této práci se v teoretické části zabývám využitím CMM při kontrole kvality, jeho principu a možným dalším vývojem. Rovněž se také zabývám popisem používaných měřicích strojů, jejich konstrukcí a rozdělením na dva základní typy, na kartézské a nekartézské. Dalším tématem, na které přímo navazuje má praktická část, je rozbor upínacích systémů v rámci rozměrové kontroly. Uvádím zde možnosti modulárních upínacích systémů a porovnávám je s možnostmi jednoúčelových systémů.

Praktická část této práce se zabývá konstrukcí jednoúčelového přípravku pro upnutí součástí z automobilového průmyslu. Konkrétně se jedná o několik typů převodových skříní. Zabývám se také technologickými možnostmi výroby přípravku a její kalkulací. Rozhodl jsem se také prakticky ověřit vliv navrhovaného přípravku pomocí koeficientu způsobilosti.

1 Využití CMM v oblasti kontroly kvality

Označení CMM je v praxi běžně používaná zkratka z anglického označení „Coordinate Measuring Machines.“ V překladu se jedná o Souřadnicový měřicí stroj. Jelikož se přesnost a rychlost výrobního procesu neustále zvyšuje, bylo nutné zajistit adekvátní metodu i v oblasti kontroly kvality. Zvyšuje se přesnost v řádech stupňů IT a vlivem nových nástrojových materiálů se značně zvyšuje i rychlost obrábění. Tím, jak se zdokonalují výrobní procesy, postupuje vývoj souřadnicových měřicích strojů stále vpřed. Správným použitím CMM lze zajistit rychlou a přesnou kontrolu rozměrů i u složitých výrobků. Což má kladný vliv na kvalitu výroby a následkem může být i zvýšení konkurenceschopnosti produktu v daném odvětví [1].



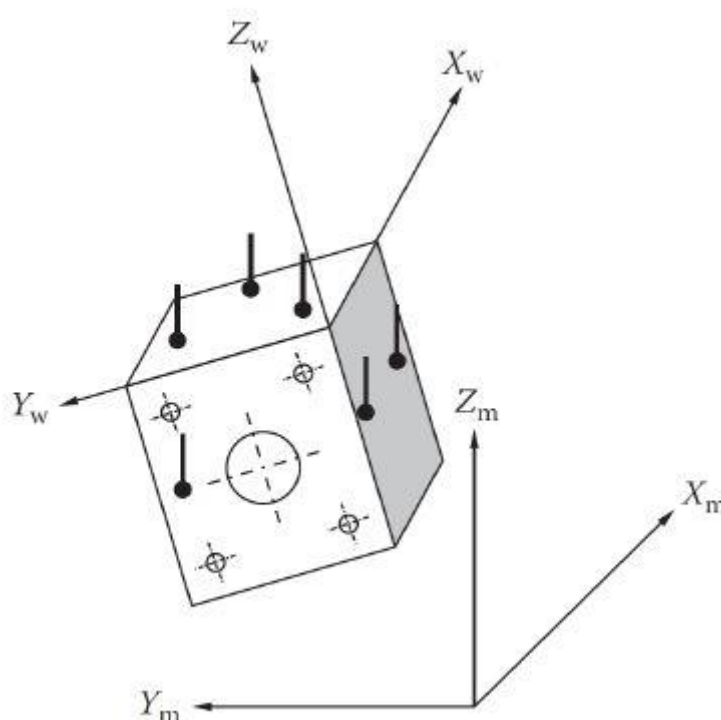
Obrázek 1 - Zeiss-Prismo [2]

1.1 Princip CMM

CMM pracuje na jednoduchém principu. Pomocí pohyblivé sondy, která je konstrukčně spojena se strojem, se zjišťuje poloha jednotlivých bodů v prostoru. Poloha těchto bodů je popsána souřadnicemi v lokálním souřadném systému, vůči základnímu bodu na součásti. Základní bod neboli počátek, se umístí na nejvhodnější pozici. Souřadný systém je nejčastěji kartézský. U specializovaných CMM se využívají i jiné souřadné systémy, jako na příklad cylindrický nebo sférický.

Každý CMM má dva souřadné systémy. Jak bylo řečeno dříve jeden souřadný systém se nazývá lokální a je definován na měřené součásti. Na následující obrázku ho určují osy X_w , Y_w , Z_w . Druhý souřadný systém určuje polohu bodů v pracovním prostoru samotného stroje. Na obrázku 2 je definován osami X_m , Y_m , Z_m . Výpočetní software přepočítává polohu bodů mezi jednotlivými souřadnými systémy. Nejprve dojde k definici

bodů v souřadném systému stroje a poté se jeho poloha přepočítá do lokálního souřadného systému součásti.



Obrázek 2 - Lokální souřadný systém součásti a souřadný systém stroje [3]

Z naměřených bodů se vypočítají jednotlivé elementy. Jinak nazývané geometrické prvky, pod kterými si lze představit například válec, díru, rovinu, válcovou plochu, nebo obecnou tvarovou plochu. Z vypočítaných geometrických prvků je možné získat rozměrové charakteristiky, což je v podstatě velikost daného elementu (např. průměr díry). Dále je z nich také možné získat geometrické specifikace tvaru nebo polohy. Oba tyto postupy zpracovává – počítá – výpočetní software, který je nezbytný pro správnou funkci. Typ výpočetního softwaru se řídí výrobcem.

Pohyb sondy může být řízen ručně za pomoci operátora. Častěji se však používá automatické řízení pomocí výpočetní techniky – Direct Computer Control. Díky tomuto způsobu řízení je možné CMM naprogramovat k opakovanému měření totožných výrobků [4; 5].

1.2 Postup kontroly součásti na CMM

Sled nezbytných úkonů, jenž je nutné provést pro správné fungování CMM, je možné shrnout do několika bodů.

1) Analýza výkresové dokumentace

V tomto kroku dochází k prvnímu seznámení s měřenou součástí. Zjišťují se nejzákladnější informace jako je velikost a tvar součásti. Vyhodnotí se také, které rozměry je nutné změřit a jaké k tomu budou zapotřebí charakteristiky. Důležitou informací je také zjištění, jaké je umístění základen pro geometrické tolerance.

2) Definice upnutí měřené součásti

Dle umístění základen a potřebných měřených prvků dojde k vyhodnocení nejlepšího způsobu upnutí. Součást musí být přístupná ze všech potřebných směrů, aby kontrola probíhala co možná nejsnáze a nejrychleji.

3) Konfigurace a kalibrace snímacího systému

V závislosti na velikosti a tvaru součásti, přístupnosti a typu jednotlivých prvků dochází k návrhu snímače. Je zapotřebí zvolit délku doteků, případně prodloužení snímací hlavy. Po zvolení vhodné konfigurace je nutné příslušný snímací systém kalibrovat, aby pracoval přesně.

4) Vyrovnání součásti

Při vyrovnání součásti dochází k definici a volbě natočení souřadného systému měřené součásti. V tomto souřadném systému poté dochází k vyhodnocení, proto je nutné volit souřadný systém na vhodném místě. Existuje několik způsobů vyrovnání. Mezi nejjednodušší patří metoda „3; 2; 1.“ Spočívá v postupném odebrání všech stupňů volnosti (celkem 6). Nejprve zvolíme rovinu, čímž odebereme 3° volnosti, poté určíme přímku, tím dojde k odebrání 2° volnosti, a nakonec určíme bod, který odebere poslední stupeň volnosti.

5) Extrakce bodů a definování geometrických prvků

Jedná se o chvíli, kdy dochází k vlastnímu snímání bodů z měřené součásti. Extrakce bodů probíhá za pomoci pohybu snímacího systému. K odečtení souřadnic jednoho bodu dojde při kontaktu součásti se snímacím dotekem. Z takto získaných bodů je možné díky výpočetnímu softwaru definovat jednotlivé geometrické prvky jako jsou například kružnice, válec, nebo rovina.



6) Výpočet rozměrových a tvarových specifikací

Tento úkol probíhá na čistě softwarové úrovni. Jedná se o výpočet geometrických tolerancí, které jsme určili z výkresové dokumentace. Do softwaru je nutné zadat velikost tolerančního pole a jeho polohu. Pro správný výpočet je velmi důležité vhodně určit výpočet geometrických prvků z minulého kroku.

7) Vyhodnocení měření, tvorba protokolů

Vyhodnocení měření probíhá v návaznosti na předešlý krok, kdy software vypočítá, zda se daná tvarová nebo rozměrová specifikace vejde do tolerančního pole, které je zadané uživatelem. Tvorba protokolů je nezbytná, aby bylo zřejmé, zda je měřená součást vyrobená s potřebnou přesností. Protokoly také slouží k předání potřebných informací výrobě nebo zákazníkovi [5].

1.3 Vývoj metrologických strojů

S pokračujícím vývojem v oblasti průmyslu a technologií se začíná uvažovat o možné další průmyslové revoluci. Jedná se o tzv. „Průmysl 4.0“. Základním konceptem této myšlenky je spojení výroby a informačních technologií, což by mělo vést k větší flexibilitě výroby. Důvodem vzniku Průmyslu 4.0 byla zvyšující se úroveň připojení strojů a jejich obsluhy k síti. Flexibilní výroba je nutná z hlediska dobré konkurenceschopnosti v oblasti konfigurovatelných výrobků od zákazníka. Jelikož konfigurace výrobků má za následek časté změny ve výrobním programu, musí se nastavení strojů měnit efektivně a přesně. Stejně podmínky platí i pro kontrolu kvality. Z těchto podmínek vyplývají požadavky na vývoj metrologických zařízení. Skupina německých expertů popsala tento vývoj v několika směrech [6].

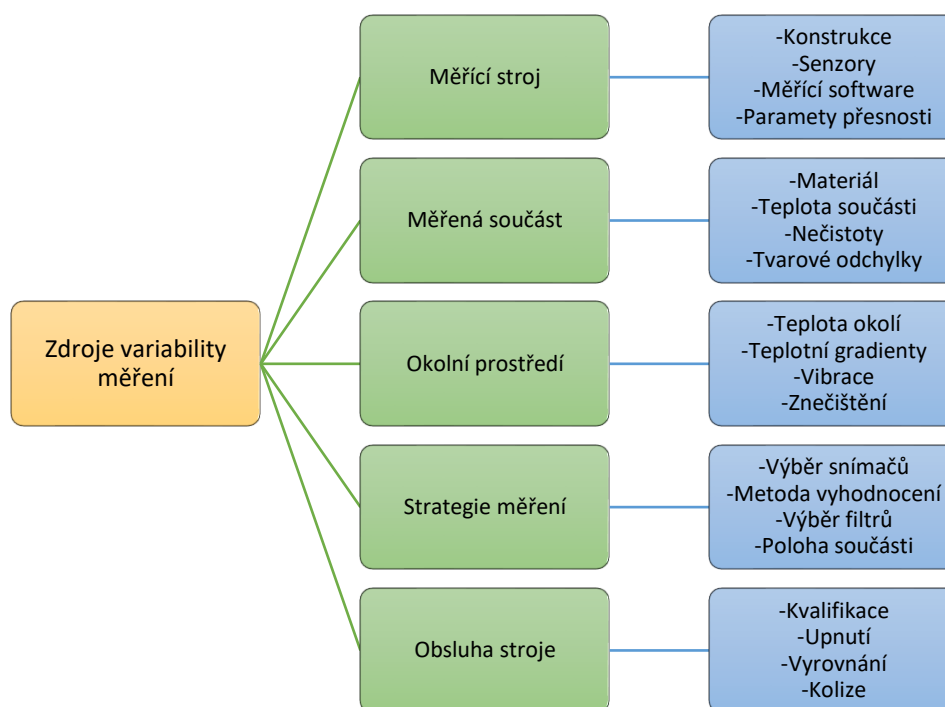
1.3.1 Rychlost

Zvýšení rychlosti v oblasti metrologie je zajišťováno dvěma způsoby. Zaprvé dochází k použití lehčích a kvalitnějších materiálů pro výrobu pohyblivých částí CMM. Zvyšuje se výkon pro polohování měřících částí stroje. To má za následek fyzické zrychlení měřícího procesu. Dále se zavádí přiblížení procesu výroby a procesu kontroly kvality. Kontrolní stanoviště se CMM nejsou pouze v laboratořích, ale umísťují se přímo do výrobních hal. Tím se zkracuje doba, která by byla potřebná k transportu dílu mezi výrobou a kontrolní laboratoří. Ke zlepšení tohoto problému by mohl přispět Průmysl 4.0, díky kterému by došlo k urychlení toku informací mezi výrobou a kontrolou kvality. Uvedeno na příkladu. CMM zjistí odchylku od jmenovitého rozměru. Pokud bude odchylka větší, nebo menší, než dovoluje velikost tolerančního pole, odešle se informace do výrobního stroje.

Ten upraví přesnost výroby změnou korekcí nástroje, čímž dojde k eliminaci zjištěných nepřesností. Informační tok mezi kontrolou a výrobou je tímto značně urychlen [6].

1.3.2 Způsobnost procesu měření

Způsobnost měření je v podstatě posouzení, které udává, s jakou přesností je možné za daných podmínek měřit konkrétní díl, konkrétní metodou s daným měřicím systémem. Ve značné míře je ovlivněna variabilitou měření, jenž má několik možných zdrojů. Přehled jednotlivých zdrojů je na obrázku 3.



Obrázek 3 - Zdroje variability procesu měření [5]

Budoucím vývojem CMM je možné ovlivnit jen nějaké zdroje variability. Měřenou součást vývojem CMM ovlivnit nelze. Obsluha stroje je z hlediska vývoje ovlivnitelná jen tak, že by šla úplně eliminovat, tudíž proces měření by se stal plně automatickou činností bez lidského faktoru.

Vliv okolního prostředí by do budoucna mohl být řízen díky Průmyslu 4.0. Teplota nebo vlhkost okolí by bylo možné řídit automaticky, čímž by se předešlo přenosu nežádoucích změn do procesu kontroly kvality [6].



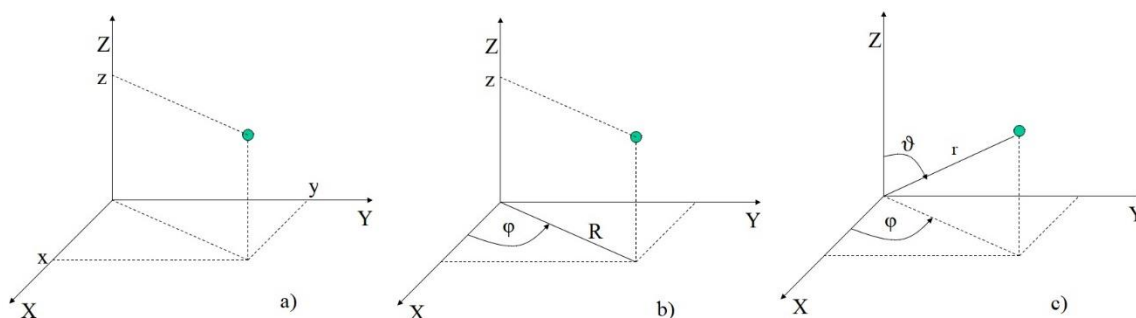
1.3.3 Flexibilita

Největší flexibility měření lze snadno dosáhnout kombinací měřících systémů. Zjednodušeně řečeno lze zkombinovat vícero měřících systémů na jednom stroji. Lze to nazvat multi-senzorový měřící systém. Například pro proces měření je přínosné, pokud dojde ke kombinaci dotykového a optického měření. Dotykové měření zajišťuje dostatečnou přesnost, pokud je to zapotřebí, ale tato přesnost je na úkor rychlosti měření. Kdežto optický měřící systém má vysokou rychlost měření, ale nižší přesnost. Proto se doslova nabízí skombinovat tyto dva senzory a v závislosti na nutné přesnosti používat jeden nebo druhý. Nejsložitějším úkolem při použití multi-senzorového měřícího systému je pak kombinace výsledků z jednotlivých senzorů tak, aby měly validní hodnotu. Vlastní flexibilita měřících systémů může být podpořena modulárním provedením jednotlivých snímačů [6].

2 Konstrukce CMM

Hlavní částí CMM je průměrná deska spolu s měřícím mechanismem, jehož součástí je i měřící dotek. Za pomoci měřícího doteku dochází ke snímání bodů z kontrolované součásti. Součástí stroje je také souřadný systém, jehož osy jsou navzájem kolmé a zároveň kolmé a rovnoběžné s průměrnou deskou [4].

Z konstrukce CMM také vychází, v jakém souřadném systému bude daný stroj pracovat. Mezi nejpoužívanější souřadné systémy patří kartézský, cylindrický a sférický. V každém z nich se poloha jednotlivých bodů popisuje v jiných souřadnicích. Kartézský systém popisuje polohu bodu dle souřadnic X, Y a Z, které jsou na sebe navzájem kolmé (viz obrázek 4a). V cylindrických souřadnicích je poloha bodu definována průvodičem R, úhlem natočení neboli azimutem φ a výškou v ose Z. Schéma je zobrazeno na obrázku 4b. Ve sférickém souřadném systému je poloha bodu popsána vzdáleností od počátku r a dvěma úhly, azimutem φ a úhlem elevace ϑ . Sférický souřadný systém je zobrazen na obrázku 4c [7].

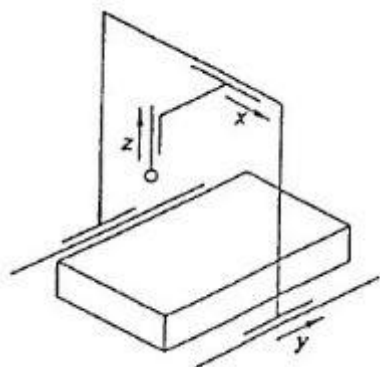


Obrázek 4 - Souřadné systémy a) kartézský, b) cylindrický, c) sférický [7]

Dle použitého souřadného systému lze souřadnicové měřící stroje dělit do dvou kategorií. Na kartézské souřadnicové měřící stroje a nekartézské.

2.1 Kartézské CMM

Jak název kapitoly napovídá jedná se o CMM, které pracují v kartézských souřadnicích. Jejich konstrukce je uspořádaná tak, že snímací systém se může pohybovat ve třech navzájem kolmých osách. Kartézské CMM se vyznačují co možná největším měřícím prostorem. Velikost měřícího prostoru je ovšem závislá na vlastní velikosti a typu stroje. V normě se uvádí několik možných typů CMM, jako jsou například výložníkový, portálový, mostový, výložníkový s pohyblivým stolem, stojanový a další. Na následujících obrázcích budou uvedeny nejpoužívanější typy CMM [4; 5; 8].

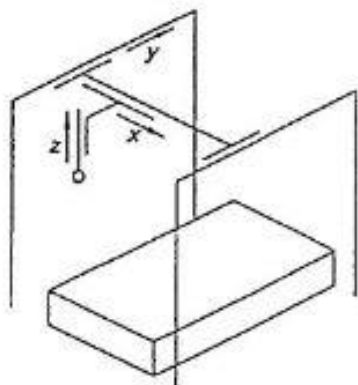


Obrázek 5 – Schéma portálového typu [8]



Obrázek 6 - Portálový CMM Zeiss Acura [9]

Portálový CMM je nejpoužívanějším typem souřadnicových měřících strojů v této době. Je to z důvodu portálové konstrukce, která má hned několik výhod. Patří mezi ně tuhost a velká kapacita měřícího prostoru, jehož trojrozměrná kapacita dovoluje měřit součást z pěti různých stran. Přičemž je výrobek upnut na měřícím stole. Názorná ukázka mostové konstrukce je zobrazena na obrázku 6. Způsob pohybu snímacího systému v jednotlivých osách zobrazuje obrázek 5. Je zde vidět, že pohyb v ose Y vykonává celý portál. Pohyb v ose X zajišťuje příčný support, na kterém je připojena pinola, která koná pohyb v ose Z [4; 10].

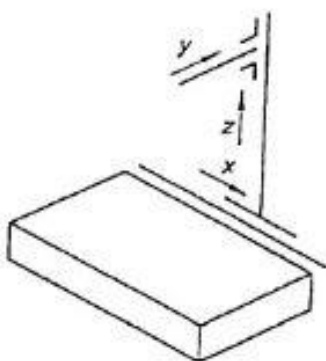


Obrázek 7 - Schéma mostového typu [8]



Obrázek 8 - Mostový CMM Zeiss MMZ e [11]

Mostový CMM je velmi podobný mostové konstrukci. Jedinou jeho odlišností je způsob pohybu v ose Y, který provádí pouze samotný „most“, který je tvořen nosníkem. Schéma stroje a jeho skutečné zastoupení v průmyslu je zobrazeno na obrázku 7 a 8. Má i obdobné výhody, jen se může vyznačovat ještě větší tuhostí a odolností proti otřesům. Mezi jeho nejvýznamnější přednosti však patří jeho možná velikost. Rozsah posuvu v ose Y může být až 24 metrů. Záleží na délce nosníkových pojezdů. Díky těmto vlastnostem je možné CMM s portálovou konstrukcí využívat pro velmi velké díly. Použití tohoto typu CMM je možné i přímo na pracovišti, nikoli pouze v laboratoři [4; 10; 12].

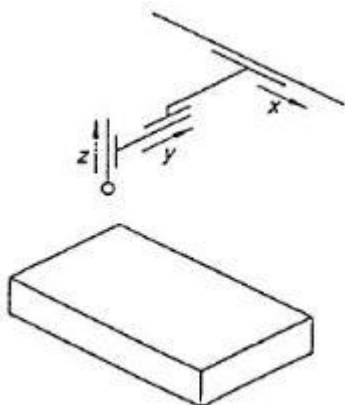


Obrázek 9 - Schéma stojanového typu s posuvným vodorovným ramenem [8]



Obrázek 10 - Stojanový CMM Zeiss Carmet [12]

Stojanový typ souřadnicového měřicího stroje má zásadní výhodu, kterou je jednoduchá konstrukce. Díky tomu umožňuje tento druh velmi dobrý přístup k měřené součásti. Jednoduchost této konstrukce dovoluje měřit i velmi rozměrné díly, u nichž je možné využít dvou CMM tohoto typu, přičemž každý stroj provádí měření z jedné strany. Jak je zobrazeno na obrázku 9, tak pohyb v ose X je zajištěn celým strojem, tedy stojanem. Polohování v ose Y a Z je udáváno vodorovným ramenem, jenž nese měřicí systém. Z uspořádání konstrukce proto vyplývá jedna nevýhoda, kterou je nízká dynamická tuhost stroje, jenž má za následek vnášenou nepřesnost měření. Tato nepřesnost je přímo úměrná velikosti stroje a váze měřicí sondy [3; 10].



Obrázek 11 - Schéma výložníkového typu [8]



Obrázek 12 - Výložníkový CMM Zeiss DuraMax [13]

Výložníková konstrukce dovoluje měřit součást ze čtyř směrů, což zajišťuje jednu z výhod této konstrukce, čímž je dobrá přístupnost k měřenému dílu. Na obrázku 11 lze vidět, že pohyb ve směru X vykonává rameno, v němž je uložena pinola, která vykonává pohyb ve směru Y. Snímací systém je umístěn na konci pinoly a vykonává vertikální pohyb v ose Z. Jelikož pinola nese celou váhu snímacího systému, je rozsah pohybu v ose Y značně omezen. Jinak by mohlo dojít ke ztrátě tuhosti, což patří mezi zásadní nevýhody

této konstrukce. Z toho důvodu se tento typ používá především ke kontrole součástí dlouhých rozměrů, při čemž se díl umístí největším rozměrem rovnoběžně s osou X. Jeden z příkladů CMM výložníkového typu lze vidět na obrázku 12.

2.2 Konstrukční provedení kartézských CMM

Největší nároky z hlediska konstrukce CMM jsou kladeny na základní neboli průměrnou desku a na vodící plochy. Je u nich požadována vysoká přesnost geometrických tolerancí rovinnosti a kolmosti. Předepsané hodnoty rovinnosti vodících ploch se pohybují okolo hodnoty 2 $\mu\text{m}/\text{m}$. Pro představu operací lapování je možné dosáhnout „jen“ 5 $\mu\text{m}/\text{m}$. Z toho důvodu jsou vodící plochy CMM broušeny na speciálních bruskách [4].

Základní deska

Pro zachování přísných geometrických tolerancí se volí kamenná základní deska z granitu. Tento materiál napomáhá zachovat geometrickou přesnost díky své nízké teplotní roztažnosti a velmi dobré schopnosti pohlcovat rázy. Zároveň přispívá k velké stabilitě stroje, za což je zodpovědná vysoká hmotnost kamene. Pracovní plocha desky je broušena. V pravidelných rozestupech jsou závitové otvory, které slouží pro upínání. Upnutí lze provádět za pomoci šroubů, upínek nebo upínacích přípravků [4].

Vedení

Pohyb měřicího mechanismu musí být u CMM plynulý, snadný a přesný. Proto je nutné zajistit co možná nejpřesnější vedení, které bude disponovat nízkým koeficientem tření. Bude mít nízké opotřebení a zajistí maximální tuhost pohybového ústrojí stroje. Z těchto důvodů se velmi často používá valivé vedení s kuličkovými nebo válečkovými elementy. Pro zvětšení přesnosti se navíc využívá uložení za pomoci aerostatických ložisek, které vymezují možné pohyby ve všech osách. Takto konstruované vedení je náročné na výrobu a čistotu vzduchu pro vzduchová ložiska [4].

Odměřovací systém

Přesnost CMM zásadně ovlivňuje metoda odměřování polohy jednotlivých os. Používají se pro to keramická nebo skleněná pravítka, na kterých je laserově vypálen rastr. Stupnice má 50 až 100 dílků na 1 milimetr. Každá osa má vlastní pravítko. Vlastní odměřování probíhá na principu fotoelektrického snímání, které má rozlišovací schopnost 1 μm [5; 4].

2.3 Nekartézské CMM

Jak název kapitoly napovídá, bude se jednat o CMM, jenž nepracují v kartézském souřadnicovém systému. Souřadnice vyhodnocují v cylindrickém nebo sférickém souřadném systému (viz obrázek 4b, c). Tomuto faktu je samozřejmě upravena konstrukce daného měřicího zařízení.

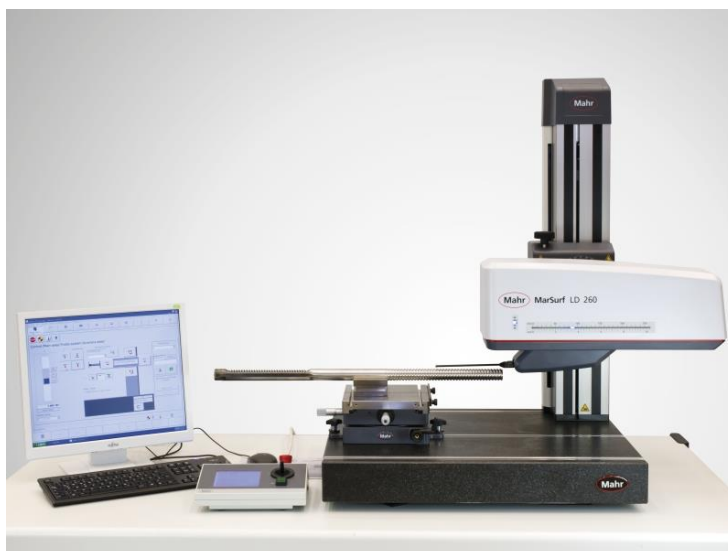
2.3.1 CMM s cylindrickým souřadným systémem

Jedním ze strojů, který vyhodnocuje polohu bodů v cylindrických souřadnicích je MMQ 150 od firmy Mahr, který můžete vidět na obrázku 13. V popisu tohoto stroje je uvedeno, že disponuje osami X, Z a C. Z definice cylindrického souřadného systému vyplývá, že se poloha určuje v souřadnicích r, Z a ϕ . Tudíž vzdálenost od osy otáčení je na stroji určena souřadnicí X, výšková souřadnice bodu je Z a úhel natočení představuje osa C. Tento CMM se vyznačuje velkou přesností otáčení osy C. Je vhodný pro kontrolu rotačních součástí zejména z pohledu tvarových, ale i rozměrových tolerancí [14].



Obrázek 13 - CMM na kontrolu tvarů Mahr – MMQ 150 [14]

Jednou ze speciálních kategorií měřících strojů jsou konturografy. Tedy stroje, které jsou používány pro měření kontury. A konkrétně tento typ, který lze vidět na obrázku 14, je schopen měřit jako konturu, tak profil drsnosti povrchu. Délka dráhy vedení je 260 mm. Maximální snímaná délka je 130 mm, přičemž uváděná rozlišovací schopnost je 8 nm. Ačkoli tento typ stroje určuje polohu bodů pouze ve dvou souřadnicích, tak lze říci, že využívá cylindrický souřadný systém. Jelikož úhel natočení lze považovat za konstantní.



Obrázek 14 - Profiloměr Mahr [15]

Oba tyto nekartézské CMM se dříve používali pouze pro měření geometrických tolerancí kruhovitosti a válcovitosti, respektive kontury. Používala se při tom posuvová jednotka se souřadnicovým zapisovačem. S dalším vývojem měřicí techniky však bylo možné i na těchto typech strojů určovat polohu bodů ve vícero osách, čímž je možné je považovat za plnohodnotné souřadnicové měřicí stroje. Svou funkcí však patří do skupiny, která má přesně specifikovaný účel použití a druh součástí, jenž může měřit.

2.3.2 CMM se sférickým souřadným systémem

Tyto souřadnicové měřicí stroje využívají určování polohy bodu ve sférickém souřadném systému, jehož schéma lze vidět na obrázku 4c. Do této kategorie patří CMM, které mohou používat bezkontaktní i kontaktní snímání bodů. Záleží na druhu měřené součásti, její velikosti a dostupnosti [5].

Laser Radar

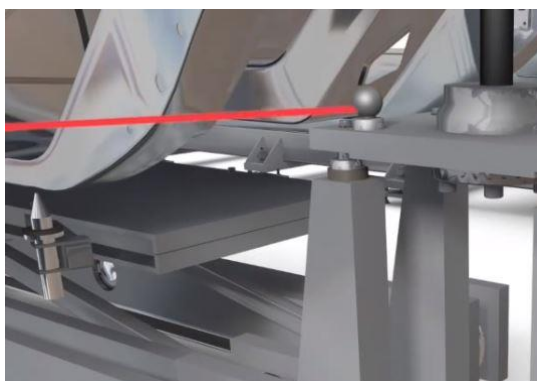
Jedná se o měřicí technologii, která je založena na principu laserového měření. S příchodem této technologie bylo umožněno automatické měření přímo na výrobních linkách v automobilovém i leteckém průmyslu. Ilustraci měření lze vidět na obrázku 15. Při zachování velmi vysoké kvality měření, jenž dosahují například CMM s kartézským souřadnicovým systémem (viz kapitola 2.1). Tento měřicí stroj využívá bezkontaktního způsobu měření a je možné ho naprogramovat do plně automatizovaného procesu. Laser radar je schopný měřit až do vzdálenosti 50 metrů. Běžný interval měřených vzdáleností se pohybuje od 2 do 30 metrů, přičemž jeho přesnost je od 24 μm do 300 μm . Zařízení je možné umístit na stojan nebo na šestiosé robotické rameno. Laser radar od společnosti

Nikon může snímat až 2000 bodů za vteřinu na nejrůznějších materiálech, mezi které patří i sklo [16].

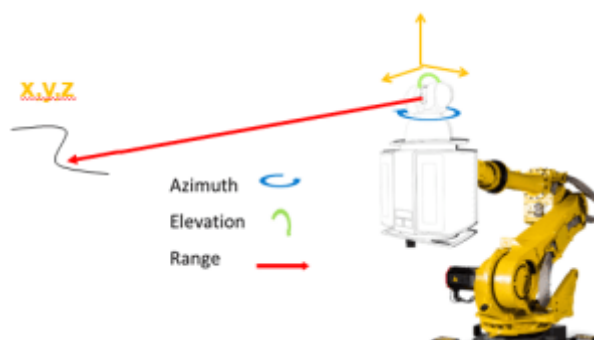
Princip měření spočívá ve snímání bodů ve sférickém souřadném systému, v němž je nutné určit úhel azimutu a elevace a vzdálenost bodu. Úhly se určují pomocí enkodéru a vzdálenost se měří metodou „time of light“ jejíž princip bude vysvětlen v následující kapitole. Vlastní proces měření začíná nejprve zaměřením předem určených bodů na kalibračních objektech. Kalibrační objekty mohou být umístěny přímo na měřeném dílu, na upínacím přípravku nebo v dosahu laser radaru. Proces kalibrace je vhodné provést před každým měřením nového dílu. Po kalibraci začne laser radar měřit stanovené body, které lze předem naprogramovat v offline režimu řídicího softwaru dle CAD modelu. Kartézské CMM



Obrázek 15 – Měření karoserie automobilu pomocí laser radaru [16]



Obrázek 16 - Kalibrace laser radaru [16]



Obrázek 17 - Souřadný systém laser radaru [17]

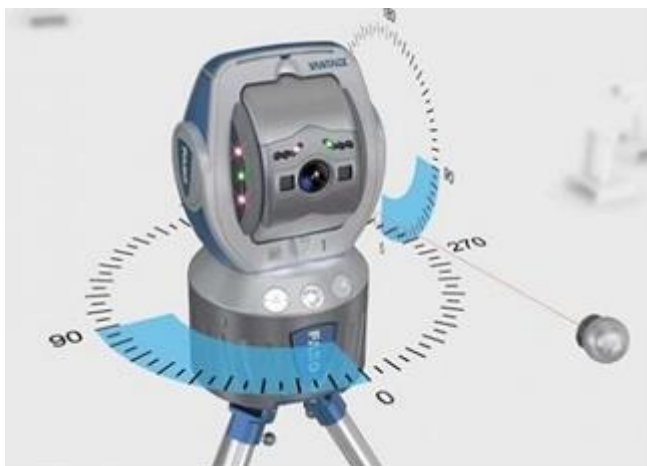
Laser Tracker

Laser tracker je velmi přesné měřicí zařízení, které využívá principu laseru pro kontrolu kvality. Používá se především pro měření velkoobjemových součástí přímo ve výrobním prostoru. Je vysoce efektivní, jelikož nevyužívá klasické dotykové měření. Vlastní

přístroj se skládá ze stojanu, optické hlavice a dvou enkodérů, které snímají úhel azimutu a elevace.

Princip měření spočívá ve sledování polohy sondy laserovým paprskem. Sondou je myšlen objekt, který lze vidět na obrázku 18 v pravém dolním rohu. Nebo zařízení na obrázku 19, které slouží pro měření málo rozměrných detailů na součásti. Sonda v sobě skrývá koutový odražeč, do jehož středu musí laserový paprsek mířit, aby nedocházelo k chybnému měření. Sondou lze pohybovat manuálně nebo automaticky. Enkodéry sledují úhly elevace a azimutu, jak bylo řečeno výše. Pro zjištění polohy ve sférickém souřadném systému je nutné znát ještě vzdálenost bodu. Tuto vzdálenost laser tracker zjišťuje pomocí metody „time of light“. Ta je založena na měření rozdílu času při emitaci laserového paprsku, u něž známe charakteristiku, a jeho návratu do zařízení. Pro měření vzdálenosti je možné využít i interferometru, což je přesnější. Je ale nutné zajistit neustálý vizuální kontakt mezi laser trackerem a sondou.

Pohybem sondy po součásti jsou zjišťovány souřadnice bodů, které jsou přenášeny do počítače, kde software vytváří obraz měřené součásti. Nejprve se měří body na povrchu součásti, přímky, kružnice a oblouky. Takto vytvořený model měřené součásti lze snadno porovnat s CAD modelem přímo v daném softwaru. Poté lze provést vyhodnocení přesnosti požadovaných rozměrů.



Obrázek 18 - Laser Tracker [18]



Obrázek 19 - SMR odražeč [19]

Jednou z největších výhod tohoto měřicího stroje je jeho mobilita, kdy je velmi snadné stroj převézt na místo měření a ušetří se čas a finanční zdroje pro převoz objemné součásti. Laser tracker je možné používat v leteckém, energetickém, nebo i stavebním průmyslu. Je možné ho použít i pro reversní inženýrství [5; 20; 21].

Měřicí ramena

Nazývají se tak souřadnicové měřicí stroje, které pracují ve sférickém souřadném systému a je možné je přenášet. Tato vlastnost je velice výhodná, jelikož pro kontrolu značně rozměrné a těžké součásti není nutné tuto součást transportovat na měřicí stanoviště. Je možné, aby obsluha přijela spolu s měřicím ramenem na místo výroby a přímo v provozu bylo provedeno měření. Měřicí ramena se nepoužívají pouze pro kontrolu kvality. Lze je použít i pro reversní inženýrství, kdy je z reálné součásti vytvářen CAD model. Pohyb snímací hlavy je zajištěn manuálně pomocí obsluhy, která zároveň pohybuje celým ramenem. Měřicím prostorem, kde je rameno schopné snímat body, je koule o určitém poloměru. Tento poloměr je závislý na délce jednotlivých částí ramene, které jsou vyrobeny z lehkých hliníkových slitin, nebo uhlíkových vláken. Měřicí rameno se skládá ze základny s upínacím systémem a kloubů, díky nimž lze zařízením snadno pohybovat. V kloubech jsou umístěny enkodéry, které určují polohu díky úhlovému vychýlení. V závislosti na počtu kloubů dělíme ramena na 6-osá a 7-osá. Lze říci, že čím více os, tím snazší je pohyb ramena. Nicméně s nárůstem počtu os, se do měření vnáší větší nepřesnost, vlivem dalšího přepočítávání úhlového natočení. V tabulce 1 je přehled dosažených přesností v různých kategoriích, při různé délce ramen. Potvrzuje se zde, že s přidáním další osy, dojde ke snížení přesnosti.

Na obrázku 20 je zobrazeno 7-osé měřicí rameno, u kterého je přidán otočný stůl pro upínání součásti, což představuje osmou osu. Dosahuje se tím snadnější manipulace při měření, ale ztrácíme zde možnost měření velkých a rozměrných dílů [5; 22; 23].



Obrázek 20 - Faro Arm 8 Axis Quantum [24]



Tabulka 1 - Přesnost měřících ramen Faro [25]

Measurement range	SPAT ¹ (mm)		EUNI ² (mm)		PSIZE ³ (mm)		PFORM ⁴ (mm)		LDIA ⁵ (mm)	
	6 axis	7 axis	6 axis	7 axis	6 axis	7 axis	6 axis	7 axis	6 axis	7 axis
Quantum S 1.5m	0.012	/	0.023	/	0.008	/	0.015	/	0.027	/
Quantum S 2.5m	0.018	0.022	0.028	0.032	0.010	0.012	0.020	0.025	0.035	0.048
Quantum S 3.5m	0.036	0.045	0.056	0.070	0.020	0.024	0.040	0.045	0.070	0.100
Quantum S 4.0m	0.045	0.055	0.068	0.085	0.024	0.030	0.045	0.050	0.086	0.120

¹SPAT – Single Point Articulation Test

²EUNI – Distance Error between two points comparing measured vs nominal values

³PSIZE – Sphere Probing Size Error comparing measured vs nominal values

⁴PFORM – Sphere Probing Form Error

⁵LDIA – Sphere Location Diameter Error

3 Systémy pro upínání dílů v rámci rozměrové kontroly

Jedním z faktorů, které ovlivňují přesnost měření je kvalitní a pevné upnutí měřené součásti do měřicího prostoru CMM, čímž lze zvýšit jeho produktivitu. Upnutí by mělo zajistit přesnou polohou součásti a zároveň nebránit snímacímu systému v přístupu k měřeným plochám. Je důležité zajistit opakovatelnost uchycení daného dílu. To platí především při kontrole součástí ze sériové výroby. Při čemž se kontrolují rozměry na stejných součástech opakujícího se typu a tvaru. Rovněž je důležité, aby upínání bylo snadno proveditelné a jednoduché na umístění dílu. Ať už je upínání prováděno obsluhou stroje, tedy manuálně, poloautomaticky nebo je to plně automatizovaný proces bez lidského faktoru. Automatické upínání je použito na obrázku 15, kdy se měřený díl pohybuje po automatické lince.

V praxi je upnutí součásti realizováno za pomoci upínacích přípravků, které mohou být dvojího typu. Běžně používaným typem je jednoúčelový přípravek, který je vyvinut za účelem upínání pouze jedné a té samé součásti. Má jednoduchý tvar a zpracování a je vyráběn s důrazem na celkově nízké výrobní náklady.

Firmy, které se zabývají měřicí technikou, však přišly s modulárním typem upínacích systémů. Jedná se v podstatě o stavebnicovou sadu, která má určitý počet dílů různé velikosti a různého použití. Z těchto jednotlivých elementů lze sestavit vhodný upínací přípravek pro jakýkoliv díl, jenž potřebujeme měřit. Záleží jen na počtu elementů v daném setu a na jejich velikosti. Zjednodušeně si tento typ lze představit jako stavebnici, kterou lze přestavit kdykoli je potřeba upnout jinou součást [26].

3.1 Modulární upínací systémy

Současný ekonomický rozvoj výrobního průmyslu požaduje po výrobcích co možná nejkratší dodací lhůty produktů za co možná nejnižší cenu. Aby byl podnik konkurenceschopný měl by usilovat o snížení nákladů jak v oblasti výroby, tak v oblasti kontroly kvality. Je důležité snižovat krátkodobé i dlouhodobé náklady spojené s celkovým procesem výroby součásti. Jednou z možností, jak snižovat náklady je použití modulárního upínacího systému. Nabízí potřebnou flexibilitu a opakovatelnost, jenž jsou pro přesný proces kontroly kvality nepostradatelné [27].

Pořízení modulárního upínacího systému, který lze použít i pro budoucí projekty je finančně náročný krok. Nelze se však na to dívat jako na náklady spojené s výrobou. Je potřeba se na to podívat jako na investici do budoucna, která zajistí rychlou flexibilní změnu

při kontrole kvality a ušetří dlouhodobé náklady. V porovnání s jednoúčelovým přípravkem lze modulární upínací systém snadno a rychle přestavit pro měření odlišné součásti. Jednoúčelový upínací systém zahrnuje dlouhou dobu vývoje a výroby, což je v dnešním silném konkurenčním prostředí na trhu nevýhodné [27].

Hlavním krokem při pořizování modulárního upínacího systému je jeho správná volba. Lze si to představit, jako když se pořizuje nástroj. Je vhodné si pořídit takový, který umožní splnit co největší spektrum našich požadavků. Stejně jako nemá smysl si pořizovat takový nástroj, který nikdy nebude použit. Při výběru modulárního upínacího systému je několik důležitých kritérií. Patří mezi ně druh měřených součástí, použití upínacího systému, velikost a druh CMM, obor a cíle společnosti, ale i délka měřících programů. Z těchto informací lze určit, z jakých prvků by se měl upínací systém skládat, kolik prvků by měl obsahovat a od jakého dodavatele bude nejvhodnější. Správným posouzením potřeb společnosti lze vybrat flexibilní upínací modulární systém, na který lze nahlížet jako na správnou finanční investici [27].

Jedním z omylů při řešení upínacích systémů je fakt, že upínací přípravek by měl být přesný. Není tomu tak. Nepřesnosti, které do procesu kontroly kvality vnáší upnutí měřené součásti lze vykompenzovat pomocí softwaru. Důležitějším ukazatelem kvalitního upínacího systému je jeho opakovatelnost a reprodukovatelnost (R&R). Jednou z klíčových vlastností, jak zajistit dobrou opakovatelnost, je přesnost CMM v době měření. Dalším ovlivňujícím faktorem jsou schopnosti operátora a vlastní software. Hlavním úkolem operátora je definice lokálního souřadného systému, čehož dosáhne vyrovnáním součásti. Vyrovnání může být provedeno různými způsoby, při čemž provedení se liší v závislosti na operátorovi. To může mít zásadní vliv na opakovatelnost a reprodukovatelnost měření [26].

Dalším mylným tvrzením je požadavek, že měřené součásti musí být v CMM upnuty ve stejné poloze, jakou zaujímají ve finálním sestaveném produktu. Týká se to především automobilového průmyslu. Jedná se o nesmyslný požadavek, jelikož měřící software snadno umožňuje natočení součásti do libovolné polohy. Tudíž je možné zvolit nejvhodnější upnutí, bez ohledu na finální polohu dílu v konečné sestavě. Rovněž není nutné, aby kontrolovaná součást byla upnutá za základny geometrických tolerancí. Ve skutečnosti tomu tak být nemusí a součást může být upnuta za jiné prvky. Následně je pak možné CMM řídit tak, že při kontrole bude snímat body přímo ze stanovených základen [26].

Modulární upínací systémy nabízejí velké množství variant, jak upnout jednu součást. Proto je důležité řídit se snadným přístupem, kterým je jednoduchost. Je potřeba vymyslet takové upnutí, které bude mít jednoduchý návrh a bude snadno proveditelné. Je

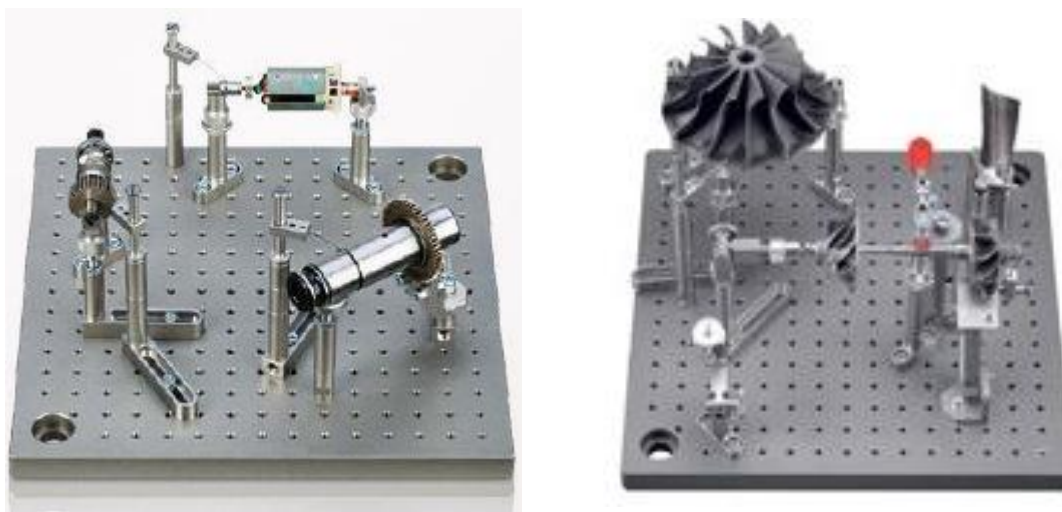
možné se řídit poučkou, že čím jednodušší upínací přípravek bude, tím lepší přístupnost bude k měřené součásti. Jednoduchost designu přípravku také snižuje požadavky na kvalifikaci obsluhy CMM [26].

3.1.1 Zeiss – Carfit

Jedním z výrobců modulárních upínacích systémů je německá společnost Zeiss, která vyvinula pro potřeby modulárního upínání svůj vlastní systém Carfit. Nabízejí standardizovaný modulární systém, jenž je tvořen jednoduchou architekturou. Je cenově dostupný a díky své flexibilitě a přizpůsobivosti je vhodná pro většinu aplikací. Je vhodný pro konstrukci prototypů, výrobu nástrojů, ale je možné ho použít i ve vývoji nebo v sériové výrobě. Jednotlivé typy upínacích systémů se liší dle velikosti upínané součásti, což ovlivňuje množství komponent [28].

CMK

Tato verze upínacího systému je vhodná pro malé součásti. Je dodávána v základní multifunkční verzi, čímž je cenově efektivní. Je vhodné jí použít pro flexibilní upínání prizmatických nebo rotačních součástí. Je snadno sestavitelná a lze ji lehce přestavit pro upnutí nové součásti. Tato verze bohužel není kompatibilní s verzí CMP, o které se hovoří v následujícím odstavci [29].



Obrázek 21 - Zeiss Carfit CMK [28; 29]

CMB

Základním prvkem tohoto setu je tvrdá rastrová deska, ve které jsou vyvrtané závitové otvory. Stavebnicový princip, který je definován pomocí tyček a šroubů, umožňuje rychlé a efektivní sestavení přípravků svépomocí. Tento set je vhodné používat pro upínání

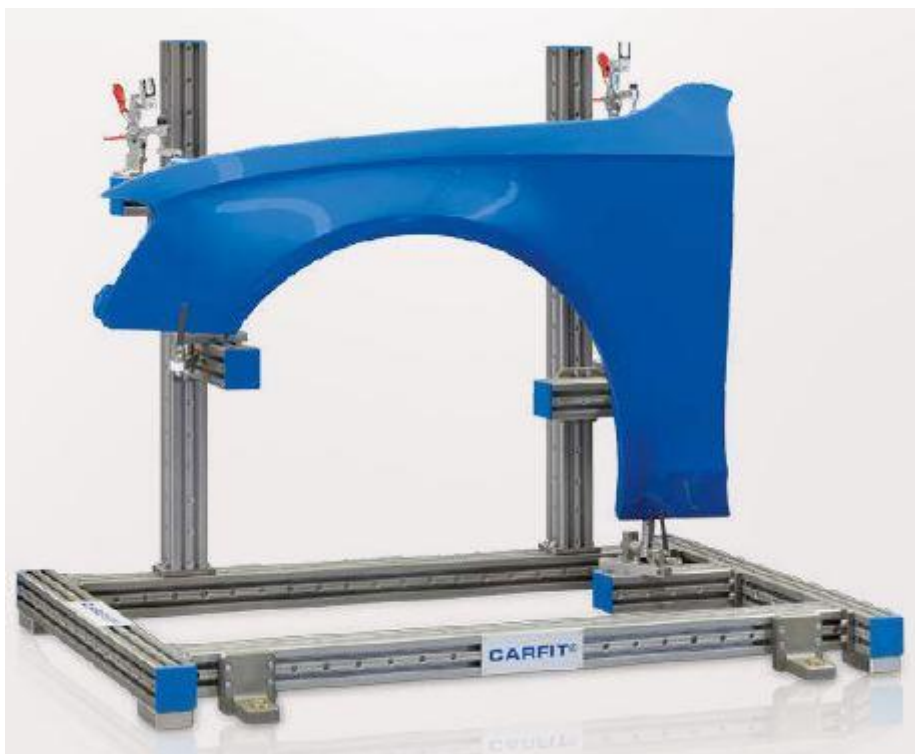
malých nebo středně velkých součástí, jenž je nutné měřit ve vodorovné poloze. Názorná ukázka použití setu je na obrázku 22. Set je k dostání v několika variantách. Kromě základních variant je možné si ho objednat i ve variantě *Prismatic* (Prizmatické), která je vhodná pro upínání rotačních komponent. A ve variantě *Magnetic* (Magnetické), jenž je uzpůsobená pro upínání plechových výlisků. Celý tento set je kompatibilní se sety CMP a CME, o kterých se bude hovořit v následujících odstavcích [29].



Obrázek 22 - Zeiss Carfit CMB [29]

CMP

Tato řada je tvořena základním kamenem, který představuje hliníkový profil různých délek. Je na něm opět umístěn rastr ze závitových děr. Z těchto profilů se sestaví „kostra“ přípravku, na kterou lze umístit upínací prvky v různých podobách. Používá se především pro upínání velkých součástí, u nichž je vhodné měřit je ve svislé poloze [30]. Příklad použití tohoto upínacího systému je možné vidět na následujícím obrázku 23.



Obrázek 23 - Zeiss Carfit CMP [29]

CME

Tato řada umožňuje využít všech šesti stupňů volnosti, díky čemuž je možné upnout součást v jakékoli možné poloze. Z tohoto pohledu se jedná o nejvíce univerzální řadu, kterou Carfit nabízí. Snadno lze upnout i geometricky složité součásti, které vycházejí z výroby prototypů nebo nástrojů. Komponenty jsou kompatibilní s CMB a CMP [29].



Obrázek 24 - Zeiss Carfit CME [29]

CMX a CMO

Obě tyto řady jsou tvořeny stejným základním prvkem jako řada CMP. Tedy osmihranný hliníkový profil se závitovými otvory rozmístěnými v pravidelných rozestupech.

Řada CMX by se dala nazvat řadou CMP. Jen je složena z podstatně většího množství komponent. Tím se mění i její hlavní účel použití, který je založen na kontrole velkých montážních celků. Tuto řadu by bylo možné použít například pro rozměrovou kontrolu celé karoserie automobilu. Ilustrace této řady je na obrázku 25 [31].



Obrázek 25 - Zeiss Carfit CMX [31]

Řada CMO je primárně určena pro tvorbu přípravků, které slouží pro upínání součástí na skenování. Tvoří ji základní rám se stojany s otočnými aretačními klouby a do nich se uloží přípravek. Díky tomuto konstrukčnímu řešení je možné součásti otáčet kolem jedné osy v rozsahu 360 stupňů. To zajistí dostatečný rozsah skenování, aby byly naskenovány všechny oblasti měřeného dílu [32].



Obrázek 26 - Zeiss Carfit CMO [32]

3.1.2 Renishaw

Modulární upínací systém od společnosti Renishaw přesně splňuje definici slova modulární. Za jejich největší výhodu je možné považovat skutečnost, že je možné si objednat upínací systém, jenž bude tvořen jen takovými komponentami, které budou třeba.

Jelikož je možné sestavit plně kompatibilní přípravky, lze si určit nejsložitější součást na upnutí, z jejíhož přípravku potenciaálně složit další, méně složité přípravky. V nabídce společnosti jsou samozřejmě i sady, v nichž jsou předem stanovené komponenty. Tyto sady lze použít jako počáteční investici, ke které lze doplňovat další potřebné komponenty.

Pro ulehčení tvorby vlastních modulárních přípravků vyvinula společnost svůj software Renishaw FixtureBuilder, jenž umožňuje 3D modelovat a plánovat budoucí přípravek, umístit upínací komponenty a naprogramovat měření v off-line režimu. Software podporuje většinu CAD formátů a lze do něj vložit model měřeného dílu, čímž je možné vytvořit celkovou konfiguraci měřené součásti i upínacího přípravku [33].

Upínací přípravek se skládá z následujících komponent, které lze rozdělit do několika kategorií. Některé kategorie jsou pro tvorbu přípravku nezbytné, jiné pouze rozšiřují možnosti použití upínacího systému. Kategorie jsou následující: upínací desky, podpěry, magnety, upínky nastavitelné prvky, příslušenství a stavěcí věže [34].

Nutnou základní součástí modulárního systému od společnosti Renishaw je **upínací deska**. Je v ní umístěn rastr se závitovými otvory, které definují velikost dalším upínacím prvkům. Závitové díry v základní desce mohou mít rozměr M4, M6 nebo M8. Dalšími důležitými rozměry jsou výška, šířka a délka, které se pohybují v rozmezí od 12,7x300x300 milimetrů do 19x600x600 milimetrů [35].

Dalšími nezbytnými komponentami, které bude nutné použít jsou **podpěry**. Slouží k vyrovnaní a polohování měřené součásti tak, aby byla umístěna ve vhodné výšce. Podpěry se rovněž používají pro vypořádání upínacích prvků, jenž následně drží měřený dílec. Podpěry jsou definovány svou výškou, průměrem a velikostí závitu, díky kterému lze podpěry snadno kombinovat a prodlužovat. Není však možné kombinovat dvě různé velikosti závitu, jelikož neexistuje potřebná redukce. Délkové rozměry podpěr se pohybují v intervalu od 5 do 150 milimetrů a velikost průměrů je od 9 do 25 milimetrů. Na výběr je ze dvou materiálů, kterými jsou hliníková slitina a ocel. Na obrázku 28 jsou podpěry zobrazeny jako černé válcové součásti [36].

Mezi následující součásti tohoto modulárního upínacího systému patří **upínky**. Nejsou úplně nutnou součástí, protože pokud se měří velká a těžká součást nejsou upínky

potřebné, jelikož díl udrží svou pozici díky své vlastní tíze. Upínky jsou na obrázku 28 vyobrazeny oranžovou barvou. V nabídce jich existuje více druhů. Mezi sebou se liší konstrukcí, z čehož vychází i rozdílná upínací síla. Základním principem, jak dochází k upnutí, je vzpěr. V nabídce upínacích součástí však jsou i jiné konstrukce, kde dochází k upnutí jiným způsobem. Jsou zde tlačné upínky, malé svěráky i sklíčidla [37].

Další možností, jak upnout součást je za použití **magnetů**, které lze zařadit do další kategorie. Používají se především pro upnutí výlisků z tenkého plechu. Konstrukčním provedením připomínají běžné vzpěry, ale v jednom konci je umístěn magnet. Vyrábějí se v běžném plochém provedení, ale i v prizmatickém tvaru, který je vhodný pro upínání válcových součástí. Stejně jako vzpěry se dělí dle průměru a výšky [38].

Jednou z další možné kategorie, do které lze modulární upínací přípravky rozdělit jsou **stavěcí věže**. Svou podstatou zastávají stejnou funkci jako podpěry, ale mají větší rozsah v použitelnosti. Jedná se o čtvercové tyče, jenž mají ve svých stěnách rastr se závitovými otvory, do nichž je možné umístit ostatní komponenty. Jejich nejčastější použití je pro upínání velikých součástí nebo v případě potřeby svislého upnutí, jako je zobrazeno na obrázku 28 na levé straně [39].

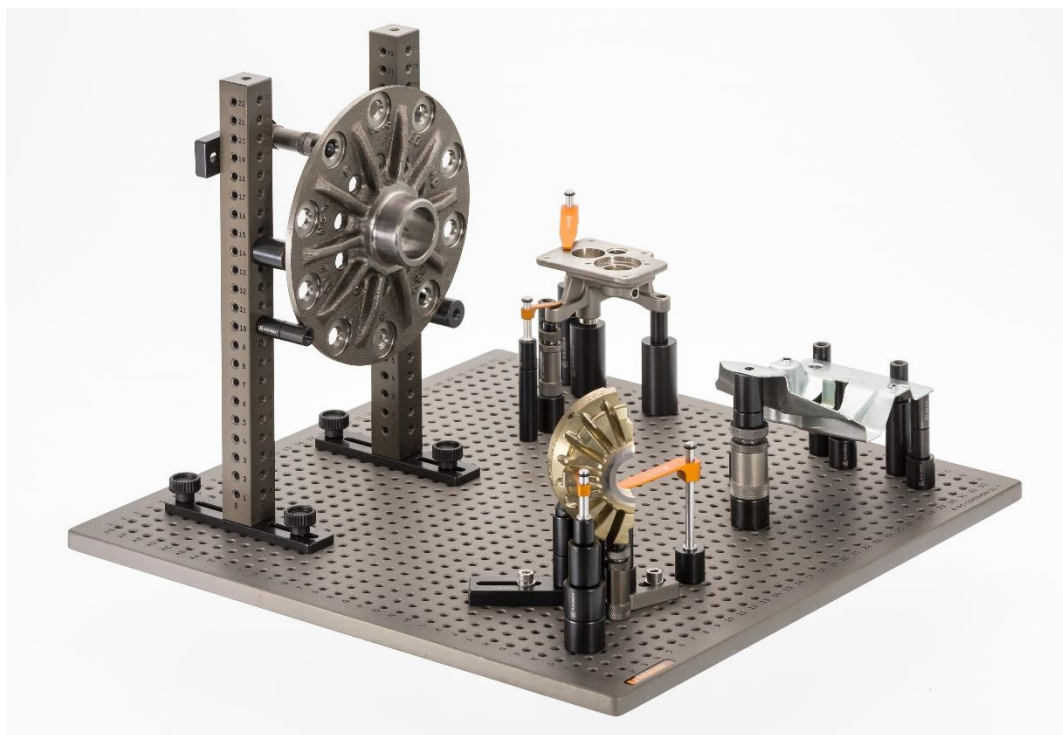
Následující kategorii je možné označit jako **nastavitelné prvky**. Z těchto prvků bude třeba vybírat, pokud bude nutné upnout nějakou složitější součást. Díky těmto komponentám lze dosáhnout vyšší flexibility při vyrovnání tvarově složitějších součástí. Patří sem výškově, délkově a úhlově nastavitelné prvky. Lze sem také zařadit úhlově nastavitelné desky, ve kterých jsou opět rastrově rozmístěné závitové otvory specifické velikosti [40].



Obrázek 27 - Nastavitelné prvky Ranishaw a) výškově b) úhlově c) úhlová deska [40]

Poslední skupinou, do které lze upínací součásti kategorizovat, je **příslušenství**. Lze sem zařadit jednu z nepostradatelných podskupin a tou jsou dorazové prvky. Dorazové

prvky jsou nezbytné pro každý upínací přípravek, jelikož právě na nich je měřená součást ustavená. V případě upínací stavebnice Renishaw však není nutné, aby v kontaktu se součástmi byly pouze dorazové prvky. Kvalita jednotlivých komponent je taková, že měřený díl může být ustaven i přímo na podpěrách. Jak na jejich válcové ploše, tak na rovné ploše válce, jak je možné vidět na obrázku 28 (upnutí disku) v levé části.



Obrázek 28 - Upínací systém Renishaw [41]

3.1.3 Tetrafix

Upínací systém Tetrafix je založen na zcela odlišném designu než většina ostatních upínacích systémů. Je zde využit konfigurační systém trojnožky, který vykazuje značně odlišné možnosti nastavení, z čehož můžou vycházet některé výhody. Trojnožka je vyrobena z kompozitních materiálů a v prostoru vykazuje šest stupňů volnosti, díky čemuž značně snižuje dobu modifikace. Díky svým materiálovým vlastnostem zajišťuje přesné a stabilní zachování pozice i v případě, že bude ve stejné pozici delší dobu [42].

Základní součástí je tedy kompozitní trojnožka, jenž se připevňuje do základové desky. Upevnění trojnožky v přesně definované poloze je zajištěno pomocí aretačních šroubů. Každá noha má vlastní aretační šroub plus jeden šroub ve spojovacím kloubu všech nohou. Deska nemusí být přímo od společnosti Tetrafix, postačuje, aby byla opatřena otvory s metrickým závitem příslušné velikosti. Do těchto otvorů se umísťují konektory, které mají kulovou hlavu. Ta zprostředkovává sférickou vazbu mezi konektorem a nohou

trojnožky. Na dolní části nohy je kulová jamka, jenž má rovněž svůj vlastní aretační šroub pro upevnění polohy. Na ilustračním obrázku 29 je možné spatřit rozsah možností tohoto upínacího systému. Je zde také vidět, že hony trojnožky lze prodloužit prakticky o dvojnásobek své délky, bez toho, aniž by systém ztrácel potřebnou přesnost a tuhost.



Obrázek 29 - Upínací systém Tetrafix [42]

Na vrchol trojnožky je možné umístit kalibrační box, jenž je složený z podložek, které jsou vůči sobě nastavitelné. Tím je možné zajistit přesnější korekci polohy upnutého dílu. Kalibrační box existuje ve dvojnásobném provedení, lišící se počtem stupňů volnosti. Jak lze vidět na obrázku 30 je možné box nastavit v šesti nebo ve čtyřech směrech.

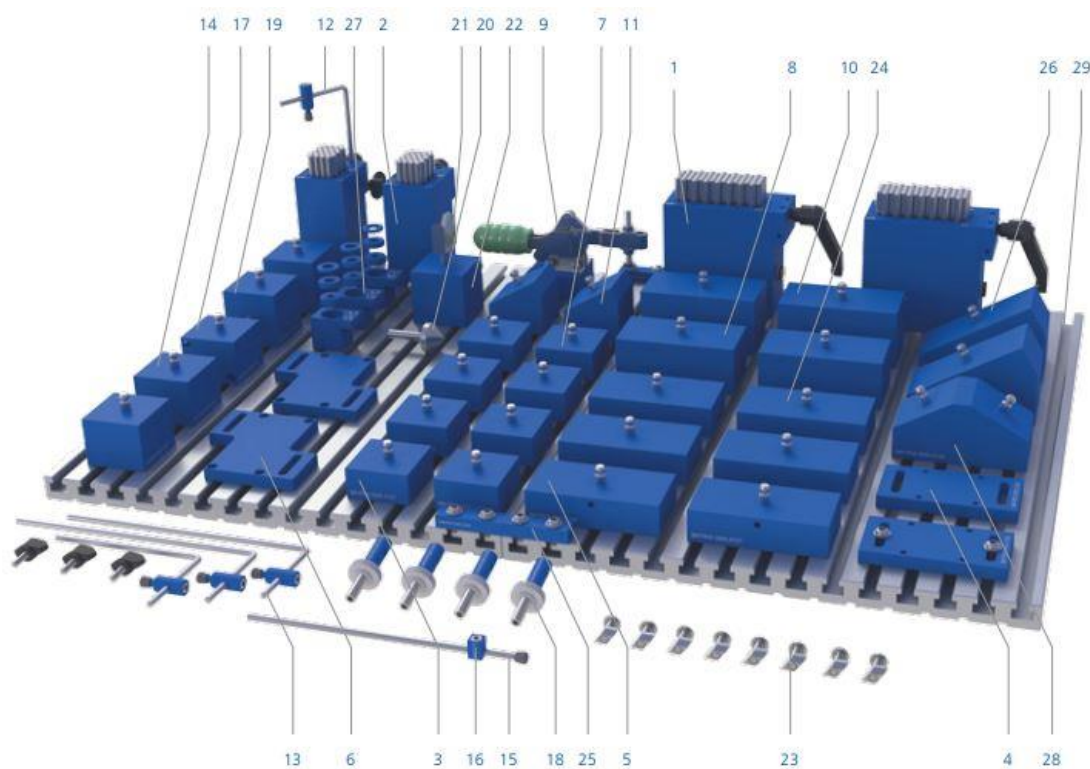


Obrázek 30 - Tetrafix shimsbox calibration unit

3.1.4 Matrix

Tento upínací systém vytváří tzv. „upínání pomocí formy“ (mold clamping). Vychází z toho, že součást vytvoří podpěru sama pro sebe. Tato schopnost upnutí vychází

z konstrukce upínacího systému. Je tvořen kolíky, které jsou podepřeny pružinami. Tyto kolíky jsou poté schopné se přizpůsobit jakémukoli tvaru součásti a tím vytvořit její negativ neboli formu, do níž je možné součást opakovaně vkládat. Poloha kolíků ve stejné pozici se zajistí jedním otočením aretační páky. Celé je to umístěno v jednotce, jenž je kompatibilní se zbytkem podpůrných součástí modulárního systému. Tyto upínací jednotky je možné vidět na obrázku 31 pod číslem 1 a 2. Zbylé součásti sady, která je na stejném obrázku, slouží k ideálnímu nastavení a vypořádání jednotek s pružnými kolíky nebo k umístění přítlačných prvků, které jsou na obrázku pod čísly 12,13 a 15. Základní komponentou je deska s T-drážkami, do níž se umísťují podpěrné součásti. Ilustrační příklad, jak lze upnout součást do tohoto systému je zobrazen na obrázku 32 [43; 44].



Obrázek 31 - Matrix sada X-Support XL [43]

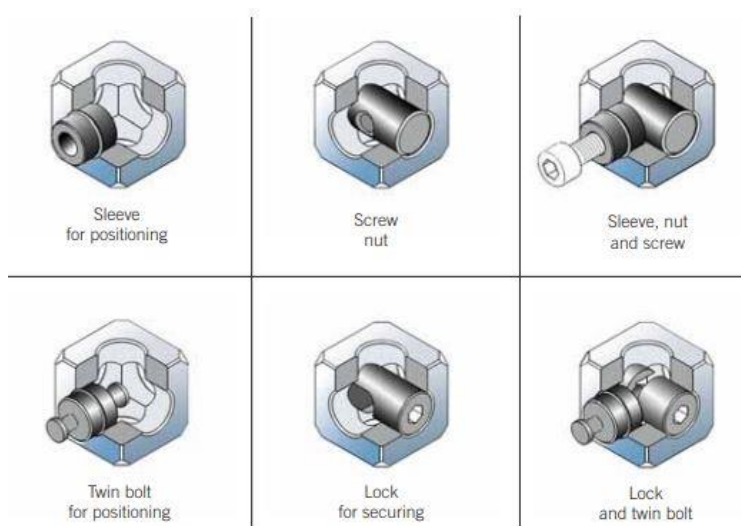
Jednou ze zásadních výhod tohoto systému je flexibilita, se kterou může dojít k upnutí nové součásti. Rovněž poskytuje minimální upínací síly, které je nutné použít k tvorbě negativu součásti. Společnost tento fakt propaguje tím, že čelistmi s pružnými kolíky opakovaně upíná běžnou žárovku. Čímž demonstrují zamezení poškození měřeného dílu vlivem upínacího systému. Mezi další výhody tohoto systému patří rychlost, která je spojená s jednoduchým a rychlým ovládním a přesnost, jež je přímo úměrná odchylkám tvaru vycházejících z technologie výroby [44].



Obrázek 32 - Upnutí pomocí systému Matrix [43]

3.1.5 Horst Witte – Alufix

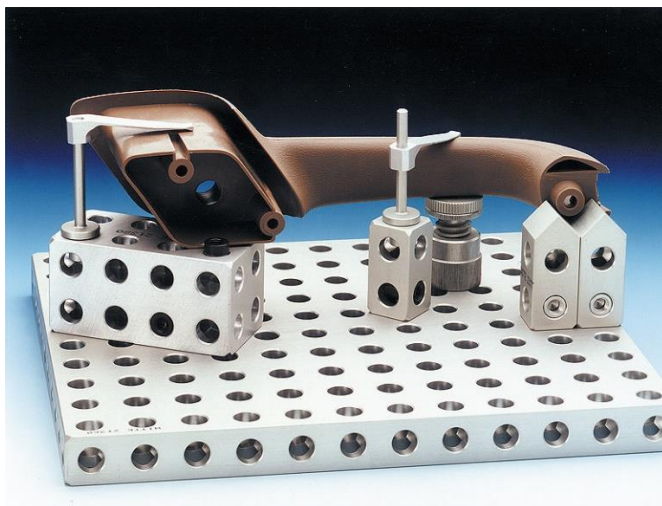
Společnost Horst Witte vyrábí několik druhů modulárních upínacích systémů, mezi které patří Megalu, Aluquick, Alufix Eco a Alufix Classic. Právě Alufix Classic je jedním z nejpoužívanějších upínacích systémů. Z této skupiny vykazuje největší dosahované přesnosti a zároveň vysokého stupně kompatibility a efektivity. Systém vychází z velmi přesně vyrobené krychle, jenž má v sobě šest přesných otvorů. Tím je zajištěna konektivita ve všech šesti směrech. Spojování jednotlivých částí je založeno na bajonetovém spoji, který lze vidět na obrázku 33 ve spodní řadě. Spojení může být také provedeno za pomoci šroubu, válcové matice a průchozího členu, což lze vidět v horní řadě [45].



Obrázek 33 - Alufix: Princip spojování [45]

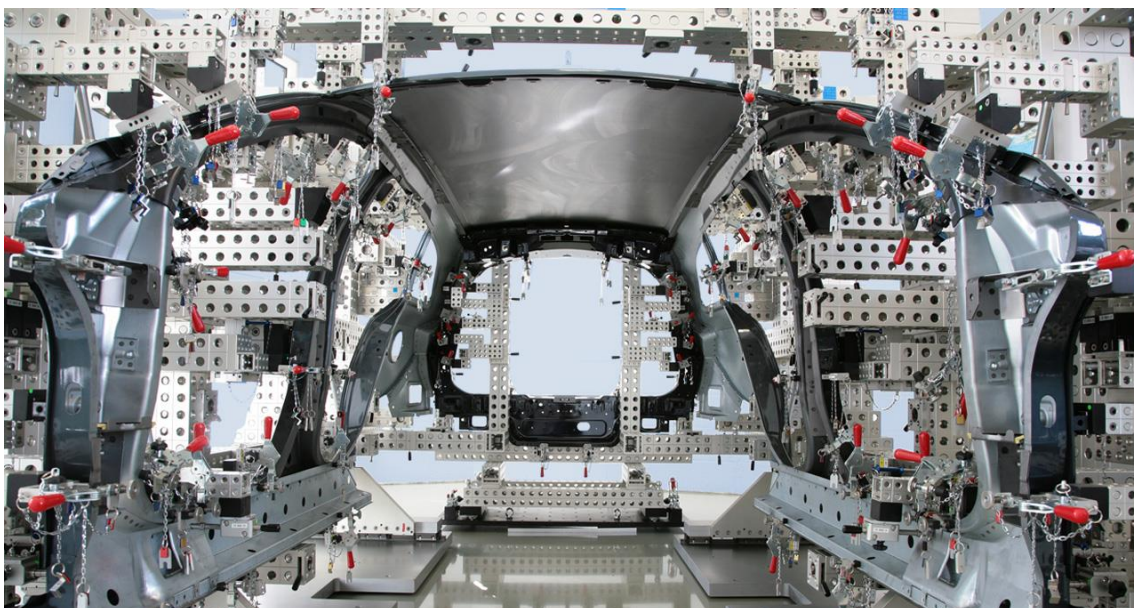
Se stejným rastrem jsou vyrobeny i základové desky a tyče. Vše je vyrobeno z vysoce pevného hliníku. Systém se vyrábí ve čtyřech velikostech, kde definujícím parametrem je velikost základní krychle (16, 25, 40, 50 mm) a k němu náležící velikost

průměru děr (8; 12,5; 20; 25). Výběr velikosti systému se řídí velikostí měřeného dílu. Velikost 16 a 25 je doporučována spíše pro malé až střední samostatné díly. Kdežto 40 a 50 je vhodné používat pro velmi objemné součásti nebo sestavy [45]. Příklad použití lze vidět na obrázku 34.



Obrázek 34 - Použití systému Alufix [46]

Efektivní používání modulárních upínacích systémů vychází z idey, která porovnává sériovou a kusovou výrobu. Idea uvažuje všechny zástupce napříč výrobcí modulárních systémů. Nejvýhodnější použití modulárního upínacího systému bude v kusové výrobě, kdy upínací systém bude často přestavován. Oproti tomu v sériové výrobě, kdy se produkuje a kontroluje totožná součást po dobu několika let, je vhodnější používat jednoúčelové upínací systémy, o kterých se bude pojednávat v následující kapitole. Nicméně v některých sériových výrobních se s touto myšlenou neparčuje, zejména v automobilovém průmyslu, kde pro kontrolu karoserií využívají modulární přípravky. Ty jsou i léta používané pro tentýž výrobek. Nejspíš je to způsobeno snahou o ušetření hmotnosti takového přípravku. Přípravek, který by nebyl složený z modulárních segmentů, by byl pravděpodobně navržen jako svařovaná konstrukce. To by mělo za následek zvýšenou hmotnost přípravku. Proto je výhodné, že většina modulárních systémů je schopná vytvořit mohutné konstrukce (viz Obrázek 35), do kterých lze upnout i velmi velkou součást sestavenou z několika dílů.



Obrázek 35 - Alufix - Upnutí karoserie [47]

3.2 Jednoúčelové upínací systémy

V některých případech dochází k nevhodnému použití modulárního upínacího systému. Společnost si sestaví modulární přípravek, optimalizuje ho pro nejvhodnější použití a po skončení kontroly součásti, pro kterou byl navržen je uklizen do skladu. Vzniká tím velký finanční náklad na pořízení modulárního systému a nevyužívá se tak jeho maximální potenciál. V tomto případě je pro společnost lepší si navrhnout a vyrobit jednoúčelový přípravek. Navrhování a výroba sice bude pravděpodobně trvat delší dobu, ale dojde tím k finančním úsporám. Pro měření tvarově podobných součástí lze navrhnout přestavitelný přípravek, do nějž lze upnout více součástí. Návrh přestavitelného přípravku bude nejspíš časově náročnější, ale lze tím ušetřit část finančních zdrojů a zlepšit efektivitu při kontrole kvality.

Konstrukce jednoúčelových upínacích systémů se odlišuje v závislosti na kontrolovaném dílu. Jsou jiné požadavky pro měření tenkých plechových dílů, rotačních součástí nebo frézovaných odlitků. Společným požadavkem pro všechny přípravky je dobrá dostupnost ke všem měřeným plochám, což také značně omezuje tvar přípravku a uspořádání upínacích a dorazových prvků. V některých případech upínací prvky nejsou třeba, například při měření dílu s dostatečnou hmotností a vhodným tvarem. Při návrhu je vhodné použít nějaké nakupované konstrukční segmenty, takové, které jsou náročné na výrobu, nebo může dojít k jejich opotřebení. Ve většině případů se nakupují upínací prvky, popřípadě dorazové prvky.

Kliková hřídel



Obrázek 36 - Přípravek pro upnutí klikové hřídele [48]

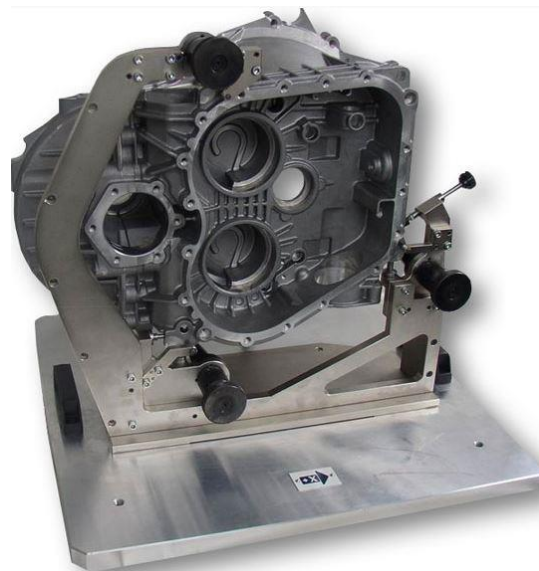
Rotační součásti, mezi něž patří i kliková hřídel, se upínají do prizmatických dosedacích ploch, jako lze vidět na obrázku 36. Přípravek je zde konstruován jako svařovaná konstrukce, skládající se ze dvou stojanů. Na vrcholu stojanů jsou umístěny zmiňované prizmatické dosedací plochy. Takto velická kliková hřídel bude mít značnou hmotnost, z toho důvodu je svařená konstrukce robustní, aby splňovala potřebné pevnostní požadavky a byla dostatečně tuhá. U rotačních součástí je důležité dodržet vždy stejný smysl natočení, proto je na přípravku dorazová plocha, která zajišťuje, že každá další hřídel bude natočená stejně. Další dorazová plocha vymezuje axiální posuv součástí. Na přípravku jsou použity nakupované prvky, které sníží cenu výroby a ulehčí upínání. V tomto případě se jedná o axiální pružinové čepy. Vše je umístěno na základové desce s rastrem, který umožňuje jednoduché upnutí do CMM.

Konkrétně tento přípravek je navržen s dvěma sadami prizmatických čelistí, jež jsou na otočných ramenech. Polohu těchto ramen zajišťují pružné čepy. Při otočení těchto ramen lze do přípravku upnout jinou rotační součást.

Skříň převodovky



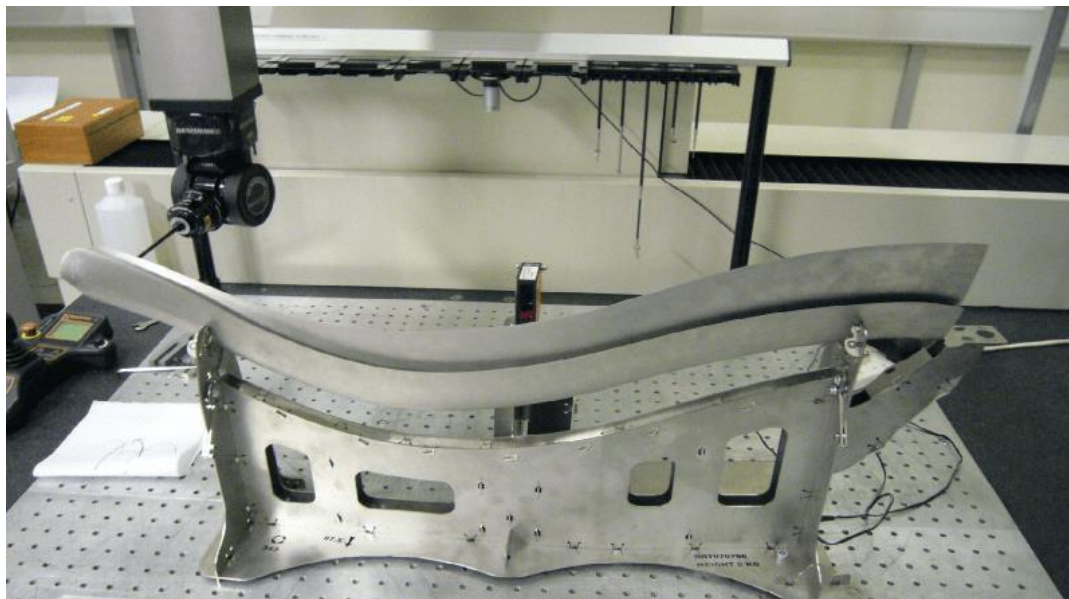
Obrázek 37 - Přípravek pro upnutí skříně [48]



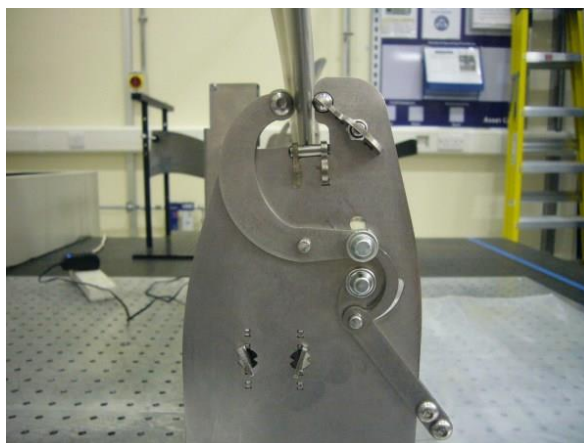
Obrázek 38 - Přípravek pro upnutí skříně [48]

Většina součástí jako jsou skříně a víka převodovek nebo bloky motorů se upínají ve svislé poloze. Je tak zajištěn dobrý přístup k měřené součásti v pěti směrech. Ve většině případech se jedná o šroubovanou konstrukci, která musí do určité míry „obejmout“ měřený díl. Jednotlivé segmenty přípravku lze vyrobit za pomoci frézování nebo řezání pomocí nekonvenčních metod. Důležitou součástí jsou dorazové prvky, které by měly být do jisté míry nastavitelné, jelikož se díky nim nastavuje svislá i vodorovná poloha některých měřených prvků, především rovin. Pak je totiž možné použít co možná nejjednodušší snímací systém. Dorazové prvky mohou být vyráběné nebo kupované díly. Jako upínací prvky je opět vhodné použít nakupované součásti. Upínací prvky, které můžete vidět na obrázku 37 a 38, pracují na principu šroubovací nebo pružinové upínky, jež dosedá na měřený díl a tím ho dotlačuje na dosedací prvky. Celý přípravek je opět připevněn k základové desce s rastroem pro snadnější umístění do CMM.

Lopatka turbíny



a)



b)

Obrázek 39 - Přípravek pro upnutí lopatky [49]

Konstrukce tohoto přípravku je navržena z vypálených plechů, které jsou mezi sebou spojovány jednoduchou technologií „Twist Dowel“. Na obrázku 39 b) je zobrazen v dolní části uprostřed. Jednoduchým způsobem lze vsunout plech do otvoru a běžně dostupným nářadím plech zkroutit. Tím dojde k vytvoření zámku. Pro využití tohoto spoje je důležitá vysoká přesnost výroby plechu. Jelikož se jedná o plechovou konstrukci je značně ušetřena hmotnost a použitím snadné metody spojování lze ušetřit i náklady spojené s případným svařováním. Na přípravku jsou použity dorazové prvky, jež byly pravděpodobně zakoupeny, čímž se rovněž ušetřilo na výrobě. Jedná se o válečky, na kterých je lopatka usazena, a jež jsou použity i v upínacím mechanismu (Obrázek 39 b).

Na obrázku 39 a) lze vidět, že lopatka je uložena na dvou válečcích a vpravo je dorážena na dosedací plochu, která je tvořena přímo plechovou konstrukcí přípravku. Za lopatkou je laserové měřící zařízení, které zajišťuje upnutí lopatky v přesné pozici.

Potrubí



Obrázek 40 - Přípravek pro upnutí potrubí [50]

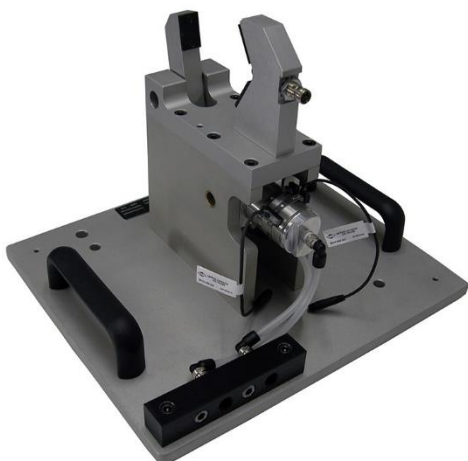
Přípravek, který je na obrázku 40 je určen pro rozměrovou kontrolu potrubí. Jde o šroubovanou konstrukci skládající se z jednotlivých podpěr, jež mezi sebou tvoří dvojice. Podpěry jsou situovány do dvojic a mají tvar břitu s tenkou dosedací plochou z toho důvodu, aby nedocházelo k prohnutí potrubí, jelikož je pravděpodobně vyrobeno z poddajného materiálu. Dvojice podpěr v podstatě určují místo kontroly rozměrů. V tomto místě je potrubí přístupné prakticky ze všech stran, čímž lze zkontrolovat díl v celém radiální řezu. Konstrukce (viz Obrázek 40) ukazuje, že se jedná o přestavitelný přípravek, pro kontrolu levého a pravého typu potrubí. Dorazovou plochu ve tvaru vystouplého válce v levém spodním rohu obrázku lze přemístit a přišroubovat na pravou stranu do nakloněného podstavce. Stejně se z levé části přemístí stojánky s nastavitelnými dorazovými prvky. Nakonec se vymění podpěra ve tvaru čtvrtkruhu za opačně orientovanou, jež se nachází v pravém horním rohu přípravku. Jedná se o snadný způsob výměny, jen je bohužel nutné přemísťovat poměrně značné množství součástí. Opět je vše přimontováno na základové desce, pro lepší upínání přípravku do souřadnicového měřícího stroje.

3.2.1 Pneumaticky ovládané upínání

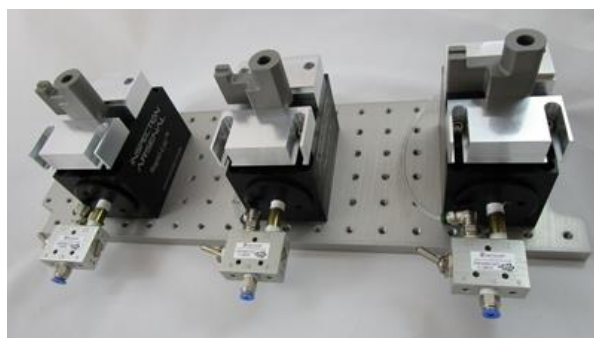
Jednou z možností, jak eliminovat potřebu obsluhy u CMM je zkonstruovat přípravek, jehož upínání by nemusel ovládat člověk. Lze proto využít například pneumatický způsob ovládání. Jak lze vidět na obrázku 41, tak pro pneumatické upínání se často využívá jednoduchého pákového mechanismu (obr. a,b) nebo pneumaticky řízený svěrák s regulací tlaku (obr. c). Všechny mechanismy jsou řízené pneumatickými válci. Pro upínání součástí složitějších tvarů je možné využít i upínky, které mohou nahradit mechanické manuální upínky bez nutnosti konstruování mechanismů.



a)



b)



c)

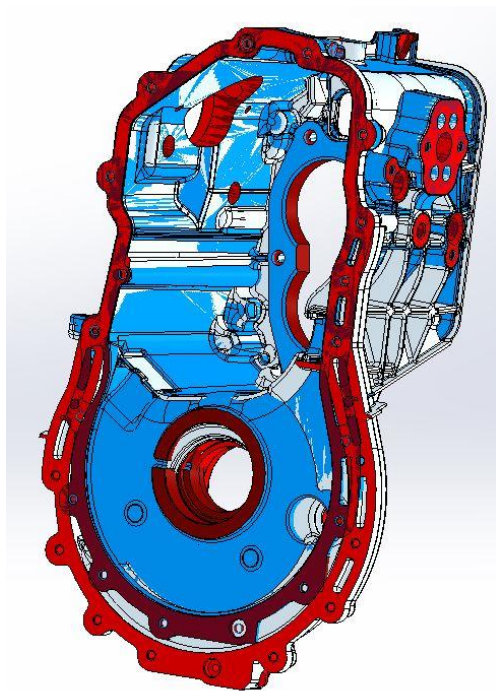
Obrázek 41 - Pneumaticky ovládané přípravky [51; 52; 53]



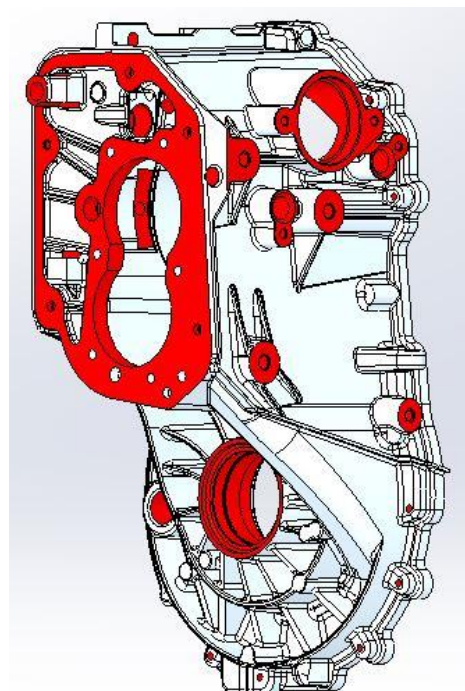
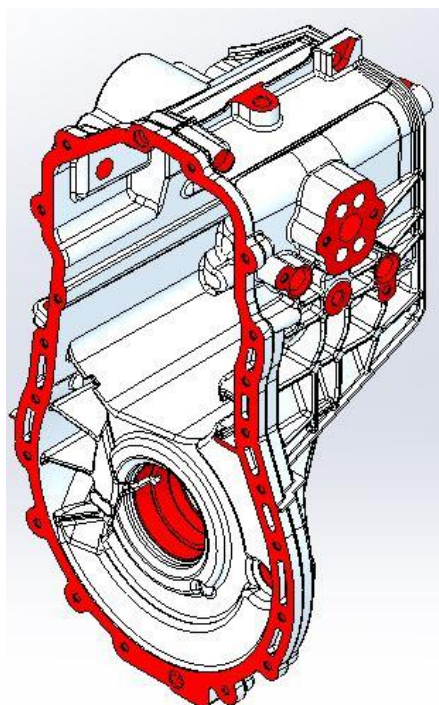
Na obrázcích je patrné, že ovládání pneumatického systému je řízeno manuálně. Pro úplnou automatizaci měření není složité naprogramovat řízení elektronicky, ale bylo by nutné, zřídit robotické pracoviště pro umístování měřených dílů na správnou pozici. Čímž by se úplně eliminovala potřeba manuální obsluhy.

4 Konstrukce upínacího přípravku

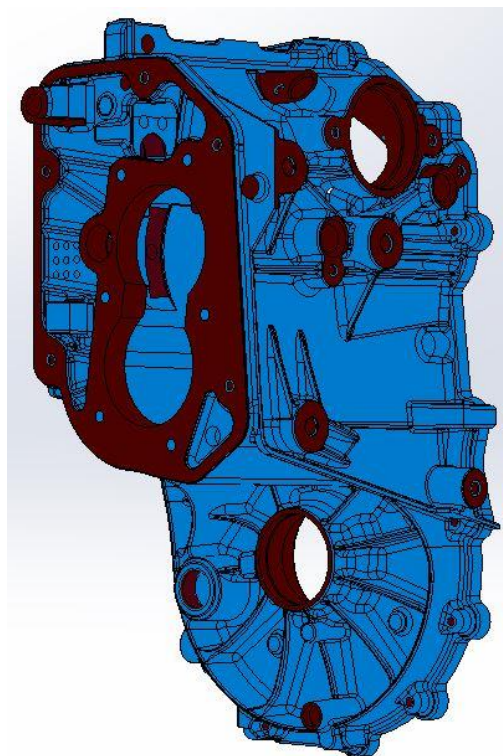
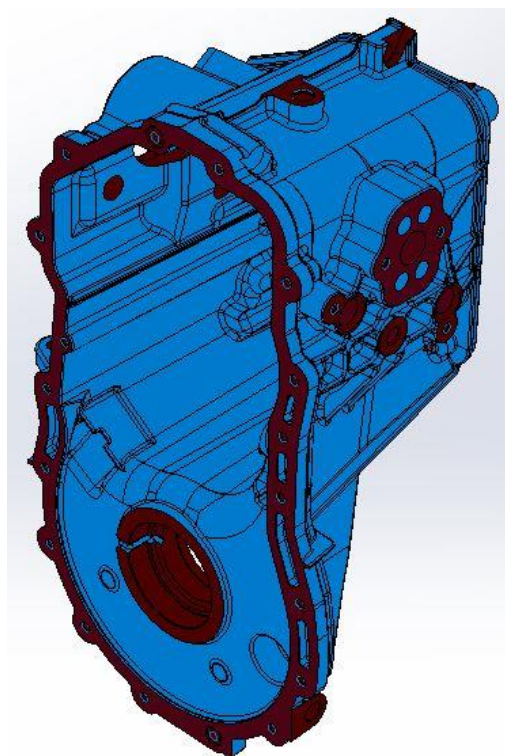
Mým praktickým úkolem bylo navrhnout upínací přípravek nebo přípravky pro kontrolu osmi typů převodových skříní. Pro správnou funkci přípravku bylo nejprve nutné zjistit všechny měřené plochy, k nimž je potřeba zachovat volný přístup měřicího systému. Aby nedocházelo ke zbytečnému plýtvání finančních i materiálových zdrojů, nechtěl jsem navrhovat pro každý typ převodové skříně její vlastní přípravek. Z toho důvodu bylo nutné zmapovat kontrolované díly a vytipovat plochy, za které by mohlo dojít k upnutí. Pro nejsnadnější konstrukci by bylo nejvhodnější, aby tyto plochy byly stejného charakteru a nacházely se, pokud možno, na stejné pozici. Po přezkoumání dostupných 3D modelů převodovek jsem došel k rozhodnutí, že tvarová odlišnost jednotlivých typů není natolik velká a bude nutné zkonstruovat jen dva typy přípravku. Pro každý typ přípravku jsem si vybral jednoho zástupce reprezentující nejsložitější typ převodové skříně. Jednotlivé zástupce jsem si pracovníčně nazval „převodovka velká“ a „převodovka malá“. Porovnání obou modelů je vidět na obrázku 42, z něhož jsem určil vhodné upínací plochy. Velká převodovka má zhruba o 20 % větší připojovací plochu v dolní části, ale na odlišnost jednotlivých přípravků by to nemělo mít podstatný vliv. Z toho důvodu jsem se rozhodl nejprve zkusit navrhnout jeden přípravek, jež by mohl sloužit pro všechny typy, jen s nutností přestavení několika komponent. Na následujícím obrázku 43 a 44 jsou červeně zobrazené plochy, ze kterých jsem vycházel, jelikož se jedná o kontrolované plochy a musí být dobře přístupné.



Obrázek 42 - Porovnání modelů



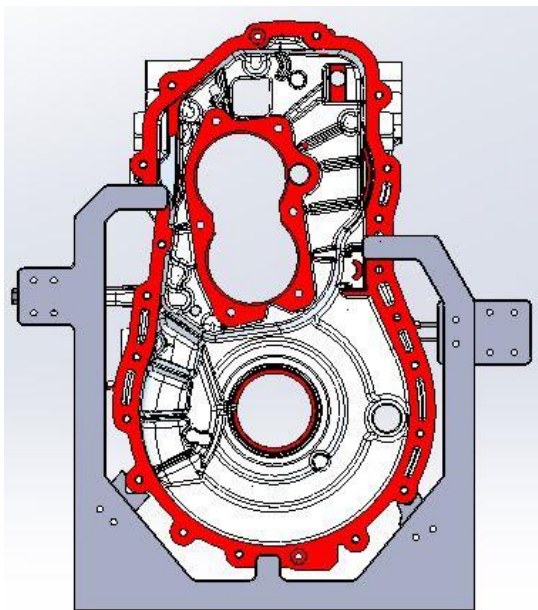
Obrázek 43 - Kontrolované plochy velké převodovky



Obrázek 44 - Kontrolované plochy malé převodovky

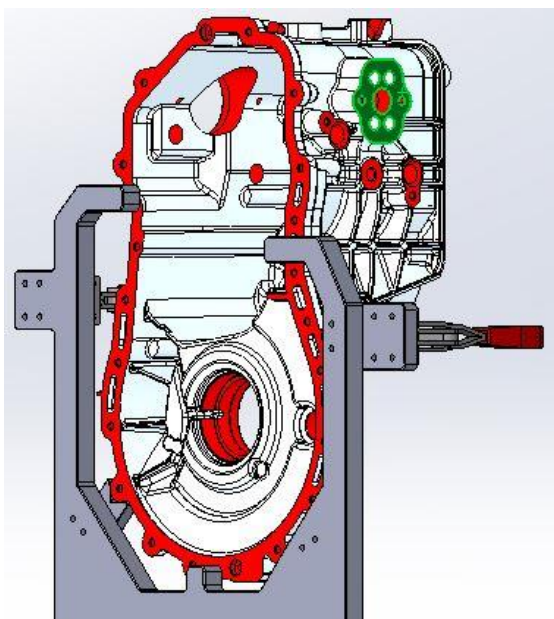
4.1 Optimalizace návrhu přípravku

Varianta 1

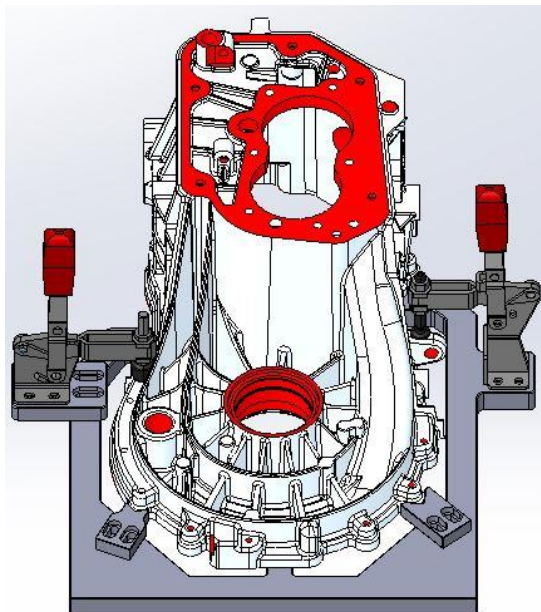


Obrázek 45 - Varianta 1 zadní pohled

Pro první variantu návrhu jsem volil co možná nejjednodušší možnost zpracování CAD modelu, proto na následujících obrázcích nebudou zobrazeny přípojovací šrouby, ani základová deska nebo paleta, díky níž se bude přípravek umísťovat do CMM. Pro nejlepší dostupnost ke všem měřeným plochám jsem zvolil svislou polohu převodovky. Dle této úvahy jsem navrhl opěrnou konstrukci, do níž bude měřený díl tlačěn pomocí manuálně ovládaných upínek. Na obrázku 45 je možné vidět profil této opěrné komponenty, kterou se snaží „obejmout“, čímž dojde k vytvoření potřebných opěrných ploch. K opření dochází na třech místech, které musí mít takový tvar a polohu, aby nedocházelo k překrytí kontrolovaných otvorů v dosedací ploše všech měřených dílů. Jako materiál pro tuto komponentu jsem uvažoval hliníkovou slitinu. Pro její dobrou obrobiteľnosť a nízkou měrnou hmotnosť. Veškeré přípojovací závitě jsem volil stejné velikosti M6 pro jednoduchost výroby.



Obrázek 46 - Varianta 1 boční pohled



Obrázek 47 - Varianta 1 spodní šikmý pohled

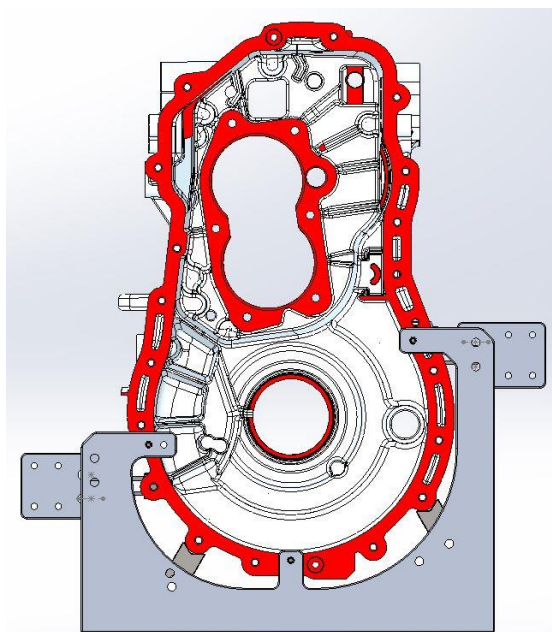


Pro snadné sestavení měřicího systému je vhodné, aby zelená plocha, zobrazená na obrázku 46 byla umístěna svisle. Tím se zajistí, že kolmé vývrty na tuto plochu budou mít vodorovnou osu. Zajistí se to natočením měřené součásti kolem osy hlavního vývrtného umístěného ve spodní části. Požadované natočení se definuje pomocí ustavení součásti do dvou prizmatických čelistí, jež jsou posuvně nastavitelné. Prizma budou vyrobená z nerezové oceli kvůli snížení rizika jejich opotřebení. Důvodem, proč nejsou obě prizma totožná, je menší dosedací plocha pro levé prizma. Lze si toho všimnout na obrázku 47. Na stejném obrázku je vidět, že ani mechanické upínky, přitlačující měřenou součást, nejsou stejné. Je to z důvodu úspory vyráběné součásti. Pod levou upínku je totiž nutné umístit distanční desku, která zajistí její správnou funkci. Pravá upínka je podstatně vyšší, jelikož upínací plocha je rovněž podstatně výš než na levé straně. Zároveň tato upínací plocha klesá pod úhlem pěti stupňů. Proto je nutné standartní gumový doraz na upínce vyměnit za doraz s naklápěcím plastovým talířkem, který se může naklopit až do úhlu patnácti stupňů.

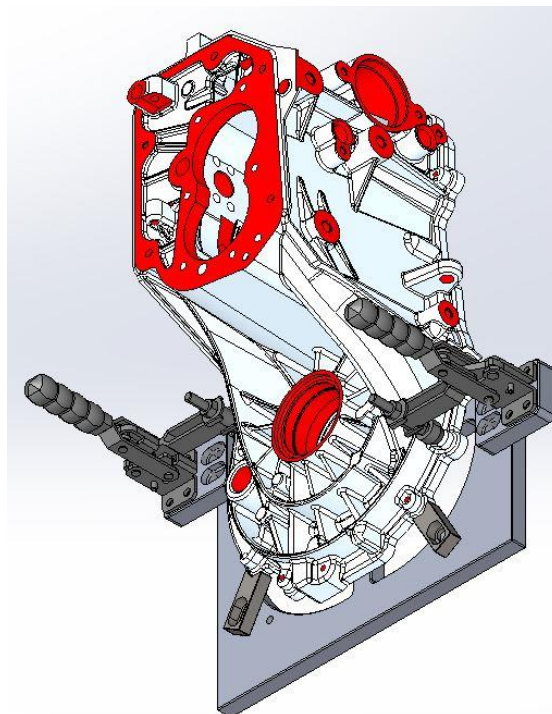
Varianta 2

Ve druhé variantě prošla optimalizací hlavně opěrná deska, o kterou se má měřený díl opírat. Byla podstatně snížena celková výška přípravku, jelikož nebylo nutné, aby opěrné plochy dosahovaly do takové výšky měřeného dílu. Tvar opěrné desky byl změněn tak, aby více kopíroval tvar součásti. Tato změna nemá moc praktických opodstatnění, ale celkový design přípravku díky tomu vypadá lépe. Provedené změny lze nejlépe vidět na obrázku 48.

Dalšími změnami prošly upínky a prizma. Jejich vyobrazení je na obrázku 49. Lze si všimnout, že typ upínek byl sjednocen. Je poté sice nutné vyrábět o jeden díl navíc, ale došlo tím ke zjednodušení tvaru opěrné desky. Dalším důvodem pro sjednocení upínek byla změna dosedací plochy pro pravou upínku. Šikmá plocha, na kterou upínka dosedala v první variantě nebyla pro upínání vhodná. Při dosedání upínky na šikmou plochu totiž dochází k rozložení přitlačné síly do dvou směrů, z nichž jeden by mohl posouvat měřenou součást, což je nežádoucí. U prizmat je nejpodstatnější změnou snížení počtu připojovacích šroubů ze dvou na jeden. Díky použití jednoho šroubu totiž lze otáčet prizmatem kolem jeho osy. To zajistí větší rozsah nastavení polohy měřené součásti. Zároveň tím mohlo dojít ke sjednocení typu prizmat, čehož jsem využil a tvar prizmat sjednotil.

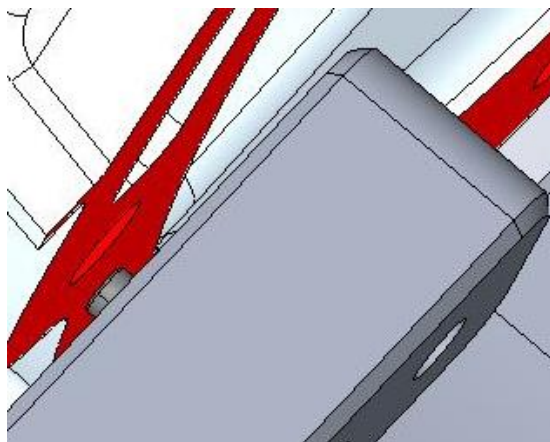


Obrázek 48 - Varianta 2 zadní pohled



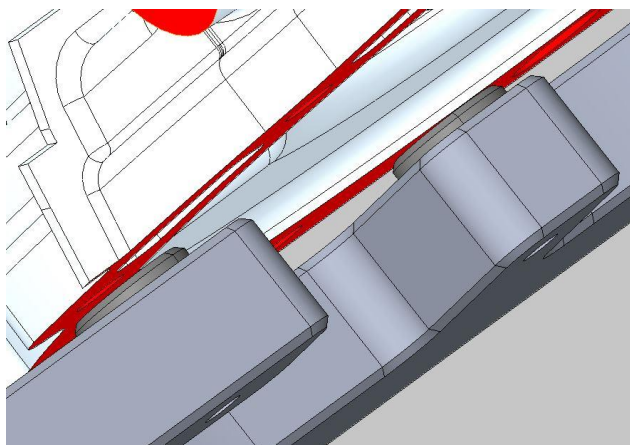
Obrázek 49 - Varianta 2 přední šikmý pohled

Další změnou na opěrné desce bylo přidání dorazových prvků. Jejich pozice byla opět určena tak, aby nepřekážela při kontrole žádných otvorů. Dorazové prvky jsou tvořeny stavěcím šroubem s vnitřním šestihranem, který je opatřen plastovým koncem, aby při kontaktu s měřenou součástí nedocházelo k jejímu deformování. Jedná se o nakupovanou komponentu, což je výhodné z hlediska ušetření nákladů na výrobu a při případné deformaci dorazového prvku ho lze snadno bez velkých nákladů vyměnit. Další výhodou je, že nebude docházet k případnému opotřebení hliníkové opěrné desky. Detailní pohled na plastový konec dorazového prvku lze vidět na obrázku 50.



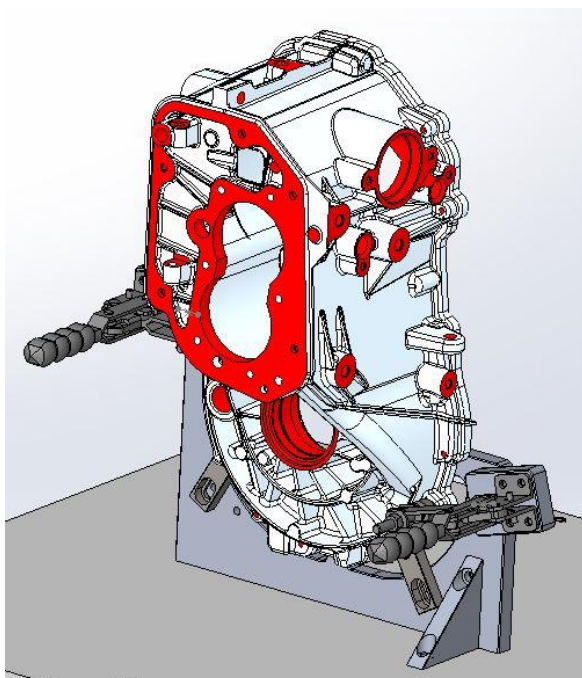
Obrázek 50 - Varianta 2 dorazový prvek

Varianta 3

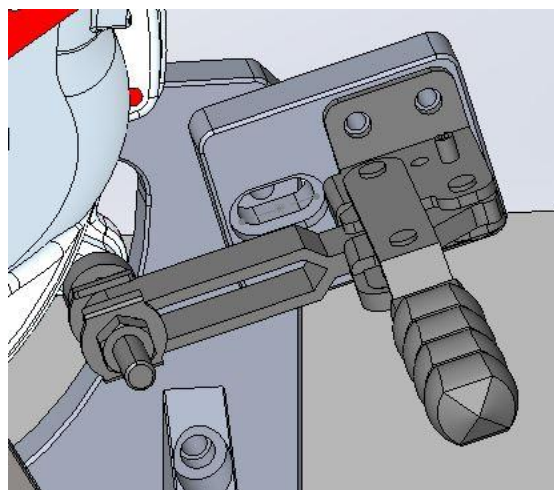


Obrázek 51 - Varianta 3 dorazové prvky

V dalším optimalizačním kroku byl přípravek umístěn na paletu, ke které byl připevněn pomocí třech šroubů M8. Šrouby musejí být do palety zahloubené, aby mohla být umístěna do CMM. Pro připojení opěrné desky k paletě byly také použity dvě vzpěry, z přední i zadní strany. Po připojení měřené součásti do přípravku dojde k jednostrannému zatížení opěrné desky, čímž se vytvoří klopný moment. Účinky klopného momentu by měly eliminovat nově přidané vzpěry. Na obrázku 52 lze vidět jednu z těchto vzpěr na přední straně přípravku.



Obrázek 52 - Varianta 3 přední šikmý pohled



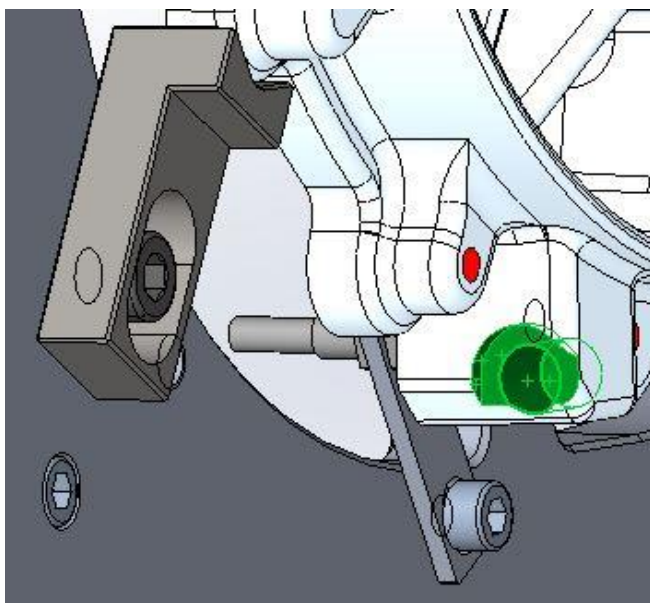
Obrázek 53 - Distanční deska pod upínku

Další změnou, jež byla provedena je výměna dorazových prvků. Nové dorazové prvky můžete vidět na obrázku 51. Jedná se o válcové dorazové kameny s průměrem šestnáct milimetrů. Mohou být vyrobeny z nejrůznějších materiálů s různou povrchovou úpravou. Pro mojí aplikaci jsem zvolil nerez s hladkou dorazovou plochou. Změna byla provedena především kvůli zvětšení průměru dorazové plochy, aby se zabránilo případnému poškození dosedací plochy na měřené součásti.

Optimalizací byly ovlivněny i distanční desky pod upínkami. Místo dvou drážek pro, připojující šrouby jsem použil jednu, která byla umístěna do středu distanční desky. Tím lze deskou i upínkou otáčet kolem osy připojovacího šroubu. Toho lze využít při upínání větší převodové skříně, což můžete vidět na obrázku 53.

Varianta 4 – Finální návrh

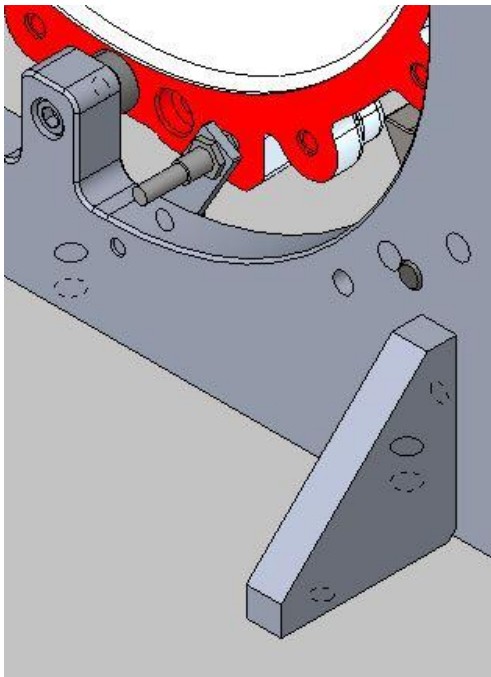
Ve finální variantě jsou na modelu přípravku použity všechny potřebné komponenty včetně připojovacích šroubů a teplotního čidla, které měří teplotu kontrolované součásti a s pomocí softwaru kompenzuje tepelnou roztažnost měřené součásti. Při jedné z úvah, jak se budou potřebné plochy měřit bylo zjištěno, že některé kritické plochy budou těžce dosažitelné měřícím systémem. Jedná se o zeleně zvýrazněné plochy na obrázku 54. Plochy se nacházejí v dolní části převodové skříně a pro jejich kontrolu je nutné dotykem



Obrázek 54 - Kritické měřené plochy

pohybovat podél opěrné desky. Další komplikací je fakt, že kritické plochy se nachází v částečném zákrytu za jedním z prizmat. Z toho důvodu bylo nutné posunout měřenou součást dále od opěrné desky o šest milimetrů. Bylo toho dosaženo zmenšením zahloubení pro dorazové kameny. Jeden z nich můžete vidět na obrázku 55, kde si můžete všimnout i teplotního čidla, které je uchyceno v otočném držáku pro jeho lepší nastavení. Na stejném obrázku si také můžete všimnout

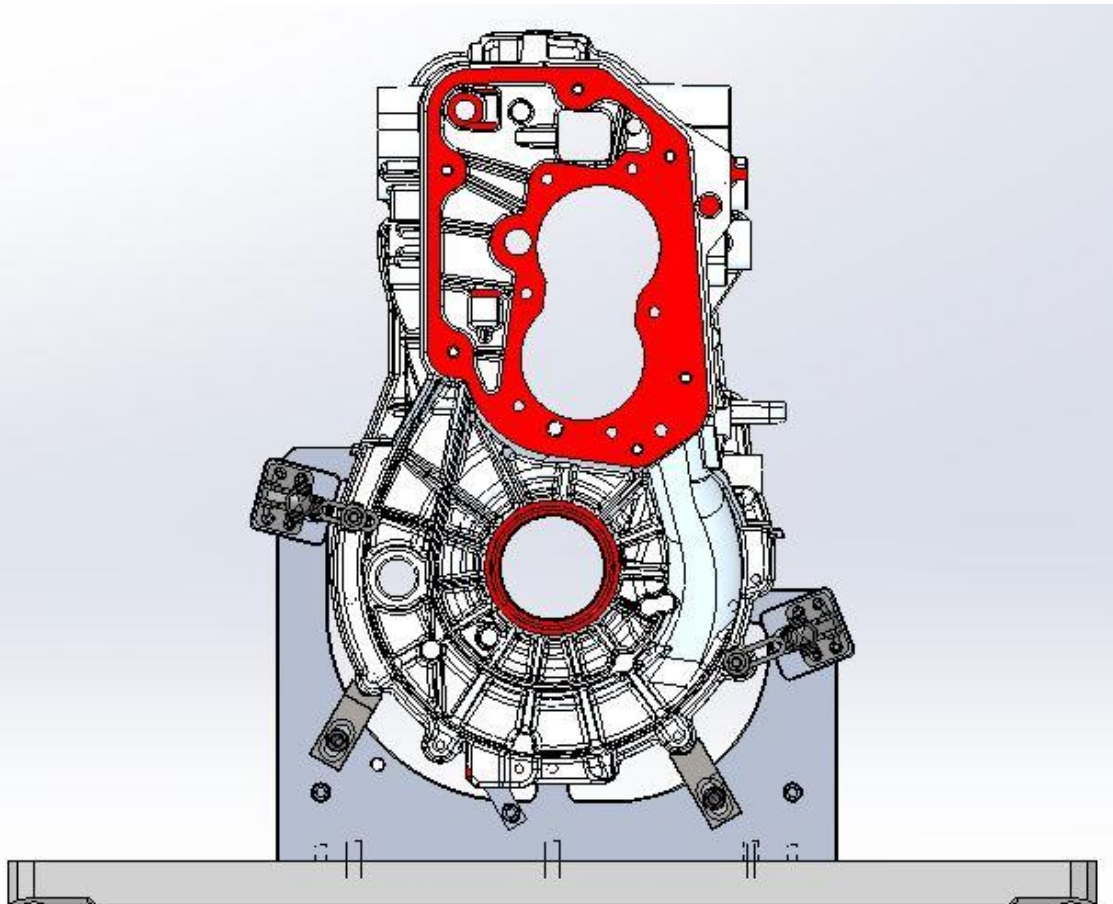
změny v designu vzpěr. Ty byly přesunuty na jednu stranu opěrné desky. Jelikož pro jejich správnou funkci nezáleží, zda budou namáhány na tah nebo na tlak.



Obrázek 55 - Optimalizované komponenty

Při jejich novém umístění budou namáhány na tah. Rovněž se také změnilы otvory ve vzpěrách. V této variantě to nejsou průchozí díry, které by bylo nutné vrtat a zahlubovat na šikmé ploše. Jsou zde závitové otvory z opačných stran vzpěr, tudíž jejich vrtání se bude uskutečňovat na rovné ploše, což ulehčí proces výroby. Posledními díly, které byly změněny v rámci optimalizace jsou upínky a distanční desky. Byl změněn typ upínek. Nový typ je podstatně menší, takže celkový design přípravků není natolik roztažený do stran, ale je užší a působí ucelenějším dojmem. Dojde tím sice ke zmenšení přitlačné síly, kterou jsou schopné upínky vyvinout, ale pro upnutí převodová skříně je dostačující. Finální model

upínacího přípravku s upnutou skříní můžete vidět na následujícím obrázku 56.



Obrázek 56 - Optimalizovaná varianta přípravku

4.2 Návrh technologie výroby

Způsob výroby značným způsobem ovlivňuje budoucí cenu výrobku. Stejně tomu je i u jednotlivých komponent přípravků. Důležitým faktorem, který rozhoduje o technologii výroby je tvar a složitost součástí. U navrhovaného přípravku je nutné vyrobit celkem sedm součástí. Tvarově nejsložitější komponentou je opěrná deska. Ostatní komponenty jsou tvarově jednoduché a je možné je vyrobit z jednoduchých bloků vstupního materiálu.

Ve všech vyráběných dílech se nacházejí průchozí nebo závitové otvory pro šrouby. Z toho důvodu je nutné vždy použít technologii vrtání. Z hlediska použitých technologií je nejjednodušší na výrobu paleta. Ta se koupí vyrobená v požadovaném rozměru, jen je potřeba na ní vyvrtat příslušné otvory na zadaných pozicích. Ostatní součásti jsou z pohledu výroby velmi podobné. Prizmata, distanční desky i vzpěry se budou vyrábět kombinací frézování a vrtání. Pro výrobu opěrné desky je také možné použít kombinaci těchto dvou technologií. Bohužel se jedná o značně tvarově složitější díl než ostatní. Při jeho frézování bude značně komplikované upínání v kombinaci s podložením polotovaru. Díl by se musel pravděpodobně vyrábět na vícero upnutí, což není vhodné. Z toho důvodu bych pro výrobu opěrné desky použil jednu z metod nekonvenčního obrábění, řezání laserem, vodním paprskem nebo plazmou. Při výběru z těchto tří technologií bych preferoval řezání vodním paprskem. Nedochozí při tom k tepelnému ovlivnění materiálu a vzhled řezaných hran je pohledově přijatelný bez dalšího zpracování.

Pro kalkulaci ceny výroby jsem si určil tři díly, pro které ji provedu, a to je prizma seříznuté, vzpěra a opěrná deska. Jelikož se jedná o výrobně podobné součásti, tak je poté možné odhadnout i cenu ostatních komponent a z nich následně stanovit cenu za celý přípravek. Při kalkulaci jsem vycházel z hodinových sazeb strojů a obsluhy, strojních časů, které jsou nutné na výrobu. Ke strojnímu času jsem vždy připočítal i nutný čas pro přípravu daného stroje. Konečnou cenu jsem stanovil součtem násobku hodinových sazeb a časové náročnosti, a ceny za materiál a dělení polotovaru. Cenu za polotovar jsem určoval z ceny za kilogram vstupního materiálu. Do časového údaje na přípravu jsem uvažoval programování daného stroje a přípravu pracoviště společně s nástroji. Kalkulaci na výrobu opěrné desky s pomocí laserového řezání jsem dělal z toho důvodu, abych měl porovnání cen dvou technologií.



Tabulka 2 - Postup výroby opěrné desky

Operace	Úsek	Nástroj		Řezná rychlost	Otáčky	Posuv	Počet průjezdů	Pracovní posuv	Strojní čas	
		Typ	Průměr d [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm·ot ⁻¹]	i [1]	L [mm]	t_{as} [min]	
0	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	15	
10	Frézování - rovina 16mm	ČVF	30	105	1114	0,4	2	350	1,57	CNC Frézka
	Vrtání pro M8 3x	DŠV	6,7	105	4988	0,2	6	24	0,14	
	Závit M8 3x	Z	8	12	477	1,25	6	15	0,15	
15	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	10	
20	Vrtání pro M8 6x DÍRY A	DŠV	6,7	105	4988	0,2	12	22	0,26	CNC Frézka
	Závit M8 6x DÍRY A	Z	8	12	477	1,25	12	14	0,28	
	Vrtání Ø 6,6 DÍRY B	DŠV	6,6	105	5064	0,15	4	18	0,09	
	Zahloubení Ø11 DÍRY B	ČVF	11	110	3183	0,2	4	7	0,04	
	Vrtání Ø 6,6 DÍRY C	DŠV	6,6	105	5064	0,15	6	18	0,14	
	Zahloubení Ø17 DÍRY C	ČVF	17	110	2060	0,28	6	4	0,04	
	Vrtání pro M6 1x DÍRA D	DŠV	5	105	6685	0,1	2	18	0,05	
	Závit M6 1x DÍRA D	Z	6	12	637	1	2	18	0,06	
25	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	2	Vrtačka
30	Zahloubení Ø11 DÍRY C	ČVF	11	110	3183	0,2	6	8	0,08	
						příprava CNC Frézky		25		
						příprava Vrtačky		5		
								Σ	59,92	

ČVF ...čelní válcová fréza

DŠV ...dvoubřítý šroubovitý vrták

Z ...závitník

Tabulka 3 - Výroba kontury opěrné desky

Operace	Rychlost hlavice	Délka řezu	Doba zápalu	Strojní čas
	v [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	l [mm]	t [s]	t_{as} [min]
Pálení laserem	0,5	1808,5	6	3,72
			příprava	10
			Σ	13,72

Tabulka 4 - Způsoby upnutí opěrné desky

Operace	Upínání
0	Upnout svisle pomocí upínek a svislého přídavného stolu tak, aby frézovaná plocha převyšovala.
15	Upnout vodorovně k základnímu stolu pomocí upínek. Nutné vypodložit součást tak, aby bylo možné vrtat skrz.
25	Upnout vodorovně pomocí upínek.

Tabulka 5 - Hodinové sazby

Stroj	Hodinová sazba [Kč/hod]
Frézka CNC	850
Laser	2250
vrtáčka	200

Obsluha	Hodinová sazba [Kč/hod]
Frézka CNC	268
Laser	201
vrtáčka	201

Pro reálnou představu o výrobních cenách jsem poptal vyřiznutí tvaru opěrné desky u nejmenované firmy. Jejich nabídka zahrnovala cenu materiálu, řezání vodním paprskem a zabalení součástí. Firma stanovila cenu 1352 korun za jeden kus bez dopravy. Mnou stanovená cena za výrobu spojenou se samotným pálením laserem, kterou lze spočítat z tabulky 10, je 1060 korun. Vzhledem že po řezání vodním paprskem lze získat lepší povrch řezných hran, stále jsem pro jeho použití i v tom případě, že je dražší.

Tabulka 6 - Postup výroby vzpěry

Operace	Úsek	Nástroj		Řezná rychlost	Otáčky	Posuv	Počet průjezdů	Pracovní posuv	Strojní čas	
		Typ	Průměr d [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm·ot ⁻¹]	i [1]	L [mm]	t_{as} [min]	
0	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	5	CNC fréz.
10	Frézování hrany 60 mm	ČVF	20	300	4775	0,42	2	90	0,09	
15	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	2	CNC fréz.
20	Frézování hrany 60 mm	ČVF	20	300	4775	0,42	2	90	0,09	
25	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	2	CNC fréz.
30	Frézování hrany 60 mm	ČVF	20	300	4775	0,42	2	90	0,09	
35	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	2	CNC fréz.
40	Frézování hrany 60 mm	ČVF	20	300	4775	0,42	2	90	0,09	
45	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	2	CNC Frézka
50	Vrtání pro M6 1x	ČVF	5	105	6685	0,1	2	16	0,05	
	Závit M6 1x	Z	6	12	637	1	2	12	0,04	
55	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	2	CNC frézka
60	Vrtání pro M6 1x	ČVF	5	105	6685	0,1	2	16	0,05	
	Závit M6 1x	Z	6	12	637	1	2	12	0,04	
65	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	10	CNC fréz.
70	Frézování šikmé plochy	ČVF	30	300	3183	0,4	5	70	0,27	
příprava CNC Frézky									15	
Σ									40,81	



Tabulka 7 – Způsoby upnutí vzpěry

Operace	Upínání
0	Polotovar upnout do svěráku za boky na výšku. Tak aby bylo možné frézovat horní plochu.
15	Otočit díl o 180° a frézovat protilehlou plochu, aby byla zajištěná jejich rovnoběžnost.
25	Upnout do svěráku za již frézované plochy a frézovat postranní plochu. V případě nutnosti podložit
35	Otočit díl o 180°, upnout do svěráku za již frézované plochy a frézovat postranní plochu. V případě nutnosti podložit.
45	Upnout do svěráku za boky součásti na výšku.
55	Otočit součást o 90° a upnout za boky na výšku.
65	Upnout upínkami na plochu a podložit díl tak, aby bylo možné frézovat šikmou plochu.

Tabulka 8 – Postup výroby prizmatu

Operace	Úsek	Nástroj		Řezná rychlost	Otáčky	Posuv	Počet průjezdů	Pracovní posuv	Strojní čas	
		Typ	Průměr d [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm·ot ⁻¹]	i [1]	L [mm]	t_{as} [min]	
0	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	5	
10	Frézování spodní plochy	ČVF	20	90	1432	0,3	2	80	0,37	CNC Frézka
	Frézování prizmat. plochy R4	ČVF	8	110	4377	0,2	8	25	0,23	
	Frézování dolní plochy	ČVF	8	110	4377	0,2	4	35	0,16	
	Frézování drážky Ø 9 hl. 13 mm	ČVF	6	60	3183	0,15	10	15	0,31	
15	Upínání	-	-	-	-	-	-	-	5	
20	Frézování seříznutí	ČVF	20	90	1432	0,3	2	15	0,07	CNC Frézka
	Frézování drážky Ø 15 hl. 9 mm	ČVF	6	60	3183	0,15	20	15	0,63	
příprava CNC Frézky									12	
									Σ	23,77

Tabulka 9 - Způsoby upnutí prizmatu

Operace	Upínání
0	Upnuto za boky prizmatu do čelistí dlouhých maximálně 45 mm, tak aby konce polotovaru koukaly na obě strany. Nutné podložit, aby bylo možné obrobit spodní stranu prizmatu.
15	Upnuto opět za boky prizmatu (díl je nutno otočit). Vypodložit součást tak, aby bylo možné obrobit vybrání do hloubky 8 mm.

Tabulka 10 - Výsledné ceny výrobků

Prizma seříznuté		Vzpěra		Opěrná deska	
Položka	Cena [Kč]	Položka	Cena [Kč]	Položka	Cena [Kč]
Materiál, dělení	100	Materiál, dělení	170	Materiál, dělení	500
Výroba-strojní čas	333	Výroba-strojní čas	578	Výroba-frézka	394
Obsluha stroje	106	Obsluha stroje	182	Výroba-laser	514
	Σ		Σ	Výroba-vrtačka	7
	543		930	Obsluha laseru	46
				Obsluha frézky	245
				Obsluha vrtačky	24
					Σ
					1730

4.3 Rozbor kupovaných a vyráběných komponent

Upínací přípravek jsem navrhoval s maximálním možným využitím nakupovaných komponent. Nakupovat spojovací materiál je v současné době samozřejmost. Rovněž upínky jsou značně složité na výrobu a na trhu je na výběr velké množství variant. Tudíž je podstatně výhodnější upínky nakoupit než vyrábět. Další komponentou, kterou jsem se rozhodl zakoupit jsou dorazové prvky. V tomto případě se nejedná o složité součásti a je možné je snadno vyrobit. Nakoupit jsem se je rozhodl pro případ, kdyby došlo k jejich opotřebení. Je jednodušší i rychlejší zakoupit nové než vyrábět takto jednoduchou součást v kooperaci.

Jednou z nevýhod tohoto designu je použití různorodé velikosti šroubů. Bohužel je jejich použití nezbytné, jelikož spojují díly různých tlouštěk a upínky mají otvory pro šrouby již předvrtané. Při nákupu takového malého množství spojovacího materiálu si obchody účtují příplatky za manipulační poplatek. Z toho důvodu je cena za použitý spojovací materiál 210 Kč, místo pouhých 27,66 Kč. Nejdražší nakupovanou položkou je teplotní senzor, který je nutnou součástí přípravku, jelikož jeho použití bylo vyžádáno zadavatelem.

V tabulce 11 je možné vidět soupis nakupovaných komponent s rozepsanými cenami pro jednotlivé kusy.

Tabulka 11 - Ceny nakupovaných komponent

	Součást	Množství	Cena/kus [Kč]
NAKUPOVANÉ	Upínka	2	640
	Doraz	3	200
	Šroub M4x20	8	0,72
	Šroub M6x12	3	0,72
	Šroub M6x18	3	0,99
	Šroub M6x25	2	0,93
	Šroub M8x20	2	1,65
	Šroub M8x25	3	1,85
	Šroub M8x35	2	1,95

Z důvodu vysokých manipulačních poplatků jsem se rozhodl objednat větší množství potřebného spojovacího materiálu, a to sice pro případnou výrobu čtyř přípravků. Takže místo dvaceti tří šroubů objednám devadesát dva, přičtu cenu za dopravu a rozpočítám cenu na jeden šroub. Výslednou cenu můžete vidět v následující tabulce. Z následující tabulky je patrné, že cena se vlivem manipulačních poplatků nemění a zůstává stejná jak pro dvacet tři, tak pro devadesát dva šroubů. Je tady jasné, že cenově je výhodnější objednat více kusů najednou.

Tabulka 12 - Cena spojovacího materiálu

	Pro jeden přípravek	Pro čtyři přípravky
Cena s manipulačními poplatky [Kč]	210	210
Poštovné a balné [Kč]	129	129
Počet šroubů [1]	23	92
Výsledná cena [Kč/ks]	14,74	3,68

V tabulce 13 lze vidět seznam vyráběných součástí, k nimž je přiřazeno množství, odhadovaná cena a skutečná cena, za níž to bylo vyrobeno v kooperaci. Odhadované ceny



byl stanoveny za pomoci tvarové a technologické podobnosti jednotlivých součástí. Ceny, z nichž jsem vycházel byly spočítány v kapitole 4.2, kde je i Tabulka 10 - Výsledné ceny výrobků.

Tabulka 13 - Ceny vyráběných komponent

	Součást	Množství	Odhadovaná cena [Kč]	Cena v kooperaci [Kč]
VYRÁBĚNÉ	Opěrná deska	1	1 730	34 072
	Prizma	1	~500	
	Prizma seříznuté	1	543	
	Deska distanční	2	~600	
	Držák senzoru	1	~200	
	Vzpěra	2	930	
	Paleta-vrtání	1	~300	

Poznámka: Cena v kooperaci za kompletní přípravek byla 1400 eur s kurzem 25,83 Kč.

Jednoduchou sumarizací nakupovaných a vyráběných komponent lze dojít k závěru, že odhadovaná cena jednoho kusu přípravku se může pohybovat okolo 8 500 korun, uvažováno bez marže. Pokud bych k ceně připočetl marži ve výši 30 %, vyšplhala by cena 11 000 korun. Cena v kooperaci za výrobu jednoho kompletního přípravku se pohybuje okolo 36 000 korun. Do jednotlivých cen nezapočítávám náklady na konstrukci, které by byly pro obě možnosti totožné. V porovnání obou výsledných cen je značný rozdíl. Nicméně dle dostupných zdrojů se jedná o regulérní cenu upínacího systému vyráběného na zakázku.

5 Analýza měření

O tom, jak má vypadat vyráběná součást, rozhodují technické specifikace a požadavky. Hodnocení výrobního procesu probíhá na základě kontroly původně požadovaných specifikací a parametrů. Kontrola se provádí na rozpracovaných nebo dokončených dílech s použitím měřicích etalonů a zařízení, které pomáhají operátorovi rozpoznat, zda výrobní proces probíhá v přijatelných tolerančních mezích [54].

Jedním ze způsobů, jak analyzovat proces měření je pomocí metody R&R (repeatability and reproducibility) v českém překladu se jedná o opakovatelnost a reprodukovatelnost. Opakovatelnost lze také nazvat variabilitou operátora. Jedná se o variabilitu výsledků měření, které po sobě krátkodobě navazují a jsou prováděny totožným měřidlem a operátorem na stejné součásti v obdobných podmínkách. Reprodukovatelnost je definována jako variabilita průměrů měřených hodnot, které byly měřeny různými operátory za totožných podmínek. Lze ji nazvat jako variabilitu mezi jednotlivými operátory. Opakovatelnost je zapříčiněna náhodnými příčinami a nelze ji tudíž plně eliminovat. U reprodukovatelnosti je hlavním ovlivňujícím parametrem lidský faktor. Z této analýzy lze například určit, který operátor pracuje svědomitěji [54].

Dalším způsobem, jak analyzovat proces měření je pomocí koeficientů způsobilosti měřidla C_g (capability of gauge) společně s navazujícím C_{gk} . Koeficient C_g uvažuje pouze opakovatelnost, kdežto koeficient C_{gk} uvažuje opakovatelnost i strannost. Strannost vyjadřuje odchylku průměrných výsledků měření od referenční hodnoty. Oba koeficienty vycházejí z myšlenky, že rozptyl hodnot, které jsou naměřeny, může být jen částí velikosti tolerančního pole. Zde je možné koeficient způsobilosti rozdělit do dvou variant, podle šířky dovoleného pásma. V prvním případě se jedná o koeficient způsobilosti dle Forda, u nějž je šířka pásma stanovená jako 15 % z velikosti tolerančního pole. Pro způsobilá měřidla je nutné splnění nerovnosti $C_g, C_{gk} > 1$. Ve druhém případě je dovolená šířka pásma 20 % (Bosch) a musí být splněna nerovnost $C_g, C_{gk} > 1,33$. Na výsledky analýzy nemá použitá metoda vliv. Mnou použitý způsob výpočtu byl podle Forda, jehož výpočet lze vidět v následujících rovnicích. Výpočet dle Bosche má odlišné rovnice [54].

$$C_g = \frac{0,15 \cdot (USL - LSL)}{6 \cdot S_g} \quad (1)$$

USL horní mezní hodnota

LSL dolní mezní hodnota

S_g výběrová směrodatná odchylka opakovaně
naměřených hodnot

$$C_{gL} = \frac{\bar{x} - (T - 0,075\Delta)}{3 \cdot S_g} \quad (2)$$

$$C_{gU} = \frac{(T + 0,075\Delta) - \bar{x}}{3 \cdot S_g} \quad (3)$$

\bar{x} průměrná hodnota měření

Δ =USL-LSL

T referenční hodnota

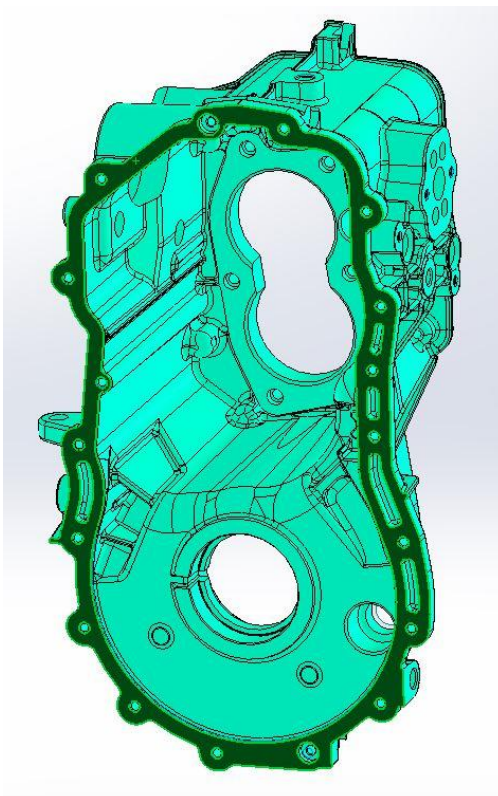
$$C_{gk} = \min(C_{gL}; C_{gU}) \quad (4)$$

Z definic jednotlivých způsobů analýz lze říci, že metoda R&R je vhodná pro kontrolu takového procesu, do kterého vstupuje lidský faktor. Oproti tomu koeficienty způsobilosti měřidla je vhodné použít pro analýzu procesu měření na automatickém pracovišti, kam nezasahuje lidský element.

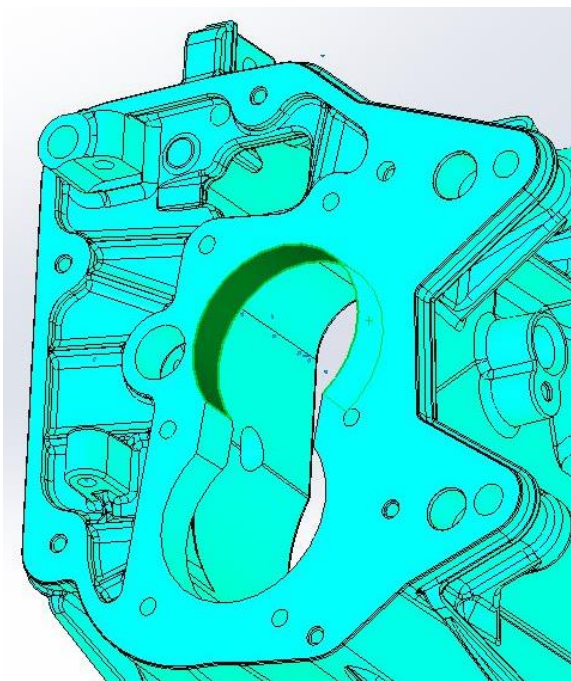
5.1 Rozbor měřené součásti

Měřenou součástí je jeden z 8 typů zadaných převodových skříní. Obrábění tohoto typu je prováděno v několika navazujících výrobních operacích. Plán měření, který jsem měl k dispozici byl naprogramován pro kontrolu kvality součásti po jedné z těchto výrobních operací. Na součásti se převážně měřily charakteristiky typu průměr, kdy docházelo ke kontrole obrobených otvorů. Mezi dalšími charakteristikami se nacházela rovinnost a vzdálenost jedné plochy.

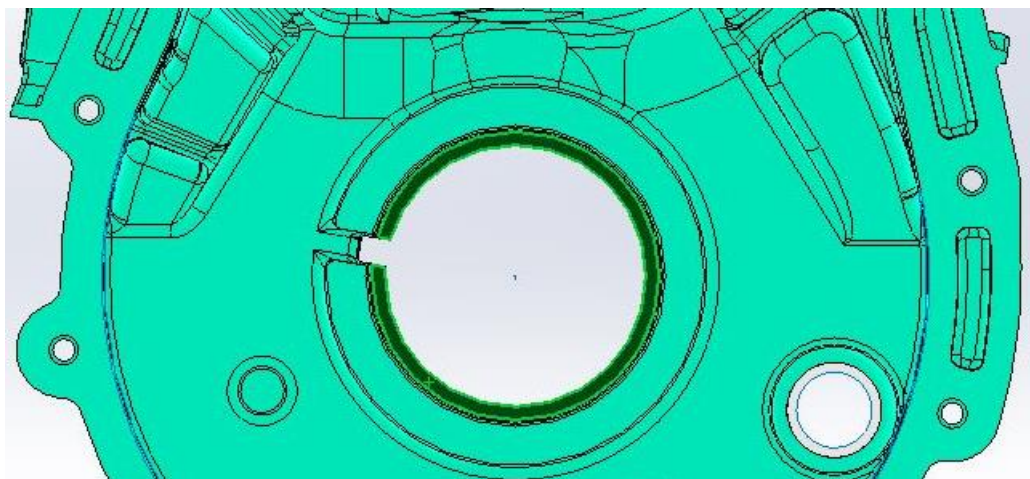
Pro analýzu způsobilosti měřidla jsem si vybral jen omezené množství charakteristik, aby měření nebylo tak časově náročné. Jelikož v plánu měření, jímž jsem disponoval nebylo mnoho odlišných charakteristik, přidal jsem pro vyhodnocení způsobilosti dvě další, kterými byly rovnoběžnost dosedací plochy a kruhovitost jednoho z otvorů. Všechny měřené charakteristiky lze vidět na následujících obrázcích.



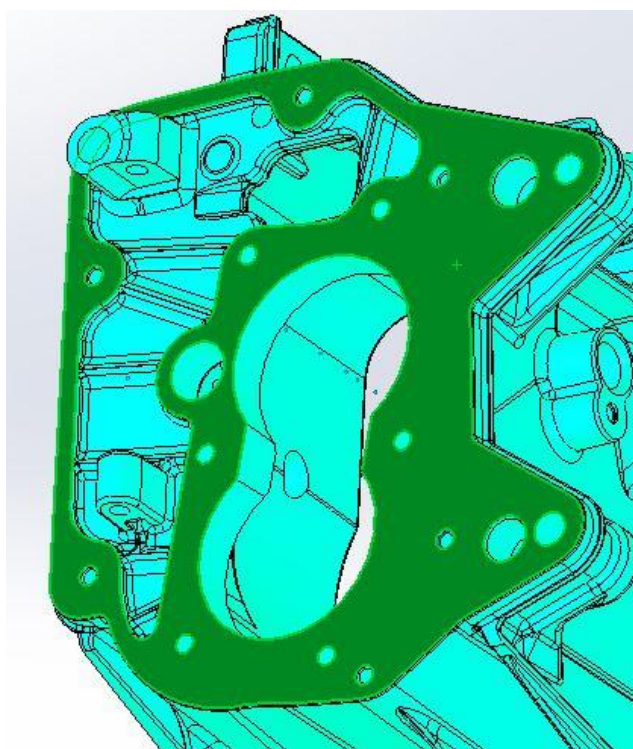
Obrázek 57 - Rovinnost základní roviny



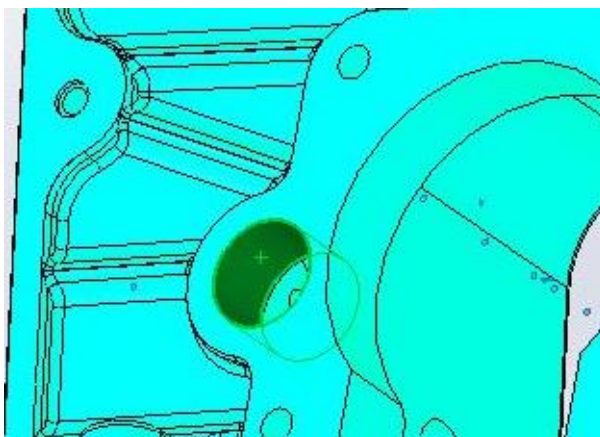
Obrázek 58 - Průměr válcové plochy



Obrázek 59 - Vzdálenost plochy od základní roviny



Obrázek 60 - Rovnoběžnost se základní rovinou



Obrázek 61 - Kruhovitost válcové plochy

Přehled velikosti tolerančních polí, které jsou zásadní pro vyhodnocení, najdete v následující tabulce.

Tabulka 14 - Měřené charakteristiky

Charakteristika	Jmenovitý rozměr [mm]	Tolerance [mm]
Rovinnost	0	+0,1
Průměr	66,3 M6	-0,005 -0,024
Vzdálenost	15,2	0 -0,15
Rovnoběžnost	0	+0,2
Kruhovitost	0	+0,05

5.2 Naměřené hodnoty

Měření probíhalo dvěma způsoby. Při prvním měření byly všechny charakteristiky změřeny pětadvacetkrát a měřený díl byl upnutý ve stále stejné poloze, bez jakékoliv manipulace s měřeným dílem. Při druhém způsobu měření byly všechny charakteristiky také měřeny pětadvacetkrát, ale mezi jednotlivými kontrolami bylo s měřeným dílem manipulováno. Byl vyjmut z přípravku a poté do něj zase upnut. Tím se zajistilo, aby do výsledků způsobnosti byl zahrnut i vliv přípravku.



Tabulka 15 – Naměřené hodnoty bez manipulace s měřeným dílem

BEZ MANIPULACE					
Č. měření	Rovinnost [mm]	Průměr [mm]	Vzdálenost [mm]	Rovnoběžnost [mm]	Kruhovitost [mm]
1	0,0347	66,2759	15,1341	0,0378	0,0030
2	0,0347	66,2762	15,1341	0,0373	0,0029
3	0,0347	66,2761	15,1341	0,0351	0,0028
4	0,0348	66,2761	15,1340	0,0345	0,0029
5	0,0347	66,2759	15,1339	0,0388	0,0029
6	0,0348	66,2760	15,1339	0,0347	0,0028
7	0,0347	66,2760	15,1339	0,0375	0,0027
8	0,0347	66,2761	15,1343	0,0352	0,0026
9	0,0347	66,2760	15,1338	0,0348	0,0026
10	0,0348	66,2760	15,1341	0,0350	0,0026
11	0,0347	66,2754	15,1341	0,0347	0,0034
12	0,0347	66,2759	15,1341	0,0394	0,0025
13	0,0348	66,2758	15,1341	0,0350	0,0025
14	0,0348	66,2758	15,1340	0,0348	0,0025
15	0,0348	66,2758	15,1341	0,0346	0,0024
16	0,0347	66,2759	15,1341	0,0341	0,0023
17	0,0347	66,2759	15,1341	0,0356	0,0023
18	0,0347	66,2760	15,1340	0,0347	0,0022
19	0,0347	66,2760	15,1341	0,0350	0,0023
20	0,0347	66,2760	15,1340	0,0408	0,0023
21	0,0347	66,2760	15,1340	0,0353	0,0021
22	0,0347	66,2761	15,1340	0,0347	0,0022
23	0,0348	66,2762	15,1340	0,0344	0,0023
24	0,0348	66,2763	15,1337	0,0347	0,0022
25	0,0347	66,2762	15,1340	0,0348	0,0021
Maximální odchylka [mm]	0,0001	0,0009	0,0006	0,0067	0,0013

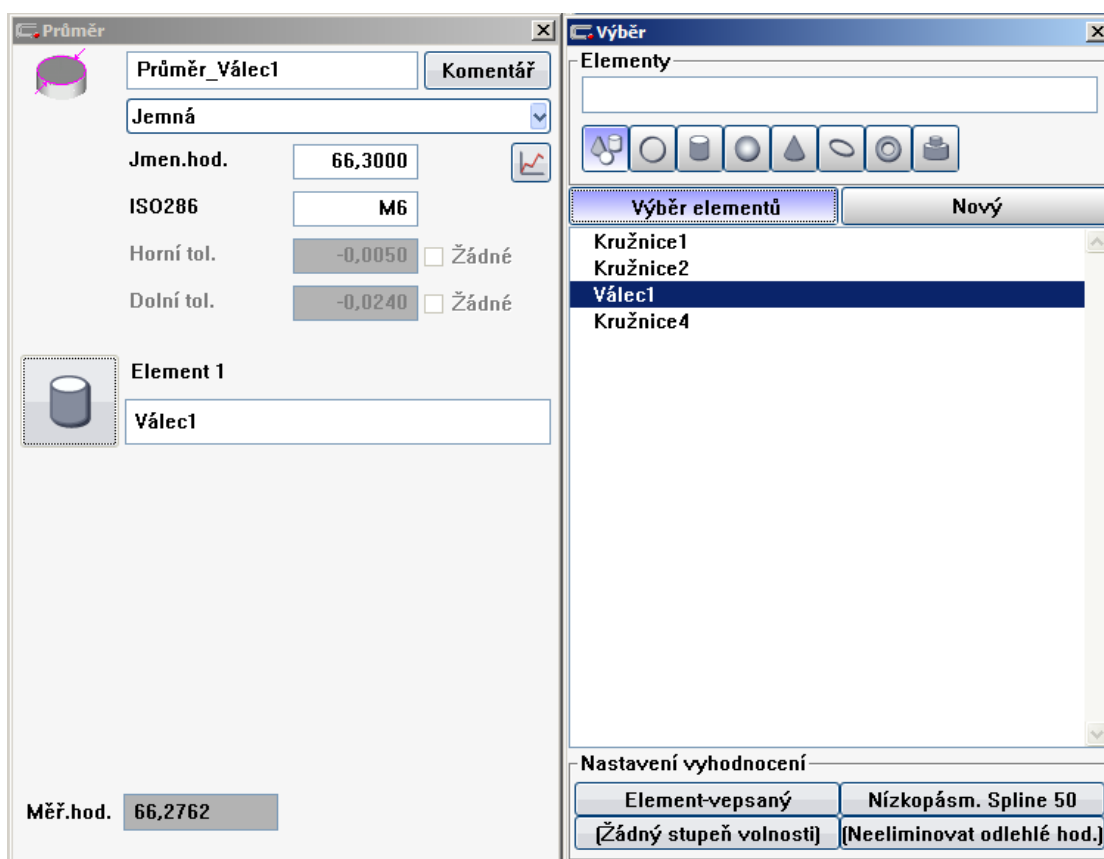


Tabulka 16 - Naměřené hodnoty při manipulaci s dílem mezi kontrolami

S MANIPULACÍ					
Č. měření	Rovinnost [mm]	Průměr [mm]	Vzdálenost [mm]	Rovnoběžnost [mm]	Kruhovitost [mm]
1	0,0342	66,2740	15,1339	0,0447	0,0032
2	0,0346	66,2748	15,1341	0,0363	0,0032
3	0,0346	66,2714	15,1341	0,0418	0,0033
4	0,0346	66,2732	15,1340	0,0397	0,0031
5	0,0347	66,2731	15,1340	0,0443	0,0030
6	0,0347	66,2728	15,1340	0,0442	0,0028
7	0,0346	66,2738	15,1340	0,0422	0,0028
8	0,0347	66,2740	15,1341	0,0417	0,0026
9	0,0346	66,2742	15,1341	0,0351	0,0025
10	0,0347	66,2728	15,1341	0,0388	0,0025
11	0,0348	66,2758	15,1340	0,0396	0,0025
12	0,0347	66,2758	15,1339	0,0345	0,0025
13	0,0346	66,2756	15,1341	0,0371	0,0024
14	0,0346	66,2758	15,1341	0,0345	0,0024
15	0,0347	66,2757	15,1342	0,0372	0,0025
16	0,0339	66,2758	15,1336	0,0365	0,0024
17	0,0344	66,2755	15,1341	0,0378	0,0024
18	0,0347	66,2755	15,1340	0,0397	0,0023
19	0,0348	66,2757	15,1340	0,0341	0,0043
20	0,0343	66,2754	15,1341	0,0346	0,0042
21	0,0347	66,2753	15,1340	0,0416	0,0037
22	0,0346	66,2760	15,1341	0,0345	0,0035
23	0,0348	66,2760	15,1339	0,0375	0,0034
24	0,0347	66,2761	15,1343	0,0342	0,0032
25	0,0350	66,2760	15,1338	0,0356	0,0032
Maximální odchylka [mm]	0,0011	0,0047	0,0007	0,0106	0,0020

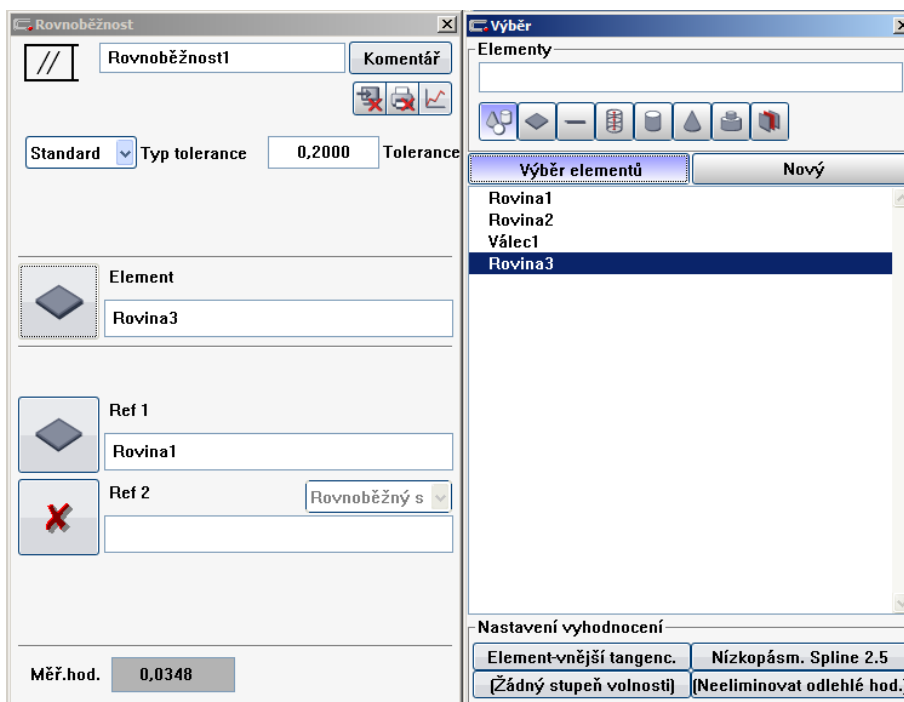
Při prvotním zkoumání naměřených dat byla u některých charakteristik zjištěna velká odchylka mezi jednotlivými náměry, k níž by při použití souřadnicové měřicí techniky nemělo docházet. Z toho důvodu byly u těchto charakteristik zkoumány vlivy, které to mohly způsobit.

Při zkoumání měřených hodnot u charakteristiky typu průměr si lze všimnout pozvolné zvyšování výsledné hodnoty. Proto je možné, že jedním z ovlivňujících faktorů byl teplotní rozdíl, který zapříčinil změnu rozměrů. U této charakteristiky byl také zkoumán vliv metody výpočtu na měřený element. Při prvních měřeních, jejichž výsledky lze vidět v tabulce 15 a 16 byla pro výpočet elementu použita metoda největší vepsané kružnice. Podrobnosti o tomto nastavení je možné vidět na následujícím obrázku.



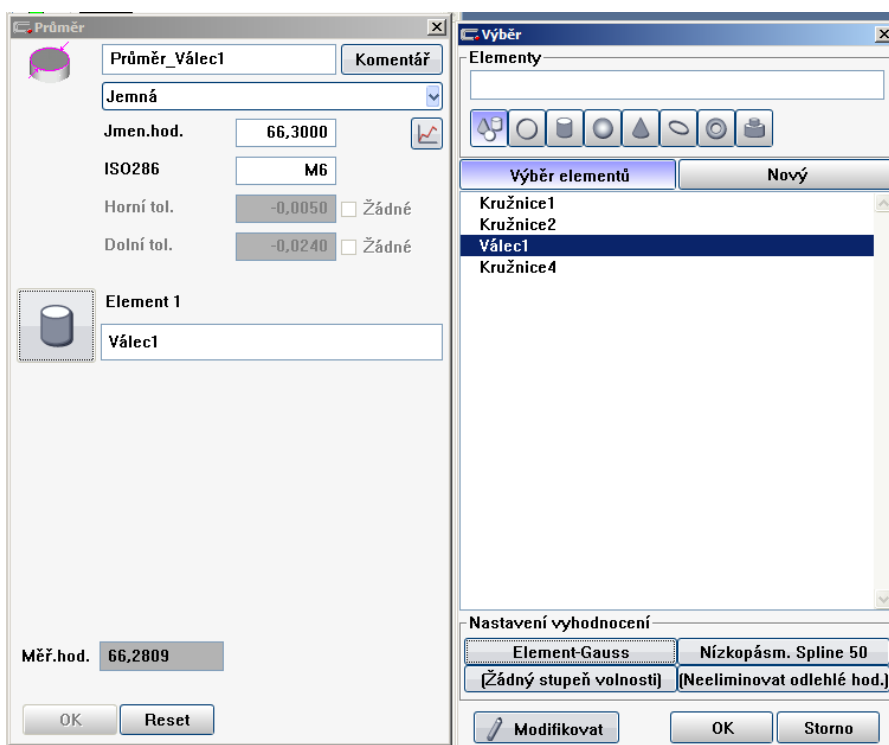
Obrázek 62 - Největší vepsaná kružnice pro výpočet válce 1

Obdobně byl zkoumán vliv metody výpočtu i na rovinu, u níž byla měřena rovnoběžnost. Původně byla pro výpočet elementu použita metoda vnější tangenciální roviny. Nastavení metody výpočtu pro první sadu měření je možné vidět na dalším obrázku.



Obrázek 63 - Vnější tangenciální rovina pro výpočet roviny 3

Pro obě charakteristiky byla metoda výpočtu nově nastavena dle Gausse. Nastavení pro jednu z charakteristik lze vidět na obrázku 64, přičemž nedošlo ke změně použitých filtrů.



Obrázek 64 - Nové nastavení metody výpočtu pro válec 1



Po aplikaci změn nebylo měření prováděno znovu. Došlo ke zpětnému vyvolání měřených bodů a charakteristiky byly vyhodnoceny dle nového nastavení. Výsledné hodnoty po aplikovaných změnách lze vidět v následující tabulce.

Tabulka 17 - Výsledné hodnoty při novém způsobu výpočtu

Č. měření	BEZ MANIPULACE		S MANIPULACÍ	
	Průměr [mm]	Rovnoběžnost [mm]	Průměr [mm]	Rovnoběžnost [mm]
1	66,2809	0,0378	66,2803	0,0447
2	66,2810	0,0373	66,2804	0,0363
3	66,2810	0,0351	66,2802	0,0418
4	66,2809	0,0345	66,2804	0,0397
5	66,2809	0,0388	66,2806	0,0443
6	66,2808	0,0347	66,2807	0,0442
7	66,2808	0,0375	66,2808	0,0422
8	66,2808	0,0352	66,2809	0,0417
9	66,2807	0,0348	66,2809	0,0351
10	66,2807	0,0350	66,2807	0,0388
11	66,2806	0,0347	66,2808	0,0396
12	66,2807	0,0394	66,2808	0,0345
13	66,2807	0,0350	66,2807	0,0371
14	66,2807	0,0348	66,2808	0,0345
15	66,2807	0,0346	66,2807	0,0372
16	66,2807	0,0341	66,2809	0,0365
17	66,2807	0,0356	66,2808	0,0378
18	66,2808	0,0347	66,2807	0,0397
19	66,2808	0,0350	66,2808	0,0341
20	66,2809	0,0408	66,2807	0,0346
21	66,2809	0,0353	66,2808	0,0416
22	66,2810	0,0347	66,2809	0,0345
23	66,2810	0,0344	66,2808	0,0375
24	66,2811	0,0347	66,2808	0,0342
25	66,2811	0,0348	66,2809	0,0356
Maximální odchylka [mm]	0,0005	0,0067	0,0007	0,0107



Při průzkumu nově naměřených hodnot si lze povšimnout, že charakteristika typu průměr dosáhla zcela odlišných výsledků. Za tuto přeměnu je tedy odpovědná změna nastavení výpočtu. V příloze 1 a 2 je vidět rozdíl profilu měřeného válce při použití různých metod výpočtů. Nicméně pozvolné zvyšování výsledných hodnot při měření s manipulací je stále znatelné. Jelikož tento způsob měření byl prováděn jako první, je možné, že součást nebyla na počátku experimentu správně očištěna. Nečistoty byly odstraněny pravděpodobně dotekem snímacího systému až po několika měřeních, čímž lze vyloučit ovlivnění výsledků z hlediska teplotních výkyvů.

Oproti tomu změna metody výpočtu pro rovinu 3 neměla žádný efekt na výsledky měření rovnoběžnosti. Z toho důvodu bylo zkoušeno, zda vlivem upínací síly nedocházelo k deformaci měřené součásti a tím ke zkreslení výsledků. Z nově vypočítaných výsledků rovnoběžnosti byli vybráni zástupci, u kterých došlo k porovnání profilů vyhodnocovaných ploch a základen. Zástupci byli vybráni dle maximální a minimální naměřené hodnoty. Maximální hodnota byla naměřena při měření s manipulací a minimální byla naměřena při měření bez manipulace.

Po porovnání profilů roviny 3 (viz příloha 3 a 5) je patrné, že největší rozdíl je podél hrany mezi body 1 a 2. Pokud porovnáme umístění maxima a minima výškového profilu této plochy zjistíme, že při měření maximální hodnoty jsou umístěny ve stejné pozici jako při měření minimální hodnoty. Vyhodnocení rovnoběžnosti je závislé na základně. Z toho důvodu byly porovnány její profily při měření totožných maximálních a minimálních hodnot (viz příloha 4 a 6). Z profilu základen lze vidět, že poloha minima se nachází na totožném místě. Poloha maxima je však při naměření maximální hodnoty u bodu číslo 2, ale při naměření minimální hodnoty rovnoběžnosti je maximum u bodu číslo 4. Tato změna polohy extrémních bodů může být zapříčiněna velkou odchylkou tvaru ploch vstupujících do vyhodnocení rovnoběžnosti.

Tabulka 18 - Výsledky koeficientu způsobilosti měřidla

Charakteristika	C _g BEZ MANIPULACE	C _g S MANIPULACÍ
Rovinnost	52,511	11,439
Průměr	2,646	0,361
Vzdálenost	31,250	27,521
Rovnoběžnost	2,808	1,445
Kruhovitost	3,829	2,212
Průměr-Gauss	3,405	2,458
Rovnoběžnost-Gauss	2,792	1,447



Z naměřených hodnot pro oba způsoby měření byly dle rovnice (1) vypočítány koeficienty opakovatelnosti, jež můžete vidět v tabulce 18. Pro měření bez manipulace s kontrolovanou součástí jsou výsledky podstatně příznivější než pro měření s manipulací, což bylo očekávané. Po změně naměřených hodnot vlivem metody výpočtu došlo pochopitelně i ke změně ve výsledných hodnotách koeficientů způsobilosti, především u charakteristiky průměru. Na tomto případě je dokázáno, že metodika výpočtu může značným způsobem ovlivnit způsobilost měřidla.

Ze všech výsledných koeficientů nesplňuje požadovanou nerovnost jediný, a to pro měření průměru s manipulací. Na výsledku se projevuje metodika výpočtu a velký rozdíl v naměřených hodnotách, zejména na počátku měření, kdy byla součást pravděpodobně špatně očištěna. Koeficienty pro rovnoběžnost jsou v obou případech vyhovující i přes nezvykle velké odchylky ve vstupních datech.

Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na problematiku upínání měřených součástí při procesu kontroly na CMM. Od tohoto tématu se odvíjely i jednotlivé kapitoly v teoretické části.

V úvodu teoretické části byl popsán význam souřadnicových měřicích strojů a jejich princip použití při procesu kontroly kvality. Pro správnou kontrolu součástí na CMM je důležité dodržovat určitý postup. Dalším tématem, o kterém se pojednává, je vývoj metrologických strojů, jenž je popsán v několika odvětvích.

Hlavní dělení CMM je dle souřadného systému. Na měřicí stroje s kartézským a nekartézským souřadným systémem, přičemž tento druh lze ještě dále rozdělit na stroje s cylindrickými a sférickými souřadnicemi. Kartézských měřicích strojů je několik typů. Použití jednotlivých typů CMM je velmi často spjato s velikostí měřeného dílu.

Pro upínání dílů v rámci rozměrové kontroly kvality existuje více druhů přípravků. Rozdělil jsem je do dvou kategorií, na modulární čili přestavitelné, a jednoúčelové. Účelem modulárních systémů je zajistit stabilní a opakovatelné upnutí pro co možná nejširší sortiment měřených dílů díky rychlé a přesné modifikaci upínacího systému. Způsoby této modifikace se liší v závislosti na výrobci, přičemž jsou využívány různé technologie, kterými je daný výrobce charakterizován. Mezi zástupce modulárních upínacích systémů patří Alufix, Tetrafix nebo Matrix. Jednoúčelové upínací systémy využívají co možná nejjednodušší konstrukci zajišťující tuhost a snadný způsob uchycení součástí. Bylo zjištěno, že pro upínání převodových skříní se nejčastěji používá svislá orientace měřené součásti a že i jednoúčelový systém lze navrhnout jako přestavitelný. Tím lze ušetřit na nákladech spojených s výrobou.

Při návrhu upínacího přípravku byla stanovena svislá orientace měřených dílů. Na všech osmi typech měřených součástí byly nalezeny podobné oblasti, za které mohlo dojít k pevnému a opakovatelnému upnutí. Jednalo se o dvě zaoblené plochy a hlavní dosedací rovinu. Proti dosedací ploše působí přítlačná síla, jenž je vyvozena dvojicí pákových ručně ovládaných upínek. Při změně typu kontrolované převodové skříně je nutné změnit polohu dvou prizmat a natočit pákové upínky. Navržený upínací systém umožňuje přístup ke všem měřeným plochám a svislou orientaci většiny ploch na všech měřených typech. Přístup ke všem kontrolovaným plochám je zajištěn vlastním tvarem přípravku a dorazovými prvky z nerezové oceli. Ty byly do finálního návrhu dodány až po optimalizaci designu kvůli výměně v případě jejich opotřebení. Svislá orientace měřených ploch je

zajištěna pomocí nastavitelných prizmat, která mají tři stupně volnosti a jsou rovněž vyrobena z nerezové oceli. Ostatní komponenty byly vyrobeny z hliníkové slitiny za účelem snížení celkové hmotnosti.

Výrobu potřebných komponent lze zajistit operacemi frézováním, vrtáním a řezáním závitů. Pro hlavní součást přípravku, opěrnou desku, byly i jiné možnosti výroby jako řezání vodním paprskem nebo pálení laserem. V návaznosti na způsob výroby byla stanovena i přibližná cena. Výsledky cenové kalkulace byly porovnány s běžnými náklady na výrobu přípravku v kooperaci. Po porovnání bylo zjištěno, že výroba ve spolupráci s externí firmou je třikrát dražší.

Pro ověření správné funkčnosti přípravku bylo navíc provedeno měření a vyhodnocení opakovatelnosti pomocí koeficientu opakovatelnosti C_g . Potřebná měření pro získání dat byla provedena v laboratořích metrologie FS ČVÚT. Měření probíhalo ve dvou provedeních. Při prvním provedení byla součást upnuta ve stále stejné poloze a byla pětadvacetkrát změřena. Při druhém bylo s měřenou součástí mezi náměry manipulováno, aby byl do výsledků zanesen vliv přípravku. U dvojice charakteristik byly zjištěny nezvykle velké odchylky ve výsledných hodnotách. Tyto odchylky byly pravděpodobně způsobeny špatným očištěním součásti před zahájením měření a velkou odchylkou tvaru ploch, jež vstupovaly do vyhodnocení rovnoběžnosti. Při průzkumu těchto odchylek byl rovněž zkoumán vliv výpočetní metody elementů na celkové výsledky. Pro tento průzkum nebylo měření opakováno, ale proběhlo díky zpětnému vyvolání již naměřených bodů. Bylo zjištěno, že na jednu charakteristiku má změna výpočetní metody značný vliv, což mělo pozitivní vliv na výsledky opakovatelnosti. Z toho lze usuzovat, že by mohlo docházet k záměrnému ovlivňování výsledků díky změnám výpočetních metod.

Dalším stupněm vývoje tohoto přípravku by mohla být úplná automatizace procesu upínání a výměny kontrolovaných součástí. Upínání lze ovládat pneumaticky a výměnu součástí by bylo možné provádět s pomocí robotické ruky.



Seznam použité literatury:

- [1] NENÁHLO, Čeněk. Souřadnicová měřicí technika. *MM Průmyslové spektrum*. 2011, 2011(3), 1.
- [2] Prismo. In: Zeiss [online]. b.r. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/metrologie/website/references/bridge-type-cmms-container/j/m/atiteaser_9113/image.mobile.980.jpg/1504171260826.jpg/ZEISS-PRISMO-Teaser.jpg
- [3] HOCKEN, Robert a Paulo PEREIRA. *Coordinate measuring machines and systems*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 978-157-4446-524.
- [4] POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998. ISBN 80-708-3326-2.
- [5] BERÁNEK, Libor. *Průmyslová metrologie* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <http://u12134.fsid.cvut.cz/?udaj=predmet&id=C41702>
- [6] IMKAMP, Dietrich, Jürgen BERTHOLD, Michael HEIZMANN et al. Challenges and trends in manufacturing measurement technology. *Journal of Sensors and Sensor Systems*. 2016, 5(2), 325-335. DOI: 10.5194/jsss-5-325-2016. ISSN 2194-878X. Dostupné také z: <https://www.j-sens-sens-syst.net/5/325/2016/>
- [7] Gymrumburk. *Gymrumburk: souřadné systémy* [online]. Rumburk, b.r. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: http://www.gymrumburk.cz/personal/lib/exe/fetch.php?media=seifert:ujep:fpj:p02-souradnice_atp.pdf
- [8] ČSN EN ISO 10360-1. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) - Část 1: Slovník*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [9] Acura. In: Zeiss [online]. b.r. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/metrologie/website/references/bridge-type-cmms-container/j/m/atiteaser_1df5/image.mobile.980.jpg/1401733432048.jpg/ZEISS-ACCURA-Teaser.jpg



- [10] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie - část 1* [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>. Skripta. Technická univerzita Ostrava.
- [11] MMZ E. In: *Zeiss* [online]. b.r. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/large-cmms/mmz-e.html>
- [12] *Zeiss* [online]. b.r. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy.html>
- [13] DuraMax. In: *Zeiss* [online]. b.r. [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/production-cmms/duramax/j/s/stage_7bee/slide_cce1/stageimage_ba45/image.mobile.980.jpg/1496046638401.jpg/zeiss-duramax-stage.jpg
- [14] MarForm MMQ 150. In: *Mahr* [online]. b.r. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.mahr.com/cs/Produkty-a-slu%C5%BEby/V%C3%BDrobn%C3%AD-m%C4%9B%C5%99ic%C3%AD-technika/Produkty/MarForm---Stoln%C3%AD-tester-na-kontrolu-tvar%C5%AF/MarForm-MMQ-150/>
- [15] MarSurf LD 130. In: *Mahr* [online]. b.r. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.mahr.com/cs/Produkty-i-us%C5%82ugi/Techniki-pomiar%C3%B3w-produkcyjnych/Produkty/MarSurf---Urz%C4%85dzenia-pomiarowe-do-mierzenia-kontur%C3%B3w/MarSurf-LD-130-LD-260/>
- [16] Nikon Metrology | Laser Radar for inline inspection. *YouTube* [online]. b.r. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=odIYMRyCFDo>
- [17] High Speed Laser Radar Coordinate Measuring System. *Metrology News* [online]. b.r. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://metrology.news/high-speed-laser-radar-coordinate-measuring-system>
- [18] Laser Tracker. In: *Axist* [online]. b.r. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: http://www.axist.it/img/img_uploaded/3396_Lasertracker_metrology.png
- [19] Laser Trackery. *TopMes* [online]. b.r. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.topmes.cz/technologie/trackery/laser-trackery/98-radian>



- [20] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [21] PROKOP, Martin. Co je laser tracker a jak se s ním měří?. *TopMes* [online]. b.r. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: http://www.topmes.cz/download/?filename=l7w9j1g4_files%2F09_co_je_laser_tracker.pdf&downloadName=Co+je+laser+tracker
- [22] KLABOUCH, Jaroslav. Mobilní souřadnicové měřicí stroje pro dílnu i laboratoř. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, 2010(10).
- [23] 8-osý systém FaroArm nastavuje nový standard. *Přístroje pro měření a metrologii* [online]. b.r. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/novinky/detail/8-osy-system-faroarm-nastavuje-novy-standard.htm>
- [24] Faro 8 Axis Quantum FaroArm. In: *Přístroje pro měření a metrologii* [online]. b.r. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor/2-novinky/2018/FARO-8Axis-Design-ScanArm-2.jpg>
- [25] Faro Quantum Scanarm. *Faro* [online]. b.r. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: <https://faro.ib-caddy.com/quantum.php>
- [26] CAMPBELL, Gillian. Simplicity Key to CMM Fixturing. *Quality Magazin* [online]. 2004 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/84005-simplicity-key-to-cmm-fixturing>
- [27] PHILLIPS, Gary. Fixtures Meet Need for Flexibility. *Quality Magazin* [online]. 2008 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/85820-fixtures-meet-need-for-flexibility>
- [28] Upínací systémy. *Zeiss* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy.html
- [29] ZEISS. *Carfit Catalog Kit Systems*. Německo, 2006. Dostupné také z: www.zeiss.de/carfit



- [30] Upínací stavebnice s profilovou konstrukcí. *Zeiss* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy/zeiss-carfit-cmp.html
- [31] Řada pro zařízení na kontrolu sestav. *Zeiss* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy/zeiss-carfit-cmx.html
- [32] Systém pro optická měření. *Zeiss* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy/zeiss-carfit-cmo.html
- [33] Renishaw FixtureBuilder. *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/renishaw-fixturebuilder--36732>
- [34] Upínací přípravky. *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/Shop/Default/Home/Fixtures>
- [35] Upínací desky. *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://www.renishaw.com/shop/Default.aspx?Path=/Config_CustomerSpecific/RENISHAW/Navigation/Home/Fixtures/Plates&Page=2
- [36] Upínací podpěry. *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: https://www.renishaw.com/shop/Default.aspx?Path=/Config_CustomerSpecific/RENISHAW/Navigation/Home/Fixtures/Standoffs&Page=1
- [37] Upínky. *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: https://www.renishaw.com/shop/Default.aspx?Path=/Config_CustomerSpecific/RENISHAW/Navigation/Home/Fixtures/Clamps&Page=3
- [38] Upínací magnety. *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/Shop/Default/Home/Fixtures/Magnets>
- [39] Upínací stavěcí věže. *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/Shop/Default/Home/Fixtures/Towers>
- [40] Upínací nastavitelné prvky. *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/Shop/Default/Home/Fixtures/Adjustables>



- [41] CMM fixture setup with a range of standard clamping and magnetic components. In: *Renishaw* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/media/img/gen/ba8dcb20763842eeaaaa4393c78281f5.jpg>
- [42] Modular fixtures. *Tetrafix* [online]. b.r. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.tetrafix.se/en/modular-fixtures.html>
- [43] BLUE CLAMP - X-SUPPORT XL. *Matrix* [online]. b.r. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.matrix-innovations.com/en/Produktwelt/BLUE-CLAMP/X-SUPPORT-XL/>
- [44] Frequently asked questions. *Matrix* [online]. b.r. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.matrix-innovations.com/en/FAQ/>
- [45] HORST WITTE. *Alufix: Modular Fixturing Systems*. Německo, 2017, 2017/2018. Dostupné také z: <https://media.witte-barskamp.com/cms-downloads/en/2017/ALUFIX-2017-Gesamt-E.pdf>
- [46] Systém Alufix. In: *Esperanto* [online]. b.r. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <https://www.esperantomb.cz/alufix-classic.html>
- [47] Master Buck Fixture. In: *Thomasnet* [online]. b.r. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/profile/30712281/witte-america.html>
- [48] Gallery. *Modular Engineering* [online]. 2019 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://modular-engineering.com/easy-fix-photo-gallery/#prettyPhoto>
- [49] Unique Fixture System Provides Robust CMM Solution. *Metrology News* [online]. 2019 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://metrology.news/unique-fixture-system-provides-robust-cmm-solution/>
- [50] Pipe Checking Fixture. In: *Lofting Services North West* [online]. b.r. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://www.loftingservices.co.uk/capabilities/checking-fixtures/pipe-checking-fixture>
- [51] Pneumatic Clamping Fixture. *Indiamart* [online]. b.r. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/pneumatic-clamping-fixture-13433145855.html>



- [52] Pneumatic Clamp Fixture. *Indiamart* [online]. b.r. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/pneumatic-clamp-fixture-8483382033.html>
- [53] Rapid-Loc Pneumatic Vise. *Cuttin Tool Engineering* [online]. b.r. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.ctemag.com/products/rapid-loc-pneumatic-vise>
- [54] CHMELÍK, Václav a Jan KRÁL. *Část K - Analýza měření*. b.r.