

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ



Ústav konstruování a částí strojů

Přípravek pro rozměrovou kontrolu svařenců

Fixture for Weldment Dimensional Inspection

Bakalářská práce

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Pavel Malý

Dávid Procházka

Praha 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Přípravek pro rozměrovou kontrolu svařenců“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Malého, s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Dávid Procházka

Poděkování

Touhle cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Pavlu Malému za odborné vedení a cenné připomínky k mé práci. Díky patří také prof. Ing. Jurajovi Smrčekovi, PhD., a v neposlední řadě kolegům z firmy Bobcat Lukáši Novotnému a Jaroslavu Staňkovi za konzultace a pomoc při vypracovávání.

Anotační list

Jméno autora: ***Dávid Procházka***

Název BP: *Přípravek pro rozměrovou kontrolu svařenců*

Anglický název: *Fixture for Weldment Dimensional Inspection*

Rok: *2015*

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

Obor studia: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Ústav: *Ústav konstruování a částí strojů*

Vedoucí BP: *Ing. Pavel Malý*

Konzultant: *Ing. František Lopot, Ph.D.*

Bibliografické údaje: počet stran 44

počet obrázků 28

počet tabulek 4

počet příloh 4

Klíčová slova: svařenec, přípravek, měření, rozměrová kontrola, kvalita

Keywords: weldment, fixture, measurment, dimensional inspection, quality

Anotace: Tato bakalářská práce se zabývá návrhem měřicího stanoviště v hromadné výrobě, přizpůsobeného podle předem vybrané metody měření vycházejícího z rešerše dostupných měřících metod a následného vícekriteriálního rozhodování. Jednou z hlavních úloh bylo také vypracovat konstrukční návrh upínacího přípravku pro toto stanoviště.

Abstract: This bachelor thesis analyzes the design of quality control post in mass production, customized according to pre-selected measurement methods based on the research of available measurement methods and subsequent multi-criteria decision analysis. One of the primary tasks of the thesis was also to prepare design of fixture for this post.

Obsah

Úvod.....	1
1. Teoretická východiska k zabezpečení kvality	2
1.1 Zabezpečení kvality výrobního procesu.....	2
1.2 Metody a prostředky technické kontroly ve výrobě	3
1.3 Metrologické zabezpečení měření	3
1.4 Technické zabezpečení měření.....	5
2. Objekt měření.....	6
2.1 Popis svařence a požadavky	6
2.2 Analýza vlastností svařence.....	7
2.3 Požadavky na kontrolu svařence.....	7
2.4 Stávající kontrola svařence.....	8
3. Navrhované metody měření	9
3.1 Jednouúčelový kontrolní přípravek.....	9
3.1.1 Zásady konstruování přípravků.....	9
3.1.2 Nosný rám	12
3.1.3 Upínací prvky	13
3.1.4 Držáky na měřicí prvky.....	14
3.1.5 Měřicí prvky	14
3.1.6 Vyhodnocovací část.....	15
3.2 Souřadnicový měřicí stroj (CMM) s taktilní sondou	15
3.2.1 Typy konstrukce souřadnicového měřicího stroje	15
3.2.2 Konstrukce souřadnicového měřicího stroje.....	16
3.2.3 Mechanické snímací hlavice	16
3.3 Robot s laserovým skenerem.....	17
3.3.1 Průmyslový robot.....	17
3.3.2 Laserový skener	18
3.4 Měřicí rameno.....	19
4. Zhodnocení variant měření vícekritériálním rozhodováním.....	21
4.1 Tvorba souboru variant.....	21
4.1.1 Jednouúčelový přípravek.....	21
4.1.2 Souřadnicový měřicí stroj s taktilní sondou	22
4.1.3 Šestiosý robot s laserovou hlavicí	23
4.1.4 Měřicí rameno	24
4.1.5 Souhrn variant	24

4.2	Tvorba soustavy hodnotících kritérií	24
4.3	Stanovení pořadí variant	26
4.4	Výběr varianty určenému k realizaci	28
5.	Řešení upínacího přípravku.....	29
5.1	Řešení kontrolního pracoviště	29
5.2	Analýza objektu měření	30
5.3	Konstrukce upínacího přípravku	33
5.4	MKP analýza rámu.....	35
	Závěr.....	39
	Použitá literatura.....	40
	Elektronické zdroje.....	41
	Seznam obrázků.....	43
	Seznam tabulek.....	44
	Seznam příloh.....	45

Úvod

V moderní strojní výrobě se čím dál více dbá na zkvalitnění výrobních procesů a postupů. Zvýšená zmetkovitost může výrazně zasáhnout do profitability firmy zabývající se výrobou strojních součástí. Zavádění komplexních metod měření do výrobního procesu je v současnosti stále dostupnější a v hromadné výrobě se už jedná o standard. Komplexní měření jsou založené na automatizaci kontrolních postupů, na zvýšení technické úrovně kontroly a na vyloučení člověka z kontrolního procesu. Výrobní praxe potvrzuje, že tenhle směr je vhodný zejména pro kontrolu složitých součástí.

Takto formované současné trendy v oblasti kontroly kvality výroby jsou využitelné i pro řešení tématu mé práce, která je zaměřena na kontrolu výrobního procesu sestavy rámu hydraulického nakladače.

Cílem této práce je vypracovat rešerši dostupných měřících metod, vybrat nejvhodnější metodu pro rozměrovou kontrolu svařence základního rámu nakladače Bobcat a vyhotovit ideový návrh upínacího přípravku pro pracoviště kontroly kvality pro vybranou metodu.

Zadavatel práce – firma Bobcat a.s. – definoval vstupní požadavky pro kontrolu na základě problémových prvků na svařenci. Podle dostupných údajů z provedených měření vznikají nepřesnosti zejména na bočnicích, v oblasti připojení rámu k transmisi nakladače a v otvorech pro silentbloky, dále je doporučeno kontrolovat souososti pouzder kotvení ramena, kotvení kabiny a kotvení zadních dvířek (tailgate).

Kromě uvedených požadavků na měření zadavatel dále specifikoval potřebu provádět měření na úrovni poloautomatizovaného, resp. automatizovaného kontrolního pracoviště.

1. Teoretická východiska k zabezpečení kvality

Tato kapitola se zabývá formováním základních teoretických východisek z oblasti kvality pro řešení postavení kontroly ve výrobním procesu, metod a prostředků kontroly, a metrologického a technického zabezpečení měření. [1],[2],[3]

1.1 Zabezpečení kvality výrobního procesu

Problematika kontroly kvality výrobního postupu je v současnosti velmi rozpracovaná jak z teoretického přístupu, tak z pohledu implementování těchto poznatků do praxe. Kvalita je definována jako souhrn vlastností a znaků výrobku, kterými výrobek nabývá schopnost uspokojovat určené a předpokládané potřeby jeho uživatele.

Dle platných norem ISO je systém řízení a zabezpečování kvality výrobního procesu určen organizační strukturou, postupy, procesy a technickým vybavením potřebným na uplatnění realizace monitoringu a řízení kvality v celém procesu vzniku, realizace a užívání výrobku. Podstatou technické kontroly kvality výroby je kontrolovat, analyzovat a hodnotit kvalitu procesu výroby sledovaného výrobku od vstupů materiálu, přes výrobní operace, až po výstup hotového výrobku. Pomocí standardů organizačního zabezpečení technické kontroly byly zavedeny:

- vstupní kontrola – kontrola materiálu a polotovarů, které souvisí s výrobou objektu kontroly a jsou dodávány externími dodavateli
- výrobní kontrola – sleduje kvalitu výrobku v průběhu výroby
- výstupní kontrola – zaměřuje se na kontrolu hotových výrobků určenou na expedici k zákazníkům

Výrobní technická kontrola v průběhu výrobního procesu realizuje všechny technické kontroly předepsané technologickým postupem výroby sledovaného objektu. Pro zabezpečení výrobní technické kontroly výrobku je potřebné stanovit a technicky zabezpečit

- co kontrolovat a jak hodnotit (určit kontrolované parametry – měřené veličiny, určit kritéria jejich hodnocení)
- kdo má kontrolovat (výrobní operátor, kontrolor)
- kde se má kontrolovat (prvovýroba, montáž)

- jak kontrolovat (metoda, technická vybavenost, přístrojová vybavenost)
- jak často kontrolovat (každý kus, statistickým výběrem)
- jaká je pracnost kontrolní operace

1.2 Metody a prostředky technické kontroly ve výrobě

Technická kontrola ve výrobě zabezpečuje kvalitativní jednotnost a správnost měř při dodržení správnosti měřících postupů a správné kalibrace měřících prostředků. Zároveň je realizována měřením stanovených parametrů (reprezentujících fyzikální a technické veličiny) kontrolovaného výrobku po celou dobu výroby. Měření, tj. určení kvantity a kvality měřené veličiny, probíhá buď přímým měřením (hodnota měřené veličiny se získá přímo z experimentálního zjištění hodnot měření – měření délky posuvným měřidlem...) nebo nepřímými metodami (hodnota měřené veličiny se vypočítá z experimentálně zjištěných hodnot měření na základě příčinné souvislosti – definovaná závislost). Cílem je stanovení hodnoty měřené veličiny s požadovanou přesností.

Měřicí metoda se obecně chápe jako systém pravidel, dle kterých se vykoná měření kontrolovaného parametru. Způsob měření určuje praktické užití měřícího principu a měřicí metody pro získání skutečných hodnot měřených parametrů.

Objektem měření ve výrobním procesu jsou tělesa, jejichž geometrické charakteristiky jsou založeny na rozměrech, tvaru a poloze ploch a povrchů. Z pohledu měření je rozhodující veličinou délka a úhel, kdy nejběžnější principy měření jsou postavené na metodách a technikách měření délek a úhlů.

1.3 Metrologické zabezpečení měření

Metrologické zabezpečení má zaručit jednotnost a správnost měření ve smyslu platných a zavedených mezinárodních nebo firemních norem. Měření se může realizovat ručně, poloautomaticky nebo automaticky. Požadavky na metrologické zabezpečení kontroly výrobního procesu jsou závislé na typu výroby (Tab. 1).

Tab. 1: Metrologické požadavky na kontrolu výrobního procesu

Metrologie kontroly výroby		Typ výroby			
		kusová	malosériová	velkosériová	hromadná
Počet kusů (charakteristika)		1 - 50	50 - 100	100 - 5000	5000+
Způsob kontroly výrobního procesu	Počet kontrolovaných kusů v dávce	100 %	100 % resp. výběrová kontrola	výběrová kontrola resp. 100 %	výběrová kontrola
	Místo kontroly	výrobní pracoviště resp. kontrolní pracoviště	převážně kontrolní pracoviště	kontrolní pracoviště resp. výrobní pracoviště	kontrolní pracoviště resp. výrobní pracoviště
	Kontrolní Operace	po každé výrobní operaci	převážně po každé výrobní operaci	převážně po několika výrobních operacích	po několika výrobních operacích
Rozpracování kontrolní operace		obecné pokyny, detailní postup určuje metoda kontroly		podrobný detailní popis kontroly	
Technické prostředky kontroly		univerzální	převážně univerzální, částečně speciální	převážně speciální, poloautomatizované, automatizované	výhradně speciální, automatizované

Každé měření je zatíženo chybami, které jsou nutným následkem nedokonalosti operátora, nepřesnosti měřícího systému a nemožnosti přesného splnění stanovených podmínek při opakovaných měřeních. Projevem existence chyb je fakt, že při opakovaných měřeních stejného parametru se nezískají stejné naměřené hodnoty.

Metrologie v části teorie chyb měření rozlišuje tyto složky

- hrubá chyba – složka chyby měření, která se při opakovaných měřeních zjevně projevuje; je vyvolána hrubým porušením určené metody měření, resp. poruchou měřící soustavy. V okamžiku její zjištění se eliminuje.
- systematická chyba – složka chyby měření, která při opakovaných měřeních stejné veličiny zůstává stejná, resp. mění se předvídatelným způsobem. Vyskytuje se soustavně při daném způsobu měření pravidelně; je závislá na měřící metodě, nebo je dána vlastnostmi přístrojů, nebo pozorovatelem. Je možno ji identifikovat a následně eliminovat.

- Náhodná chyba – složka chyby měření, která se při opakovaných měřeních stejné veličiny nepředvídatelně mění, je vyvolána náhodnými nepravidelnými vlivy všech faktorů ovlivňujících přesnost měření. Nedá se eliminovat, možno ji však identifikovat a následně korigovat výsledek měření.

1.4 Technické zabezpečení měření

Pro technické prostředky potřebné k výkonu měření se zavedl obecný název měřící prostředky. Když jde o ucelenou sestavu technických prostředků určených k měření konkrétní veličiny, zavádí se pojem měřící zařízení (měřící systém, měřící sestava). Dle platné legislativy ISO je to soubor měřidel a jiných zařízení určených k měření určitého druhu, účelu nebo na měření souboru veličin, uspořádaný do ohraničeného funkčního systému splňujícího stanovené metrologické požadavky.

Pomocné technické prostředky jsou zařízení (přípravky, upínače, stojany ...) potřebné na realizaci měření, jejichž použití ovlivňuje výsledek měření. Slouží najmě na zaručení pozic a vztahů mezi objektem měření a měřícím systémem, jak i mezi členy měřícího systému navzájem.

Přímá aplikace měřícího systému si vyžaduje detailní metodicko – technické zpracování postupu měření s vazbou na požadavky měření ve vztahu k měřenému objektu a vybranou měřící techniku.

2. Objekt měření

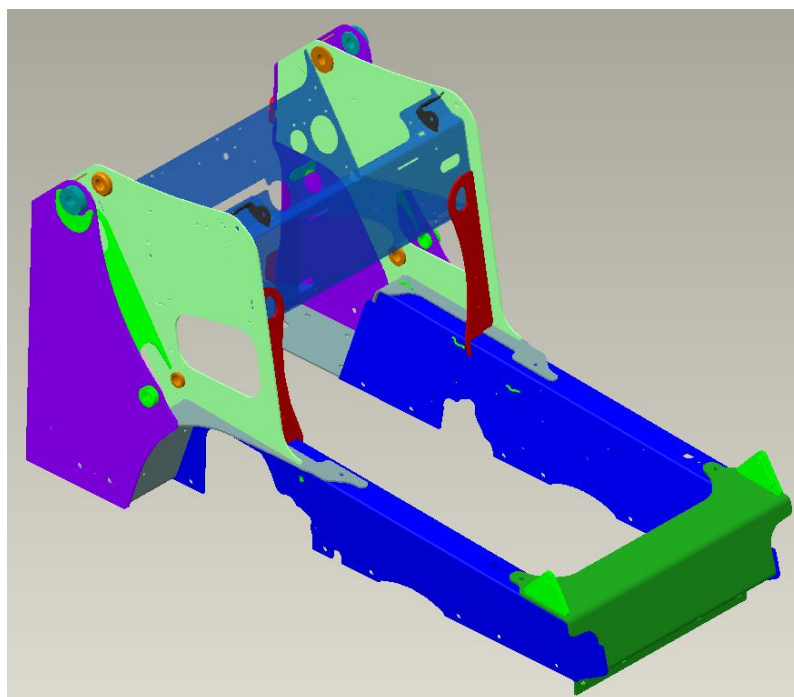
Kapitola popisuje měřený svařenec, analyzuje jeho vlastnosti a definuje požadavky měření s přihlédnutím na stávající stav kontroly. Výstupy z této kapitoly slouží pro rozpracování navrhované varianty řešení měřícího stanoviště.

2.1 Popis svařence a požadavky

Objektem kontroly je svařenec základního rámu nakladače Bobcat (číslo součásti 7195084 – Obr. 1) použitého pro všechny verze nakladače Bobcat řady 400 (S450 – smykem řízený – 4 verze, T450 – pásový – 2 verze). Jedná se o skříňový svařenec z ocelových plechů tloušťky 6 až 12 mm, obrysových rozměrů 2115,7 x 1221,3 x 1065,4 s hmotností 241,79 kg. (Výkres sestavy s kusovníkem viz příloha).

Požadavky na základní rám:

- tuhost, pevnost a pružnost (především s ohledem na ohyb a krut)
- nízká hmotnost
- bezkonfliktnost s ohledem na ostatní konstrukční části nakladače (prostorová a rozměrová stabilita, technologičnost konstrukce, rozměrové obvody, atd.)
- dlouhá životnost s ohledem především na únavové namáhání



Obr. 1: Objekt měření – svařenec 7195084

2.2 Analýza vlastností svařence

Velkorozměrové prostorové svařence jsou obecně charakteristické deformacemi, které souvisí s technologií a postupem jejich sváření. Z pohledu dopadu těchto deformací na finální rozměrové parametry svařence, možno deformace členit na:

- podélné (způsobuje je smršťování ve směru délky, deformaci brání tuhost a stabilita okolního materiálu), při sváření plechů tlustších než 10 mm je tato deformace zanedbatelná
- příčné (způsobuje je smrštění spoje v směru kolmém na osu svarového spoje), velikost těchto deformací závisí zejména na šířce, tloušťce a tvaru spoje, tepelném příkonu a postupu ukládání housenek
- úhlové přesazení (závisí na tvaru spoje a postupu kladení housenek), je to nejnepříjemnější deformace, která může znehodnotit vlastnosti svařence (dochází ke změně i v průběhu sváření). Snížení potenciálu vzniku této deformace možno dosáhnout vhodnou volbou postupu sváření, správným nastavením spojovaných částí a překonáváním svarových vrstev

Tyto deformace se projevují individuálně, ve svých systémových souvislostech s různým stupněm ovlivnění (stabilita kvality výroby – náhodný proces), na konečných rozměrových a tvarových charakteristikách svařence.

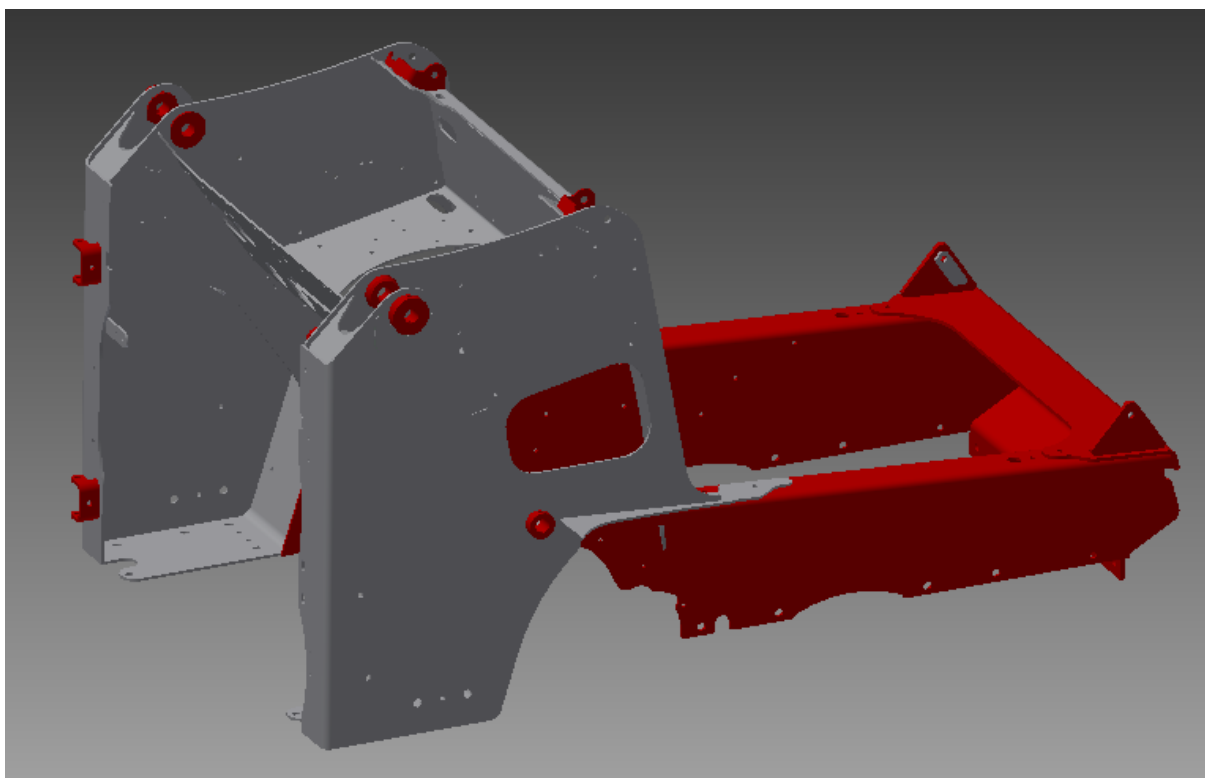
2.3 Požadavky na kontrolu svařence

Technologie výroby a výrobní kontroly svařence základního rámu stanovuje pro jeho kontrolu tyto požadavky

- kontrola rozměrů a vzájemné polohy (souososti) otvorů pro kotvení kabiny obsluhy nakladače, kontrola vzájemné rozteče těchto otvorů a k otvorům pro silentbloky
- kontrola rozměrů a vzájemné polohy (souososti) pouzder pro kotvení manipulačního ramena, kontrola rozteče mezi pouzdry a k dorazům ramena, kontrola rozteče dorazů
- kontrola rozteče bočnic v místech spojů s transmisí
- kontrola rozměrů a vzájemné polohy (souososti) konzol pro tailgate

Z pohledu měřeného parametru jde o měření délky (rozsah do 1833,2) s úchytkami ± 1 mm resp. $+2/-0$ mm, měření geometrické tolerance souososti $\varnothing 0,8$ mm. Měřicí přístroj by měl být alespoň o řád přesnější, přesnost a opakovatelnost by měla být minimálně 0,08 mm a přesnější.

Takt linky také omezuje kontrolu svařence, především pro případné začlenění měřicí stanice mezi svařovnu a lakovnu. V případě a kontroly každého dílu je na logistiku, přípravu a samotné měření vyčleněno 15 minut na 1 kus.



Obr. 2: Požadované kontrolované prvky

2.4 Stávající kontrola svařence

V současnosti není zřízeno stanoviště kontroly svařenců základního rámu, a proto kontrola probíhá výběrově, s malým počtem kontrolovaných kusů. Tento stav není ideální pro docílení trvalé dlouhodobé kvality výrobního procesu.

3. Navrhované metody měření

Po konzultaci se zadavatelem práce byly pro rozpracování návrhu výrobní kontroly svařence vybrány následující modely měření. [1],[2],[4],[5],[6],[7],[8],[9],[10],[11],[12],[14]

3.1 Jednoučelový kontrolní přípravek

3.1.1 Zásady konstruování přípravků

Jednoučelové přípravky (kontrolní i ustavovací) jsou určeny na zabezpečení kvality vyrobených dílů (rozměrovou kontrolu, zjišťování shody kontrolovaného dílu se stanovenými požadavky na jeho kvalitu), kde plní funkci základny pro ustavení (uložení) a upnutí kontrolované součásti. Také lze definovat případně základny pro ustavení a upnutí měřících prostředků a funkci technického prostředku pro realizaci kontroly (měření) vyrobeného dílu.



Obr. 3: Příklad řešení jednoučelového přípravku (ustavovací přípravek pro měření na 3D) [19]

Konstrukce jednoúčelového přípravku má vycházet nejen z požadavků stanoveného kontrolního postupu, ale také požadavků na měření stanovených parametrů kontrolované součásti a potřebné přesnosti jejich měření. Obecně má přípravek splňovat tyto požadavky:

- Poloha kontrolovaného kusu v přípravku by měla být shodná s polohou dílu v montážní sestavě (dodržení polohy vůči osám x , y , z prostorového souřadnicového systému).
- Při upevňování dílu do přípravku (odebrání všech 6 stupňů volnosti – *hlavní ustavovací plocha* odebírá tři, *oporná plocha* dvě a *dorazová plocha* jeden stupeň volnosti) by měly být využity všechny fixační a lokační plochy dílu tak, aby se zaručila jeho pevná stabilní poloha ve všech osách. Zároveň je potřeba zaručit opakovatelnost polohy dílu v přípravku (přesnost polohy a orientace).
- Dodržet dispozici a dislokaci stanovených kontrolních bodů (RPS – Reference Point System) určujících kontrolu předepsaných parametrů kontrolovaného dílu (ve všech třech osách) tak, aby definované body byly přístupné a dosažitelné pro použité měřicí prostředky.
- Dodržet stanovenou přesnost a opakovatelnost měření určených parametrů kontrolovaného dílu (zásada použít o třídu vyšší přesnost měřicího prostředku než je předepsaná přesnost měřicího parametru), využít model nulové polohy (referenční bod) pro všechny tři souřadnice.
- Zaručit jednoduchou a efektivní manipulaci s kontrolovaným dílem při jeho vkládání, upínání a vyjímání z přípravku bez potenciálu rizika poškození dílu, resp. přípravku.
- Zaručit požadovaný stupeň mechanizace, resp. automatizace funkcí přípravku, a funkcí měřeného řetězce (snímání, zpracování, vyhodnocení, interpretace naměřených dat).

Koncepce a uspořádání konstrukce přípravku má systémově naplnit obecný model postavený na funkčních skupinách:

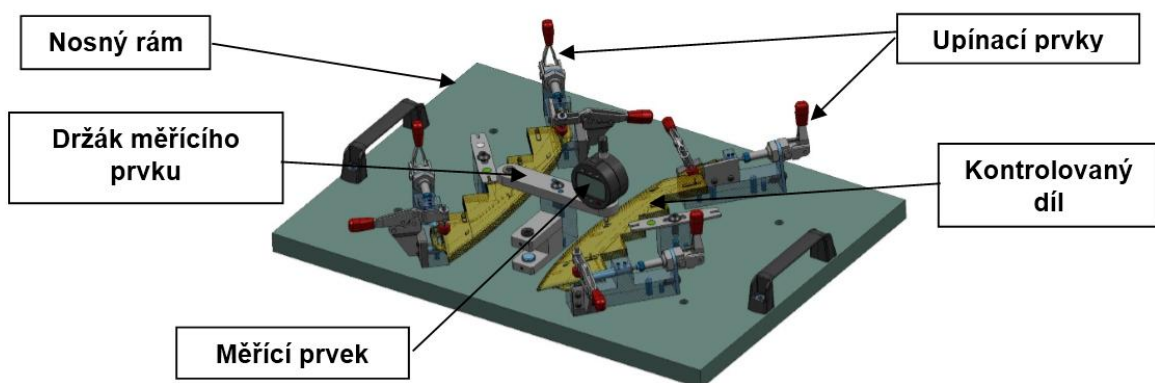
- nosný (základní) rám – svým prostorovým uspořádáním, rozměry a konstrukčním řešením má vytvořit nosný skelet s možností opakovaného stabilního mechanického připojení souvisejících funkčních skupin., Další funkcí

je vytvoření „lůžka“ pro opakované stabilní uložení kontrolovaného dílu (opakovatelná stabilita a fixace polohy, protikus kontrolované součásti).

- upínací prvky – skupina plní funkci „uchopení – sevření – fixace – uvolnění“ kontrolované součásti v přípravku, zároveň je potřeba zaručit upnutí a nepoškození kontrolovaného dílu.

Pro kontrolní přípravky dále platí:

- držáky pro měřicí prvky – plní upnutí a seřízení měřících prvků v stanovených kontrolních bodech kontrolovaného dílu
- měřicí prvky
 - aktivní měřicí prvky při kontaktu s povrchem kontrolované součásti v stanoveném kontrolním bodě převedou odměřenou fyzikální veličinu na elektrický signál a odešlou data do vyhodnocovací části. Zpravidla je snímána kolmá poloha dotykové části měřícího prvku na povrchu kontrolovaného kusu.
 - pasivní měřicí prvky plní funkci mezního měřidla, po kontaktu s kontrolovaným dílem v kontrolním díle proběhne kontrola (kalibrování) určené fyzikální veličiny.
- vyhodnocovací část – zpracovává data z měřících prvků, vyhodnocuje a interpretuje výsledek měření.



Obr. 4: Model koncepce a uspořádání kontrolního přípravku [20]

Dalším důležitým kritériem volby konstrukce jednoúčelového přípravku je požadovaný stupeň mechanizace, resp. automatizace kontrolní operace vztažený na:

- manipulaci s kontrolovaným dílem při jeho vkládání a vyjímání z přípravku (ruční manipulace, účelový manipulátor, robot...)
- upínání a uvolňování kontrolovaného dílu v přípravku (ručně, automaticky)
- snímání, zpracování, vyhodnocení a interpretaci naměřených dat (ručně, poloautomaticky, automaticky)
- manipulaci a provoz s přípravkem (instalace přípravku v provozu, univerzálnost přípravku)

Z pohledu obecného přístupu ke konstrukci strojních systémů je vhodné při návrhu přípravku zohlednit, jestli se využije některý z následujících přístupů:

- jednoúčelové konstrukce (přípravek bude sloužit jen pro jeden typorozměr a druh kontrolovaného dílu)
- univerzální konstrukce (přípravek bude sloužit pro stanovenou skupinu typorozměrové řady kontrolovaného dílu)
- modulární (stavebnicová) konstrukce (přípravek bude sloužit pro více typorozměrových řad jednoho druhu kontrolovaného dílu)

3.1.2 Nosný rám

Konstrukce vychází z potřeb naplnění požadavků definovaných rozměry a tvarem kontrolované součásti, z potřeb naplnění hlavní funkce (viz model koncepce přípravku) a z požadavků stanovených kontrolním postupem. Z analýzy dostupných současných řešení je možné konstatovat, že nosný rám může být řešen některou z následujících koncepcí

- rovinný – rám má geometrický tvar plného rovinného tělesa (protirovina kontrolovaného dílu)
- prostorově tvarovaný – rám má geometrický tvar prostorově tvarovaného tělesa (protitvar kontrolovaného dílu)
- páteřový – rám má tvar podepřené přehradové konstrukce (protitvar kontrolovaného dílu)

Pro konstrukci rámu je možné použít plný materiál, profilový materiál, resp. profilový stavebnicový systém (např. ITEM), atd.



a) plný materiál

b) duralový profil

c) duralový profil Haberkorn

Obr. 5: Příklady materiálů pro stavbu nosního rámu [21], [22], [23]

3.1.3 Upínací prvky

Upínání je možné řešit použitím katalogových rychloupínačů, resp. vlastním návrhem upínače, přičemž je potřebné zohlednit potřebu naplnění hlavní funkce (viz model koncepce přípravku).

Rychloupínače pracují na principu kloubového mechanismu. Pomocí ovládací ruční páky je možné jednoduchým pohybem odklopit upínací páku tak, aby kontrolovaný díl mohl být rychle odebrán, resp. upevněn do přípravku. Umisťují se proti vyztužené části kontrolovaného dílu. Když to není možné, je potřeba navrhnout vhodnou opěrku pro kontrolovaný díl tak, aby se zamezilo jeho případné deformaci. Dosedací plocha opěrky, na které dochází ke kontaktu s kontrolovaným dílem, má tvar otlačku tohoto dílu v místě dotyku.

V některých případech se na upínání kontrolovaných dílů používají speciální upínače originální konstrukce nebo nestandardní prvky navrhnuté konstruktérem. Takovým prvkem může být např. upínač simulující díru pro klip. Běžně je tvořen ze dvou částí – pevné a pohyblivé, přičemž pohyblivá část slouží pro zabezpečení demontování dílu z přípravku bez jeho poškození.



a) Bessey STC HH50

b) Emile Maurin 26 31

Obr. 6: Příklady rychloupínačů [24], [25]

3.1.4 Držáky na měřicí prvky

Pro řešení je možno využít kromě katalogových stojanů a standardních prvků např. profilové stavebnice nebo držáků vázaných na použitou měřicí techniku také nestandardní prvky.

3.1.5 Měřicí prvky

Tato funkční skupina se naplňuje výběrem a zakomponováním vhodné měřicí techniky vázané na kontrolovaný parametr a potřebný stupeň „snímání – zpracování – vyhodnocení – interpretace“ naměřených dat.



a) digitální úchylkoměr Mahr 1080



b) kontrolní kalibr

Obr. 7: Měřicí prvky přípravku [26], [27]

3.1.6 Vyhodnocovací část

Vyhodnocovací část je vázaná na zvolenou koncepci a výběr měřicí soustavy použité pro řešení kontrolního přípravku. V současnosti výrobci měřicí techniky nabízejí ucelené stavebnicové systémy řešící automatizaci sběru, zpracování, vyhodnocování a interpretace naměřených dat.

3.2 Souřadnicový měřicí stroj (CMM) s taktilní sondou

Měření souřadnicovým měřicím strojem je široce rozšířeno v automotive průmyslu, využívá se také pro velké lisované nebo svařované součásti. Měření se provádí taktilní (dotekově) nebo skenovací (bezdotekově) sondou připevněnou k třetí ose souřadnicového stroje. Princip měření spočívá v stanovení základního referenčního bodu v prostoru a měření polohy dalších bodů formou souřadnicových rozměrů v osách x , y , z .

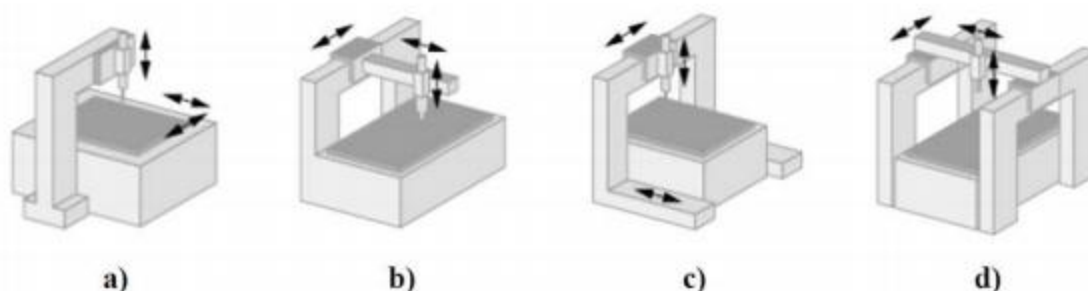
3.2.1 Typy konstrukce souřadnicového měřicího stroje

Nakolik je objekt měření relativně rozměrný, výběr dostupných konstrukčních uspořádání vhodných pro naši aplikaci se výrazně zúží.

Mostové a portálové konstrukce jsou preferované pro široké uplatnění, vynikají tuhou konstrukcí (vysoká přesnost měření i při velkých rozměrech) a velkou kapacitou měřicího prostoru. Velikou výhodou je dosah sondy z pěti stran na jedno ustavení na měřicím stole.

Výložníkové konstrukce jsou používány pro střední až menší součásti. Měřený objekt se upíná k měřicímu stolu, přičemž měřicí pinola se při vyložení od vodící plochy musí vyvažovat. Z důvodu tuhosti je výložná osa poměrně krátká, má však dobrý přístup k měřenému předmětu a proto je vhodná zejména na dlouhé a úzké součásti. Měřicí stanoviště pro naši aplikaci by zřejmě vyžadovalo 2 výložníkové stroje, a tím by se varianta značně prodražila.

Sloupové typy se řadí mezi souřadnicové stroje dosahující vysoké přesnosti a jsou vhodné pro malé rozsahy. Měřicí pinola se pohybuje ve vertikálním směru, další 2 osy zabezpečuje pohyblivý stůl. Sloupové stroje mohou mít také kruhový stůl s úhlovou stupnicí. Pro naši aplikaci tato konstrukce není vhodná.



Obr. 8: Typy konstrukcí souřadnicového měřicího stroje – a) stojanový, b) výložníkový, c) portálový, d) mostový [28]

3.2.2 Konstrukce souřadnicového měřicího stroje

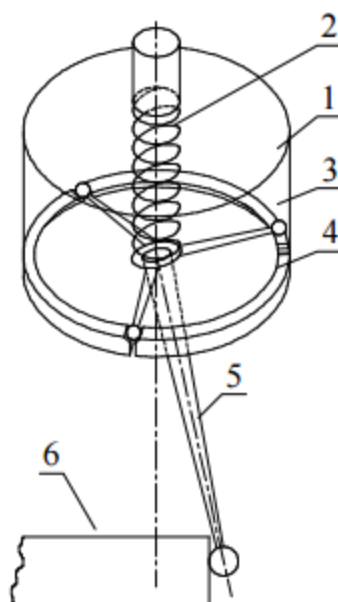
Pracovní deska se u souřadnicových strojů vyrábí z granitu, případně jde o litinový odlitek. Horní plocha desky je broušena na speciální brusce, případně lapována. Je ustavena na čtyřech pracovních podpěrách. Na pracovní desku se pomocí šroubů a upínek připevňuje měřený kus.

Most, příčné saně a pinola jsou tvořeny tyčemi různých profilů. Vedení stroje je koncipováno tak, aby se pohyblivé části mohly posouvat plynule a přesně bez trhaných pohybů, proto je kladen důraz na tuhost zařízení, minimalizaci opotřebení a eliminaci tření (proto se nepoužívá kluzné vedení). Častěji se používá vedení aerostatické. Plynné tření ve vedení řeší problém s odvodem oleje, výhodou je také nízké tření. Obtíže jsou s čištěním vzduchu, inklinace ke korozi a nižší tuhosti. Ideální vedení je tedy valivé, často na kuličkách nebo válečkách.

3.2.3 Mechanické snímací hlavice

Mechanické snímací hlavice nazývané také taktilní sondy jsou vlastně pevné doteky, nejběžněji mají kulový, kuželový nebo talířkový tvar. Podle elektrického signálu vyslaného z kontaktu získáme kvantitativní informace o velikosti souřadnic X, Y, Z bodu čteného měřicím systémem.

Na obr. 9 je naznačeno schéma měřicí hlavy s elektrokontaktním snímačem pracujícím ve třech směrech. Drážky (4) v tělese sondy (1) jsou elektricky izolované, do nich je pomocí třech ramen usazen měřicí dotek (5). Pružina (2) vyvolává sílu na kuličky v drážkách, při doteku sondy s měřenou součástí je elektrický signál přerušen.



Obr. 9: Schéma měřicí hlavy s elektrokontaktním snímačem [29]

3.3 Robot s laserovým skenerem

Využití robotů bylo donedávna známo především ze svařovacích linek, provozů lisoven, kováren a sléváren. V současnosti se stále více objevuje nasazení robotů v pracovištích automatizovaného 3D optického měření.

3.3.1 Průmyslový robot

Šestiosý průmyslový robot je víceúčelový manipulátor s proměnlivým programem, s vlastním pohonem a řízením. Rozhodujícími parametry pro aplikaci jsou rozsah jednotlivých pohybů, počet stupňů volnosti, přesnost polohování a maximální zatížení manipulátoru. Konstruují se ve dvojím provedení – jako stacionární a jako mobilní.

Stacionární roboty se nemohou pohybovat z místa na místo, avšak pohyb může být nahrazen umístěním na pojezdu. Mobilní manipulátory, také autonomní lokomoční roboty, jsou spjaty hlavně s prvky umělé inteligence, které jim dávají možnost řešit situace v reálném čase (autonomnost naprogramování).

Výhodou průmyslových robotů je bezproblémové použití v dílenském prostředí, bez ohledu na nestabilitu, vibrace a kolísání teplot.



Obr. 10: Průmyslový robot KUKA KR 90 R2700 určený pro vysoce přesné aplikace jako například laserové měření ^[30]

3.3.2 Laserový skener

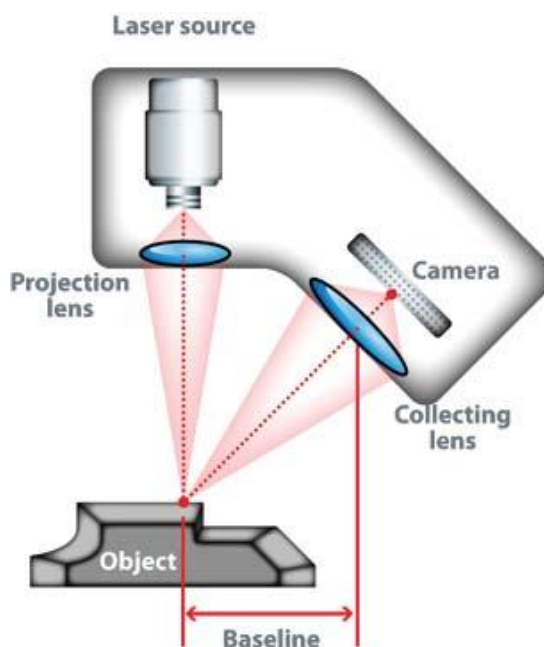
3D laserové skenovací hlavičky jsou zařízení pro bezkontaktní, nedestruktivní měření složitých objektů. Pracují na principu emitace laserového záření na měřený objekt a následného zpracování odražených paprsků.

Výhodou laserových skenerů je rychlé skenování velkého množství bodů z i složitě tvarovaného, komplexního dílu, kde by bylo nepraktické využít konvenční měření nebo dotykovou sondu. Proces je velice rychlý, skenery dokáží načíst až do milionu bodů za sekundu s velice vysokou přesností.

Naskenované body se vyhodnocují a porovnávají s CAD modelem pomocí různých metod, např. Best fit, anebo zdefinování pevného souřadnicového systému. Výsledná barevná mapa zobrazuje úchyly vůči nominálním rozměrům načteným z CAD modelu.



Obr. 11: Skenovací hlavice NIKON XC65Dx [31], [32]



Obr. 12: Princip měření laserovou skenovací hlavicí [33]

3.4 Měřící rameno

Měřící rameno je přenosný souřadnicový měřící stroj, ovládaný ručně operátorem. Může být osazeno různými kontaktními nebo bezkontaktními sondami, které pracují na principu popsaném v předcházejících kapitolách.

Výhoda měřících ramen je v jejich jednoduchosti a finanční nenáročnosti. Mezi nevýhody patří nižší opakovatelnost a prostorová přesnost a citlivost na kvalitu obsluhy.



Obr. 13: Měřicí rameno Faro Arm ^[34]

4. Zhodnocení variant měření vícekriteriálním rozhodováním

V této kapitole jsou zhodnoceny varianty představeny v kapitole 3. Pro zhodnocení se použily metody vícekriteriálního rozhodování. ^{[10],[11],[12],[14]}

4.1 Tvorba souboru variant

Princip vybraných variant měření byl přiblížen v předcházející kapitole. Nyní budou popsány technické parametry konkrétních výrobků, případně cena odhadnuta dodavatelem.

4.1.1 Jednoúčelový přípravek

Oslovená firma MWF Roland Friedrich GmbH odmítla řešení jednoúčelového kontrolního přípravku pro zadavatelem vybraný svařenec pro přílišnou komplikovanost.

Při řešení vlastního konceptu kontrolního přípravku jsem narazil na problém s kontrolou vzdálenosti kotvení kabiny a dosedací díry určené pro silentbloky. V závislosti na mimoběžnosti os by kontrola byla velmi obtížná až nemožná.

Další problémy nastaly při řešení geometrických tolerancí souosostí - vzhledem k velkým rozměrům svařence, vzdálenosti a špatné přístupnosti kontrolovaných ploch by bylo nutné měřit kus na několik upnutí.

Na trhu je dostatečné množství délkoměrů, úchylkoměrů a kolimátorů a jiných měřících přístrojů s dostatečnou přesností a opakovatelností, problém by mohlo nastat jedině s kvalitou obsluhy a častou nutností kalibrace velkého množství přístrojů. Odhadovaná cena celého přípravku by se pohybovala v desítkách tisíc Eur.

Z důvodu uvedených komplikací a na základě následné komunikace se zadavatelem práce jsem nepokračoval v rešerši konvenčních měřidel. Varianta je ponechána v hodnocení jen informačně pro úplnost.

4.1.2 Souřadnicový měřicí stroj s taktilní sondou

Vybraný souřadnicový měřicí stroj ZEISS MMZ B má následující parametry:

Měřitelné rozměry: x 3000 mm
 y 7000 mm
 z 2000 mm

Chyba měření délky: od 4,0 + L/116 μm

Opakovatelnost: od 4,0 μm

Vybraná sonda ZEISS VAST XTT má následující parametry:

Sondovací chyba: 1,9 μm

Souřadnicový měřicí stroj a sonda zcela splňují požadavky na přesnost. Cena za stroj se sondou se pohybuje podle dostupných informací kolem 250 - 500 tisíc Eur.

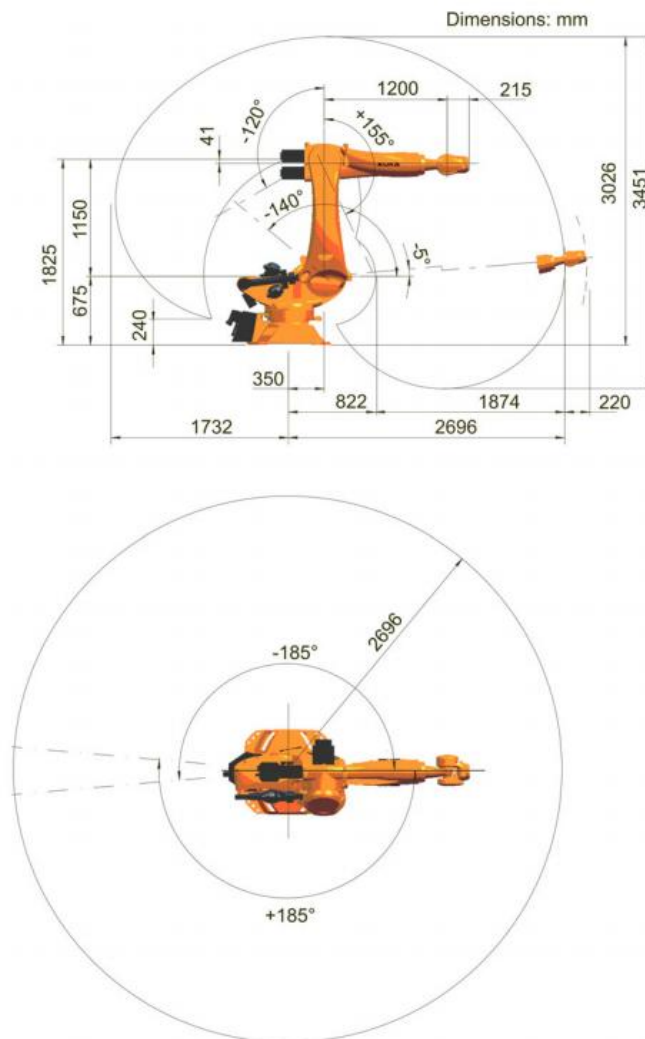


Obr. 14: Měření na souřadnicovém stroji ZEISS MMZ B ^[35]

4.1.3 Šestiosý robot s laserovou hlavicí

Vybraný šestiosý robot KUKA KR 90 R2700 má následující specifikace:

Užitečná zátěž:	90 kg
Maximální dosah:	2696 mm
Opakovatelnost:	0,06 mm



Obr. 15: Pracovní obálka robota KUKA KR 90 R2700 [36]

Vybraná skenovací hlavice NIKON XC65Dx má následující parametry:

Chyba sondy:	9 μm
Skenovací rychlost:	3x 25 000 bodů / s nebo 1x 75 000 bodů / s

Robot s laserovou hlavou má řádově horší přesnost s porovnání se souřadnicovým strojem, ale s rezervou stále splňuje zadané požadavky na přesnost. Velikou výhodou je hlavně obrovská rychlost měření. Cena za robot se sondou se pohybuje kolem 800 tisíc – 1 milion Eur.

4.1.4 Měřící rameno

Vybrané měřící rameno FaroArm má následující technické parametry:

Opakovatelnost: 0,06 mm

Opakovatelnost je obdobná jako u vybraného robota, avšak pro FaroArm mluví cena již někde kolem 50 tisíc Eur.

Zadavatel práce disponuje měřícím ramenem FaroArm a po konzultaci tuto variantu vyloučil pro vysokou náchylnost ke kvalitě obsluhy a s tím spojenými špatnými zkušenostmi. Varianta je ponechána v hodnocení jen informačně pro úplnost.

4.1.5 Souhrn variant

Pro přehlednější porovnání byla sestavena následující tabulka.

Tab. 2: Souhrn variant

P.č.	Název	Opakovatelnost [μm]	Chyba sondy [μm]	Odhadovaná cena [€]
1	Jednúčelový přípravek	-	-	40 000
2	Souřadnicový měřící stroj s taktilní sondou	4	1,9	250 000 – 500 000
3	Šestiosý robot s laserovou hlavicí	60	9	800 000 – 1 000 000
4	Měřící rameno	60	-	50 000

4.2 Tvorba soustavy hodnotících kritérií

Jednotlivá kritéria byla ohodnocena bodovací metodou – každému kritériu byla přiřazená bodová hodnota 1 - 5 na základě důležitosti kritéria. Vyšší hodnota je přiřazena kritériu s vyšší důležitostí. Míra váhy vyjadřuje podíl udělených bodů kritériu k celkovému součtu udělených bodů.

Kritéria pro hodnocení variant řešení a jejich výklad:

- jednoduchost a tuhost konstrukce a instalace – jednoduchost řešení dispozice a principů funkčních skupin, jejich přístupnost a obsluhovatelnost, zaručení stability kontrolovaného dílu, zaručení opakovatelnosti funkcí
- přesnost měření – zaručuje požadované přesnosti a opakovatelnosti měření
- univerzálnost vyhotovení – pokrytí stanovené skupiny typorozmerové řady kontrolovaného dílu, možnost využití modularity
- stabilita rozložení měřicí soustavy – zaručení instalace a seřazení funkčních skupin a prvků měřicí soustavy i při opakované instalaci
- hygiena, bezpečnost a spolehlivost konstrukce – naplnění souvisejících předpisů a norem
- interiérové řešení – naplnění požadavek na design, ergonomii, provoz a údržbu
- předpokládaná cena – předpoklad výrobních nákladů
- rychlost realizace – doba přípravy a realizace varianty řešení, doba zavedení do provozu od začátku přípravy varianty
- kompatibilita na technologii výroby svařence – kompatibilita na výrobní tok součásti
- náročnost obsluhy – kvalifikace pro obsluhu a programové zabezpečení obsluhy
- rychlost měření – rychlost dopravení kusu k měření, přípravy na měření a samotné měření

Tab. 3: Soustava hodnotících kritérií a míra váhy jednotlivých kritérií podle bodovací metody

P.č.	Kritérium	Body	Míra váhy
1	Jednoduchost konstrukce a instalace	3	0,081
2	Přesnost a opakovatelnost měření	4	0,108
3	Univerzálnost vyhotovení	3	0,081
4	Stabilita rozložení	1	0,027
5	Hygiena, bezpečnost a spolehlivost	4	0,108
6	Interiérové řešení	3	0,081
7	Předpokládaná cena	5	0,135
8	Rychlost realizace	4	0,108
9	Kompatibilita na technologii výroby	3	0,081
10	Náročnost obsluhy	2	0,054
11	Rychlost měření	5	0,135
Celkem		37	1

4.3 Stanovení pořadí variant

Pořadí variant bylo určeno bodovací metodou – každé variantě byla pro každé kritérium přiřazena bodová hodnota 1 - 5 na základě plnění kritéria danou variantou. Vyšší hodnota je přiřazena variantě s vhodnějším plněním daného kritéria. Bodové hodnoty se poté vynásobí s vahou příslušného kritéria. Konečný součet určí výslednou variantu. Viz tabulka 4.

Tab. 4: Stanovení pořadí variant bodovacím metodou

P.č.	Kritérium	Míra váhy	Variant 1			Variant 2			Variant 3			Variant 4		
			Plnění kritéria	Body	Hodnota	Plnění kritéria	Body	Hodnota	Plnění kritéria	Body	Hodnota	Plnění kritéria	Body	Hodnota
1	Jednoduchost konstrukce a instalace	0,081	Složitá konstrukce	1	0,081	Jednoduchá až žádná	5	0,405	Jednoduchá konstrukce	4	0,324	Jednoduchá konstrukce	4	0,324
2	Přesnost a opakovatelnost měření	0,108	Dostatečná	2	0,216	Výborná	5	0,540	Velmi dobrá	4	0,432	Nedostatečná	1	0,108
3	Univerzálnost vyhotovení	0,081	Žádná	1	0,081	Výborná	5	0,405	Výborná	5	0,405	Velmi dobrá	4	0,324
4	Stabilita rozložení, mobilnost	0,027	Složitá	2	0,054	Dobrá	3	0,081	Velmi dobrá	4	0,108	Výborná	5	0,135
5	Hygiena, bezpečnost a spolehlivost	0,108	Velmi dobrá	4	0,432	Vyšší nároky na prostředí	2	0,216	Nižší bezpečnost	3	0,324	Velmi dobrá	4	0,432
6	Interiérové řešení	0,081	Velmi dobré	4	0,324	Složitě	1	0,081	Dobré	3	0,243	Velmi dobré	4	0,324
7	Předpokládaná cena	0,135	Nízká	5	0,675	Vysoká	2	0,270	Velmi vysoká	1	0,135	Poměrně nízká	4	0,540
8	Rychlost realizace	0,108	Poměrně rychlá	4	0,432	Pomalejší	3	0,324	Pomalejší	3	0,324	Poměrně rychlá	4	0,432
9	Kompatibilita na technologii výroby	0,081	Dobrá	3	0,243	Dostatečná	2	0,162	Výborná	5	0,405	Poměrně dobrá	4	0,324
10	Náročnost obsluhy	0,054	Náchylná na kvalitu obsluhy	2	0,108	Nízká	4	0,216	Nízká až žádná	5	0,270	Náchylná na kvalitu obsluhy	2	0,108
11	Rychlost měření	0,135	Velmi pomalé	1	0,135	Střední	3	0,405	Velmi rychlé	5	0,675	Pomalé	2	0,270
Součet			2,781			3,105			3,645			3,321		
Vybraný variant			Variant 3											

4.4 Výběr varianty určenému k realizaci

Zhodnocení variant vícekriteriálním rozhodováním určilo dle tab. 4 jako nejvhodnější variantu číslo 3 – šestiosý robot se skenovací hlavou. Tato varianta bude dále rozpracována, kdy bude řešen konstrukční návrh ustavovacího přípravku pro měřicí stanici s robotem.

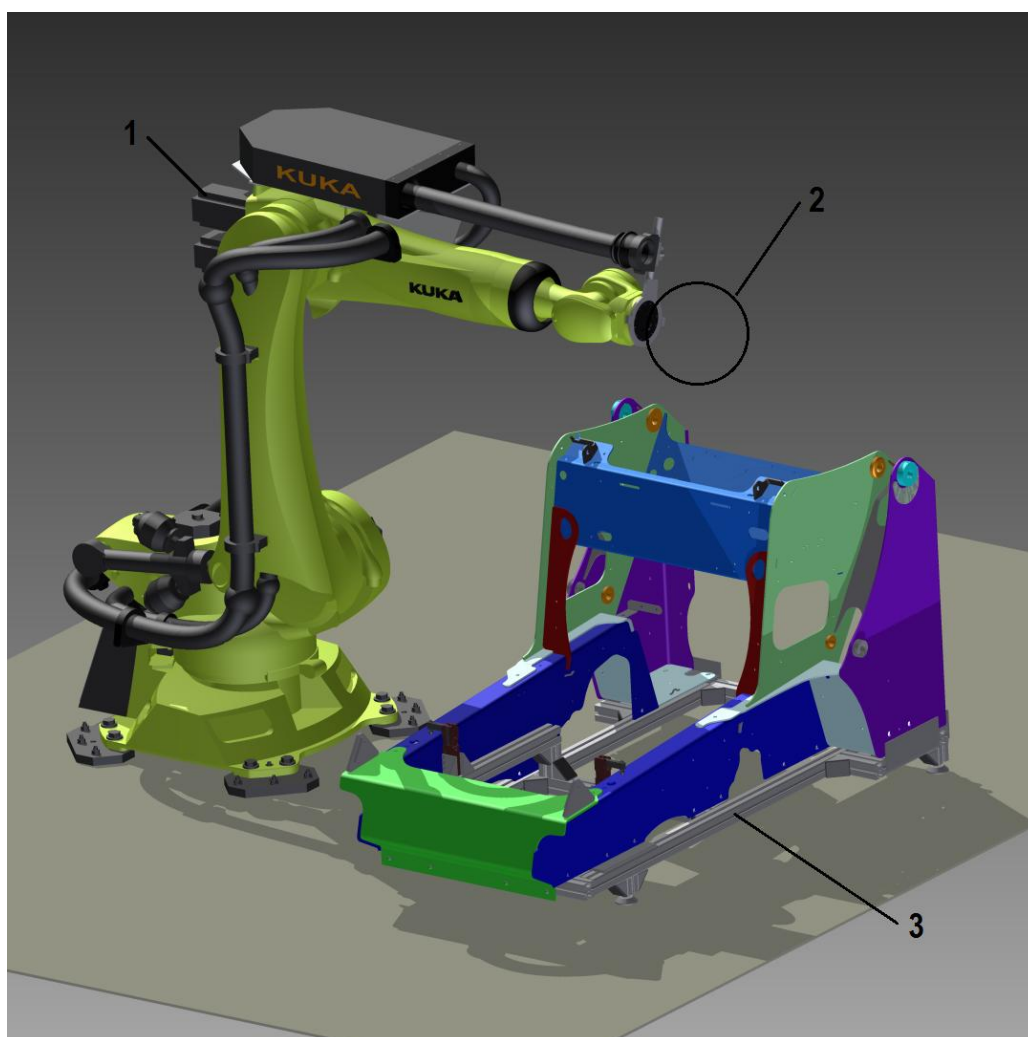
5. Řešení upínacího přípravku

Kapitola popisuje samotné řešení upínacího přípravku použitého v kontrolním stanovišti svařence dle metody vybrané v kapitole 4. Řešení je postaveno na požadavkách zadavatele. [5],[6],[8],[10],[11],[13],[15],[16],[17],[18]

5.1 Řešení kontrolního pracoviště

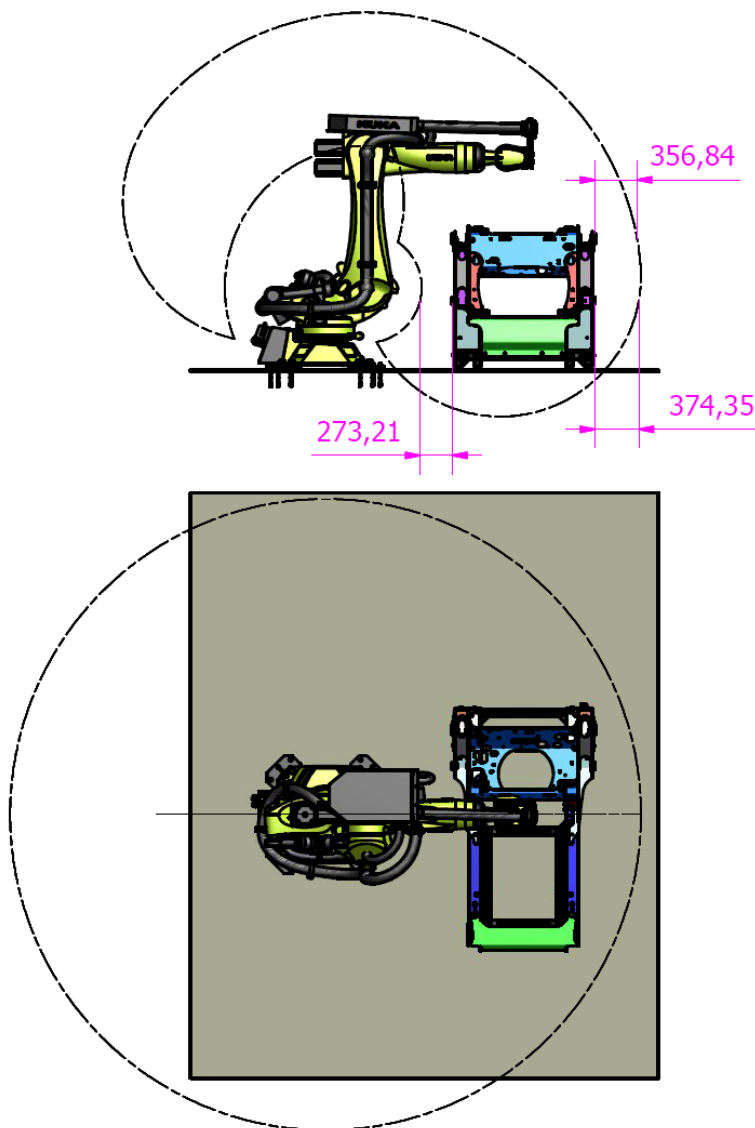
Řešení kontrolního pracoviště vychází z technického rozpracování varianty 3, řešení je koncepčně postaveno na dispozičním uspořádání, obr. 16, prvku

- průmyslový robot KUKA KR 90 R2700 (1)
- skenovací hlavice NIKON XC65Dx (2) – (CAD model není k dispozici)
- upínací přípravek vlastní konstrukce (3)



Obr. 16: Řešení kontrolního pracoviště

Pracoviště je navrženo jako robotická buňka, manipulace s objektem měření na vstupu a výstupu je realizovaná jeřábem. Pracoviště je umístěné samostatně, tj. mimo svářecí linku. Pracovní prostor robota a jeho kinematika zaručují, že robot koncovým členem obsáhne požadované pracovní dráhy v smyslu potřeb úlohy měření.



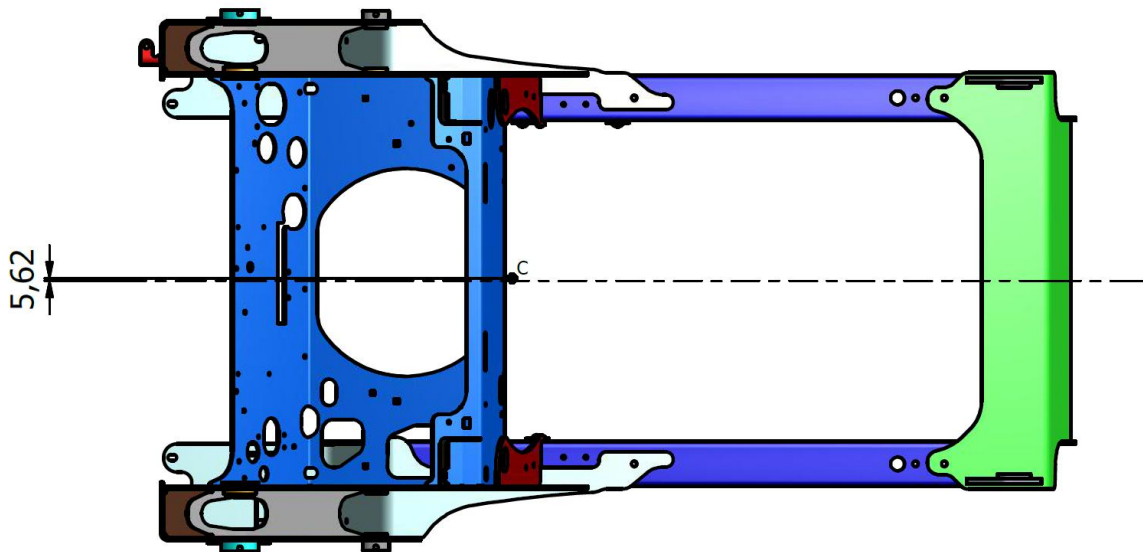
Obr. 17: Pracovní prostor robota v rámci kontrolního pracoviště

5.2 Analýza objektu měření

Analýza objektu měření je orientovaná na definování parametru zatížení a rozměrových parametrů potřebných pro návrh a dimenzování upínacího přípravku. Pro upnutí a fixaci svařence je nutno znát měřené prvky a zabezpečit jejich přístupnost

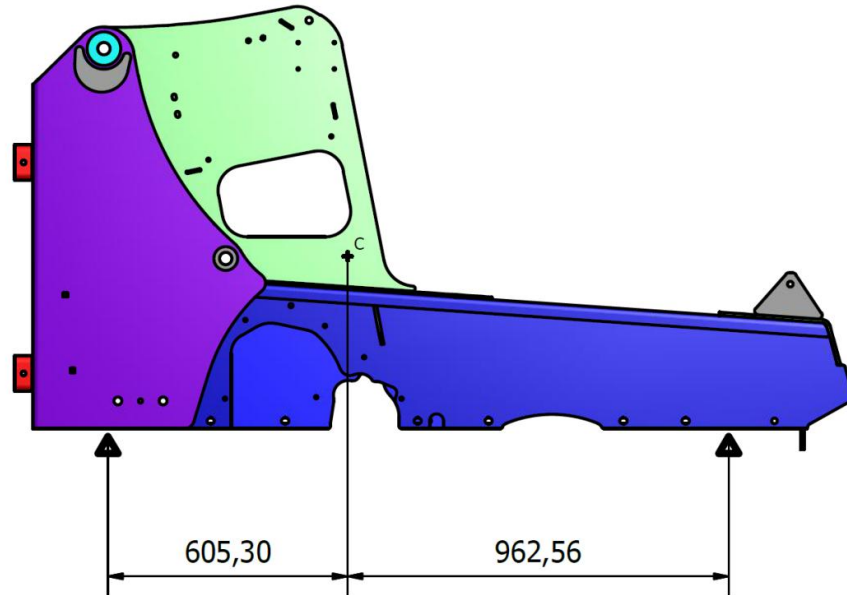
skenovací hlavě. Je vhodné využít horní plochy, popř. boční plochy, které nejsou zatížené měřenými rozměry.

Pro analýzu zatížení jsem uvažoval svařenec jako symetrickou součást, i když je poloha těžiště 5,62 mm mimo středovou rovinu, při obrysových rozměrech svařence jde o zanedbatelnou odchylku. Koordináty těžiště byly stanoveny z CAD modelu svařence.



Obr. 18: Poloha těžiště

Pro prvotní koncept jsem navrhl čtyři dosedací plochy – dvě vzadu svařence, na vodorovných částech blatníků a dvě vpředu, na bočnicích, mezi dvěma měřenými dírami pro šrouby sloužícími k připevnění základního rámu k transmisi nakladače.



Obr. 19: Poloha uvažovaných podpěr vůči těžišti

Pro výpočet reakčních sil jsem zjednodušil svařenec na model nosníku se dvěma podpěrami. Každá vypočtená reakční síla je teda dvojnásobná oproti skutečné reakční síle (dosedací plochy jsou čtyři). Získáváme soustavu rovnic o dvou neznámých.

Momentová rovnice vůči průmětu těžiště:

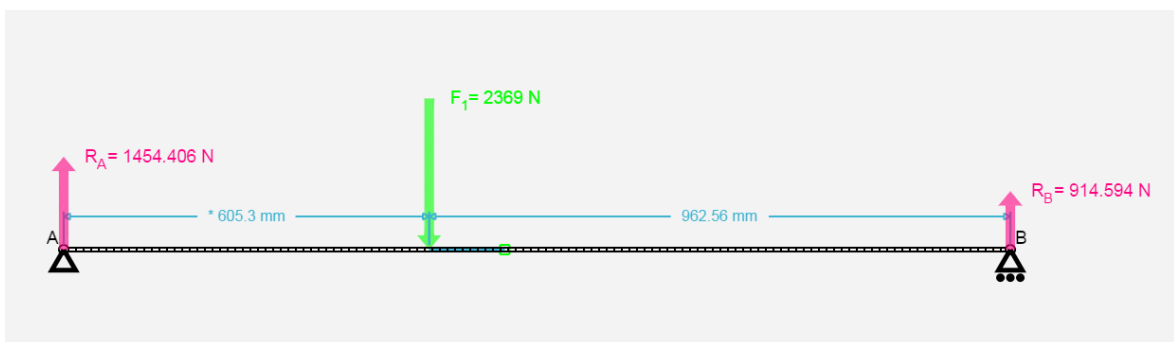
$$R_A \cdot x_A - R_B \cdot x_B = 0 \quad (1)$$

$$x_A = 605,3 \text{ mm} \quad x_B = 962,56 \text{ mm}$$

Silová rovnováha do směru y:

$$R_A + R_B - F_1 = 0 \quad (2)$$

$$F_1 = m \cdot g = 241,79 \cdot 9,81 = 2369 \text{ N}$$



Obr. 20: Výpočet reakčních sil pomocí aplikace Autodesk ForceEffect

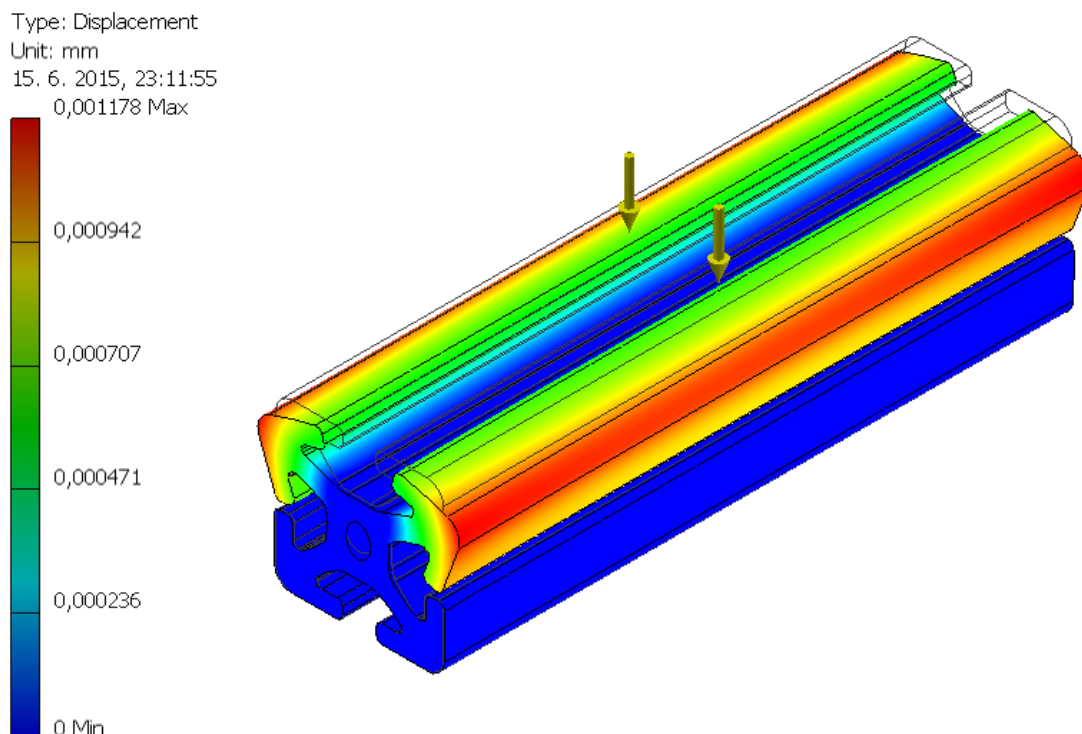
Pro minimalizaci ohybového momentu byly nohy přípravku umístěné pod dosedací plochy.

5.3 Konstrukce upínacího přípravku

Upínací přípravek je řešen jako rovinná vyztužená rámová konstrukce na čtyřech nohách, pro její sestavení jsou využity konstrukční duralové profily ITEM 12 60x60.

Materiál profilu je Al Mg Si 0,5 F 25 (materiálové číslo 3.3206.72) s pevností v tahu 245 N/mm^2 a mezí kluzu 195 N/mm^2 . Modul pružnosti je přibližně 70 kN/mm^2 . Kompletní technické data jsou uvedeny v katalogovém listu v příloze.

Vybraný profil jsem podrobil předběžné MKP analýze. Na obrázku je znázorněn výsek profilu pod zadní dosedací plochou. Zafixovaná byla spodní plocha a na horní plošce byla rozdělena síla zatěžující zadní dosedací plochu (730 N). Podle výsledků MKP analýzy se profil zdeformuje o max. $1 \text{ }\mu\text{m}$. Na měření bude mít tato deformace minimální až žádný vliv. Profil je tedy dostatečně tuhý pro navrženou konstrukci.



Obr. 21: Deformace profilu pod zadní dosedací plochou

Uložení a fixace polohy svařence v přípravku je realizována symetricky dvěma zadními dorazy (kontakty ve tvaru L), čtyřmi vymežovacími bočními dorazy a dvěma upínacími hlavicemi. Upínače tlačí na zvažující se plochu bočnice svařence, a tím vyvozuji sílu nejen dolů, ale taky tlačí svařenec dozadu. Tato sestava dorazů a tíha vlastního svařence zaručují odpovídající opakovatelnost polohy, stabilitu a fixaci svařence při měření.

Na dorazy byly použity hliníkové T profily.

Hliníkový T profil 100X60X5

A	B	S
100	60	5

Kč bez DPH/kg	Kč bez DPH/m	L (mm)	Čís. prof.	Norma	Sklad
130,00	275,60	6000	854024	EN 573-3 AW 6060 T66 EN 1,2,9	ok

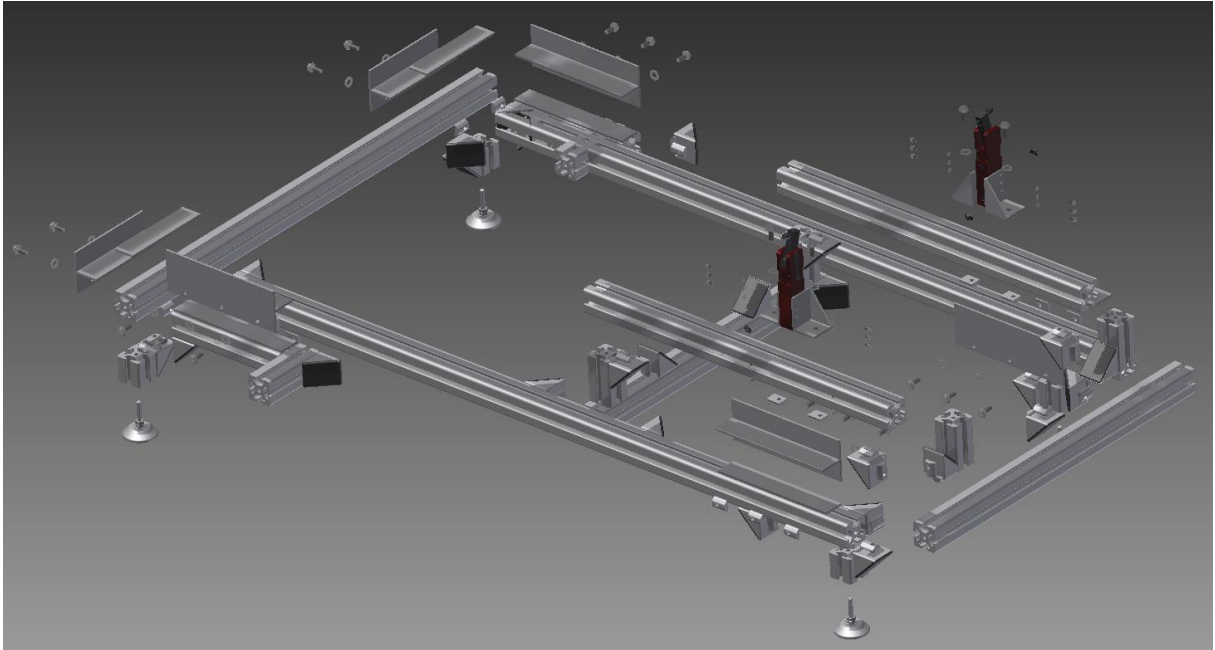


Obr. 22: Hliníkový T profil [37]

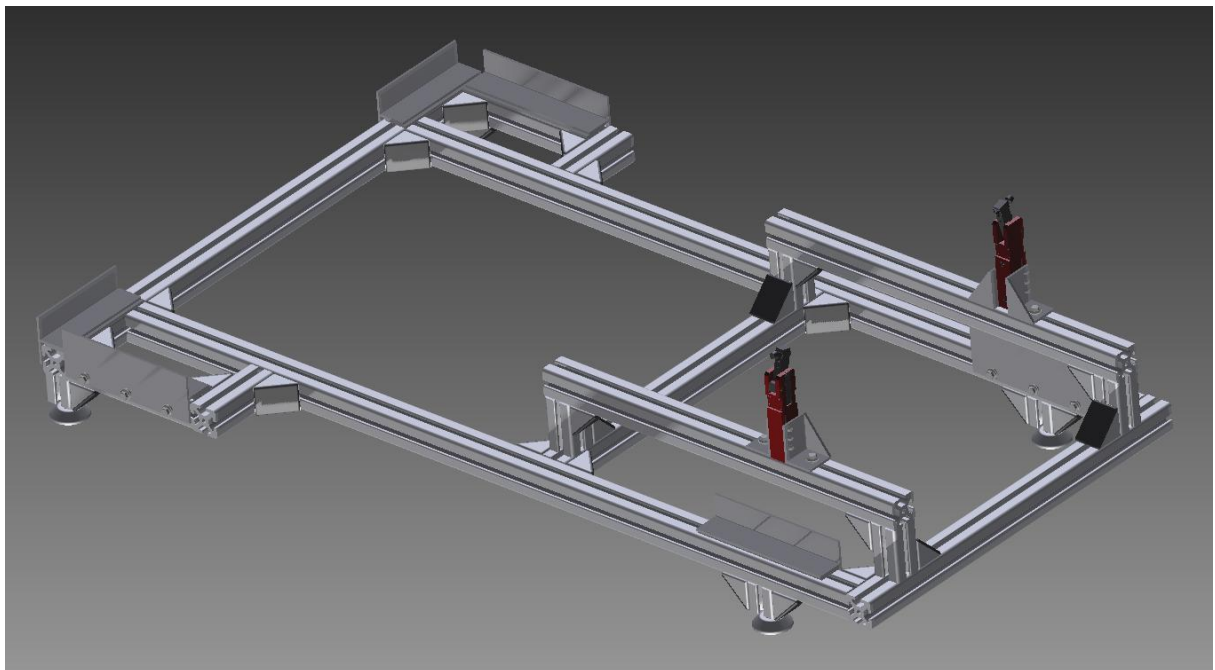
Pneumatický upínač byl vybrán z katalogu AMF. Jde o dvojčinný upínač 6828M. Výrobce udává upínací moment 25 Nm při 5 barech a maximální držící moment 75 Nm. Při použité rozteči (na upínači jsou 3 díry pro upevnění upínacích šroubů) jde o síly 384 N resp. 1154 N. Upínač byl umístěn nad přední doraz pro minimalizaci deformací.



Obr. 23: Upínač AMF 6828M [38]



Obr. 24: Pohled na rozloženou sestavu přípravku



Obr. 25: Pohled na sestavu přípravku

Výkres sestavy je uvedený v přílohách.

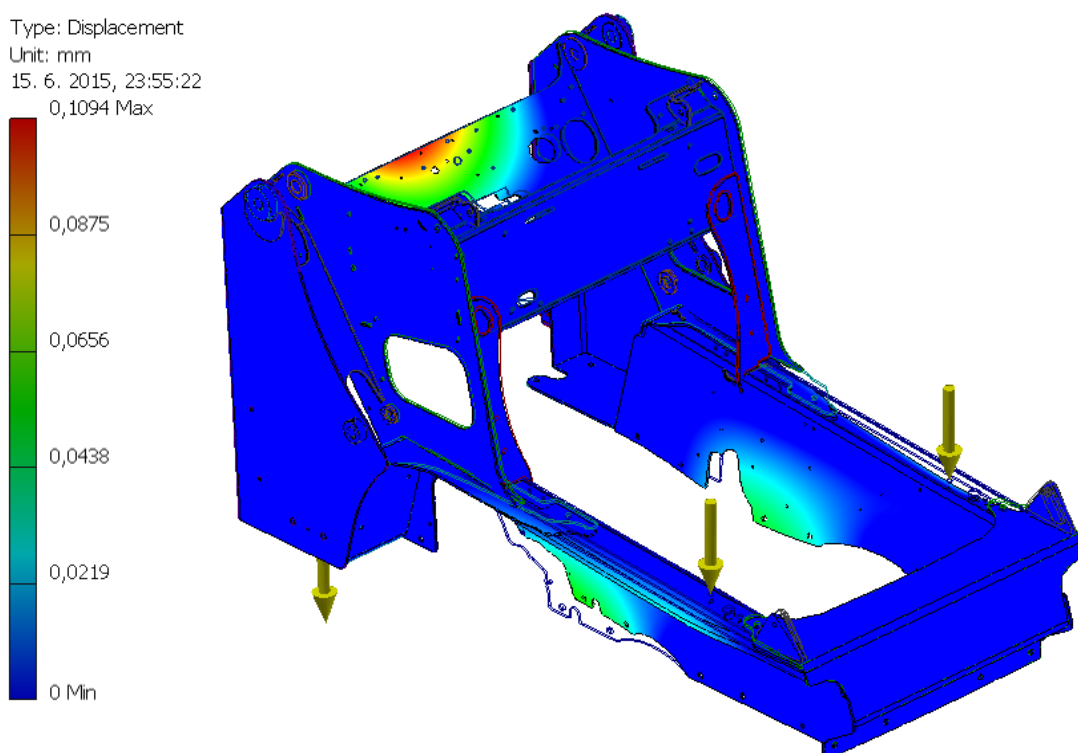
5.4 MKP analýza rámu

Navržená konstrukce upínacího přípravku i samotný svařenec byly podrobené analýze statického zatížení metodou MKP. Tato analýza dává základní informaci o

přibližných deformací na přípravku a svařenci, a naznačuje možná rizika pro přesnost a korektnost měření.

Pro analýzu svařence byl model fixován na plochách, které doléhají na dosedací plochy přípravku. Zatížení bylo definováno dvěma silami od upínačů (každá 1150 N) a vlastní tíhou. Modelu byl přiřazen materiál z knihovny Inventor – ocel pro svařence.

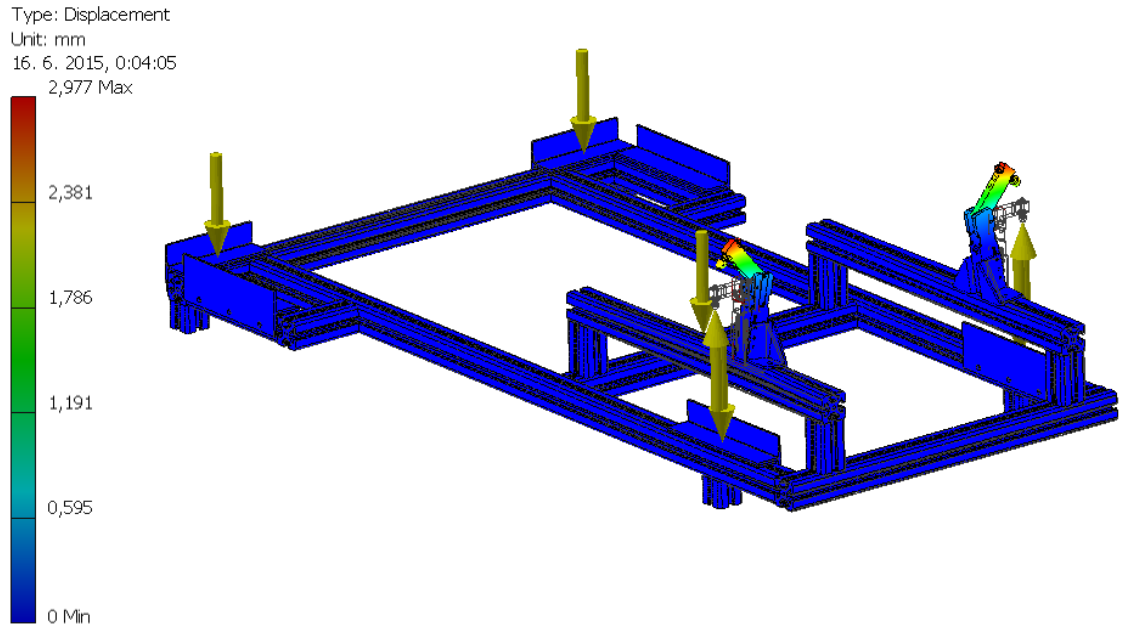
Největší zatížení bylo v oblasti chladicí skupiny, která není požadovaným místem měření.



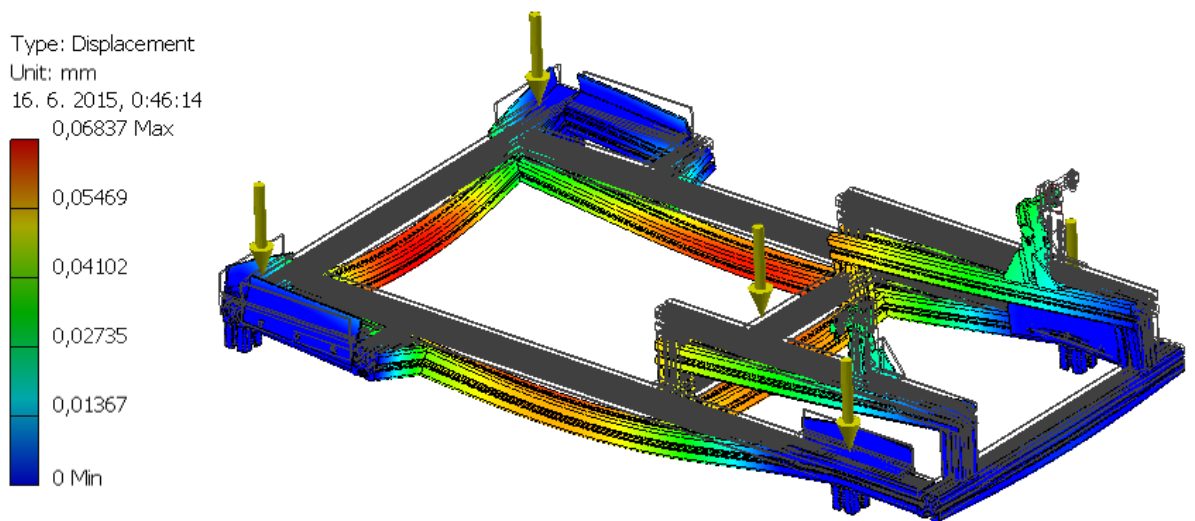
Obr. 26: MKP analýza měřeného objektu (deformace)

Pro MKP analýzu přípravku byly vynechány z modelu úhlové spojky, spojovací materiál a nivelační nohy pro zkrácení výpočtového času. Po provedení analýzy s kompletním zatížením (reakční síly do upínačů, tíha svařence, vlastní tíha přípravku) byla provedena ještě analýza bez zatížení od upínačů z důvodu relativně velkého rozdílu deformací na upínačích a deformacích na samotném rámu přípravku.

Síly zatížení byly stanoveny z modelu nosníku po zatížení silou od upínačů (1180 N na zadní plochy a 2280 N na přední), reakční sílu na upínače jsem stanovil stejnou jak přítlační sílu (1150 N).



Obr. 27: MKP analýza upínacího přípravku, kompletní zatížení (deformace)



Obr. 28: MKP analýza upínacího přípravku, bez zatížení od upínačů (deformace)

. Z analýzy možno konstatovat, že deformace vlivem upnutí svařence do přípravku výrazně neovlivní výsledky měření. Deformace na měřených prvcích svařence nepřesáhne 0,08 mm. Deformace na přípravku bude zejména na rameni upínače, samotná konstrukce je dostatečně tuhá pro navrženou aplikaci, deformace dosahují v nejexponovanějších místech 0,07 mm.

Analýza byla provedena pro předběžnou představu o zdeformování sestav po zatížení. Výsledky lze zpřesnit komplexní MKP analýzou, příp. je možné pro porovnání provést experimentální měření na vyrobeném prototypu.

Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou metodu pro měření svařence základního rámu Bobcat řady 400 a vypracovat ideový návrh pro upínací přípravek. Dílčí výsledky mé práce jsem konzultoval se zadavatelem práce – zaměstnanci firmy Bobcat, kteří během vypracovávání práce postupně zužovali podmínky a zpřesňovali požadavky na základě mnou získaných výsledků.

Výsledkem mé práce je návrh poloautomatizovaného měřicího pracoviště a konstrukční návrh upínacího přípravku. Prioritní cíl práce vázaný na předběžný návrh zavedení měření svařenců základních rámu ve firmě Bobcat jsem naplnil, ostatní výstupy řešení můžou sloužit jako podklady pro měření jiných rozměrných svařenců. Můj návrh upínacího přípravku je vhodný na další konstrukční a technické rozpracování.

Upínací přípravek je postaven na dílech stavebnice ITEM, hliníkových T-profilech a normalizovaných spojovacích prvcích. Koncepce byla navrhována s ohledem na co nejnižší počet nenormalizovaných dílů a v co neuzším sortimentu. To zaručuje několikanásobně nižší pořizovací náklady a rychlou realizaci. Výběr robota a skenovací hlavice je postaven na standardním sortimentu firem Kuka a Nikon.

Možné rozšíření mé práce bych viděl v upravení konstrukce přípravku tak, aby se dal použít i pro jiné série nakladačů, případně svařence jiných funkčních skupin stejného nakladače.

Použitá literatura

- [1] HOFFMANN, D.: Priemyselná meracia technika. Alfa Bratislava, Bratislava 1988.
- [2] JENČÍK, J.; KUHN, L.: Technická měření ve strojnictví. SNTL Praha, Praha 1982.
- [3] TICHÁ, Š.: Strojírenská metrologie, část 1. VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2004.
- [4] POKORNÝ, P.: Souřadnicové měřicí stroje. TU v Liberci, Liberec 1999. ISBN 80-7083-326-2
- [5] MONKA, P.; GOČ, J.: Základy konštrukcie a výroby prípravkov. FVT TU Košice so sídlom v Prešove, Prešov 1999. ISBN 80-7099-470-3.
- [6] NOVOTNÝ, K.; ZEMČÍK, O.: Nástroje a přípravky. VUT FSI Brno, Brno 1992.
- [7] PALKO, A.; SMRČEK, J.: Robotika: Koncové efekty pre priemyselné a servisné roboty, Sjf TU Košice, Košice 2004. ISBN 80-8073-218-3.
- [8] ŠUTOR, K.: Konštrukčné cvičenia z prípravkov. Sjf VŠT Bratislava, Bratislava 1986.
- [9] STANĚK, M.: Aplikace průmyslových robotů v oblasti obrábění. VUT Brno, Brno 2009.
- [10] KUKA. Firemní katalogy. [online] Dostupné: <http://www.kuka-robotics.com/en/>
- [11] NIKON. Firemní katalogy. [online] Dostupné: http://www.nikonmetrology.com/en_EU/
- [12] ZEISS. Firemní katalogy. [online] Dostupné: http://www.zeiss.cz/corporate/cs_cz/home.html
- [13] AMF. Firemní katalogy. [online] Dostupné: <http://www.amf.de/de/home/>
- [14] FARO. Firemní katalogy. [online] Dostupné: <http://www.faro.com/home>
- [15] ITEM. Firemní katalogy. [online] Dostupné: <http://www.item24.sk/>
- [16] eHlinik.cz. Firemní katalogy. [online] Dostupné: <http://www.ehlinik.cz/>
- [17] TREBUŇA, F.; ŠIMČÁK, F.: Odolnosť prvkov mechanických sústav. Sjf TU Košice, Košice 2004. ISBN 80-8073-148-9.
- [18] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. Albra, Úvaly 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.

Elektronické zdroje

- [19] Příklad řešení jednoúčelového přípravku (ustavovací přípravek pro měření na 3D) [online] Dostupné: <http://www.tooltechcz.com/cz/kategorie/vyroba-pripravku.aspx>
- [20] Model koncepce a uspořádání kontrolního přípravku [online] Dostupné: http://www.galatech.cz/Kontrolni-pripravky-c1_0_1.htm
- [21] Plný materiál [online] Dostupné: <http://www.cz.all.biz/ocelovy-plech-bgg1079151>
- [22] Duralový profil [online] Dostupné: <http://suroviny-polotovary.slovenskainzercia.sk/kovove-polotovary-plechy/inzerat/2006143-ocelove-rury-j-E4klove-profil-y-ponuka-kosicky-kraj/>
- [23] Duralový profil Haberkorn [online] Dostupné: <http://www.haberkorn.cz/system-hlinikovych-profilu/>
- [24] Bessey STC HH50 [online] Dostupné: <http://www.boukal-naradie.sk/upinacie-naradie/variabilny-upinac-bessey-stc-hh20/>
- [25] Emile Maurin 26 31 [online] Dostupné: <http://www.emile-maurin.fr/sauterelle-pneumatique-verin-festo-26-310/>
- [26] Digitální úchytkoměr Mahr 1080 [online] Dostupné: <http://www.stroje-naradie.sk/firmy/naradie/535/?zobrazenie=&idfirmy=535&zapisat=nie&nazov1=3981&nazov2=8599&prezentaciaklienta=>
- [27] Kontrolní kalibr [online] Dostupné: <http://www.gedyko.cz/produkce/kontrolni-pripravky-a-meridla/>
- [28] Typy konstrukcí souřadnicového měřicího stroje [online] Dostupné: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf
- [29] Schéma měřicí hlavy s elektrokontaktním snímačem [online] Dostupné: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf
- [30] Průmyslový robot KUKA KR 90 R2700 [online] Dostupné: <http://www.robot-magazine.fr/industriel/>
- [31] Skenovací hlavice NIKON XC65Dx [online] Dostupné: [http://www.nikonmetrology.com/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/XC65Dx-LS-digital-Cross-Scanner/\(key_features\)](http://www.nikonmetrology.com/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/XC65Dx-LS-digital-Cross-Scanner/(key_features))
- [32] Skenovací hlavice NIKON XC65Dx [online] Dostupné: [http://www.nikonmetrology.com/en_EU/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/XC65Dx-LS-digital-Cross-Scanner/\(key_features\)](http://www.nikonmetrology.com/en_EU/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/XC65Dx-LS-digital-Cross-Scanner/(key_features))
- [33] Princip měření laserovou skenovací hlavicí [online] Dostupné: <http://www.deskeng.com/de/3d-scanning-101/>

- [34] Měřicí rameno Faro Arm [online] Dostupné:
<http://www.motownindia.com/Bureau/Technology/8/Faro-Edge-ScanArm-HD-comes-with-fast-scanning>
- [35] Měření na souřadnicovém stroji ZEISS MMZ B [online] Dostupné:
<http://www.mmsonline.com/articles/cmms-provide-reliable-accurate-measurement-data>
- [36] Pracovní obálka robota [online] Dostupné: <http://www.eurobots.net/KUKA-robots-QUANTEC-KR-90-R2700-pro-p244-en.html>
- [37] Hliníkový T profil [online] Dostupné: <http://www.ehlinik.cz/hlinikovy-t-profil-30x30x3/pro-YST0000101.html>
- [38] Upínač AMF 6828M [online] Dostupné: <http://www.hellotrade.com/maxiloc-tooling/pneumatic-toggle-clamp.html>

Seznam obrázků

- [1] Objekt měření – svařenec 7195084
- [2] Požadované kontrolované prvky
- [3] Příklad řešení jednoúčelového přípravku (ustavovací přípravek pro měření na 3D)
- [4] Model koncepce a uspořádání kontrolního přípravku
- [5] Příklad materiálu pro stavbu nosního rámu
- [6] Příklad rychloupínačů
- [7] Měřicí prvky přípravku
- [8] Typy konstrukcí souřadnicového měřicího stroje
- [9] Schéma měřicí hlavy s elektrokontaktním snímačem
- [10] Průmyslový robot KUKA KR 90 R2700 určený pro vysoce přesné aplikace jako například laserové měření
- [10] Skenovací hlavičky NIKON XC65Dx
- [12] Princip měření laserovou skenovací hlavicí
- [13] Měřicí rameno Faro Arm
- [14] Měření na souřadnicovém stroji ZEISS MMZ B
- [15] Pracovní obálka robota KUKA KR 90 R2700
- [16] Řešení kontrolního pracoviště
- [17] Pracovní prostor robota v rámci kontrolního pracoviště
- [18] Poloha těžiště
- [19] Poloha uvažovaných podpěr vůči těžišti
- [20] Výpočet reakčních sil pomocí aplikace Autodesk ForceEffect
- [21] Deformace profilu pod zadní dosedací plochou
- [22] Hliníkový T profil
- [23] Upínač AMF 6828M
- [24] Pohled na rozloženou sestavu přípravku
- [25] Pohled na sestavu přípravku
- [26] MKP analýza měřeného objektu (deformace)
- [27] MKP analýza upínacího přípravku, kompletní zatížení (deformace)
- [28] MKP analýza upínacího přípravku, bez zatížení od upínačů (deformace)

Seznam tabulek

- [1] Metrologické požadavky na kontrolu výrobního procesu
- [2] Souhrn variant
- [3] Soustava hodnotících kritérií a míra váhy jednotlivých kritérií podle bodovací metody
- [4] Stanovení pořadí variant bodovací metodou

Seznam příloh

- [1] Výkres Bobcat 7195084.
- [2] Výkres sestavy upínacího přípravku.
- [3] Katalogový list profilu ITEM.
- [4] Katalogový list upínače AMF 6828M.
- [5] CD s CAD modelem a .pdf BP.