

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kontrola montážních přípravků s využitím CMM

Inspection of assembly fixtures using CMM

Autor: Bc. Ladislav Šumský

Vedoucí práce: Ing. Petr Mikeš, Ph.D.

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3911T035 Výrobní a materiálové inženýrství

PRAHA 2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šumský** Jméno: **Ladislav** Osobní číslo: **437277**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Kontrola montážních přípravků s využitím CMM

Název diplomové práce anglicky:

Inspection of assembly fixtures using CMM

Pokyny pro vypracování:

Možnosti upínání dílců při měření na CMM
Způsoby definování základního souřadného systému při měření na CMM
Návrh montážního přípravku pro upnutí součásti definované souřadným systémem RPS

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petr Mikeš, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

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

Datum zadání diplomové práce: **11.04.2019** Termin odevzdání diplomové práce: **19.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Petr Mikeš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a výhradně s použitím zdrojů a literatury, uvedených v seznamu citovaných použitých zdrojů.

V Praze _____

Bc. Ladislav Šumský

Poděkování

Tímto bych chtěl rád poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Mikešovi, Ph.D., a to za celkové odborné vedení, připomínky, rady, trpělivost a čas při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Topmes s.r.o. za návrh zajímavého tématu ke zpracování diplomové práce a zprostředkování veškerých finančních zdrojů na její uskutečnění.

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

Anotace

Diplomová práce pojednává o problematice upnutých součástí do montážních přípravků, které jsou kontrolovány využitím CMM. Zaměřuje se na celkový pohled možnosti upínání, kategorizaci jednotlivých prvků a dále je v práci přiblížen přehled upínacích systémů na trhu vybranými výrobci, které využívají konceptu modulárních stavebnic. V praktické části je navrhován montážní přípravek pro upnutí součásti definované souřadným systémem RPS, který je rovněž po sestavení ověřen měřeními základních elementů.

Klíčová slova

Souřadnicový měřicí stroj, upínání, upínací systém, upínací prvek, přípravek, součást, souřadný systém, RPS.

Abstract

The thesis discusses the issue of inspection of clamping components to assembly fixtures, which are controlled by using CMM. It focuses on the overall view of the possibilities of fixturing, categorization of individual elements and describes the overview of clamping systems on the market by selected manufacturers that use the concept of modular kits as well. In the practical part is designed clamping system for fastening the component defined by the RPS coordinate system, which is also after build verified by measuring of basic elements.

Keywords

Coordinate measuring machine, fastening, fixture system, clamping element, fixture, component, coordinate system, RPS.

Obsah

Anotace	- 5 -
Úvod	- 8 -
1. Možnosti upínání dílců při měření na CMM.....	- 9 -
1.1. Ustavení tělesa v prostoru.....	- 10 -
1.2. Upínání součástí	- 12 -
1.3. Upínací prvky	- 13 -
1.3.1. Rámy, základní desky.....	- 14 -
1.3.2. Polohovací prvky.....	- 18 -
1.3.3. Podpory.....	- 20 -
1.3.4. Příslušenství.....	- 27 -
1.4. Strojní přípravky.....	- 27 -
1.4.1. Druhy a rozdělení přípravků.....	- 29 -
1.5. Přehled upínacích systémů na trhu	- 30 -
2. Způsoby definování základního souřadného systému při měření na CMM..	- 34 -
2.1. Souřadný systém.....	- 34 -
2.1.1. Kartézský souřadný systém	- 35 -
2.1.2. Polární souřadný systém.....	- 36 -
2.1.3. Sférický souřadný systém.....	- 36 -
2.2. Vyrovnání součástí	- 37 -
2.2.1. Standardní metoda 3–2–1	- 38 -
2.2.2. Best – fit metoda.....	- 38 -
2.2.3. RPS metoda	- 39 -
3. Návrh montážního přípravku pro upnutí součástí definované souřadným systémem RPS.....	- 41 -
3.1. Volba součástí.....	- 42 -
3.1.1. Varianta č. 1.....	- 43 -
Bc. Ladislav Šumský	- 6 -

3.1.2. Varianta č. 2.....	- 44 -
3.1.3. Varianta č. 3.....	- 45 -
3.2. Návrh konstrukce přípravku	- 47 -
3.2.1. Konstrukční varianta č. 1	- 48 -
3.2.2. Konstrukční varianta č. 2.....	- 50 -
3.2.3. Konstrukční varianta 3 - finální.....	- 52 -
4. Výroba a montáž přípravku s následným ověřením funkčnosti	- 57 -
Závěr.....	- 67 -
Bibliografie.....	- 68 -
Seznam obrázků.....	- 72 -
Seznam tabulek.....	- 75 -
Seznam rovnic	- 75 -
Seznam příloh.....	- 75 -

Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na všeobecnou kontrolu montážních přípravků při využití souřadnicových měřicích strojů.

První kapitola objasňuje možnosti upínání součástí při měření na souřadnicových měřicích strojích. CMM. Popisuje základní pravidla pro ustavení těles v prostoru, uvolnění stupňů volnosti a základní stavěcí plochy. Dále je uveden obecný popis problematiky upínání dílců, na který autor navazuje podkapitolou upínací prvky. Zde jsou prvky zařazeny do kategorií a následně blíže popsány z hlediska své funkce a použití. Posledním bodem této kapitoly jsou strojní přípravky, které kompletují teoretické i praktické znalosti předchozích témat. Cílí na hlavní konstrukční zásady při navrhování přípravků a také na druhy a rozdělení strojních prvků. Završením této kapitoly je představení upínací techniky na trhu.

V navazující druhé kapitole je popsán základní souřadný systém při měření na CMM. Jsou naznačeny různé typy souřadných systémů, se kterými se v oblasti měřicí techniky můžeme setkat. Hlavní náplň tvoří způsoby definování základního souřadného systému při měření na CMM s bližším zaměřením na metodu RPS, se kterou bude dále pracováno.

Ve třetí kapitole autor praktikuje teoretické znalosti z kapitol 1 a 2 při návrhu montážního přípravku pro upnutí součásti definované souřadným systémem RPS. V jednotlivých podkapitolách je uveden postup při výběru součásti a následné postupné konstrukční varianty, dle žadáných požadavků, až po konečný návrh upínacího přípravku.

Poslední kapitola znázorňuje reálnou montáž přípravku a ověření jeho funkčnosti pomocí měření několika základních elementů součásti. Konečným bodem kapitoly a zároveň celé práce je ekonomické zhodnocení a sumarizace nákladů na výrobu přípravku.

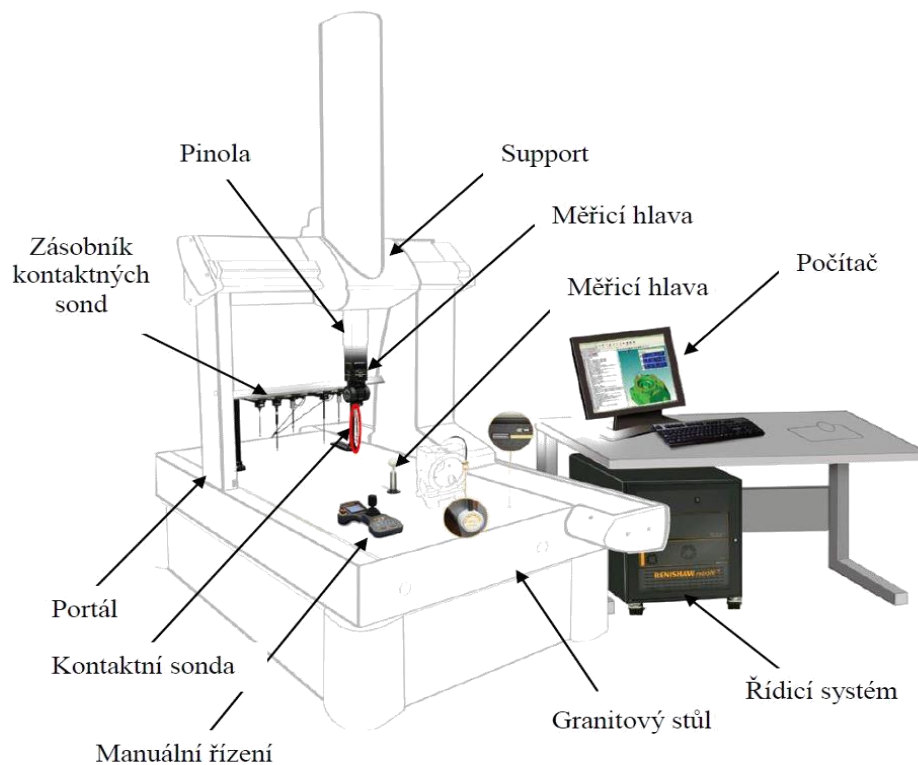
Tento praktický experiment vzešel poptávkou na návrh montážního přípravku pro společnost Topmes s.r.o., která ho bude nadále pracovně využívat v oblasti metrologie.

1. Možnosti upínání dílců při měření na CMM

Souřadnicové měřicí stroje (Coordinate Measuring Machines, dále jen CMM) v oblasti měření reprezentují jednu z nejvýznamnějších inovací. Pokrokem v automobilovém a leteckém průmyslu, především vývojem NC strojů a na nich vyráběných součástí skříňového typu, který vyžadoval přesnější a rychlejší měření tvarově složitých součástí, vznikla potřeba konstrukce souřadnicových měřicích strojů. Souřadnicový měřicí stroj je počítačem kontrolované zařízení, které má složitý měřicí systém a je schopný s možností automatizace měřit a vyhodnocovat v rovině nebo v prostoru dané souřadné soustavy. [1]

Každý CMM se skládá z dílčích, navzájem propojených subsystémů (obr. 1-1):

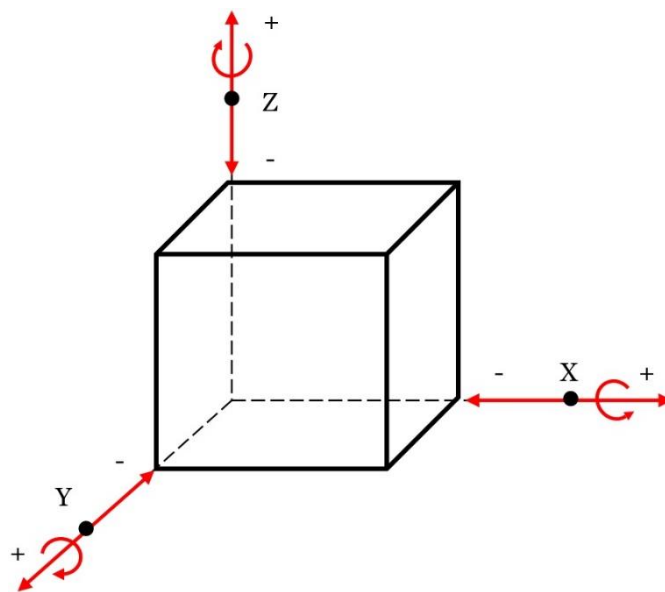
- Pohonný systém (mechanická část),
- Odměrovací systém,
- Snímací systém včetně systému pro výměnu snímačů,
- Řídicí systém,
- Počítač,
- Software [2].



Obr. 1-1 – CMM [2]

1.1. Ustavení tělesa v prostoru

Každé tuhé těleso v prostoru se z geometrického hlediska vyznačuje šesti stupni volnosti. Jedná se o posuvný pohyb ve směru třech na sebe kolmých os, které se obvykle označují X – Y – Z, a také rotačním pohybem kolem těchto os (obr. 1-2). Těleso musí být ustaveno v přípravku ve stabilní poloze. Ustavit těleso do stabilní polohy znamená vymezit – odebrat všech šest stupňů volnosti. Správné ustavení a vymezení všech stupňů volnosti je hlavním úkolem při konstrukci přípravku. Je potřeba brát zřetel především na to, aby nedošlo k uvolnění součásti například při obrábění či kontrole a tím k následným nežádoucím pohybům, které by mohly vyvolat zmatečné a chybné výsledky. [3]



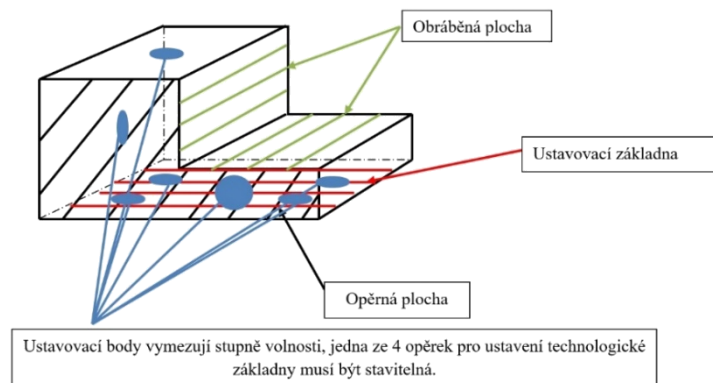
Obr. 1-2 – Těleso v prostoru [3]

Ustavení a opracování obrobku je vázáno dodržáním rozměrových hodnot a předepsaných tolerancí. Opracování obrobku se provádí zpravidla podle výrobních postupů, které jsou rozděleny na jednotlivé operace. Výrobní postup určité součásti je dán požadavky kladenými na tvar, jakost a přesnost obráběných ploch. Jednotlivé operace jsou závislé na určitých plochách, z nichž je nutno při ustavení a obrábění vždy vycházet. To samé platí pro rozměrovou kontrolu. Obrobek musí být vždy ustaven tak, aby nedocházelo k chybám měření. Při každé operaci je nutné ukládat obrobek do přípravku plochami, které mají vztah k obráběné ploše. [3]

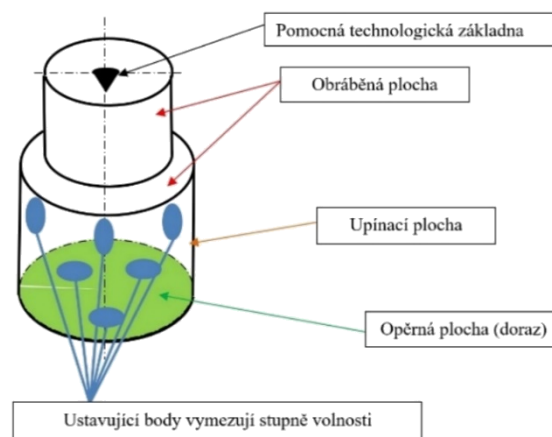
Nejdůležitější plochy jsou nazývány základny a můžeme je rozdělit na:

- **Ustavovací (výchozí) základnu** – Slouží k určení polohy obrobku v přípravku vůči nástroji. Jedná se o plochy, které zajistí stabilitu. Obvykle se volí plochy rovinné, válcové, kuželové nebo také díra.
- **Technologická (pomocnou) základnu** – Nefunkční plocha součásti, která je použita pouze pro obrábění (středící důlky).
- **Čistou technologickou základnu** – Plocha sloužící k upínání (obrobená plocha).
- **Hrubou technologickou základnu** – Plocha sloužící k upínání (neobrobená plocha) u odlitků, výkovků a svařenců.
- **Opěrnou plochu (doraz)** – Opěrné plochy, o které se obrobek nebo součást opře. Vůči základně jsou opěrné plochy většinou kolmé. [3]

Základním a klíčovým krokem je rozvržení jednotlivých ploch a základen jak pro rovinný (obr. 1-3), tak pro rotační obrobek (obr. 1-4). Je potřeba se řídit výkresovou dokumentací a dbát technologických předpisů, jen tak lze dosáhnout kýžených výsledků. [3]



Obr. 1-3 – Ustavovací plochy na rovinném dílu [3]



Obr. 1-4 – Ustavovací plochy na rotačním dílu [3]

1.2. Upínání součástí

Tato část představí nezbytné základy týkající se upínání součástí. Cílem je podat stručný přehled o upínání obecně a konstrukci pro lepší porozumění, co vlastně je upínací přípravek. Důležitým bodem pro zbytek práce je zmínění hlavních prvků, které budou nedílnou součástí při vytváření přípravku. Jedná se hlavně o rozdělení upínacích prvků z hlediska kategorizace a klasifikace.

Přípravky, z hlediska upínání, jsou dalším zdrojem, s nímž by měli pracovat plánovači procesů z důvodu správného naplánování výrobní sekvence. „Výrobní sekvencí“ či „výrobním plánem“ se rozumí seznam a metody operací, sledy a specifikace (typ, velikost, číslo...) zdrojů, které by měly být použity k výrobě nebo měření součástí.

Problémem však zůstává skutečnost, že každá technologie vyžaduje svůj vlastní speciální typ fixace, a proto je potřeba brát ohled na každou operaci, která bude při práci s dílem použita. Právě jednotlivé operace mají vliv na konstrukci upínacího systému. Tento fakt však učinil upínací systémy jedinečným zdrojem. Upínací přípravek není součástí finálního výrobku, takže tvar, materiál a geometrie nejsou až tak důležité, pokud splňují cíle a požadavky upnutí.

S cílem zvýšení produktivity nabízí upínání jednu z možných cest. Co se týče upínání dílců při měření na CMM, je potřeba myslet na řadu aspektů (typ upnutí, opakovatelnost měření, přístupnost k součásti), které hrají nemalou roli ve finální podobě upínacího systému.

Konstruktor musí brát všechny tyto aspekty v potaz při vytváření návrhu přípravku. Má na výběr z několika možností. Dle aplikace přípravku by měl volit mezi jednoúčelovým, nebo stavebnicovým (modulárním) systémem upínání.

Jednoúčelové přípravky splňují ty samé požadavky a funkce, ale jsou složitější a zdlouhavější, co se týká návrhu a posléze samotné výroby. Mnohdy bývají vyrobeny pouze pro jednu aplikaci, a pokud nenajdou další využití, jejich uskladnění může zbytečně zabírat velké množství místa.

Stavebnicové systémy se skládají z typizovaných prvků. Z jednotlivými částmi se dá snadno manipulovat a přestavovat je. Tím nacházejí uplatnění pro více aplikací a více součástí.

Jelikož se v kapitole 3 budu zabývat návrhem přípravku, přiblížím problematiku upínacích prvků a systému v podkapitolách 1.3 až 1.5. [4] [5] [6]

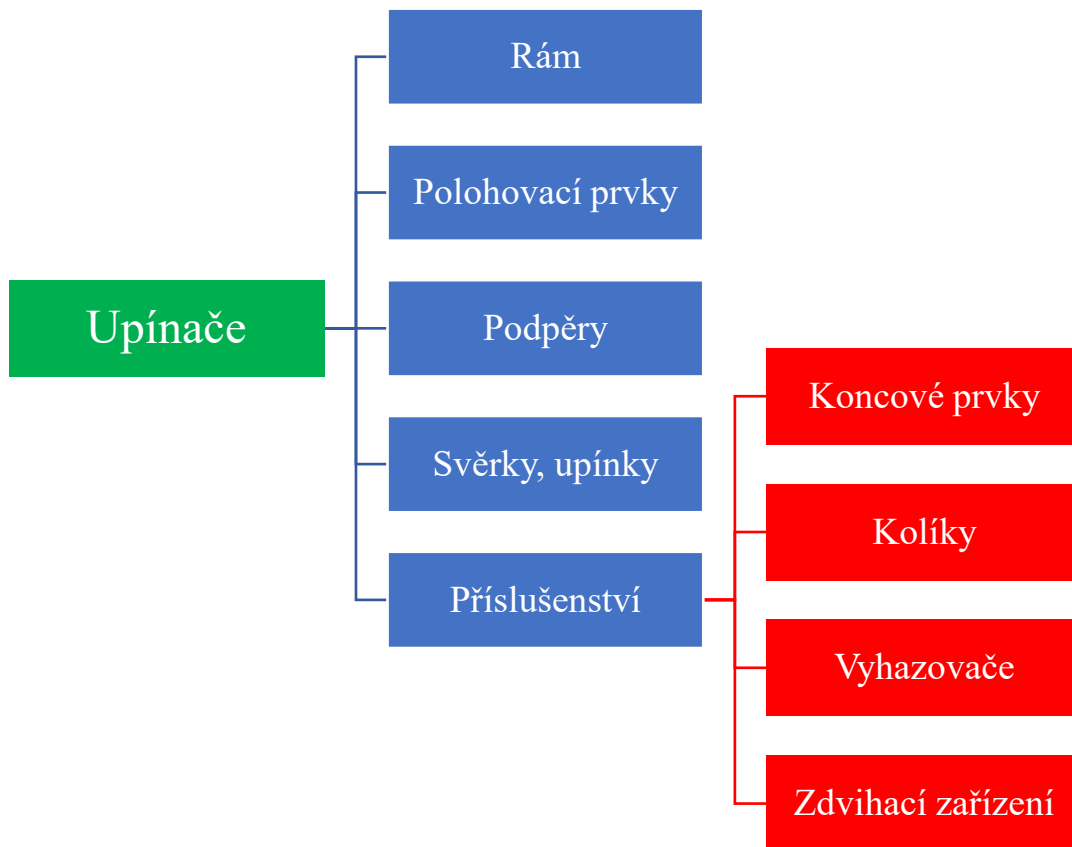
1.3. Upínací prvky

Upínacími prvky rozumíme elementy, ze kterých se skládá celý přípravek. Některé tvoří základní kámen, zatímco jiné jsou a mohou být pouze koncovými prvky. Ani bez jednoho by však přípravek nemohl být navrhnout a později zkonstruován.

Navzdory širokému spektru upínacích prvků a jejich aplikaci jsou běžné upínací elementy v určitém smyslu omezené. Pokud se na tento fakt podíváme z hlediska kategorizace prvků, jedná se vlastně o pozitivní zprávu. Správnou kategorizací a použitím upínacích elementů dojde k hlubšímu pochopení všech typů při návrhu a poté i možnosti automatizace dalších procesů návrhu. Tyto prvky jsou obvykle pojmenovány podle své funkce v přípravku a rozděleny do několika kategorií (obr. 1-5). [4]

Volba upínacích prostředků a způsobu upnutí obrobků je závislá na:

- Velikosti a tvaru,
- Druhu a způsobu opracování,
- Požadované přesnosti,
- Celkovém počtu kusů [4].



Obr. 1- 5 – Kategorizace upínacích prvků [4]

1.3.1. Rámy, základní desky

Prvním krokem pro vytvoření kvalitní základny je volba základního stavěcího prvku. Mezi základní stavěcí prvky pro vytváření upínacích přípravků patří základní deska nebo rám. Na tyto elementy se postupně montují všechny ostatní příslušné prvky. Můžou být vyrobeny různými technologiemi z odlišných materiálů a utvářejí především hlavní hmotnost přípravku. Většina výrobců na trhu nabízí různé konstrukční řešení těchto základních elementů, avšak princip zůstává stejný. Hlavními kritérii pro volbu základní desky či rámu jsou tvarové složitosti, rozměrové hodnoty a hmotnosti měřené součásti. [4]

Rámy

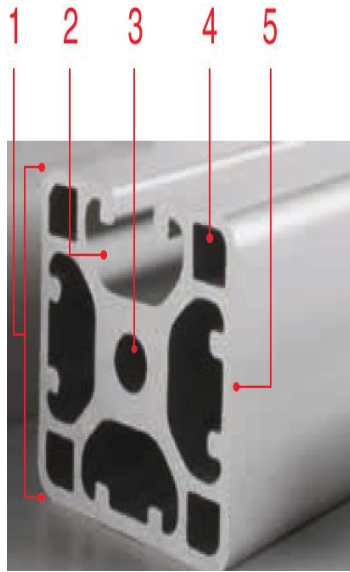
Rámy, jak již bylo zmíněno, jsou jednou z možných variant základních prvků upínacích stavebnic. Hlavní úkol spočívá v upínání dalších prvků či součástí, a to především rozměrových a hmotnostních. Rámy můžeme rozdělit do dvou kategorií:

1) Hliníkové profily

Hlavní výhodou hliníkových profilů je nízká hmotnost, přičemž se zachovává dostatečná upínací síla. Jedná se o modulární profily, tudíž se dá velmi dobře vybírat ze širokého sortimentu. U většiny výrobců lze dimenzovat profily na potřebné tvarové, rozměrové či silové hodnoty (obr. 1-6). Zde se u menších profilů pohybuje maximální namáhání v tahu od 500 N až 10 000 N, což závisí zejména na tloušťce stěny profilu. [7]



Obr. 1-6 – Profily rámových tyčí [7]



1 Modulární průřez

Nejpoužívanějšími konstrukčními profily jsou čtvercové profily s vnějším rozměrem, který lze variabilně dimenzovat.

4 Lehké profily

Dutiny snižují hmotnost, avšak i maximální namáhání v tahu. Lehké profily využívají drážky profilu stávajícího modulárního průřezu.

2 Drážka profilu

Velikost a nosnost drážky se zvyšuje s rozměrem průřezu. Drážku lze také využít jako podporu pro plošné výplně apod.

5 Uzavřená drážka

Profily s uzavřeným povrchem mají nejen designovou funkci, ale dají se také snadno čistit a zabrání zanášení drážek nečistotami.

3 Dutiny profilů

Jádrová dutina umožňuje stabilní upevnění na čelní straně profilů. Další funkcí může být kanál pro vedení stlačeného vzduchu.

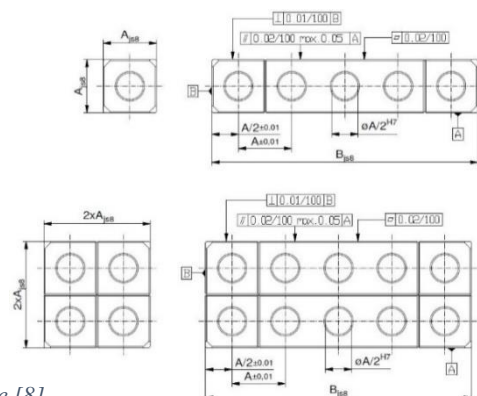
Obr. 1- 7 – Charakteristika hliníkových profilů [7]

2) Rámové tyče

Rámové tyče fungují na stejném principu jako hliníkové profily. Výrobními variantami jsou zde plné či tenkostěnné čtvercové nebo obdélníkové profily, které po celém svém obvodu mají v určité rozteči kruhové díry se závitem nebo bez. Tím se vytváří rastrová mřížka z každé strany profilu, již lze flexibilně využít. Dle výrobců se nejčastěji objevují jednořadé, dvouřadé či víceřadé. Tyče se rozdělují na [8]:

a) Plné tyče

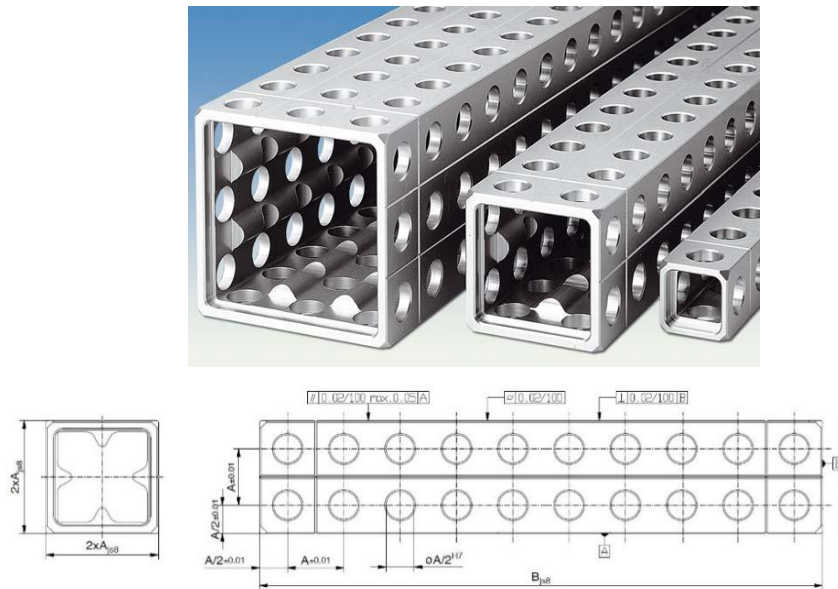
Plné tyče jsou vhodné pro zejména stavbu malých až středně velkých upínacích přípravků. V tomto případě lze využít všech šest stran pomocí rychlé upínací technologie a tím se stávají extrémně flexibilní pro všechny druhy použití. [8]



Obr. 1- 8 – Plné tyče [8]

b) Tenkostěnné tyče

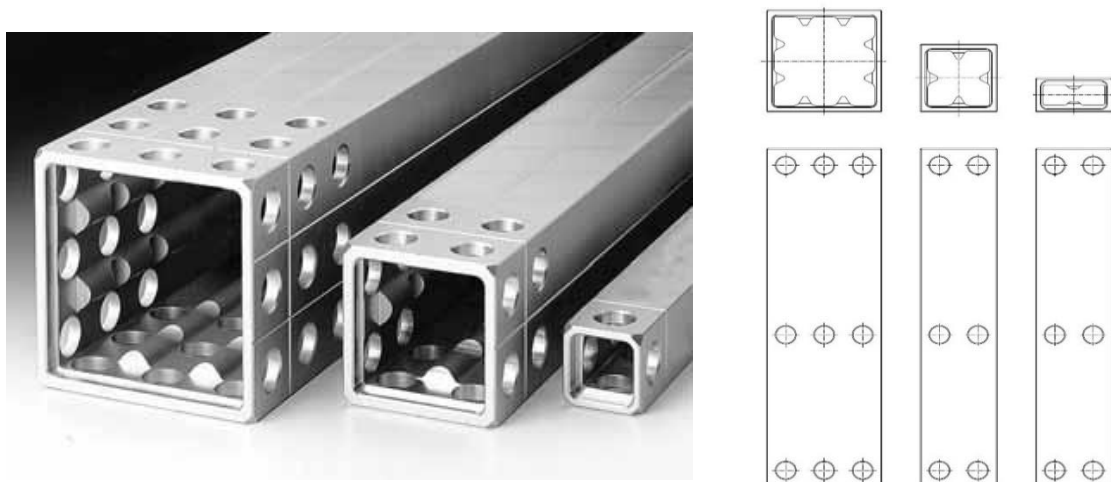
Tenkostěnné tyče slouží opět jako rám neboli spojení mezi základnou a obrobkem. V tomto případě mohou být využity pouze čtyři strany pomocí rychlého nebo šroubového spojení. Čelní konce jsou spojeny pomocí speciálních spojek. [8]



Obr. 1- 9 – Tenkostěnné tyče [8]

c) Tyče s redukováným počtem otvorů

Tyče s otvory pouze na každém konci jsou ekonomickou alternativou k tenkostěnným tyčím. Tyče ve všech velikostech mají nový profil průřezu s delšími výstupky uvnitř, které významně zlepšují držení krátkých spojovacích prvků. Řady otvorů jsou umístěny strategicky z důvodu co možná nejlepšího spojení prvků. [8]



Obr. 1- 10 – Tyče s redukováným počtem otvorů [8]

Desky

Základní desky stejně jako rámové tyče tvoří základnu přípravku. Platí zde stejná kritéria jako u rámu. Základní desky musí být vzhledem ke svému používání odolné proti opotřebení, tudíž jsou většinou vyráběny z broušeného hliníku a opatřeny povrchovou úpravou nebo z korozivzdorné oceli a na povrchu podpořeny eloxovanou vrstvou. Největší nevýhodou oproti ráům je hmotnost, která se odvíjí od velikosti a tloušťky desky. Proto volíme desku či rám se zřetelem k dalšímu použití přípravku – především pokud má být přenosný. Jestliže není kladen důraz na hmotnost a přenosnost přípravku, v tom případě základní desky představují velmi variabilní prvek, který je výrobcí nabízen zejména v těchto provedeních [4]:

1) Desky s T – drážkou

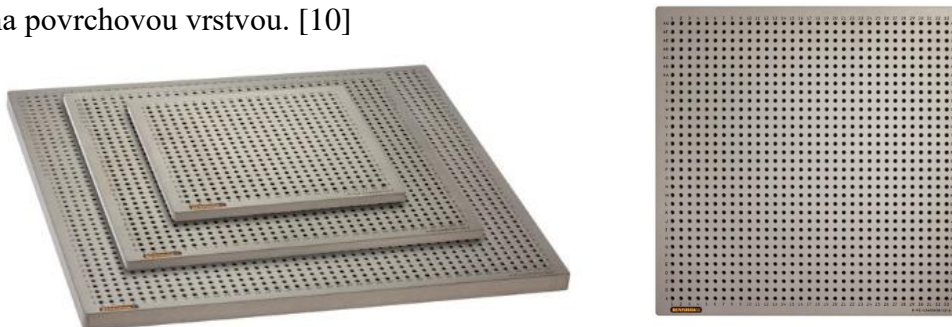
Desky s T – drážkou (obr. 1-11), vyráběné z tvrzené oceli a poté broušené, nabízejí variabilní možnosti upínání pomocí T – drážky. Lze tak docílit jednoduchých i složitých upínacích systémů. Upínání dalších prvků je jednoduché právě pomocí T – drážek. [9]



Obr. 1- 11 – Desky s T – drážkou [9]

2) Desky se závitovými otvory

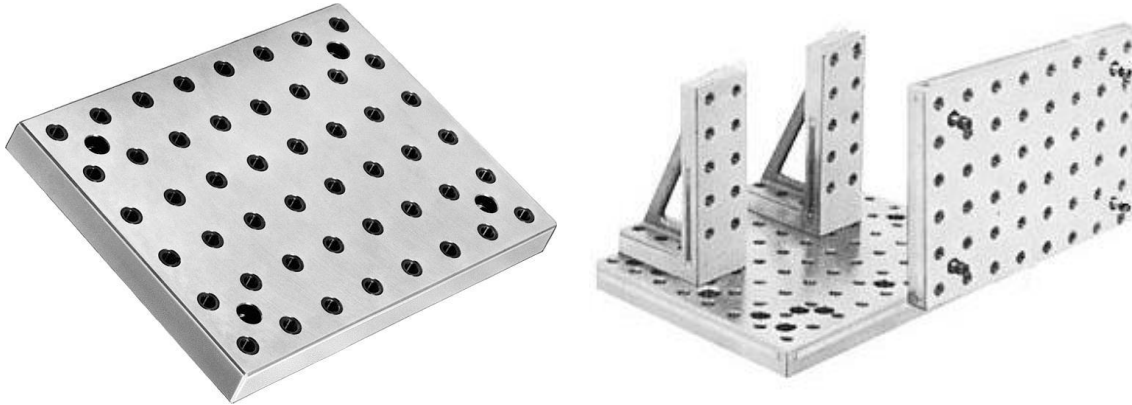
Tento typ desek umožňuje dosáhnout vysoké flexibility upínání díky přesně vyvrtaným a označeným závitovým otvorům (obr. 1-12). Bývá nejčastěji vyráběna z broušeného hliníku a opatřena povrchovou vrstvou. [10]



Obr. 1- 12 – Desky se závitovými otvory [10]

3) Desky s rastrovou mřížkou

Rastrové desky jsou další variantou základních desek. Mají dle přesné rozteče vyfrézované otvory, které vytváří rastrovou mřížku. Mohou být vyrobeny z korozivzdorné oceli, slitin hliníku či z šedé litiny. Jedná se opět o velmi variabilní prvek, na nějž lze příslušnými prvky jednoduše upnout další prvky. [11]



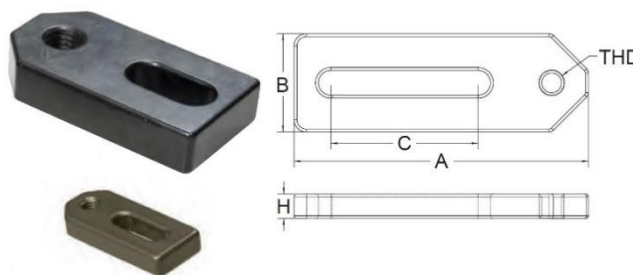
Obr. 1- 13 – Desky s rastrovou mřížkou [11]

1.3.2. Polohovací prvky

Lokátory neboli polohovací prvky, jak již vyplývá z názvu, jsou takové prvky, které se používají pro stanovení dílu do správné polohy a pomáhají v této poloze součásti setrvat. Společně s podpěrami vytváří požadovanou pozici pro koncové prvky. Ve většině případů se jedná o nastavitelné polohovací prvky, čímž vzniká jedinečný způsob upnutí součásti a prostor pro větší flexibilitu při návrhu přípravku. Výrobci na trhu nabízejí různé možnosti polohovacích prvků, níže je uvedeno několik příkladů z nich. [4] [12]

Stavitelná základna

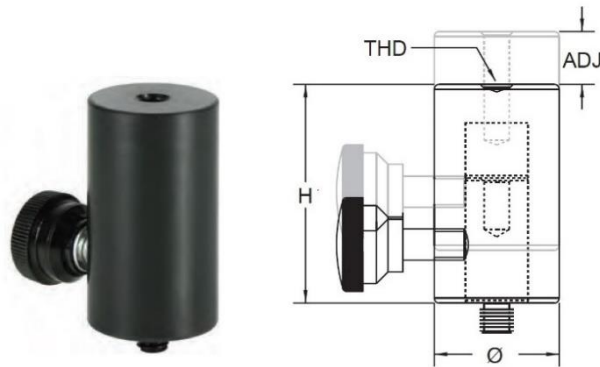
Slouží k umístění prvků mezi závitové otvory a upínací desku. [12]



Obr. 1- 14 – Stavitelná základna [12]

Stavitelná podpěra

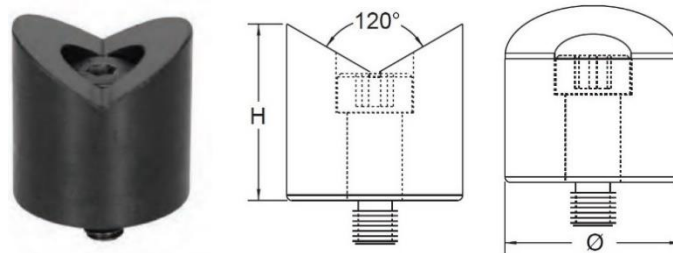
Umožňuje nastavení na požadovanou výšku konstrukce. [12]



Obr. 1- 15 – Stavitelná podpěra [12]

Stavitelná V – podpěra

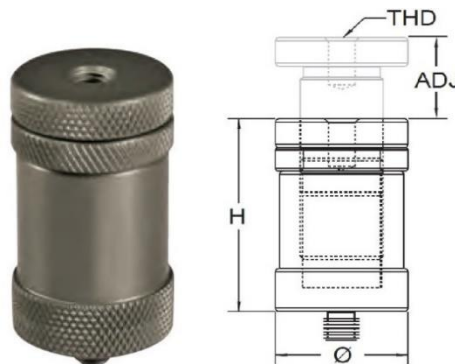
Umožňuje bezpečné upínání válcových a trubkových součástí. Lze otočit a zajistit v libovolné poloze. [12]



Obr. 1- 16 – Stavitelná V – podpěra [12]

Stavitelný sloupek

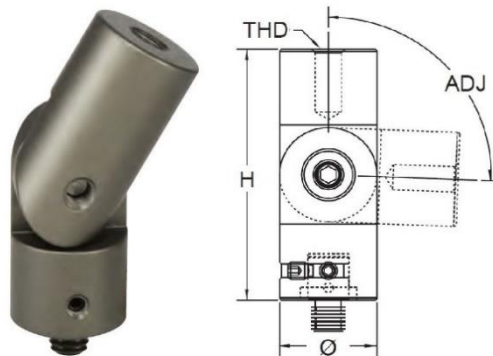
Poskytuje nastavení výšky v rozsahu dle možných parametrů výrobce a zajištění v dané poloze. [12]



Obr. 1- 17 – Stavitelný sloupek [12]

Stavitelný kloub

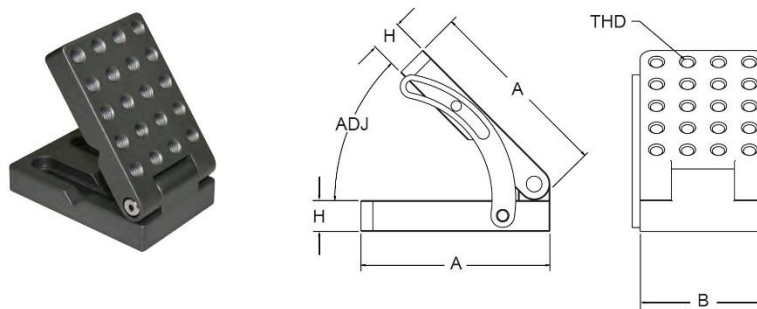
Slouží k nastavení libovolného úhlu. Principem je zajištění základny a nastavení požadovaného úhlu. [12]



Obr. 1- 18 – Stavitelný kloub [12]

Úhlově stavitelná deska

Používá se k nastavení pod libovolným úhlem v rozsahu 0 – 180°. [12]



Obr. 1- 19 – Úhlově stavitelná deska [12]

1.3.3. Podpory

Podpory jsou prvky pro tolerování přenosu síly mezi součásti a přípravkem. Tyto síly zahrnují hmotnost součásti, obráběcí síly (pokud existují), upínací síly a síly při měření. Podpory podpírají součást proti těmto silám vhodným způsobem, a to hlavně správným kontaktem na strategických místech. Dalším úkolem podpor, jak vyplývá z názvu, je podpírat a základně polohovat zpracovávané součásti. Podpory rozdělujeme na podpěry a vzpěry. [4]

Podpěry

První kategorií podpor jsou podpěry. Jak již bylo zmíněno výše, podpory plní úlohu při přenosu sil. Slouží primárně pro podepření a polohování součásti (dorz). Nejčastěji jsou vyráběny s válcovým průřezem (obr.1-20). Pro připojení do základní desky, rámu či jiného prvku jsou podpěry opatřeny na jedné straně kolíkem s vnějším závitem. Na druhé straně válce může být například vnitřní závit pro nasazení koncového prvku nebo další podpory. Pokud však podpěra funguje jako koncový prvek, bývá buď pružným prvkem (obr. 1-21), nebo je opatřena kolíkem (obr. 1-22). Výrobci na trhu ve svém sortimentu nejčastěji nabízejí tyto druhy podpěr [4] [12]:

Válcové podpěry

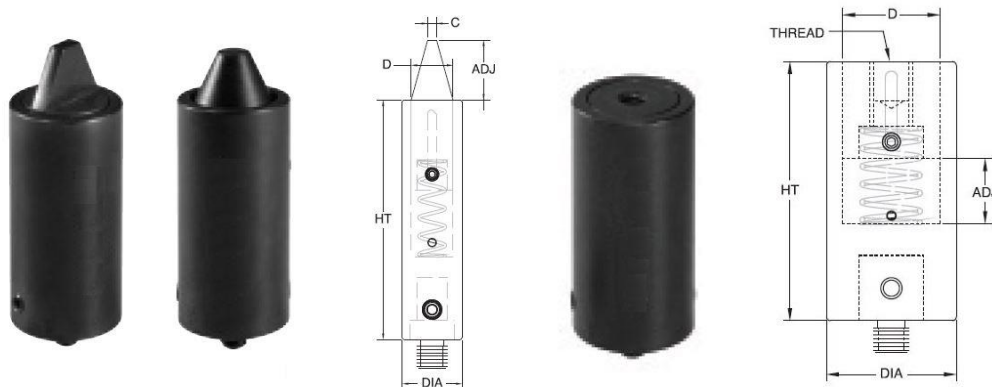
Podpírají a polohují součást. Mohou do nich být upnuty další prvky. [12]



Obr. 1- 20 – Podpěry s válcovým průřezem [12]

Pružné podpěry

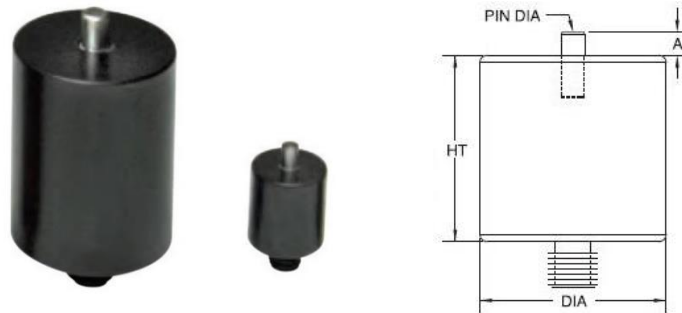
Pro umístění pomocí díry nebo drážky dílu. Rychlé polohování či nastavení do vztažných bodů. [12]



Obr. 1- 21 – Pružné podpěry [12]

Podpěra s kolíkem

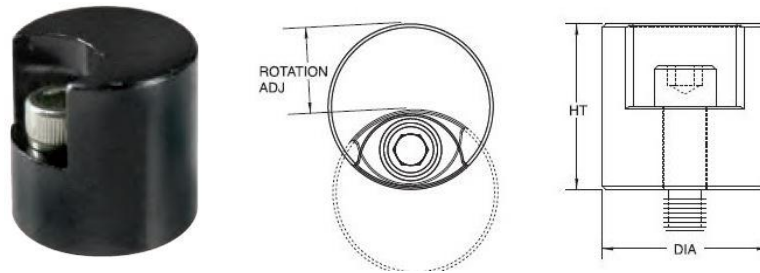
Podírají a polohují součást pomocí kolíku. [12]



Obr. 1- 22 – Podpěra s kolíkem [12]

Rotační podpěra

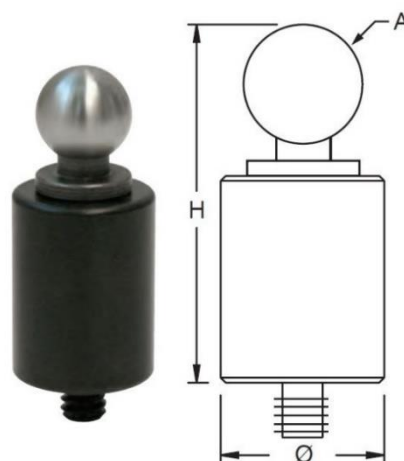
Pro posunutí součásti proti jejím dorazům. [12]



Obr. 1- 23 – Rotační podpěra [12]

Lokalizační koule

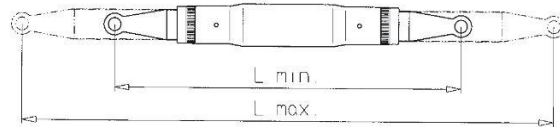
Slouží jako referenční bod pro orientaci programu nebo dílce. [12]



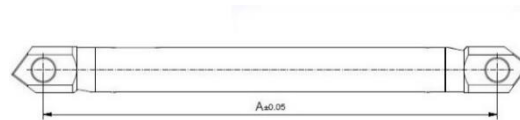
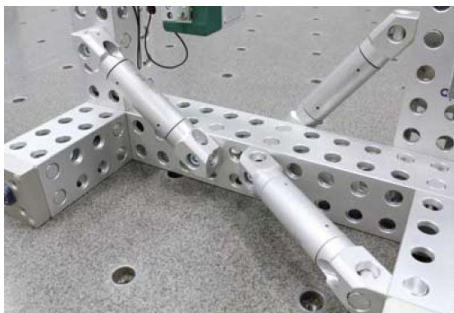
Obr. 1- 24 – Lokalizační koule [12]

Vzpěry

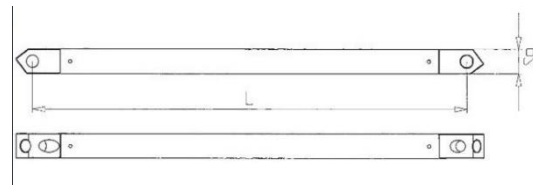
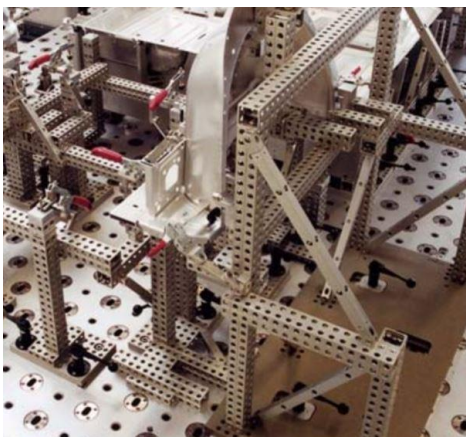
Vzpěry plní stejnou úlohu při přenosu sil jako podpěry. Jsou přidávány do přípravku za účelem zvýšení tuhosti a stability upínacího systému při procesu měření větších součástí. Při návrhu přípravku je tudíž potřeba na tyto fakta myslet a rozmístit vzpěry tak vhodně, aby se přenos sil rozmístil do více bodů. Obvyklé umístění bývá v základní desce nebo rámových tyčích. Mezi speciální vzpěry patří ty, které jsou na svých koncích zkonstruovány tak, aby je bylo možné namontovat ve dvou různých úhlech otočením o 180°. Příklady využití vzpěr níže. [4] [8]



Obr. 1- 25 – Vzpěry s válcovým průřezem [8]



Obr. 1- 26 – Vzpěry s válcovým průřezem [8]



Obr. 1- 27 – Vzpěry s rovinným průřezem [8]

Upínky, svěrky

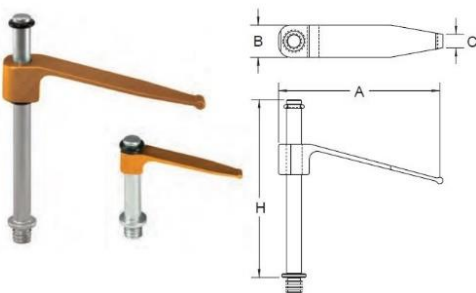
Jak název napovídá, jejich hlavní funkcí je svírání, uchopování a upínání součástí v přípravku. Zajišťují, aby součást zůstala během procesu bezpečně a pevně uchycena. Jsou koncovými prvky přípravku.

Směr síly při ustanovení součásti působí proti směru podpor, ustavovacích ploch především na členitých částech dílu. Síly musí být však vyvážené, a ne moc velké, aby u měkkých materiálů nedošlo k znehodnocení součásti a tím k chybnému měření. Při návrhu platí pravidlo, aby byly upínací prvky účinné, měly by být navrženy tak, že svěrka, upínka vyvine minimální sílu rovnající se největší síle vznikající během technologické operace.

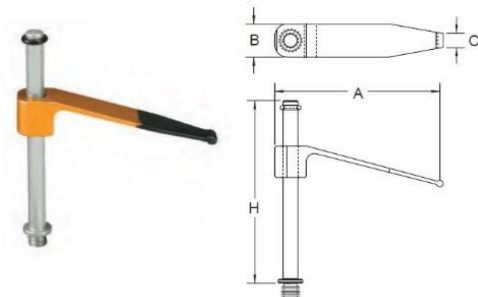
Co se týče umístění prvků, zde záleží na tvarové složitosti dílce a na použité technologii. Konstruktor má na výběr od klasických manuálních svorek, upínek až po pneumatické. Příklady vybraných upínek níže. [4]

Pružné upínky

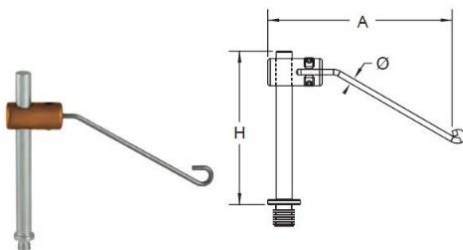
K rychlému a snadnému upínání (obr. 1-28). Pro eliminaci poškození upnutého dílce mívají upínky pogumované konce (obr. 1-29). K jemnému upnutí malých součástí se používají drátěné upínky (obr. 1-30). Pružná polohovací upínka umožňuje aretaci polohy ramene. Snižuje riziko nechtěné změny polohy ramene upínky při výměně dílců (obr. 1-31). [12]



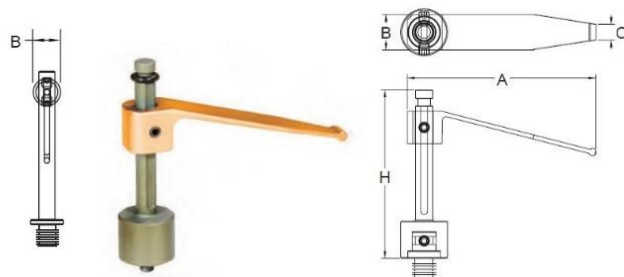
Obr. 1- 29 – Pružná upínka [12]



Obr. 1- 28 – Pružná upínka s pogumovaným koncem [12]



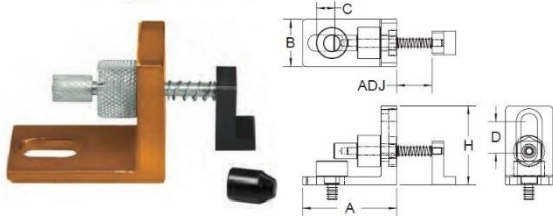
Obr. 1- 30 – Drátěná upínka [12]



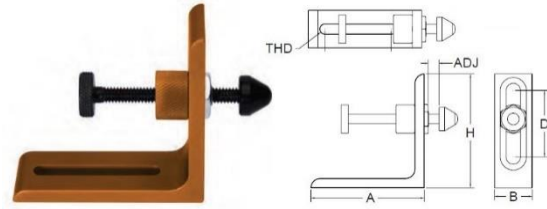
Obr. 1- 31 – Pružná polohovací upínka [12]

Tlačná upínka

K přitlačení součásti k polohovacím elementům nebo do rohu (obr. 1-32). Přitlačení a upnutí součásti k zarážkám pomocí šroubu (obr. 1-33). [12]



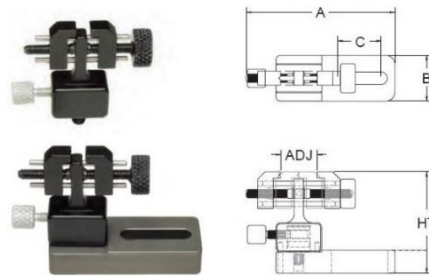
Obr. 1- 32 – Tlačná upínka rohová [12]



Obr. 1- 33 – Tlačná upínka se šroubem [12]

Mikrosvěrák

Pro použití ve vodorovné i svislé poloze. Čelisti jsou opatřeny V-drážkou pro upínání válcových a trubkových dílců (obr. 1-34). [12]



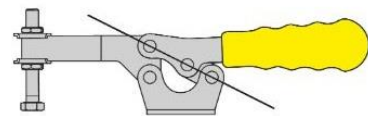
Obr. 1- 34 – Mikrosvěrák [12]

Vodorovná upínka

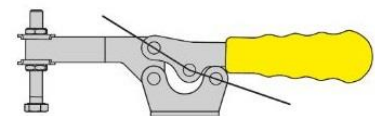
Pákovým mechanismem poskytují velkou sílu a tuhost upnutí součástí (obr. 1-35). Mohou být vodorovné (obr.1-36), svislé nebo speciální. [13]



upínka v otevřené poloze

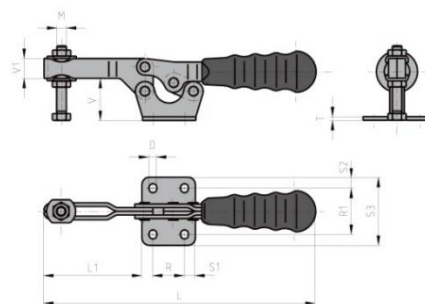


upínka v nulové poloze



upínka v poloze za mrtvým bodem

Obr. 1- 35 – Pákový mechanismus upínek [13]



Obr. 1- 36 – Vodorovná upínka [13]

Přímá upínka

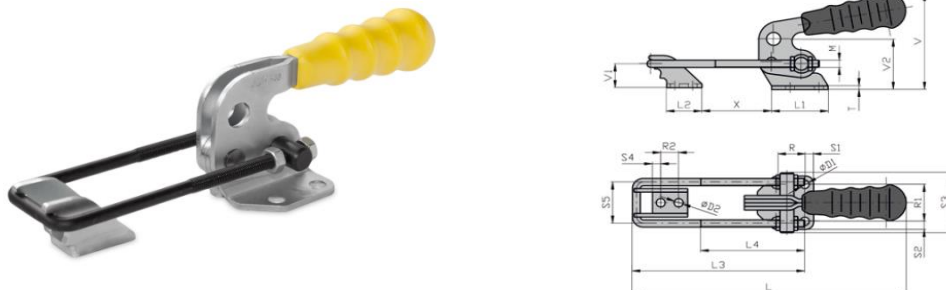
Rukojeť a píst těchto upínek se při manipulaci pohybují stejným směrem. Masivní svařovaná základní deska upínačů umožňuje vyvození velké upínací síly. Tento typ upínek je konstruován jako tažně-tlačná, tzn., že je aretována jak v poloze uzavřené, tak i otevřené. [13]



Obr. 1- 37 – Přímá upínka [13]

Háková upínka

Hákové upínky s dvojitým třmenem vynikají vysokou upínací silou. Jejich použití je velmi různorodé, např. ve slévárenství jako uzavírací nebo přitahovací mechanismus. Tyto upínky umožňují také upínání do pravého úhlu. [13]



Obr. 1- 38 – Háková upínka [13]

Pneumatická upínka

Pneumatické upínače používají vzduchem ovládané válce pro aktivaci upínacího pohybu. Jsou ideální pro rychlé upnutí v opakovaných výrobních operacích. Přesto jsou přenosné a ekonomicky výhodné pro použití na kratší trvající práce s dočasným požadavkem fixace. [13]



Obr. 1- 39 – Pneumatická upínka [13]

1.3.4. Příslušenství

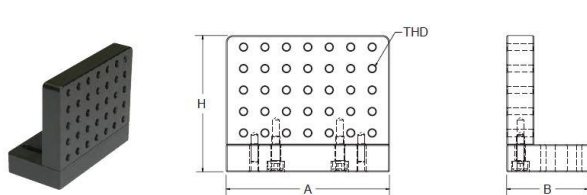
Mezi příslušenství patří volitelné prvky, které lze využít či nikoliv, není-li nezbytně potřeba. Aplikace těchto prvků závisí na aplikaci, nákladech a velikosti přípravku. Slouží k podepírání dílců zaoblenou plochou například kuželem (obr. 1-40) nebo opěrným kolíkem (obr. 1-41). Dále se jedná o náhradní díly jiných upínacích prvků, univerzální upínací prvky – desky (obr. 1-42) či rohový lokátor pro umístění dílu v rohu (obr. 1-43). [12]



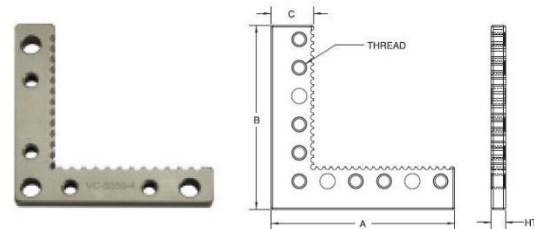
Obr. 1-40 – Kuželové prvky [12]



Obr. 1-41 – Opěrné kolíky [12]



Obr. 1-42 – Upínací deska [12]



Obr. 1-43 – Rohový lokátor [12]

1.4. Strojní přípravky

Strojní přípravky jsou výrobní pomůcky, které slouží k rychlému a přesnému ustavení dílce. Je kladen důraz na bezpečnost upnutí výrobku vůči nástroji nebo měřidlu. Používají se k usnadnění výroby, zajištění vyšší produktivity a bezpečnosti práce. Snižují námahu pracovníka, avšak tím i jeho kvalifikaci či zručnost.

Označením „připravky“ jsou myšleny různé druhy upínacích prvků, úchytů a upínačů, které byly již zmíněny v kapitole 1.3. Upínací prvky.

Přípravek musí být dostatečně tuhý, aby byl schopen podpory bez vychýlení. Silové působení a vibrace vyvolané technologickými procesy různých rozsahů a směrů vyvolávají vliv vnitřních účinků na podpory.

Konstrukce a výsledné použití přípravků se liší v závislosti na druhu výroby, pro kterou je zařízení určeno. Z pohledu sériovosti výroby jsou přípravky výhodnější pro sériovou výrobu, zatímco pro kusovou je výroba přípravku neekonomická.

Použití následně vede ke zvýšení kvality a snížení výrobních časů a nákladů. Při návrhu jsou důležitými faktory: účelnost, spolehlivost, jednoduchost, funkčnost a cena.

Z hlediska konstrukce přípravku je potřeba zvážit všechny možnosti přípravku. Špatně zvolená konstrukce ovlivní nejen špatnou funkci výrobku, ale celou výrobu či proces kontroly. Při návrhu přípravku by měl konstruktér brát na zřetel několik hlavních zásad [14] [15]:

- Součást musí být ustanovena ve správné a jednoznačné poloze vůči nástroji nebo měřidlu
 - Dodržení zásad pro umístění dílu,
- Součást musí být upnuta pevně a mít dostatečnou tuhost,
- Upínání musí být co nejjednodušší,
- Rychlost upínání
 - Rychlost upínání ovlivňuje volba upínacího zařízení v závislosti na průměru, délce a hmotnosti součásti,
- Bezpečné upnutí
 - Zajištění proti uvolnění,
 - Sražené a zaoblené hrany jako prevence proti zranění,
- Přesnost upínání
 - Odvíjí se od přesnosti upínacího zařízení,
- Upnutí musí být odolné vůči vibracím,
- Soustřednost a vyváženost,
- Minimalizace nákladů na provedení upnutí,
- Volný přístup k proměření vybraných charakteristik součásti,
- Životnost upínacího prostředku,
- Opakovatelnost přesnosti,
- Snadná výměna upínacích prvků,
- Při manipulaci s přípravkem by váha neměla přesáhnout 15 kg, jinak je nutné přípravek opatřit závěsnými oky,
- Použití co nejvíce normalizačních součástí – snadná vyměnitelnost,
- Konstrukce by neměla umožňovat vložení dílu opačně,
- Dbát na celkový vzhled a design. [14] [15]

1.4.1. Druhy a rozdělení přípravků

Velmi důležitou součástí v téměř každé firmě zabývající se výrobní činností je použití přípravků, které sice nepřimo, ale přesto velmi důležitým způsobem vstupují do výrobních procesů, a v konečném důsledku mají nezanedbatelný vliv na kvalitu finálního výrobku. Hlavním důvodem pro použití přípravku je zvýšení jakosti výroby a zvýšení produktivity při zachování rozměrové, tvarové a geometrické přesnosti. [14] [15]

Přípravky rozdělujeme podle:

1) Použití

- a) Univerzální – Konstruovány za účelem upínání součástí stejného druhu, které se liší pouze velikostí či trochu jiným tvarem (upínky, sklíčidlo atd.),
- b) Skupinové – Přípravek či jeho hlavní část (rám, upínací mechanismus) je společná pro určitou skupinu vyměnitelných součástí (válce, kvádry apod.),
- c) Stavebnicové (modulární) – Konstrukce typizovaných dílů v jeden požadovaný celek,
- d) Speciální – Jedná se o jednoúčelové přípravky nebo upínací zařízení, které se používá pro jednu součást v daném procesu.

2) Druhu operace

- a) Obráběcí – Upnutí obrobku v určité poloze vzhledem k nástroji (vedení nástroje do místa řezu, upnutí při frézování),
- b) Montážní – Upnutí a přidržení součásti nebo výrobku při montáži (rozebíratelné i nerozebíratelné spojení),
- c) Kontrolní – Kontrola rozměrových charakteristik (správnost měření),
- d) Pomocná zařízení – Ostatní zařízení, které se používá v případě usnadnění práce (polohovací zařízení, dorazy atd.).

3) Zdroje upínací síly

- a) S ručním upínáním
- b) S mechanickým upínáním
 - Hydraulické,
 - Pneumatické,
 - Elektromagnetické,
 - Magnetické,
 - Kombinované. [14] [15]

1.5. Přehled upínacích systémů na trhu

Modulární (stavebnicové) systémy byly primárně vytvořeny pro oblast metrologie. Pomocí modulárního upínání dochází k usnadnění a vyšší efektivity práce. Jejich velkou výhodou je možnost použití jak pro jednorázové, tak pro opakující se měření. Stavebnicové upínací systémy se skládají z typizovaných součástí, se kterými lze flexibilně pracovat a tím získávat různé kombinace upnutí, čímž se stává jedinečnou pomůckou. Pořizovací cena a časová náročnost na sestavení přípravku patří mezi největší nevýhody. Nejčastější použití nalezneme v automobilovém a leteckém průmyslu. [16] [17]

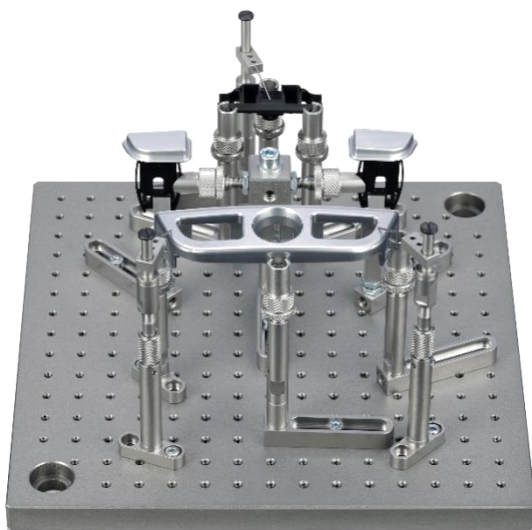
Pro ukázkou zastoupení na trhu byly vybrány tři výrobní společnosti strojních přípravků a jejich koncepční varianty, které splňují požadované vlastnosti.

1) Junker & Partner Carl Zeiss

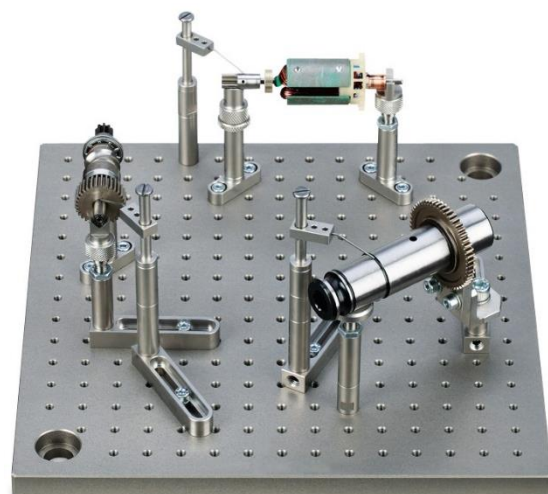
Společnost Junker & Partner Carl Zeiss na trhu poskytuje řady upínacích systémů Carfit. Jedná se o modulární systémovou architekturu, která se skládá ze standardizovaných prvků. Díky flexibilitě je možné konstrukci přizpůsobit pro aplikace ve vývoji, výrobě či finální kontrole součástí. Společnost nabízí několik velikostních variant upínacích systémů v závislosti na konečné aplikaci přípravků. Zvolené příklady systémů Carfit níže. [18]

a) Zeiss Carfit CMK

Varianta CMK slouží k souřadnicovému měření malých dílů, které bývají upnuty jednoduchými nástroji. Hlavní prvky tvoří deska s přesně označenými rastrovými otvory a upínací prvky (obr. 1-44 a 1-45). [18]



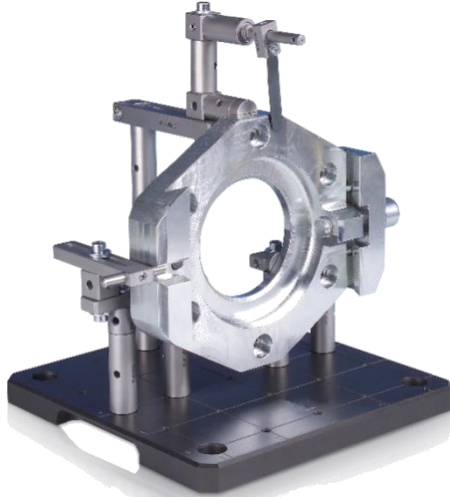
Obr. 1-44 – Zeiss Carfit CMK [18]



Obr. 1-45 – Zeiss Carfit CMK [18]

b) Zeiss Carfit CMB

Řada Carfit CMB se hodí zejména pro menší a středně velké díly, které musí být upnuty a měřeny vodorovně. Základní kostru tvoří tvrdě povlakovaná rastrová deska s přesně vyvrtanými závitovými otvory a upínací prvky (obr. 1-46 a 1-47). [18]



Obr. 1- 46 – Zeiss Carfit CMB [18]



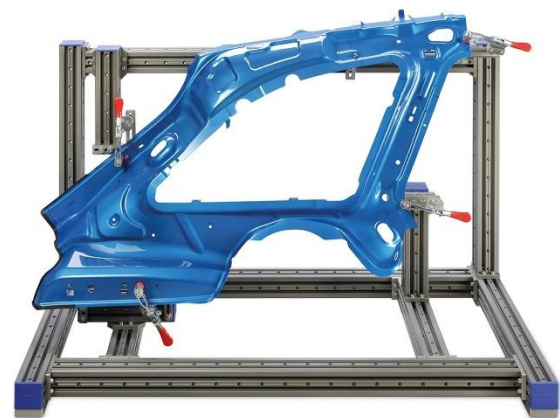
Obr. 1- 47 – Zeiss Carfit CMB [18]

c) Zeiss Carfit CMP

Konstrukční řešení Carfit CMP nachází využití především při upínání větších dílů, které musí být upnuty a měřeny svisle. Sortiment výrobků CMP je primárně používán při měření na portálových nebo horizontálních měřicích ramenech. Základní stavební prvek tvoří osmihranný drážkovaný profil s přesně vyvrtanými závitovými otvory, čímž se liší od předchozích konstrukčních variant (obr. 1-48 a 1-49). [18]



Obr. 1- 49 – Zeiss Carfit CMP [18]



Obr. 1- 48 – Zeiss Carfit CMP [18]

2) Mitutoyo Corporation

Mitutoyo Corporation nabízí na trhu upínací přípravky s názvem Eco – fix. Jedná se o přípravky, které se vyskytují v každodenní praxi. Výsledkem je systematická efektivita při zaručené univerzálnosti upínací stavebnice. Vybraná provedení výrobce [19]:

a) Sada Eco – fix

Různá provedení se odvíjí od velikosti součásti a měřicího stroje. Zákazník má na výběr od nejmenších sad (eco – fix XS) až po velké provedení (eco – fix L – obr. 1-50). V sortimentu najdeme klasické upínání, ale například i magnetické (eco – fix MAG – obr. 1-51). [19]



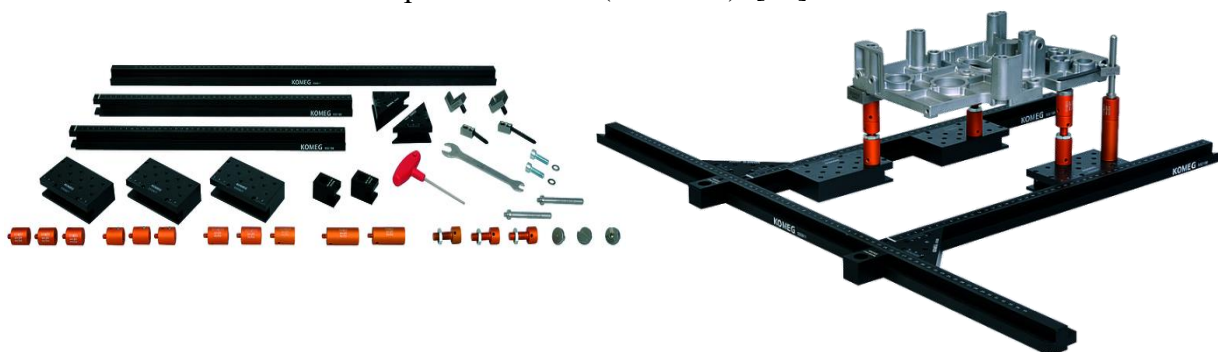
Obr. 1- 50 – Mitutoyo – Eco – fix L [19]



Obr. 1- 51 – Mitutoyo – Eco – fix MAG [19]

b) Sada Eco – fix quick – rail

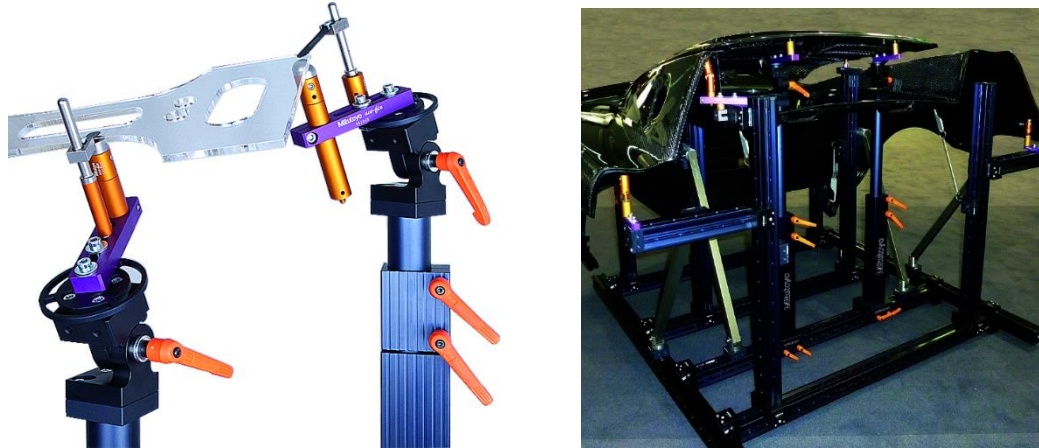
Provedení Eco – fix quick – rail s profilem RST, který umožňuje volnou a neomezenou orientaci obrobku v libovolné pozici snímání (obr. 1-52). [19]



Obr. 1- 52 – Mitutoyo – Eco – fix quick – rail [19]

c) Sada Eco – fix – car – fix

Stavěcími základnami jsou opět flexibilní profily RST. Na profily jsou upevňovány nastavitelné car – fix sloupy, které představují hlavní rozdíl od předchozích variant. Sloupy jsou plně výškově nastavitelné a rotační části umožňují polohování o 360 ° (obr. 1-53). [19]

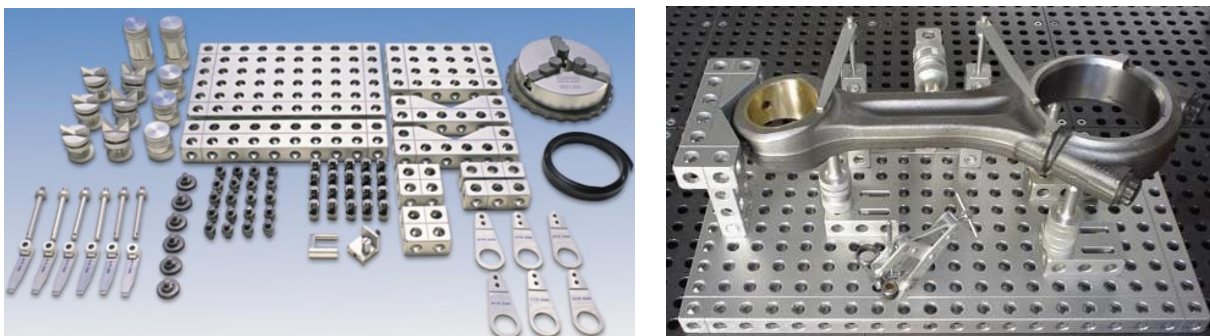


Obr. 1- 53 – Mitutoyo – Eco – fix – car – fix [19]

3) Horst Witte Barskamp KG

Společnost Horst Witte na trhu nabízí se svým upínacím konceptem Alufix odlišný způsob upínání od výše zmíněných výrobců. Systém Alufix je velmi flexibilní modulární systém, který lze pomocí jednotlivých prvků jednoduše skládat, rozebírat a opětovně stavět pro jiné řešení (obr. 1-54). Některé prvky systému Alufix byly již představeny v kapitole 1.3. upínací prvky. [8]

Alufix systém je předně využíván pro sestavení kontrolních, montážních a svařovacích přípravků. Nejčastější uplatnění nachází v oblasti rozměrové měřicí techniky, zejména na souřadnicových měřicích strojích. [8]



Obr. 1- 54 – Horst Witte – Alufix systém [8]

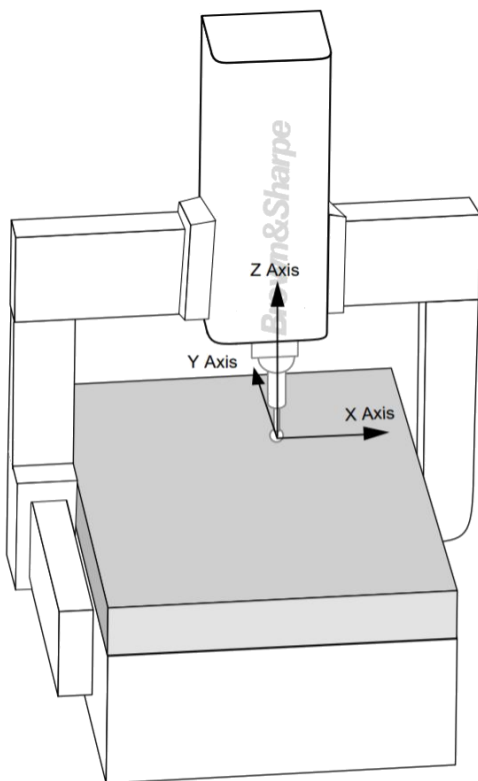
2. Způsoby definování základního souřadného systému při měření na CMM

2.1. Souřadný systém

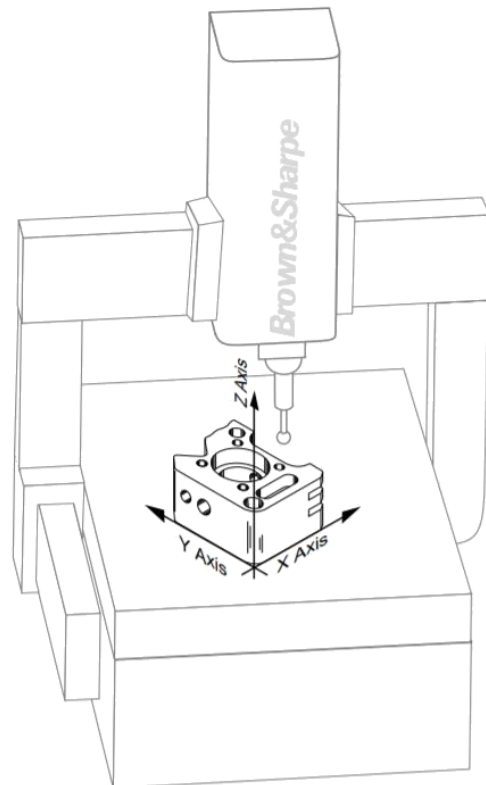
Souřadný systém, který vynalezl slavný francouzský filozof a matematik René Descartes na počátku 17. století, nám umožňuje lokalizovat prvky na výrobcích ve vztahu k jiným prvkům. Souřadný systém používáme k popisu pohybu měřicího stroje. [20] [1]

Souřadný systém si můžeme představit jako topografickou mapu, ve které kombinace písmena u jednoho okraje mapy, čísla u druhého okraje a nadmořské výšky zobrazené na ploše mapy jednoznačně popisuje každé místo na mapě. Tato kombinace písmena/čísla/nadmořské výšky se nazývá souřadnice a zastupuje konkrétní místo ve vztahu ke všem ostatním. [20] [1]

CMM pracuje s dvěma souřadnými systémy (souřadný systém stroje a měřeného dílu). Princip měření spočívá v tom, že si vhodně stanovíme základní bod v prostoru a polohy ostatních bodů na měřené součásti určíme ve formě souřadnic těchto bodů v osách souřadného systému nejčastěji X, Y, Z (obr. 2-1 a 2-2). Oproti konvenčním metodám mají CMM výhodu ve volbě základního bodu v pracovním prostoru stroje. [20] [1]



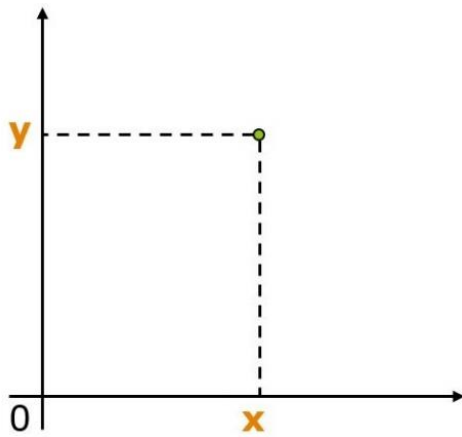
Obr. 2-1 – Souřadný systém stroje [1]



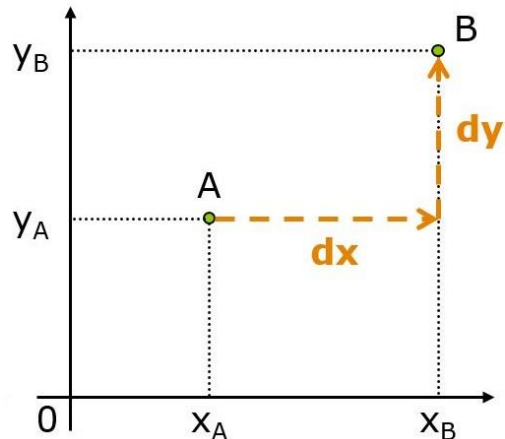
Obr. 2-2 – Souřadný systém součásti [1]

2.1.1. Kartézský souřadný systém

Trojrozměrný souřadný systém, kde každá část má kromě své délky a šířky také výšku. Aby tedy bylo možné určit bod na součásti v prostoru, kromě souřadnic X a Y, je zapotřebí další: souřadnice Z, která je kolmá jak na osu X, tak na osu Y. V tomto případě se jedná o absolutní souřadnice – vzdálené od počátku (obr. 2-3), ale můžeme určovat i relativní souřadnice dX , dY a dZ – vzdálené od předchozího bodu (obr. 2-4). [21]

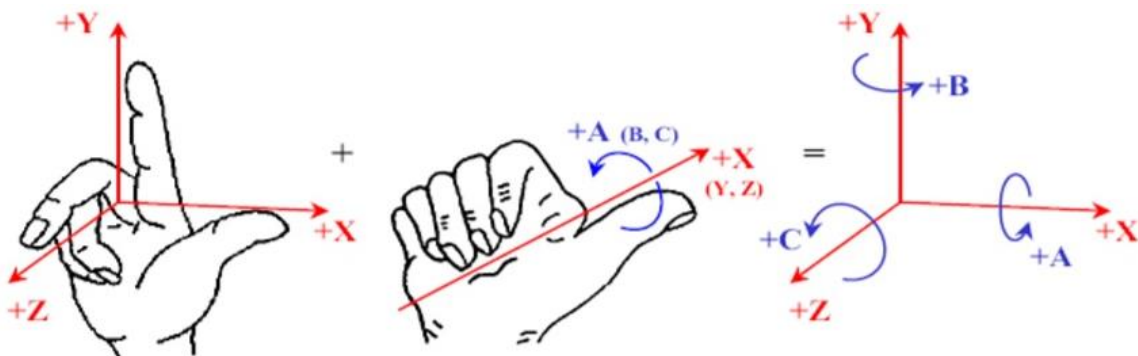


Obr. 2- 4 – Kartézský souřadný systém [21]



Obr. 2- 3 – Kartézský souřadný systém [21]

K určení pořadí a směr os se zavedlo pravidlo pravé ruky, které se aplikuje jako: Roztáhněte první tři prsty na pravé ruce. Palec se stane kladnou osou X, ukazovák, který je v pravém úhlu od palce, se stane kladnou osou Y a prostředníček se stane osou Z. Rozhodující význam má poloha prostředního prstu, která bez ohledu na to, jak pravou rukou otáčíme, ukazuje v kladném směru Z (obr. 2-5). [21]



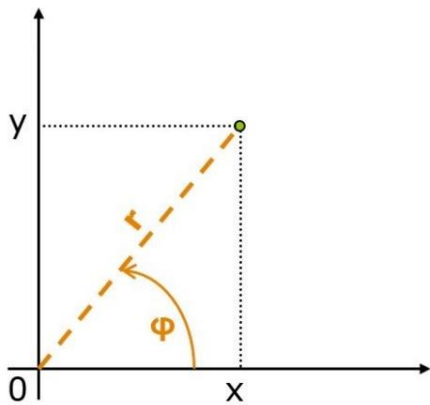
Obr. 2- 5 – Kartézský systém – pravidlo pravé ruky [30]

2.1.2. Polární souřadný systém

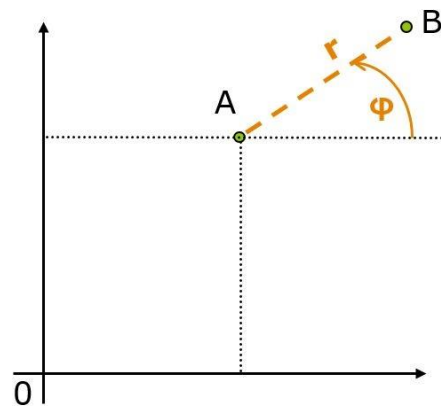
Křivočará soustava souřadnic v rovině. Určujeme absolutní i relativní souřadnice (obr. 2-6 a 2-7). Bod v polárních souřadnicích je určen vzdáleností od počátku a úhlem, který svírá úsečka spojující bod a počátek s osou x. Pro převod kartézských a polárních souřadnic platí vztah [21]:

$$x = r \cdot \cos \varphi ; y = r \cdot \sin \varphi \quad (1)$$

Kdy: $r = \sqrt{x^2 + y^2} ; \varphi = \arctg 2\left(\frac{y}{x}\right) \quad (2)$



Obr. 2-6 – Polární absolutní souřadnice [21]



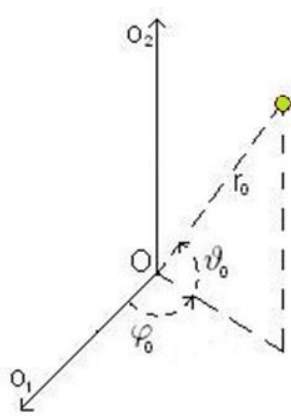
Obr. 2-7 – Polární relativní souřadnice [21]

2.1.3. Sférický souřadný systém

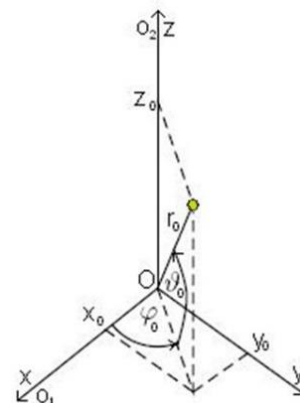
Jedná se o křivočarou soustavu v prostoru. Bod ve sférických souřadnicích je určen vzdáleností od počátku úhlem, který svírá průmět bodu do roviny [x, y] s osou x a úhlem odklonu od osy z (obr. 2-8 a 2-9). Pro převod kartézských a sférických souřadnic platí vztah [21]:

$$x = r \cdot \cos \varphi \cos \vartheta ; y = r \cdot \sin \varphi \cos \vartheta ; z = r \cdot \sin \vartheta \quad (3)$$

Kdy: $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} ; \vartheta = \arcsin \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \quad (4)$



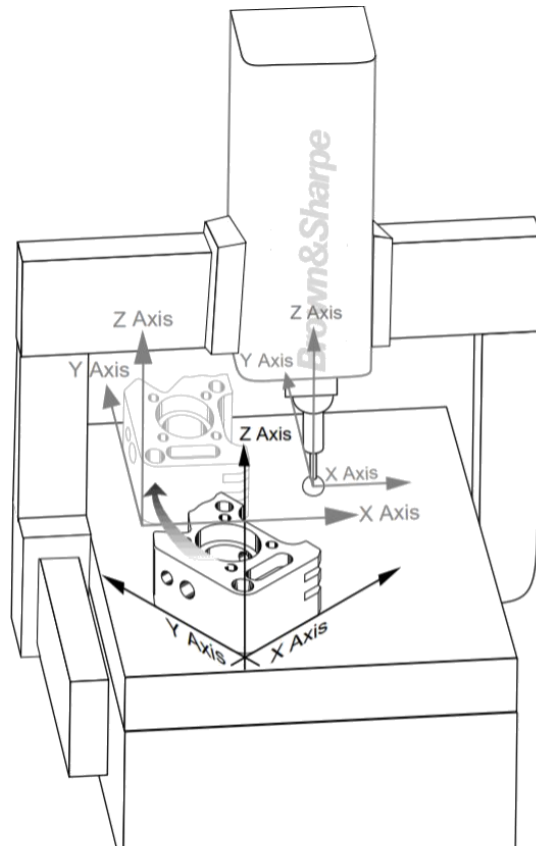
Obr. 2-8 – Sférické souřadnice [21]



Obr. 2-9 – Sférické souřadnice [21]

2.2. Vyrovnání součásti

K tomu, abychom mohli začít součást měřit, je potřeba vztáhnout systém stroje a součásti dohromady (obr. 2-10). Tento proces se nazývá vyrovnání. S pomocí softwaru změní CMM příslušné základny výrobku (obvykle dané výkresem), vytvoří souřadný systém dílu a matematicky ho vztáhne k souřadnému systému stroje. Jako příklad si můžeme představit mapu ulic, kterou když otočíme tak, aby byla paralelně s ulicí (údajem) nebo se směrem udaným kompasem (tj. severem), umístíme prakticky sami sebe do „souřadného systému světa“. [1] [20]



Obr. 2- 10 – Vyrovnání součásti na CMM [1]

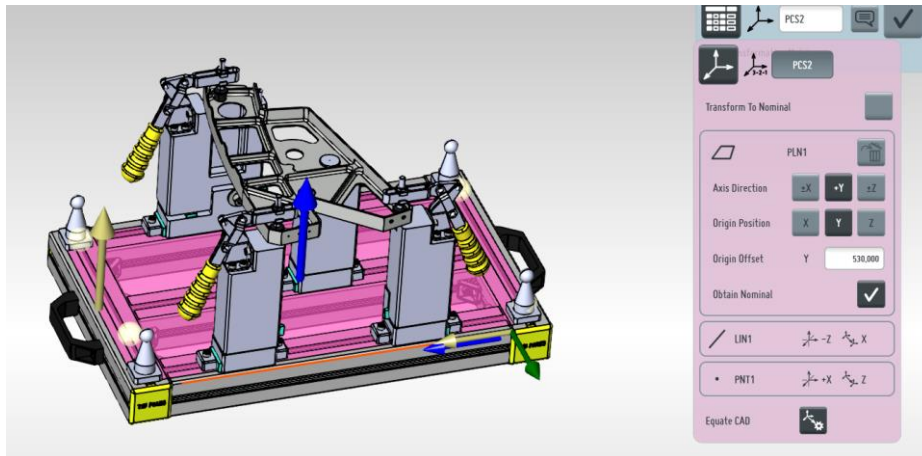
Postupným vývojem souřadnicových měřicích strojů byly vyvinuty i různé metody vyrovnání, které se uplatňují především podle použité aplikace (obr. 2-11). Nejznámějšími metodami vyrovnání jsou:



Obr. 2- 11 – Metody vyrovnání – SW TouchDMIS

2.2.1. Standardní metoda 3–2–1

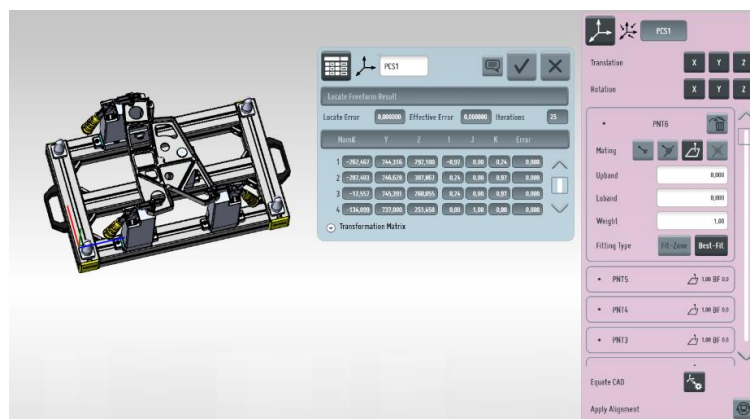
Ve standardních měřicích postupech je základ pro všechna vyrovnání shrnut podle pravidla 3-2-1. Pravidlo, které definuje minimální počet kontaktních bodů, jež jsou nezbytné pro správné umístění / vazbu součásti uvnitř referenčního rámce nulového bodu. Primární vztažný bod vyžaduje tři body (rovina), sekundární vztažný bod dva body (přímka) a terciární vztažný bod jeden bod (bod). Objekt je pak fixován ve všech šesti stupních volnosti (obr. 2-12). [22]



Obr. 2- 12 – Vyrovnání metodou 3–2–1 – SW TouchDMIS

2.2.2. Best – fit metoda

Tato metoda se velmi často využívá pro měření volných tvarů. K ustavení můžeme použít neomezené množství bodů i geometrií definovaných v CAD modelu (obr. 2-13). Při vyrovnání je počítání metodou nejmenších čtverců pro všechny body. Software stanoví optimalizovaný souřadnicový systém použitím trojdimenzionálního best – fitu, tudíž odchylka mezi skutečnou a cílovou geometrií je mnohdy zanedbatelná. Reálná naměřená geometrie je posunuta a natáčí se, až lokalizace nebo naměřené body nedosáhnou minimální vzdálenosti k cílové geometrii. V softwaru můžeme nastavit libovolný počet iterací, pokud je souřadný systém přeurčený. [23]

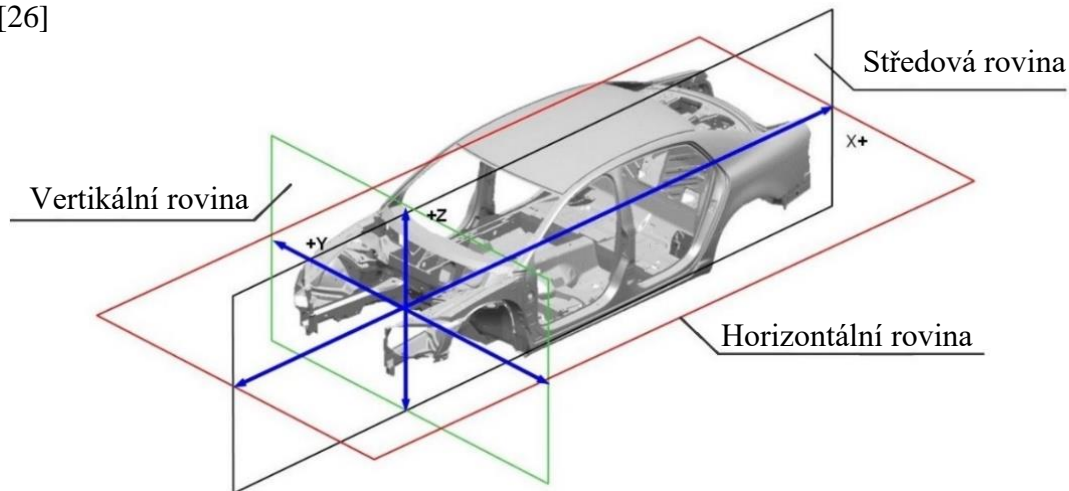


Obr. 2- 13 – Vyrovnání metodou Best – fit – SW TouchDMIS

2.2.3. RPS metoda

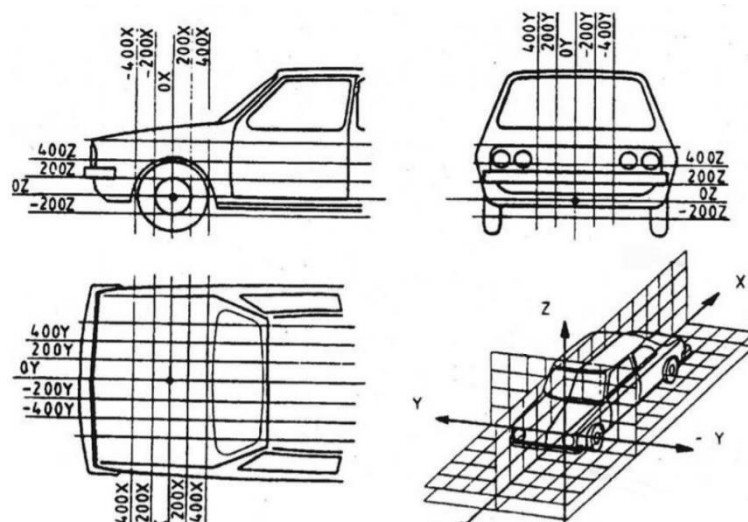
Metoda vyrovnání RPS (Reference Point System) byla vytvořena především pro automobilový průmysl. Každý bod v referenčním systému je definován třemi souřadnicemi. Tyto souřadnice udávají polohu od zvoleného počátku. Pokud se jedná o sestavu, kde je více součástí, tak díky referenčnímu systému je určena vzájemná poloha součástí. [24] [25] [26]

V automobilovém průmyslu jsou určovány jednotlivé směry os, souřadnice a body od základny = reference, která se vždy nachází uprostřed přední nápravy vozidla, definovaná průsečíkem tří referenčních rovin, a je závazná pro souřadný systém vozidla (obr. 2-14). [24] [25] [26]



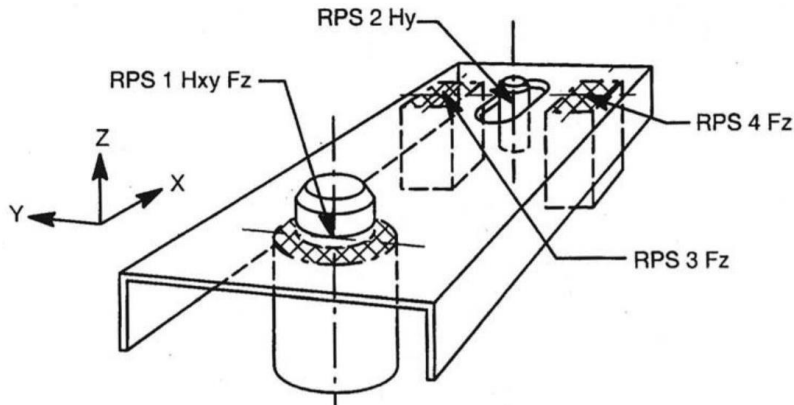
Obr. 2- 14 – RPS systém [31]

Počínaje osami tohoto souřadného systému jsou čárové mřížky rozloženy paralelně k osám. Tyto mřížky, rozmístěné ve vzdálenosti 100 mm, teoreticky pronikají vozidlem (obr. 2-15). Slouží k nalezení všech bodů na vozidle. Pomáhají určit polohu každé součásti vozidla. Kótování se provádí také pomocí těchto čar mřížky. [26]



Obr. 2- 15 – RPS mřížka [26]

Jak už bylo zmíněno dříve, každé těleso v prostoru má šest stupňů volnosti a je potřeba pro ustavení součásti tyto stupně odebrat. Uplatňuje se metoda 3-2-1. Implementace této metody s následným rozložením upnutí: tři dorazové prvky vymezující tři stupně volnosti ve směru osy Z: posun ve směru osy Z a otáčení kolem os X a Y. Kolík v kruhovém otvoru zabraňuje rovnoběžnému pohybu s osami ve směrech X a Y a konečně kolík v dlouhém otvoru zamezuje otáčení kolem osy Z (obr. 2-16). Bod RPS 1 je bod, který váže nejvíce stupňů volnosti a měl by tedy být volen jako referenční. [26]

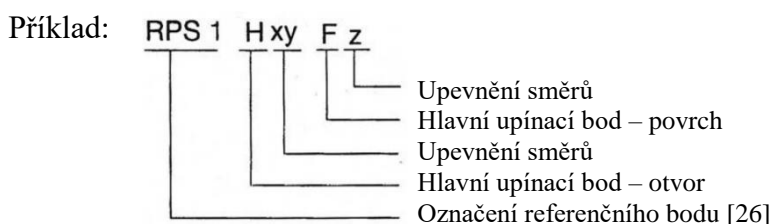


Obr. 2-16 – Aplikace RPS metody [26]

Značení RPS bodů

Všechny body RPS musí být obsaženy ve výkresu součásti.

Hlavní upínací body	=	Velká písmena	
→	H	=	Otvor
→	F	=	Povrch
→	T	=	Teoretický bod
Podpůrné body	=	Malá písmena	
→	h	=	Otvor
→	f	=	Povrch
→	t	=	Teoretický bod
Typy upnutí	→	Umístění otvorů, kolíků	= Označení H,h
	→	Povrchy, hrany, koule, vrchol	= Označení F,f
	→	Teoretický bod	= Označení T,t
Upevnění směřů	=	Malá písmena	
→	x, y, z	Pro paralelně orientované referenční komponenty systému souřadnic	
→	a, b, c	Pro otočné, na komponenty orientované referenční systémy	



3. Návrh montážního přípravku pro upnutí součásti definované souřadným systémem RPS

V třetí kapitole své práce se věnuji praktickému řešení montážního přípravku. Námětem na sepsání této problematiky mi byla úloha z praxe. Byl jsem osloven společností Topmes s.r.o. zabývající se všeobecnou průmyslovou metrologií. Požadavkem byl konstrukční návrh montážního přípravku pro upnutí součásti definované souřadným systémem RPS. Přípravek bude sloužit jako školicí předmět k prezentování měření různými typy CMM. Výstupem práce měl být návrh přípravku, výkresy, samotná výroba a ověření funkčnosti v podobě protokolu o měření několika základních charakteristik. Z této skutečnosti vyplívají hlavní požadavky na přípravek, které vycházejí z kapitoly 1.4. strojní přípravky:

- Přenosný – dostatečně lehký, opatřen přenosnými prvky,
- Snadný a rychlý systém upínání,
- Dostatečně tuhý,
- Pevné upnutí součásti,
- Opakovatelný a přesný systém upínání,
- Minimalizace nákladů,
- Dostatečný prostor při měření na stacionárním CMM,
- Celkový design přípravku.

Cíle kapitoly:

1. Volba součásti
2. Návrh konstrukce přípravku

Následující podkapitoly budou věnovány detailnímu popisu těchto cílů kapitoly.

3.1. Volba součástí

Prvním důležitým krokem pro vytvoření přípravku bylo zvolení součásti. Jelikož přípravek bude sloužit k praktickému využívání v podobě prezentace měření, bylo důležité, aby díl nebyl příliš tvarově jednoduchý a bylo možné na něm měřit více elementů. Z hlediska výše uvedených požadavků na přípravek musel být brán ohled na výběr materiálu a výrobní technologii dílce. Největší roli při rozhodování měl požadavek na přenosnost a tím pádem i váhu přípravku. Dalším kritériem při výběru byla minimalizace nákladů. Z těchto faktů vyplývá, že nejlepším možným řešením bylo vybrat součást z hliníkové slitiny, která bude zpracovaná technologií obrábění. Příležitost k získání takového obrobku mi poskytla společnost Latecoere Czech Republic s.r.o., kde jsem brigádně působil.

Jako finální materiál byla zvolena hliníková slitina EN AW 7475 – T7351, jejíž chemické složení můžeme vidět v následující tabulce.

Tabulka 3- 1 – Chemické složení slitiny EN AW 7475 – T7351 [27]

Chemické složení v %								
Al	Zn	Mg	Cu	Cr	Fe	Si	Mn	Ti
88,6 ÷ 91,6	5,1 ÷ 6,2	1,9 ÷ 2,6	1,2 ÷ 1,9	0,18 ÷ 0,25	0 ÷ 0,12	0 ÷ 0,1	0 ÷ 0,06	0 ÷ 0,06

Jedná se o slitiny soustavy Al – Zn – Mg – Cu, které jsou označovány jako série 7XXX. Slitiny Al-Zn-Mg a Al-Zn-Mg-Cu se řadí mezi vytvrditelné slitiny. Obsah zinku se zpravidla pohybuje v rozsahu 3-8 %, hořčík je obvykle obsažen v množství 1-3 %, a pokud tyto slitiny obsahují i měď, tak maximálně do 2 %. Jsou to slitiny hliníku, dosahují nejvyšších pevností až 600 MPa. Používají se především na vysoce namáhané součástky v leteckém a automobilovém průmyslu (např. přepážky, podélníky, žebra atd.). [28]

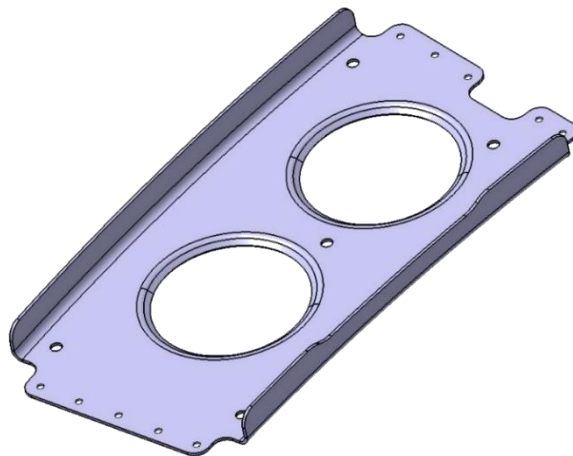
Vhodnou součástí pro tvorbu přípravku byla vybrána žebra. Splňují předchozí kritéria a vyrábějí se v různé tvarové složitosti, které mohly poskytnout varianty pro rozhodnutí. Postupně bylo vybíráno mezi třemi součástmi, jež budou dále představeny.

3.1.1. Varianta č. 1

První varianta vychází z předchozího uvedení do problematiky kapitoly 3. Podstatnými požadavky na přípravek jsou rozměrová velikost a váha součásti, které byly v tomto případě splněny.

Jedná se o plechový díl, který je zpracován obráběním a následným tvářením na ohýbacím lisu. Tvarově vychází z obdélníku o rozměrech 300 x 150 mm a tloušťce 4 mm a je opatřen několika tvarovými elementy, kterých si můžeme všimnout na obrázku č. 71.

Na obou koncích se nacházejí odlišné výřezy, ve kterých jsou otvory o \varnothing 3 mm. Celkem je těchto otvorů deset. Dále můžeme vidět otvory o \varnothing 5 mm, které jsou vytvořeny dvakrát na obou koncích a jedenkrát uprostřed dílu. Největší otvory o \varnothing 80 mm jsou umístěny z obou stran vnitřního otvoru. Ohýbáním o rádius R4 byly vytvořeny boční stěny dílu o výšce 20 mm – ty se právě staly zajímavou variantou při rozhodování (obr. 3-1).



Obr. 3-1 – Návrh součásti – varianta č. 1

Zhodnocení varianty č. 1:

Výhody u této varianty byly nalezeny především u rozměrové velikosti a váhy součásti. Co se týče dalšího použití při upnutí do přípravku, tak by se určitě jednalo o jednoduchý systém upnutí na každém konci dílu z boku dorazy a upínkami.

Nevýhodou byl právě až moc jednoduchý systém upínání a také jednoduchá tvarová složitost dílu. K prezentaci by sloužilo pouze několik podobných elementů.

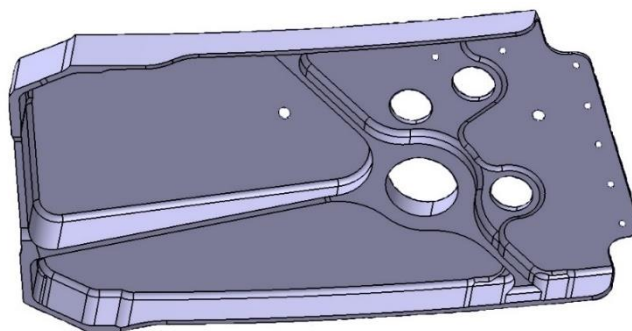
Doporučením pro další variantu je nalezení tvarově složitější součásti.

3.1.2. Varianta č. 2

Druhá varianta s sebou nese rady a doporučení z předchozí varianty. Svým způsobem v sobě nacházejí podobnost, ale liší se hlavně tvarovými prvky. Opět jsou splněny základní požadavky.

V tomto případě se bavíme pouze o obráběném dílu, který už není nijak dál zpracováván. Hlavním tvarem je obdélník o rozměrech 300 x 180 mm s nejvyšší výškou vybrání 26 mm a různou tloušťkou stěn, která se pohybuje v rozmezí 2 až 5 mm. Nejtenčí je dno a nejsilnější stěny dílce.

Varianta č. 2 má výřez pouze na jednom konci a na druhé je zakončení stěnou, která je spojena se středovým otvorem pomocí žebra. Opět si můžeme všimnout dalších prvků, hlavně zaoblení a otvorů, jež se liší od předchozí součásti. Interval průměrů se pohybuje od největšího ($\varnothing 35$ mm) po nejmenší ($\varnothing 3$ mm), zatímco zaoblení v intervalu od $\varnothing 50$ mm, který se nachází okolo největšího otvoru uprostřed až $\varnothing 8$ mm. Těch si můžeme všimnout zejména u vnitřního zaoblení na obrázku (obr. 3-2).



Obr. 3-2 – Návrh součásti – varianta č. 2

Zhodnocení varianty č. 2:

Oproti přechozí variantě se tato odlišila tvarovou složitostí a naplnila tak rady a doporučení ke splnění požadavků. Výhody přichází opět v podobě rozměrů, váhy a také několika rozdílných elementů, které by zdárně posloužily pro prezentaci měření.

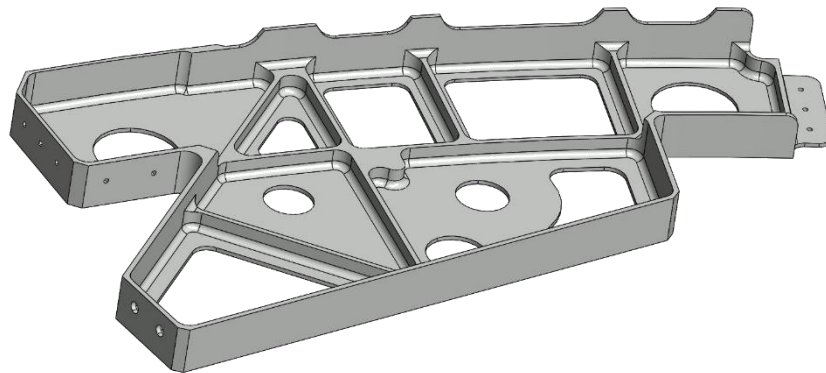
Nicméně i tato varianta po konzultaci nebyla dostatečně složitá a vzhledem k používání na CMM, čímž vyvstává potřeba většího prostoru, bylo rozhodnuto proti této variantě.

Doporučením zůstává ještě větší tvarová složitost a po konzultaci i zacílení na součást s většími rozměry.

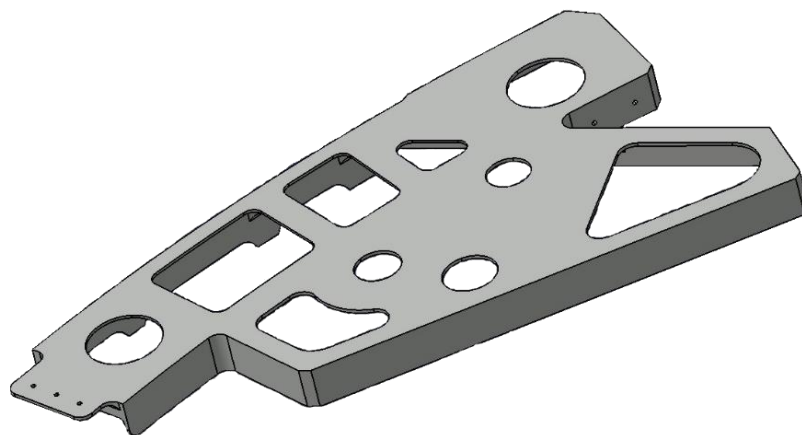
3.1.3. Varianta č. 3

Třetí návrh spojuje doporučení a požadavky na součást z předchozích variant a stává se tak konečnou součástí. Zásadní výhodou u této varianty je dostatečná tvarová složitost, na které bude dále možno měřit více odlišných elementů a charakteristik.

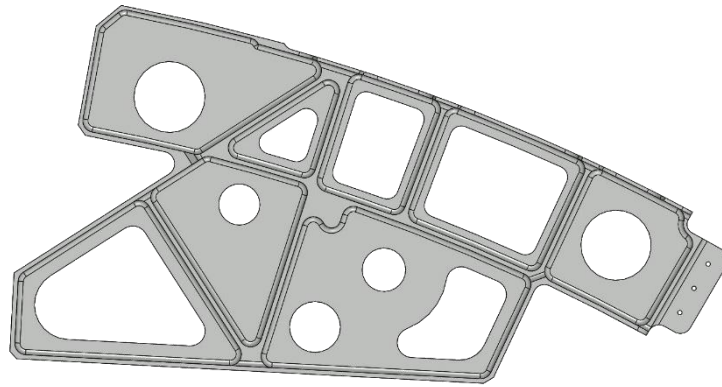
Tvar součásti byl vytvořen pomocí frézování ze základního polotovaru, kterým byla obdélníková deska z hliníkové slitiny. Dále byly vytvořeny elementy různých tvarů, jako například obdélníkové, kruhové či trojúhelníkové otvory, zaoblení o různých průměrech, žebra, výřezy na jedné straně součásti apod. Konkrétní rozměry dílu zachycuje příloha č. 1 – výkres součásti. Všechny tyto prvky můžeme vidět na obrázcích níže (obr. 3-3 až 3-6).



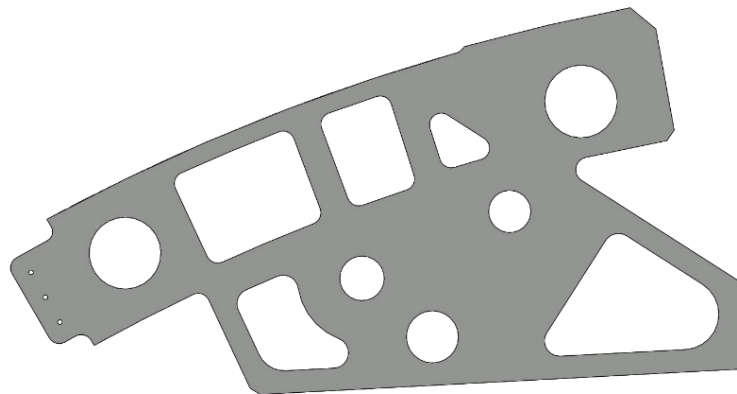
Obr. 3- 3 – Varianta 3 – zvolená součást



Obr. 3- 4 – Varianta 3 – zvolená součást



Obr. 3- 5 – Varianta 3 – zvolená součást



Obr. 3- 6 – Varianta 3 – zvolená součást

Zhodnocení varianty č. 3:

Vybraná součást splňuje všechny předchozí požadavky a doporučení. Díky materiálu a tvarově odlišným otvorům se stává lehkým a zároveň tvarově složitým obrobkem s odlišnými prvky, který bude kvalitně splňovat aplikační funkce, a proto byla vybrána.

Větší rozměry a plochy přinášejí možnost dostatečného prostoru při měření na stacionárním CMM. Dále díky rozměrům bude možno vytvořit kvalitní systém upnutí, který bude dostatečně tuhý, ale zároveň jednoduchý a rychlý.

V další části kapitoly 3 bude součást použita k návrhu konstrukce přípravku.

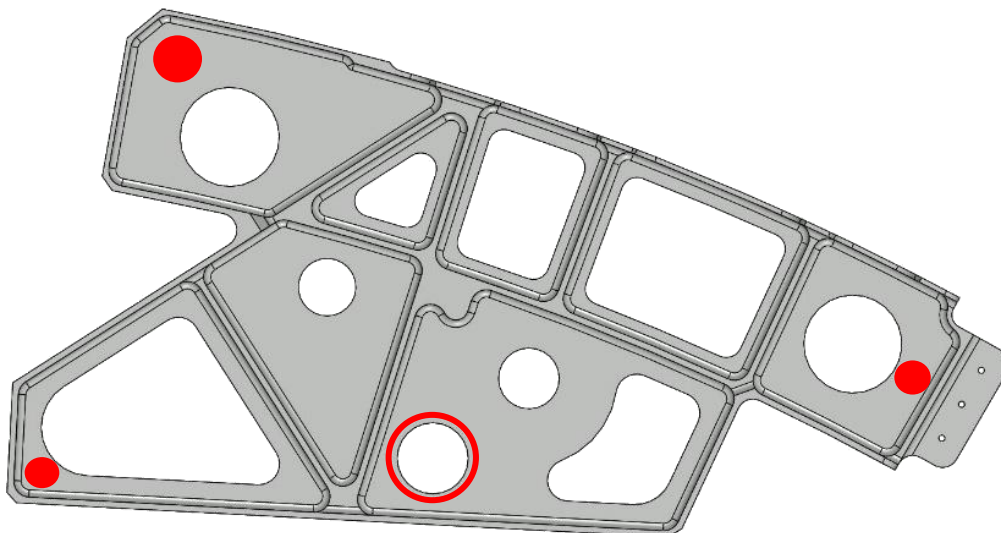
3.2. Návrh konstrukce přípravku

Dalším krokem ke splnění cílů práce je návrh konstrukce přípravku. Tato podkapitola navazuje na výběr součásti, pro kterou byl přípravek navrhován. Návrh konstrukce přípravku záležel zcela na autorovi a pod odborným vedením bylo vytvořeno několik řešení.

Na začátku kapitoly byly stanoveny požadavky na přípravek, kterých bylo dodrženo už při výběru součásti, nicméně budou hrát důležitou roli i zde. Konstruktor musí dodržovat několik zásad, aby byl přípravek funkční a splňoval očekávání zákazníka, viz. kapitola 1.4. Strojní přípravky, kde byly hlavní zásady zmíněny, a také na začátku kapitoly 3, kde jsou hlavní požadavky zákazníka.

Z těchto požadavků a zásad vyplynula základní konstrukce neboli rám. Byly zvoleny hliníkové profily, které jsou dostatečně tuhé a oproti deskám splňují hmotnostní parametry pro přenos přípravku. Ke spojení jednotlivých profilů byly použity rohové spojky se šrouby a matice do T – drážky. Další použité upínací prvky budou popsány u jednotlivých konstrukčních řešení. Požadavkem zákazníka bylo, aby se každý prvek dal snadno rozebrat a vyměnit.

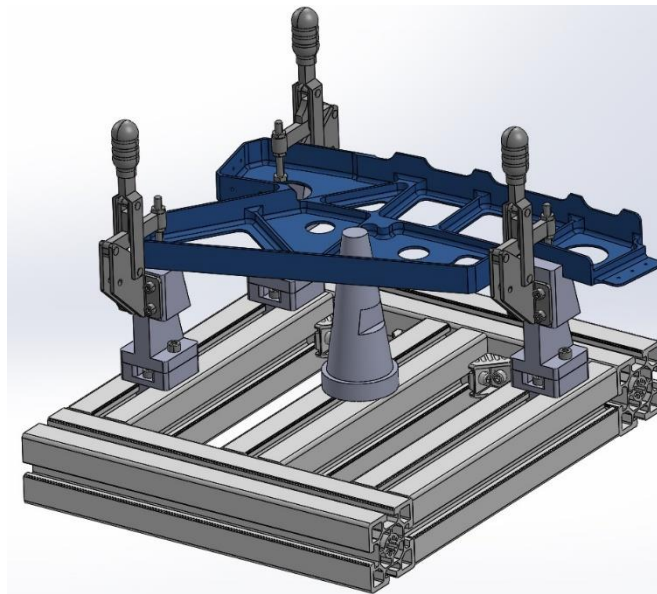
Za prvé muselo dojít z hlediska konstrukce k rozvržení upínacích ploch (základů) na součásti. Bylo vybráno pět míst, které poslouží jako upínací plochy nebo dorazy. Zásadním elementem byl zvolen otvor o $\varnothing 29$ mm, který sloužil jako vymežující doraz pro pohyb v ose X a Y. Tyto místa včetně otvoru jsou červeně znázorněny na obrázku (obr. 3-7).



Obr. 3- 7 – Výběr upínacích ploch

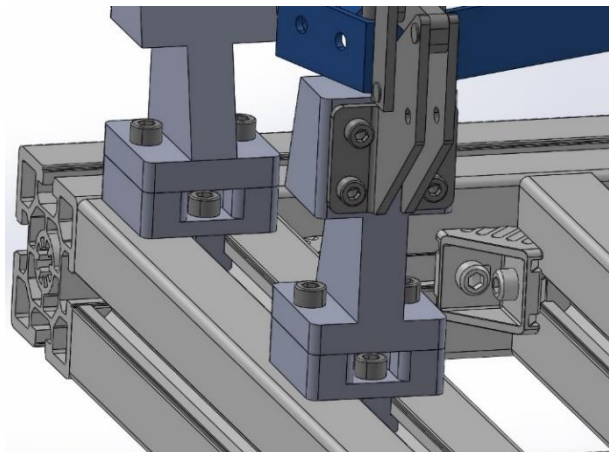
3.2.1. Konstrukční varianta č. 1

První varianta představuje prvotní konstrukční návrh přípravku. Jednalo se zde především o to, na čem bude přípravek stavěn. Jako hlavní nosná konstrukce byl zvolen rám, který byl vytvořen z hliníkových profilů a spojen rohovými spojkami pomocí šroubů a matic do T – drážek. Tím byla vytvořena základna pro další upínací prvky. Jedná se o univerzální stavebnicový systém, který musel splňovat jednoduché a opakovatelně rozebíratelné spojení, tudíž byla použita kombinace typizovaných prvků a autorem navržených prvků (obr. 3-8).



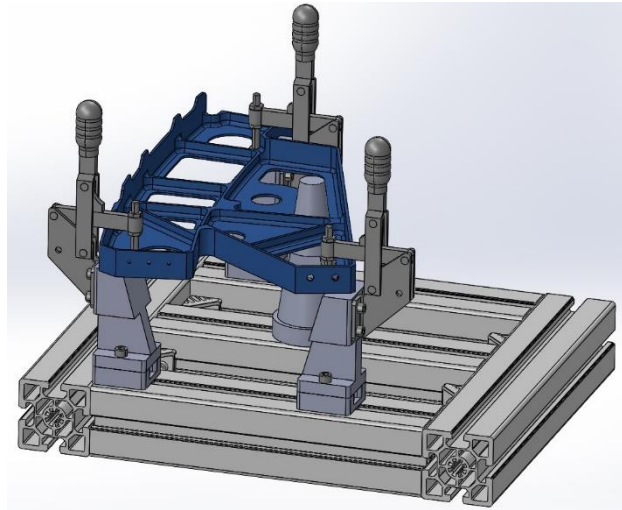
Obr. 3- 8 – Konstrukční varianta 1

Do rámu byly upnuty navržené podstavové elementy, které současně sloužily jako vedení pro dorazové prvky (obr. 3-9). Dorazové prvky byly do podstav upnuty pomocí šroubů, aby bylo možné s nimi jednoduše manipulovat a následně celou podstavu posunout v drážce profilu na jiné místo.



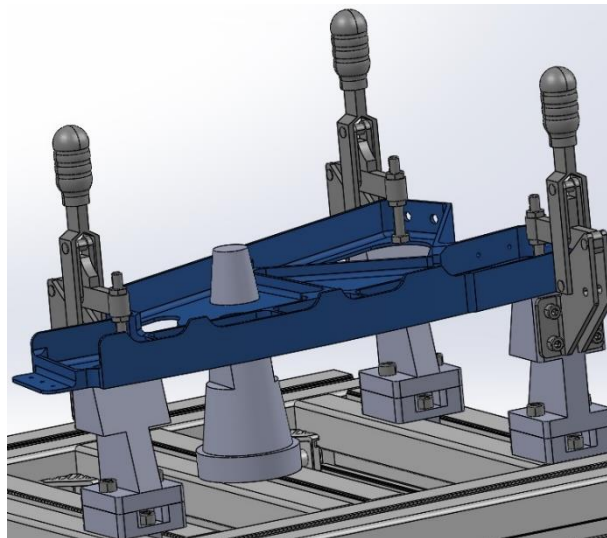
Obr. 3- 9 – Konstrukční varianta 1

Pro upevnění součásti k dorazům byly vybrány mechanické upínače. Svislé upínky představují jednoduchý a rychlý systém upínání, takže se vhodně hodily do celkového systému upínání přípravku (obr. 3-10). Koncové utahovací šrouby jsou umístěny na vybraná místa na součásti.



Obr. 3- 10 – Konstrukční varianta 1

Posledním dorazovým prvkem je kužel vedený přímo z rámu do otvoru o $\varnothing 29$ mm, který byl zvolen jako konstrukční právě pro tuto aplikaci. Kužel je v půlce opatřen drážkami, aby ho bylo možné pomocí maticového klíče pořádně dotáhnout a byl dostatečně tuhý v celé sestavě (obr. 3-11).



Obr. 3- 11 – Konstrukční varianta 1

Zhodnocení návrhu varianty č. 1:

Výhodami první varianty je správné umístění dorazových prvků, správné zvolení základní konstrukce – hliníkové profily, ze kterých se bude vycházet v dalších variantách.

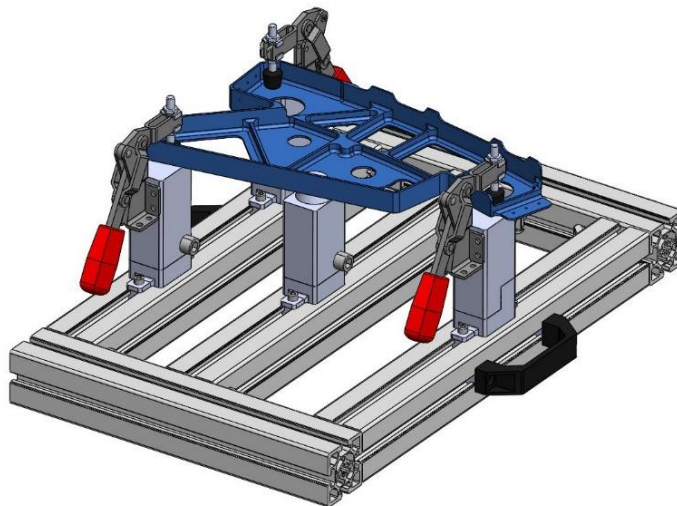
Nevýhody vyšly najevo zejména ve svislých upínkách, které by mohly zavázet při měření na CMM a také dorazové prvky, které není možné nastavovat ve všech osách.

3.2.2. Konstrukční varianta č. 2

V druhém návrhu byly opraveny nedostatky z první varianty novým řešením. Dalším požadavkem bylo vytvořit konstrukci přípravku tak, aby se s každým dorazovým prvkem dalo posouvat ve všech osách (X, Y a Z). Navrhované řešení je znázorněno na následujících obrázcích.

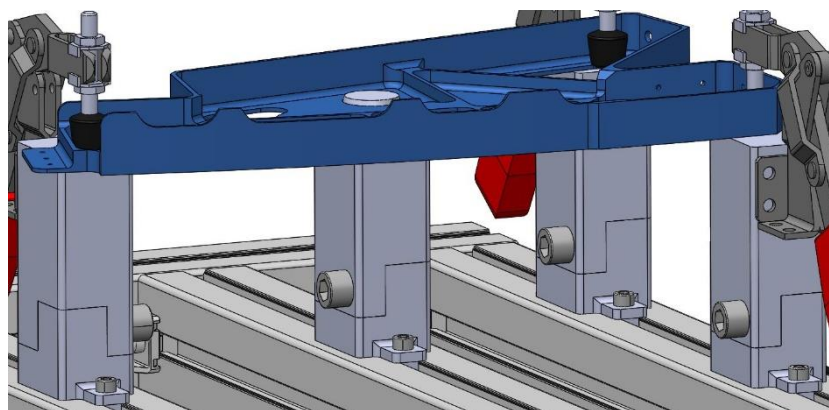
Druhá konstrukce rozvíjí výhody, a naopak se zaměřuje na opravení chyb z řešení prvního. Došlo ke zvětšení hliníkových profilů v porovnání s předchozí variantou, konkrétně na obdélníkový profil 450 x 350 mm.

Základní nevýhodou byly svislé upínky, které měly pákové vedení směrem vzhůru, a tím by mohlo dojít ke kolizi s CMM při měření. Byly tedy nahrazeny znovu svislými upínkami, ale s pákovým vedením směrem dolů, aby nepřekážely při provádění měření. Byly přidány madla z obou stran pro přenos přípravku (obr. 3-12).



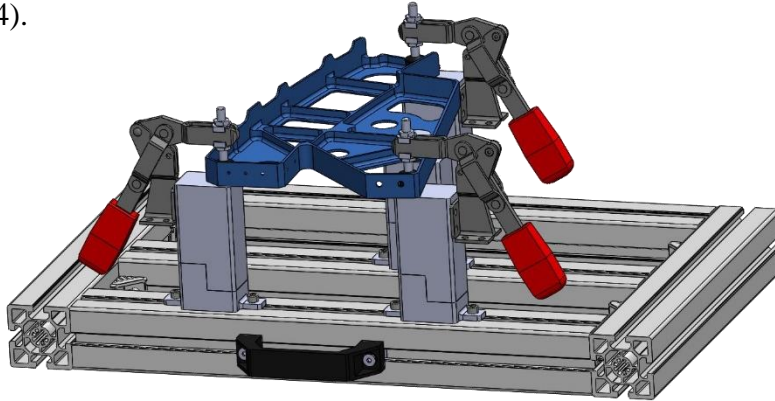
Obr. 3- 12 – Konstrukční varianta 2

Podstavy byly vyměněny za nové, které bylo možné volně posouvat ve všech osách. Základním rozdílem bylo dotažení k podstavě pouze jedním šroubem, tudíž lze velmi jednoduše doraz uvolnit a posunout v jakémkoliv směru, jak je znázorněno na obrázku (obr. 3-13).



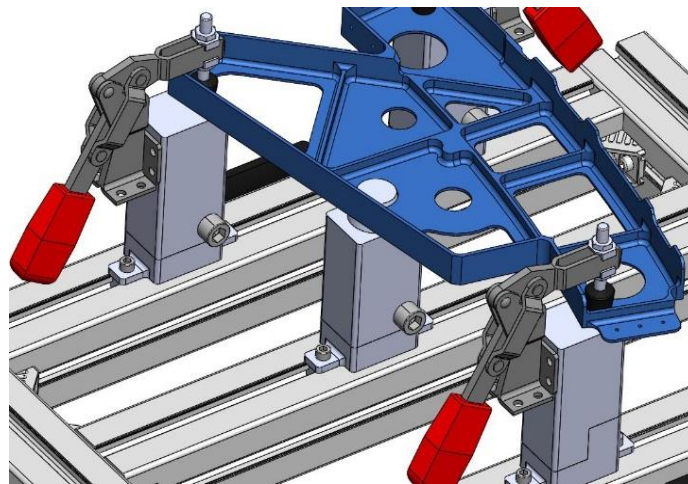
Obr. 3- 13 – Konstrukční varianta 2

Svislé upínky s pákou nahoru byly nahrazeny upínkami s pákou směrem dolů. Nyní by při měření neměly zbytečně překážet a tím i samotné měření zjednodušit. Koncové prvky v podobě upínek se opět situovaly na oblasti určené k upnutí dle obrázku (obr. 3-7) a na konce upínacích šroubů byly přidány vulkanizované hlavy z důvodu opotřebení součásti v místech upnutí (obr. 3-14).



Obr. 3- 14 – Konstrukční varianta 2

Doraz v podobě kuželu prošel také obměnou. Přizpůsobil se design podle ostatních dorazových prvků, aby celkový návrh konstrukce působil kompaktně a bylo možné i tento prvek posouvat ve všech osách. Systém upnutí zůstal jako u ostatních dorazů stejný (obr. 3-15).



Obr. 3- 15 – Konstrukční varianta 2

Zhodnocení návrhu varianty č. 2:

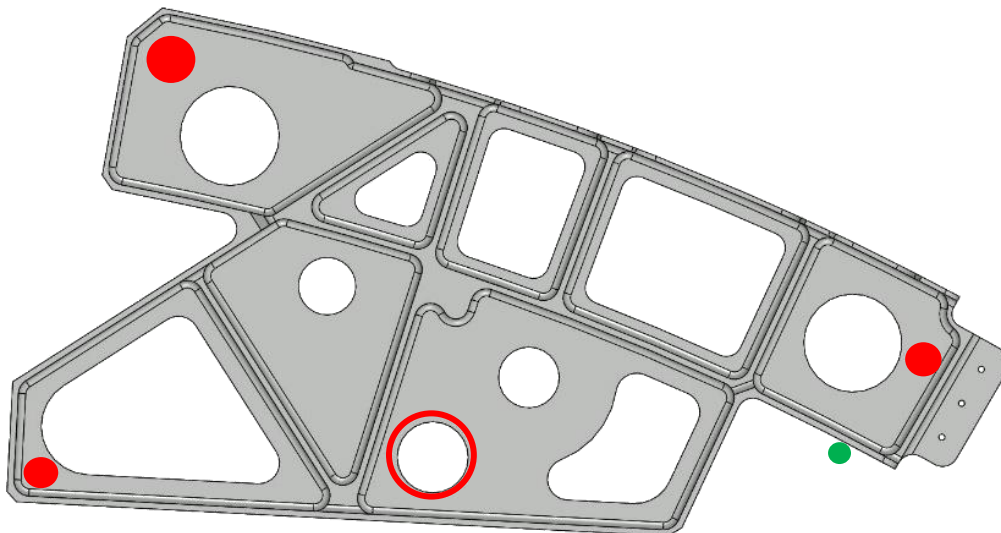
Opravily se chyby minulé varianty, které však svým řešením úplně neodpovídaly konečnému a žádoucímu výsledku. Po konzultaci došlo k uvědomění, že není možné šroub v podstavách volně posouvat v každé ose, tudíž bude muset dojít k opravení a navržnutí jiného, variabilního řešení. Vlivem opotřebení a dosedání součásti na otvor o $\varnothing 29$ mm vyšlo najevo, že bude nejlepší, když bude kužel pružně pohyblivý, což zapříčiní vždy dosažení opakovatelného přesného upnutí. Dále bylo požadováno zamezení rotace okolo osy Z jinak než pouze upínkami.

3.2.3. Konstrukční varianta 3 - finální

Třetí konstrukční řešení sdružuje výhody a nevýhody předchozích variant, na které bylo poukázáno během navrhování přípravku. Primární změnou je jiné konstrukční řešení podstav pro dorazové prvky. Byl navržen systém, který kombinuje jednoduché upínání s možností nastavování ve všech osách. Další opravou je navrhnutí řešení pro kužel, který by dovozoval pohyb v ose Z, aby nedocházelo k opotřebení dílu a součást mohla být vždy přesně upnuta. Pro vymezení rotačního pohybu okolo osy Z byl přidán dorazový prvek. Všechny opravná řešení budou popsána níže.

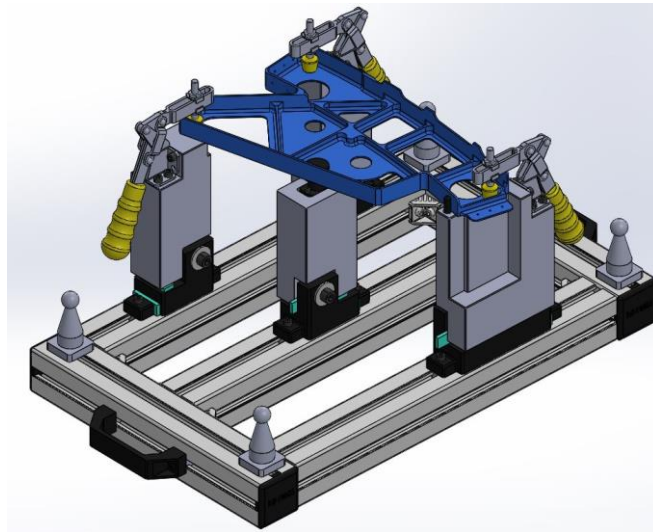
Oproti variantě 2 byl opět zvýšen rozměr obdélníku základní konstrukce na konečný rozměr 620 x 380 x 60 mm. Ke zvětšení rozměrů došlo hlavně z důvodu většího prostoru při měření na stacionárním CMM a také z důvodu umístění lokalizačních koulí, v jejichž prostoru by při provádění měření nemělo nic bránit.

Před samotným navrhováním došlo k menší úpravě rozmístění upínacích ploch. Na obrázku červeně znázorněné body zůstaly stejné, ale z předchozích variant vyplynulo nové – zeleně znázorněné místo (obr. 3-16). Jedná se o dorazové místo, které bude zabraňovat v rotačním pohybu okolo osy Z.



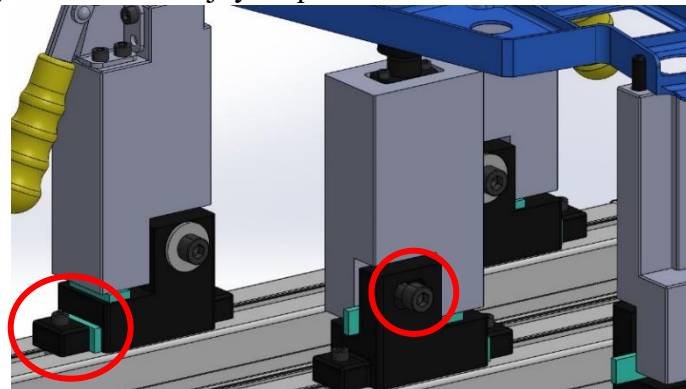
Obr. 3- 16 – Konečné rozvržení upínacích ploch

Koncept třetí varianty je znázorněn na obrázcích (obr. 3-17 až 3-20). Na prvním obrázku (obr. 3-17) si lze všimnout několika jiných prvků oproti předchozím variantám. Rámový systém zůstal stejný, jen se zvětšila jeho velikost. Větší rozměr rámu zajišťuje dostatečný prostor při měření součásti na stacionárním CMM a dostatečný prostor kolem lokalizačních koulí, které byly umístěny do každého rohu přípravku. Koule byly umístěny na tyto pozice pouze z ilustračního důvodu, jejich přesné umístění bude znázorněno až při montáži přípravku. Do návrhu byly přidány světle modré destičky (o tloušťce 5 mm), které prezentují nastavitelný pohyb ve všech osách právě o vůli 5 mm. Při realizaci se bude nejspíš jednat o normalizované měřky nebo přesně broušené destičky.



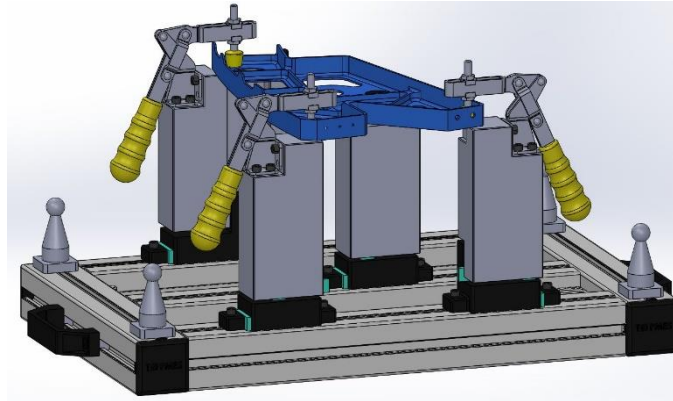
Obr. 3- 17 – Konstrukční varianta 3

Problematiku nastavení polohy ve všech osách zobrazuje obrázek (obr. 3-18). Černé podstavy byly opatřeny drážkou tak, aby do každého směru byla vůle 5 mm, jež zajistí nastavování libovolné polohy v rozmezí daných hodnot. Dále drážkou prostupuje do dorazového prvku šroub M10, ten je i kvůli zakrytí drážky opatřen podložkou, který k sobě přitáhne podstavu a doraz, a tím zajistí dostatečně tuhé spojení. Také byl přidán boční doraz pro nastavování prvků v poslední ose. Tento systém je znázorněn na obrázku červeně a je řešen u všech čtyřech stojných elementů stejným způsobem.



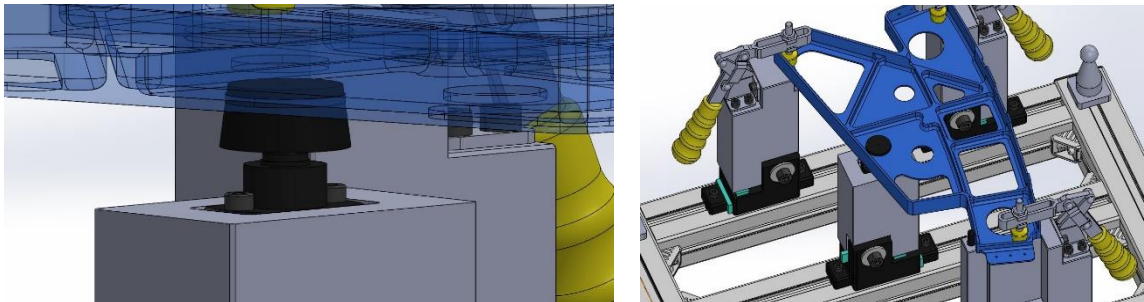
Obr. 3- 18 – Konstrukční varianta 3

Úpravou prošly opět i upínky. Vodorovné upínky s pákou dolů nahradily svislé upínky. Výměna byla zvolena z konstrukčního hlediska, ale i ekonomického, kdy změnou výroby došlo k ušetření finančních prostředků. Z bočního pohledu je vidět, že upínače byly pomocí šroubů upnuty do přesného vybrání na dorazových prvcích, aby bylo umožněno upnutí na zvolených místech (obr. 3-19).

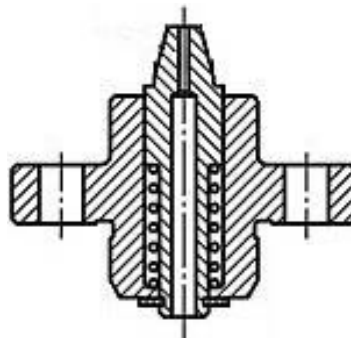


Obr. 3-19 – Konstrukční varianta 3

Z varianty 2 vyplynula změna návrhu ustavení součásti ve zvoleném otvoru. Požadavkem bylo vymyslet pružné řešení pro opakovatelně přesně upnutí a menší opotřebení součásti v otvoru. Vrchol jednoho z dorazových prvků byl opatřen pružnou podpěrou, jejíž konstrukční řešení je znázorněno na obrázku (obr. 3-21). Na kuželovou plochu byla přidělena návlečná hlava, která zajistí správné dosednutí otvoru součásti na $\varnothing 29$ mm.



Obr. 3-20 – Konstrukční varianta 3

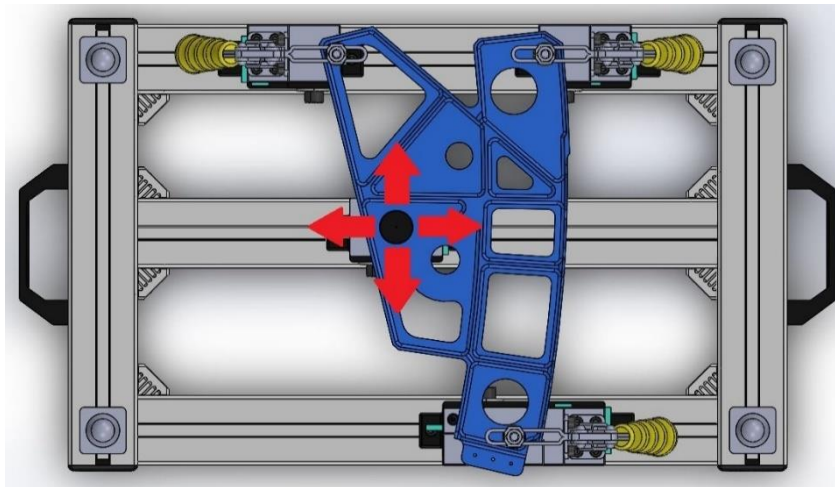


Obr. 3-21 – Konstrukční řešení pružného elementu [29]

Vymezení stupňů volnosti

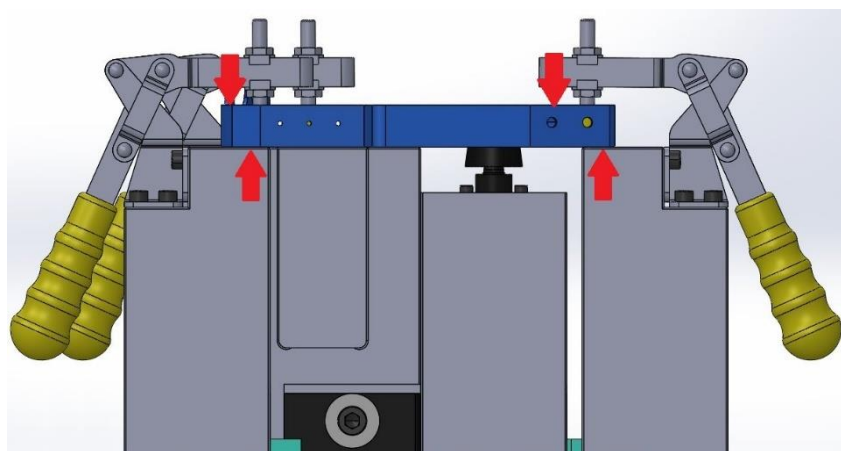
Každé těleso v prostoru má šest stupňů volnosti, které je potřeba odebrat pro správné ustavení součásti v přípravku, jak uvádí podkapitola 1.1. ustavení tělesa v prostoru. Při navrhování bylo zaměřeno na tuto problematiku s následujícím řešením vymezení stupňů kontrolované součásti upnutím do přípravku.

Prvním prvkem k ustavení součásti je kužel vytvořený pro dosednutí otvoru na $\varnothing 29$ mm. Dosednutím na kužel je vymezeno posuvných pohybů v ose X a Y, jak znázorňují červené šipky na obrázku (obr. 3-22).



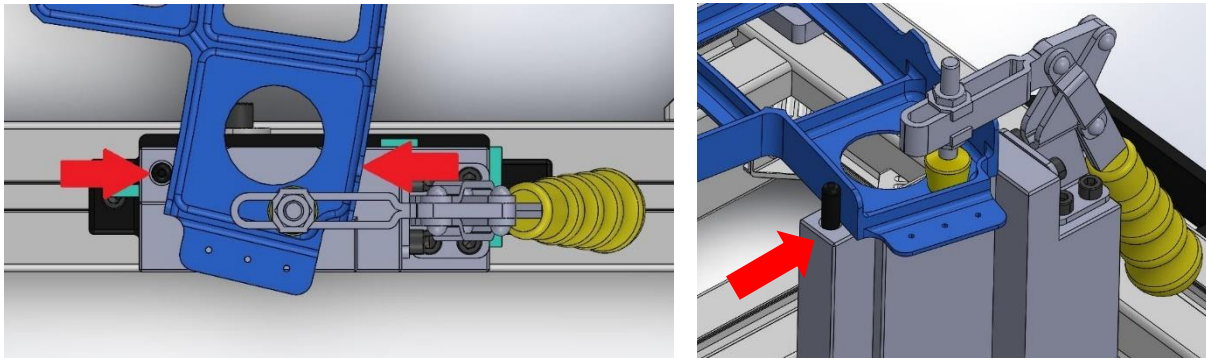
Obr. 3- 22 – Vymezení posuvného pohybu v ose X a Y

Odebrání stupňů volnosti je zajištěno, pro posuvný pohyb v ose Z a rotační pohyb v osách X a Y, jednotlivými dorazovými prvky z jednoho směru a z druhého upínkami, které značí červené šipky na obrázku (obr. 3-23).



Obr. 3- 23 – Vymezení posuvného pohybu v ose Z a rotačního v osách X a Y

Rotační pohyb okolo osy Z představuje poslední stupeň volnosti součásti. Ten je odebrán pomocí kolíku a upínek, jak je znázorněno červenými šipkami na obrázku (obr. 3-24). Tím byly odstraněny všechny stupně volnosti součásti po upnutí do přípravku, a tak se stává dostatečně tuhou pro měřící aplikace.



Obr. 3- 24 – Odebrání posledního stupně volnosti rotačního pohybu okolo osy Z

Zhodnocení návrhu varianty č. 3:

Konstrukční řešení kombinovalo výhody a opravení nevýhod předchozích variant. Vytvořil se koncept přípravku, jež splňoval všechny požadavky zadavatele, a tak byl vybrán jako konečné řešení, které bude realizováno výrobou a montáží.

Splnění cílů kapitoly:

Prvním úkolem byla volba součásti. Postupně bylo vybíráno mezi třemi variantami a konečnou součástí byla zvolena varianta tři. Součást splňovala všechny potřebné požadavky k tomu, aby na ní mohl být navrhnout přípravek a sloužila k prezentaci měření.

Po vybrání součásti se navrhovala konstrukce přípravku. Byly představeny tři koncepty, kdy první dva nebyly vhodné, tudíž z výhod a nevýhod těchto variant vyplynulo třetí konstrukční řešení, které již odpovídalo všem zadaným požadavkům a bylo zvoleno pro následnou výrobu a montáž.

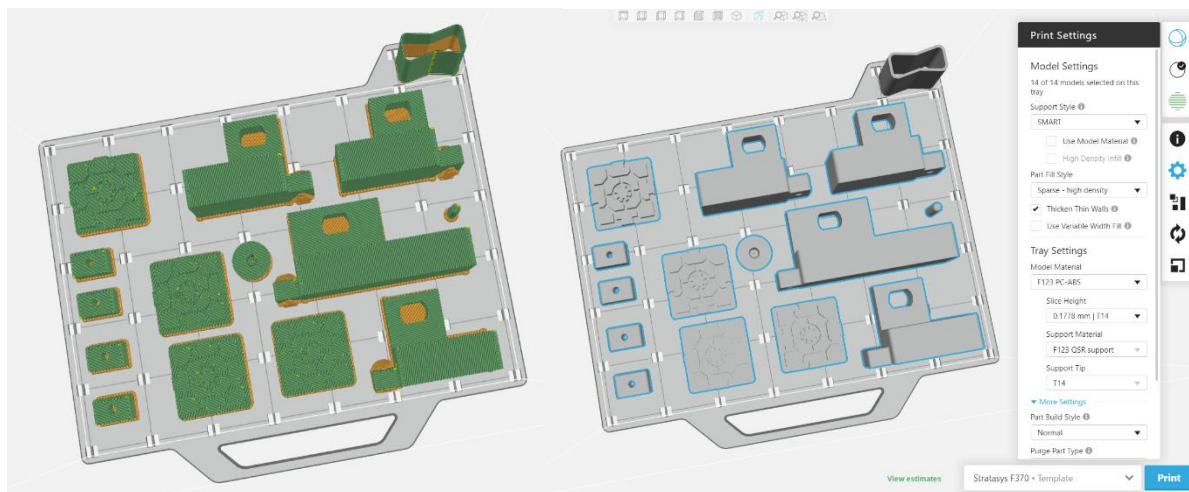
Následující kapitola bude věnována výrobě součástí a montáži přípravku, na kterém se základním měřením ověří jeho funkčnost.

4. Výroba a montáž přípravku s následným ověřením funkčnosti

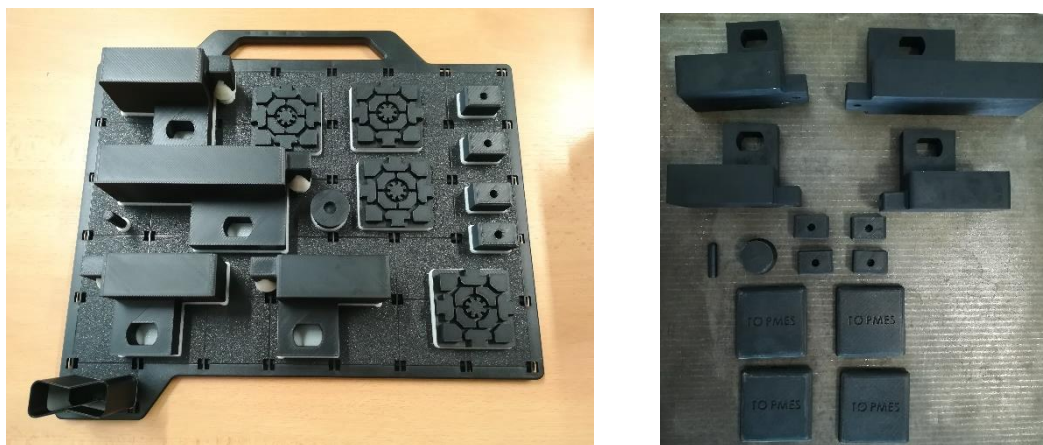
Poslední kapitolou a celkovým završením práce je realizace navrhované konstrukce přípravku. K jeho vytvoření byl zvolen univerzální přístup, který se skládal z kombinace nákupu normalizovaných (typizovaných) prvků či součástí a dále z výroby prvků. Jednotlivé elementy, jež byly vyrobeny dvěma rozdílnými technologiemi, budou představeny níže. Byly zvoleny technologie obrábění, konkrétně frézování a tvorba prvků pomocí 3D tisku.

3D tisk

3D tisk patří mezi moderní technologie, kterými lze relativně rychle a snadno vyrobit i složitější díly. Využití nachází především v oblasti prototypů. Do této práce byl vybrán právě z důvodu rychlé výroby složitějších prvků, jež by pomocí konvenčních metod trvaly dlouho nebo by jejich výroba byla obtížnější. Na obrázcích je vidět nastavení a rozložení součástí na podložce (obr. 4-1), které byly vtištěny z černého plastového materiálu PC-ABS, o výšce vrstvy 0,178 mm, v tiskárně Stratasys F370 (obr. 4-2). Čas tisku byl po zaokrouhlení 31 hodin.



Obr. 4-1 – Rozvržení součástí na paletě pro 3D tisk – SW GrabCAD



Obr. 4-2 – Vytvořené díly 3D tiskem

Obrábění

Prvky, které nebyly koupené nebo vyrobené 3D tiskem, se zpracovaly pomocí obrábění. Základním polotovarem byla čtyřhranná tyč o rozměrech 80 x 80 x 500 mm a tyč plochá o rozměrech 160 x 80 x 170 mm z hliníkové slitiny EN AW 6082. Cílem obrábění bylo vytvořit dva dorazové prvky o rozměrech 50 x 80 x 170 mm, jeden 50 x 80 x 145 mm a jeden 140 x 80 x 170 mm, jejichž plochy mají sloužit k dosednutí a následnému upnutí kontrolované součástky pomocí upínek nebo zajištění polohy pomocí pružného kuželu.

Za prvé bylo nařezání polotovaru na čtyři kvádry na hrubé rozměry (obr. 4-3 a 4-4).



Obr. 4-4 – Řezání polotovaru



Obr. 4-3 – Nařezané polotovary

Následovalo upnutí jednotlivých dílů a frézování rozměrů na čisto. (obr. 4-5 a 4-6).



Obr. 4-6 – Frézování na přesné rozměry

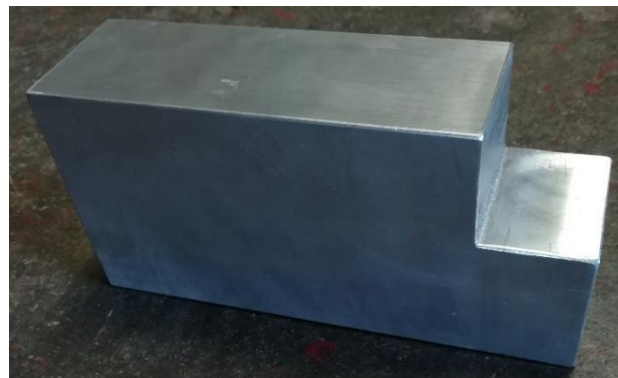


Obr. 4-5 – Vytvořené kvádry

V navazující operaci bylo potřeba u třech stojných prvků vytvořit vybrání, do kterých se při montáži budou upínat upínky (obr. 4-7 a 4-8).



Obr. 4-8 – Frézování vybrání



Obr. 4-7 – Vzniklé vybrání

Předposlední operací byly vyrobeny kapsy (obr. 4-9 a 4-10). Ty budou mít především funkci dosedacích ploch na podstavy dorazů, ale také zapříčiní úbytek váhy prvků, což se podepíše na celkové váze přípravku.



Obr. 4- 10 – Obrábění kapes



Obr. 4- 9 – Vyfrézované kapsy

V závěrečné operaci došlo k vrtání děr a řezání závitů (obr. 4-11 a 4-12). Na každém prvku byl v dolní části uprostřed kapsy vyřezán závit M10. U třech prvků byly vyřezány závit M6 pro upnutí upínek v horní části, zatímco u posledního byly vytvořeny dva závit M4.



Obr. 4- 12 – Řezání závitu M10



Obr. 4- 11 – Závity M10

K dokončení jednotlivých prvků bylo potřeba zabrousit hrany pilníkem a zkontrolovat, zda zhotovení dílů proběhlo v souladu se zadáním. Vyrobené obrobky jsou znázorněny na obrázcích (obr. 4-13 a 4-14).



Obr. 4- 14 – Vyrobené díly



Obr. 4- 13 – Vyrobené díly

Koupené prvky

Součásti, které nebyly vyrobeny již zmíněnými technologiemi, byly pořízeny od různých výrobců na trhu. Byly nakoupeny hliníkové profily a rohové spojky od firmy Bosch Rexroth, spol. s.r.o., dále upínky od společnosti JC – Metal s.r.o. a zbytek prvků od výrobce Heinrich Kipp Werk KG (obr. 4-15).



Obr. 4- 15 – Nakoupené díly

Montáž přípravku

Po výrobě a nákupu součástí byla upínací stavebnice přípravku připravena k montáži. Všechny potřebné prvky ke složení přípravku jsou znázorněny na obrázku (obr. 4-16).



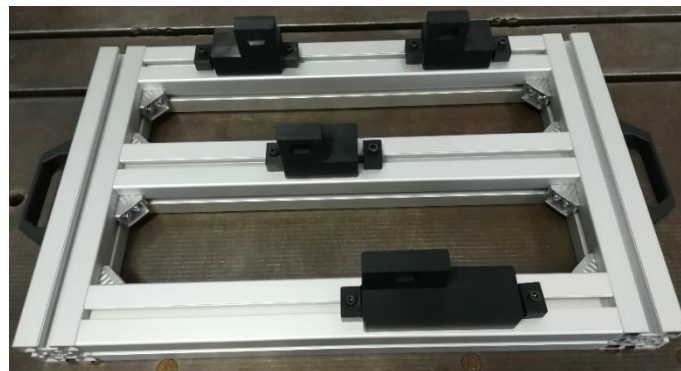
Obr. 4- 16 – Upínací stavebnice

V prvním kroku byl postaven základní rám konstrukce. Ten byl vytvořen hliníkovými profily a spojen rohovými spojkami pomocí šroubů a T – matic v drážce profilů. Byly přidány madla z dvou stran přípravku pro možnost přenosu (obr. 4-17).



Obr. 4- 17 – Příprava rámu

Na základní rám se upnuly stejným systémem, pomocí šroubů a matic do T – drážek, podstavy pro dorazové prvky a boční dorazové kostky u každého elementu pro nastavování polohy v ose X (obr. 4-18).



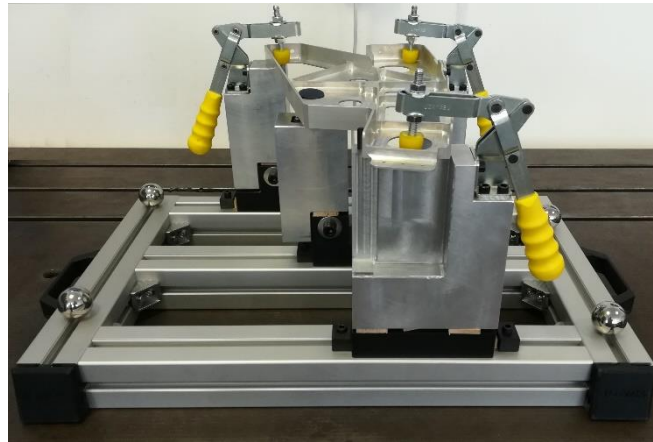
Obr. 4- 18 – Upnutí podstav

Dále se nejprve upnuly upínky prostřednictvím šroubů M6 u třech dorazových prvků. U čtvrtého se pomocí šroubů M4 přidělal k dorazové stojně pružný prvek, na který se přidělal návlečný kuželový element pro správné dosednutí otvoru součásti o \varnothing 29 mm (obr. 4-19).

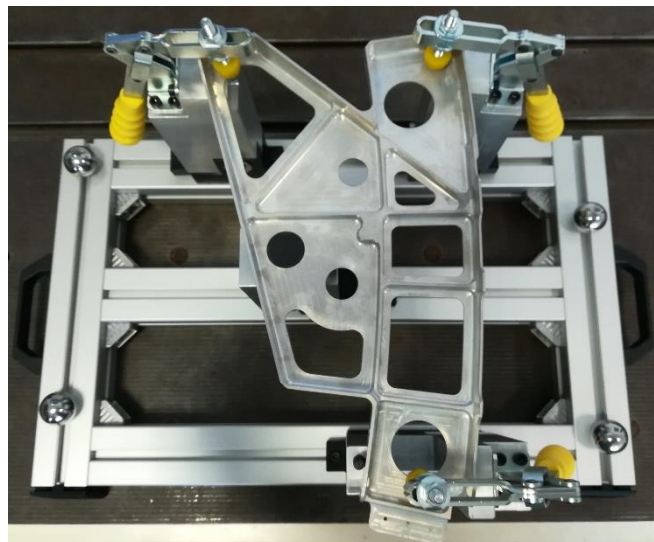


Obr. 4- 19 – Přidání dorazových prvků s upínkami

Posledním krokem ke složení přípravku je upnutí součásti na příslušných místech upínacími prvky. Hlavní úkol plní především koncové elementy – upínky, které dotáhnou součást na dorazové plochy a vytvoří dostatečnou tuhostí nehybnou součást (obr. 4-20 až 4-22).



Obr. 4- 20 – Složený přípravek – upnutí součásti



Obr. 4- 21 – Složený přípravek – upnutí součásti



Obr. 4- 22 – Složený přípravek – upnutí součásti

Ověření funkčnosti přípravku

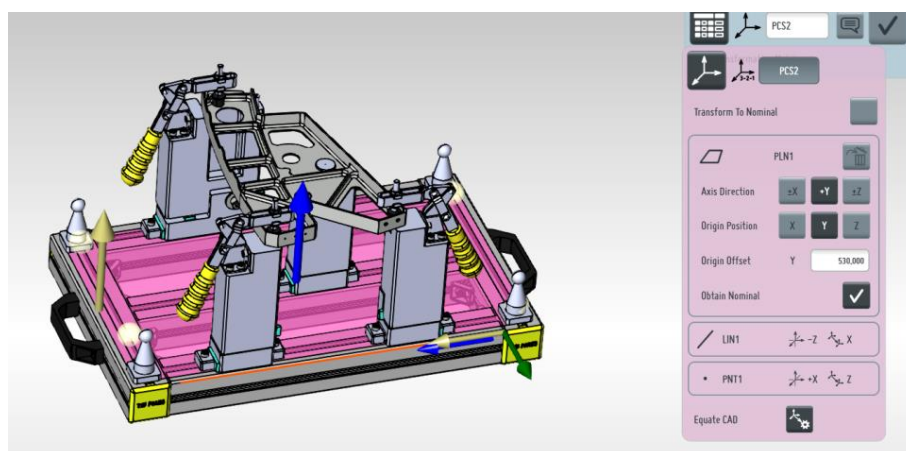
Funkčnost přípravku byla ověřena RPS vyrovnáním a kontrolním měřením několika elementů součásti. Měření proběhlo pomocí měřicího ramena Nikon MCAX (obr. 4-23). Nejdříve proběhlo vyrovnání součásti, následovalo zaměření pomocí lokalizačních koulí umístěných na přípravku a poté došlo k samotnému měření. Vyrovnání proběhlo metodou RPS dle požadavků zadavatele zaměřením lokalizačních koulí. Pro ověření funkčnosti bylo provedeno základní měření elementů dílu.



Obr. 4- 23 – Měřicí rameno Nikon MCAX H120

Vyrovnání součásti

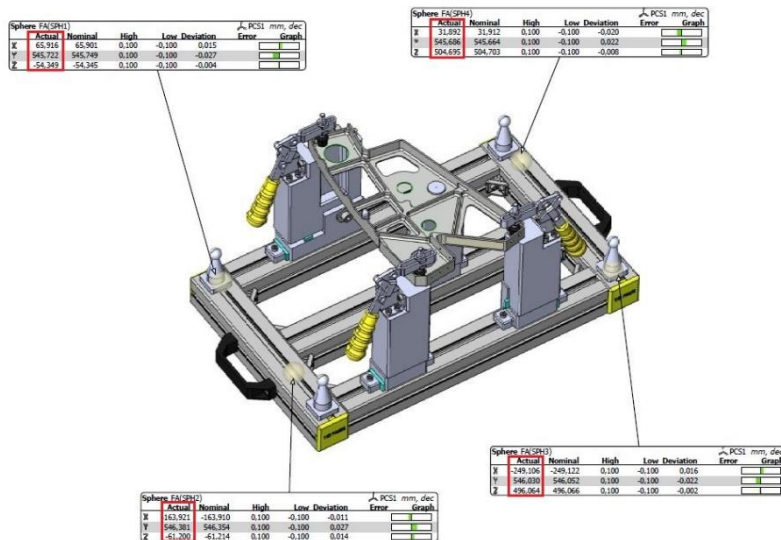
Před samotným měřením bylo nejprve provedeno vyrovnání součásti standardní metodou 3-2-1, které je znázorněné na obrázku (obr. 4-24). Pro volné tvary se v praxi obvykle používá spíše metoda best – fit, nicméně pro účel ověření funkčnosti přípravku standardní metoda postačila.



Obr. 4- 24 – Vyrovnání součásti v přípravku metodou 3-2-1

Zaměření RPS koulí

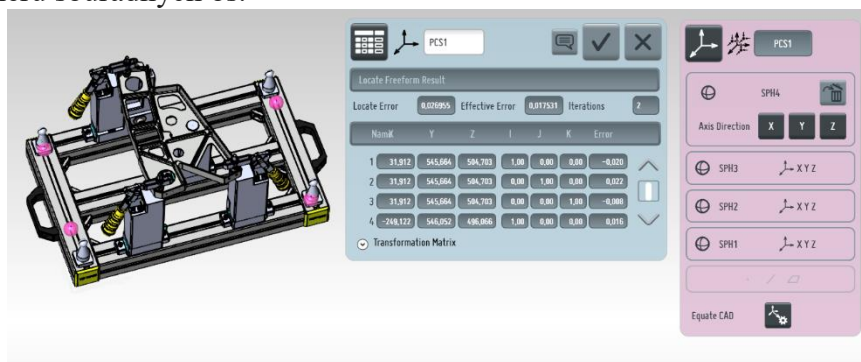
Dalším krokem bylo zaměření RPS koulí, jejichž aktuální souřadnice jsou zvýrazněny na obrázku (obr. 4-25).



Obr. 4- 25 – Souřadnice zaměřených RPS lokalizačních koulí

Vyrovnání RPS metodou

Po vyrovnání součásti a zaměření RPS lokalizačních koulí následovalo, dle požadavků zadavatele, vyrovnání metodou RPS přes lokalizační koule, které jsou na obrázku znázorněny růžově (obr. 4-26). Dále si lze všimnout na obrázku modré tabulky, ve které je zobrazena transformační matice souřadného systému a maximální chyba vyrovnání (BEST-FIT na 4 lokalizační koule) je 0,027 mm, která odpovídá maximální odchylce ze všech lokalizačních koulí a všech směrů souřadných os.

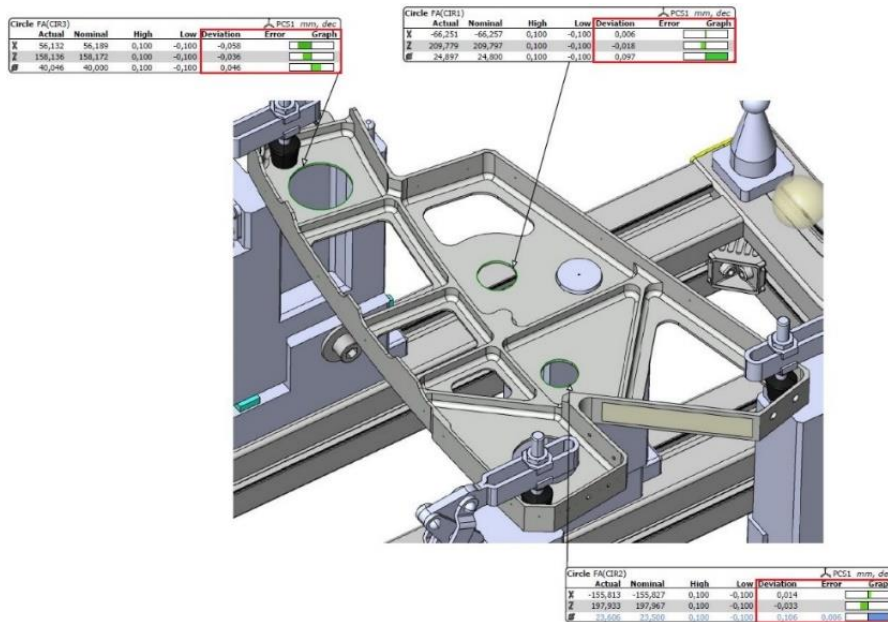


Obr. 4- 26 – Vyrovnání součásti metodou RPS

Měření základních elementů

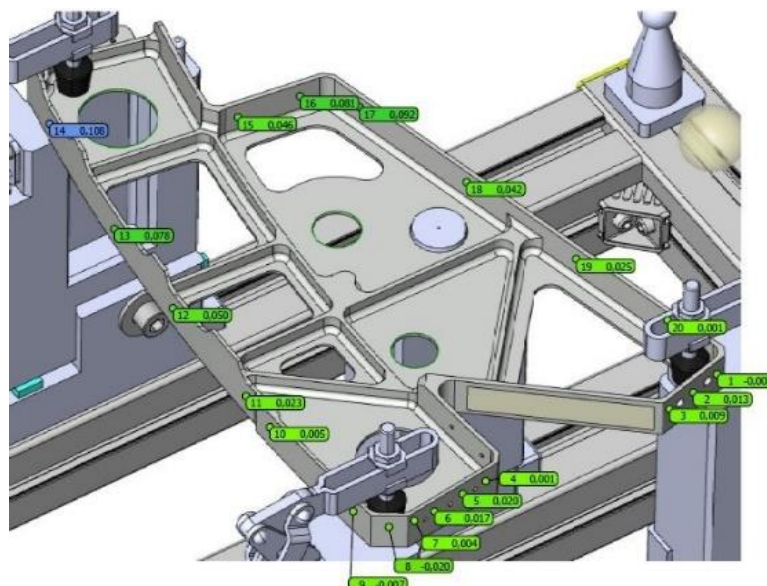
Pro ověření funkčnosti přípravku, s RPS vyrovnáním součásti, bylo provedeno základní měření s horní tolerancí 0,100 mm a dolní - 0,100 mm. Kompletní protokol o měření je součástí příloh.

Na součásti se kontrolovaly tři kruhové otvory o různých průměrech. Hodnoty prvních dvou otvorů splňovaly nastavenou toleranci, zatímco třetí hodnota průměru byla mimo (obr. 4-27). Hodnota odchylky činila 0,106 mm, z čehož vyplývá 0,006 mm přes zvolené toleranční pásmo.



Obr. 4-27 – Naměřené hodnoty kruhových otvorů

Dalším testovacím elementem bylo zvoleno měření 3D tvaru součásti, kdy se po celém tvaru snímaly jednotlivé body. Naměřené odchylky jsou znázorněny na obrázku (obr. 4-28). Zelené hodnoty jsou v tolerančním poli a splňují rozměrové kritérium součásti. Jediná naměřená hodnota byla mimo a to hodnota, která je na obrázku vyznačena modře. Odchylka činila 0,108 mm, což znamená 0,008 mm přes zvolené toleranční pásmo jako v předchozím měření. Opět by bylo potřeba provést opakované měření, jelikož důvod chyby může být ve špatném měření či pohybem celého přípravku na stole.



Obr. 4-28 – Naměřené odchylky 3D tvaru kontrované součásti

Ekonomické zhodnocení

K uskutečnění výroby přípravku bylo potřeba, buď výroby, nebo nakoupení prvků ke kompletaci celé upínací stavebnice. Finanční prostředky poskytla metrologická společnost Topmes s.r.o., pro kterou byl přípravek vytvářen. Ten bude sloužit pro simulaci reálného stavu (montáže, svařovny atd.). Výsledná kalkulace jednotlivých nákladových položek je uvedena v následující tabulce.

Tabulka 4- 1 – Ekonomická kalkulace nákladů na výrobu přípravku

Nákladové položky	Cena [Kč]
3D tisk	2805,-
Materiál	1900,-
Obrábění	8500,-
Bosch Rexroth spol. s.r.o.	4613,75,-
Heinrich Kipp Werk KG	3554,25,-
JC – Metal s.r.o.	1540,33,-
Σ	22 913,-

Po sečtení všech nákladových položek se dospělo ke konečné částce 22 913,- Kč na realizaci výrobku. Vytvořená upínací stavebnice přípravku je v porovnání s cenovými nabídkami firem, zaměřujících se na tuto problematiku, několikanásobně nižší. Nabízené koncepty univerzálních stavebnic se mohou vyšplhat na částky pohybující se okolo statisíc korun. Požadavek na minimalizaci nákladu lze považovat tímto za splněný.

Splnění cílů kapitoly:

Primárním cílem kapitoly byla realizace přípravku. Vybranými technologiemi byly vyrobeny 2/3 upínacích prvků, zatímco poslední část byla nakoupena různými výrobci. Při nákupu bylo srovnáváno mezi více společnostmi za cílem minimalizace nákladů.

Podle zvolené konstrukční varianty proběhla montáž přípravku s následným upnutím součástí. Poté proběhlo ověření v podobě kontrolního měření s vyrovnáním metodou RPS dle požadavků.

Poslední bodem kapitoly a zároveň celé práce bylo ekonomické zhodnocení projektu. V tabulce 3 jsou uvedeny veškeré nákladové položky, ze kterých vyšla konečná suma na výrobu přípravku.

Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na kontrolu montážních přípravků s využitím souřadnicového měřicího stroje. Z tohoto tématu se odvíjely i jednotlivé kapitoly práce.

V úvodní kapitole byla detailně přiblížena problematika upínání dílců při měření na CMM. Kapitola se zabývá jednotlivými upínacími prvky a strojními přípravky. V návaznosti na strojní přípravky pokračuje práce přehledem upínacích systémů na trhu.

Druhá kapitola definuje souřadný systém při měření na CMM. Důležitým bodem kapitoly je vyrovnání součásti – vztahy systému stroje a dílu dohromady různými metodami.

Ve třetí kapitole jsou využity teoretické znalosti, předchozích kapitol, při návrhu montážního přípravku, s upnutím součásti definované souřadným systémem RPS pro společnost Topmes s.r.o., jež je zadavatelem práce. Prvním krokem byla volba dílce. Konečným materiálem byla zvolena hliníková slitina EN AW 7475 – T7351 a varianta s největší tvarovou složitostí. Následoval návrh konstrukce přípravku pro zvolený díl. Autor byl při řešení omezen pouze požadavky zadavatele, jinak konstrukční návrh záležel zcela na něm. Po dvou řešeních vznikla konstrukční varianta třetí, která již splňovala všechny požadavky na funkčnost a byla zvolena k realizaci přípravku.

Závěrečná kapitola pojednává o výrobě montážního přípravku, ověření jeho funkčnosti a finální ekonomické kalkulaci pro realizaci přípravku. Spojením výroby (3D tisku a obrábění – frézování, na němž se autor podílel) s nákupem prvků byla upínací stavebnice kompletní a přípravek mohl být sestaven.

Přípravek byl po sestavení ověřen měřením, které prokázalo, že vyrobený přípravek je funkční.

Posledním bodem je ekonomické zhodnocení. Zde byla vytvořena tabulka se všemi nákladovými položkami, jež sumarizuje konečnou částku 22 913,- Kč pro výrobu přípravku. Konečná částka je vzhledem k nabízeným produktům na trhu, které mnohdy šplhají mnohonásobně výš, i díky minimalizaci nákladů při nákupu některých prvků přijatelná.

Doporučení v rozvoji práce se nabízí navržení jiných upínacích prvků, které by kupříkladu mohly snížit celkovou váhu přípravku. Další možností je vymyslet systém, který by při stejných požadavcích dokázal upnout tvarově podobnou součást, a tím se stal přípravek univerzálnějším pro dva díly. Další úrovní vývoje přípravku by mohlo být zakomponování automatizace při procesu upínání, například pneumatickým systémem upínání.

Bibliografie

- Introduction to Coordinate Metrology. *Golden hope* [online]. b.r. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <http://www.goldenhope.info/images/files/manual/33.pdf>
- 1] 19].
- ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora*. První vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2514-4.
- 2] 2].
- MAKOŇOVÁ, Ing. *Konstrukce přípravků* [online]. 2012 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: https://digit.isste.cz/files_dum/VY_32_INOVACE_10_3_08.docx
- 3] 3].
- ALI KEYVANI, Ali. Modular Fixture Design for BIW Lines Using Process Simulate. *Semanticscholar* [online]. SWEDEN, 2008 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: https://pdfs.semanticscholar.org/5f41/5e431a4081a310227258711e8fe159b3baa8.pdf?_ga=2.14388020.246971795.1563570718-2120236827.1563570718
- 4] 4].
- Dont forget fixturing. *Quality Mag* [online]. 2016 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/93332-dont-forget-fixturing>
- 5] 5].
- Simplicity key to cmm fixturing. *Quality Mag* [online]. 2004 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/84005-simplicity-key-to-cmm-fixturing>
- 6] 6].
- Hliníkové profily. *Haberkorn* [online]. 2019 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: https://www.haberkorn.cz/data/uploads/Download/Katalog/ss-item-mb_9/book_cz/index.html#13
- 7] 7].
- HORST WITTE - Alufix: Fixturing Modular Systems. <https://www.witte-barskamp.de> [online]. Německo: Horst Witte, 2020 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.witte-barskamp.de/assets/downloads/Kataloge/Modulare-Spannsysteme/ALUFIX/ALUFIX-2019-E-Web1.pdf>
- 8] 8].
- Deska s drážkou. <https://www.halder.com/> [online]. Německo: Erwin Halder KG, 2019 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.halder.com/cz/Produkty/Upinaci-systemy/Upinaci-systemy-s-drazkami/Zakladove-elementy/Zakladova-deska?>
- 9] 9].

- Upínací deska se závitovými otvory. *Www.renishaw.com* [online]. GB:
- 10] Renishaw, 2001-2019 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z:
<https://www.renishaw.com/shop/Product.aspx?Product=R-PC-13450450-12-6>
- Rastrová deska. *Https://www.kipp.cz/* [online]. Německo: HEINRICH KIPP
- 11] WERK KG, 2019 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z:
<https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Upinaci-technika/Modularni-upinaci-technika/Zakladni-prvky/K0801-Rastrove-desky.html>
- RENISHAW CMM fixtures - katalog. *Renishaw: Katalog upinacich prvků*
- 12] [online]. 2018 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://www.renishaw.com/en/cmm-fixtures--20851>
- Upínače. *Jc-metal* [online]. b.r. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z:
- 13] <http://jcmetal.cz/produkty/rychloupinky>
- Strojní přípravky: Prezentace. *Https://slideplayer.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-07-
- 14] 19]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/15275612/>
- Strojirenské přípravky* [online]. In: . b.r., s. 27 [cit. 2019-07-19].
- 15]
- Cmm fixturing goes modular. *Quality mag* [online]. 2004 [cit. 2019-07-19].
- 16] Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/83678-quality-101-cmm-fixturing-goes-modular>
- Modular fixturing how it works. *Quality Mag* [online]. 2018 [cit. 2019-07-19].
- 17] Dostupné z: <https://www.qualitymag.com/articles/94424-modular-fixturing-how-it-works>
- Zeiss CARFIT - Kit System Catalog. *Www.zeiss.com* [online]. Německo: Junker
- 18] a Partner Carl Zeiss, 2016 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z:
[https://applications.zeiss.com/C1257A26006EFF9E/0/67FF058803B5AE46C12581A70026153E/\\$FILE/ZEISS_CARFIT_Catalog_Kit_Systems_2016_EN_68_070_0006I.pdf](https://applications.zeiss.com/C1257A26006EFF9E/0/67FF058803B5AE46C12581A70026153E/$FILE/ZEISS_CARFIT_Catalog_Kit_Systems_2016_EN_68_070_0006I.pdf)

- Mitutoyo Fixtures - Eco - Fix. *Mitutoyo* [online]. 2018 [cit. 2019-07-19].
19] Dostupné z: [http://www.mitswe.se/files/PRE1403\(2\)_Mitutoyo_Fixtures_WEB.pdf](http://www.mitswe.se/files/PRE1403(2)_Mitutoyo_Fixtures_WEB.pdf)
- Úvod do souřadnicového měření. <https://www.hexagonmi.com/> [online].
20] Hexagon AB: Hexagon AB, 2019 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z:
<https://www.hexagonmi.com/cs-CZ/solutions/technical-resources/metrology-101/intro-to-coordinate-metrology>
- NOVOTNÁ, RNDr.Helena. *CAD systémy - Kartézský, polární a sférický*
21] [online]. 2017 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z:
http://player.slideplayer.cz/download/42/11249258/WT_ucZmE06-mDgPIMjixQA/1561928671/11249258.ppt
- QUANTIFYING ALIGNMENT EFFECTS IN 3D COORDINATE
22] MEASUREMENT:Best fit alignment. *Mvs Group* [online]. University of Michigan,
2009 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <http://www.mvsgroup.com/wp-content/uploads/2012/02/Alignment-UMTRI-2009-Oct301.pdf>
- DOYTCHINOV, Kostadin. Measurements of Free Form Surfaces and Best-
23] fitting: Mexican CMM club meeting. *Www.cenam.mx.com* [online]. Mexico:
VOLKSWAGEN de México, 2007 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z:
http://www.cenam.mx/ammc/eventos/evento2007/Mexican_CMM_Club_2007_Free_Form_Doytchinov.pdf
- Flexible Measurement System for Modern Automobile Production.
24] *International Conference on Competitive Manufacturing* [online]. 2013, , 6 [cit. 2019-
07-19]. Dostupné z:
<http://conferences.sun.ac.za/index.php/doie/coma13/paper/viewFile/298/272>
- SHAUN PRETORIUS, Shaun. *Development of flexible automotive*
25] *measurement adaptors for the PQ25 VWSA platform: Research Dissertation*. PORT
ELIZABETH, 2011. Disertace. Nelson Mandela Metropolitan University.
- VW 010 55 -Reference Point System - RPS -*. První. VOLKSWAGEN AG:
26] VOLKSWAGEN AG, 1996.

- Chemické složení slitiny EN AW 7475 - T7351. *Referansmetal* [online]. b.r. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <http://referansmetal.com/aliasimli-aluminyum/product/404/en-aw-alzn5-5mgcu-7475-t7351?lang=fr>
- BENEŠ, Libor. Slitiny Hliníku. *Www.users.fs.cvut.cz/libor.benes* [online]. 28] ČVUT: ČVUT, 2013 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/PDF_01-Slitiny%20Al.pdf
- Pružný kuželový element. *Www.kipp.cz* [online]. Německo: HEINRICH KIPP 29] WERK KG, 2019 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Upínací-technika/Obrobek-upínací-technika/Opěrné-prvky-dorazové-prvky/K0917-Polohovací-jednotky-pružné-s-kuželem.html?sca=28519
- Kartézský souřadný systém. *Https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1221* 30] [online]. Olomouc: ELUC, b.r. [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1221>
- Reference Point System. In: *Www.wenku.baidu.com* [online]. VOLKSWAGEN: 31] VOLKSWAGEN, 2009 [cit. 2019-07-19]. Dostupné z: https://wenku.baidu.com/view/4cf4ee22192e45361066f5d1.html?rec_flag=default

Seznam obrázků

Obr. 1- 1 – CMM [2].....	- 9 -
Obr. 1- 2 – Těleso v prostoru [3].....	- 10 -
Obr. 1- 3 – Ustavovací plochy na rovinném dílu [3].....	- 11 -
Obr. 1- 4 – Ustavovací plochy na rotačním dílu [3].....	- 11 -
Obr. 1- 5 – Kategorizace upínacích prvků [4].....	- 13 -
Obr. 1- 6 – Profily rámových tyčí [7].....	- 14 -
Obr. 1- 7 – Charakteristika hliníkových profilů [7]	- 15 -
Obr. 1- 8 – Plné tyče [8].....	- 15 -
Obr. 1- 9 – Tenkostěnné tyče [8]	- 16 -
Obr. 1- 10 – Tyče s redukováným počtem otvorů [8]	- 16 -
Obr. 1- 11 – Desky s T – drážkou [9].....	- 17 -
Obr. 1- 12 – Desky se závitovými otvory [10].....	- 17 -
Obr. 1- 13 – Desky s rastrovou mřížkou [11].....	- 18 -
Obr. 1- 14 – Stavitelná základna [12]	- 18 -
Obr. 1- 15 – Stavitelná podpěra [12].....	- 19 -
Obr. 1- 16 – Stavitelná V – podpěra [12].....	- 19 -
Obr. 1- 17 – Stavitelný sloupek [12].....	- 19 -
Obr. 1- 18 – Stavitelný kloub [12]	- 20 -
Obr. 1- 19 – Úhlově stavitelná deska [12]	- 20 -
Obr. 1- 20 – Podpěry s válcovým průřezem [12]	- 21 -
Obr. 1- 21 – Pružné podpěry [12]	- 21 -
Obr. 1- 22 – Podpěra s kolíkem [12].....	- 22 -
Obr. 1- 23 – Rotační podpěra [12]	- 22 -
Obr. 1- 24 – Lokalizační koule [12].....	- 22 -
Obr. 1- 25 – Vzpěry s válcovým průřezem [8].....	- 23 -
Obr. 1- 26 – Vzpěry s válcovým průřezem [8].....	- 23 -
Obr. 1- 27 – Vzpěry s válcovým průřezem [8].....	- 23 -
Obr. 1- 28 – Pružná upínka s pogumovaným koncem [12].....	- 24 -
Obr. 1- 29 – Pružná upínka [12].....	- 24 -
Obr. 1- 30 – Drátová upínka [12].....	- 24 -
Obr. 1- 31 – Pružná polohovací upínka [12].....	- 24 -
Obr. 1- 32 – Tlačná upínka rohová [12].....	- 25 -
Obr. 1- 33 – Tlačná upínka se šroubem [12].....	- 25 -
Obr. 1- 34 – Mikrosvěrák [12]	- 25 -
Obr. 1- 35 – Pákový mechanismus upínek [13]	- 25 -
Obr. 1- 36 – Vodorovná upínka [13].....	- 25 -
Obr. 1- 37 – Přímá upínka [13]	- 26 -
Obr. 1- 38 – Háková upínka [13]	- 26 -
Obr. 1- 39 – Pneumatická upínka [13]	- 26 -

Obr. 1- 40 – Kuželové prvky [12].....	- 27 -
Obr. 1- 41 – Opěrné kolíky [12].....	- 27 -
Obr. 1- 42 – Upínací deska [12].....	- 27 -
Obr. 1- 43 – Rohový lokátor [12].....	- 27 -
Obr. 1- 44 – Zeiss Carfit CMK [18].....	- 30 -
Obr. 1- 45 – Zeiss Carfit CMK [18].....	- 30 -
Obr. 1- 46 – Zeiss Carfit CMB [18].....	- 31 -
Obr. 1- 47 – Zeiss Carfit CMB [18].....	- 31 -
Obr. 1- 48 – Zeiss Carfit CMP [18]	- 31 -
Obr. 1- 49 – Zeiss Carfit CMP [18]	- 31 -
Obr. 1- 50 – Mitutoyo – Eco – fix L [19].....	- 32 -
Obr. 1- 51 – Mitutoyo – Eco – fix MAG [19].....	- 32 -
Obr. 1- 52 – Mitutoyo – Eco – fix quick – rail [19].....	- 32 -
Obr. 1- 53 – Mitutoyo – Eco – fix – car – fix [19].....	- 33 -
Obr. 1- 54 – Horst Witte – Alufix systém [8]	- 33 -
Obr. 2- 1 – Souřadný systém stroje [1]	- 34 -
Obr. 2- 2 – Souřadný systém součásti [1]	- 34 -
Obr. 2- 4 – Kartézský souřadný systém [21].....	- 35 -
Obr. 2- 3 – Kartézský souřadný systém [21].....	- 35 -
Obr. 2- 5 – Kartézský systém – pravidlo pravé ruky [30].....	- 35 -
Obr. 2- 6 – Polární absolutní souřadnice [21]	- 36 -
Obr. 2- 7 – Polární relativní souřadnice [21]	- 36 -
Obr. 2- 8 – Sférické souřadnice [21].....	- 36 -
Obr. 2- 9 – Sférické souřadnice [21].....	- 36 -
Obr. 2- 10 – Vyrovnání součásti na CMM [1]	- 37 -
Obr. 2- 11 – Metody vyrovnání – SW TouchDMIS.....	- 37 -
Obr. 2- 12 – Vyrovnání metodou 3–2–1 – SW TouchDMIS	- 38 -
Obr. 2- 13 – Vyrovnání metodou Best – fit – SW TouchDMIS.....	- 38 -
Obr. 2- 14 – RPS systém [31]	- 39 -
Obr. 2- 15 – RPS mřížka [26]	- 39 -
Obr. 2- 16 – Aplikace RPS metody [26]	- 40 -
Obr. 3- 1 – Návrh součásti – varianta č. 1.....	- 43 -
Obr. 3- 2 – Návrh součásti – varianta č. 2.....	- 44 -
Obr. 3- 3 – Varianta 3 – zvolená součást	- 45 -
Obr. 3- 4 – Varianta 3 – zvolená součást	- 45 -
Obr. 3- 5 – Varianta 3 – zvolená součást	- 46 -
Obr. 3- 6 – Varianta 3 – zvolená součást	- 46 -
Obr. 3- 7 – Výběr upínacích ploch.....	- 47 -
Obr. 3- 8 – Konstrukční varianta 1.....	- 48 -

Obr. 3- 9 – Konstrukční varianta 1.....	- 48 -
Obr. 3- 10 – Konstrukční varianta 1.....	- 49 -
Obr. 3- 11 – Konstrukční varianta 1.....	- 49 -
Obr. 3- 12 – Konstrukční varianta 2.....	- 50 -
Obr. 3- 13 – Konstrukční varianta 2.....	- 50 -
Obr. 3- 14 – Konstrukční varianta 2.....	- 51 -
Obr. 3- 15 – Konstrukční varianta 2.....	- 51 -
Obr. 3- 16 – Konečné rozvržení upínacích ploch.....	- 52 -
Obr. 3- 17 – Konstrukční varianta 3.....	- 53 -
Obr. 3- 18 – Konstrukční varianta 3.....	- 53 -
Obr. 3- 19 – Konstrukční varianta 3.....	- 54 -
Obr. 3- 20 – Konstrukční varianta 3.....	- 54 -
Obr. 3- 21 – Konstrukční řešení pružného elementu [29].....	- 54 -
Obr. 3- 22 – Vymezení posuvného pohybu v ose X a Y.....	- 55 -
Obr. 3- 23 – Vymezení posuvného pohybu v ose Z a rotačního v osách X a Y.....	- 55 -
Obr. 3- 24 – Odebrání posledního stupně volnosti rotačního pohybu okolo osy Z.....	- 56 -
Obr. 4- 1 – Rozvržení součástí na paletě pro 3D tisk – SW GrabCAD.....	- 57 -
Obr. 4- 2 – Vytvořené díly 3D tiskem.....	- 57 -
Obr. 4- 3 – Nařezané polotovary.....	- 58 -
Obr. 4- 4 – Řezání polotovaru.....	- 58 -
Obr. 4- 5 – Vytvořené kvádry.....	- 58 -
Obr. 4- 6 –Frézování na přesné rozměry.....	- 58 -
Obr. 4- 7 – Vzniklé vybrání.....	- 58 -
Obr. 4- 8 – Frézování vybrání.....	- 58 -
Obr. 4- 9 – Vyfrézované kapsy.....	- 59 -
Obr. 4- 10 – Obrábění kapes.....	- 59 -
Obr. 4- 11 – Závity M10.....	- 59 -
Obr. 4- 12 – Řezání závitu M10.....	- 59 -
Obr. 4- 13 – Vyrobené díly.....	- 59 -
Obr. 4- 14 – Vyrobené díly.....	- 59 -
Obr. 4- 15 – Nakoupené díly.....	- 60 -
Obr. 4- 16 – Upínací stavebnice.....	- 60 -
Obr. 4- 17 – Příprava rámu.....	- 61 -
Obr. 4- 18 – Upnutí podstav.....	- 61 -
Obr. 4- 19 – Přidání dorazových prvků s upínkami.....	- 61 -
Obr. 4- 20 – Složený přípravek – upnutí součásti.....	- 62 -
Obr. 4- 21 – Složený přípravek – upnutí součásti.....	- 62 -
Obr. 4- 22 – Složený přípravek – upnutí součásti.....	- 62 -
Obr. 4- 23 – Měřicí rameno Nikon MCAx H120.....	- 63 -
Obr. 4- 24 – Vyrovnání součásti v přípravku metodou 3-2-1.....	- 63 -

Obr. 4- 25 – Souřadnice zaměřených RPS lokalizačních koulí.....	- 64 -
Obr. 4- 26 – Vyrovnání součásti metodou RPS	- 64 -
Obr. 4- 27 – Naměřené hodnoty kruhových otvorů	- 65 -
Obr. 4- 28 – Naměřené odchylky 3D tvaru kontrolované součásti	- 65 -

Seznam tabulek

Tabulka 3- 1 – Chemické složení slitiny EN AW 7475 – T7351 [27].....	- 42 -
Tabulka 4- 1 – Ekonomická kalkulace nákladů na výrobu přípravku.....	- 66 -

Seznam rovnic

Rovnice 1 – Převod kartézských a polárních souřadnic.....	- 36 -
Rovnice 2 – Převod kartézských a polárních souřadnic.....	- 36 -
Rovnice 3 – Pro převod kartézských a sférických souřadnic.....	- 36 -
Rovnice 4 – Pro převod kartézských a sférických souřadnic.....	- 36 -

Seznam příloh

Příloha 1 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 01	
Příloha 2 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 02	
Příloha 3 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 03	
Příloha 4 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 04	
Příloha 5 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 05	
Příloha 6 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 06	
Příloha 7 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 07	
Příloha 8 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 08	
Příloha 9 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 09	
Příloha 10 – Výkres vyrobené součásti – RPS – 19/20 – 10	
Příloha 11 – Výkres kontrolovaného obrobku – RPS – 19/20 – 11	
Příloha 12 – Naměřené souřadnice RPS koulí	
Příloha 13 – Protokol o měření	