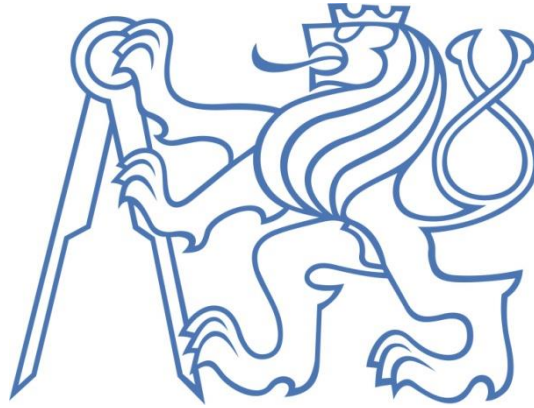


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Analýza použití vybraných upínacích systémů pro měření na
CMM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Milan Petřík

Studijní obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Libor Beránek, Ph.D.



Vysoká škola: ČVUT v Praze

Fakulta: strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Bc. Milana Petříka**

obor Výrobní a materiálové inženýrství

Název: Analýza použití vybraných upínacích systémů pro měření na CMM

Název anglicky: Analysis of the selected clamping systems for measurement on CMM

Zásady pro vypracování:

1. Vliv upnutí součástí při kontrole kvality na souřadnicové měřicí technice.
2. Analýza hlavních modulárních řešení upínání součástí pro měření na CMM.
3. Návrh systému upínání vybraných součástí s využitím modulárních řešení.
4. Zhodnocení složitosti montáže systému upínání a časové náročnosti.





Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval zcela samostatně a za odborného vedení vedoucího diplomové práce. Všechny použité informační zdroje z nich jsem čerpal, jsou v práci citovány a uvedeny v seznamu literatury.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů.

V Praze dne

.....

podpis



Mé poděkování patří Ing. Liboru Beránkovi, Ph.D. za hodnotné rady a pomoc při řešení diplomové práce. Velký dík patří celé mé rodině za psychickou a finanční podporu během celého studia.



Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na analýzu použití vybraných upínacích systémů pro měření na CMM. V úvodní části je uveden vliv upnutí součástí při kontrole kvality na souřadnicové měřicí technice. Následuje rozbor postupu měření na souřadnicové měřicí technice. V další části je věnována pozornost analýze hlavních modulárních řešení pro upínání součástí při měření. Cílem této práce je návrh systému upínání vybraných součástí s využitím dostupných modulárních řešení. Analýza byla provedena na základě zhodnocení složitosti montáže systému a časové náročnosti. U vybrané součásti proběhlo měření zvolených charakteristik a porovnání návrhů upínání podle koeficientu způsobilosti.

Klíčová slova: Souřadnicová měřicí technika (CMM), upnutí, modulární upínací systémy, návrh, časová náročnost, koeficient způsobilosti.

Abstract

The thesis is focused on analysis of selected clamping systems for measurement on CMM. In the first part, the influence of the clamping part is introduced in the quality control on coordinate measuring technology. Following analysis of the measurement process for coordinate measuring technology. The next part is devoted to analysis of the main modular clamping solutions for measurement. The goals of this work is design clamping systems using modular solutions for selected components. The analysis was performed based on the assessment of the complexity of installation and time-consuming. The selected components was measured and clamping systems was executed by comparing coefficient of gauge capability.

Key Words: Coordinate measuring machine (CMM), clamping, modular clamping systems, design, time – consume, coefficient of gauge capability.



Obsah

1. Úvod.....	9
2. Proces měření.....	10
2.1 Zdroje variability systému měření.....	11
2.1.1 Opakovatelnost.....	12
2.2 Hodnocení způsobilosti měření.....	13
2.2.1 Ukazatel způsobilosti měřidla.....	14
3. Souřadnicové měřicí stroje.....	16
3.1 Princip měření na CMM.....	17
3.2 Využití CAx systémů.....	18
3.3 Postup kontroly součástí na CMM.....	20
3.3.1 Analýza výkresové dokumentace.....	20
3.3.2 Upnutí součásti.....	21
3.3.3 Konfigurace a kalibrace snímacího systému.....	23
3.3.4 Vyrovnání součásti.....	29
3.3.5 Měření elementů.....	30
3.3.6 Strategie měření.....	31
4. Modulární upínací systémy.....	33
4.1 Vybraní výrobci upínacích systémů.....	35
4.1.1 Junker & Partner Carl Zeiss.....	35
4.1.2 Horst Witte.....	38
4.1.3 MATRIX Gmbh.....	41
4.2 Kategorizace upínacích prvků.....	42
4.2.1 Základní deska, rám.....	43
4.2.2 Vzpěry, podpěry.....	46
4.2.3 Polohovací nastavitelné prvky.....	48
4.2.4 Upínky.....	50
4.2.5 Příslušenství.....	52
4.3 Konstruování konfigurací upínacích systémů.....	53
5. Návrh konfigurací modulárních upínacích systémů pro vybrané aplikace.....	55
5.1 Použitá modulární řešení.....	56
5.2 Návrh upínacích přípravků pro plastový komponent.....	57
5.2.1 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému ALUFIX.....	60
5.2.3 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému CARFIT.....	61



5.3 Návrh upínacích přípravků pro těleso čerpadla.....	64
5.3.1 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému Alufix.....	69
5.3.2 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému CARFIT.....	71
5.4 Návrh upínacích přípravků pro skříň převodovky	73
5.4.1 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému Alufix.....	76
5.4.2 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému CARFIT.....	79
5.5 Zhodnocení časové náročnosti a složitosti montáže navržených upínacích systémů	81
5.6 Tvorba plánu měření pro vybranou komponentu	84
5.6.1 Geometrické specifikace produktu	84
5.6.2 Konfigurace snímačů	84
5.6.3 Vyrovnání součásti	85
5.6.4 Definování bezpečnostních rovin	85
5.6.5 Volba elementů a určení strategie měření.....	86
5.7 Vyhodnocení způsobilosti.....	88
5.7.1 Naměřené hodnoty	89
5.7.2 Výsledky ukazatele způsobilosti C_g	90
6. Závěr.....	93



Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka	Význam	Český význam
CMM	Coordinate measuring machine	Souřadnicová měřicí technika
C_g		Ukazatel způsobilosti
S_g		Směrodatná odchylka
USL	Upper Specification Limit	Horní tolerance
LSL	Lower Specification Limit	Dolní tolerance
3D	Three dimensional	Trojrozměrný
CAD	Computer Aided Design	Počítačem podporované konstruování



1. Úvod

Vzhledem k stále se zvyšujícím požadavkům na proces měření je kontrola kvality nucena využívat nových moderních technologií. Těmito moderními technologiemi jsou souřadnicové měřicí stroje. Jejich nespornou výhodou je vysoká přesnost, rychlost a opakovatelnost měřicího procesu. Měřicí zařízení je však jen částí kompaktního systému měření, dalším důležitým bodem je výběr vhodného upínacího systému měřené součásti, který zajistí přesné, tuhé a opakovatelné upnutí.

V úvodu své práce popisuji vliv upnutí součásti na variabilitu procesu měření při kontrole kvality. Následující část se zabývá principem měření a postupem kontroly součástí CMM. V této části se již zabývám problematikou upnutí součástí a představuji hlavní způsoby, jak zajistit upnutí součásti a to buď pomocí jednoúčelových přípravků, nebo modulárních upínacích systémů. Dále se již zaměřuji na modulární upínací systémy z důvodu stěžejní části mé práce, kterou je analýza hlavních modulárních řešení upínání součástí pro měření na CMM. Představuji výhody a nevýhody použití modulárních přípravků, hlavní výrobní představitele těchto systémových řešení a jejich konstrukční koncepce. Z důvodů pochopení účelnosti modulárních prvků kategorizuji jednotlivé elementy podle jejich funkce při navrhování konstrukce přípravků. Následně popisuji faktory, které je třeba brát v potaz při navrhování konfigurací konstrukcí modulárních systémů. V experimentální části své práce navrhuji upnutí vybraných součástí s využitím dostupných modulárních řešení. Součásti reprezentují různé výrobní představitele strojího průmyslu z hlediska tvarů, rozměrů a materiálů. Navržené upínací konstrukce zhodnotím na základě složitosti montáže systému upínání a časové náročnosti. Na vybrané součásti upnuté pomocí sestavených řešení provedu měření vybraných charakteristik, které vyhodnotím pomocí ukazatele způsobilosti a výsledky z jednotlivých systémů porovnáám.



2. Proces měření

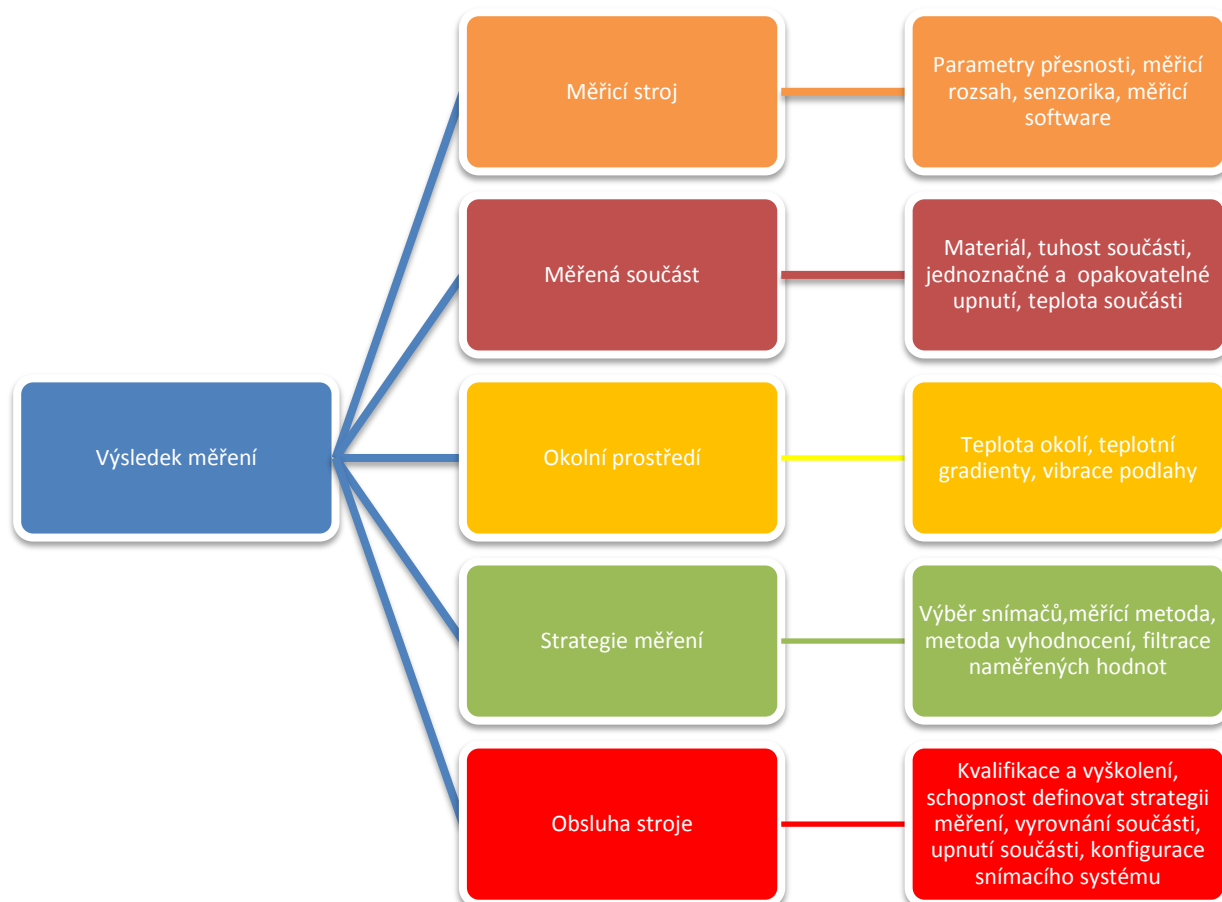
Měřicí zařízení, samotné měření a následná analýza je součástí procesu měření. Geometrické specifikace společně s technickými požadavky určují, jaký by měl výstup z procesu měření vypadat. Poznatky o chování procesu se získávají na základě naměřených dat z procesu. Tato kontrola slouží k porovnání vhodnosti zvolených parametrů procesu, rozpracovaných dílů, nebo dokončených výrobků za pomoci vhodných etalonů a měřicího zařízení, které umožní pozorovateli potvrdit, nebo odmítnout předpoklad, že proces pracuje stabilizovaným způsobem a s přijatelnou variabilitou v souladu s předepsanou cílovou hodnotou. Nicméně každá naměřená hodnota se bude od ostatních hodnot lišit i při co nejvíce pečlivém dodržení podmínek měření, protože proces je ovlivněn variabilitou měření [1].

Protože proces měření je ovlivněn variabilitou byly vypracovány metodiky na analýzu systému měření, nejedná se pouze o posouzení výsledků měření, jako je tomu při určování nejistoty měření. Cílem analýzy systému měření je určení zdrojů nepřesnosti za účelem jeho vylepšení. Mezi základní zdroje nepřesností výsledku měření patří měřicí zařízení, měřená součást, okolní prostředí, strategie měření a obsluha stroje.



2.1 Zdroje variability systému měření

Graf 1 Zdroje variability při procesu měření [5]

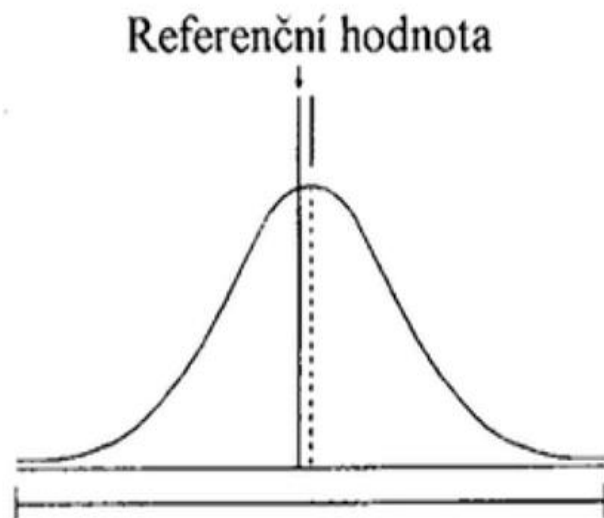


Z grafu 1 je patrné, že problematika upínání součásti se promítá ve více úrovních zdrojů variability, jenž mají vliv na výsledek měření, konkrétně u měřené součásti a obsluhy stroje. Cílem vývoje upínacích přípravků je zajištění jednoznačného a opakovatelného upnutí za pomoci obsluhy měřicího zařízení. Zdroj nepřesnosti upnutí můžeme posuzovat jako odchylku charakterizující variabilitu vyjádřenou opakovatelností.



2.1.1 Opakovatelnost

Opakovatelnost se běžně označuje jako variabilita „operátora“. Opakovatelnost je variabilita výsledků měření získaných jedním měřicím přístrojem, který byl použit několikrát jedním operátorem při měření identické charakteristiky na stejném dílu. Toto je inherentní variabilita nebo způsobilost samotného zařízení. Opakovatelnost se běžně nazývá variabilitou zařízení (EV – equipment variation). Ve skutečnosti je opakovatelnost rozptylem vyvolaným náhodnými příčinami (náhodnými chybami) v po sobě následujících zkouškách realizovaných za definovaných podmínek měření. Nejlepším výrazem je variabilita uvnitř systému. Přípustné příčiny nevyhovující opakovatelnosti mohou být zapříčiněné dílem (konzistence výběru, forma, poloha, povrchová úprava, zkosení), přístrojem (oprava, opotřebení, chyba zařízení, špatná údržba), etalonem (kvalita, třída, opotřebení), metodou (variabilita nastavení, upnutí při měření), operátorem (technika, poloha, nedostatek zkušeností, odbornost při manipulaci, cit, únava), prostředím (výkyvy teploty, vlhkosti, vibrace, osvětlení, míra čistoty prostředí) [2][3][4].



Obr. 1 Opakovatelnost [3]

Vliv variability upnutí charakterizovaný opakovatelností lze posuzovat pomocí naměřených hodnot měření, které je možné porovnávat na základě vyhodnocení koeficientů způsobilosti měření.



2.2 Hodnocení způsobilosti měření

Vyhodnocování způsobilosti výrobního procesu je součástí statistického řízení procesu (SPC). Cílem statistického řízení procesu je dostat proces do stabilního stavu (statisticky zvládnutého stavu), kdy na proces působí pouze náhodné příčiny, které sice nenechávají proces v klidu, ale jejich vliv se projevuje v tom, že sledovaný jakostní znak lze chápat jako náhodnou veličinu s určitým typem rozdělení pravděpodobnosti, které je stabilní v čase. Toto rozdělení pravděpodobnosti je pak možné použít pro predikci budoucího stavu procesu. Obvykle vhodné rozdělení pravděpodobnosti je závislé na parametrech, jejichž hodnoty většinou neznáme a je nutné je odhadnout z naměřených dat. Pod vlivem náhodných příčin výrobní proces vykazuje variabilitu, která je mu vlastní (inherentní) a kterou nelze z procesu odstranit. Lze pouze vhodnými zásahy do procesu snižovat jejich úroveň a dostat tak proces do stavu kdy bude produkovat přijatelný podíl neshodných výrobků. Analýza regulačních diagramů dává signály o možném výskytu druhé kategorie příčin, které ovlivňují změny v chování výrobního procesu. Tyto příčiny se nazývají speciální či vymezitelné, protože je často dovedeme identifikovat na rozdíl od náhodných příčin, které rozpoznat neumíme. Vymezitelné příčiny vyvolávají změny v procesu, které se u měřitelných znaků jakosti na výrobku projevují posouváním parametru polohy či změnami v úrovni variability a u měřitelných znaků změnami v přítomnosti neshodných kusů či neshod. Vymezitelné příčiny je nutno z procesu odstranit a nechat prostor pro působení pouze náhodných příčin, teprve proces nacházející se ve stabilním stavu můžeme vyhodnocovat z hlediska jeho způsobilosti [13].



2.2.1 Ukazatel způsobilosti měřidla

Pro stanovení koeficientu způsobilosti měřidla se používají dva způsoby výpočtu navržené firmami Ford a Bosch. V obou případech uvažují, že rozptyl měřidla může být jen částí rozptylu parametru charakterizujícího proces. Šířka pásma byla stanovena na základě zkušeností a ekonomickou úvahou, obvykle doporučovaný poměr 1:10 není možný dodržet. V obou případech je možné vztáhnout způsobilost měřidla k rozptylu procesu nebo k požadované šíři tolerančního pole. Lepší výsledky v prvním případě dostáváme, když přirozená variabilita procesu vyplňuje větší část tolerančního pole, ve druhém případě dostaneme lepší výsledky, když přirozená variabilita procesu vyplňuje menší část tolerančního pole. Vycházet bychom měli z opticky horšího výsledku. Odhad ukazatele způsobilosti založený na mezních hodnotách sledovaného jakostního znaku je vyjádřen následujícími vzorci [13].

1. varianta: šířka pásma 15% (Ford)

$$C_g = 0,15(USL - LSL)/6s_g \quad (1)$$

s_g je výběrová směrodatná odchylka z naměřených dat

2. varianta: šířka pásma 20% (Bosch)

$$C_g = 0,20(USL - LSL)/6s_g \quad (2)$$

Pro způsobilá měřidla je požadováno splnění nerovnosti:

$$C_g > 1 \text{ uvažujeme-li pouze opakovatelnost.}$$

Oba způsoby vyhodnocení jsou v praktickém důsledku rovnocenné. Umožňují posoudit, zda je měřidlo vhodné pro danou úlohu.



Moderní měřicí přístroje nabízejí více možností měření a vyhodnocení. Je to dáno snahou o co největší univerzalitu drahých zařízení. U přístrojů nabízejících možnosti filtrace naměřených hodnot (např. drsnost, vlnitost) záleží na tom, jaký typ filtru byl předvolen a zda byl vůbec předvolen; u přístrojů nabízejících různé referenční hodnoty (kruhovitost, válcovitost) záleží na tom, jaká reference a jaký typ filtru byly zvoleny. U tzv. krokových metod měření (přímost, rovinnost) záleží na nastavené délce kroku a metodě vyhodnocení, u souřadnicových měřicích strojů na počtu bodů sejmutých pro výpočet měřeného geometrického prvku. Podobně by bylo možné upozornit na úskalí i u jiných typů měření. V každém případě je nutné uvést u naměřených hodnot podmínky a parametry nastavení, za kterých byly získány [1].

Porovnávat měření je možné jen v případech, kdy byly stejné podmínky a stejná nastavení. Významné rozdíly mezi naměřenými hodnotami mohou nastat právě nastavením jiných podmínek měření [1]. Jednou z nejvýznamnějších technologií při kontrole kvality je v současnosti měření na souřadnicových měřicích strojích a právě problematikou měření na těchto strojích se zabývám v následující kapitole.



3. Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicové měřicí stroje (CMM – coordinate measuring machines) představují jednu z nejvýznamnějších, dynamicky se rozvíjejících inovací v oblasti měření ve strojírenství. CMM se začaly využívat zhruba před padesáti lety paralelně s nástupem výpočetní techniky a jejím propojováním s výrobou a kontrolou kvality.

Konstrukce souřadnicových měřicích strojů byla zapříčiněna potřebou měření tvarově složitých součástí v automobilovém a leteckém průmyslu (např. měření karoserií vozů), nebo u NC a CNC strojů. V současné době se většina výrobních podniků bez CMM téměř neobejde. Souřadnicová měřicí technika se tedy stala nezbytným předpokladem pro kontrolu kvality v průmyslu. Postupem času byly vyvinuty normy a směrnice k harmonizaci specifikace výkonnosti CMM. Hlavním důvodem byla především možnost, aby byl uživatel schopen provést porovnání při nákupu zařízení a jeho způsobilosti ve výrobě. Návaznost na národní standardy a přesnost měření provedených u tříosých souřadnicových měřicích strojů je velice důležitá pro zachování důvěry a spolehlivosti měření [6].

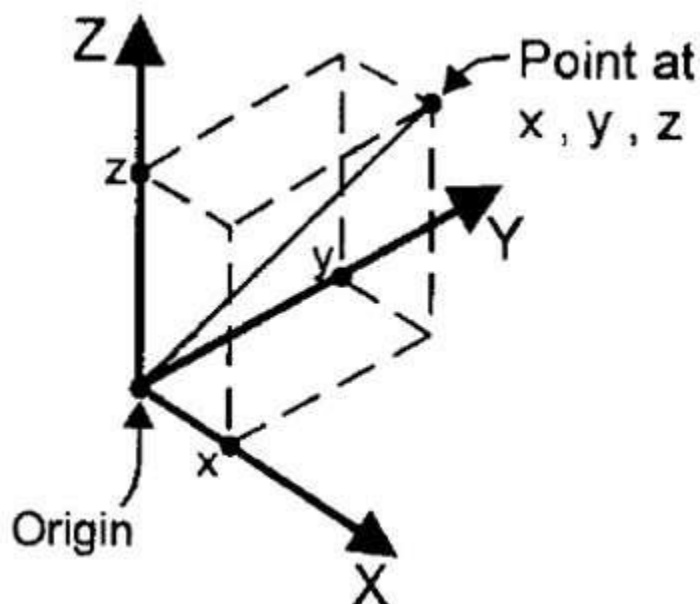
Mezi další významné výhody měření pomocí CMM patří rychlost měření umožňující kontrolovat větší počet kusů a tím urychlit vyhodnocování. CMM kontroluje výrobky podobným způsobem, jako je CNC stroj vyrábí, měřené časy redukuje asi o 80%. Spolehlivost CMM se neustále zvyšuje a přitom se snižuje jejich citlivost vůči vnějším rušivým vlivům, tudíž je možné zařazení těchto strojů přímo do dílen a nemusí se nacházet jen v laboratořích. Toto umožňuje bezprostřední zapojení do systému kontroly kvality a vytvoření 100% podmínek pro kontrolu důležitých součástí [7][14].



3.1 Princip měření na CMM

Základním principem měření na CMM je nasnímání jednotlivých bodů v prostoru. Z takovýchto nasnímaných bodů jsou vyhodnocovány geometrické elementy, jako například přímka, rovina, kružnice a válec. Pomocí těchto geometrických elementů můžeme vyhodnocovat rozměrové a úhlové charakteristiky, nebo tolerance tvaru součástí vzhledem k předepsaným hodnotám z výkresové dokumentace.

Na obr. 2 je znázorněn bod určený souřadnicemi (x, y, z) v kartézském souřadném systému.



Obr. 2 Kartézský souřadný systém [8]

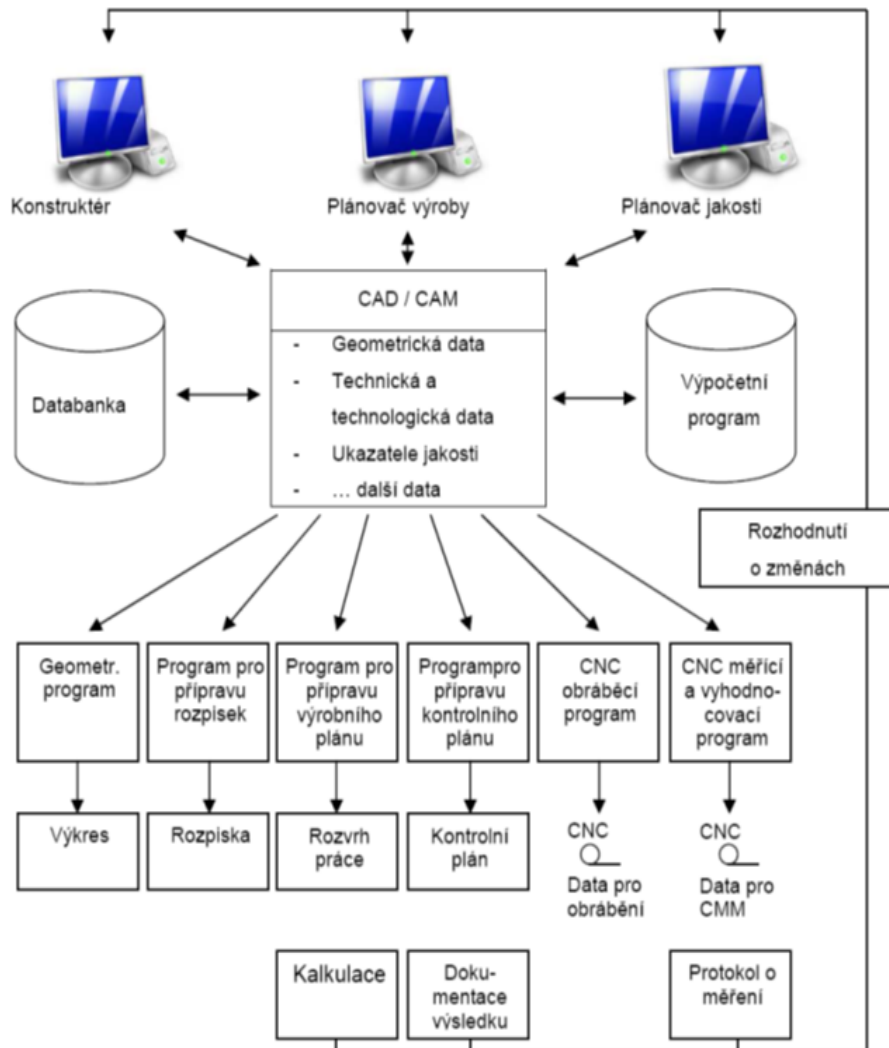


3.2 Využití CAx systémů

Současné moderní výrobní procesy jsou provázány ve všech postupech projektové části výroby, pracovníci využívají dat a simulačních softwarů k nalezení nejlepšího řešení. Systémy pro zpracování, převod a výměnu počítačových dat se nazývají CAx aplikacemi a systémy. Znamenají (CA = Computer-Aided) „počítačovou podporu“ a odkazují na podporu výpočetní techniky. X v názvu představuje různý druh podpory [6]. Základní rozdělení CAx aplikací a systémů:

- D - se vztahuje ke konstrukci (CAD = Computer - Aided Design),
- M - se vztahuje k výrobě a montáži (CAM = Computer - Aided Manufacturing),
- Q – odkaz na kvalitu a management (CAQ = Computer – Aided Quality Management).

U souřadnicových měřicích strojů jsou vývojové trendy ve výměně dat v popředí zájmu. Od jejich zavedení v sedmdesátých letech minulého století, jsou využívány ve světě pro různé aplikace (nejen ve strojírenství). V těchto souvislostech se CAx systémy začaly využívat, proto má smysl propojovat tyto systémy vedoucí k efektivnějšímu zpracování a využití dat vygenerované oblastí výroby. Díky propojení CMM s CAx aplikacemi vzniká prostor pro analýzu a kvalitu provedení výrobního procesu. U procesu měření na CMM se to týká především možnosti převedení 3D modelu měřené součásti do ovládacího softwaru stroje a tím snadnějšího výběru potřebných elementů sloužících pro vyhodnocení charakteristik měření [6][14].



Obr. 3 Integrace CAD/CAM/CAQ [7]



3.3 Postup kontroly součástí na CMM

Proces postupu měření na souřadnicových měřicích strojích se dá obecně rozdělit do několika určitých kroků, které by měl uživatel tohoto stroje dodržovat.

1. Analýza výkresové dokumentace
2. Definovat upnutí měřené součásti
3. Konfigurace a kalibrace snímacího systému
4. Vyrovnání součásti
5. Měření vybraných elementů
6. Volba strategie měření

3.3.1 Analýza výkresové dokumentace

Důkladné nastudování výkresové dokumentace nám umožňuje určit geometrické charakteristiky, které lze na CMM kontrolovat. V určitých případech sama výroba, nebo konstrukce určí, které geometrické specifikace mají být kontrolovány. Pomocí analýzy výkresové dokumentace můžeme dále určit plochy, které budou sloužit jako možné základny pro upnutí součásti. V neposlední řadě slouží také pro představu, pomocí jakých dostupných konfigurací snímacího systému bude součást kontrolována [8].



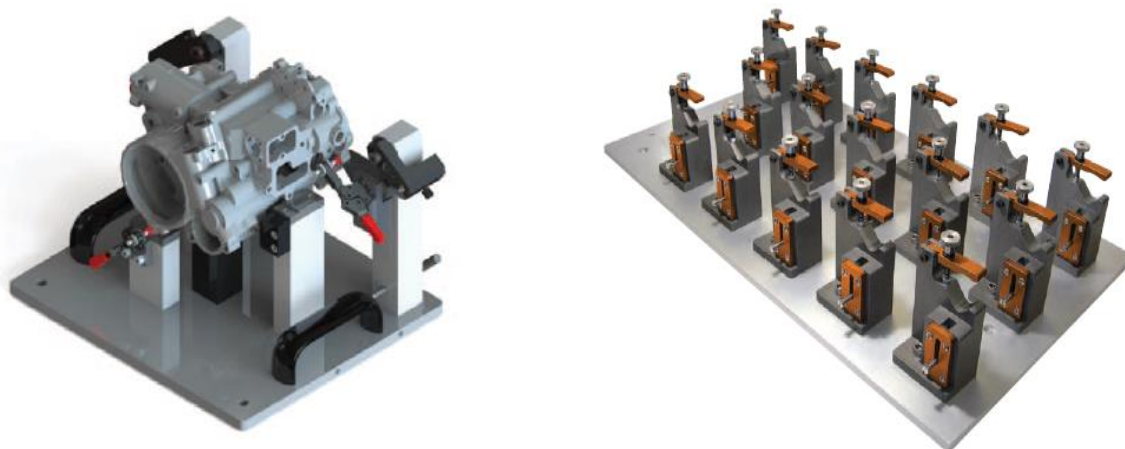
3.3.2 Upnutí součásti

Pro zajištění vyhovující polohy pro měření kontrolované součásti se v praxi používají upínací přípravky. Při výběru správného upínacího přípravku pro součást, jenž je určena ke kontrole měřením pomocí CMM je důležité dodržet určité základní zásady. Například zajištění volného přístupu ke všem částem měřené součásti, na nichž se vyskytují vybrané charakteristiky, které musí být změřeny. Je třeba brát v potaz vliv sil od měřicího zařízení, nebo od upínacích sil přípravku a tím negativně neovlivnit výsledky měření. Při volbě upnutí kontrolované součásti je důležitá také hmotnost kontrolované součásti. Je zapotřebí si uvědomit, že příliš těžká břemena mohou narušit geometrii stroje [8].

V praxi se nejčastěji setkáváme se dvěma druhy upínacích přípravků a to s modulárními upínacími systémy, nebo s druhou variantou jednoúčelovými upínacími přípravky. Obě varianty musí zajistit dobrou tuhost upnutí, opakovatelnost a reprodukovatelnost procesu měření. Modulární upínací systémy jsou navrženy na bázi stavebnice, jsou složeny z výměnných komponent, které může uživatel kombinovat v závislosti na měřené aplikaci.

Jednoúčelové upínací přípravky jsou efektivním způsobem upnutí, který nachází uplatnění především při kontrole kvality v sériové výrobě. Pro návrh koncepce nejvhodnějšího řešení až po výrobu je potřeba mít dobrou představu o měřicí úloze, disponovat výkresovou dokumentací, nebo CAD soubory dané součásti a také myslet na jednoznačné ustavení a snadnou výměnu součásti pro obsluhu stroje. Abychom došli k pokud možno co nejlepšímu řešení, je třeba znát všechny aspekty úlohy:

- jak často se bude součást měřit,
- materiál, velikost a tvar součástí,
- rozměry a tolerance součástí,
- vztažné roviny, nebo orientaci součástí,
- hmotnost a velikost přípravku [9].



Obr. 4 Příklady jednoúčelových přípravků [9]

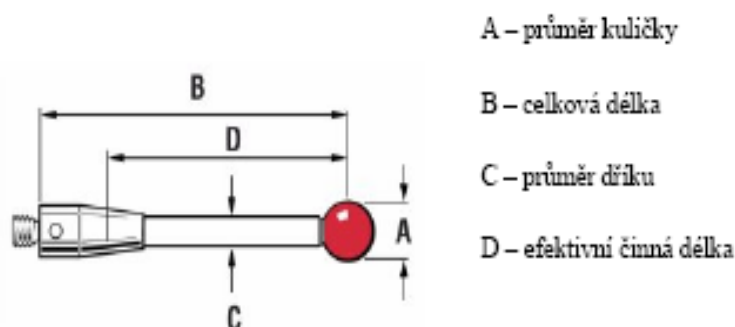
Upínání je jednou z cest ke zvýšení produktivity. Pokud jde o upínání součástí na CMM, je třeba zvážit řadu otázek, jako například typ upínání, který chceme použít, opakovatelnost měření a přístupnost CMM. Otázkou je použít jednoúčelové, nebo modulární upínání. Modulární upínací systémy se skládají z výměnných komponent určených pro bezpečné a přesné držení měřených součástí. Jednoúčelové měřicí přípravky splňují stejnou funkci, ale jejich návrh a posléze výroba může vyžadovat týdny, jejich uskladnění zabírá velké množství prostoru, když se nepoužívají a často mohou být použity pouze pro aplikaci, pro kterou byly navrženy. Naproti tomu modulární přípravky lze rozebrat na jednotlivé části po dokončení kontroly dané součásti a později je znovu použít v různých konfiguracích pro jiné aplikace. Ve čtvrté kapitole této práce se tedy budu blíže věnovat problematice upínání pomocí modulárních přípravků.



3.3.3 Konfigurace a kalibrace snímacího systému

Snímací dotek vykonává jako součást snímacího systému nejdůležitější práci tím, že vytváří kontakt s měřenou součástí a snímací sondou. Způsobuje sepnutí v mechanismu sondy, jehož výsledkem je signál, který zaznamenává souřadnice sejmutého bodu. Dotek je tvořen ze snímacího hrotu a dříku. Tvar, typ a materiál snímacího doteku vždy záleží na konkrétní měřené aplikaci. Před samotným měřením je tedy třeba provést rozbor součásti a podle toho zvolit snímací dotek. V případě, že k tomu nedojde, může nastat situace, kdy bude do výsledku měření vnesena určitá nepřesnost, která by mohla mít za následek například neshodu se zadanými geometrickými tolerancemi [8][14].

Důležitou roli hraje především tuhost doteku a využijeme-li nejčastěji používané zakončení ve tvaru kuličky, tak i kulovitost doteku.



Obr. 5 Snímací dotek [9]

Pravidla a zásady k výběru a tvorbě konfigurace dotyku:

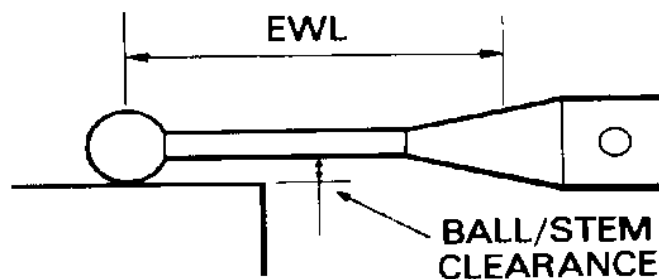
- volit co nejkratší dotyk, aby nedocházelo k průhybu,
- volit co nejmenší počet prodlužovacích nástavců, protože každý spoj dotyku je zdrojem nepřesností,
- volit co největší průměr kuličky, společně s volbou větší kuličky se volí větší průměr stopky dotyku a tím se zvýší tuhost dotyku,
- dbát na dostatečně dotažené doteky, čistotu kuliček [15].



Typy snímacích doteků a jejich použití

Přímé doteky

Tento tvar doteku je nejpoužívanější a nejjednodušší. Tvar doteku je tvořen přesnou kuličkou a dříkem. Tento způsob snímání se používá pro celou škálu aplikací. Každý dotek má svoji efektivní činnou délku (EWL). EWL vyjadřující maximální hloubku vnoření doteku do měřeného dílce, aniž by došlo ke kolizi s hranou dílce.



Obr. 6 Přímý dotek (ball/steam clearence = kulička/vůle dříku) [8]

Hvězdicové doteky

Doteky tohoto tvaru mají velkou výhodu ve snímání hodně složitých tvarů. Používají se především pro měření otvorů. Systém se čtyřmi či více kuličkami je pevně přimontován ke středové stopce. Použitím těchto doteků se urychluje čas měření, jelikož je v záběru více dotyků.



Obr. 7 Hvězdicový dotek [15]



Diskové doteky

Dotek sloužící ke zjišťování rozměrů drážek či zápichů v otvorech. Do takto složitých otvorů je špatná dostupnost hvězdicových doteků. Okrajové plochy tohoto doteku jsou tvořeny kulovou plochou. Kalibrace je prováděna pomocí kalibračních kroužků a aplikace jeho použití se omezuje na X, Y souřadnice.



Obr. 8 Diskový dotek [15]

Válcové doteky

Pro svoji menší přesnost nejsou tak často využívány. Válcové doteky se používají pro ověřování rozměrů především pro plechové materiály. Využívají se také pro zaměření závitů.



Obr. 9 Válcový dotek [15]



Materiály kuliček

Dle použité literatury [9] se kuličky snímacích systémů vyrábějí z následujících materiálů.

Rubín

Rubín patří do skupiny nejtvrdějších materiálů. Syntetický rubín je prakticky oxid hlinitý s čistotou 99%. Rubín je z drtivé většiny nepoužívanější materiál kuliček, ale existují dva případy, kdy je doporučen jiný materiál. Prvním případem je skenování dílů z hliníku. U těchto dílců se doporučuje použít kuličku z nitridu křemíku. Druhým případem je skenování litinových dílů, kdy je vhodnější použít jako materiál kuliček oxid zirkoničitý.

Nitrid křemíku

Jedná se o materiál podobný rubínu, je také velmi tvrdý a má dobrou odolnost proti opotřebení. Jak již bylo zmíněno, jeho doménou je kontakt s hliníkovými povrchy.

Oxid zirkoničitý

Jde o velmi pevný keramický materiál. Tvrdost a opotřebení se postupem času přibližuje rubínu. Využívá se pro kontakt s litinovými součástmi.



Obr. 10 Materiály kuliček [15]



Materiály dříků

Dle použité literatury [9] se kuličky snímacích systémů vyrábějí z následujících materiálů.

Ocel

V současnosti je trendem vyrábět stopky z nemagnetické nerezové oceli. Používá se pro většinu doteků s kuličkou, popř. s hrotem o minimálním průměru 2 mm a délce do 30 mm, v případě jednodílné konstrukce poskytuje ideální poměr tuhosti vzhledem k hmotnosti.

Karbid wolframu

Dříky z karbidu wolframu jsou optimálním řešením pro maximální tuhost doteku při minimálním průměru dříku. Tyto parametry jsou vyžadovány pro doteky s průměrem kuličky pod 1 mm nebo pro délky až do 50 mm. Problematické je použití tohoto materiálu pro doteky delší než 50mm z důvodu vyšší hmotnosti a také vzhledem k rameni působících sil menší tuhosti spoje dříku a závitové části doteku.

Keramika

Při použití kuličky nad 3 mm a při délkách nad 40 mm mají tyto stopky tuhost podobnou, jako má ocel. Výhodou keramiky je její lehkost. Keramické dříky nabízejí navíc dodatečnou ochranu sondy před poškozením, neboť dotek se v případě kolize roztříští.

Uhlíková vlákna

Hmotnost doteků z uhlíkových vláken je přibližně o 20 % nižší než hmotnost doteků z karbidu wolframu. Je tedy vhodným materiálem pro dlouhé doteky. Výhodná je také jeho tepelná stabilita, zejména u velmi dlouhých doteků používaných v obráběcích strojích.

Hliník

Jedná se o velmi lehký materiál, ideální například pro prodlužovací nástavce, avšak kvůli nízké tepelné stabilitě je vhodný pouze pro stabilní klimatizované prostředí.



Titan

Titan je oproti hliníku tepelně stabilní, má dobrou ohybovou tuhost a rovněž je velmi lehký. Tyto charakteristiky jej předurčují jako velmi vhodný materiál pro dlouhé nástavce.



Obr. 11 Materiály dřívků snímacích systémů (ocel, karbid wolframu, keramika, uhlíková vlákna, hliník, titan)[15]

Po sestavení konfigurace doteků je třeba tuto konfiguraci kalibrovat. Kalibrace snímacího doteku se provádí pomocí kalibrační koule umístěné na stole CMM.

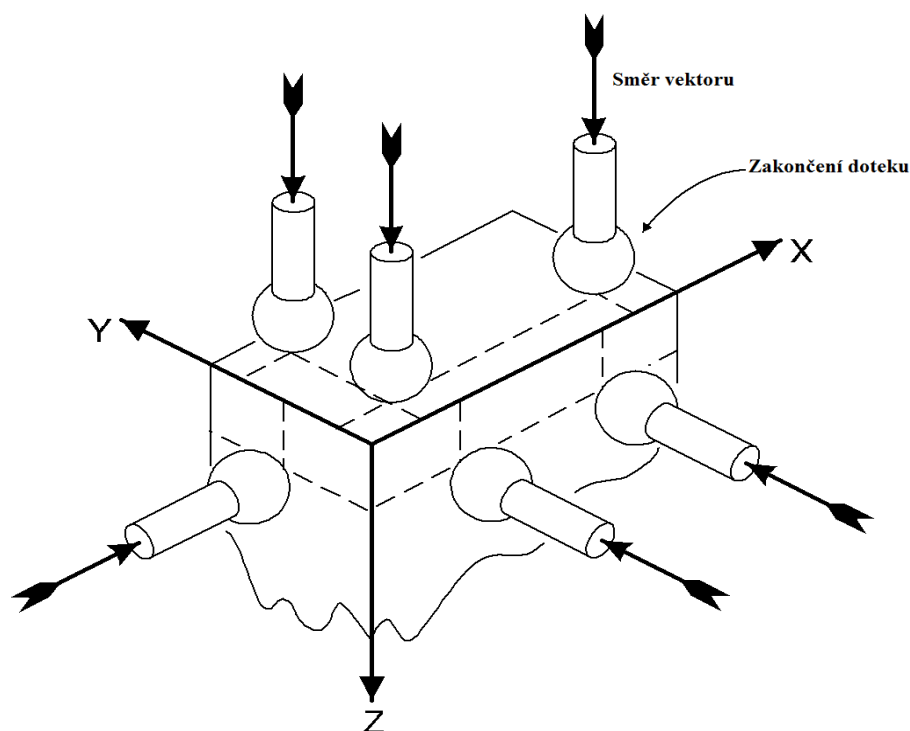


Obr. 12 Kalibrace snímacího doteku [8]



3.3.4 Vyrovnání součásti

Z hlediska geometrie má těleso v prostoru šest stupňů volnosti. Může rotovat kolem tří na sebe kolmých os, které tvoří kartézský souřadný systém, obvykle se značí písmeny X-Y-Z. Současně se může lineárně pohybovat ve směru těchto tří os. Úkolem vyrovnání je vymezení všech šesti stupňů volnosti v prostoru. Definice souřadného systému u většiny úloh začíná změřením minimálně tří bodů, které určí rovinu (primární prostor), dva body poté definují přímku (sekundární rovina) a nakonec je definován bod (terciální nulový bod). Tato standardní metoda se nazývá 3-2-1.



Obr. 13 Schéma vyrovnání souřadného systému metodou 3-2-1[8]

Vyjma standardního vyrovnání metodou 3-2-1, která je výše popsána lze souřadný systém definovat také metodou RPS a pomocí 3-D přizpůsobení.

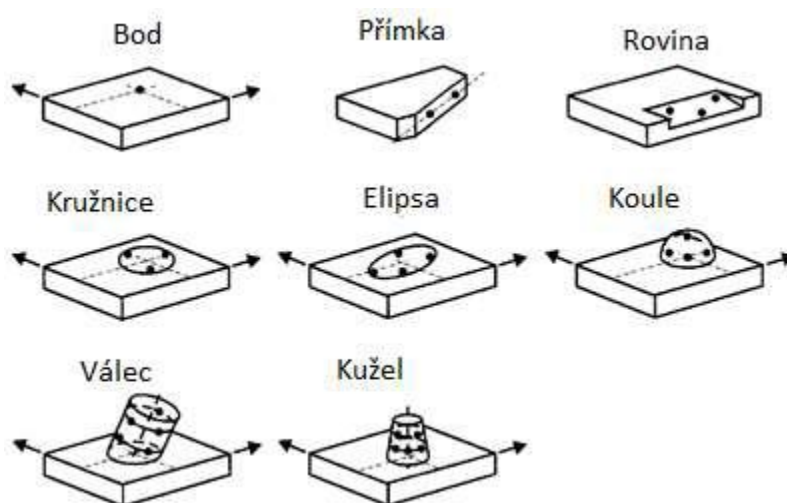


3.3.5 Měření elementů

Tvar měřených součástí je tvořen ze základních geometrických elementů jako například kružnice, rovina, válec, kužel, koule. Měřené elementy obsahují jmenovitou geometrii, na základě které se provádí vyhodnocení rozměrů, úchylek tvaru a polohy. Za tímto účelem jsou měřené elementy spojovány s minimem bodů, které je třeba nasnímat k sestavení geometrických prvků.

Tab. 1 Minimum potřebných bodů pro sestavení geometrického elementu [10]

Element	Minimální počet snímaní:
bod	1
2D přímka	2
rovina	3
bod symetrie	2
kružnice	3
válec	5
kužel	6
koule	4
torus	7
rovina symetrie	4
elipsa	5
obdélník	5
podélný otvor	5



Obr. 14 Geometrické elementy sestaveny z minima bodů [8]



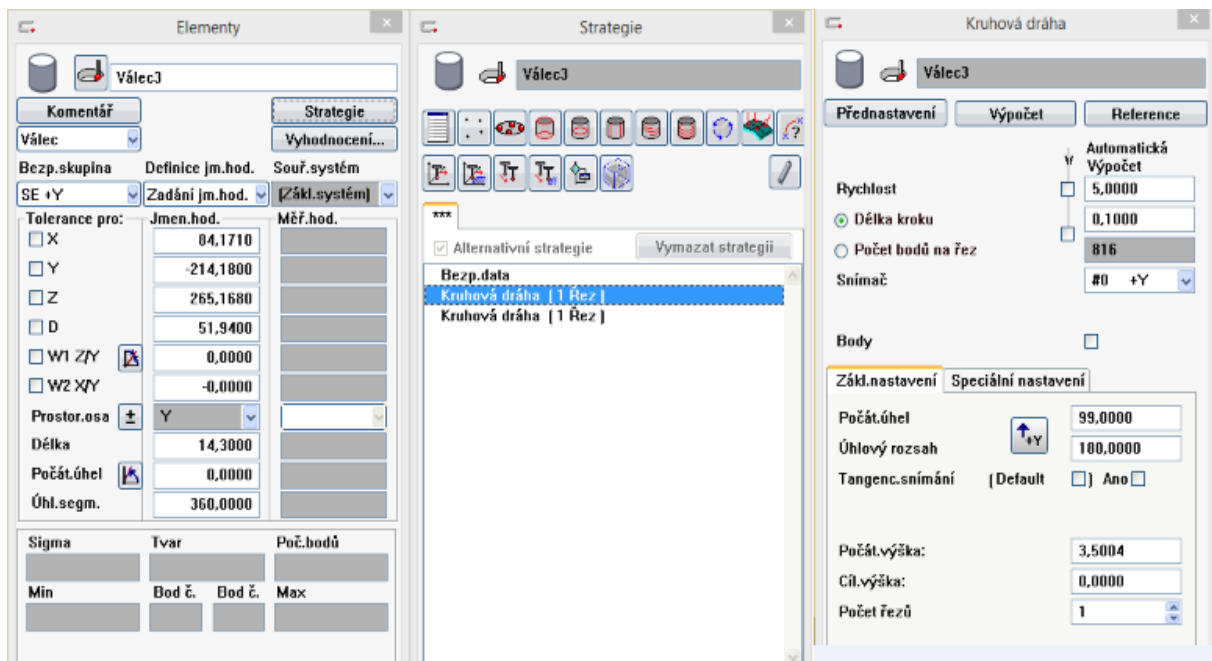
3.3.6 Strategie měření

Při tvorbě plánu měření je jednou z nejdůležitějších částí, které slouží k docílení optimálního výsledku měření zvolení vhodné strategie nasnímání určitého geometrického elementu. Strategie udává způsob jak vybraný element měřit a vyhodnocovat, s tím souvisí i nutnost znalosti k čemu bude daný element sloužit.

Ve strategii měření se zabýváme nastavením následujících parametrů:

- polohou a orientací součásti,
- výběrem snímačů,
- měřicí metodou,
- metodou vyhodnocení,
- filtrací naměřených hodnot.

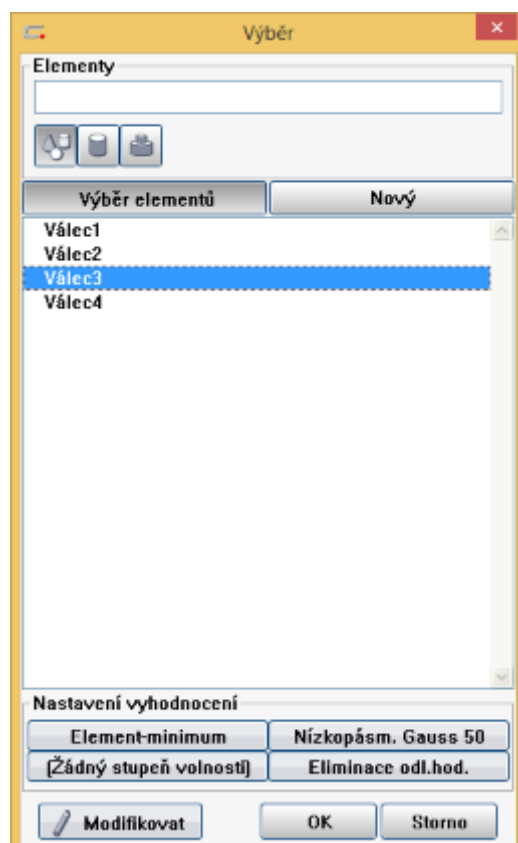
Příkladem stanovení strategie měření může být způsob zaměření elementu válce, kdy válec můžeme zaměřit například pomocí strategie dvou kruhových drah (řezů) a jejich následného nastavení viz obr. 15.



Obr. 15 Nastavení strategie měření



Při metodě vyhodnocování pokud je hřídel (kružnice, válec) použita jako základna pro toleranci polohy, má být vyhodnocena jako minimální opsaný element. Pokud je díra (kružnice, válec) použita jako základna pro toleranci polohy, má být vyhodnocena jako maximální vepsaný element viz obr. 16.



Obr. 16 Metoda vyhodnocení

Jak můžeme vidět z textů výše, problematika měření na CMM v sobě zahrnuje spoustu faktorů ovlivňujících variabilitu výsledků procesu měření. Upnutí měřených aplikací je jednou z elementárních složek, kterou ovlivňuje obsluha stroje a sama měřená součást. Cílem při upínání měřených součástí je dosažení jednoznačného (tuhého) a opakovatelného upnutí. Modulární upínací systémy jsou jednou z možností, jak těchto cílů dosáhnout.



4. Modulární upínací systémy

Dle odborné literatury [11] můžeme slovo modulární přeložit, jako „stavebnicový, sestavitelný z typizovaných částí“. A právě této myšlenky je využíváno při používání těchto systémů. Současný rychlý vývoj a hospodářská situace udává většině průmyslových podniků potřebu vyrábět a současně dodávat produkty na trh v co nejrychlejším čase a za konkurenceschopné ceny, které musí zároveň zajistit fungování podniků i v budoucnu. To vše zároveň při udržení očekávané úrovně kvality těchto výrobků. S cílem zachování těchto standardů kvality musí organizace usilovat o zlepšování procesů a efektivitu výroby ruku v ruce s udržením krátkodobých a dlouhodobých výdajů na uzdě. Vhodně zvolené technologie musí zabraňovat plýtvání ve všech etapách výrobního procesu. Jedním ze způsobů, jak čelit této výzvě, je v rámci kontroly kvality na souřadnicové měřicí technice užití modulárního upínání. Modulární upínání poskytuje vysokou flexibilitu spolu s opakovatelností sloužící k vykonání celé řady úkolů při zachování celkové potřebné přesnosti [11].

Správné upínání součástí je jedním z klíčových faktorů v rámci cesty k úspěšnému a požadovanému výstupu kontroly kvality pomocí CMM. Pořízení upínacích přípravků musí být druhou prioritou, hned po samotném měřicím zařízení. V současnosti dochází k výrobě a následné kontrole součástí nejrůznějších tvarů a materiálu, proto je nutné zajistit v rámci kontroly kvality přesné, pevné a opakovatelné upnutí. Nesmí docházet k situacím, že po instalaci měřicího zařízení na kontrolní stanoviště, bude stroj nevyužit, protože technologický úsek není schopen vytvořit přípravek pro bezpečné a opakovatelné upnutí měřené součásti. Tím by se stal stroj neproduktivním a ztrátovým vzhledem k velkým počátečním nákladům na jeho pořízení [12].

Proč používat modulární upínací systémy? Mezi přední důvody patří rychlost upínání a úspora dlouhodobých nákladů. Většina modulárních systémů poskytuje špičkový nástroj v podobě snadné práce s jednoduchými stavebními vlastnostmi. Jeden modulární systém poskytuje uživateli mnoho možností fixace součásti, zatímco standardní jednocelové přípravky umožňují jen omezenou flexibilitu a vyžadují větší úsilí při drobné změně konstrukce vyplývající ze změny upínané součásti [11].



Modulární upínací systém je investice, kterou lze opětovně použít i na jinou měřenou součást, zatímco u jednoúčelových přípravků tomu tak není. Mezi další výhody modulárních systémů patří nižší nároky na prostor pro skladování a významné snížení plýtvání času při konstruování a následnému sestavení přípravku. Správný výběr modulárního systému je klíčem k získání jeho maximálního využití. Musí obsahovat části, jejichž pomocí dosáhneme svých cílů a záměrů. Vhodný systém dává možnost vytvářet a přestavovat upínací systémy na základě aktuálních potřeb. Flexibilita tak přichází v podobě časové úspory, což se rovná potenciálnímu zlepšení průchodnosti měřené součásti v procesu měření. Snadné použití a schopnost rychle upravit přípravek omezuje nežádoucí prostoje [11].

Při výběru vhodné upínacího systému vždy záleží na mnoha okolnostech například na velikosti součásti (rozměrové, hmotnostní), materiálu měřené aplikace, velikosti souřadnicové měřicí techniky a dalších možnostech. Na poli dodavatelů zabývajících se vývojem a distribucí těchto systémů najdeme společnosti téměř z celého světa. Největší dodavatelé přednostně spolupracují s vybranými předními výrobci souřadnicové měřicí techniky. V následující podkapitole představím některé výrobce těchto přípravků, řady jejich systémů a možné využití.



4.1 Vybraní výrobci upínacích systémů

4.1.1 Junker & Partner Carl Zeiss

Výrobce Junker & Partner Carl Zeiss nabízí na trhu upínací systémy řady Carfit. Tento systém kombinuje výhody na míru zhotovených měřicích přípravků s modulární a normalizovanou systémovou konstrukcí. Je vhodný pro výlisky, odlitky, svařované součásti, plastové díly a vyrábí se v několika systémových velikostech v závislosti na cílovou aplikaci upnutí.

Zeiss Carfit CMB

Základ této řady tvoří tvrdě povlakovaná rastrová deska s přesně vyvrtanými a označenými závitovými otvory. Nastavitelné a polohovací prvky, jež tvoří dohromady s deskou konstrukční páteř přípravku, mají v drtivé většině případů obdélníkový, nebo kruhový průřez. Jednotlivé prvky jsou k sobě připevňovány pomocí závitových tyček, případně šroubu s vnitřním šestihranem. Tyto modulární stavebnice jsou dodávány v sadách různých velikostí, které jsou kompatibilní s ostatními řadami. Oblast použití tvoří zejména menší a středně velké díly, jako například odlitky bloků převodovek viz obr. 17, které musejí být měřeny a upnuty ve vodorovné rovině.



Obr. 17 Upínací stavebnice s rastrovou deskou [18]



Zeiss Carfit CMK

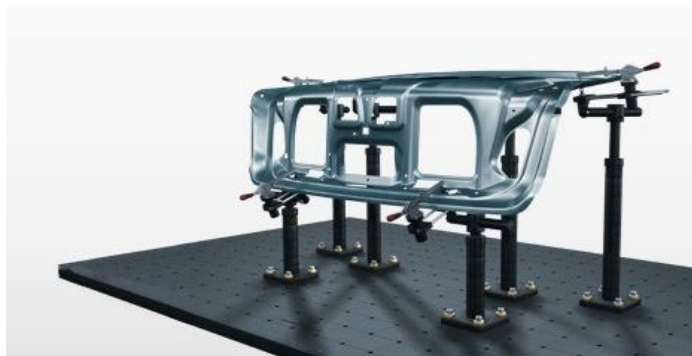
Stejně jako u ostatních stavebnic řady CMB jsou hlavními komponentami deska s rastrovými otvory a nastavovací prvky. Pro měření souřadnic lze prizmatické a rotačně symetrické díly snadno upnout v definované poloze. Vhodné pro měření malých dílů [19].



Obr. 18 Upínací sada pro malé díly [19]

Zeiss Carfit CME

Jedná se o univerzální upínací jednotku, která může být nastavena ve všech 6 stupních volnosti, měřené aplikace můžeme tedy zafixovat v libovolné poloze. Používá se všude tam, kde je požadováno krátkodobé upnutí při měření, např. při konstrukci prototypů a nástrojů [20].

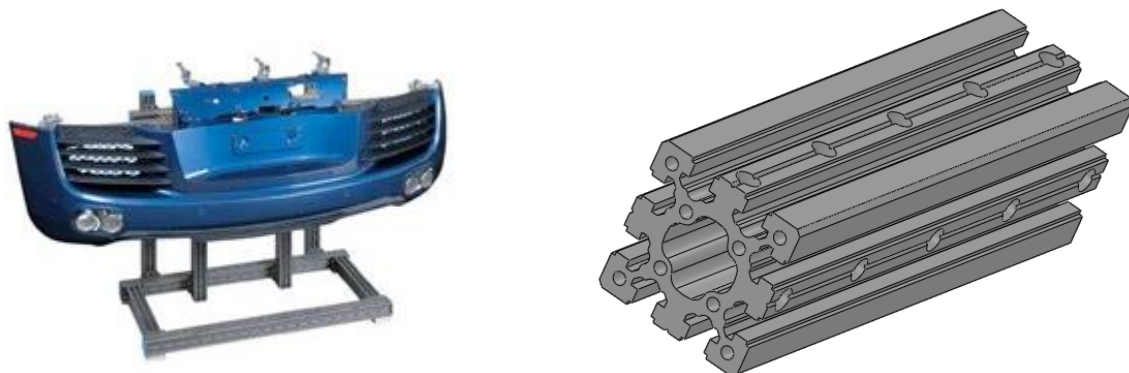


Obr. 19 Univerzální upínací jednotka [20]



Zeiss Carfit CMP

Hlavním konstrukčním prvkem této řady je osmihranný drážkovaný profil s rastrem přesně vyvrtaných otvorů se závitem. Profil je opatřen tvrzeným povlakem. Tato řada nachází uplatnění zejména při zajišťování polohy pro měření větších součástí, které musí být upnuty a měřeny svisle.



Obr. 20 Upínací stavebnice s profilovou konstrukcí [21]

Stejným konstrukčním prvkem disponují i další řady upínacích systému, kterými jsou řady **CMF**, **CMS**, **CMX**, **CML**. Tyto řady nalézají uplatnění při sériovém měření součástí různých velikostí, tvarů, materiálů a hmotností například z automobilového průmyslu. Používají se také při měření prototypů. Zajímavou záležitostí z hlediska moderních trendů měření nabízí řada **CMO**, která je vhodná pro zhotovení přípravků pro skenování. Osmihranné profily umožňují bezkontaktní měření součástí z různé perspektivy. Kontrolované součásti mohou být upnuty v jakékoliv poloze a otáčeny v rozsahu 360 stupňů tak, aby byly správně zachyceny všechny jejich oblasti. Optické referenční značky se používají pro sestavení 3D modelů. Rychlovýměnné systémy a horní koncové prvky pro zachycení součástí zajišťují zkrácení doby automatizovaných průběhů měření [22].



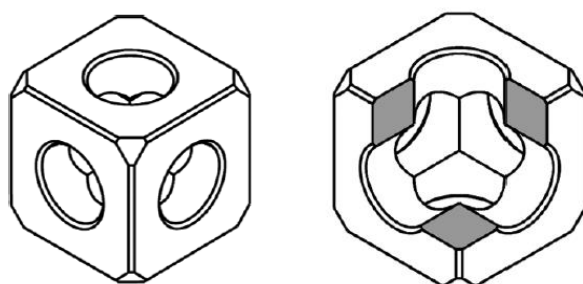
Obr. 21 Systém pro optická měření [22]



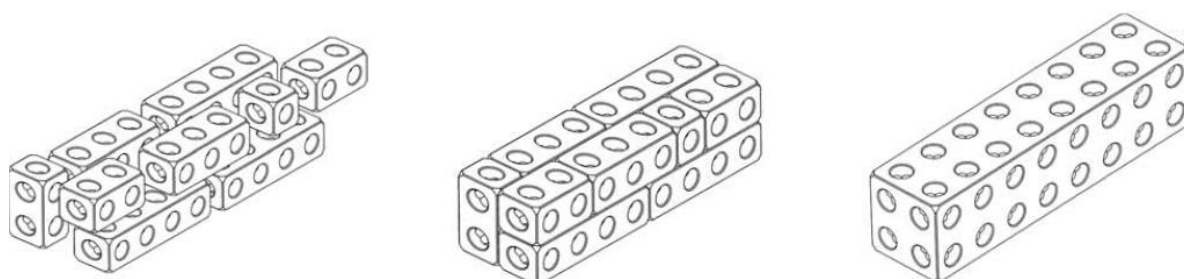
4.1.2 Horst Witte

Alufix

Firma Horst Witte působí na trhu s odlišnou koncepcí konstrukce základních upínacích prvků. Základním prvkem je krychle (obr. 22) určitého rozměru dle systémových velikostí, ve které je na každé její ploše vyvrtán průchozí přesný otvor. Další konstrukční prvky jako například základní deska vznikají vynásobením počáteční krychle (obr. 23). Průchozí otvory na všech plochách dávají možnost spojení ve všech šesti směrech a geometrie prvku zaručuje, že vzniklá mřížka zůstane napříč libovolným počtem připojení nezměněna.

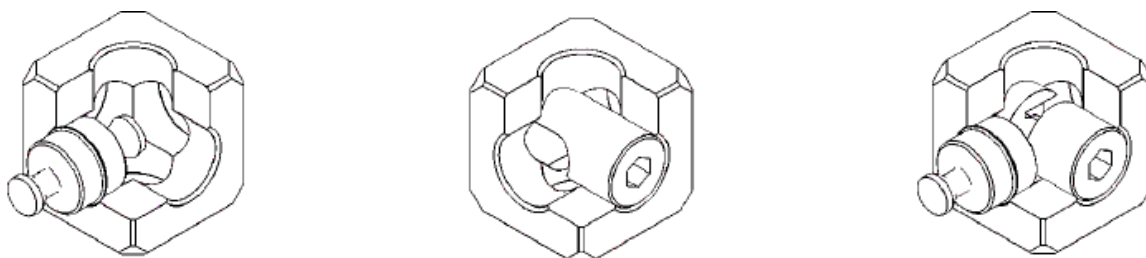


Obr. 22 Základní krychle [23]



Obr. 23 Konstrukční elementy vzniklé skládáním základní krychle [23]

Ke spojování různých prvků dochází pomocí oboustranného šroubu a zámku tzv. bajonetový systém (obr. 24), nebo pomocí klasických šroubů a závitových tyček, které jsou zašroubovány do válcové matice s vnitřním závitem.



Obr. 24 Schéma spojování pomocí bajonetového systému [23]



Modulární fixační systém Alufix je vyroben z vysoko pevnostní slitiny hliníku. Vyrábí se v šesti velikostech, které lze kombinovat navzájem mezi sebou. Mezi přednosti se řadí lehká a dokonale stabilní konstrukce při dostatečném dotažení spojovacích prvků. Použití tohoto systému se vymezuje především na menší a středně velké díly různých materiálů a tvarů viz obr. 25.

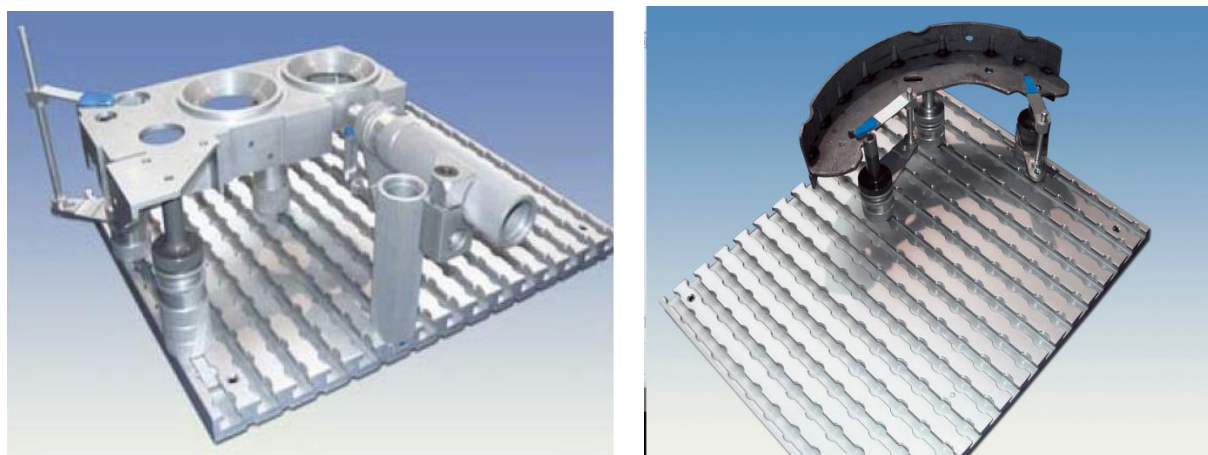


Obr. 25 Upnutí ojnice klikového mechanismu [23]

Firma Horst Witte disponuje ještě dalšími dvěma modifikacemi upínacích systému a to systémy Alugrip a Megalu.

Alugrip

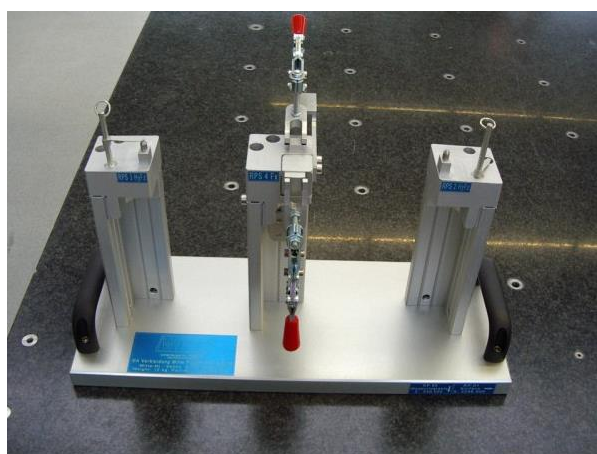
Upínací stavebnicový systém zkonstruován pro sestavení menších a jednoduchých upínacích přípravků. Je kompatibilní s rastrovým systémem Alufix. Všechny prvky lze opakovaně použít pro nové projekty. Základní design vychází z drážkovaných profilů o průměrech využívaných u koncových prvků Alufixu. Spojovací prvky a jednotlivé koncové prvky lze upnout na drážkové tyče z vnější strany anebo zevnitř. Pevný spoj na obou stranách profilu zajišťují vestavěné upínací šrouby.



Obr. 26 Alugrip koncepce [24]

Megalu

Charakteristickým pro Megalu je tvar L- profilů, který oproti drážkovým profilům zajistí zřetelně vyšší stabilitu a možnost zátěže. Když se k sobě připojí dva úhlové profily s pravoúhlým průřezem, odpovídají pak nejvyšším požadavkům na torzní pevnost a pevnost v ohybu. Konstrukčně jsou sloupky ve středu otevřené a nabízí poměrně velký prostor pro umístění upínacích elementů a dosedacích bodů, které je tak možno umístit velmi blízko k ose sloupů, čímž se zase zvýší stabilita přípravků. Využití zejména pro měření ocelových a plastových dílů.



Obr. 27 Megalu L- profily [25]



4.1.3 MATRIX GmbH

MATRIX

Všechny moduly Matrix jsou vyrobeny z vysoce kvalitních hliníkových slitin s ochranným anodickým nátěrem. Základním prvkem je upínací deska s T – drážkami, do kterých jsou pomocí šroubového spoje upevněny stavební profily čtvercového, kulového, nebo obdélníkového průřezu, na tyto prvky se poté upnou koncové elementy se sadou individuálně odpružených kolíků vyrobených z korozi-vzdorné oceli. Jejich funkce spočívá v tom, že se součást položí na tyto odpružené kolíky, ty vyvinou mírný protitlak a během několika sekund dojde k dokonalému upnutí. Kolíky se vytvarují do jakéhokoliv tvaru. Mezi výhody tohoto upínacího systému patří jednoduchost, rychlost, přesnost, flexibilita a snadná ovladatelnost. Tyto moduly se hodí především k upnutí lehčích aplikací, jako jsou plastové komponenty.



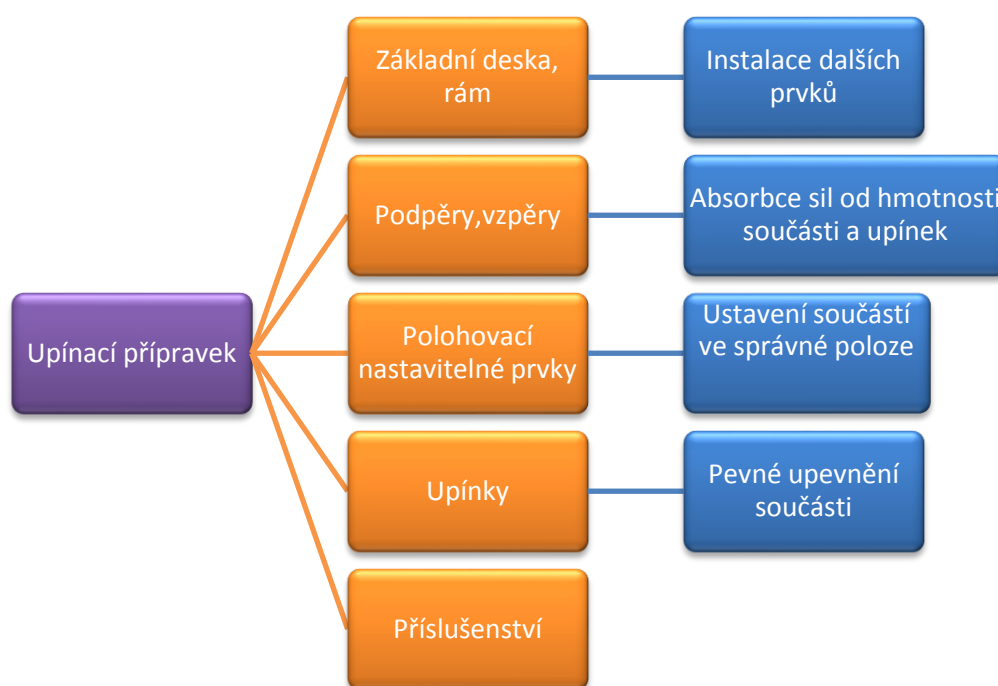
Obr. 28 Upínací moduly MATRIX [26]

Jak můžeme vidět z přechozích podkapitol jednotlivé modulární upínací systémy se od sebe odlišují konstrukční a účelovou koncepcí. Před samotným navrhováním upínacích sestav, je z časového a funkčního hlediska nutné důkladnější seznámení s konstrukčními moduly jednotlivých řešení a jejich vlivem na součást.



4.2 Kategorizace upínacích prvků

Rozdělení těchto prvků je prvním krokem, který může vést k hlubšímu porozumění funkce těchto elementů v rámci navrhování konstrukce přípravků a jejich pozdější automatizace v rámci výrobního procesu. Jak můžeme vidět na obr. 29, prvky jsou pojmenovány podle jejich funkce v přípravku a poté rozděleny do několika kategorií.



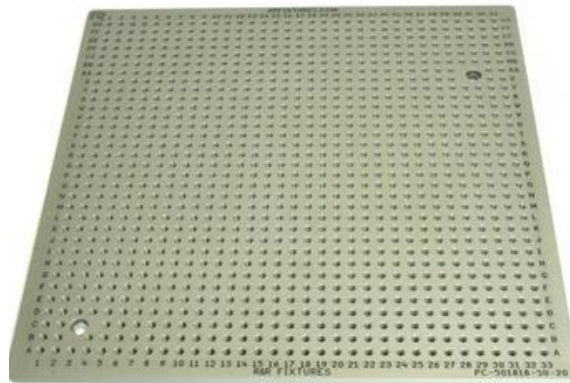
Obr. 29 Základní rozdělení upínacích prvků[16]

Deska nebo rám jsou základní částí přípravku, na který budou instalovány další prvky modulárních stavebnic. Podpěry jsou prvky, které při správném rozmístění v kontaktních místech absorbují síly vycházející od hmotnosti součástí a upínacích sil. Polohovací prvky se používají k ustanovení součástí ve správné poloze. Společně s podporami definují jedinečný způsob, jak udržet součást ve správné poloze a orientaci. Upínky, jak je z názvu patrné slouží pro pevné zafixování součástí. Mezi příslušenství patří koncové prvky, kolíky, vyhazovače atd. Jejich použití je založeno na uplatnění, nákladech a velikosti přípravku.



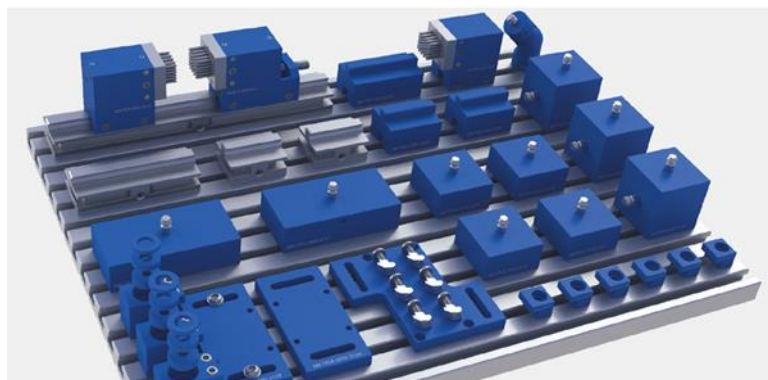
4.2.1 Základní deska, rám

Mezi základní elementy upínacích sad můžeme zahrnout desky, rámy. Každý výrobce sází na jiné koncepce konstrukčních řešení těchto prvků. Tyto koncepce jsou závislé na rozměrové velikosti, tvarové složitosti a hmotnosti měřené součásti. V praxi se můžeme nejčastěji setkat se třemi typy. Prvním typem jsou desky, kde jsou přesně vyvrtané a mají označené závitové díry, do nichž se připevňují polohovací nastavovací prvky (obr. 30), vyráběné z korozi-vzdorné oceli a opatřeny eloxovanou povrchovou vrstvou, která je činí odolnými proti opotřebení.



Obr. 30 Deska s přesně vyvrtanými otvory [9]

Druhým typem jsou desky s tzv. T - drážkou (obr. 31), vyráběné ze slitin hliníku, nebo korozi-vzdorné oceli.



Obr. 31 Deska s T- drážkami [26]

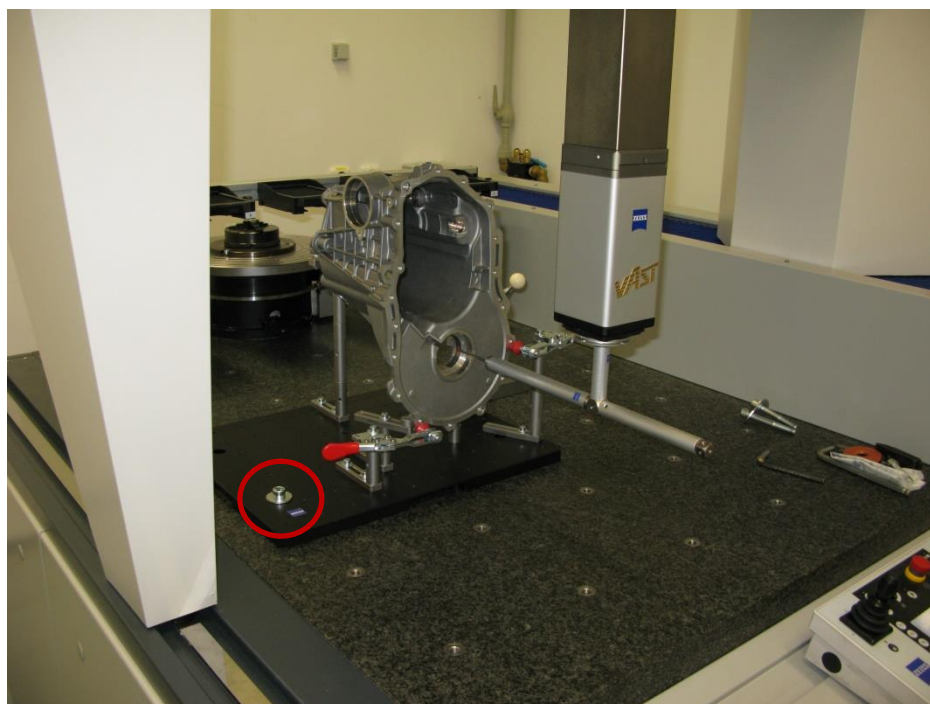


Posledním typem jsou desky s přesně vyfrézovanými válcovými otvory, ty tvoří rastrovou mřížku (obr. 32). Materiál těchto desek tvoří slitina hliníku.



Obr. 32 Základní deska s válcovými otvory[23]

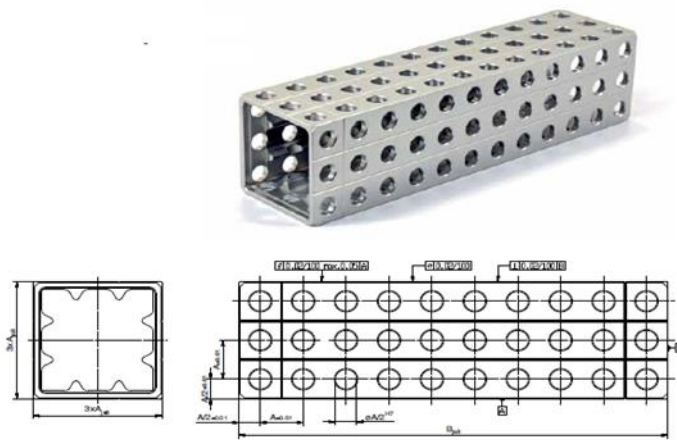
Během procesu měření jsou tyto prvky spojeny se základní deskou pracovního stolu stroje šroubovým spojem (obr. 33). Funkcí těchto základních elementů je sloužit jako montážní základny pro podpěry, polohovací prvky a upínky.



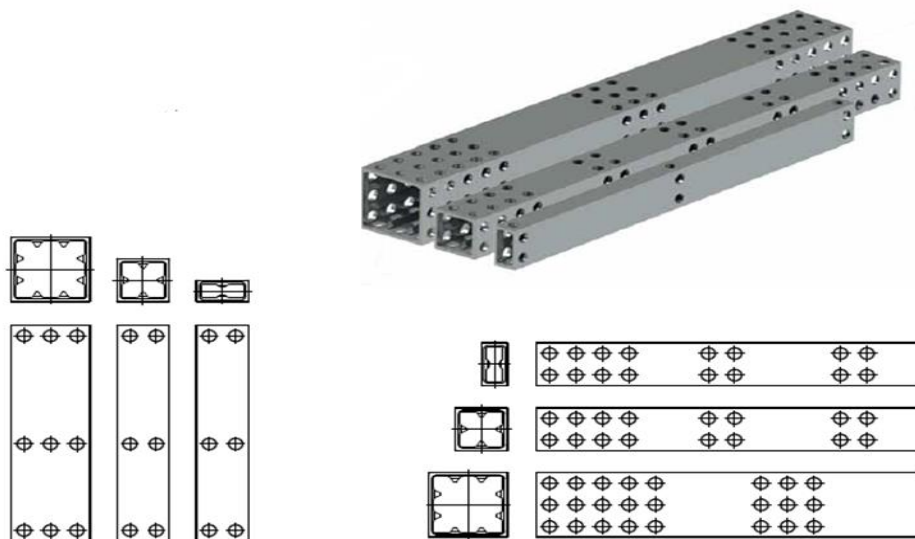
Obr. 33 Spojení desky s granitovým stolem CMM



Rámy ve většině případů slouží jako základní elementy u stavebnic, jejichž hlavní náplní je upínání rozměrných součástí, jak délkových, tak hmotnostních. Jedná o tenkostěnné čtvercové, nebo obdélníkové profily s vnitřními drážkami. Po obvodu celého prvku jsou v příslušných roztečích od sebe vytvořeny kruhové díry se závitem, anebo bez závitu v závislosti na výrobcu, které dohromady tvoří rastrovou mřížku. Čtvercové rámy se vyrábí v několika provedeních buď jako jednořadé, dvouřadé, anebo trojřadé. Dále se také vyrábí rámy s redukováným počtem otvorů.



Obr. 34 Trojřadý čtvercový rám [23]



Obr. 35 Rám s redukováným počtem otvorů [23]



4.2.2 Vzpěry, podpěry

Hlavní náplní vzpěr, je zvýšení tuhosti a stability upínacího systému při procesu měření velkých a těžkých součástí. Správným rozmístěným během návrhu konstrukce a následné montáže pomáhají přenášet síly od hmotnosti měřené aplikace a působení měřicího zařízení.



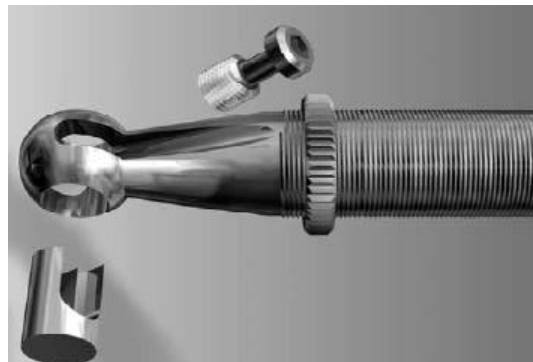
Obr. 36 Vzpěry čtvercového průřezu se zkoseným koncem [23]



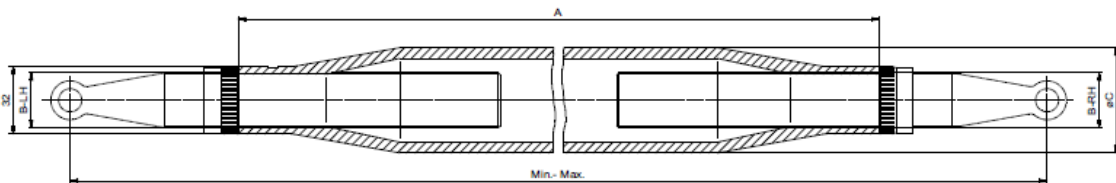
Obr. 37 Příklad systémového použití [23]



Obr. 38 Válcová vzpěra s nastavitelným kloubovým koncem [23]



Obr. 39 Kloubový konec [23]



Obr. 40 Řez válcovou vzpěrou s kloubovým koncem [23]



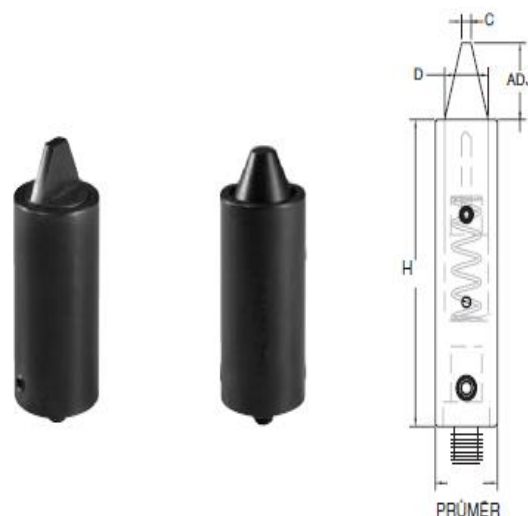
Podpěry plní stejnou úlohu při přenosu sil jako vzpěry. Navíc ještě, jak je z názvu patrné, slouží pro podepření a základní polohování měřeného dílce. Mají nejčastěji válcový průřez, který je na jednom konci obvykle opatřen vnitřním závitovým otvorem a na druhém konci závitovým kolíkem kvůli možnosti připojení k základní desce, nebo k jiné podpěře. V případě, kdy podpěry slouží zároveň i jako koncový prvek je na jednom konci pružná podpěra nebo klasický kolík.



Obr. 41 Válcové podpěry [9]



Obr. 42 Podpěra s kolíkem [9]



Obr. 43 Pružná podpěra [9]

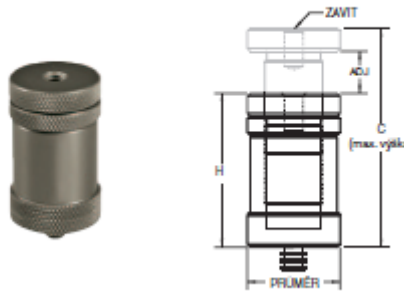


4.2.3 Polohovací nastavitelné prvky

Umožňují upínacím koncovým prvkům být v požadované pozici potřebné pro přesné upnutí ve zvolených bodech na měřené součásti. Příklady nastavitelných prvků níže.

Stavitelný sloupek

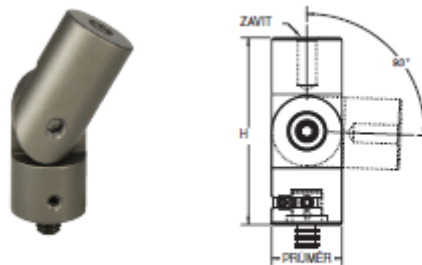
Umožňuje nastavení výšky v rozsahu dle specifikace výrobce a zajištění v dané poloze.



Obr. 44 Stavitelný sloupek [9]

Stavitelný kloub

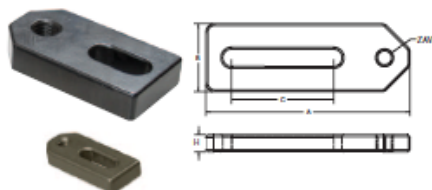
Umožňuje nastavení pod jakýmkoliv úhlem.



Obr. 45 Stavitelný kloub[9]

Stavitelná základna

K umístění prvků mezi závitové otvory v upínací desce.

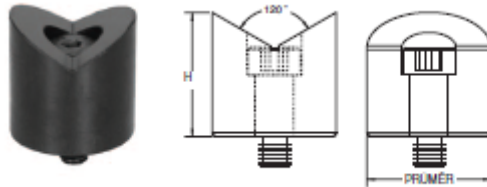


Obr. 46 Stavitelná základna[9]



V – podpěra

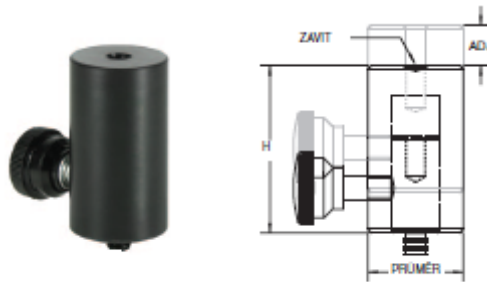
Pro bezpečné upínání válcových a trubkových součástí.



Obr. 47 V – podpěra [9]

Stavitelná podpěra

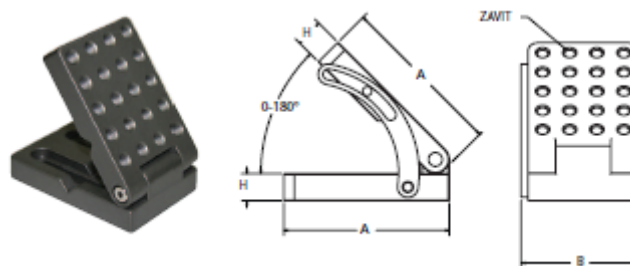
K nastavení požadované výšky konstrukce.



Obr. 48 Stavitelná podpěra [9]

Úhlová deska

Umožňuje nastavení pod libovolným úhlem v rozsahu 0 -180 °.



Obr. 49 Úhlová deska [9]

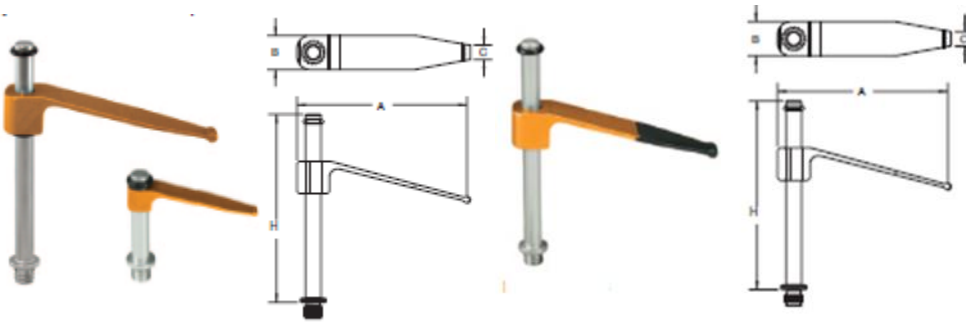


4.2.4 Upínky

Koncové prvky upínacího systému zajišťující určitou upínací silou kontakt s měřenou součástí. Jejich pozice v přípravku by měla být nastavena tak, aby síly od nich vyvozené působily proti směru podpor a nastavitelných prvků. Uživatel musí dbát současně na skutečnost, aby upínací síly negativně neovlivnily tvar součásti a tím naměřená data, tuto skutečnost je třeba brát na zřetel v největší míře u plastových součástí.

Pružná upínka

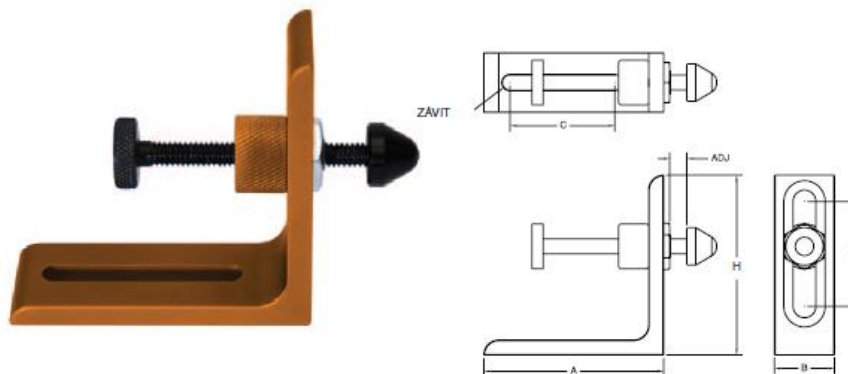
Pružná upínka slouží k rychlému a snadnému upnutí. Může být také opatřena pogumovaným koncem eliminujícím poškození upnutého dílce.



Obr. 50 Pružná upínka [9]

Tlačná upínka

Pomocí šroubů slouží k přitlačení součásti k polohovacím tělesům, zářádkám. Mohou být opatřeny různými koncovými prvky v závislosti na aplikaci.

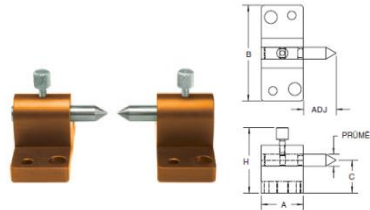


Obr. 51 Tlačná upínka [9]



Hroty

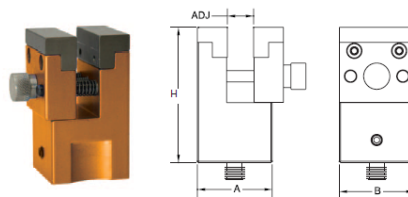
Používají se v případech, kdy jsou na válcových součástech středící důlky pro upnutí a je třeba snímat například broušené části hřídelů pro uložení ložisek pomocí kruhových řezů v celém jejich průměru.



Obr. 52 Hroty [9]

Minisvěrák

K upnutí součásti za malou plochu. Svěrák lze pootočit až o 360° a zajistit.



Obr. 53 Minisvěrák [9]

Skličidlo

Přípravek k upínání rotačních dílů. Umožňuje otočení a zaaretování v požadované poloze.



Obr. 54 Pevné sklíčidlo[9]



Obr. 55 Otočné sklíčidlo[9]



Pevná páková upínka

Pomocí pákového mechanismu poskytuje velkou tuhost a sílu upnutí.



Obr. 56 Přidržovací upínka s různými tvary koncových prvků [9]

4.2.5 Příslušenství

Kužel

K podepření dílce zaoblenou plochou pro získání jednobodového styku.



Obr. 57 Kuželové koncové prvky [9]

Opěrný kolík

K podepření dílce zaoblenou plochou.



Obr. 58 Příklady typů opěrných kolíků [9]

Spojovací prvky

Náhradní díly jiných upínacích prvků.



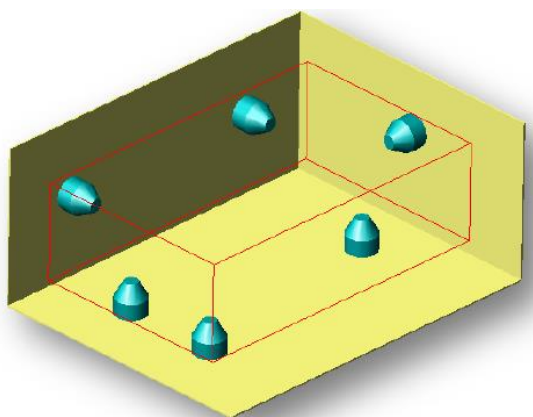
Obr. 59 Příklady šroubů a adaptérů upínacích stavebnic [9]



4.3 Konstruování konfigurací upínacích systémů

Modulární přístup ke konstrukci přípravků se objevil paralelně s metodikou pružného přístupu k výrobním procesům. V rámci systémového inženýrství je modulární konstrukce přístup s cílem rozdělit systém na menší části (moduly), které mohou být nezávisle na sobě vytvořeny a použity v různých aplikacích. Navíc tlak na používání standardních dílů v procesech návrhů tento přístup ještě urychlil. Jednou z nejčastějších metod navrhování přípravků je podobně jako u určení souřadného systému tzv. metoda 3-2-1, která v sobě zahrnuje následující postup.

- 1) Navržení konstrukční základny v závislosti na tvaru a velikosti součásti.
- 2) Instalace tří podpor na základní desce pro podepření měřené součásti a tím odebrání tří stupňů volnosti v prostoru.
- 3) Dále ustavení měřeného objektu pomocí dvou lokátorů polohy v jedné rovině a ještě jednoho v rovině k ní kolmé pro odstranění zbývajících tří stupňů volnosti.
- 4) Nakonec zajištění součásti jednobodovým stykem pomocí různých koncových upínek tak, aby došlo k jednoznačně přesnému a tuhému upnutí [16]



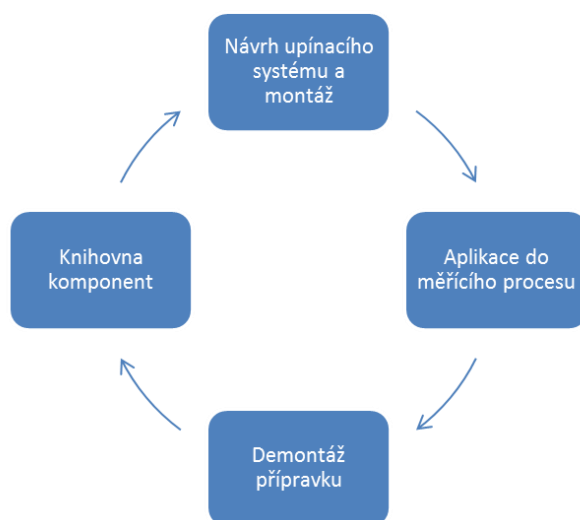
Obr. 60 Schéma metody 3-2-1 při návrhu upínacích základen[16]

Praktické uvedení této metody v praxi není ovšem tak jednoduché, jak by zdálo a používá se spousta dalších úvah pro návržení upínacího přípravku.



Navržení konfigurace upínacího systému je z velké části založeno na všech dostupných informacích o výrobku, nebo výrobním procesu. Konstrukce modulárních přípravků se řídí následujícími zásadami. Funkce a tvary modulárních prvků jsou definovány a na tomto základě je prozkoumána všestrannost každého prvku. Prvky jsou vybrány na základě jejich geometrických a topologických vlastností a specifické funkce pro montáž přípravku. Mezi kritéria pro výběr prvků patří jednoduchý způsob upnutí, dostupnost k potřebným plochám, kde budou měřeny požadované specifikace, snadné zakládání a vyjmutí měřené součásti a v neposlední řadě přesnost a tuhost upnutí zabraňující nežádoucímu pohybu součásti. Pravděpodobně nejsložitějším aspektem návrhu upínacího systému je pohled na skutečnou součást a stanovení nejlepší cesty k bezpečnému, pevnému a opakovatelnému upnutí v co nejkratším časovém intervalu. Klíčem je jednoduchost. V případě, kdy je na přípravku přebytek upínacích prvků, dochází ke komplikacím v přístupu na místa, kde mají být měřeny požadované charakteristiky. Omezení počtu komponent umožňuje přístup na tyto části bez nutnosti použití více než jednoho nastavení polohy pro měření součásti. Omezení počtu upínacích prvků také zajišťuje lepší faktor opakovatelnosti a vytváří snadnější nastavení pro založení dalšího kusu [17].

V současnosti je nejúčinnějším způsobem, jak navrhovat upínací systémy, užití CAD systémů s databází obsahující všechny vybrané komponenty potřebné pro konstrukci daných přípravků. Hlavním limitujícím faktorem konfigurace modulárních přípravků zůstává doba potřebná pro návrh a kompletaci těchto přípravků.



Obr. 61 Uživatelský cyklus modulárního přípravku



5. Návrh konfigurací modulárních upínacích systémů pro vybrané aplikace

V této kapitole provedu analýzu dostupných modulárních řešení v rámci laboratoře Školícího a měrového centra Carl Zeiss při ČVUT v Praze. Dalším krokem je představení aplikací, pro které jsem navrhoval pomocí vybraných modulárních systémů konfiguraci upínacího přípravku. Aplikace zvolené pro návrh upínání reprezentují představitele s různými rozměrovými, materiálovými a hmotnostními vlastnostmi pro lepší porovnatelnost vhodnosti daných systémových návrhů konstrukce přípravku.

Navržené systémy upínání kriticky zhodnotím dle složitosti montáže a časové náročnosti. Pro zjištění faktoru opakovatelnosti upínání byly pomocí CMM a vhodně zvolené strategie měření provedeny kontroly vybraných geometrických specifikací na zvolené součásti upnuté pomocí navrhnutých řešení. Opakovatelnost byla posuzována na základě koeficientu způsobilosti C_g .

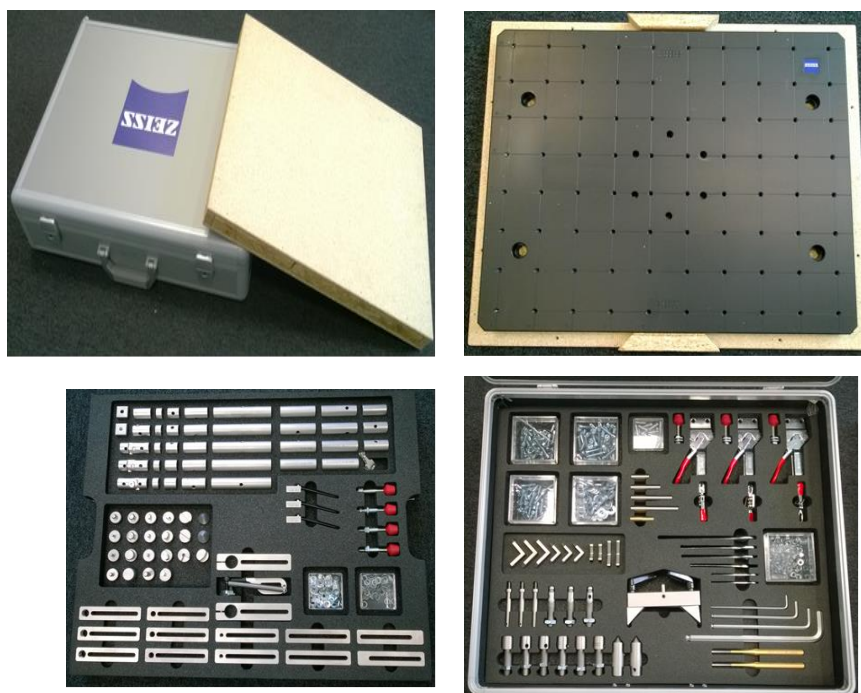


5.1 Použitá modulární řešení

Laboratoře Školícího a měrového centra Carl Zeiss při ČVUT v Praze disponuje v současnosti částí modulárního upínacího systému Alufix Classic. Pro možnost porovnání různých upínacích systémů byl zapůjčen od partnerské firmy Carl Zeiss s.r.o. systém CARFIT CMB.

Jak již bylo popsáno v předchozí kapitole 4.1.1 Upínací stavebnice Alufix Classic je tvořena souborem základních upínacích prvků, které vznikají násobením základní krychle určitého rozměru dle velikosti systému, v tomto případě se jedná o krychli rozměru 25 mm. Systém CARFIT CMB je tvořen deskou s přesně danou roztečí vyvrtaných závitových otvorů velikosti M6 a různými stavebními prvky nejčastěji válcové tvaru s přesně daným průměrem 20 mm a různými velikostmi.

Velkou výhodou při navrhování upínacích přípravků pomocí modulárních řešení je užití CAD databáze dostupných komponent. V mém případě jsem měl k dispozici databázi systému CARFIT, takže jsem měl možnost nejprve vytvořit přípravek ve virtuálním prostředí, než došlo k reálné konstrukci. Bohužel kompletní databáze systému Alufix není dostupná, nemohlo tedy dojít ke srovnání časové náročnosti i z hlediska virtuálních návrhů.

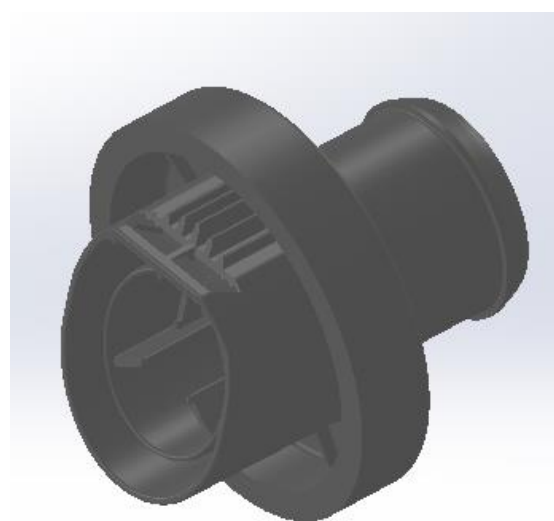
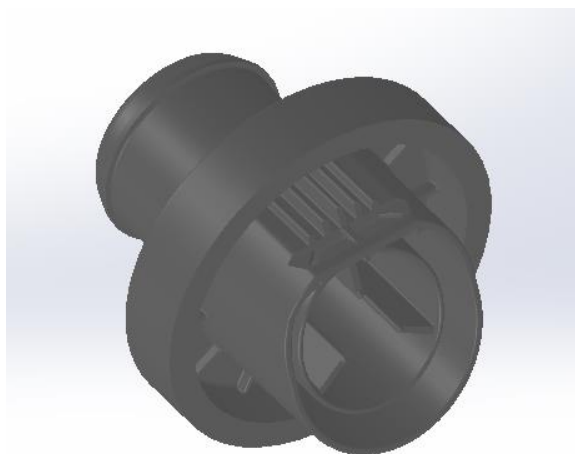


Obr. 62 Systém CARFIT CMB



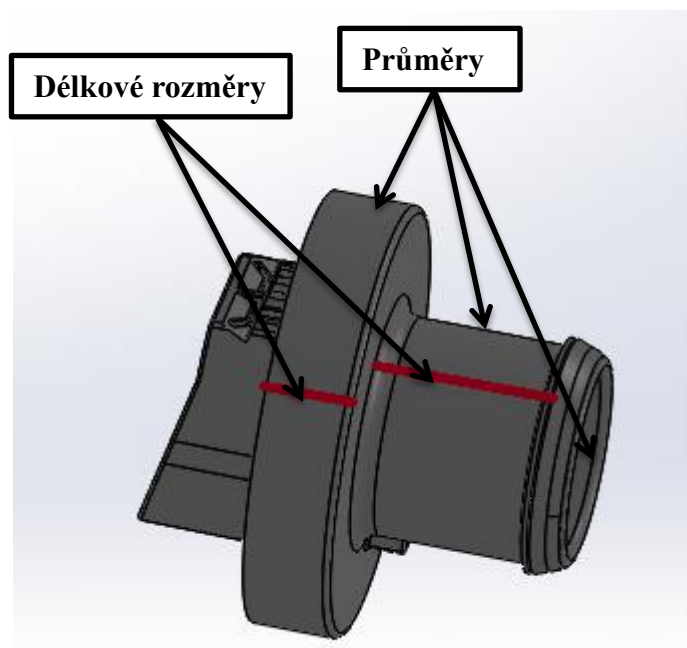
5.2 Návrh upínacích přípravků pro plastový komponent

První aplikací, pro kterou jsem navrhoval upínací systémy, je plastový komponent, který se používá v automobilovém průmyslu, kde je součástí tankovacího systému osobního automobilu. Upínání plastových komponent je mnohem obtížnější než upínání tužších součástí, které se vlivem silových účinků nedeformují, což činí navrhování upínacích přípravků pro tyto součásti složitějším, vzhledem k tomu, že součást je nutné pevně upnout, aby nedocházelo k nepřesnostem měření vlivem pohybu, posuvu součástí.

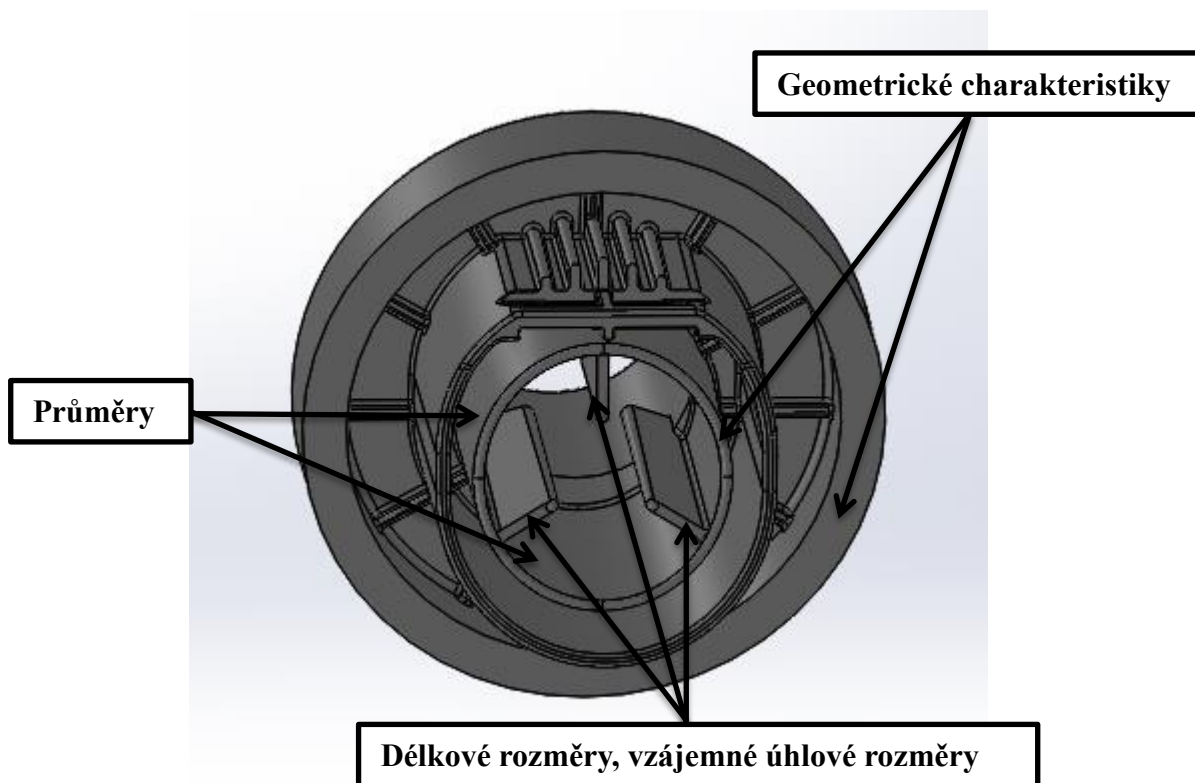


Obr. 63 Plastový komponent

Jedná se o součást rotačního charakteru, převažuje zde měření průměrů, úhlových rozměrů a malý počet délkových rozměrů. Na vybraném komponentu se také nachází geometrické charakteristiky rovinnosti a profilu libovolné čáry. Na obrázku jsou znázorněny měřené charakteristiky.



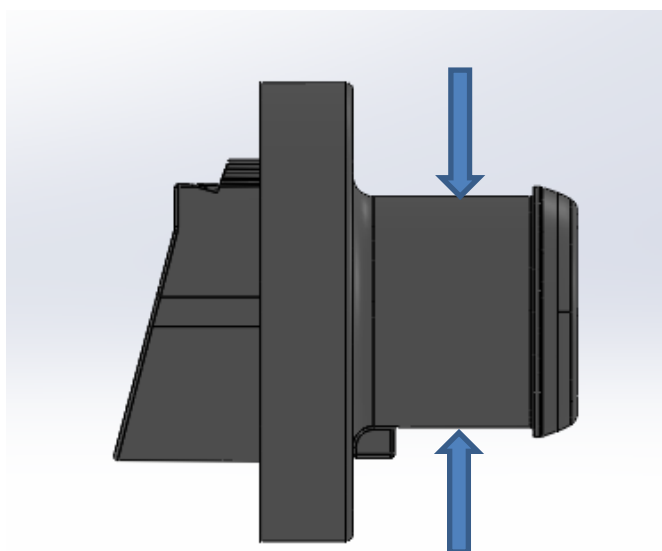
Obr. 64 Měření charakteristiky na plastovém komponentu 1



Obr. 65 Měření charakteristiky na plastovém komponentu 2



Po prostudování výkresové dokumentace a rozboru měřených charakteristik jsem se zaměřil na nejobtížnější část navrhování přípravků a tou je skutečný pohled na upínanou součást a nalezení vhodného způsobu upnutí pro nasnímání všech potřebných elementů, pomocí kterých se součást vyhodnocuje z pohledu výkresové dokumentace. Po analýze dostupných modulárních prvků tohoto systému jsem si zvolil jako hlavní konstrukční základnu pro sestavení přípravku válcovou plochu nejmenšího průměru (obr. 66). Tento průměr je nejvhodnější z hlediska přístupnosti snímacího doteku pro měření potřebných charakteristik. Z časového hlediska mi analýza výkresové dokumentace a zvolení základny pro upnutí zabraly 90 minut.

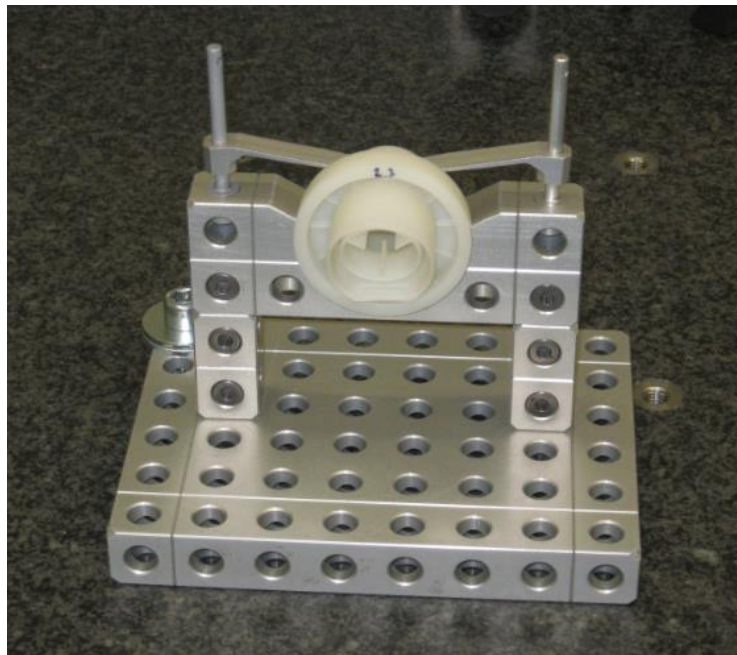


Obr. 66 Základní plocha pro upnutí



5.2.1 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému ALUFIX

Z jednotlivých vybraných částí systému jsem sestavil vyvýšené 120° V prizma, do tohoto prizmatu byla součást vybranou plochou vložena. K zajištění součásti mi posloužili pružné upínky, ty přitlačovaly součást k prizmatu přiměřenou silou, aby nedocházelo k deformaci součásti a zkreslení naměřených hodnot.



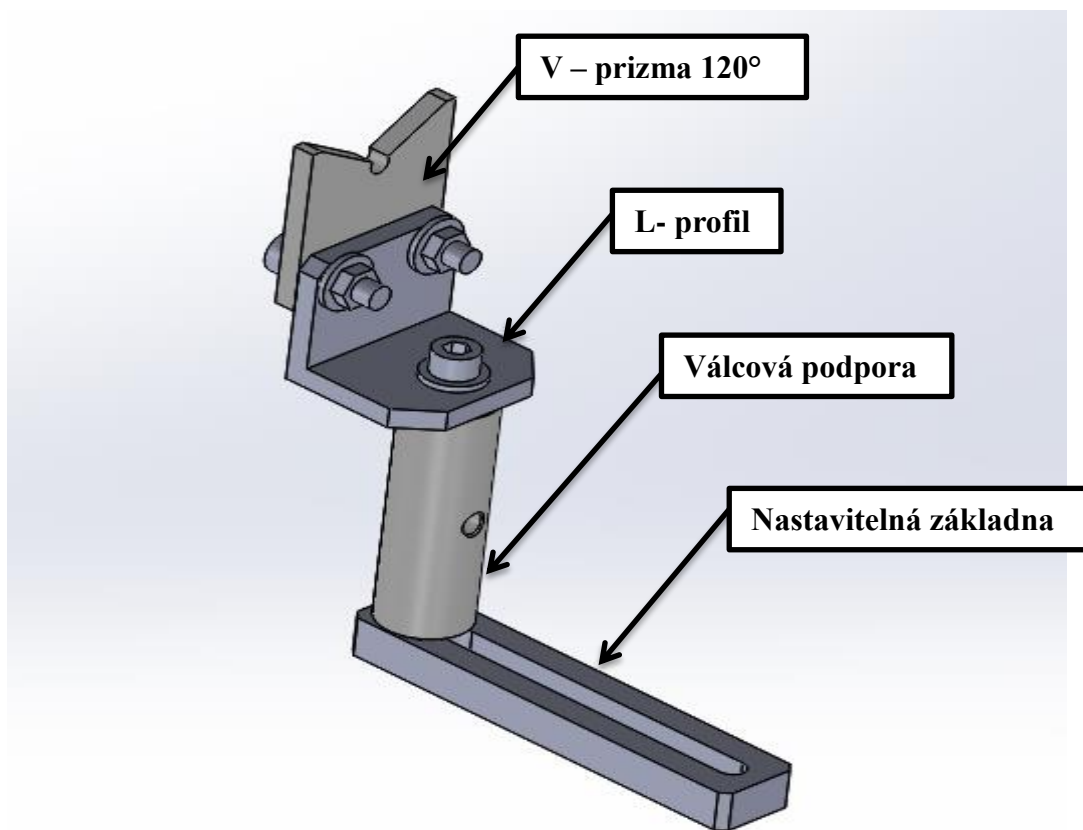
Obr. 67 Sestavený přípravek pro plastový komponent - Alufix

Celý speciálně vytvořený přípravek je z hlediska konstrukce a času nutného pro sestavení velice úsporný. Pro sestavení tohoto přípravku bylo třeba omezeného počtu prvků (obr. 67). Využil jsem zde základní desku 200 x 125 mm. Na tuto desku jsem posléze instaloval jednořadé podpory čtvercového průřezu výšky 50 mm, na ně bylo naistalováno výše zmíněné 120° V prizma. Do spojovacích otvorů V prizmatu byly nakonec vloženy pružné upínky zajišťující pevné upnutí součásti. Spojení systémových prvků bylo zajištěno pomocí tzv. bajonetového systému popsaného v předchozí podkapitole. Konstrukce tohoto přípravku trvala 15 minut.



5.2.3 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému CARFIT

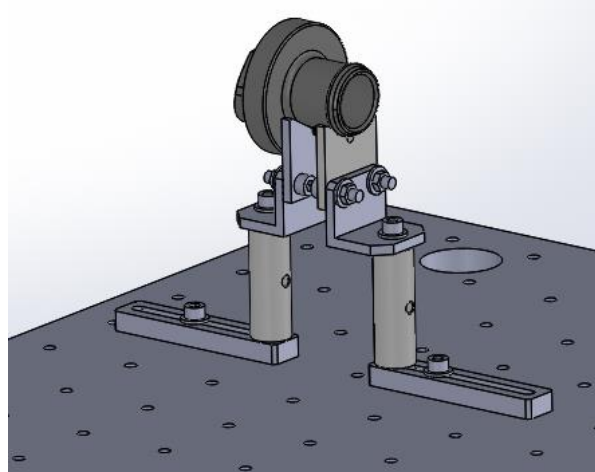
Po analýze dostupných modulárních prvků jsem došel k závěru, že v případě této aplikace je nejvhodnější vycházet ze stejné základny sloužící pro upnutí součásti, jako tomu bylo u předchozího návrhu, tedy z válcové části o nejmenším průměru viz obr. 66. Pro sestavení přípravku jsem použil základní desku 500 x 400 mm. Nastavitelné základny, válcové podpory různých velikostí, polohovací nastavitelné prvky a pružné upínky proti zajištění pohybu součásti. Prvním krokem byla instalace nastavitelné, polohovací základny na základní desku. Do závitového otvoru na konci této základny jsem posléze připojil válcovou podporu výšky 60 mm. Na konec této válcové podpory jsem umístil L – profil, ke kterému byl připojen pomocí šroubového spoje tenký ocelový plíšek se 120 ° V prizmatem. Tímto vzniklo základní konstrukční uspořádání sloužící pro vložení komponenty (obr. 68).



Obr. 68 Konstrukční uspořádání vybraných prvků pro vložení komponenty

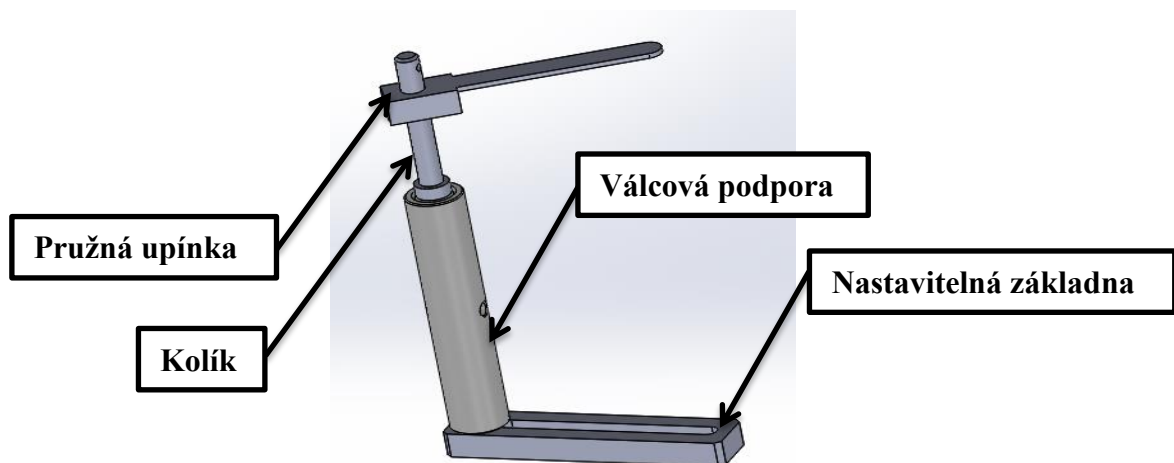


Zrcadlově k umístění této konstrukční části jsem umístil stejnou část a vytvořil tak sestavu prvků, do kterých lze vložit komponentu za vybranou válcovou část, jak je zobrazeno na obr. 69.



Obr. 69 Sestava konstrukčních částí pro vložení komponenty

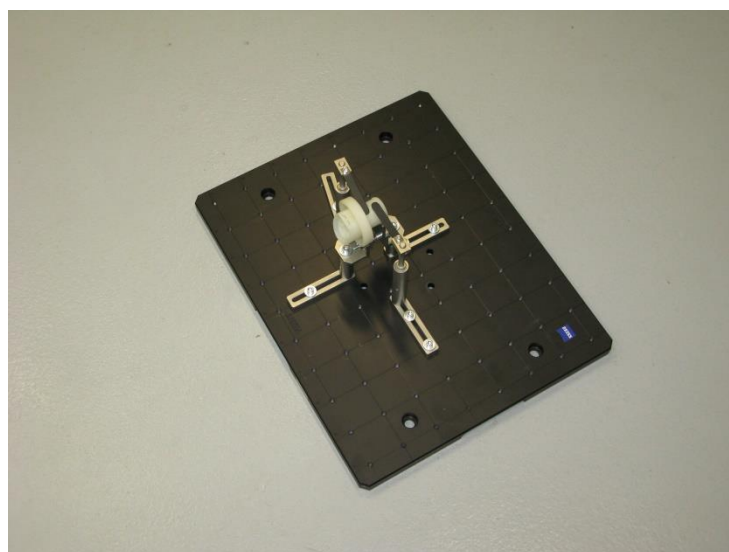
Pro pevné zajištění komponenty jsem použil pružných upínek, které byly nasazeny na kolík se závitovým koncem, který byl zašroubován do závitového otvoru na jednom konci válcové podpory, druhý konec této podpory byl připevněn k nastavitelné základně. Ta byla umístěná na základní desce kolmo k ose rotace měřené upínané součásti. Tyto prvky tak tvořily upínací část. Sestavením stejné konstrukce a jejím zrcadlovým umístěním vůči první upínací sestavě byl vytvořen upínací systém složený ze dvou pružných upínek, jenž zabraňoval nežádoucímu pohybu a přitlačoval součást do sestavy prizmat.



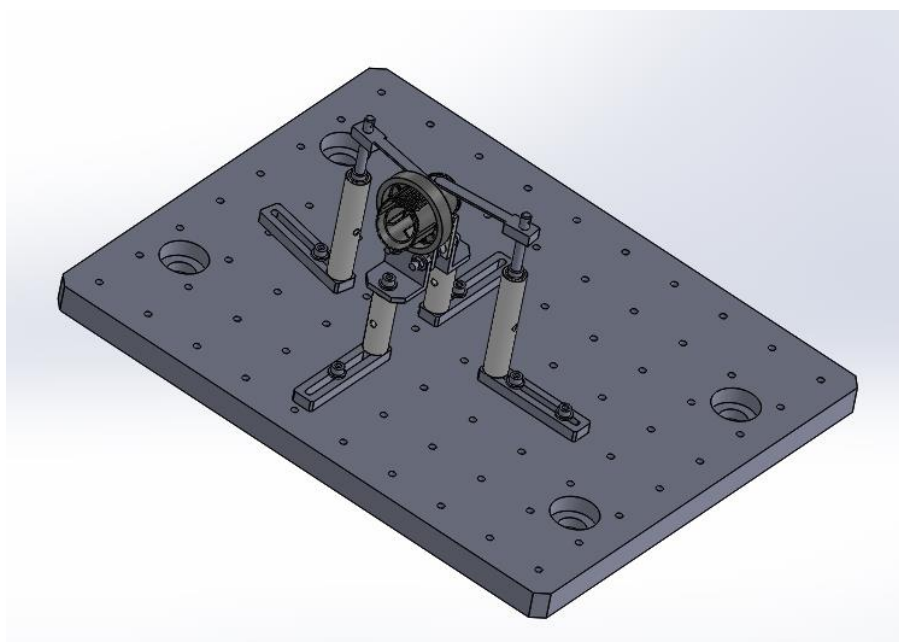
Obr. 70 Upínací část



Celou sestavu upínacího přípravku, jak vypadala ve skutečnosti a vymodelována pomocí dostupných 3D modelů součástí můžeme vidět na obr. 71,72. Z hlediska počtu použitých prvků tato sestava upínacího přípravku převyšuje variantu vytvořenou pomocí systému Alufix. Je na ní mnoho spojů jednotlivých konstrukčních prvků, kdy každý tento spoj může svým případným nedotažením způsobit ztrátu pevnosti a funkčnosti celého systému. To by mohlo mít posléze za následek, nežádoucí výsledek měření dané komponenty. Z časového hlediska mi zabrala konstrukce tohoto přípravku 30 minut.



Obr. 71 Sestava upínacího přípravku pro plastovou komponentu - Carfit

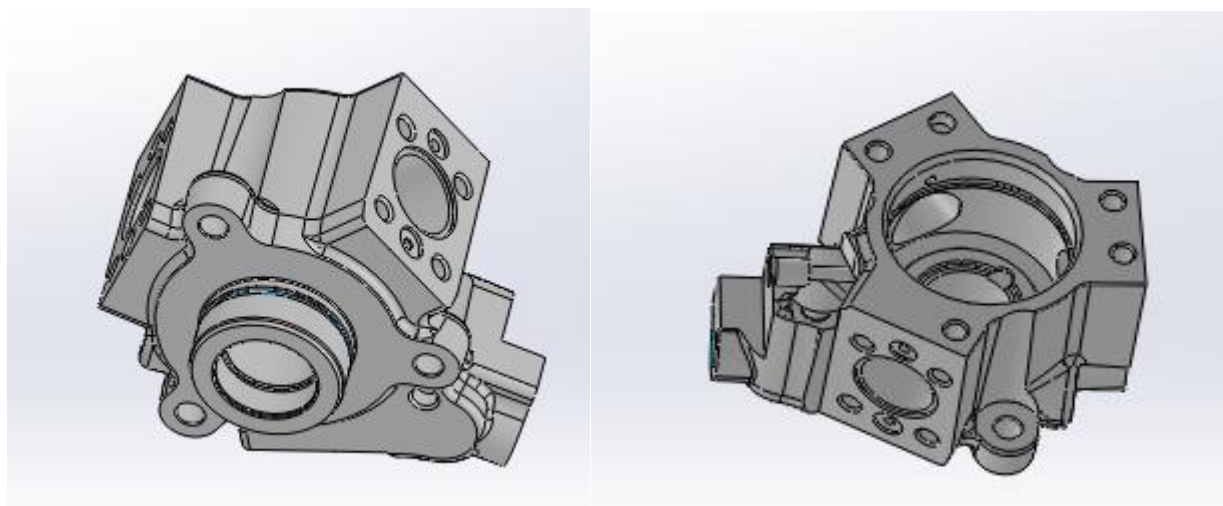


Obr. 72 3D model upínacího přípravku pro plastovou komponentu - Carfit



5.3 Návrh upínacích přípravků pro těleso čerpadla

Druhou aplikací, pro kterou jsem navrhoval upnutí pomocí modulárních upínacích systémů, bylo těleso čerpadla osobního automobilu. Jedná se o odlitek z nerezové oceli o hmotnosti přibližně 1,5 kg (obr. 73). Upínání ocelových komponent je z hlediska vyvození upínací síly na upínanou součást snadnější, než tomu bylo v přechozím případě, jelikož se jedná o materiál výrazně větší tuhosti, kde nedochází k průhybu součásti vlivem upínací síly. Při konstrukci upínacích přípravků je u těchto součástí nutné brát v potaz jejich hmotnost a vytvořit dostatečně tuhou konstrukci přípravku, která bude dobře přenášet síly od hmotnosti součásti.

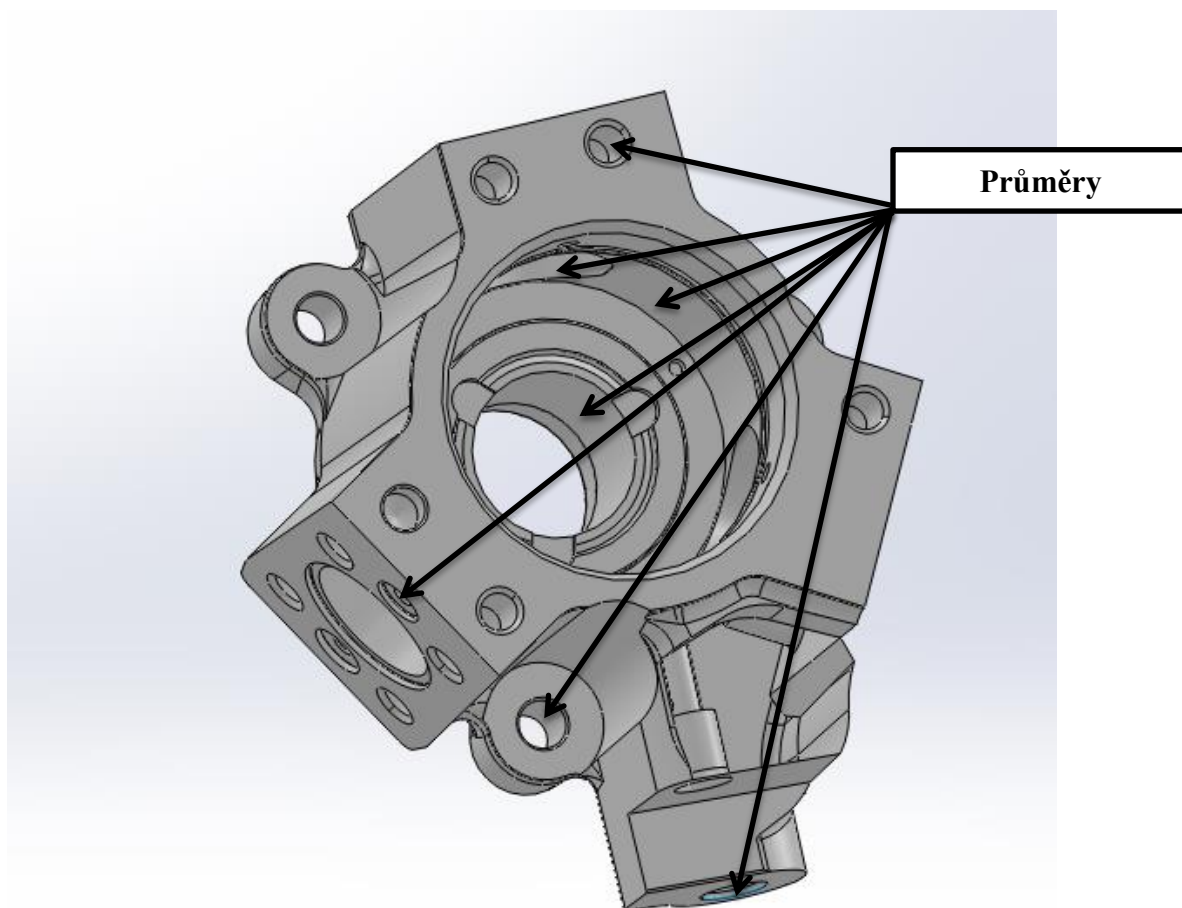


Obr. 73 Těleso čerpadla

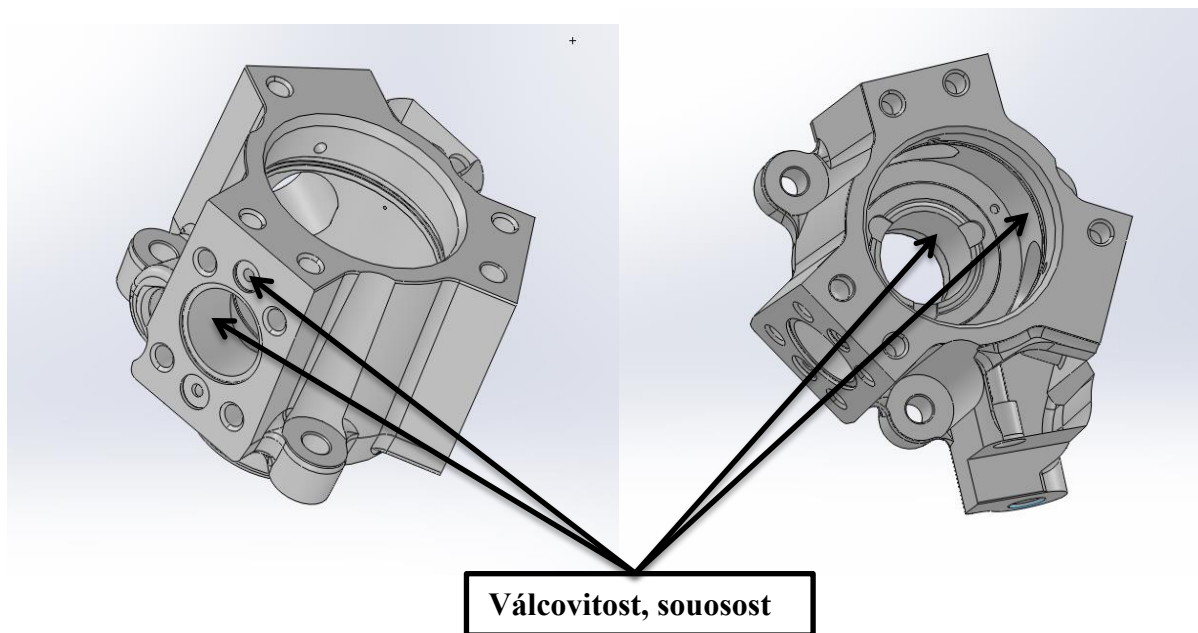
Dle obrázku výše je vidět, že se jedná o tvarově složitou součást přírubového charakteru, kde vnitřní část rotačního charakteru tvoří odlité a poté přesně vyfrézované díry. Po obvodu ze součásti vystupují čtyři rovinné plochy s otvory pro rozvod kapaliny. Na spodní a horní hraně součásti kolmé k ose rotace vnitřních otvorů se nachází rovinné plochy určené k dosednutí a připojení tělesa k dalším částem systému.



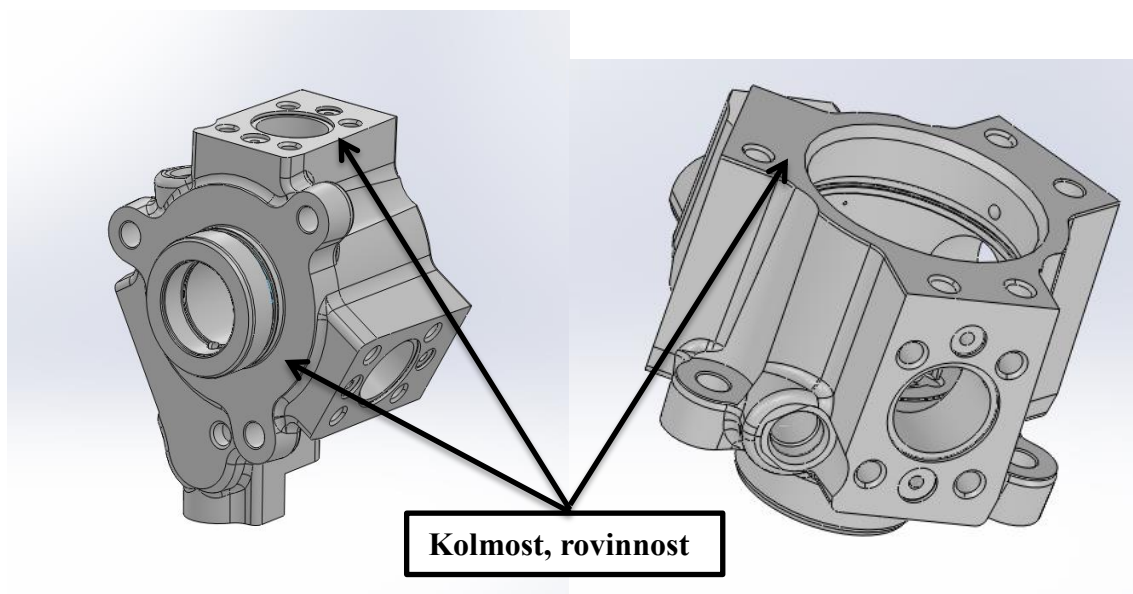
Na vybrané součásti převažuje především měření průměrů u všech průchozích a neprůchozích děr. Dále u vybraných děr tolerance válcovitosti, souososti. U rovinných ploch se jedná o charakteristiky rovinnosti a kolmosti. Měřené charakteristiky jsou znázorněny na obr. 74, 75, 76.



Obr. 74 Měřené charakteristiky tělesa čerpadla 1



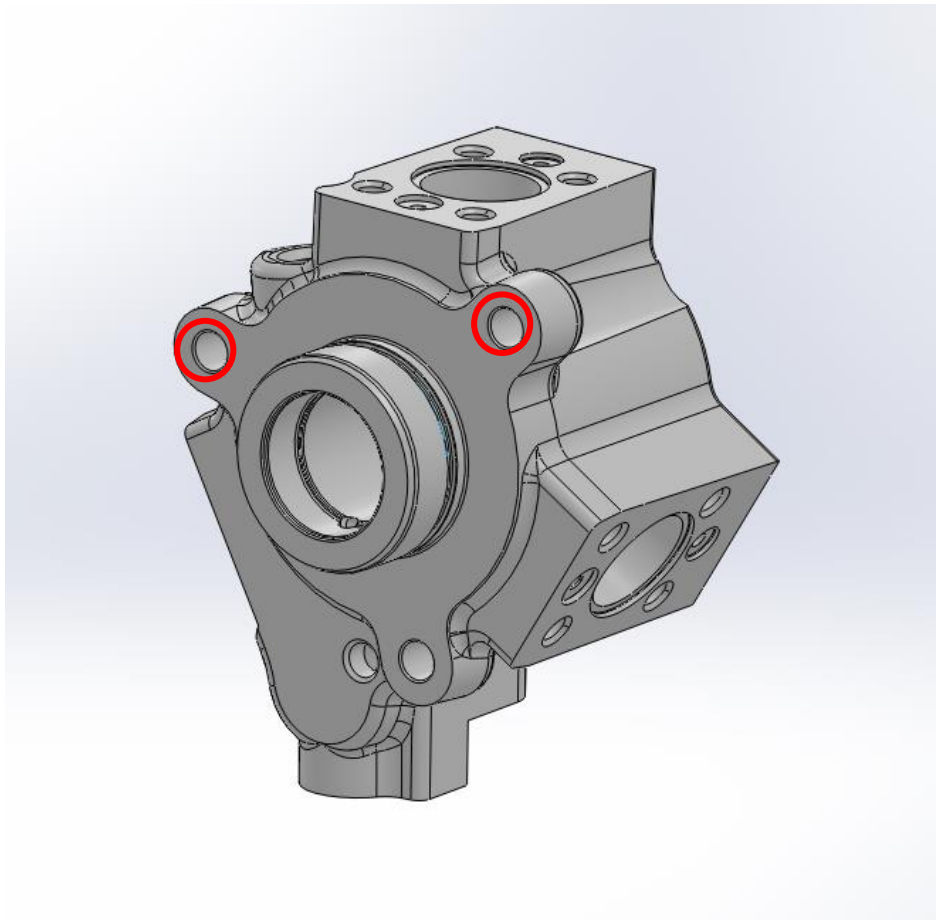
Obr. 75 Měřené charakteristiky tělesa čerpadla 2



Obr. 76 Měřené charakteristiky tělesa čerpadla 3



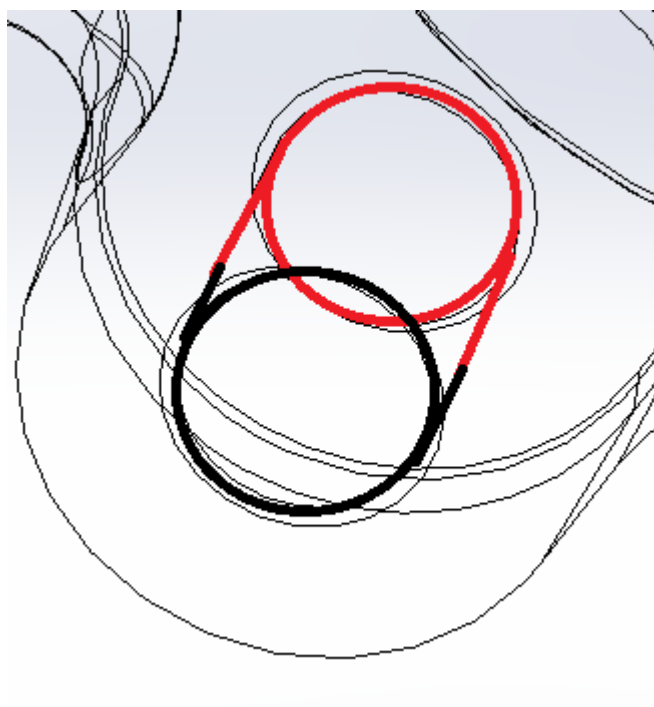
Při pohledu na součást je zřejmé, že nalezení vhodné základny pro upnutí a změření součásti v jedné poloze tak, aby bylo možné nasnímat všechny potřebné elementy pro vyhodnocení, bylo nutné důkladné analýzy výkresové dokumentace a porozumění významu jednotlivých částí měřené komponenty. Po prostudování výkresové dokumentace jsem zvolil jako základní prvky, které poslouží k upnutí a základnímu polohování součásti, průchozí díry na spodní rovinné, přírubové hraně součásti (obr. 78).



Obr. 78 Zvolené otvory pro základní polohování součásti



Tyto otvory plní funkci vedení pro šroubový spoj, který umožní spojení s další součástí a kontroluje se pouze jejich průměr. Ten můžeme s dostatečnou přesností zjistit například pomocí elementu válec, kdy bude nasnímaný element vyhodnocen pouze do poloviny celé jeho hloubky od horní hrany (obr. 79), druhá polovina poslouží pro základní polohování měřené součásti. Tento způsob je nejvhodnější z pohledu přístupnosti snímacího doteku pro měření všech potřebných charakteristik. Z časového hlediska mi analýza výkresové dokumentace a zvolení základny pro upnutí zabrali 90 minut.

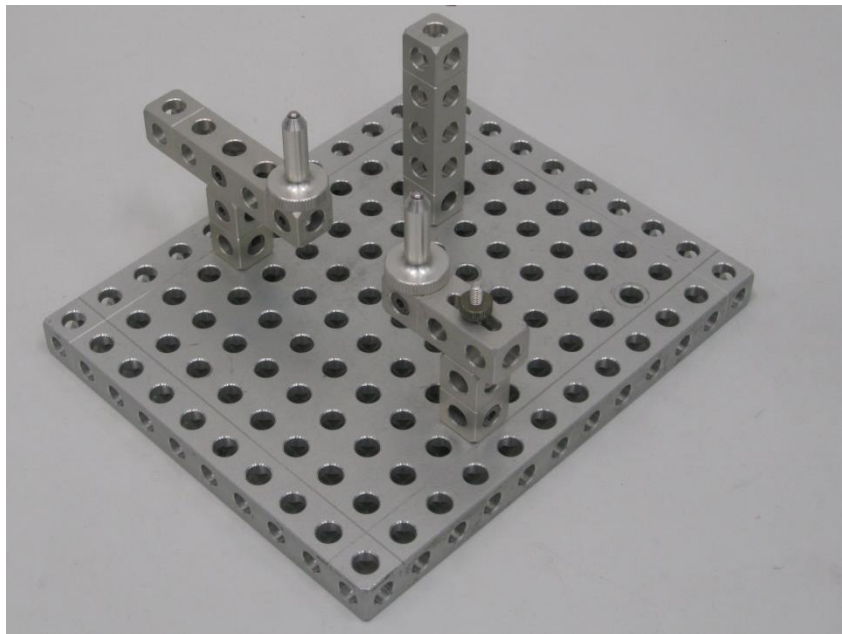


Obr. 79 Znáznornění využití průchozích otvorů na přírubové straně



5.3.1 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému Alufix

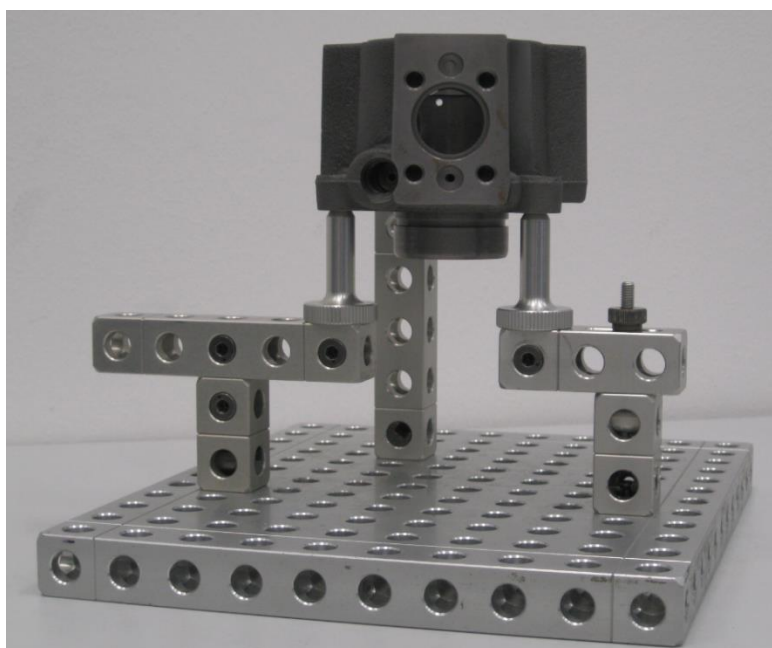
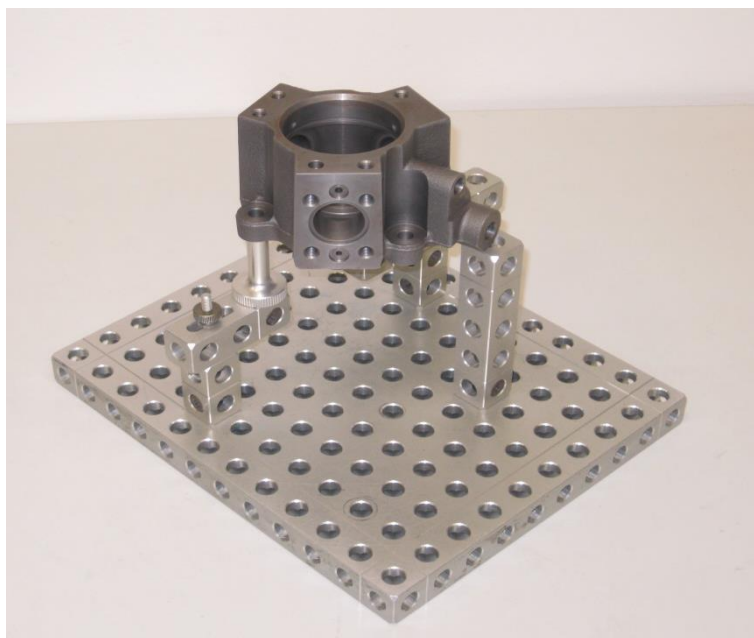
Po zvolení ploch součástky pro základní polohování dílce jsem přešel ke konkrétnímu návrhu upínacího přípravku. Ten se skládal ze základní desky 300 x 250 mm, na kterou byla nainstalovaná jednořadá podpěra výšky 50 mm. Na tuto podpěru jsem kolmo k její výšce upevnil jednořadý sloup výšky 125 mm a vytvořil tak konstrukční část tvaru T a na její konec umístil koncový prvek. Zrcadlově k tomuto prvku jsem vytvořil stejný, kde jsem kolmo umístěný jednořadý sloup nahradil sloupem výšky 75 mm s drážkou. Tento prvek plnil funkci stavitelné, polohovací základny a umožnil získání potřebné osové vzdálenosti mezi zvolenými otvory. Pro zajištění stabilní polohy byl na desku naistalován další prvek v podobě jednořadé podpěry výšky 125 mm (obr. 80). K pevnému upnutí součástky byly použity pružné upínky, které působily proti prvkům zajišťujícím stabilní polohu.



Obr. 80 Konstrukce přípravku pro upnutí tělesa čerpadla



Spojení systémových prvků bylo zajištěno pomocí tzv. bajonetového systému a v případě polohovatelné podpěry pomocí závitové tyčky a válcové matice s vnitřním závitem. Z časového hlediska mi zabrala konstrukce přípravku 45 minut.

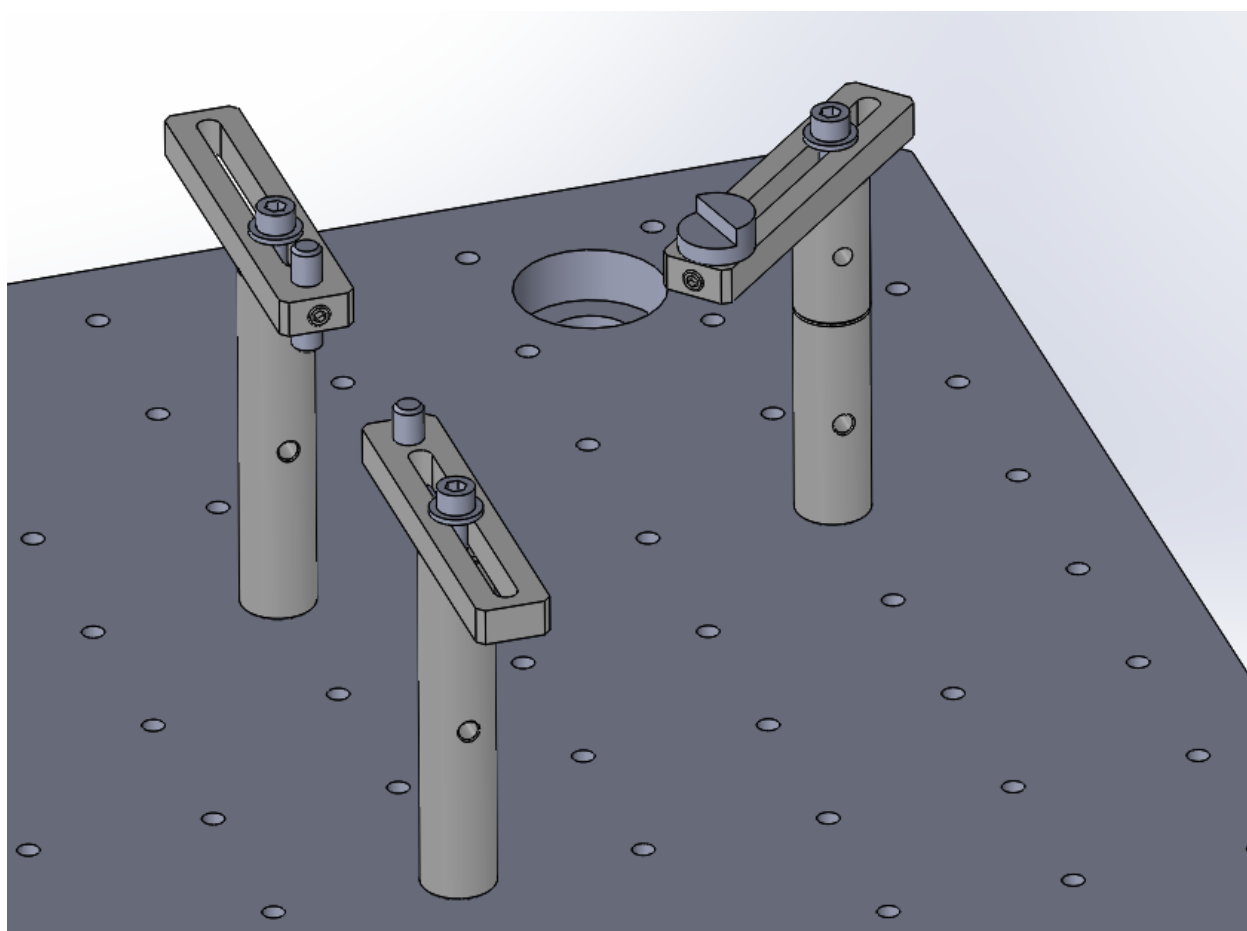


Obr. 81 Konstrukce přípravku pro těleso čerpadla



5.3.2 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému CARFIT

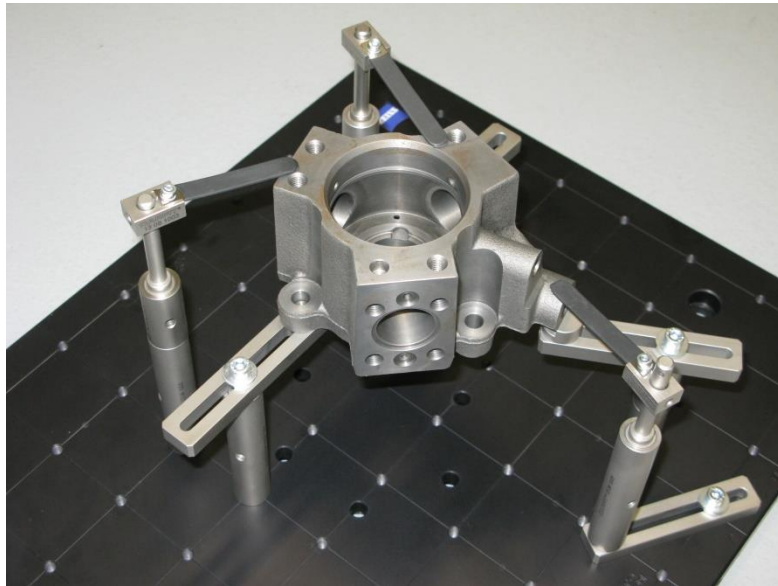
Pro sestavení upínacího přípravku jsem použil základní desku 500 x 400 mm, nastavitelné základny, válcové podpory různých velikostí, polohovací nastavitelné prvky, distanční kolíky a pružné upínky. Prvním krokem byla instalace válcové podpory výšky 100 mm na základní desku. Na tuto válcovou podporu jsem připojil pomocí šroubového spoje nastavitelnou základnu s drážkou a dírou pro distanční prvky, do níž jsem vložil a posléze zajistil distanční kolík. Vznikla tak konstrukční část přípravku tvaru T pro základní polohování součásti. Zrcadlově k této konstrukční části jsem vytvořil shodný prvek v osové vzdálenosti 150 mm. Pro zajištění stabilní polohy součásti po vložení a pro následné měření jsem dále připojil na základní desku válcovou podporu s nastavitelnou základnou a koncovým prvkem válcovitého tvaru se 180° vybráním (obr. 82). Pro zajištění pevného upnutí posloužily upínací části, na které byly nasazeny pružné upínky.



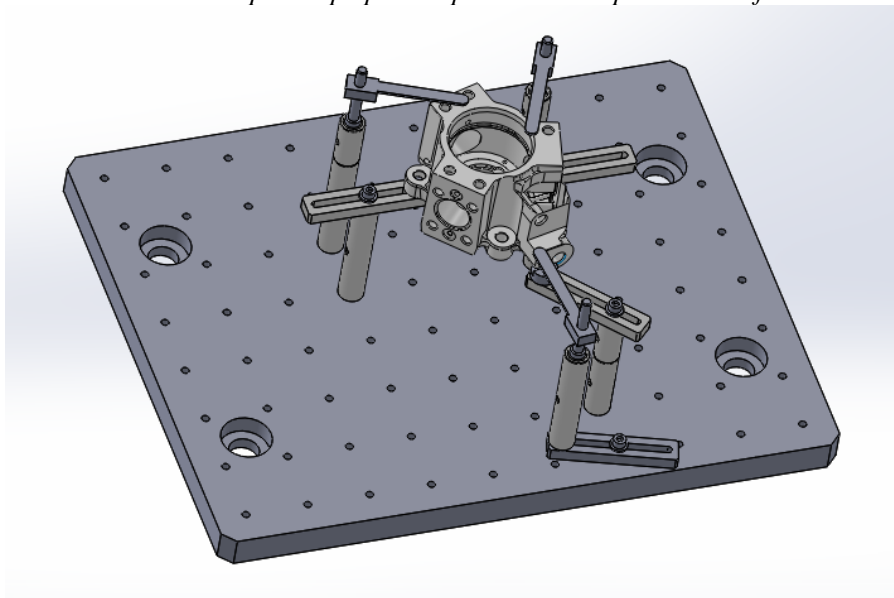
Obr. 82 Konstrukční části zajišťující základní polohování komponenty



Celou sestavu upínacího přípravku, jak vypadala ve skutečnosti a vymodelována pomocí dostupných 3D modelů, je vidět na obr. 83 a 84. Z hlediska počtu použitých prvků se jedná o téměř shodnou sestavu, jako při sestavení přípravku pomocí systému Alufix. Za výhodu této konstrukce považují lepší způsob základního polohování součástí pomocí dostupných koncových prvků. Konstrukce tohoto upínacího systému trvala 45 minut.



Obr. 83 Upínací přípravek pro těleso čerpadla – Carfit

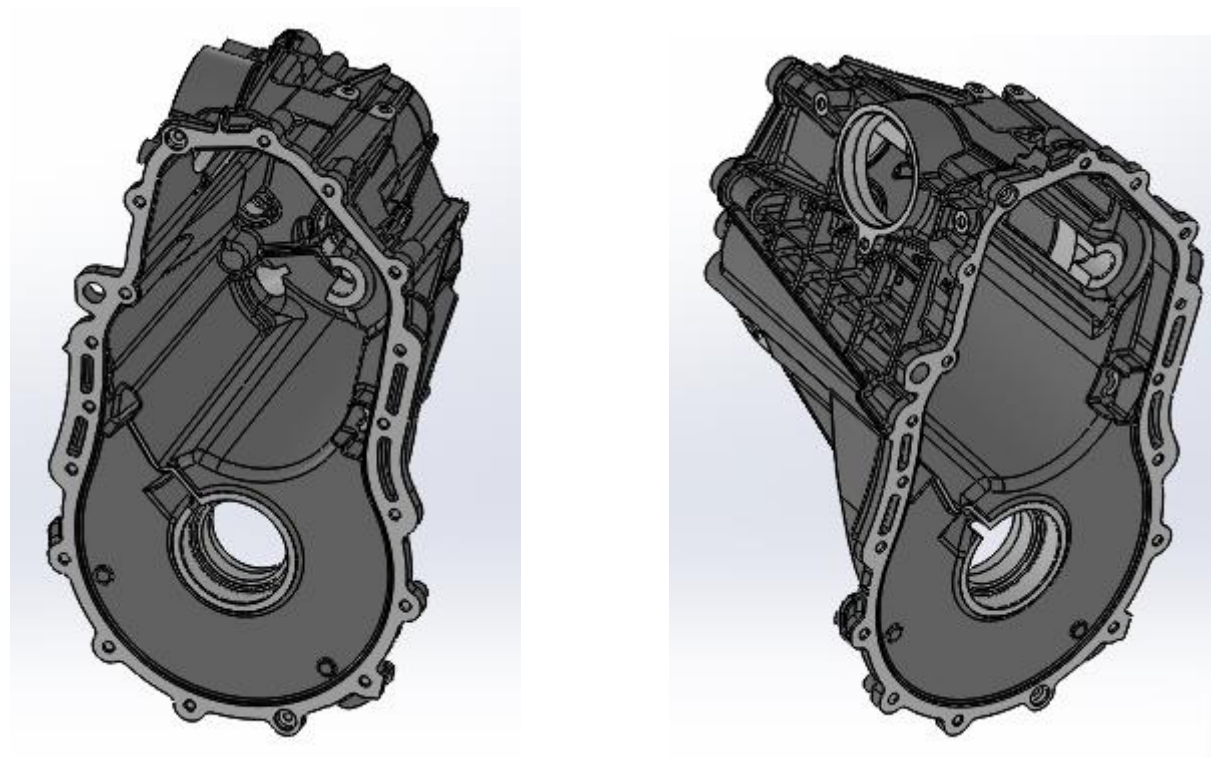


Obr. 84 3D model upínacího přípravku pro těleso čerpadla



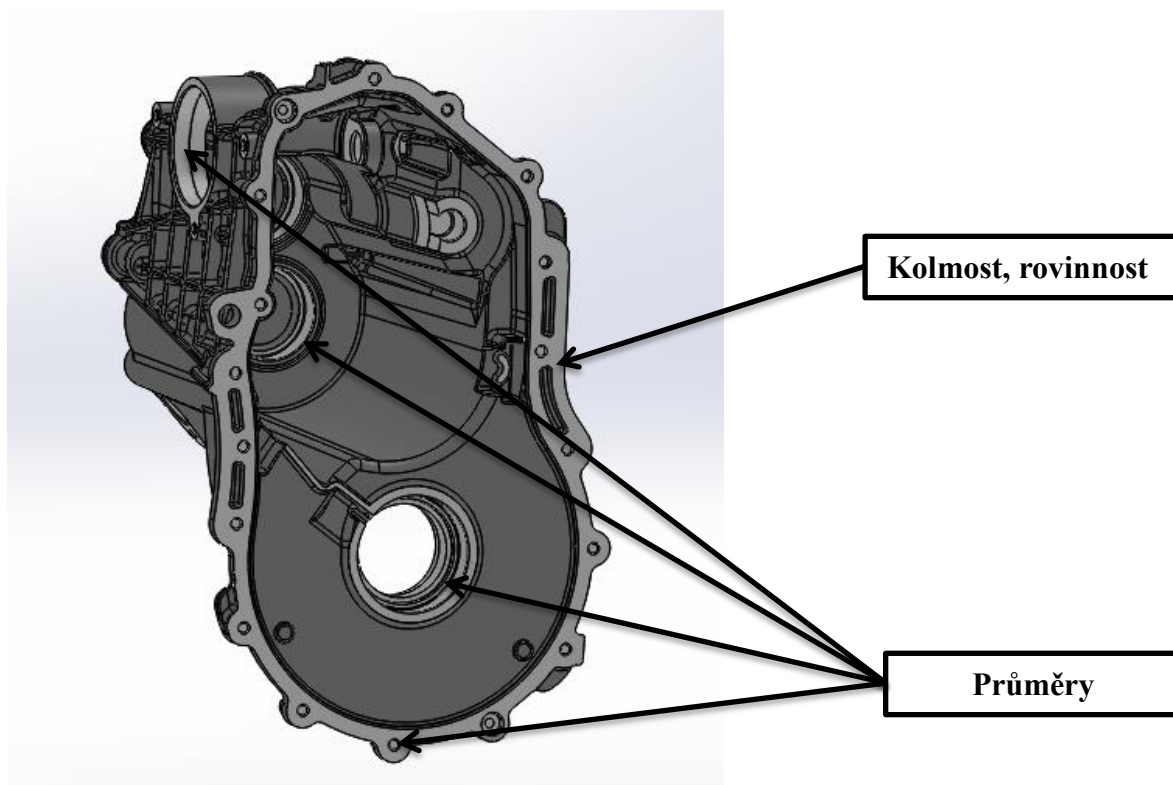
5.4 Návrh upínacích přípravků pro skříň převodovky

Třetí a zároveň poslední aplikací, pro kterou jsem navrhoval upnutí pomocí modulárních systémů, byla část skříně převodovky osobního automobilu. Jedná se o odlitek ze slitiny hliníku, který je následně na vybraných plochách, jež jsou dané výrobní dokumentací, obroben.

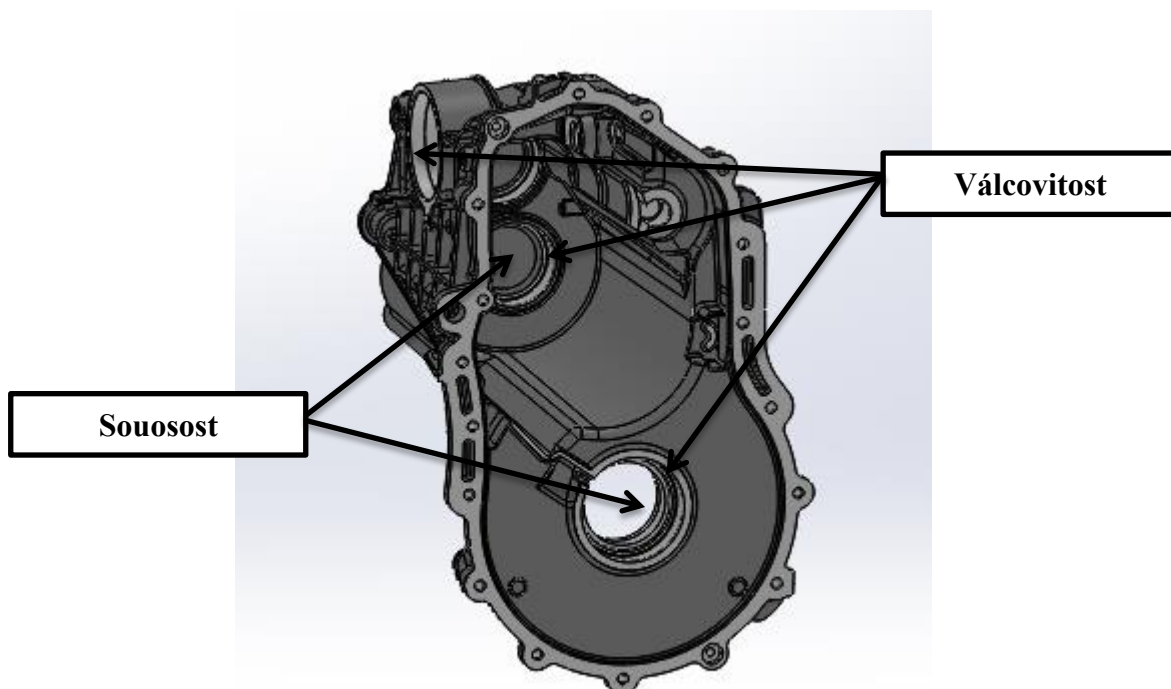


Obr. 85 Skříň převodovky

Dle obrázku výše je vidět, že se jedná o prostorově a hmotnostně rozměrnou součást. Hmotnost součásti činí 4,2 kg. Výška čelní plochy činí 400 mm, šířka 210 mm a hloubka součásti 235 mm. Na vybrané součásti převažuje především měření charakteristik nacházejících na čelní ploše a vně součásti. Měří se zde například délkové rozměry, průměry všech průchozích a neprůchozích otvorů, tolerance válcovitosti, sousostí. U rovinných ploch se jedná především o charakteristiky rovinnosti a kolmosti čelní plochy. Po obvodu součásti se nachází určitý počet otvorů, které budou také kontrolovány a musí být přístupné pro snímání, což je třeba brát na zřetel při konstrukci upínacího přípravku. Na obr. 86 a 87 jsou znázorněny vybrané kontrolované charakteristiky.



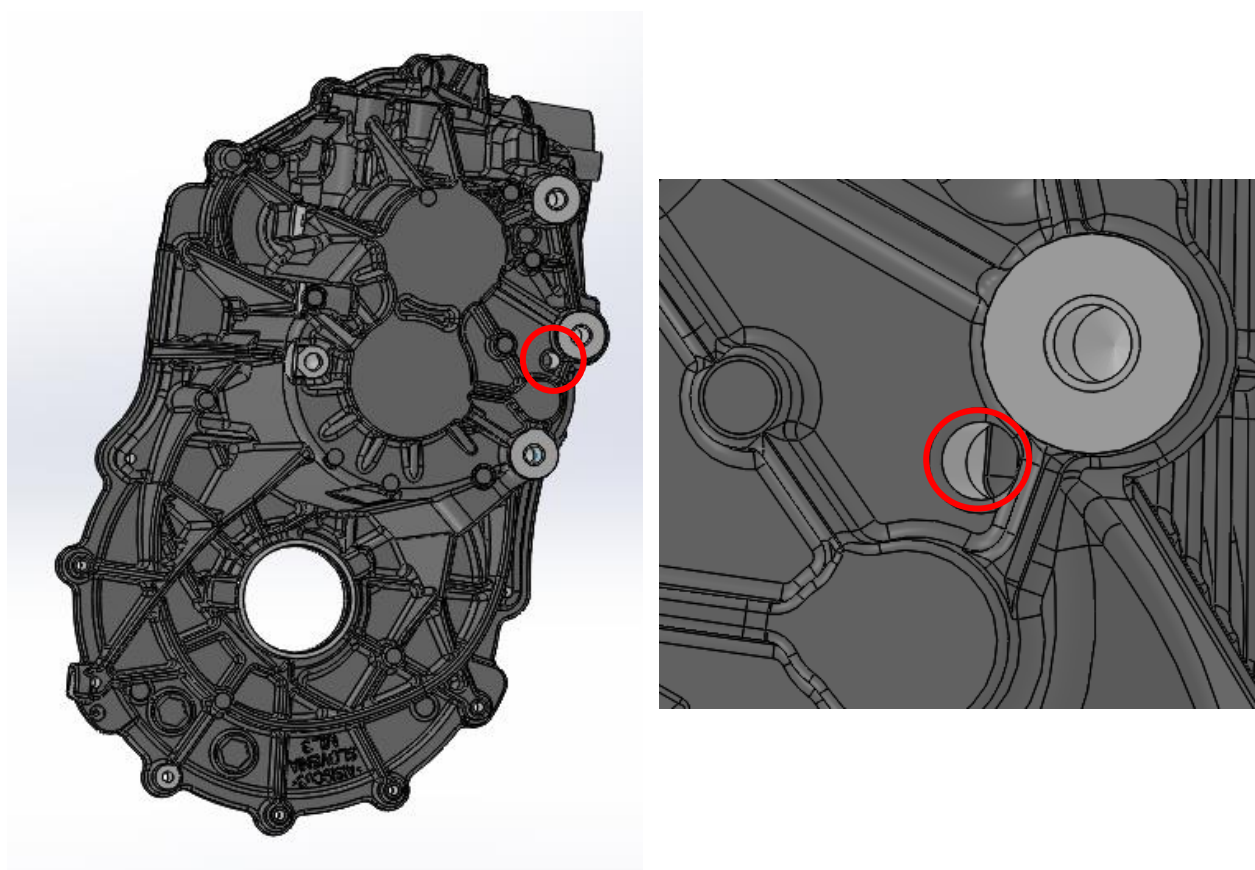
Obr. 86 Kontrolované charakteristiky skříně převodovky 1



Obr. 87 Kontrolované charakteristiky skříně převodovky 2



Z rozboru měřených charakteristik vyplývá, že součást je nutné upnout do měřicího přípravku na výšku součásti, tedy čelní plocha musí být kolmá na hranu stolu CMM. Upnutí je třeba navrhnout takovým způsobem, aby bylo dosaženo nasnímání všech potřebných elementů k vyhodnocení na jednu polohu upnutí. Na celém obvodu součásti se nachází různé tvarové plochy a žebrování, které značně znesnadňují upnutí součásti a nalezení vhodné základní plochy pro upnutí. Tento problém je možné vyřešit využitím středících otvorů, které se můžou nacházet na měřené součásti. Po důkladném prostudování výkresové dokumentace a samotné součásti jsem došel k závěru, že se na vybrané komponentě nachází jeden středící otvor. Poloha tohoto otvoru je vidět na obr. 88.



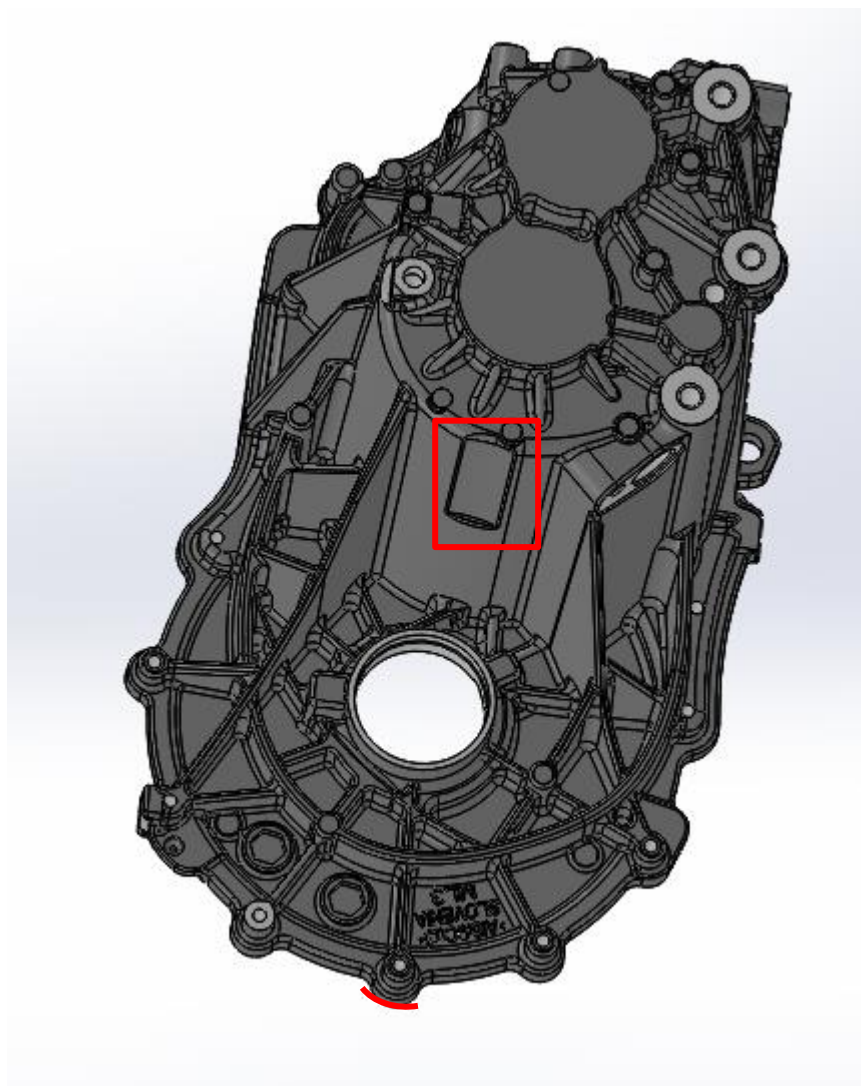
Obr. 88 Středící otvor

Využití středícího otvoru při konstrukci modulárních upínacích přípravků je však odkázáno na přítomnost konstrukčních prvků umožňujících použití tohoto otvoru. Pokud tomu tak není, musí být použito jiné cesty. Prostudování výkresové dokumentace a nalezení středícího otvoru pro základní polohování mi zabralo 180 minut.



5.4.1 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému Alufix

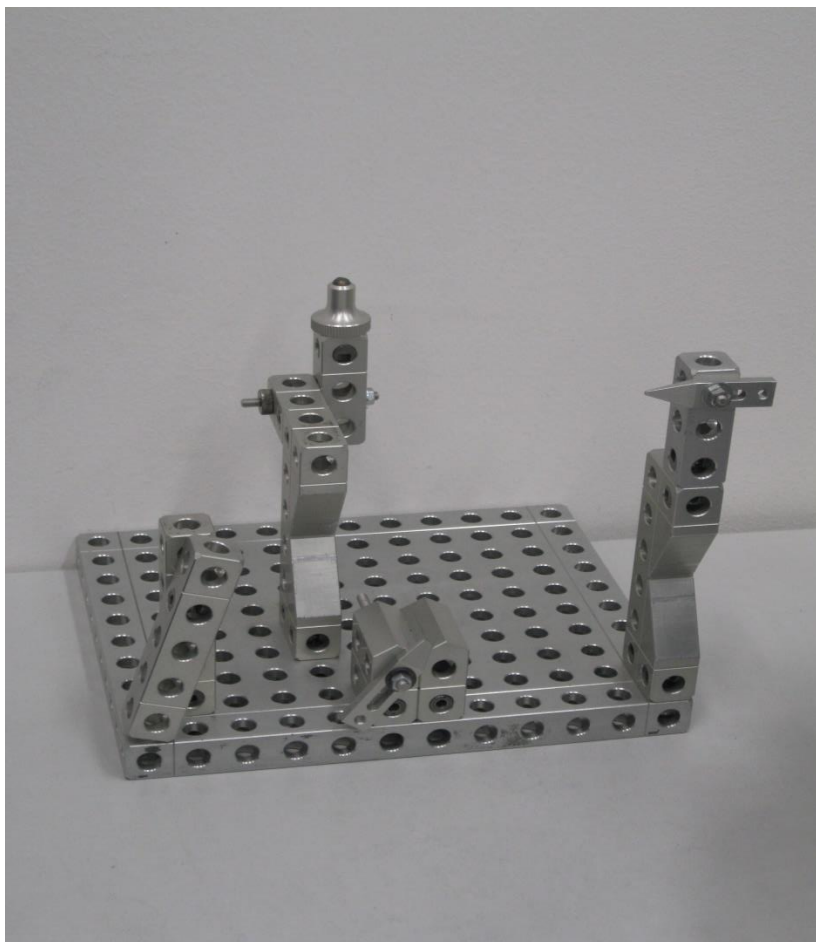
Po analýze dostupných upínacích prvků jsem dospěl k závěru, že v tomto případě nebude možné využít středícího otvoru. Proto jsem k základnímu polohování součásti využil tvarovou plochu a půlkruhový výstupek označené na obr. 89. Opětovné prostudování a určení nových vhodných základních ploch pro upnutí mi zabralo 120 minut.



Obr. 89 Základní plochy pro polohování součásti



Po zvolení ploch pro základní polohování dílce jsem přešel k samotné konstrukci upínacího přípravku. Ten se skládal ze základní desky 300 x 250 mm, na kterou jsem nainstaloval vyvýšenou konstrukční část a na její konec připevnil koncový prvek, který umožňuje natočení své koncové části ve tvaru komolé koule. Toto zakončení zprostředkovává bodový styk s vybranou tvarovou plochou. Druhou vybranou plochu pro základní polohování jsem umístil do vytvořeného V prizmatu, které jsem vytvořil pomocí dvou obdélníkových bloků s koncovými částmi ve tvaru trojúhelníku s vrcholovým úhlem 120° . K zajištění rovnovážné polohy jsem k bočním hranám připevnil sloupové podpory. K těmto podporám jsem připevnil koncové prvky podobající se stavitelným základnám, které vymezují polohu součásti (obr 90). Pro zajištění pevného upnutí součásti a dotlačení komponenty k vymezujícím koncovým prvkům jsem použil pružných upínek (obr. 91). Celkové sestavení přípravku trvalo 135 minut.



Obr. 90 Sestava základních upínacích částí

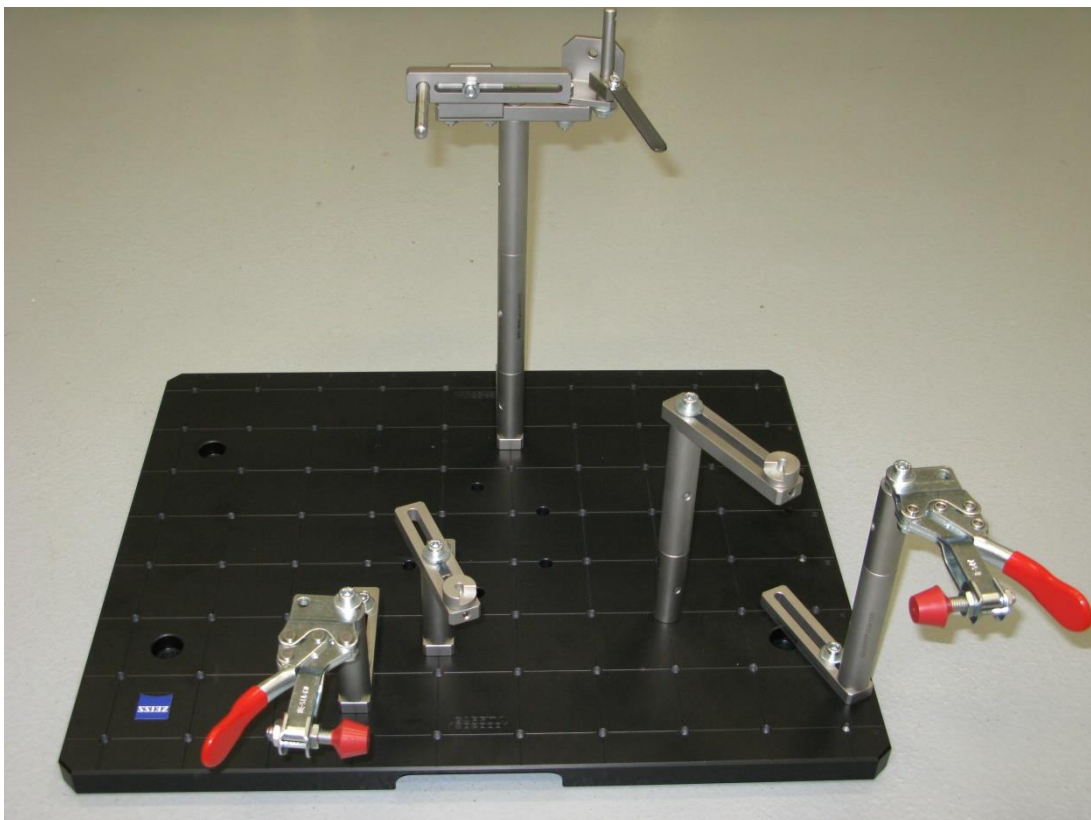


Obr. 91 Upínací přípravek s vloženou součástí



5.4.2 Sestavení upínacího přípravku pomocí systému CARFIT

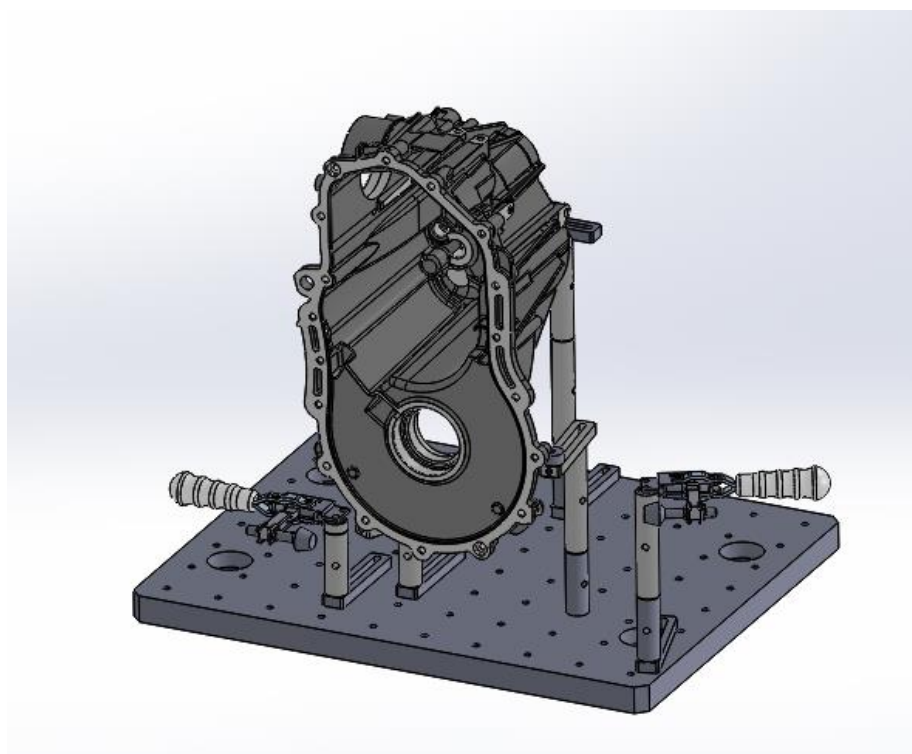
Po analýze dostupných prvků upínacího systému jsem došel k závěru, že v případě tohoto systému je možné využít středícího otvoru. Ke konstrukci přípravku jsem použil základní desku 500 x 400 mm nastavitelné základny, válcové podpory různých velikostí, polohovací nastavitelné prvky, distanční kolík, vybrané koncové prvky a pevné pákové upínky. Prvním krokem bylo zkonstruování vyvýšeného konstrukčního modulu pro umístění distančního kolíku, na který byla posléze nasunuta měřená komponenta. Tato část se skládala s válcových podpor, L profilu, stavitelných základen s drážkou a dírou pro nastavení distančního kolíku. Pro zajištění rovnovážné polohy součásti jsem na základní desku nainstaloval další dva konstrukční moduly, které se skládaly ze stavitelné základny, válcové podpory a válcového koncového prvku s 90° vybráním. Tyto koncové prvky doléhají na vybrané tvarové plochy a zajišťují tak polohu součásti proti nežádoucímu pohybu. Proti těmto konstrukčním modulům působí přiměřenou upínací silou pevné pákové upínky, proti distančnímu kolíku působí pružná upínka zajišťující pevné a tuhé ustavení měřené součásti (obr. 92, 93). Z časového hlediska mi konstrukce upínacího přípravku zabrala 115 minut.



Obr. 92: Sestava konstrukčních modulů pro upnutí komponenty



Obr. 93 Upínací přípravek s měřenou komponentou

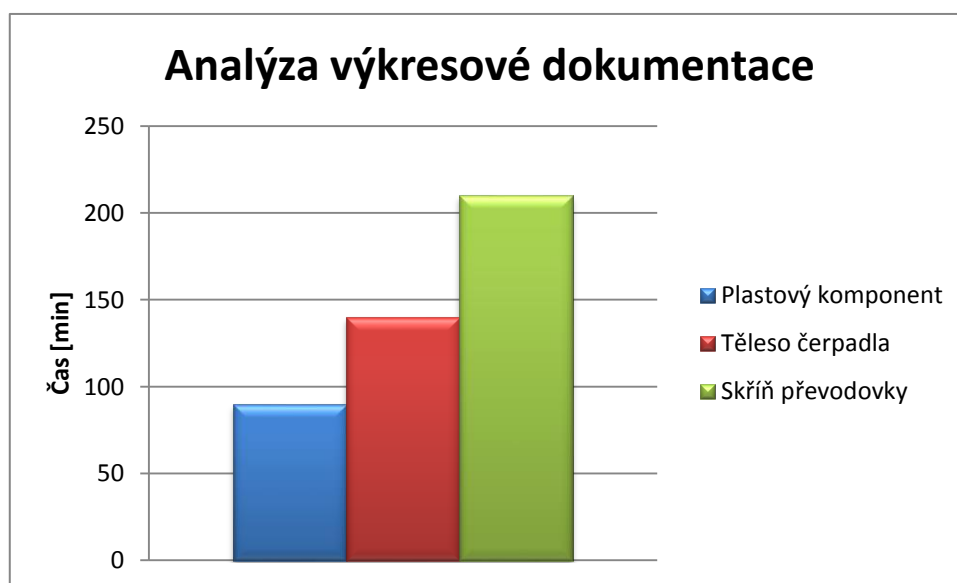


Obr. 94 3D model upínacího přípravku pro skříň převodovky



5.5 Zhodnocení časové náročnosti a složitosti montáže navržených upínacích systémů

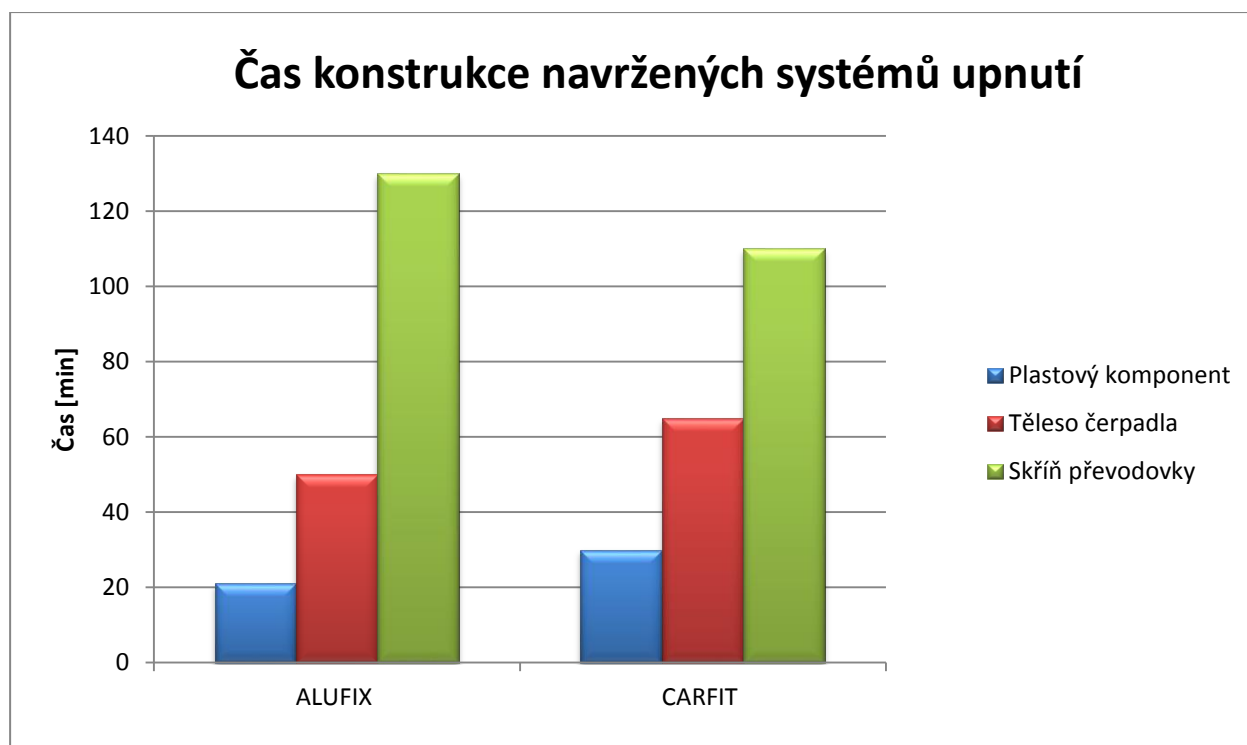
Časová náročnost prostudování výkresové dokumentace a samotného návrhu jednotlivých upínacích systémů pro vybrané komponenty se odvíjí především od tvarové složitosti kontrolované součásti a zkušeností daného konstruktéra přípravku, nebo operátora. Rozbor dává ucelený přehled o úloze, jak z hlediska měření, tak z pohledu upnutí součásti (obr. 95). Podrobnou analýzou jsem tedy určil vhodné plochy pro upnutí součásti, což v souladu s tím dá jasnou představu o poloze upnuté součásti vzhledem souřadnému systému stroje. Pro plastovou komponentu bylo zapotřebí pro analýzu dokumentace 90 minut, pro těleso čerpadla 140 minut a pro skříň převodovky 210 minut. Tyto hodnoty potvrzují předpoklad, že časová náročnost přípravy konstrukce závisí v první řadě na tvarové složitosti komponenty a poté na zkušenosti navrhujícího.



Obr. 95 Grafické znázornění časové náročnosti analýzy výkresové dokumentace



Dalším významným faktorem je znalost využití jednotlivých konstrukčních prvků dostupných modulárních řešení. Při navrhování systémů upnutí je třeba dbát na jednoduchost konstrukce, která umožní nasnímání potřebných elementů pro vyhodnocení charakteristik. Zároveň však má být upnutí dostatečně tuhé a musí umožnit snadné vložení a vyjmutí měřeného dílce.



Obr. 96 Grafické znázornění časové náročnosti konstrukce přípravků dle použitých systémových řešení

Z obr. 96 jsou patrné časy nutné pro konstrukci jednotlivých přípravků. V případě konstrukce upínacího systému pro plastový komponent pomocí systému Alufix byl čas nutný pro konstrukci 20 minut. Pomocí systému CARFIT 30 minut. Z hlediska složitosti montáže a počtu použitých prvků bylo konstrukčně úspornější a méně náročné upnutí pomocí systému Alufix. V tomto případě bylo využito jednoho dostupného systémového prvku 120 ° V prizmatu, do kterého byla součást za vybranou plochu vložena a posléze přitlačena pružnými upínkami. Naproti tomu u systému CARFIT muselo být pro sestavení základního modulu, sloužícího jen pro vložení součásti využito několika prvků. To zapříčinilo z mého pohledu konstrukčně složitější upnutí a vyšší časovou náročnost. Při sestavování upínacího přípravku pro tuto součást bych tedy volil systém Alufix.



Konstrukce upínacího přípravku pro těleso čerpadla za pomoci systému Alufix mi zabrala celkem 50 minut. V případě využití systému CARFIT byl čistý čas konstrukce přípravku 65 minut. Z hlediska složitosti montáže bylo použití obou systémů a množství potřebných prvků téměř na stejné úrovni. Avšak při porovnání vhodnosti jednotlivých systémů se v tomto případě i přes delší časovou náročnost přikláním k použití systému CARFIT. Důvodem tohoto rozhodnutí je dle mého názoru vhodnější využití dostupných koncových prvků v kombinaci s prvky zajišťujícími základní polohování součástí. Koncové prvky zde zajišťují pouze polohu součásti proti nežádoucímu pohybu a síly vzniklé od hmotnosti součásti pohlcují pouze základní polohovací prvky. V případě navrhnutého přípravku v systému Alufix dostupné koncové prvky zabraňují jak pohybu součásti, tak absorbují síly od hmotnosti součásti, což nemusí být vždy vhodné.

Dle složitosti konstrukce, časové náročnosti a množství použitých prvků bylo nejsložitější navržení konstrukce přípravků pro skříň převodovky. V případě použití systému Alufix mi konstrukce zabrala 130 minut. Zkonstruování přípravku pomocí modulárního systému CARFIT trvalo 110 minut. Po analýze dostupných jednotlivých prvků jsem došel k názoru, že při použití systému Alufix, nelze využít středícího otvoru pro základní polohování součástí. To znamenalo najít jinou cestu, jak dosáhnout základního polohování součástí, která má po svém obvodu množství tvarových ploch. Což z časového a konstrukčního hlediska znesnadnilo výsledný návrh upnutí. V případě systému CARFIT jsem mohl využít středící otvor pro upnutí. Tento systém obsahuje řadu různě dlouhých středících kolíků, které se využívají nejčastěji právě v případech výskytu středících otvorů. Dále vzhledem k hmotnosti součásti je vhodnější užití kombinace pevných pákových upínek a pružné upínky k zajištění součásti proti pohybu. V tomto případě se mi tedy jeví jako vhodnější z hlediska použitých prvků a časové náročnosti užití systému CARFIT.

Pro porovnání opakovatelnosti upnutí jednotlivých systémů jsem upnul do systému Alufix a CARFIT komponentu skříň převodovky, provedl měření vybraných charakteristik a vyhodnocení.



5.6 Tvorba plánu měření pro vybranou komponentu

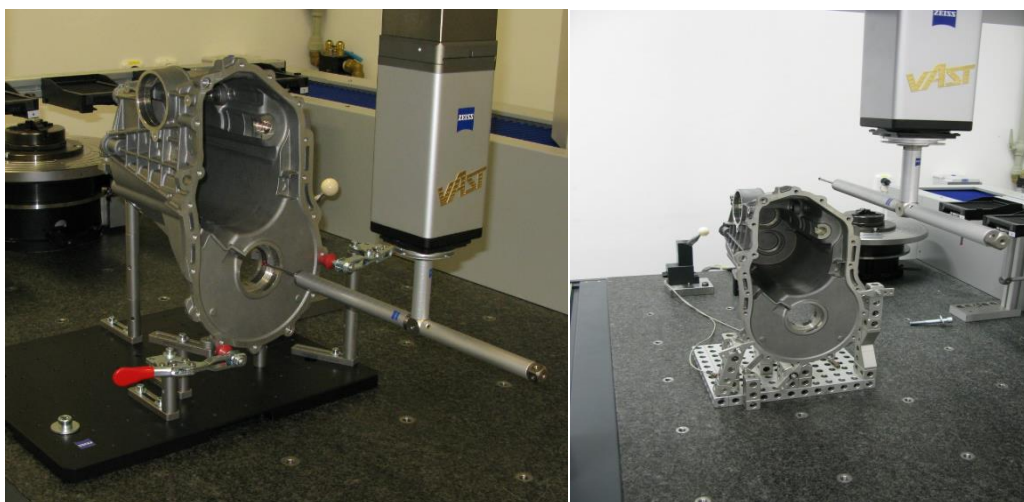
Hlavní úlohou vytvoření plánu měření je zajištění měření všech nutných elementů, které budou využity k vyhodnocení kontroly vybraných charakteristik. K tomu je třeba nastudování výkresové dokumentace a kvalitní upnutí součástí. Měřenou součástí byla skříň převodovky.

5.6.1 Geometrické specifikace produktu

Dle nastudované výkresové dokumentace bylo vybráno několik charakteristik, pomocí kterých se bude vyhodnocovat faktor opakovatelnosti upnutí vyjádřený koeficientem způsobilosti C_g . Jedná se převážně o průměry válců, dále tolerance tvaru (válcovitost, rovinnost), tolerance směru (kolmost) a tolerance umístění (vzdálenosti válců vůči souřadnému systému v souřadnicích X, Z).

5.6.2 Konfigurace snímačů

Pro měření vybraných charakteristik bylo použito jedné konfigurace snímačů, která zajistí kompletní zaměření všech potřebných elementů sloužících k vzájemnému vyrovnání souřadného systému stroje a měřené aplikace, tak i k naměření hodnot sloužících pro vyhodnocení charakteristik. Tato sestava patrná z obr. 97 je tvořena jedním snímačem s rubínovou kuličkou průměru 3 mm. Z důvodu velkého vyložení dřívku je z druhé strany konfigurace přidán druhý dřík s ocelovou kostičkou, pro zajištění vyváženosti a tuhosti snímacího systému.

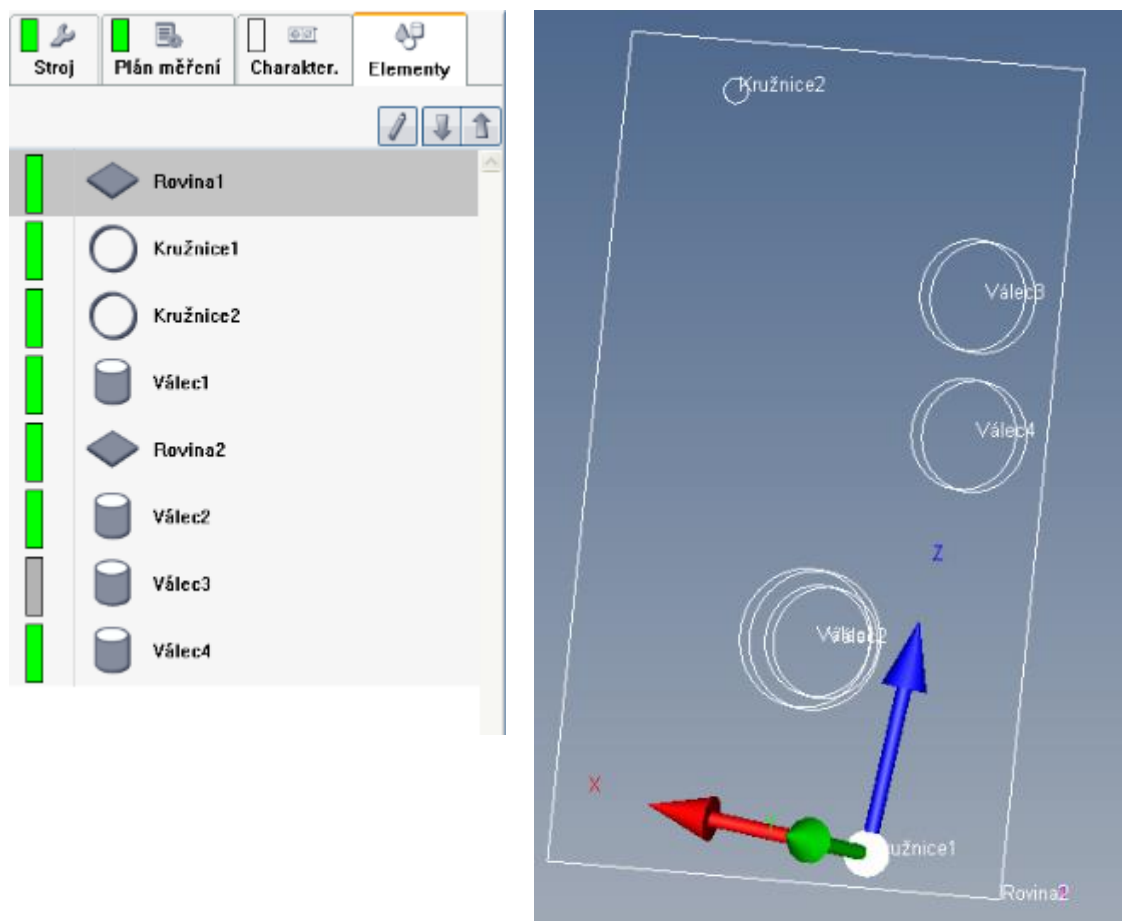


Obr. 97 Konfigurace snímacího systému



5.6.3 Vyrovnání součásti

Pro vyrovnání součásti byly použity elementy kružnice a rovina. V plánu měření označeny kružnice 1, kružnice 2 a rovina 1.



Obr. 98 Vyrovnání souřadného systému

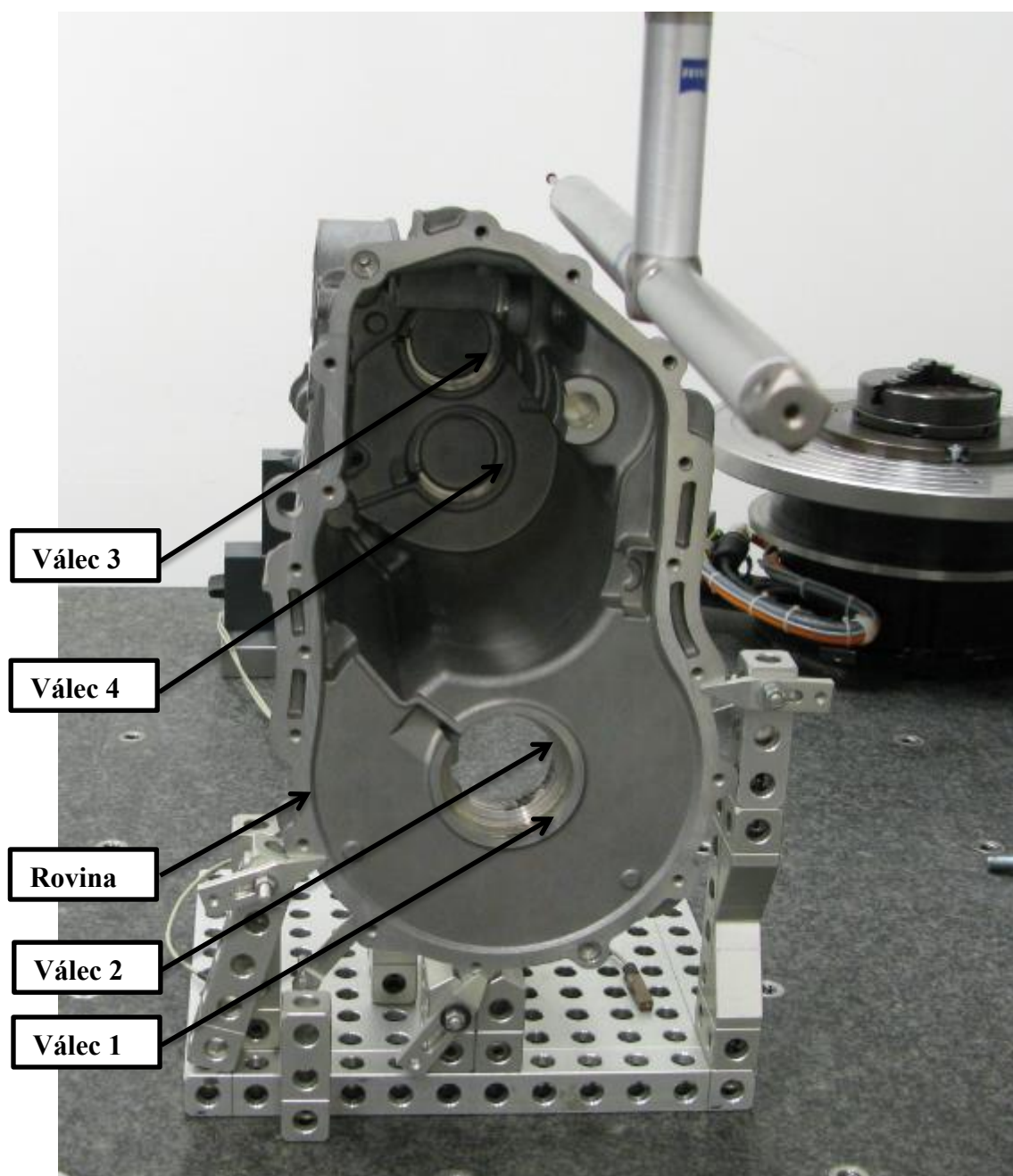
5.6.4 Definování bezpečnostních rovin

Před zahájením měření je důležité vždy stanovit bezpečnostní kvádr okolo měřené součásti. Ten zajistí bezpečné přejezdy snímačů při měření a zabraňuje tak jejich nežádoucí kolizi s měřenou součástí. Tento prostor je stanovován nejčastěji pomocí CAD modelu a dále lze bezpečnostní kvádr uzpůsobit pomocí nabídkového okna v programu Calypso.



5.6.5 Volba elementů a určení strategie měření

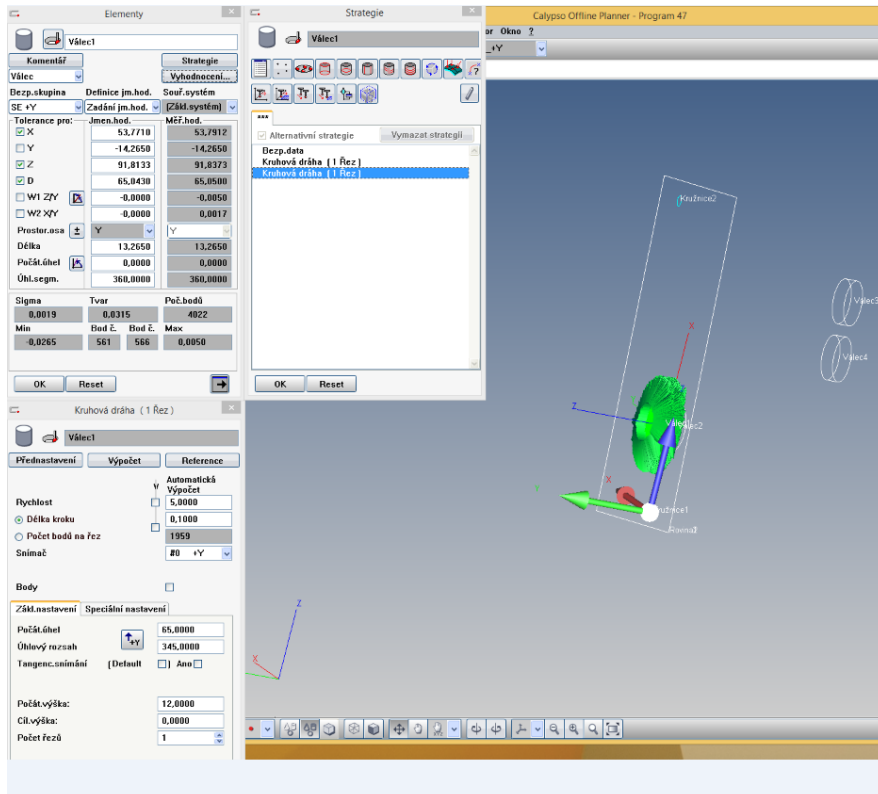
Poté, co dojde k vyrovnání souřadného systému a stanovení bezpečných rovin pro přejezdy snímacího systému, lze přejít k samotnému snímání vybraných elementů. Pro potřebu naměření vybraných hodnot byly použity elementy rovina, a válec. Na obr. 99 jsou použité elementy označeny na skutečné součásti.



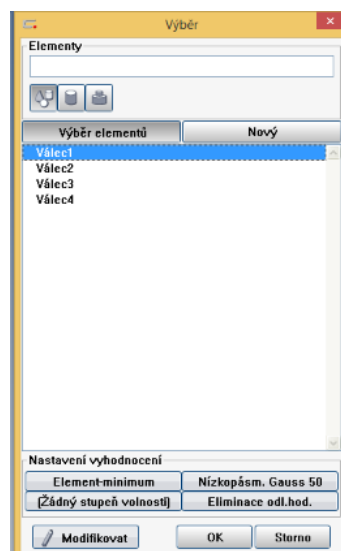
Obr. 99 Měřené elementy



Pro příklad volby strategie měření poslouží element válec 1, který slouží k vyhodnocení charakteristiky válcovitosti a sousosti. Jako strategie měření byly zvoleny dvě kruhové dráhy (řezy) umístěné co nejdále od sebe. Body jednotlivých kružnic byly nasnímány volbou skenování (obr. 100). Pro definovaný element byla následně určena metoda vyhodnocení, vhodný filtr a eliminace odlehlých hodnot (obr. 101).



Obr. 100 Strategie elementu válec



Obr. 101 Vyhodnocení elementu



5.7 Vyhodnocení způsobilosti

Pro ověření způsobilosti měřidla vyjadřující také faktor opakovatelnosti upnutí a vhodnost použití jednotlivých zkonstruovaných systémů jsem vybral 6 různých geometrických charakteristik produktu. Tyto charakteristiky jsou popsány v tab. 2.

Tab. 2 Vybrané charakteristiky určené pro vyhodnocení

Číslo charakteristiky	Typ geometrické charakteristika	Jmenovitá hodnota [mm]	Hodnota tolerance [mm]
1	Poloha	53,7710	± 0,05
2	Rovinnost	0,0000	+0,01
3	Souosost	0,0000	+0,01
4	Kolmost	0,0000	+0,01
5	Průměr	51,94	+ 0,05/0
6	Válcovitost	0,0000	+ 0,01

Pozn.: Hodnoty tolerancí nastavených pro systém měření jsou odhadem očekávaných tolerancí na skutečném dílu.



5.7.1 Naměřené hodnoty

Hodnoty jednotlivých charakteristik získaných při opakovaném měření jsem zaznamenal do tab. 3 a tab. 4 dle použitého systému upnutí.

Tab. 3 Naměřené hodnoty vybraných charakteristik – systém ALUFIX

ALUFIX						
Číslo měření	Poloha [mm]	Rovinnost [mm]	Souosost [mm]	Kolmost [mm]	Válcovitost [mm]	Průměr [mm]
1	53,7910	0,0638	0,0072	0,0007	0,0067	51,9394
2	53,7919	0,0645	0,0187	0,0028	0,0067	51,9401
3	53,7917	0,0640	0,0107	0,0001	0,0064	51,9407
4	53,7918	0,0641	0,0112	0,0011	0,0070	51,9379
5	53,7912	0,0637	0,0129	0,0010	0,0063	51,9407

Tab. 4 Naměřené hodnoty vybraných charakteristik – systém CARFIT

CARFIT						
Číslo měření	Poloha [mm]	Rovinnost [mm]	Souosost [mm]	Kolmost [mm]	Válcovitost [mm]	Průměr [mm]
1	53,7921	0,0469	0,0096	0,0011	0,0062	51,9491
2	53,7922	0,0469	0,0085	0,0021	0,0061	51,9419
3	53,7920	0,0470	0,0080	0,0005	0,0058	51,9420
4	53,7919	0,0469	0,0098	0,0010	0,0058	51,9420
5	53,7918	0,0470	0,0085	0,0007	0,0057	51,9421



5.7.2 Výsledky ukazatele způsobilosti C_g

Z naměřených hodnot vybraných geometrických charakteristik na zvolené komponentě, upnuté ve dvou mnou navržených systémových řešeních jsem vypočetl koeficient způsobilosti měřidla C_g . Vybral jsem koeficient způsobilosti dle Forda, který uvažuje šířku pásma 15% a je ukazatelem způsobilosti měřidla vzhledem k mezním hodnotám.

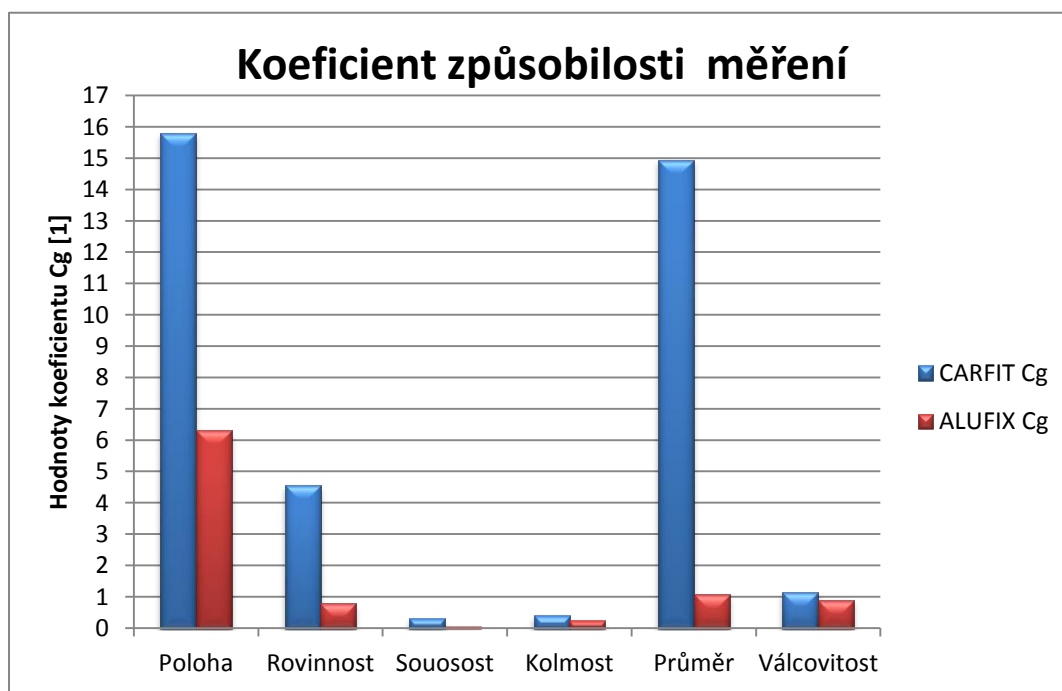
$$C_g = 0,15(USL - LSL)/6s_g \quad (1)$$

Pro způsobilé měřidlo je nutné splnění nerovnosti $C_g > 1$.

Pomocí výše uvedeného vztahu jsem vyhodnotil způsobilost měřidla, která v sobě zároveň zahrnuje také faktor opakovatelnosti upnutí, jenž ověří ze statistického hlediska vhodnost navrženého systému upnutí a úroveň jeho vlivu na variabilitu naměřených dat.

Tab. 5 Výsledky ukazatele způsobilosti měřidla

Číslo charakteristiky	Typ geometrické charakteristiky	CARFIT C_g	ALUFIX C_g
1	Poloha	15,811	6,309
2	Rovinnost	4,564	0,803
3	Souosost	0,321	0,059
4	Kolmost	0,404	0,248
5	Průměr	14,94	1,069
6	Válcovitost	1,153	0,901



Obr. 102 Grafické znázornění koeficientu způsobilosti

Tab. 5 a obr. 102 ukazují výsledné hodnoty koeficientu způsobilosti, jenž v sobě zahrnuje faktor opakovatelnosti upnutí. Je vidět, že v případě číselného porovnání opakovatelnosti upnutí a vhodnosti navrženého konstrukčního systému má značně lepší výsledky řešení vytvořené v systému CARFIT. Důvodem tohoto výsledku je v případě této vybrané aplikace dle mého pohledu užití dostupně vhodnějšího způsobu základního polohování. Dále pak užití vhodnějších konstrukčních a polohovacích prvků. Velkou roli sehrála i tuhost upnutí, systém CARFIT obsahuje sadu pevných pákových upínek, jenž vyvedí dle nastavení vhodnější upínací sílu, než je tomu v případě pružných upínek u systému Alufix, který pevné upínky neobsahuje.



Z hodnocení způsobilosti měřidla jako celku, jsem pomocí výpočtů zjistil, že u dvou měřených charakteristik nebyla splněna podmínka nerovnosti ani u jednoho systému a to v případě vyhodnocení souososti a kolmosti. Zde se domnívám, že má svůj velký podíl na variabilitě měřených dat špatně zvolená strategie měření elementů, potřebných pro vyhodnocení, než tuhost upnutí. Dále bylo zjištěno, že v případě systému Alufix, nedošlo ke splnění nerovnosti v případě měření rovinnosti a válcovitosti. Zde předpokládám, že vliv tuhosti upnutí, sehrál svou roli, protože v případě systému CARFIT bylo užito shodné strategie a nerovnost byla splněna. Posledním faktorem, jež беру v potaz, jsou dané tolerance. Tolerance byly zvoleny na základě očekávaných hodnot na obráběné součásti. Nicméně v tomto případě, tyto tolerance postačí k vyhodnocení způsobilosti navržených systémů upnutí, jelikož je zachována proporce porovnání jednotlivých systémů.



6. Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na analýzu použití vybraných upínacích systémů pro měření na CMM. V první teoretické části této práce jsem se zabýval procesem měření, konkrétně určením zdrojů variability v systému měření. Z určených zdrojů variability jsem identifikoval ty, které zahrnují vliv upnutí součásti při kontrole kvality na souřadnicové měřicí technice. Tyto zdroje nepřesností lze charakterizovat jako odchylku vyjádřenou variabilitou opakovatelnosti. Definoval jsem opakovatelnost a určil statistický nástroj, podle kterého lze opakovatelnost porovnávat. Faktor opakovatelnosti upnutí lze hodnotit pomocí ukazatele způsobilosti měřidla. Popsal jsem dva postupy, jak je možné způsobilost posoudit a definoval podmínku, při které je způsobilost splněna.

Druhá teoretická část byla věnována souřadnicové měřicí technice, popsal jsem důvody vzniku souřadnicové měřicí techniky, její výhody a princip měření. Následně byl popsán postup kontroly součásti na CMM. Tento proces jsem rozdělil do několika určitých kroků, do nichž patří analýza výkresové dokumentace, definice upnutí měřené součásti, konfigurace a kalibrace snímacího systému, vyrovnaní součásti, měření vybraných elementů, volba strategie. Analýza výkresové dokumentace slouží k určení měřených geometrických tolerancí, ploch pro upnutí a dává představu o možnostech konfigurace snímačů. Upnutí zajišťuje vyhovující polohu pro měření součásti. V praxi se nejčastěji používají jednoúčelové nebo modulární přípravky a právě návrh modulárních přípravků tvořil stěžejní část mé práce. Konfigurace a kalibrace snímacího doteků tvoří součást snímacího systému. Vytváří kontakt s měřenou součástí a snímací sondou. Popsal jsem pravidla a zásady výběru a tvorby konfigurace, typy snímacích dotyků a jejich použití, materiály kuliček a dříků. Vyrovnaní součásti slouží k definování souřadného systému vůči stroji, nejčastější metodou vyrovnaní je pak tzv. metoda 3-2-1. Každou měřenou součást si lze představit, jako soubor geometrických elementů. Podkapitola měření elementů představuje doporučená minima nasnímaných bodů pro sestavení těchto elementů. Strategie měření se zabývá nastavením parametrů polohy a orientace součásti, výběrem snímačů, měřicí metodou, metodou vyhodnocení a filtrací naměřených hodnot. Volbou vhodné strategie lze docílit optimálního výsledku měření.



Třetí teoretická část mé práce již pojednávala o problematice modulárních upínacích systémů. V současné době dochází k výrobě a následné kontrole součástí nejrůznějších tvarů a materiálů, proto je nutné zajistit v rámci kontroly kvality pevné, tuhé a opakovatelné upnutí. Užití modulárních upínacích systémů je způsob, jak tohoto požadavku při správném návrhu a užití dosáhnout. Provedl jsem proto rešerši vybraných výrobců těchto systémů. Na jejím základě jsem se seznámil s jednotlivými systémovými koncepcemi konstrukcí. Zhodnotil jejich výhody, či naopak nevýhody. Poté jsem již přešel ke kategorizaci upínacích prvků. Rozdělení těchto prvků vede k porozumění funkce těchto elementů v rámci konstrukce přípravků. Konstrukce modulárních přípravků je proces z velké části založený na všech dostupných informacích o výrobku. Prvky určené pro konstrukci přípravku jsou vybrány na základě jejich vlastností a funkcí pro montáž. Nejsložitějším aspektem konstrukce přípravků je pohled na reálnou součást a stanovení jednoduchého návrhu upnutí, zaručujícího tuhost a opakovatelnost. Jednoduchost je klíčem. Omezením počtu prvků lze zabránit komplikacím v přístupu na místa, která mají být kontrolována. Omezení počtu upínacích prvků zajišťuje lepší faktor opakovatelnosti. Hlavním limitujícím faktorem konfigurace modulárních přípravků zůstává doba potřebná pro návrh a kompletaci.

V praktické části jsem navrhoval konstrukce upnutí vybraných součástí s využitím dostupných modulárních řešení. Jednotlivé konstrukční návrhy jsem posléze kriticky hodnotil dle složitosti montáže a časové náročnosti. Opakovatelnost upnutí byla zkoumána na základě měření vybraných charakteristik na zvolené součásti a vyhodnocena pomocí koeficientu způsobilosti. Aplikace zvolené pro návrh upínání reprezentují představitele s různými rozměrovými, materiálovými a hmotnostními vlastnostmi pro lepší porovnatelnost vhodnosti daných systémových návrhů konstrukce přípravku. Jednalo se plastovou komponentu, ocelové těleso čerpadla a odlitek části skříně převodovky ze slitiny hliníku. Před samotným návrhem jednotlivých systémů upnutí jsem provedl u každé součásti analýzu výkresové dokumentace pro přesnou představu o měřicí úloze. To mi umožnilo najít vhodné plochy pro základní polohování součástí a určit tak zároveň orientaci upnutí součástí. Hodnoty časové náročnosti analýzy dokumentace, konstrukce jednotlivých přípravků a zhodnocení složitosti montáže potvrdily v první řadě závislost na tvarové složitosti komponenty a poté na zkušenosti navrhujícího. Hodnoty ukazatele způsobilosti upnutí vybrané komponenty ukázali vliv výběru vhodných konstrukčních prvků na výslednou tuhost systému upnutí.



Seznam literatury

- [1] FABIAN F., HORÁLEK V., CHMELÍK V., CHODOUNSKÝ J., KRÁL J., KŘEPELA J., MICHÁLEK, J. *Statistické metody řízení jakosti*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007.
- [2] *Terminologie z oblasti metrologie (2. vydání)*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha: Bořivoj Kleník, PhDr. - Q - art, 2010. Dostupné také z: http://www.unmz.cz/files/Sborn%C3%ADky%20TH/Terminologie%20v%20oblasti%20metrologie_DEF.pdf
- [3] *Analýza systému měření: Příručka - Čtvrté vydání*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 978-80-02-02326-5
- [4] PETŘSKOVSKÁ L., ČEPOVÁ L., *Metrologie a řízení kvality* [online]. Ostrava: Fakulta strojní VŠB - TUO, 2012, 142 s. [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Metrologie_a_rizeni_kvality.pdf
- [5] BERÁNEK, Libor. ČVUT V PRAZE, FAKULTA STROJNÍ, ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE. *Průmyslová metrologie*. Praha, 2014.
- [6] PFEIFER, Tilo; IMKAMP, Dietrich; SCHMITT, Robert. *Coordinate Metrology and CAX-Application in Industrial Production : Basics, Interfaces and Integration*. Munich : Carl Hanser Verlag, 2006. 205 s.
- [7] POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1999. 76 s.
- [8] FLACK, David. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. *CMM measurement strategies* [online]. Hampton Road, Teddington, Middlesex, United Kingdom, 2014 [cit. 2015-06-08]. ISBN 1368-6550. Dostupné z: <http://www.npl.co.uk/publications/guides/dimensional-good-practice-guides>
- [9] Upínací systémy pro měřicí stroje. In: *Upínací stavebnice* [online]. 2013 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/upinaci-pripravky-pro-cmm--20851>
- [10] CALYPSO - *Návod k obsluze* [online]. 2011 [cit. 2015-03-20]
- [11] PHILLIPS, Gary. Fixtures Meet Need for Flexibility. *Fixtures Meet Need for Flexibility* [online]. 2008, (10) [cit. 2015-06-08]. Dostupné z: <http://www.qualitymag.com/articles/85820-fixtures-meet-need-for-flexibility>
- [12] CAMPBELL, Gillian. Simplicity Key to CMM Fixturing. *Simplicity Key to CMM Fixturing* [online]. 2004, (1) [cit. 2015-06-08]. Dostupné z: <http://www.qualitymag.com/articles/84005-simplicity-key-to-cmm-fixturing>
- [13] MICHÁLEK, Jiří. Vyhodnocování způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu. Praha: Centrum pro jakost a spolehlivost ve výrobě CQR, 2009. 100 s.
- [14] BOSH, John. *Coordinate measuring machines and systems*. New York: MARCELL DEKKER, 1995. 444 s.
- [15] Doteky a příslušenství. In: *Technické parametry: Doteky a příslušenství* [online]. 2013 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: <http://resources.renishaw.com/cs/details/technicke-parametry-doteky-a-prislusenstvi--45939v>
- [16] KEYVANI, Ali. *Modular Fixture Design for BIW Lines Using Process Simulate*. Trollhättan, Sweden, 2008. Dostupné také z: <http://www.diva->



portal.org/smash/get/diva2:229240/FULLTEXT01.pdf. Master Thesis. University West, Department of Technology

[17] RAMAN, Shivakumar, John SIMPSEN a Heather MATTHEWS. *Fixture Design Criteria* [online]. Oklahoma City, 2005 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: <http://www.coe.ou.edu/manufacturing/Fixture%20Design/reports/Final%20Report%202003.pdf>. Final Research Report. University of Oklahoma

[18] ZEISS CARFIT CMB. *CARL ZEISS* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy/zeiss-carfit-cmb.html

[19] ZEISS CARFIT CMK. *CARL ZEISS* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy/zeiss-carfit-cmk.html

[20] ZEISS CARFIT CME. *CARL ZEISS* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy/zeiss-carfit-cme.html

[21] ZEISS CARFIT CMP. *CARL ZEISS* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy/zeiss-carfit-cmp.html

[22] ZEISS CARFIT CMO. *CARL ZEISS* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/p_islu_enstvi/upinaci-systemy/zeiss-carfit-cmo.html

[23] HORST WITTE GERÄTEBAU BARSKAMP KG. *Modular Clamping Systems* [online]. 2014 [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: <https://www.horst-witte.com/downloads/modular-fixturing-systems.php>

[24] ALUGRIP. *ESPERANTO s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: http://esperantomb.cz/?page_id=129

[25] MEGALU. *ESPERANTO s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: http://esperantomb.cz/?page_id=124

[26] MATRIX GMBH STUTTGART. *MATRIX Clamping Systems: Clamping technology for machining, quality control and assembly* [online]. 2015 [cit. 2015-06-29]. Dostupné z: <http://www.matrix-innovations.com/en/Katalog-Download/>



Přílohy

Příloha 1: Protokoly měření

Příloha 2: Výpočty hodnot koeficientu způsobilosti