

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**2022**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Voneš** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **473502**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výrobní inženýrství**  
Specializace: **Bez specializace**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Návrh kontrolního přípravku radlice rypadla**

Název diplomové práce anglicky:

**Design of a inspection jig of excavator blade**

Pokyny pro vypracování:

1. Kontrolní a měřicí přípravky
2. Problematika kontroly vybraného dílce - radlice rypadla
3. Návrh kontrolního přípravku
4. Kontrola dílu s využitím navrženého přípravku

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

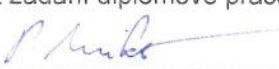
**Ing. Petr Mikeš, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

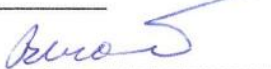
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.03.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **29.07.2022**

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.

11.04.2022  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Nemám žádný závažný důvod proti užití školního díla ve smyslu §60 Zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne: .....

.....

**Bc. Jan Voneš**

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Petru Mikešovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce. Dále také všem zaměstnancům firmy Doosan Bobcat EMEA s.r.o., kteří byli ochotni pomoci po celou dobu psaní. V neposlední řadě také svojí rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

# Anotace

**Vysoká škola:** ČVUT v Praze, Fakulta strojní

**Ústav:** Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

**Název bakalářské práce:** Návrh kontrolního přípravku radlice rypadla

**Akademický rok:** 2021/2022

**Autor:** Bc. Jan Voneš

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Mikeš, Ph.D.

**Abstrakt:** Práce se zabývá problematikou kontroly svařence. V úvodní části se zaměřuje na základní informace o rozdělení přípravků, jejich univerzálnosti a oblasti využití. Dále popisuje principy uložení a upnutí a jejich pravidla. Následuje kapitola o nejčastěji používaných měřidlech. Poté jsou uvedeny problémy při výrobě konkrétního dílu, radlice rypadla. Znalosti z přechozích kapitol posloužily k návrhu, výrobě a kontrole funkčnosti měřicího přípravku radlice rypadla, který bude následně implementován do výroby.

**Klíčová slova:** kontrolní přípravek, měřicí přípravek, radlice, rypadlo, uložení, upnutí

**Počet stran:** 88

**Počet obrázků:** 62

**Počet tabulek:** 13

**Počet rovnic:** 3

# Annotation

**University:** CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering

**Department:** Department of Machining, Process Planning and Metrology

**Title of work:** Design of a inspection jig of excavator blade

**Academic year:** 2021/2022

**Author:** Bc. Jan Voneš

**Supervisor:** Ing. Petr Mikeš, Ph.D.

**Abstract:** This work deals with the issue of inspecting a weldment. The beginning focuses on the basic information about jigs and fixtures, their division, universality and the field of use. It also describes the principles of locating and clamping and their rules. Following chapter tells about the most commonly used gauges. Then the problems in the production of a specific part, excavator blade, are listed. The knowledge from the previous chapters is used to design, manufacture and check the functionality of the excavator blade inspection jig, which is to be implemented into the production line.

**Keywords:** inspection jig, measuring jig, blade, excavator, locating, clamping

**Number of pages:** 88

**Number of pictures:** 62

**Number of tables:** 13

**Number of equations:** 3

# Obsah

1	ÚVOD.....	9
2	PŘÍPRAVKY .....	10
3	ROZDĚLENÍ PŘÍPRAVKŮ.....	11
3.1	PODLE UNIVERZÁLNOSTI.....	11
3.1.1	Univerzální přípravky.....	11
3.1.2	Jednoúčelové přípravky.....	11
3.1.3	Skupinové přípravky .....	12
3.1.4	Modulární přípravky.....	12
3.2	PODLE OPERACE POUŽITÍ.....	16
3.2.1	Obráběcí přípravky.....	16
3.2.2	Svařovací přípravky.....	16
3.2.3	Montážní přípravky.....	16
3.2.4	Kontrolní a měřicí přípravky .....	17
4	PRINCIPY ULOŽENÍ A UPNUTÍ.....	18
4.1	MECHANIKA ULOŽENÍ A UPNUTÍ .....	18
4.1.1	Dorazy .....	18
4.1.2	Upínky.....	19
5	ULOŽENÍ .....	20
5.1	ZPŮSOBY ULOŽENÍ .....	20
5.1.1	Vnější uložení.....	21
5.1.2	Vnitřní uložení .....	22
5.2	PRAVIDLA ULOŽENÍ.....	22
6	UPNUTÍ.....	25
6.1	VÝBĚR UPÍNEK.....	25
6.2	ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ.....	25
6.2.1	Hydraulický systém.....	26
6.2.2	Pneumatický systém.....	27
6.2.3	Hydraulicko – pneumatický systém.....	28
6.2.4	Speciální systémy.....	28
7	MĚŘIDLA .....	30
7.1	KALIBRY.....	30
7.2	SPÁROVÉ MĚRKY .....	31
7.3	ČÍSELNÍKOVÝ ÚCHYLKOMĚR.....	31
7.4	DALŠÍ MĚŘIDLA .....	33
8	PŘÍKLADY MĚŘICÍCH A KONTROLNÍCH PŘÍPRAVKŮ.....	34
9	RPS SYSTÉM.....	35
9.1	GLOBALNÍ SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM .....	36

9.2	PRAVIDLO 3-2-1.....	36
9.3	RPS SYSTÉM VE SPOLEČNOSTI DOOSAN BOBCAT EMEA S.R.O. ....	37
9.3.1	<i>Referenční body RPS</i> .....	37
9.3.2	<i>Měřené prvky</i> .....	38
9.3.3	<i>Příklad měrového výkresu podle Bobcat standartu</i> .....	38
10	SPOLEČNOST DOOSAN BOBCAT EMEA S.R.O.....	40
10.1	HISTORIE SPOLEČNOSTI DOOSAN BOBCAT EMEA S.R.O. ....	40
10.2	BUDOVY SPOLEČNOSTI DOOSAN BOBCAT EMEA S.R.O. ....	41
11	KOMPAKTNÍ RYPADLO E08 .....	42
11.1	RADLICE E08 .....	43
11.2	VÝROBA RADLICE E08 .....	44
11.3	PROBLÉM KONTROLY RADLICE.....	45
12	NÁVRH KONTROLNÍHO A MĚŘICÍHO PŘÍPRAVKU .....	46
12.1	RÁM PŘÍPRAVKU .....	46
12.2	DORAZY A ÚCHYTY .....	48
12.2.1	<i>Zadní úchyty</i> .....	48
12.2.2	<i>Střední doraz</i> .....	49
12.2.3	<i>Přední dorazy</i> .....	50
12.2.4	<i>Ostatní součásti přípravku</i> .....	51
12.3	POLOHY DORAZŮ PRO RŮZNÉ SIMULACE MĚŘENÍ.....	52
12.4	PŘEDCHOZÍ VERZE PŘÍPRAVKU.....	54
12.4.1	<i>Střední doraz</i> .....	54
12.4.2	<i>Přední dorazy</i> .....	55
13	HOTOVÝ PŘÍPRAVEK.....	58
14	MĚŘENÍ PŘÍPRAVKU.....	60
14.1	MĚŘENÍ RÁMU.....	60
14.2	MĚŘENÍ SMONTOVANÉHO PŘÍPRAVKU.....	64
14.2.1	<i>Měřicí stroj</i> .....	64
14.2.2	<i>Příprava měření</i> .....	65
14.2.3	<i>Samotné měření</i> .....	67
15	R&R STUDIE MĚŘICÍHO PŘÍPRAVKU .....	73
16	MĚŘENÍ RADLIC .....	76
16.1	PRVNÍ MĚŘENÍ.....	76
16.2	DRUHÉ MĚŘENÍ .....	77
17	ZÁVĚR .....	79
18	SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY .....	82
19	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC .....	85
20	SEZNAM PŘÍLOH.....	88



# 1 Úvod

Celá diplomová práce vznikla na popud firmy Doosan Bobcat EMEA s.r.o., která chce využívat přípravek pro kontrolu radlic jejich nejmenšího rypadla na nově vznikající výrobní lince. Do této doby nebyla účinná metoda, jak díl zkontrolovat. Po zjištění výrobní přesnosti na stávající lince se tato data mají použít pro porovnání s radlicemi vyrobenými na nové lince. Následně se plánuje kontrola určitého počtu radlic z každé várky pro zjištění stavu svařovacích a stehovacích přípravků a celého výrobního postupu.

Cílem této práce je řešit ohledně kontrolních a měřicích přípravků, popsání problematiky výroby radlice rypadla E08 a na jejím základě navrhnout vhodné řešení kontrolního přípravku. Na závěr měl být přípravek použit ke kontrole dílů.

První část se zabývá popisem přípravků obecně. Jejich společnými rysy jsou například zaručení konzistentnosti, kvality a zaměnitelnosti výrobků a zrychlení procesu výroby. Díky tomu dojde ke snížení výrobních nákladů spojených s reklamacemi a likvidací chybných dílů. Dále jsou popsány nejběžnější uložení a upnutí, které při správně navrhnuté konstrukci zajistí správné fungování přípravků. Pro úspěšné zhotovení návrhu totiž existují pravidla a doporučení, které je vhodné respektovat.

Další kapitoly se již zabývají konkrétním problémem kontroly radlic. Jsou vyjmenována nejkritičtější místa na radlicích a je navrženo řešení, které by mělo tato místa spolehlivě a opakovatelně změřit. Použitím 3D modelovacího softwaru se zhotoví návrh přípravku, který je doplněn o výkresovou dokumentaci a měrový výkres sloužící ke kontrole samotného přípravku. Po kompletní výrobě se za pomoci měřicího stroje zjistí přesnost přípravku. Nakonec se do něj vloží několik radlic ze staré i nové linky a vyhodnotí se jeho vhodnost implementace do výrobního procesu.

## 2 Přípravky

Přípravky jsou nedílnou součástí strojírenské výroby. Zajišťují přesnost, opakovatelnost, hospodárnost a tuhé upnutí. Bez jejich použití by nebylo možné vyrábět díly s cenou a rychlostí, která je v dnešní době požadována. Musí dosahovat dostatečné přesnosti, protože jakákoliv deviace od nominálního rozměru se přímo podepíše na výsledném produktu. [10][13]

Musí splňovat následující požadavky:

- a) zajistit jednoduchost používání, snadnou obsluhu podmíněnou maximální výtěžností
- b) snížit náklady na výrobu
- c) zaručit konzistentnost a kvalitu
- d) zvýšit produkci
- e) vhodný výběr materiálu, který zabezpečí životnost přípravku
- f) dostatečnou ochranu operátora, aby nedošlo k úrazu
- g) snadné, přesné a správné upnutí, které nepoškodí díl
- h) kompaktnost a malou hmotnost pro snadnou manipulaci [8][10][13][22]

## 3 Rozdělení přípravků

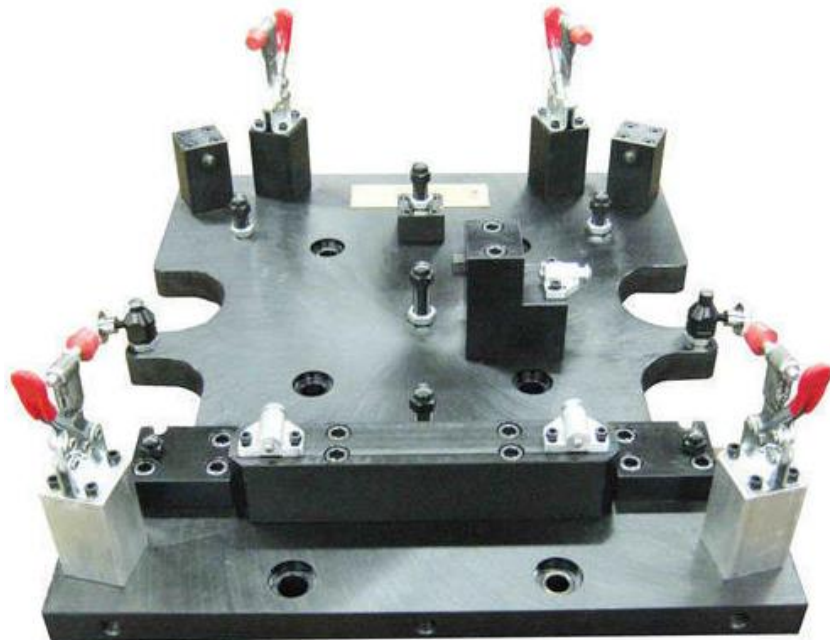
### 3.1 Podle univerzálnosti

#### 3.1.1 Univerzální přípravky

Pro potřeby kusové výroby by se nemělo používat speciálních přípravků a využít spíše přípravky univerzální. Mezi univerzální přípravky patří například sklíčidla či svěráky. Do těch lze upnout součásti s proměnnou velikostí či tvarem. [20]

#### 3.1.2 Jednoúčelové přípravky

Při sériové či hromadné výrobě se vyplatí použít speciální přípravek z důvodu zvýšení produktivity a jakosti výroby (Obrázek 1). Ty totiž slouží pro kontrolu jednoho výrobku, jedné výrobní operace a tím se zvyšuje jejich cena. Také výrazně ovlivňují skladovací místo, které zabírají a ve větším množství zvýší náklady na údržbu, ale většinou vynikají vyšší tuhostí. [15][19]



Obrázek 1: Jednoúčelový přípravek [36]

### 3.1.3 Skupinové přípravky

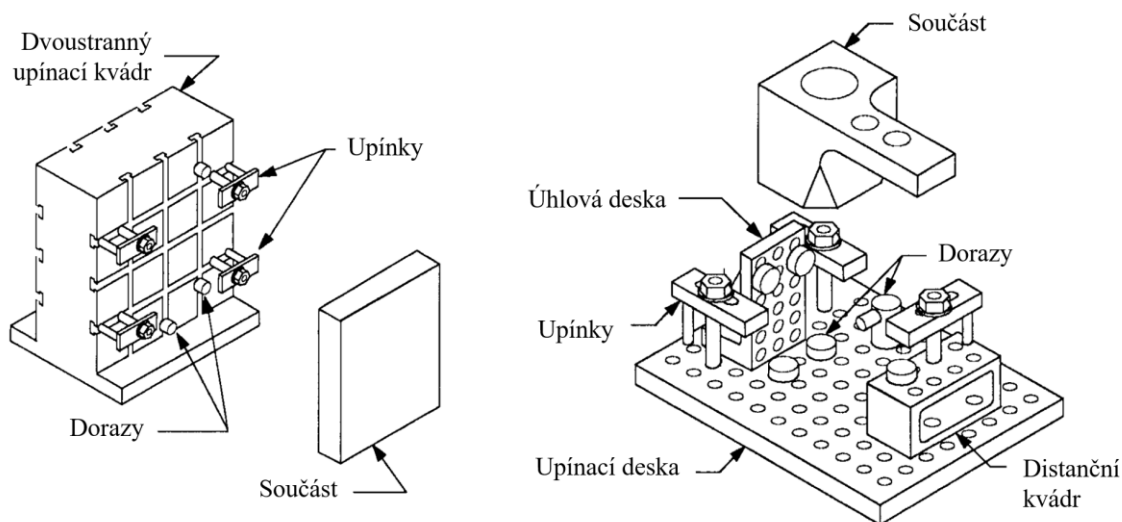
Tyto přípravky částečně spojují výhody obou předchozích skupin. Tuhý rám, který je ovšem buďto nastavitelný nebo obsahuje vyměnitelné součásti. Díky tomu na něm lze měřit několik podobných součástí, jako je třeba házení hřídelů o určitém rozmezí délek. [19]

### 3.1.4 Modulární přípravky

Tento způsob upínání se využije zároveň jako univerzální a zároveň jako specializovaný přípravek, který je vhodný především pro menší série či prototypy. Je to umožněno použitím standardizovaných součástek, které se postaví do jakéhokoli požadovaného jednoúčelového přípravku, ovšem s nevýhodou nižší tuhosti. Díky použití standardizovaných součástek a smontování pomocí běžného spojovacího materiálu lze jeden přípravek lehce přetvořit do úplně jiné podoby. Tyto systémy jsou vyráběné tak, že jednotlivé komponenty vždy pasují do sebe, takže omezení složitosti přípravku závisí jen na představitosti operátora. Nejčastější typy upínání jsou: pomocné desky, T-drážky anebo kolíky. [13]

#### a) Systém pomocných desek

Systém pomocných desek se skládá z různého počtu upínacích desek, úhlových desek, paralel distančních a upínacích kvádrů (Obrázek 2). Tyto pomocné desky jsou opatřeny vystruženými dírami pro kolíky nebo T-drážkami, aby k nim bylo snadné přimontovat nejrůznější příslušenství a doplňky. [13]



Obrázek 2: Příklady modulárního upínání systému pomocných desek [13]

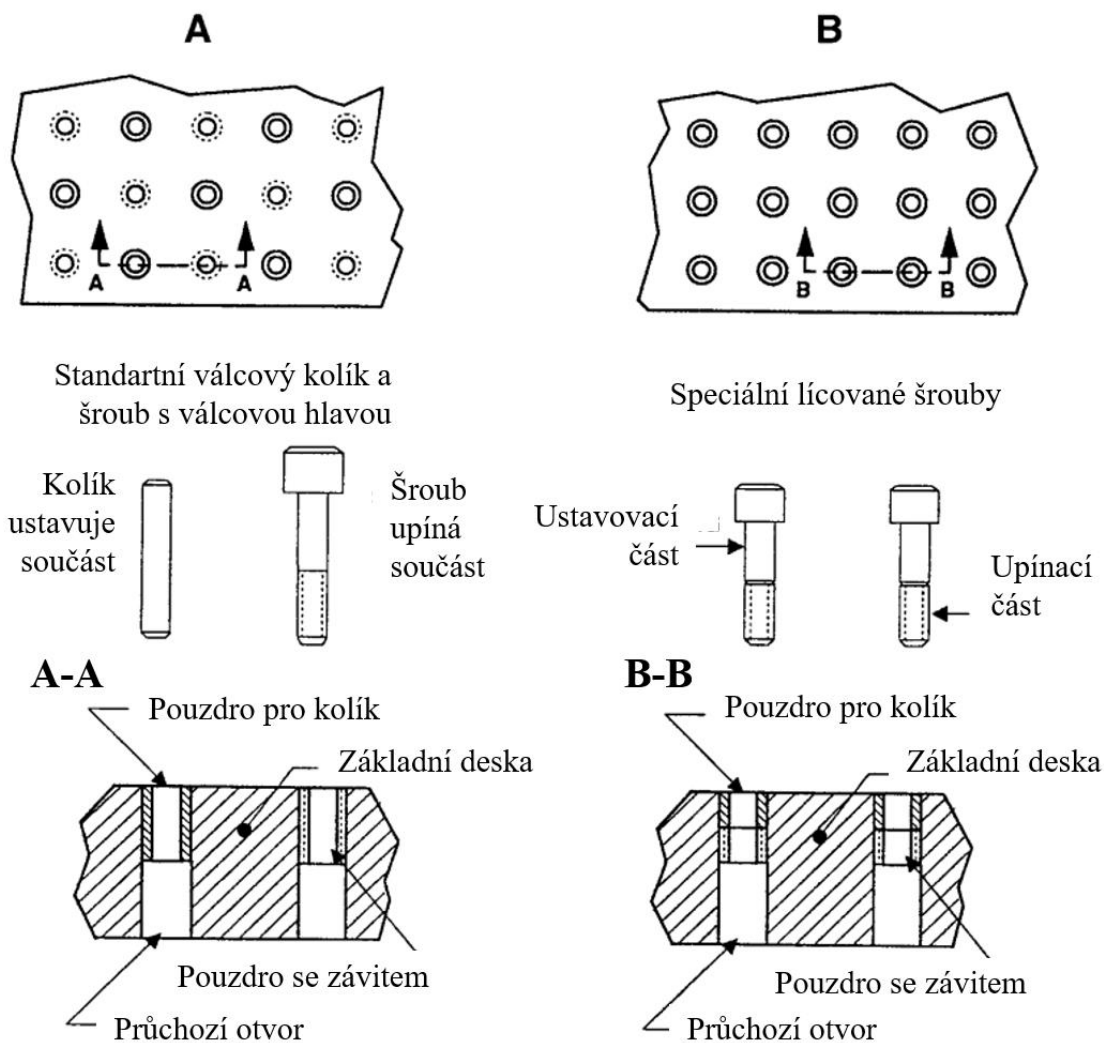
#### b) Systém T-drážek

Upínání je realizováno pomocí upínek v přesně vyrobených drážkách, které jsou navzájem kolmé a rovnoběžné. Jejich výhodou je tuhost, snadné umístění a libovolné nastavení komponent přípravku podél drážky. Mezi nevýhody patří neopakovatelnost. Pro tu je třeba opětovná indikace a ustavení. [13]

#### c) Systém kolíků

Zde je zapotřebí základní deska opatřená přesně rozmístěnými otvory. Existují dva styly (Obrázek 3). V jednom z nich se na základní desce pravidelně střídají otvory pro kolíky a otvory se závity určené pro šrouby. Druhý styl kombinuje ustavení a upnutí do stejného otvoru pomocí použití přesného pouzdra umístěného nad otvor se závitem. Do nich je zapotřebí speciálních lícovaných šroubů. [13]

Válcové kolíky určují pozici součástí, zatímco šrouby se starají o upnutí dílu. Hlavní výhodou je opakovatelnost usazení. Oproti T-drážkám je ovšem složitější upínání. Umístění upínek je opět dáno otvory, není tedy libovolné, ale fixně dané. [13]



Obrázek 3: Modulární systém pomocí kolíků [13]

Modulárními přípravky se v dnešní době zabývá mnoho firem, proto kromě výše uvedených standartních řešení existuje spousta nekonvenčních způsobů upínání.

Mezi zástupce lze zařadit firmu Tetrafix (Obrázek 4). Ta pracuje s teleskopickými stativy z uhlíkových vláken, které mají 6 stupňů volnosti. Referenční bod se nastavuje pomocí kalibračních vložek. Tento systém se velice snadno polohuje a umožňuje upnutí složitých dílů bez nutnosti vytváření návrhů v softwaru. Nevýhodou může být nižší tuhost přípravku a tím pádem nižší přesnost. [25]



*Obrázek 4: Přípravek TETRAFIX [25]*

Dalším výrobcem je například Renishaw. Tyto stavebnice upřednostňují převážně ruční upínání bez potřeby dalšího nářadí. Jejich základní desky s otvory jsou navíc přesně číslované pro snadné zaznamenání a zopakování dříve vyrobených přípravků. Jejich hliníkové upínací desky jsou navíc opatřeny teflonovou povrchovou úpravou, která snižuje jejich opotřebení. Kromě klasických upínacích součástí ovšem nabízí i speciální magnety, které slouží k upnutí feromagnetických dílů (Obrázek 5). [26]



*Obrázek 5: Magnetický přípravek Renishaw [26]*

## 3.2 Podle operace použití

### 3.2.1 Obráběcí přípravky

Pro tento účel jsou používány přípravky, které zajistí opakovatelnost a zaměnitelnost výrobků. Nejedná se pouze o přípravky určené k upnutí obrobku, ale i o různá pouzdra, která slouží pro přesné vedení nástroje a určení polohy. Obsahují tedy obrobené plochy zvýšené tvrdosti, které slouží například k vedení vrtáků nebo jako referenční plochy pro přesné ustavení obráběcích nástrojů. [8][13]

### 3.2.2 Svařovací přípravky

Nejčastěji se nacházejí na pracovištích, na kterých se používá svařovací robot, namísto lidské síly. Proces svařování se totiž dá snadno zautomatizovat a poté dosahuje ještě lepších výsledků než zkušený svářeč. Výhodami jsou kvalitnější sváry, vyšší produktivita a snížení nákladů. [11]

Na rozdíl od řezných sil, jako je tomu u obráběcích přípravků, musí svařovací přípravky odolávat kroucení a posuvu dílů po svařování. Dále je třeba si dávat pozor na:

- rozstřík tekutého kovu při svařování, aby nedošlo k poškození funkčních částí, jako například závitů
- všechny úchyty by měly být vyrobeny z tepelně nevodivého materiálu
- dostatečně velkou mezeru mezi svarem a přípravkem zajišťující nesvaření dílu k přípravku.
- snadné vyjmutí svařeného dílu [11][22]

### 3.2.3 Montážní přípravky

Tyto přípravky slouží k usnadnění a zrychlení procesu rozebiratelného spojování součástí do větších celků. Zajišťují potřebnou upínací sílu pro utažení šroubů, fitinek a dalších strojních součástí. [13]



### 3.2.4 Kontrolní a měřicí přípravky

Kontrolní přípravky slouží ke kontrole vyráběných dílů. Jedná se tedy především o jednoúčelová zařízení. Díly se k základové desce upnou za technologicky důležité body či plochy a pomocí jednoduchých posuvů, výsunů, referenčních ploch nebo kalibrů dovolují rychle a efektivně provést kontrolu rozměrů, polohy, tvaru (Obrázek 6). [4][8][10]

Pro přesné odečítání hodnot na měřicím přípravku lze využít úchylkoměrů nebo spároměrek. Tyto přípravky lze také spojit s následným měřením na souřadnicovém stroji. [4][8][10]

Je důležité mít přípravek vyrobený v přesnosti součásti či vyšší. Každá odchylka či nepřesnost přípravku se totiž odráží ve výsledném měření součásti a přesně vyrobený díl může být považován za zmetek. Materiál přípravku by měl být dostatečně jakostní, pevný a otěruvzdorný. Proto se jedná především o nástrojové ocele či takové, které mohou být navíc zušlechťeny či nitridovány pro zvýšení tvrdosti a otěruvzdornosti. Životnost se také dá zvýšit tvrdým chromováním. [10][16]



Obrázek 6: Kontrolní přípravek pro kontrolu tolerance tvaru a polohy. [4]

## 4 Principy uložení a upnutí

Schopnost měřicího a kontrolního přípravku vykonávat svoji funkci v plném rozsahu vyžaduje přesné a tuhé uložení a upnutí. Pro tento problém existuje vícero řešení, která mohou být i standardizovaná. [5]

Hlavní podmínkou správně navrženého přípravku je přesnost, konzistentnost a opakovatelnost. Jestliže totiž nedojde k přesnému uložení a upnutí, tak je celá kontrola dílu znehodnocena chybou vnesenou z vnějšku, ne chybou dílu. To zahrnuje i čisté funkční plochy bez rzi, špíny, oleje. V extrémních případech měření na mikrony se výrazně projeví i prachové částice nebo otisk lidského prstu. [5][10]

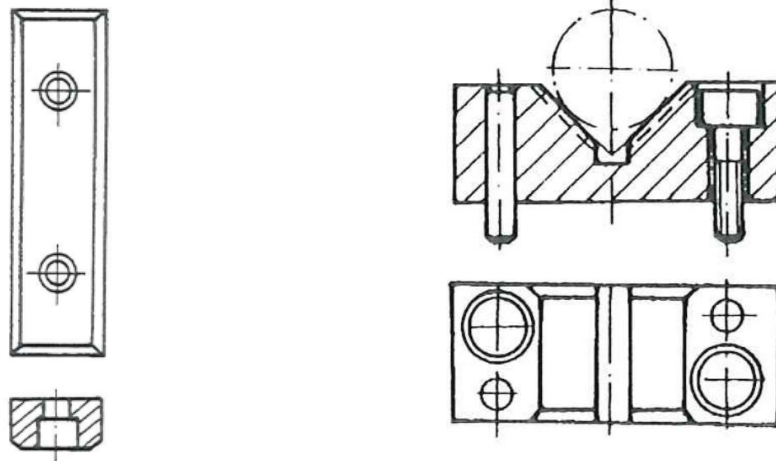
Tolerance, ve kterých se přípravek pohybuje, by měla být stejná či lépe o řád přesnější, než je tomu u kontrolovaného dílu. Opakovatelnosti a přesnosti uložení lze dosáhnout mnoha způsoby. Mezi ně patří například uložení pomocí přesných čepů, kolíků či dorazů, které jsou obráběné, většinou i broušené pro dosažení požadované přesnosti. [5][10]

### 4.1 Mechanika uložení a upnutí

#### 4.1.1 Dorazy

Těleso v prostoru má dvanáct stupňů volnosti (počítáme-li jejich pohyb +/-). Šest z nich je posuvných a šest rotačních. Pro správné uložení je třeba tělesu odebrat všechny stupně volnosti. Jedná se například o dorazy, které musí být dostatečně tuhé a pevné, aby dokázaly udržet pozici dílu a nedošlo k jejich uvolnění, posunutí, plastické či výrazné elastické deformaci. [5][10] Může se jednat například o:

- a) čepy s rovinnou či kulovou dosedací plochou. Ty se mohou do přípravku šroubovat či lisovat. Upřednostňuje se použití normalizovaných čepů.
- b) opěrné lišty (Obrázek 7), které jsou určeny pro rozměrné a těžké díly. U nich musí být dosedací plocha přesně broušena, aby došlo ke kontaktu na celé ploše. K přípravku se většinou upevňují šrouby.
- c) prizmatické opěry (Obrázek 7), kterých se využívá pro potřeby upnutí válcových výrobků. Úhel rozevření se pohybuje od 60° do 120°. [16][22]



Obrázek 7: Opěrná lišta (vlevo) [16], prizmatický doraz (vpravo) [16]

#### 4.1.2 Upínky

Upínacím mechanismem mohou být upínky (Obrázek 8). Ty na rozdíl od dorazů spoléhají čistě na třecí síly, které drží díl na místě. Dostatečně velká síla tedy může dílem pohnout. Upínky se vždy používají v kombinaci s dorazem. Mezi jejich hlavní výhody patří rychlost upínání a mechanická výhoda, která způsobí vysokou upínací sílu při minimální vynaložené síle. [5][6][10][22]



Obrázek 8: Různé druhy upínek [5]

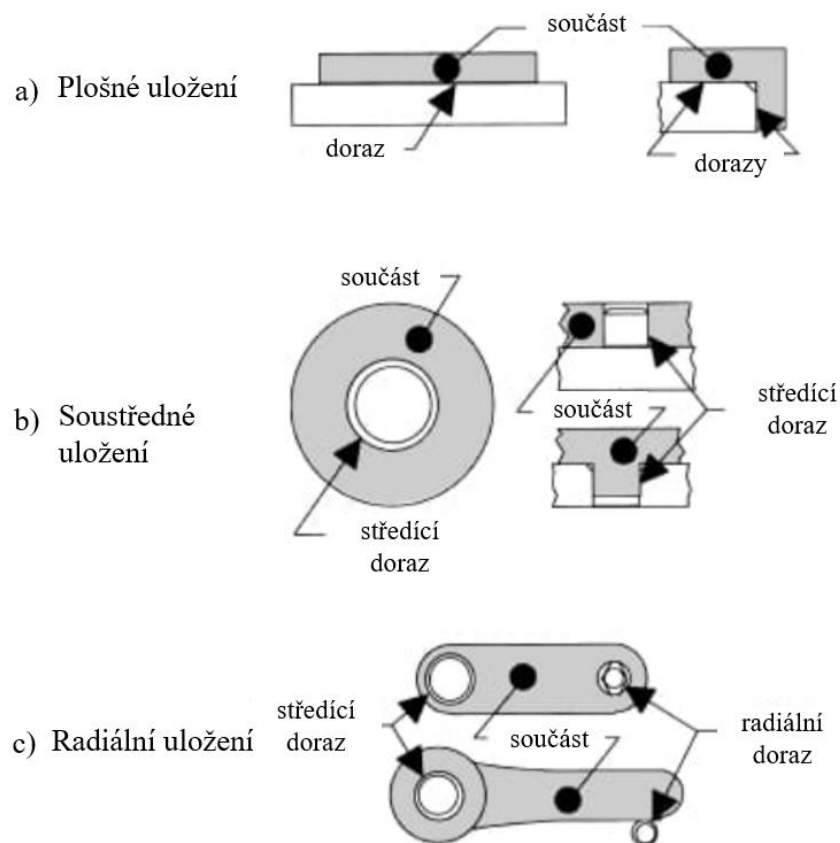
# 5 Uložení

## 5.1 Způsoby uložení

Existují tři hlavní způsoby uložení (Obrázek 9). Jedná se o plošné, soustředné a radiální.

- Plošné upínání probíhá pomocí ploch. Tyto plochy mohou být rovné, zakřivené či nepravidelné. Většinou dochází k uložení za vnější plochy.
- Soustředně se upínají části pomocí středních os. Nejčastěji se jedná o uložení přesného kolíku ve vystruženém otvoru.
- Radiálně upínané části mají omezený pohyb pomocí tangenciálního uložení.

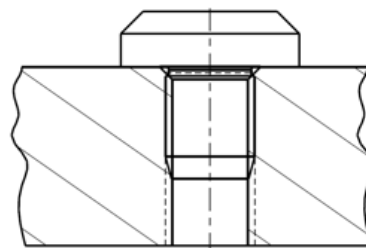
Pro přesné a nepřeurčené uložení se nejčastěji používá kombinace všech tří uložení. [5][22]



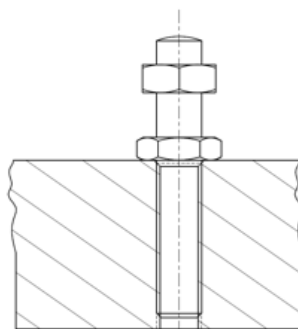
Obrázek 9: Různé způsoby uložení [5]

### 5.1.1 Vnější uložení

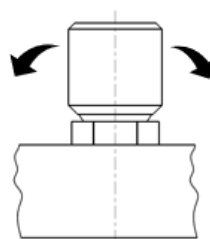
Vnější uložení může být realizováno pomocí tří hlavních druhů podpěr. Jedná se pevné podpěry přesně obráběné na požadovaný rozměr. Je-li požadovaná změna polohy dosedací plochy, použijí se nastavitelné podpěry. Dají se jimi také zahladit nepřesnosti vzniklé ve výrobě přípravků a předejít tak nákladné opětovné výrobě podpěr. Posledním druhem jsou vyrovnávací podpěry, které jsou uloženy volně a přizpůsobí se tvaru dílu (Obrázek 10). [5][12][22]



Pevné podpěry



Nastavitelné podpěry



Vyrovnávací podpěry

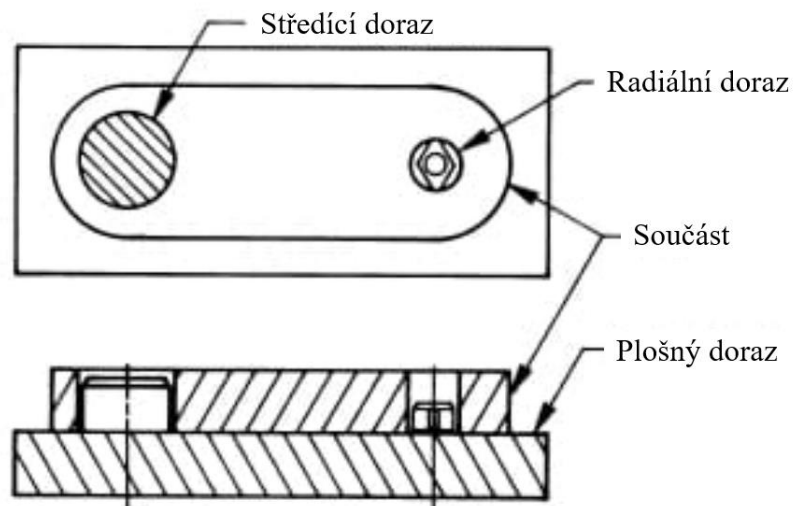
Obrázek 10: Příklady vnějšího uložení [5]

Nejčastější uložení je realizováno pomocí metody 3-2-1 neboli šestibodovou metodou. Ta spočívá v uložení hlavní či spodní plochy dílu na tři podpěry. Těmito body je definovaná rovina a odebírá pět stupňů volnosti. Pro dokončení uložení se použije jedna boční plocha, která se zamezí dvěma body – přímkou, která odebírá další tři stupně

volnosti. Jako poslední se použije plocha kolmá na předchozí plochy a odebere se jeden stupeň volnosti pomocí jednoho posledního bodu. Zbývající tři stupně volnosti se odeberou pomocí upínek. [5][10]

### 5.1.2 Vnitřní uložení

Uložení pomocí vnitřních ploch je nejefektivnější metoda (Obrázek 11). Hlavním požadavkem pro tento druh uložení jsou díry nebo skupina děr. Toto uložení lze uskutečnit pomocí soustředného nebo radiálního uložení nebo jejich kombinace. Většinou je spojeno i s uložáním plošným, tedy plocha, ve které jsou dorazy uloženy. Středící doraz ve spojení s plošným dorazem odebírají devět stupňů volnosti. Kolík sloužící jako radiální doraz odebírá další dva stupně volnosti. Zbývající stupeň volnosti se opět odebere pomocí upínky. [5][12][22]



Obrázek 11: Příklad vnitřního uložení [5]

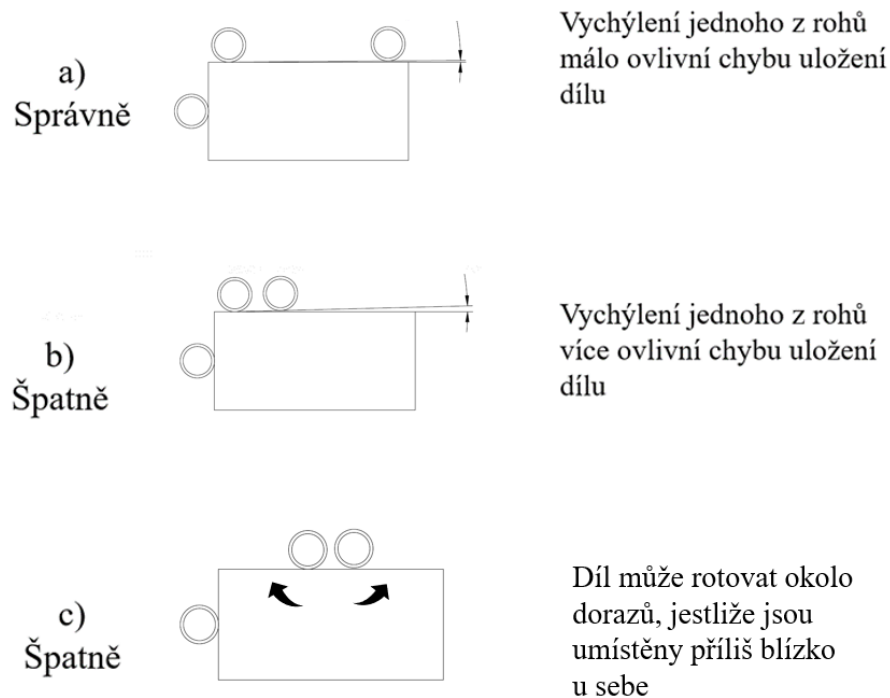
## 5.2 Pravidla uložení

Existuje několik pravidel, při jejichž dodržení dojde k celkovému zlepšení funkčnosti, ceny a kvality jednotlivých přípravků. [5][10]

Jedno z doporučení je umisťovat dorazy takovým způsobem, aby se dílu dotýkaly na obrobených plochách. Ty totiž zaručují vyšší opakovatelnost a stabilitu měření. Někdy

může být obráběný celý obrobek a jindy, hlavně u odlitků a výkovků, se obrábí jen funkční plochy. [5][10]

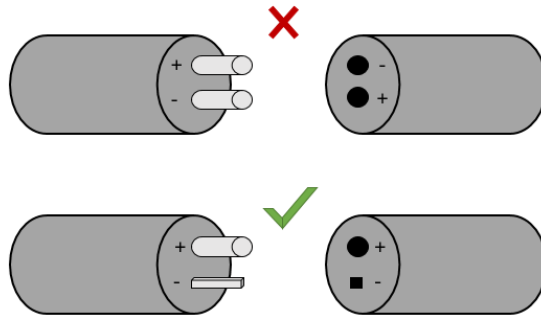
Nejvhodnější obráběné plochy určené pro uložení jsou obráběné díry. Další podobně přesná konfigurace je dvojice ploch na sebe kolmých. Pro zajištění nejvyšší opakovatelnosti a stability dílu je vhodné dorazy od sebe co nejdále oddálit (Obrázek 12). [5]



Obrázek 12: Jak ovlivňuje pozice dorazů přesnost uložení dílu [5]

Další důležitou poučkou je vyhnutí se přebytečným dorazům neboli přeúčnění. Protože díl nebude nikdy dokonale rovný, proto vždy některé dorazy nebudou sloužit žádnému účelu a bude nejspolehlivější, které dorazy se zrovna používají. Jedním ze způsobů jak zjistit důležité plochy je podle výkresu. Ty budou mít buďto předepsanou nižší drsnost, tolerovaný rozměr či se všechny kóty budou odvíjet právě od nich. [5]

Termín poka-yoke je vzatý z japonštiny a znamená „chybě vzdorný“. Jedná se o prevenci chyb způsobených lidským faktorem. Jde o zajištění toho, aby požadovaný díl mohl být do přípravku vložen jen jedním způsobem a žádným jiným. Toho musí být dosaženo očividným nepasováním dílu (Obrázek 13). [7][10]



Obrázek 13: Příklad řešení poka-yoke [7]

Mezi tyto pravidla by se dalo zahrnout i zaoblení všech přístupných ostrých rohů, možnost výměny dorazů, opatření přípravku madly pro snadnější manipulaci, dostatečná velikost vůle mezi nefunkčními prvky, průchozí otvory kvůli prevenci zanesení špínou a test přípravku před uvedením v činnost. [10]



## 6 Upnutí

Uložení je základním úkolem přípravku. Uložený díl musí být navíc ještě přidržen, aby nedošlo k jeho posunutí nebo natočení. O to se postará zabezpečení upínkami. [5][22]

### 6.1 Výběr upínek

Upínky se starají o dvě věci: upevnit díl proti dorazům a zamezit dílu v pohybu. Dochází-li v přípravku k vyvíjení vyšších sil, tyto síly by měly pohlit hlavně dorazy, upínky pouze drží díl na místě. Vhodné zvolení upínek spočívá také v co nejmenším ovlivnění měřeného dílu. Tímto ovlivněním se myslí vysoká přitlačná síla, která může díl zkroutit nebo ohnout. Vyšší tvrdost dotyku upínky, než je tvrdost dílu, zase dokáže poškodit povrch součásti. Tomuto se dá předejít například měkčným dorazem či použitím otočného dorazu u upínek, které spoléhají na přímé utahování pomocí šroubu. Tento druh upínek je sice univerzálnější a má větší rozsah upínání, ale jedná se o pomalý druh upínání. [5][22]

Také umístění upínek je důležitým faktorem jejich funkčnosti. Je vhodné je situovat v nejpevnějších oblastech dílu. To často znamená umístění přímo nad podpůrnými částmi přípravku. Jestliže se na přípravku nachází dva dorazy, je vhodnější upínky umístit nad každý z nich než pouze jednu doprostřed. Další věc, na kterou si je třeba dát pozor, je umístění upínek na místa tak, aby nebránila samotnému měření nebo kontrolování. [5][22]

### 6.2 Způsoby upínání

Upínání jiného než čistě ručně mechanického způsobu se především používá při velkosériové výrobě. U něj se totiž zvýšená cena přípravku vyrovná zvýšenému počtu zkontrolovaných dílů díky zkrácení času kontroly na jednu součástku. Mezi hlavní zastupitele tohoto upínání se řadí hydraulický a pneumatický způsob. [13][22]

Jejich výhodami může kromě rychlosti upínání a produktivity být také stálá, kontrolovatelná, opakovatelná síla upnutí, která se může dle libosti přenastavit. Dále jsou

méně závislé na proškolení a únavě operátora, která by mohla způsobit nezajištění všech upínek či nedostatečné zajištění. V neposlední řadě umožňují upnutí v jinak operátorem nepřístupných oblastech. [13][22]

Mezi nevýhody ovšem patří nutnost stálého tlaku pracovního média, bez něhož by upínací síla přestala působit. Tento problém lze ovšem vyřešit kombinací s mechanickým upínáním. Tyto upínky po přivedení tlaku překonají vnitřní tření a upnou součást. Zároveň se ale zaseknou v upínací pozici a pro jejich vrácení do původní podoby je zapotřebí opět tlaku pracovního média. [13][22]

### 6.2.1 Hydraulický systém

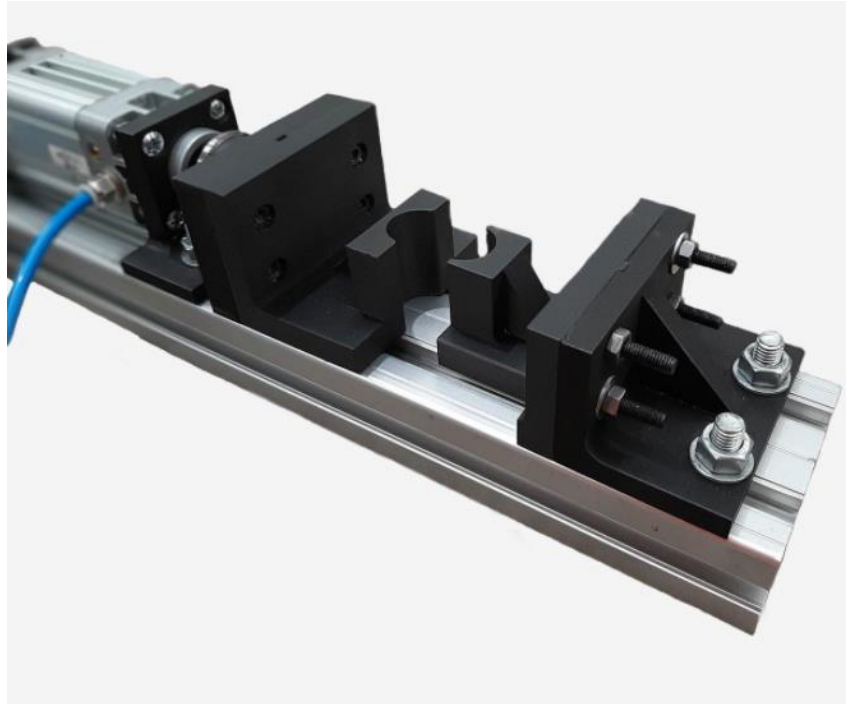
Tento systém vyniká oproti pneumatickému upínání svou velikostí, tuhostí upnutí a zvýšenými upínacími silami (až 10 MPa), a to díky téměř nestlačitelné tekutině (Obrázek 14). Upnutí je stálé a snadno nastavitelné, kontrolovatelné. Nevýhodou je pomalejší doba upnutí či odepnutí a vyšší pořizovací cena. Také jsou zvýšené požadavky na těsnost celého okruhu. Hlavními prvky tohoto způsobu upnutí jsou: hydraulický válec, vysokotlaké čerpadlo s pojistným ventilem, filtr a akumulátor. Nemá centrální zdroj, jako je tomu u pneumatického upínání, ale zdroj tlakového média je obvykle součástí přípravku. [13][14][22]



*Obrázek 14: Hydraulický systém upínání [23]*

### 6.2.2 Pneumatický systém

Využívá pouze tlaku stlačeného vzduchu (0,7 MPa) (Obrázek 15). Používá se při aplikacích, kde nevadí menší přídržná síla, způsobená stlačitelným médiem, anebo kde by kontaminace hydraulickým olejem byla problémová – potravinářský průmysl. Okruh musí obsahovat čistič a odlučovač, aby byly odstraněny nečistoty a zkondenzovaná voda. Také se často používá zpětný ventil, který zabraňuje poklesu tlaku a ztrátě upínací síly. [16][22]



*Obrázek 15: Pneumatický systém upínání [24]*

### 6.2.3 Hydraulicko – pneumatický systém

Tento systém je kompromisem mezi předchozími systémy. Typicky se tento systém dělí do tří základních podskupin. První podskupina je tvořena kompresorovou stanicí a rozvody, které vedou až k přípravku. Druhou tvoří multiplikátor, který obsahuje nízkotlakou pneumatickou část, která je dále zesílena na vysokotlakou hydraulickou část. Nejčastější je třiceti násobné zvýšení tlaku. Poslední částí je samotný systém upínek. [13]

### 6.2.4 Speciální systémy

Pro díly, které jsou velmi tvarově složité či neobsahují plochy pro potřeby klasického upínání, lze využít speciálních upínacích systémů. Mezi ně patří například podtlakové upínání (Obrázek 16). Jedná se o speciální druh pneumatického upínání, protože pracovním médiem je také vzduch. Ovšem místo přetlaku se zde používá podtlak. Tím pádem na díl působí atmosférický tlak, který zajišťuje dostatečnou upínací sílu. Výhodou tohoto systému je přístupnost k dílu ze všech stran, kromě té, na které je díl

položený. Těsnosti mezi dílem a přípravkem se zajišťuje pomocí těsnění vyrobeného nejčastěji z pryže. [16][17][22]



*Obrázek 16: Podtlakové upínání [17]*

Mezi další nekonvenční metody upínání může patřit například lepení. To ale vyžaduje delší čas na vytvrzení a následné odstranění adheziv z hotového výrobku. Upínání pomocí taveniny probíhá nejčastěji za pomoci bismutu. Jedná se o snadno tavitelný kov s nízkou teplotou tání. Po roztavení se nalije okolo dílu a po vytvrzení drží díl pevně na svém místě. Takto vzniklý odlitek lze opracovat a upnout například do svěráku. [22]

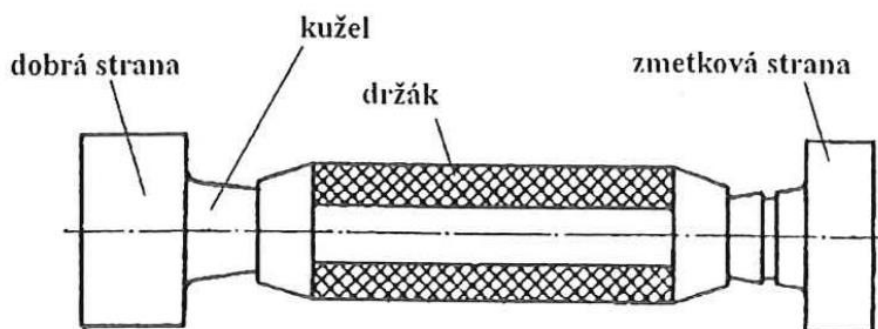
## 7 Měřidla

Žádné dva stejně vyráběné díly nebudou totožné, proto se jim předepisují tolerance, ve kterých se rozměry správně vyrobených dílů musí pohybovat. Pro zjištění, zdali se rozměry pohybují v tolerančním poli se využívají různá měřidla. Pro funkční části měřidel se kvůli životnosti používají ocele nástrojové, cementační či ušlechtilé. Tepelné roztažnosti oceli se částečně zamezí pomocí rukojetí či příložek, které jsou vyrobeny z materiálu s nízkou tepelnou vodivostí, protože teplo lidského těla dokáže ovlivnit měření. Drsnost funkčních částí měřidel dosahuje až  $Ra = 0,025$ , aby byla vnesena co nejmenší chyba nepřesnou výrobou. [16]

### 7.1 Kalibry

Pro rychlou kontrolu přesnosti otvorů se používají válečkové kalibry (Obrázek 17) a odpichy. Válečkový kalibr je válcovité měřidlo složeno ze tří částí. Prostřední část slouží pro uchopení a je na každé straně opatřena přesnými broušenými válci. Jedna strana je tzv. dobrá strana kalibru, která vždy musí otvorem projít – je vyráběná na dolní mezní rozměr otvoru. Zmetková strana kalibru naopak nesmí nikdy projít skrze otvor, vychází tedy z horního mezního rozměru tolerovaného otvoru. Pro zvýšení rychlosti měření lze použít dobrou i zmetkovou stranu za sebou. [16][22]

Při měření vnějších průměrů se používají třmenové či ploché kalibry. Ty pracují na stejném principu jako kalibry válečkové, ovšem s tím rozdílem, že měřicí strany jsou tvaru písmena „C“ místo tvaru válce. [16]



Obrázek 17: Válečkový kalibr [16]

## 7.2 Spárové měrky

Tyto měřidla se mohou podobat kalibrům tím, že se skládají z dobré a zmetkové strany, avšak často jsou tyto válcové konce delší. Používají se pro zjištění rozměru štěrbiny, či předepsané vůle mezi dvěma díly. Dalším druhem je sada listových spároměrek spojená do vějíře, kde každý list má jinou tloušťku a je číselně označen (Obrázek 18). [31]

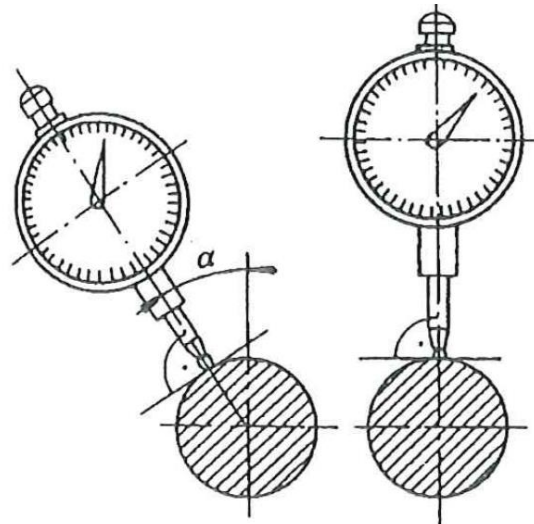


Obrázek 18: Listové spárové měrky [31]

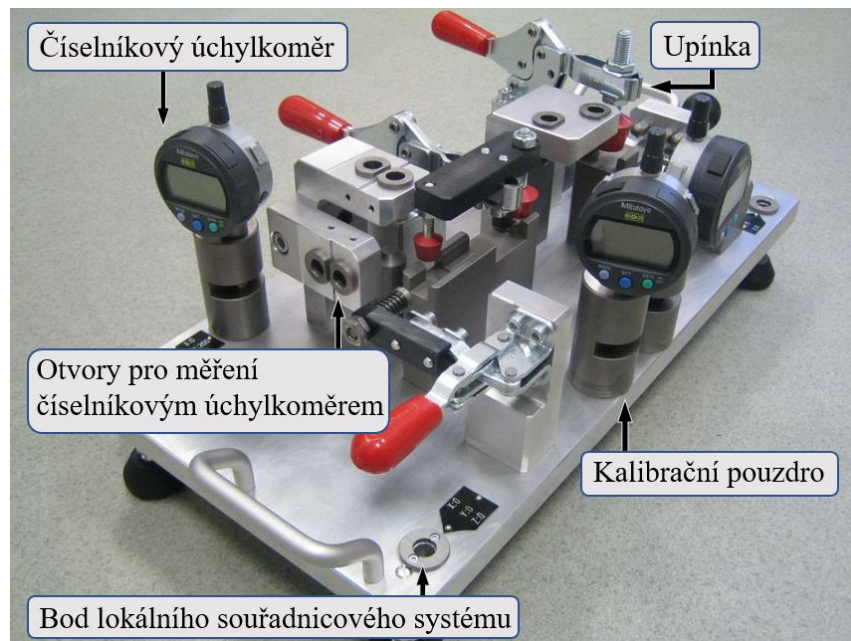
## 7.3 Číselníkový úchylkoměr

Číselníkový úchylkoměr (Obrázek 19, Obrázek 20) je vhodný k ustavování, středění, kontrole házení, zjišťování úchylek tvaru a polohy. Po přiložení k součásti je okamžitě vidět, zdali se díl nachází mezi horním a dolním mezním rozměrem. Výrobní toleranci si lze totiž vytyčit pomocí vlečných ručiček. Tyto měřidla mohou mít přesnost až 0,002 mm. Nejsou ovšem vhodná pro odečítání odchylek v řádu milimetrů, protože nemají dostatečný zdvih měřicího trnu a obtížně se zjišťuje, kolikrát ručička oběhla celý ciferník. [16][18]





Obrázek 19: Číselníkový úchylkoměr [16]



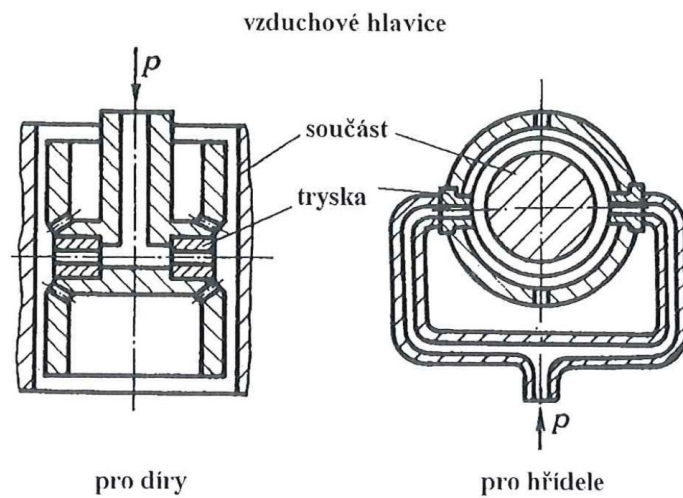
Obrázek 20: Příklad použití číselníkového úchylkoměru v přípravku [27]



## 7.4 Další měřidla

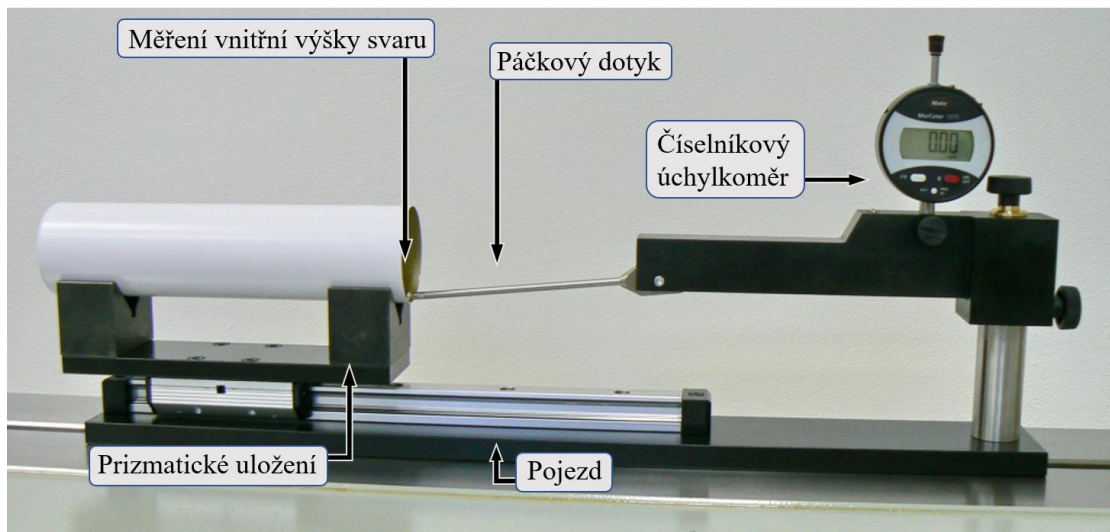
Další měřidla vhodná pro sériovou výrobu jsou například pneumatická (Obrázek 21) či elektrická. Pneumatická měřidla zaznamenají změnu průřezu výtokového otvoru jako změnu tlaku či průtoku vzduchu.

Elektrická měřidla zjistí změnu rozměrů pomocí elektrických vlastností materiálu, a to především elektrický odpor, kapacita, či indukce.



Obrázek 21: Pneumatické měřidlo

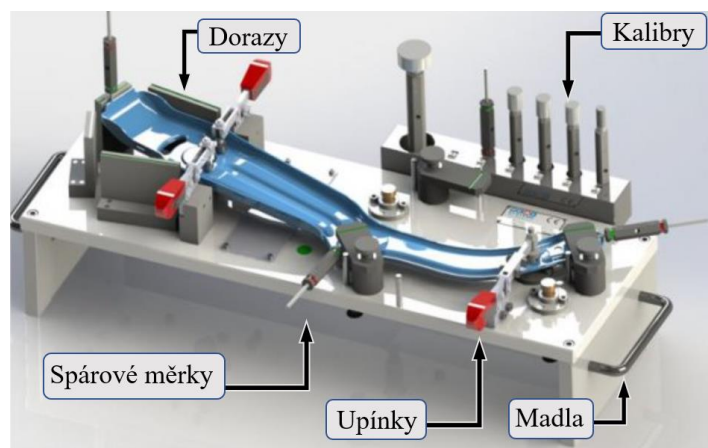
## 8 Příklady měřicích a kontrolních přípravků



Obrázek 22: Měření vnitřní výšky svaru [21]



Obrázek 23: Odměřování délek hřídelů pomocí snímače a digitální odměřovací jednotky [21]

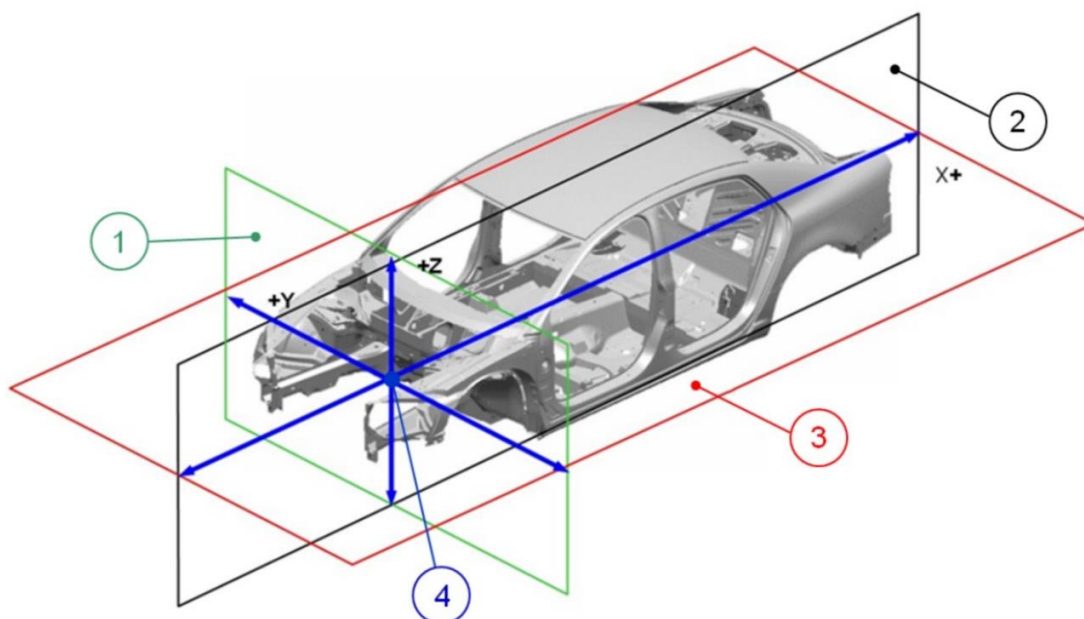


Obrázek 24: Kontrola tvaru, polohy a rozměru pro automotive díly [32]

## 9 RPS systém

Tento systém používá koncern Volkswagen. Je určen pro ustavení dílů a pro tolerování polohy ve smyslu celého automobilu. Od systému ISO GPS (ISO kótování a tolerance – Geometric Dimensioning and Tolerancing) se liší v tom, že místo odkazování jednotlivých geometrických tolerancí k daným základnám se všechny rozměry odkazují k bodu lokálního souřadnicového systému. Výhodou RPS systému (systém referenčních bodů – Reference Point System) je, že na rozdíl od ISO GPS systému vždy definuje směr ustavení a v přiložené tabulce lze hned vyčíst polohu bodu. Používá se především v automobilovém průmyslu, protože se poloha všech dílů vztahuje s použitím pomocných souřadnicových systémů k jednomu globálnímu bodu sestavy dílů (Obrázek 25). [28][29]

RPS systém vznikl za účelem zvýšení opakovatelnosti a přesnosti vyráběných součástí. Jeho cílem je správné ustavení dílu s ohledem na funkčnost součásti a sestavy a minimalizaci odchylek. Na to se musí brát zřetel jak při výrobě součásti, tak následně při jejím měření či kontrole v přípravku. [28][29]



Obrázek 25: Globální souřadnicový systém automobilu [28]

1) rovina yz, 2) rovina xz, 3) rovina xy, 4) počátek globálního souřadnicového systému

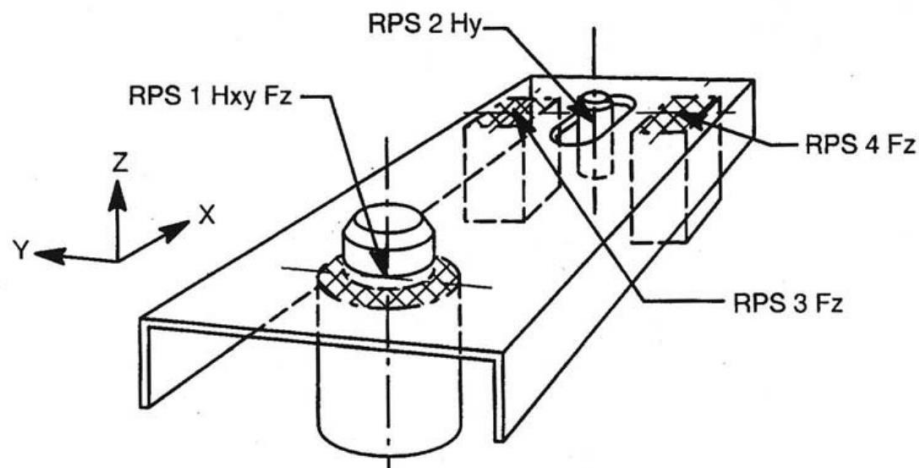
## 9.1 Globální souřadnicový systém

Počátek se nejčastěji nachází ve výšce přední nápravy a uprostřed její osy. Kladná část osy  $x$  je vedena k zadní nápravě, kladná část osy  $y$  směřuje k sedadlu spolujezdce a kladná část osy  $z$  zase ke střeše. Jednotlivé RPS body se následně vztahují buďto ke globálnímu nebo lokálnímu souřadnicovému systému. [28][29]

## 9.2 Pravidlo 3-2-1

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1.1, tak těleso má v prostoru 6 (12) stupňů volnosti – tři posuvné a tři rotační. Aby se dosáhlo správného ustavení tělesa, je třeba je všechny odebrat. Pravidlo 3-2-1 umožňuje přesně takové ustavení. Jednotlivé dosedací prvky můžou zároveň ustavovat těleso v několika osách. Příklad lze vidět na (Obrázek 26), kde jsou použity:

- tři dorazy v ose  $z$ , které omezují translaci v ose  $z$  a rotaci v ose  $x$  a  $y$
- kruhový otvor, které omezují posun v osách  $x$  a  $y$
- drážka, která omezuje rotaci podél osy  $z$



Obrázek 26: Příklad použití 3-2-1 pravidla [28]

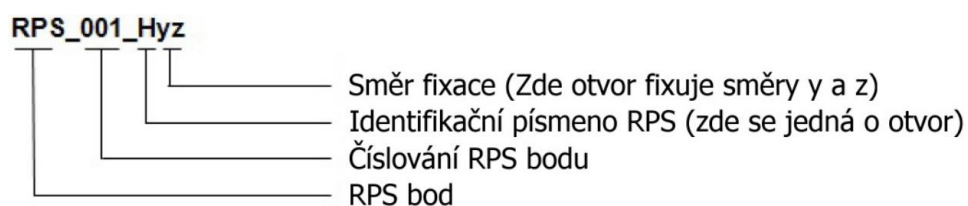
## 9.3 RPS systém ve společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

Praktická část této práce využívá trochu upraveného systému RPS bodů, z důvodu spolupráce s firmou Bobcat, a proto bude popsán tento upravený systém. Každý kontrolní či měřený přípravek má totiž určený vlastní lokální souřadný systém, k němuž jsou vztaheny všechny RPS body a body měřené součásti doplněné o geometrické tolerance.

Měření tímto způsobem ne vždycky kopíruje zadání konstruktéra, ale jedná se o jednoduchý a intuitivní způsob, jak získat hodnoty, které jsou třeba. Stačí několik listů většího formátu, aby vznikl celý měrový výkres přípravku. U velkých a složitých přípravků by totiž při použití ISO GPS vzniklo mnoho základen, které by ztížily orientaci. Dále může vzniknout problém se samotnými základnami, které jsou většinou odhalené a v průběhu používání přípravku může dojít k jejich poškození či posunutí. V případě RPS systému jsou totiž vyrobené přesné otvory, které jsou navíc zakrytované a díky tomu se nepoškodí a lze je použít opakovaně.

### 9.3.1 Referenční body RPS

Tyto body jsou na výkresu předepisovány v chronologické posloupnosti, aby nedošlo ke zbytečné chybě. Mají přesný název (Obrázek 27), popsáný měřený prvek a směr, který ustavují. Měřený prvek (identifikační písmeno RPS) se určuje podle (Tabulka 1). [30]



Obrázek 27: RPS značení [28]

Tabulka 1: Značení měřeného RPS bodu [28]

Písmeno	Popisek / měřený prvek
Hxx	Otvor/čep
Fxx	Plocha

### 9.3.2 Měřené prvky

Po určení počátku lokálního souřadnicového systému se přejde na určování měřených prvků. Ty jsou na výkrese označeny jinou barvou a příslušnou geometrickou tolerancí (Obrázek 28, Tabulka 2). Body jsou následně vyneseny do tabulky, ve které se nachází jejich označení, umístění a případně tabulka pro použití distančních podložek.

Tabulka 2: Značení měřených prvků [30]

Písmeno	Popisek / měřený prvek
S <sub>xxx</sub>	Čtvercový otvor
T <sub>xxx</sub>	Drážka
C <sub>xxx</sub>	Válec
N <sub>xxx</sub>	Kužel
P <sub>xxx</sub>	Plocha
K <sub>xxx</sub>	Kružnice
B <sub>xxx</sub>	Bod

### 9.3.3 Příklad měrového výkresu podle Bobcat standartu

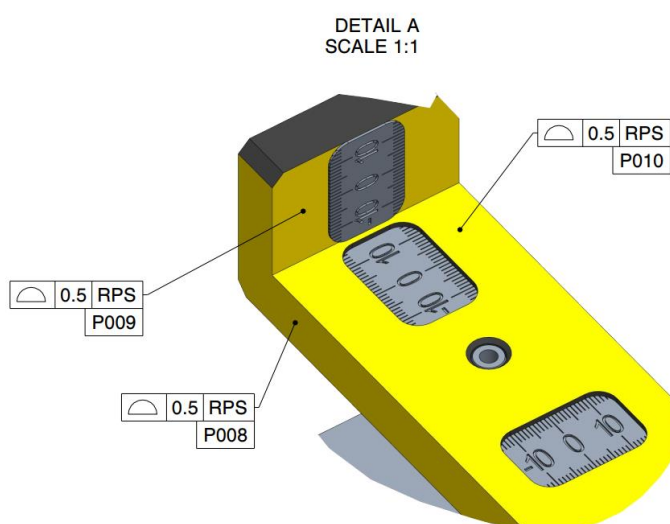
Jako první krok při tvorbě měrového výkresu musí být konstruktér seznámen s funkčností přípravku. Následuje obarvení modelu pro grafické znázornění. Černě se obarví všechny dorazy a žlutě dosedací plochy. Poté se na přípravku správně určí počátek souřadnicového systému podle tvaru a funkce dílu, podle intuitivnosti měření či podle obráběných ploch přípravku. Následuje vyrovnání podle vyrovnávacích bodů přípravku. Ty jsou určeny vystruženým otvorem 12H7 a frézovanou horní plochou. K razítku výkresu se vloží tabulka se čtyřmi vyrovnávacími body a jejich souřadnicemi vůči lokálnímu souřadnému systému (Tabulka 3). [30]

Tabulka 3: Příklad označení souřadnic vyrovnávacích bodů [30]

RPS Počátek: RPS01		Souřadnice		
POZ	Název bodu	X	Y	Z
1	RPS01_HXY_FZ	469.00	-257.50	0.00
2	RPS02_HY_FZ	0.00	-257.50	0.00
3	RPS03_FZ	0.00	257.50	0.00
4	RPS04	469.00	257.50	0.00



Na modelu se následně v CAD programu (konstruování podporované počítačem – Computer Aided Design) pomocí bodů označí všechny měřené prvky a následně se k nim na měrovém výkrese dopíše pořadové číslo, druh a hodnota geometrické tolerance (Obrázek 28). Poté stačí nechat software vypsat souřadnice všech bodů a zvolit jaká souřadnice je důležitá pro měření (Tabulka 4). Část tabulky s označením „nastavení nominálu“ se odkazuje na dorazy, které mají nastavitelnou hodnotu pomocí distančních podložek. Bude-li například u jednoho bodu v kolonce „SET\_X“ hodnota 2, znamená to, že z výroby, v základním nastavení, bude mít ve směru osy x distanční podložky o celkové tloušťce 2 mm. Distanční podložky se používají pro upravení polohy dorazu tehdy, když jeho současná poloha nevyhovuje výrobnímu procesu. Jedná se o rychlé a levné řešení v porovnání s výrobou celého nového dorazu či jeho opětovném frézování. [30]



Obrázek 28: Příklad označení měřených plochy pomocí geometrických tolerancí [30]

Tabulka 4: Příklad označení měřených bodů [30]

RPS Počátek: RPS01		Souřadnice			Nastavení nominálu		
POZ	Název bodu	X	Y	Z	SET_X	SET_Y	SET_Z
1	C001	0.00		80.00			
2	K002	0.00	-128.00	80.00			
3	K003	0.00	111.00	80.00			
4	P004		128.00				

## 10 Společnost Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

Tato diplomová práce vznikla ve spolupráci s firmou Doosan Bobcat EMEA s.r.o. (dále jen Bobcat) a jmenovitě s její pobočkou v Dobříši. Dobříšský kampus slouží jako centrála pro Evropu, Střední Východ a Afriku. Dělí se na několik samostatných budov, ve kterých probíhá vývoj nových strojů, jejich výroba, testování a školení dealerů. [1]

### 10.1 Historie společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

Historie začíná v roce 1947, ve kterém Edward Gideon Melroe založil svou firmu pod názvem Melroe. Ta sídlila v Gwinneru v Severní Dakotě. Asi nejzajímavější výrobek byl stroj, který dokázal zároveň obracet posečené seno a kypřit půdu. Po jeho smrti firmu převzali jeho synové. Ti se v roce 1958 potkali s bratry Kellersovými, kteří vyřešili problém úklidu v omezeném prostoru stodoly pro krůty pomocí čelního nakladače (Obrázek 29). Ten byl poháněn dvěma hnacími koly a manévrován zadním otočným kolečkem. Nakladač měl takový úspěch, že jich vzniklo hned několik pro další farmáře. [2]



Obrázek 29: Nakladač M200 (vlevo), smykem řízený nakladač M400 (vpravo) [2]

Díky tomu se bratři Kellersovi stali zaměstnanci firmy Melroe a navrhli první samohybný nakladač Melroe M60. Dva roky poté vznikl první čtyřkolový smykem řízený nakladač, model M400 (Obrázek 29). [2]



## 10.2 Budovy společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o.

Výrobní závod v Dobříši byl postaven v roce 2007 s počáteční rozlohou 22 000 m<sup>2</sup>, která byla v roce 2014 rozšířena ještě o distribuční centrum o rozloze 500 m<sup>2</sup>. Ve výrobním závodě se vyrábí produkty značky Bobcat (Obrázek 30). Hala se dělí na několik částí, ve kterých se nachází stroje v různé fázi výroby. Jedná se o prvovýrobu obsazenou ohraňovacími lisami, pohyblivé a částečně robotizované svařovací linky, montážní linky a sklad. [1]

Inovační centrum slouží pro vývoj nových produktů ve všech odvětvích společnosti Bobcat. Zastřešuje moderní multifunkční vybavení, které je vhodné pro kusovou výrobu a testování inovativních řešení. Příkladem mohou být multifunkční obráběcí CNC centra, měřicí technika, klimatické a hlukové komory, prostory pro rychlé prototypování s využitím 3D tisku, zařízení na testování strojů a počítače pro konstrukci pomocí CAD systémů, výpočty, analýzy a simulace. Probíhá zde kompletní vývoj stavebních strojů, jako jsou smykem řízené nakladače, kompaktní rypadla, teleskopické manipulátory a strojní příslušenství. Mimo jiné se také zabývá vývojem generátorů, kompresorů a osvětlovacích věží. [1]

Bobcat Institut slouží jako školicí centrum nejenom pro zaměstnance, ale i pro dealery. Poskytuje znalosti o produktech, servisu strojů, prodeji a péči o zákazníky. Kromě toho pořádá akce pro zákazníky a zaměstnance. Jednou z nich je například Demo days, tedy noční představení strojů Bobcat s možností si stroje i osobně vyzkoušet. [1]



Obrázek 30: Aktuální Bobcat sortiment – rypadlo E85 (vlevo), smykem řízený nakladač S550 (vpravo) [3]

## 11 Kompaktní rypadlo E08

Jedno z kompaktních rypadel, které vzniká v Dobříšském areálu, má označení E08, jinak zvané „Cairo“ (Obrázek 31)(Tabulka 5). Jedná se o nejmenší vyráběné pásové rypadlo určené pro oblasti s omezeným přístupem a vhodné pro práce uvnitř budov, protože snadno projede zárubněmi dveří. Pro zvýšení stability umožňuje rozšířit podvozek z 71 cm na 110 cm. [3]

*Tabulka 5: Technické údaje rypadla E08 [3]*

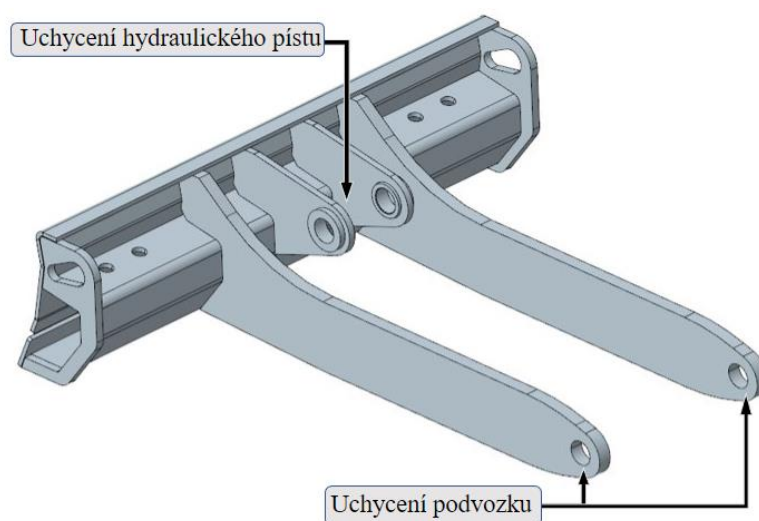
Model	E08
Výška stroje	1899 mm
Pojezdová rychlost l	2,1 km/h
Hmotnostní kategorie	1 t - 2 t
Max. rypná hloubka	1820 mm
Max. dosah na rovině	3145 mm
Max. výsypná výška	1818 mm
Rypná síla na lžici	8294 N
Tažná / tlačná síla	9905 N
Výkon přídavné hydrauliky	20,0 l/min
Max. výkon motoru	7,4KW
Kroutící moment při 1800ot/min	39,1 Nm
Šířka stroje	710/11163 mm



Obrázek 31: Kompaktní rypadlo E08 [3]

## 11.1 Radlice E08

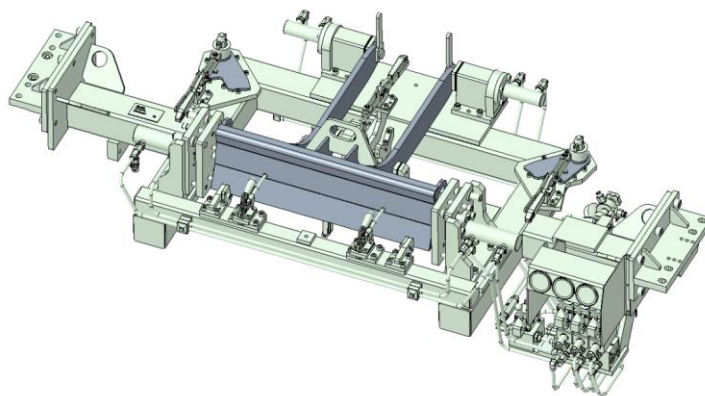
Součástí důležitá pro Cairo je přední radlice (Obrázek 32). Ta slouží k přesunu či srovnání zeminy nebo zapření rypadla při používání hlavní lžice. Proto musí splňovat několik základních požadavků. Musí být dodržena symetrie radlice, rovnoběžnost os čepů ve dvou rovinách a minimální zkroucení přední části po dosednutí na zem.



Obrázek 32: Radlice rypadla E08

## 11.2 Výroba radlice E08

Radlice se skládá z několika laserem pálených a ohýbaných plechů a obráběných pouzder. Její výroba začíná tím, že jsou jednotlivé díly poskládány a přivezeny na „bentoboxu“, tedy vozíku s přesně určenými místy pro každý díl. Dále pokračuje vkládání dílů do jednoúčelových přípravků (Obrázek 33). Tam se díly umisťují v přesně daném pořadí podle návody. V prvním přípravku jsou díly buďto mechanicky nebo hydraulicky upnuty, aby docházelo k co nejmenším tvarovým změnám v důsledku tepelného ovlivnění procesem svařování. Následuje stehování operátorem, který položí svarovou housenku na kritická místa, aby radlice držela pohromadě. Stehování i spodní části radlice je umožněno uložením stehovacího přípravku na polohovadle, které dovoluje celý přípravek otáčet o 360°. Po nastehování je radlice opět položena na „bentobox“ a nastříkána separační kapalinou. Poté pokračuje do dalšího svařovacího přípravku v robotickém stanovišti. Po svaření potřebných svárů je díl odebrán z robotického stanoviště a upnut do posledního svařovacího přípravku. Tam svářeč svaří poslední místa, kam se robot nedostal. Nakonec se radlice označí pomocí raznice a očistí špachtlí od případných ulpělých žhavých odstříků způsobených svařováním. Tím je radlice hotová a může pokračovat do lakovny, kde dojde k lakování na černou barvu pomocí kataforézního lakování.

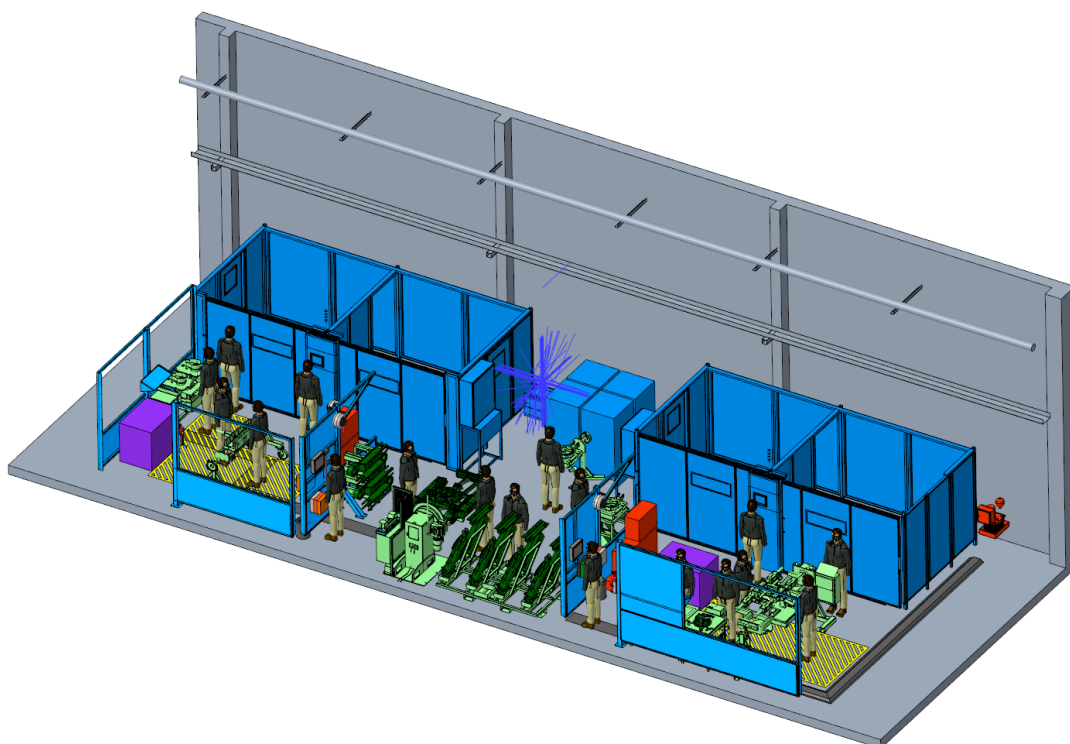


Obrázek 33: Přípravek pro stehování radlice Caira

### 11.3 Problém kontroly radlice

Firma Bobcat svařuje a montuje radlice na Cairo. Plánuje se ovšem přesun výroby radlice z Nového závodu na Starý závod (Obrázek 34). V této době ovšem není způsob, jakým účinně a jednoduše zkontrolovat její vyrobenou přesnost a jestli se přesnost výroby v Novém závodě bude shodovat s přesností výroby ve Starém závodě. Velké vychýlení z původních rozměrů by totiž mohlo mít za následek např.:

- opotřebení hydraulického pístu, který je uchycen za otvory nacházející se uprostřed radlice. Toho je docíleno při nedostatečné symetrii os otvorů pro uchycení radlice k rámu rypadla a osy pro uchycení hydraulického pístu (Obrázek 32)
- nerovnoměrné dosednutí na zem na obou stranách radlice a tím pádem hnutí odlišného množství materiálu
- zkroucení radlice ve vodorovné ploše vůči zemi a tím pádem upřednostnění odhrnu materiálu na jednu stranu
- problémy při montáži stroje, nutnost použití hrubé síly při montování na rám stroje a možné poškození jak stroje, tak radlice



Obrázek 34: Schéma nové výrobní haly ve Starém závodě

## 12 Návrh kontrolního a měřicího přípravku

Na základě předchozích bodů byla zhotovena specifikace důležitých parametrů přípravku, které by měl splňovat. Celý přípravek byl zkonstruován v softwaru Creo 4.0.

Požadavky:

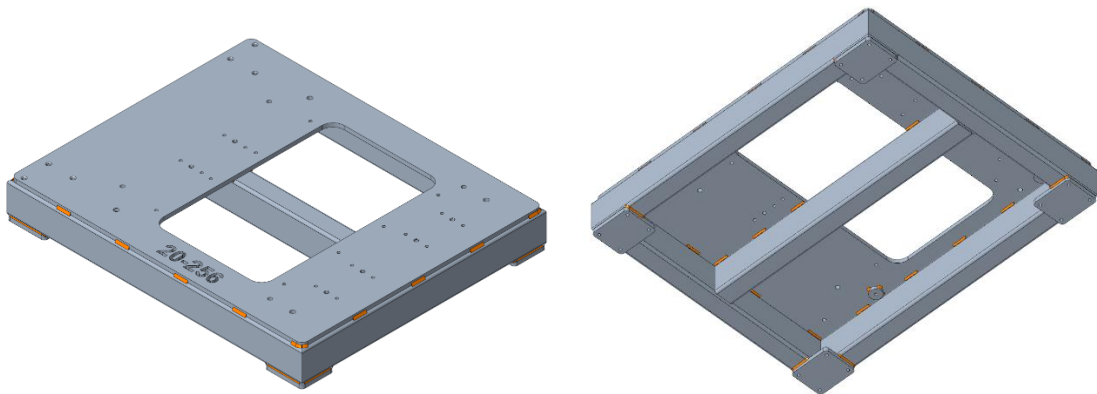
- tuhý rám přípravku, který zajistí minimální vnesené nepřesnosti ze základní konstrukce
- obráběnou horní plochu rámu pro přesné uchycení dorazů a vyrovnávacích bodů
- vyrovnávací otvory ochráněné před poškozením pro potřeby měření pomocí souřadnicového měřicího systému či měřicího ramena
- přesně obrobené dorazy a plochy z tvrdého a odolného materiálu, které umožňují uchycení radlice ve stejném smyslu jako kdyby byla montována k rámu rypadla. Tím bude zajištěna stejná vnesená deformace, která by vznikla při montáži ke stroji
- stupnice pro rychlou kontrolu nepřesností radlice, které jsou vhodné pro odečtení pouhým okem
- způsob, kterým by se dala zjistit montovatelnost prodloužení radlice, sloužící pro rozšíření záběru radlice
- standardizované montovací desky, na které by bylo možné přimontovat kolečka pro přepravu na kratší vzdálenosti nebo nohy pro vyzvednutí přípravku do pohodlné pracovní výšky operátora
- závěsná oka pro možnost manipulování pomocí jeřábu či jiné manipulační techniky

### 12.1 Rám přípravku

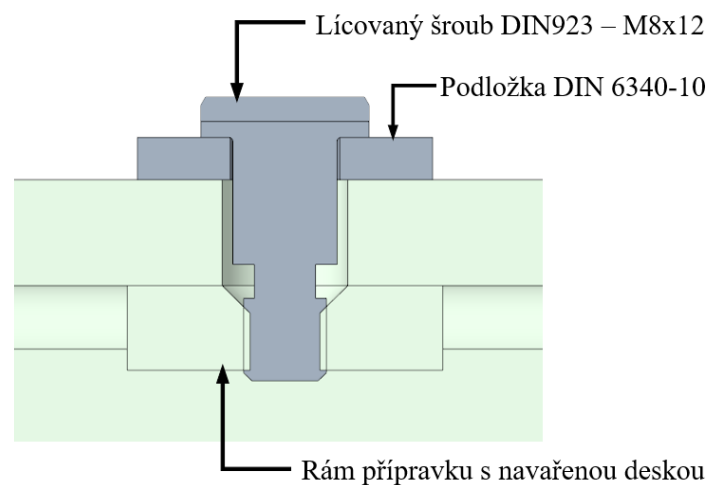
Jako rám přípravku (Obrázek 35) slouží svařenec složený z několika ocelových profilů obdélníkového průřezu 80 x 50 mm s tloušťkou stěny 3 mm. Seshora byl přivařen ocelový plech tloušťky 12 mm. Zesponu tohoto plechu se navařily čtyři výpalky tloušťky 8 mm kvůli zvětšení tloušťky plechu pro vytvoření vyrovnávacích bodů. Zesponu rámu byly navařeny čtyři ocelové plechy o tloušťce 12 mm sloužící pro uchycení dalšího příslušenství pomocí čtveřice M8 děr. Pro všechny tyto součásti se zvolila jakost

materiálu S355J2, tedy univerzální nízkolegovaná konstrukční ocel se zvýšenou mezí kluzu ( $R_e = 355 \text{ MPa}$ ) a zaručitelnou svařitelností. [9]

Po svařování proběhlo frézování celého svrchního plechu a spodních výpalků. Z důvodu použití pro montáž přesných dorazů byl svrchní plech frézován na drsnost  $R_a 1,6$  a požadavek rovinnosti byl  $0,2 \text{ mm}$ . Do tohoto plechu bylo také vyvrtáno čtyřicet děr. Ty určené jako díry pro kolíky byly následně vystruženy na rozměr 8H7 (společně s tolerancí kolíků 8m6 se jedná o uložení s přesahem), ty určené pro šrouby byly nadále opatřeny závitem. Otvory pro vyrovnání (Obrázek 36) byly zároveň vystruženy na průměr 12H7 a opatřeny závitem M8. Šest posledních děr vzniklo v toleranci 8F7 (uložení přechodné) kvůli požadavku volné rotace přesných kolíků. Následovalo barvení rámu zelenou barvou RAL 6018, která odpovídá barvě linky pro rypadla.



Obrázek 35: Rám přípravku



Obrázek 36: Řešení vyrovnávacích otvorů



## 12.2 Dorazy a úchyty

Jak již bylo zmíněno, hlavním požadavkem tohoto přípravku je uchycení radlice ve stejných referenčních místech jako tomu je u stroje. Pouhé položení na spodní plochy radlice tedy nepřipadalo v úvahu a musela být uchycena za frézované otvory radlice.

### 12.2.1 Zadní úchyty

Prvním místem pro uchycení radlice jsou dva úchyty v zadní části přípravku (Obrázek 37), které nahrazují uchycení k podvozku rypadla. Do nich bude montována radlice pomocí čepů používaných přímo ve stroji E08. Tyto úchyty musí odolávat tření způsobené rotací radlice při dosednutí na přední doraz. Z tohoto důvodu byla jakost materiálu volena 15 142.7 s úpravou pomocí nitridace do hloubky  $0,3 \div 0,4$  mm a požadované tvrdosti  $55 + 3$  HRC. Tolerance otvoru byla volena s ohledem na výrobní toleranci čepů. Pro dostatečné přichycení dorazů k rámu se použije čtveřice šroubů M8 a pro přesnou polohu dorazu slouží dvojice kolíků uložených s přesahem. Tato dvojice úchytů způsobí odebrání pěti stupňů volnosti radlice.



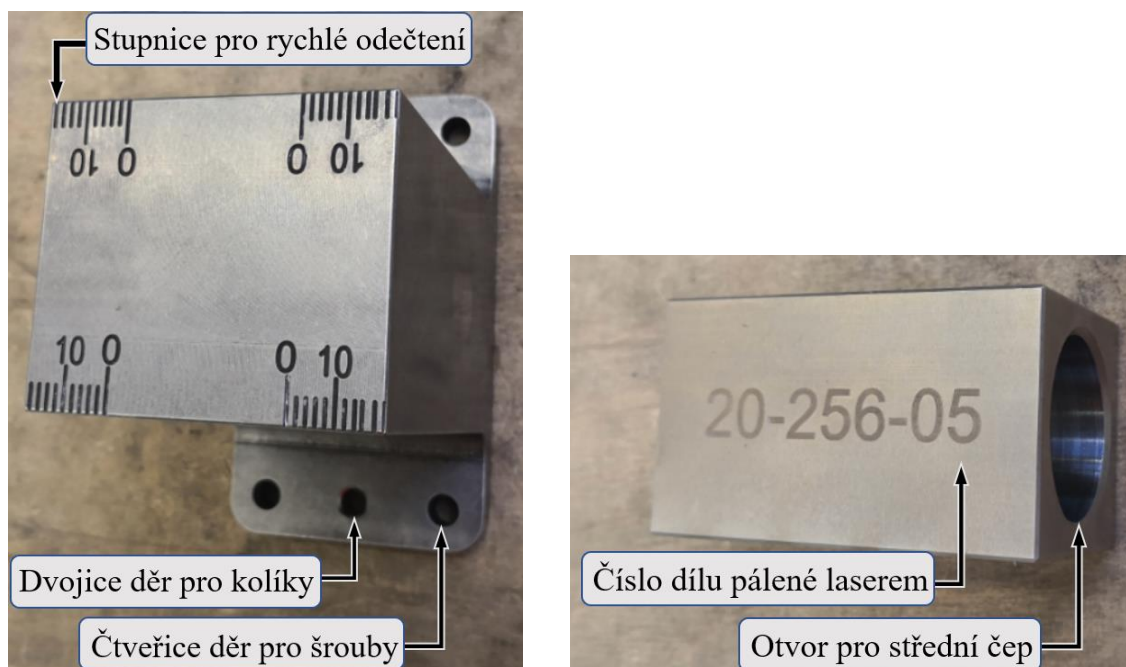
Obrázek 37: Zadní úchyt



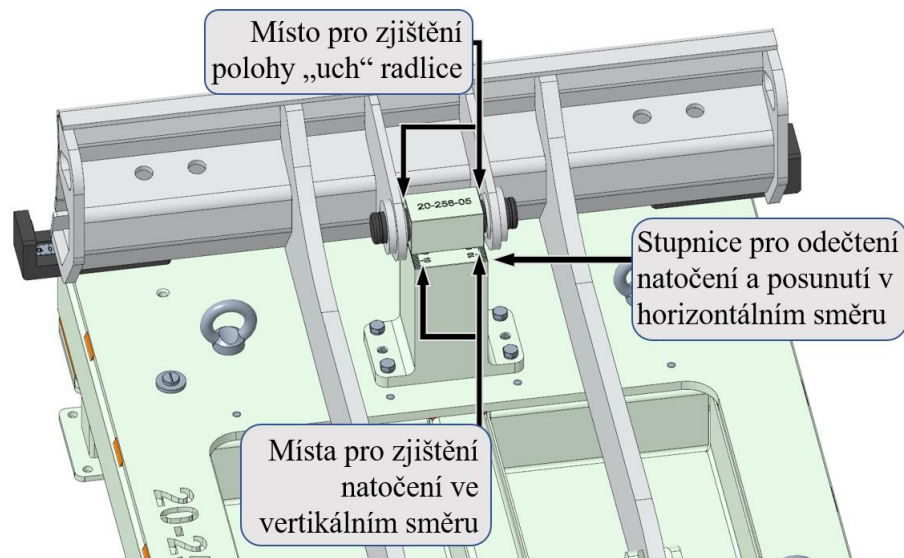
### 12.2.2 Střední doraz

Střední doraz (Obrázek 38) slouží pro odebrání posledního stupně volnosti radlice Cairra a to rotace. Mezi přední „ucha“ radlice se vloží přesně frézovaný kvádr (Obrázek 38) a zajistí se stejným čepem, jako tomu je v případě zadních úchytů. Kvádr následně dosedne na střední doraz, a na vyvození upínací síly se využije hmotnost radlice. Na středním dorazu se nachází frézovaná stupnice sloužící k rychlému odečtení hodnot posunutí či zkroucení radlice. Posunutí osy v horizontálním směru se odhalí tím, že kvádr nebude ležet z obou stran na nule a natočení osy v horizontálním směru díky tomu, že stupnice z obou stran kvádru budou ukazovat rozdílné hodnoty. Pro zjištění posunutí obou „uch“ radlice či jejich vzájemná poloha se dá zjistit po přiložení spárových měrek mezi „ucha“ radlice a střední doraz. Pro zjištění natočení v rovině vertikální lze použít opět spárových měrek přiložením na obě strany mezi střední doraz a kvádr (Obrázek 39).

Tento doraz je k rámu přichycen podobným způsobem, jako tomu je u zadních úchytů. Obě součásti mohou čelit nárazům spojených s dosednutím radlice, a proto jejich materiál byl volen 19 438 s následným zakalením pro dosaženou tvrdost 58 + 2 HRC.



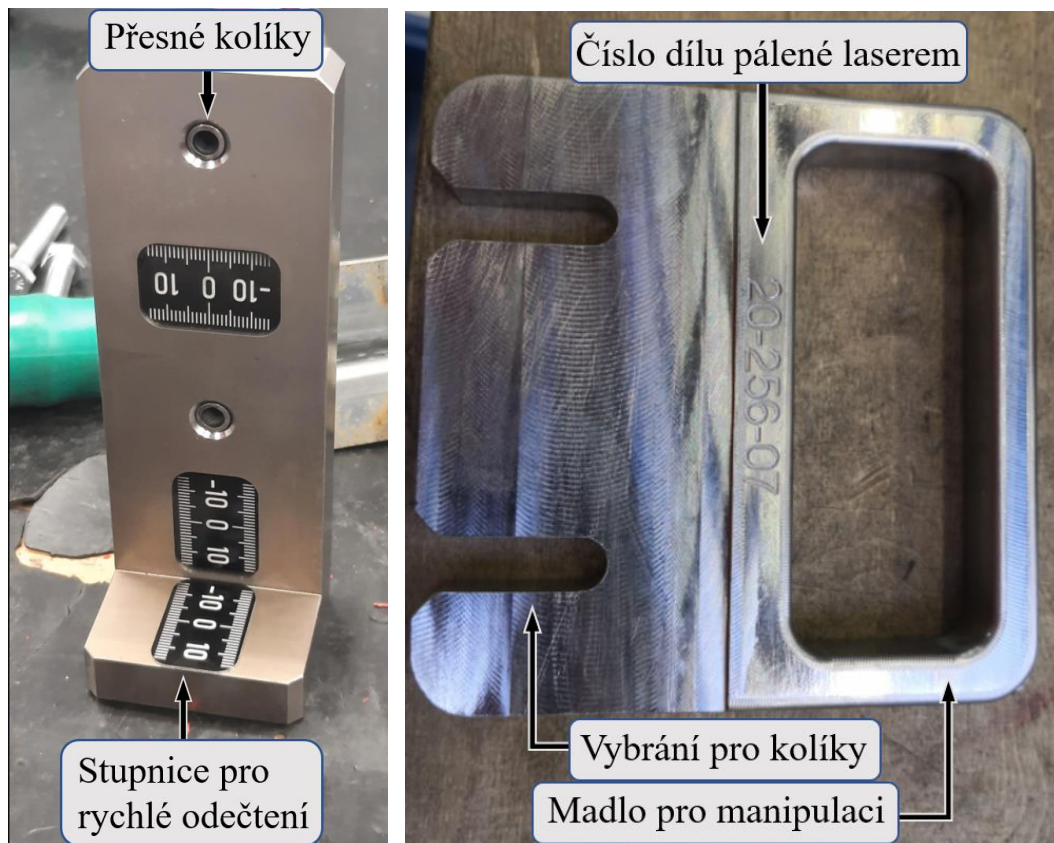
Obrázek 38: Střední doraz (vlevo), kvádr pro střední doraz (vpravo)



Obrázek 39: Způsob zjišťování odchylek radlice pomocí středního dorazu

### 12.2.3 Přední dorazy

Tyto přední dorazy zhotovené z kalené oceli 19 438 (Obrázek 40) mají hned několik funkcí. Hlavní je opatření dorazů trojicí stupnic, které slouží pro rychlé odečtení přesnosti radlice. Lze je také volně otáčet do různých poloh pro různá měření díky uložení kolíků s vůlí v horní desce přípravku. V kombinaci s distančními výpalky (Obrázek 40) mohou mít hned tři polohy, viz kapitola 12.3.



Obrázek 40: Přední doraz (vlevo), distanční výpalek (vpravo)

#### 12.2.4 Ostatní součásti přípravku

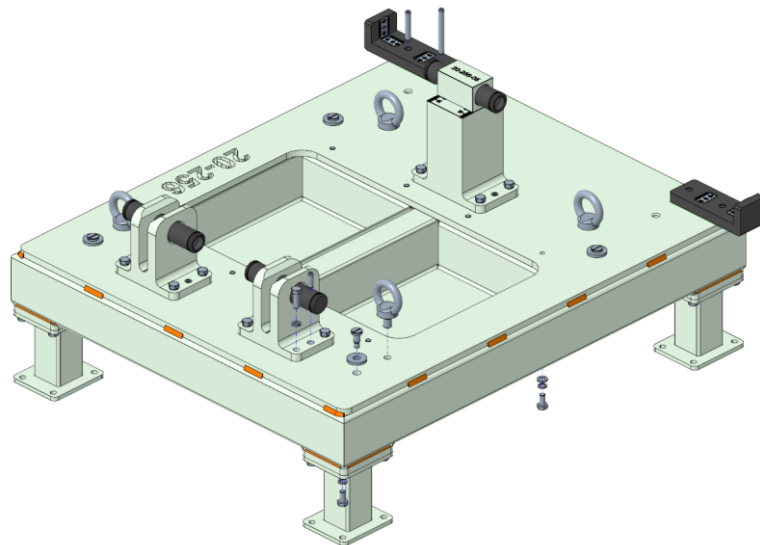
Součástí přípravku jsou také dvě rozšíření radlice, na které byla navařena madla pro snadnější manipulaci. Pro zjištění montovatelnosti na radlici se zkoumá pouze snadnost nasunutí na obě strany (Obrázek 42 c).

Do nevyužitého prostoru uprostřed přípravku byly zakomponovány dvě vany ze stejného materiálu S355J2, které slouží pro odkládání nástrojů a různých komponent potřebných k práci s přípravkem.

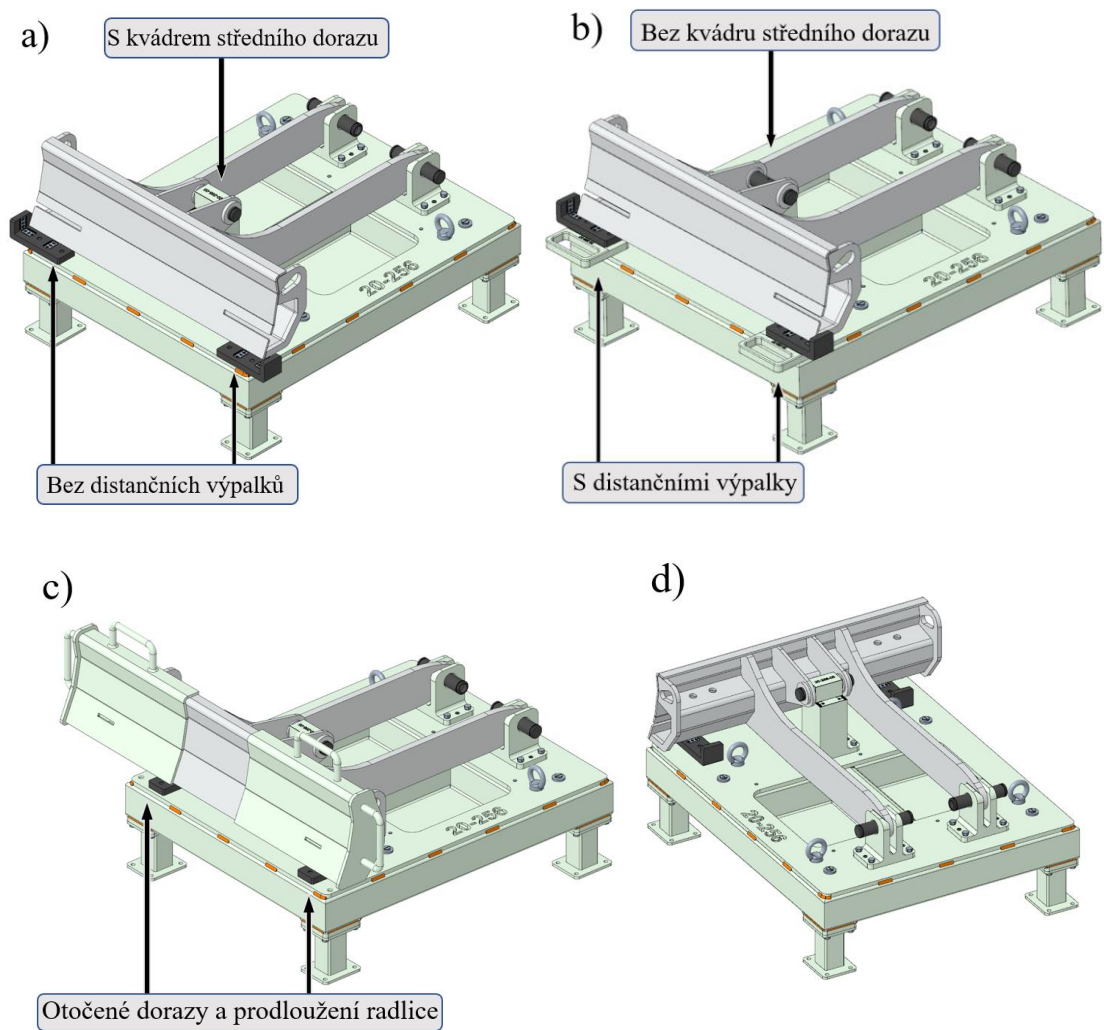
K rámu přípravku také byly namontovány nohy z důvodu alespoň částečného vyzvednutí přípravku od země a možné přepravě pomocí vysokozdvížného vozíku.

## 12.3 Polohy dorazů pro různé simulace měření

První poloha (Obrázek 42 a) je bez použití distančního výpalku a s použitím kvádrů středního dorazu. Tato poloha simuluje usazení radlice ve stroji a zkoumá se posunutí a rotace předku radlice v horizontálním i vertikálním směru. Také se díky stupnicím na středním dorazu dokáže odečíst hodnota natočení osy „uch“ radlice. Druhá poloha (Obrázek 42 b) je s použitím distančního výpalku a bez použití kvádrů středního dorazu. Tím pádem se předek radlice opírá o přední dorazy. Tato pozice simuluje dosednutí radlice na zem a opět umožňuje odečítání posunutí či horizontální natočení předku radlice. Poslední pozice (Obrázek 42 c) nastane po vysunutí, otočení a uložení předních dorazů do zpětné pozice. Toho se využije při testování montovatelnosti prodloužení radlice a při skladování či přepravě přípravku (Obrázek 42 d) kvůli tomu, aby dorazy nepřesahovaly půdorys přípravku. Obrázek 41 ukazuje hotový návrh přípravku bez radlice rypadla.



Obrázek 41: Hotový návrh přípravku



Obrázek 42: Hotový návrh přípravku ve třech polohách. Poloha: a) simulace usazení radlice ve stroji, b) simulace dosednutí radlice na zem, c) testování prodloužení radlice, d) poloha při převozu

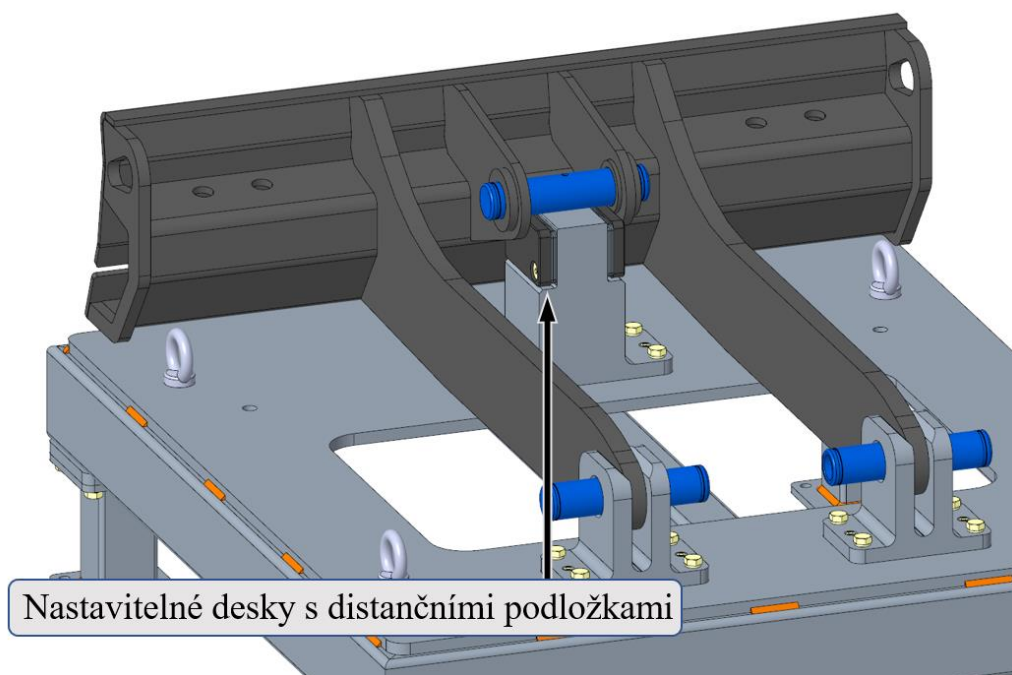


## 12.4 Předchozí verze přípravku

Jako v podstatě jakýkoliv návrh, tak i tento přípravek prošel svou evolucí a nebylo použito hned prvního modelu, který byl zhotoven. V dnešní době díky CAD systémům se dají tyto změny vykonat velice rychle a po výrobě se většinou neobjeví zásadní chyby, které vznikly při návrhu. Tento odstavec pojednává o změnách, kterými si přípravek prošel.

### 12.4.1 Střední doraz

První návrh středního dorazu nabízel po svých stranách nastavitelné desky s distančními podložkami. Ty se daly nastavit na požadovaný rozměr spodní hranice tolerančního pole vzdálenosti „uch“ radlice (Obrázek 43). Díky tomu by totiž radlice s menší vzdáleností „uch“ než předepisuje výkres vůbec nešly do přípravku založit. Protože ale montáž hydraulického pístu mezi „ucha“ poskytuje dostatečnou vůli a důležitější pro fungování rypadla je symetrie os úchytů k podvozku, tak toto řešení bylo zamítnuto. Zároveň by se snížila rozlišitelnost zjistit natočení osy v horizontálním směru, kdyby se stupnice nacházela uprostřed dorazu.



Obrázek 43: První návrh středního dorazu

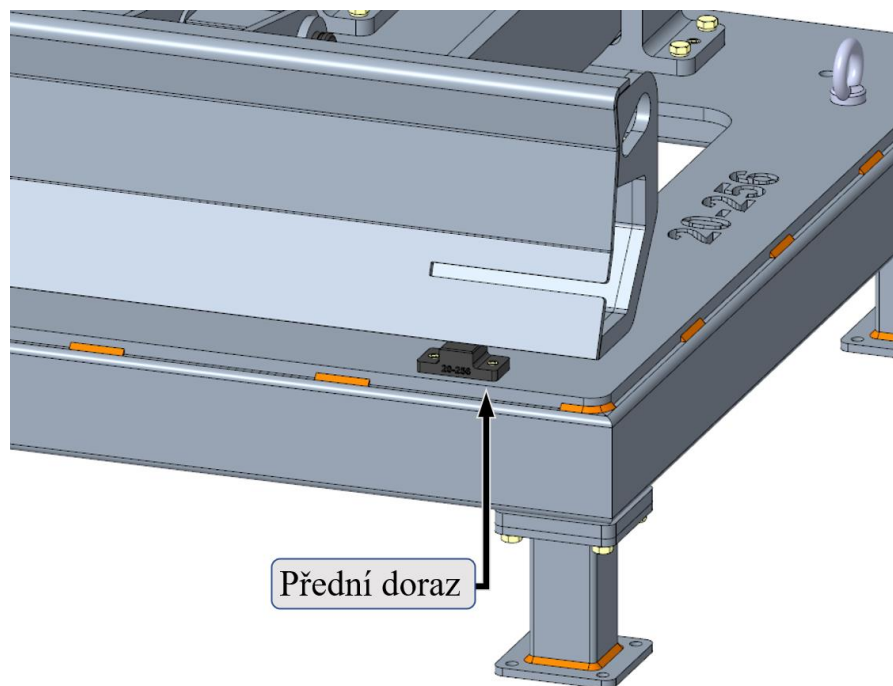
Další návrh spočíval v nalepení stupnic podobných těm na předních dorazech, na vyfrézované plochy na stranách dorazu (Obrázek 44). Tím ovšem byla výrazně snížena dotyková plocha mezi středním dorazem a kvádrem. V případě, že by osa čepu vloženého mezi „ucha“ radlice byla otočená ve vertikálním směru, byla by tím rozlišitelnost natočení výrazně snížena, protože by se kvádr neopíral svou hranou na jednom ze svých konců, ale někde blíže prostředku. Proto bylo třeba použít doraz s minimálně narušenou svrchní plochou, a zároveň snadno čitelnou. Nakonec se využilo technologie frézování, ale šlo by stupnice i pálit laserem.



Obrázek 44: Druhá varianta středního dorazu

#### 12.4.2 Přední dorazy

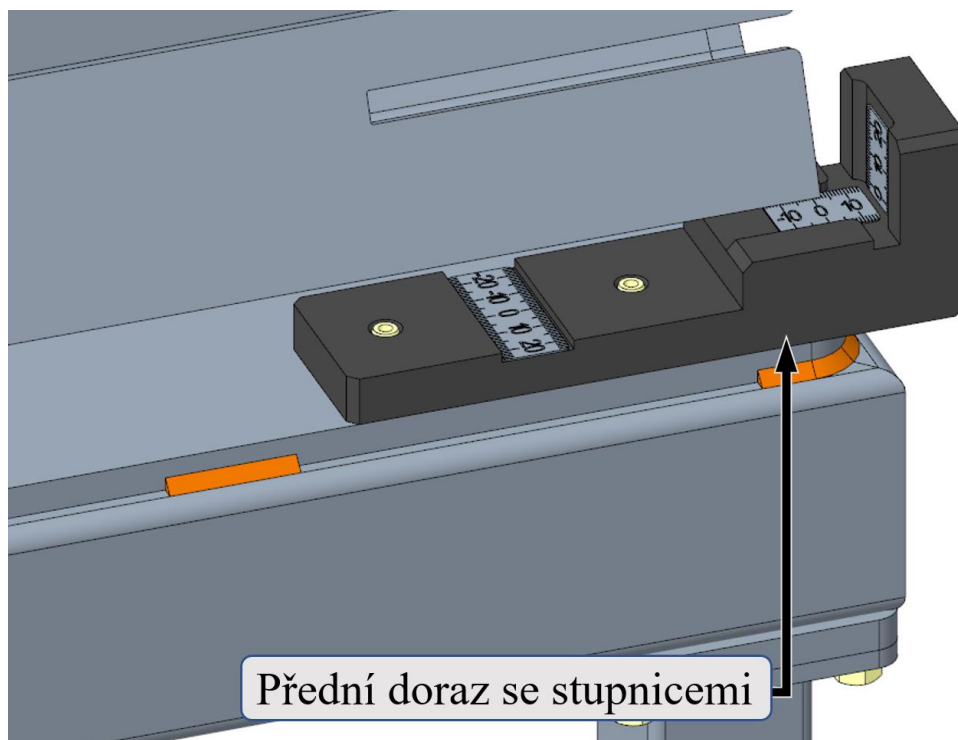
Přední dorazy byly původně navrženy jako odnímatelné kostky pro dosednutí předku radlice (Obrázek 45). Jenže kvůli absenci jakýchkoliv stupnic se nechalo odečítat jen natočení radlice, a to přiložením příslušného měřidla a odečtením hodnoty zdviženého konce radlice od rámu přípravku. Takové měřidlo mohlo mít například tvar schodů a vsunutím pod radlici by se odečetla hodnota schodu, který se ještě pod ní vešel. Tento první návrh neumožňoval měřit posunutí vůči žádné přesné základně.



Obrázek 45: První návrh předního dorazu

Druhá varianta se již podobá výslednému řešení, které ovšem bylo výrazně zjednodušeno (Obrázek 46). Tento doraz totiž obsahoval tři druhy stupnic, které se nahradily jedním druhem. Dále bylo na stupnicích uvažováno menší zaoblení, které mělo sloužit lepšímu odečítání hodnot odchylek. To ale znemožňovalo vyfrézování přesných kapes pro stupnice z důvodu poměru průměru frézy k vyložení frézy. Proto došlo k nadměrnému odebrání materiálu v horní dosedací ploše. Finální verze je řešena pomocí větších zaoblení stupnic a jejich zasazení do materiálu. Tím se přijde o schopnost odečíst hodnoty v koncích stupnic, ale jednalo by se o takové deviace od nominálního rozměru, že lze díl rovnou považovat za zmetek a není třeba měřit, jak moc je posunutý či natočený. Poslední odlišností od vyrobených předních dorazů je použití osazení pro použití předních dorazů pro jednotlivé simulace měření a pro uvolnění místa při zakládání prodloužení radlice. Osazení ale byla eliminována a nahrazena distančními výpalky.

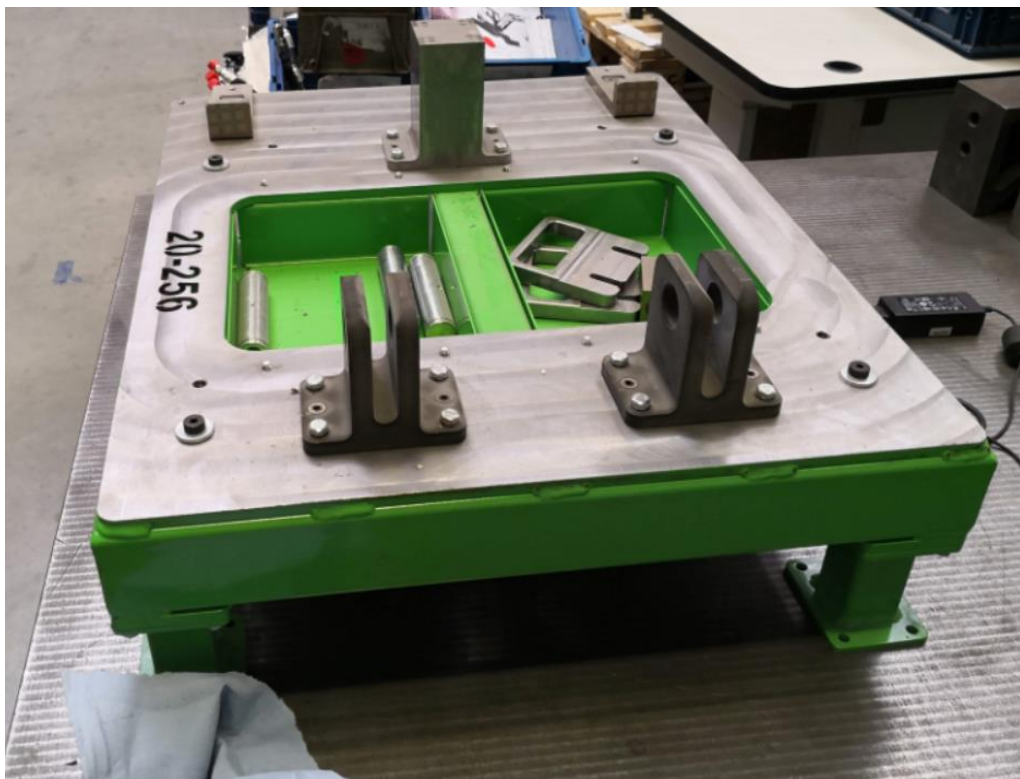




*Obrázek 46: Druhá varianta předního dorazu*

## 13 Hotový přípravek

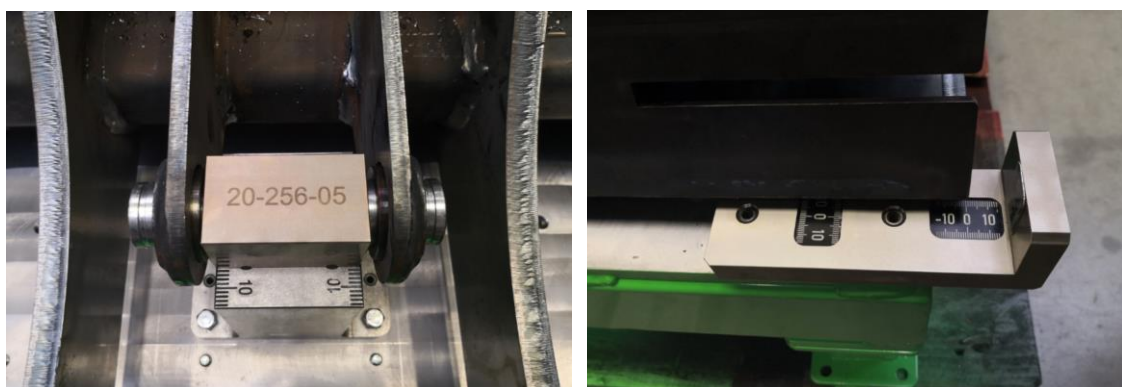
Tento přípravek byl po jeho navržení zadán do výroby Inovačnímu centru Bobcatu, které se nachází v areálu v Dobříši. Kvůli velké vytíženosti trvala výroba přípravku čtyři měsíce (Obrázek 47, Obrázek 48 a Obrázek 49). Jako první proběhla výroba jednotlivých dílů, poté svaření rámu, jeho obrobení, změření rámu, a nakonec montáž a opětovné změření. Příloha 1 obsahuje celou výkresovou dokumentaci přípravku 20-256 společně s měrovými výkresy.



*Obrázek 47: Hotový přípravek bez založené radlice*



*Obrázek 48: Hotový přípravek se založenou radlicí*



*Obrázek 49: Pohled na střední doraz (vlevo), pohled na přední doraz (vpravo)*

# 14 Měření přípravku

## 14.1 Měření rámu

Pro změření svařovaného rámu byl přípravek poslán na fakultu strojní ČVUT v Praze. Měření proběhlo na souřadnicovém měřicím stroji Zeiss Prismo (Obrázek 50) (Tabulka 6). Tento stroj je zaměřen hlavně na co nejvyšší přesnost, a to  $0,9+L/350 \mu\text{m}$ . Dále obsahuje CAA, tedy počítačem podporovanou přesnost. Ta se stará o korigování všech dynamických a statických vlivů na stroj při skenování vyššími rychlostmi. [37]



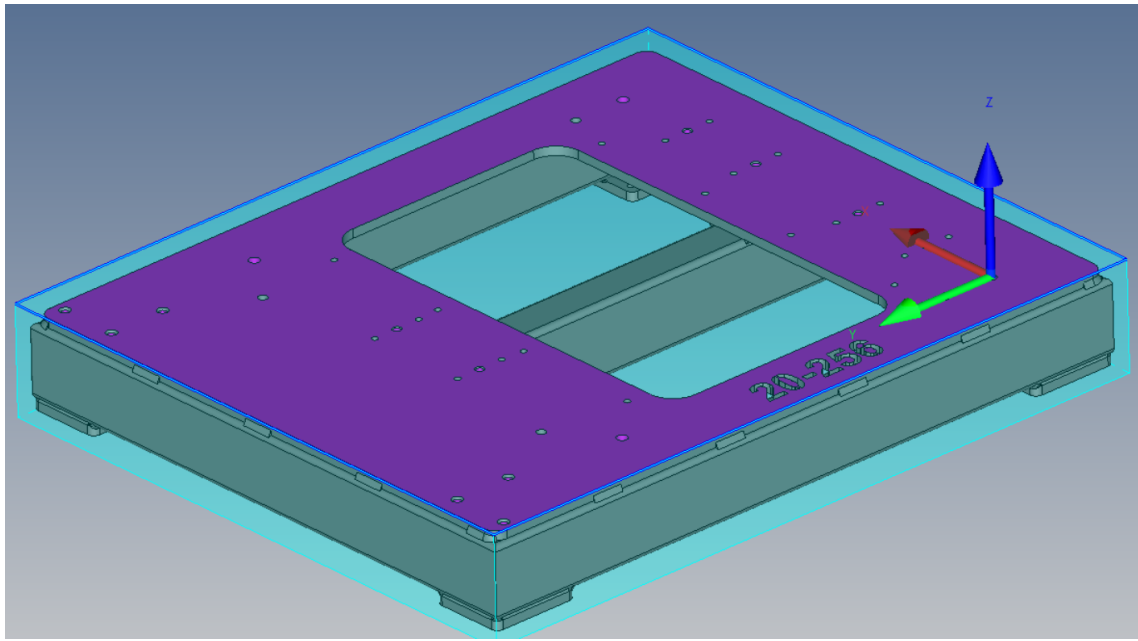
Obrázek 50: Souřadnicový měřicí stroj Zeiss Prismo [37]

Tabulka 6: Parametry CMM Zeiss Prismo [37]

<b>Model:</b>	Prismo
<b>Rychlost skenování:</b>	max. 350 mm/s
<b>Skenovací systém:</b>	Vast Gold
<b>Počet skenovaných bodů:</b>	max. 500 bodů/s
<b>Měřicí zatížení:</b>	50 - 1000mN
<b>Operační teplota:</b>	20 - 22°C

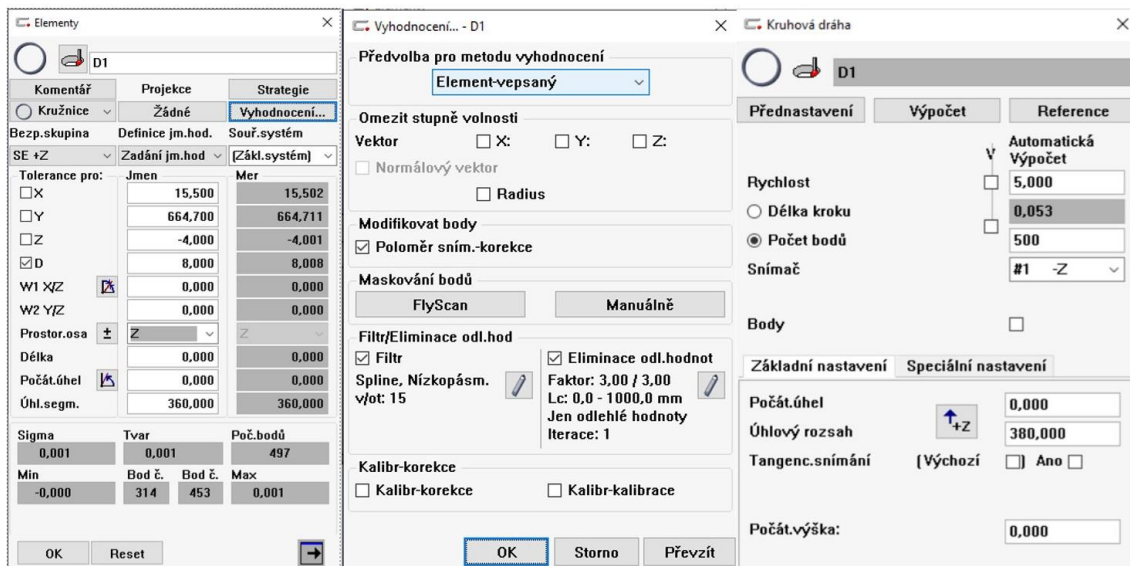
Pro měření rámu přípravku na tomto stroji nebylo třeba žádného speciálního upnutí z důvodu široké základny a vysoké hmotnosti (50 kg).

Se stroji Zeiss se pojí program Zeiss Calypso, který byl použit pro měření. Do programu se vloží model měřené součásti ve formátu .STP a prvním krokem je vyrovnání součásti. Rám se vyrovnal přesně podle výkresu, takže byla použita osa otvoru B22 promítnutá do horní frézované plochy a osy  $x$   $y$   $z$  srovnány podle výkresu. Poté se určil bezpečnostní kvádr, která chrání snímač před bouráním do součásti (Obrázek 51).



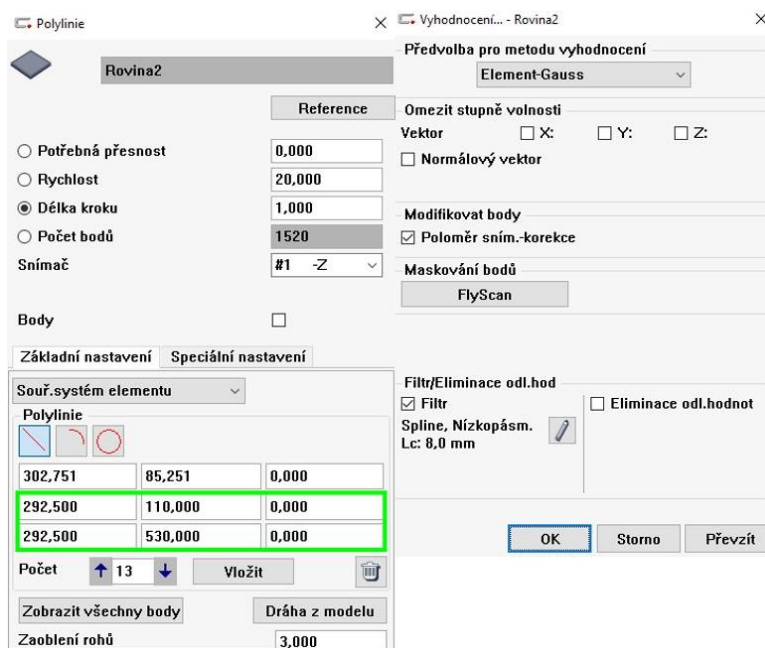
Obrázek 51: Rám 20-256 se zobrazeným vyrovnáním a bezpečnostní kvádr

Mezi měřené charakteristiky patřilo 36 rozměrových charakteristik a 1 geometrická tolerance. Pro elementy se použil jediný snímač #1 -Z. Všechny otvory se měřily podobným způsobem, a proto bude příklad ukázán na otvoru D1 (Obrázek 52). Ten byl naskenován pomocí kruhové dráhy rychlostí 5 mm/s, pětistý body a úhlovým rozsahem 380°. Dále byl použit Gaussův nízkopásmový filtr a počet vln po obvodu na 15 v/ot. Všechny hodnoty mimo pásmo  $\pm 3$  sigma se eliminovaly. Kvůli zajištění smontovatelnosti se využila metoda vyhodnocení pomocí vepsaného elementu. Po změření těchto elementů došlo k vyhodnocení charakteristik, a to jejich průměru a vzdálenosti od ostatních elementů.



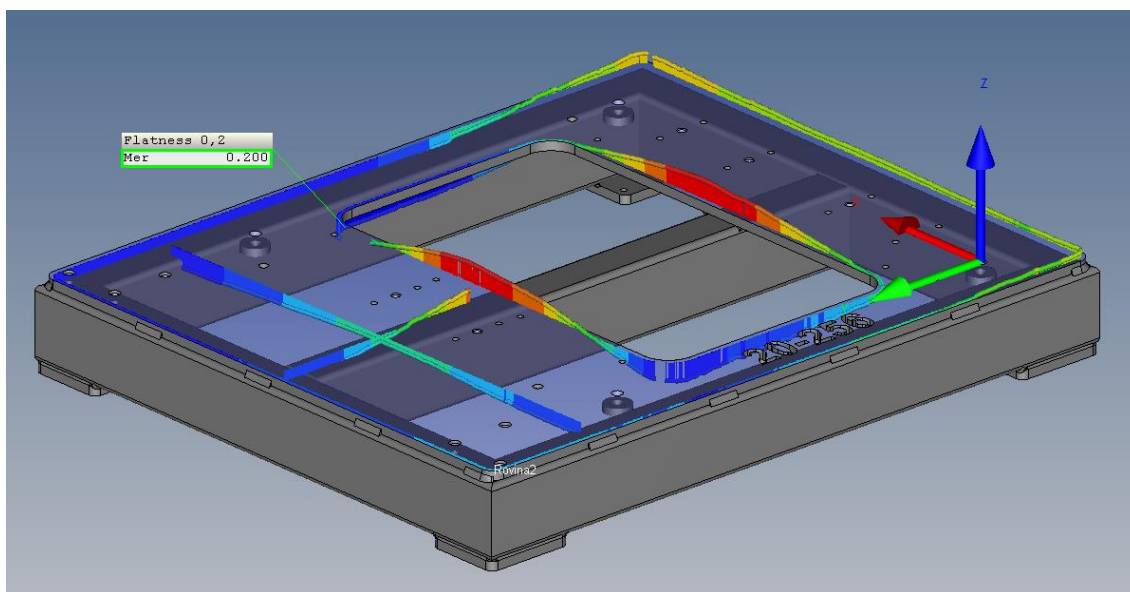
Obrázek 52: Měření elementu D1 (vlevo), vyhodnocení elementu (uprostřed), strategie měření (vpravo)

Pro změření geometrické tolerance rovinnosti se použije element Rovina2 (Obrázek 53). Na modelu vzniklo několik polylinií v kritických místech, které byly skenovány rychlostí 20 mm/s s délkou kroku 1 mm (Obrázek 54). Vyhodnocení proběhlo pomocí Gaussovi metody. Opět byl použit Gaussův nízkopásmový filtr s vlnovou délkou  $L_c = 8$  mm.



Obrázek 53: Strategie měření elementu Rovina2 (vlevo), vyhodnocení elementu (vpravo)





Obrázek 54: Grafický element s charakteristikou rovinnosti a zobrazením měřených polylinií

Výsledný tvar zkroucení horní plochy (Obrázek 54) mohl být zapříčiněn upnutím za prostřední výztuhu rámu bez dostatečného podložení spodní části během frézování. Tím mohlo dojít k prohnutí výztuhy, odfrézování svrchní plochy a následnému zpětnému odpružení, které je znázorněno červenou barvou na obrázku.

Výsledky měření se nechaly zobrazit pomocí standartního protokolu (Příloha 2). Převážně odpovídaly předepsaným hodnotám na výkrese. Jediná hodnota mimo vymezené toleranční pole se lišila o 0,005 mm, a z důvodu funkce měřeného rozměru se nechá zanedbat. Při výrobě a zároveň i při měření rámu ovšem došlo k chybě. Díry s označením D1 – D6 se totiž lišily svou výrobní tolerancí. Namísto 8H7 ( $8_{+0}^{+15}$ ), jako tomu bylo u ostatních děr, měly předepsanou toleranci 8F7 ( $8_{+13}^{+28}$ ), aby kolíky předních dorazů byly uloženy s vůlí a tím pádem se mohly otáčet. Byly ovšem vyrobeny také v toleranci H7 a kolíky nešly volně založit. Měřicí program tedy počítal s tolerancí H7, a proto nebyla odhalena chyba hned, ale až při montáži. Naštěstí šlo o snadnou opravu, a to použitím výstružníku s větším rozměrem.

## 14.2 Měření smontovaného přípravku

Smontovaný přípravek bylo třeba změřit ještě jednou, vcelku. Toto měření ovšem mělo na starosti jiné oddělení, a proto proběhlo přímo na hale v Dobříši.

### 14.2.1 Měřicí stroj

Bobcat disponuje měřicím ramenem Hexagone CimCore 7530 (Obrázek 55). Toto rameno se tam hojně používá a pro potřeby kontroly přípravků dostatečně stačí jeho menší přesnost, která se pohybuje v rozmezí  $\pm 0,049$  mm. Dále obsahuje absolutní enkodéry v jeho základních osách, díky nimž rameno pozná polohu svých kloubů. Proto nepotřebuje žádný způsob kalibrace předtím, než se začne používat. Jeho konstrukce je převážně zhotovena z uhlíkových vláken, které zajišťují vysokou pevnost, nízkou hmotnost ramena a zároveň poskytují nízkou tepelnou roztažnost. Jeho základna může rotovat o  $360^\circ$  a obsahuje magnetické uchycení k podkladu. Také má protizávaží, které slouží k usnadnění manipulace s ramenem. [33]

Tabulka 7 ukazuje, že test objemové přesnosti dosahuje přesnosti  $\pm 0,049$  mm. Jedná se o nejpřesnější reprezentaci očekávané přesnosti měření ramene. Test totiž spočívá v opakovaném měření dané délky kalibrovaného tělesa, a to v několika místech a orientaci. Bodová opakovatelnost ( $\pm 0,033$  mm) zase vypovídá o opakovatelnosti měření pomocí bodového dotyku. Tím se opakovaně měří kalibrovaný kužel z různých stran. Poté dojde k vypočítání průměrného bodu a odchylky každého z bodů. [33]

Tabulka 7: Vlastnosti ramene 7530 [33]

<b>Model</b>	7530
<b>Měřicí rozsah</b>	3,0 m
<b>Bodová opakovatelnost</b>	$\pm 0,033$ mm
<b>Objemová opakovatelnost</b>	$\pm 0,049$ mm
<b>Váha ramene</b>	8,3 kg
<b>Operační teplota</b>	$0^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$
<b>Skladovací teplota</b>	$-30^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$
<b>Relativní vlhkost</b>	10% - 90%
<b>Operační převýšení</b>	0 – 2000 m

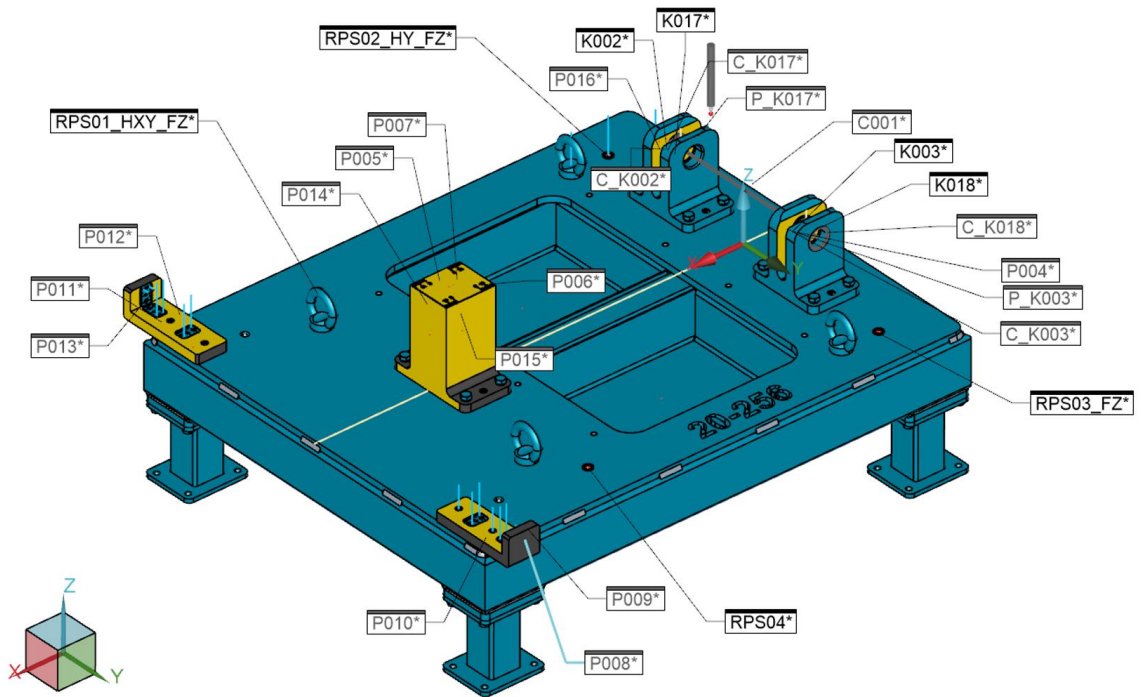




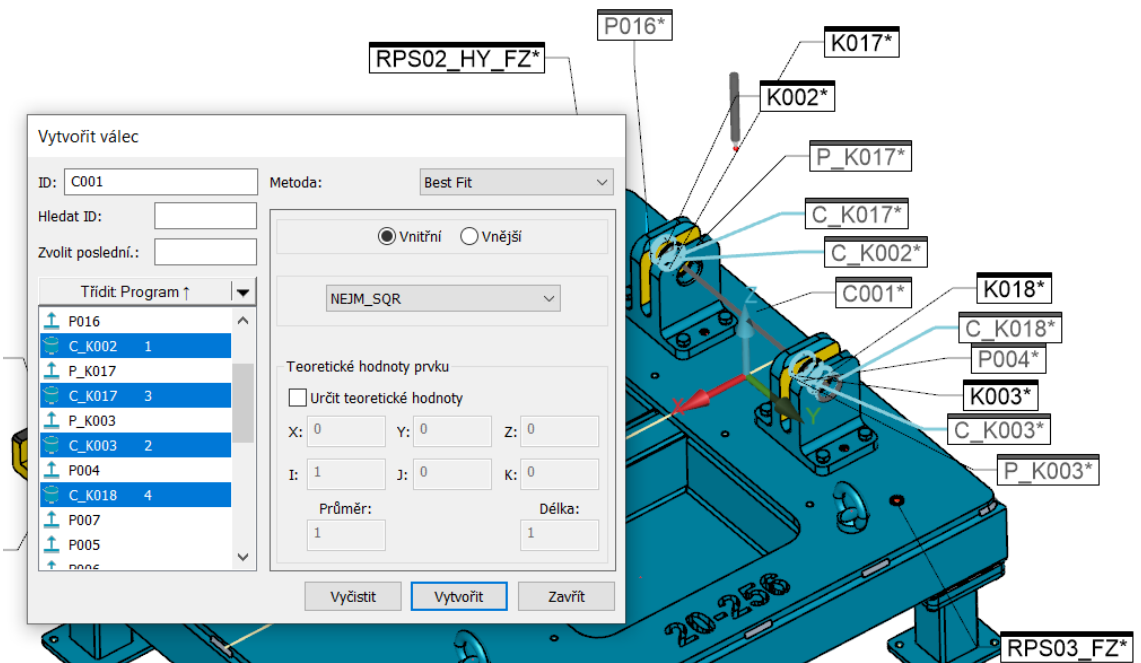
*Obrázek 55: Měřicí rameno Hexagon CimCore 7530 [34]*

#### 14.2.2 Příprava měření

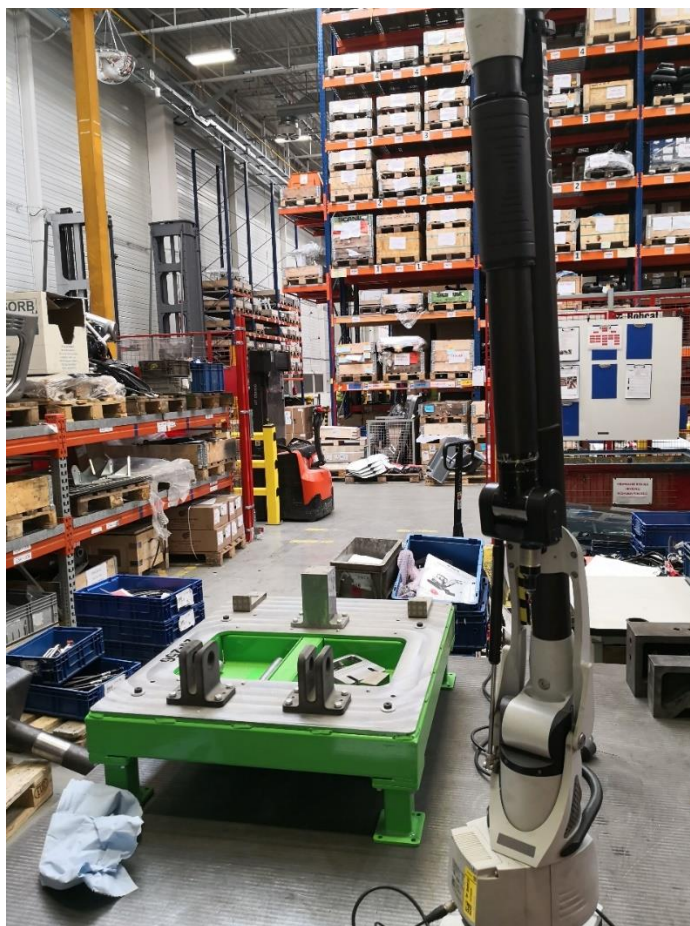
Před samotným měřením byl vytvořen program na základě měrového výkresu (viz Příloha 1) v CAD programu PC-DMIS dodávaným s ramenem (Obrázek 56). Tento program dovoluje nahrát 3D model přípravku ve formátu STEP a následně nasimulovat body pro potřeby měření, doplněné o komentář usnadňující operátorovi práci (Obrázek 59). Pro určení polohy roviny pomocí tolerance tvaru plochy bylo nasnímáno šest bodů rovnoměrně rozmístěných po měřené ploše a vyhodnoceno metodou nejmenších čtverců. Pro určení polohy otvorů bylo nasnímáno 5 bodů. Poté byly z existujících měřených prvků zkonstruovány další. V případě zadních úchytů se změřené kružnice promítly do vnitřních rovin úchytů. Následně z nich byl vytvořen válec pomocí „best fit“ metody. Ten posloužil k vyhodnocení tolerance pozice osy zadních úchytů (Obrázek 57).



Obrázek 56: Připravený plán měření se všemi měřeními body



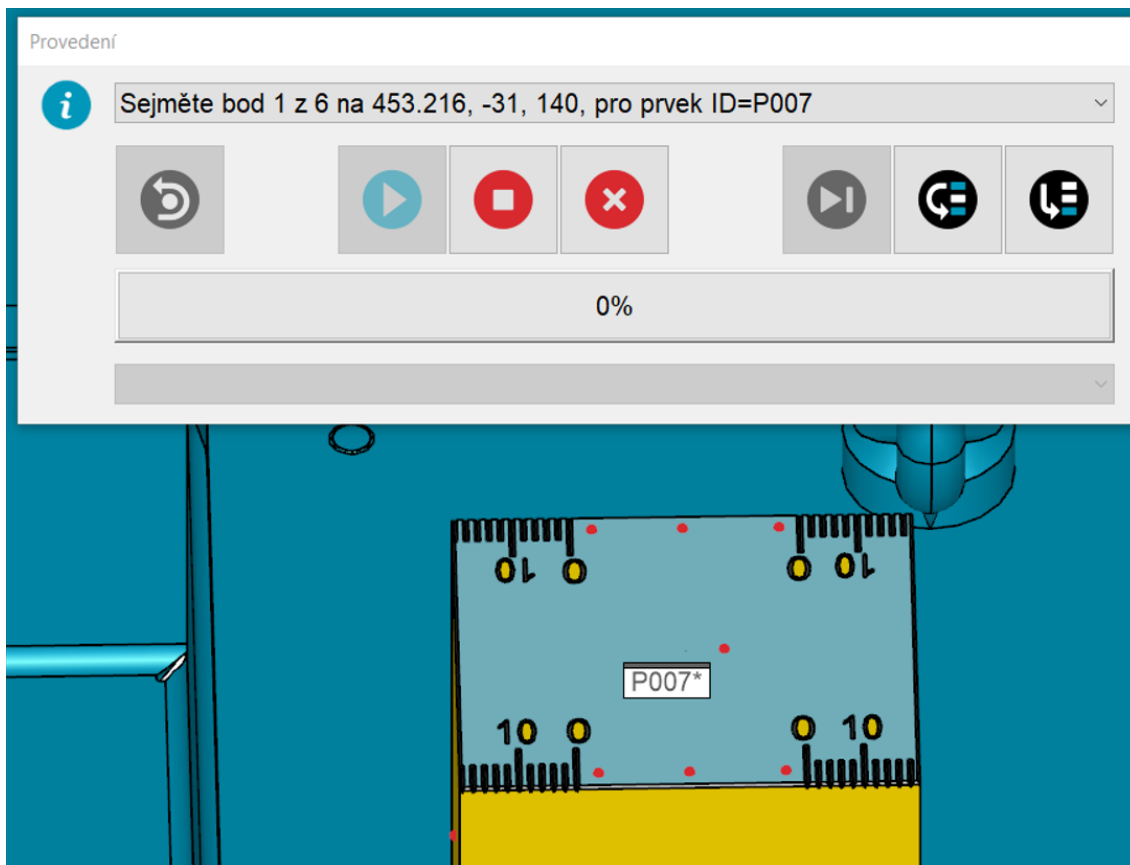
Obrázek 57: Vytvoření válce pro odečtení hodnoty tolerance pozice osy zadních úchyty



*Obrázek 58: Přípravek společně s ramenem připraven na měření*

### 14.2.3 Samotné měření

Poté byl přípravek společně s ramenem položen na měřicí stůl (Obrázek 58) a proběhlo spárování ramene s programem v počítači. Mezitím také došlo k odmaštění všech měřených ploch a odšroubování krytek zakrývajících vyrovnávací otvory. Měření začínalo vyrovnáním souřadnicového systému pomocí kontrolních vyrovnávacích bodů (Obrázek 60). Tím byly získány informace o poloze přípravku v prostoru. Dále proběhlo změření všech kritických rozměrů pro správné fungování přípravku. Software ukazuje přibližnou polohu bodů na 3D modelu, kde by měly být přednostně sejmuty (Obrázek 59).



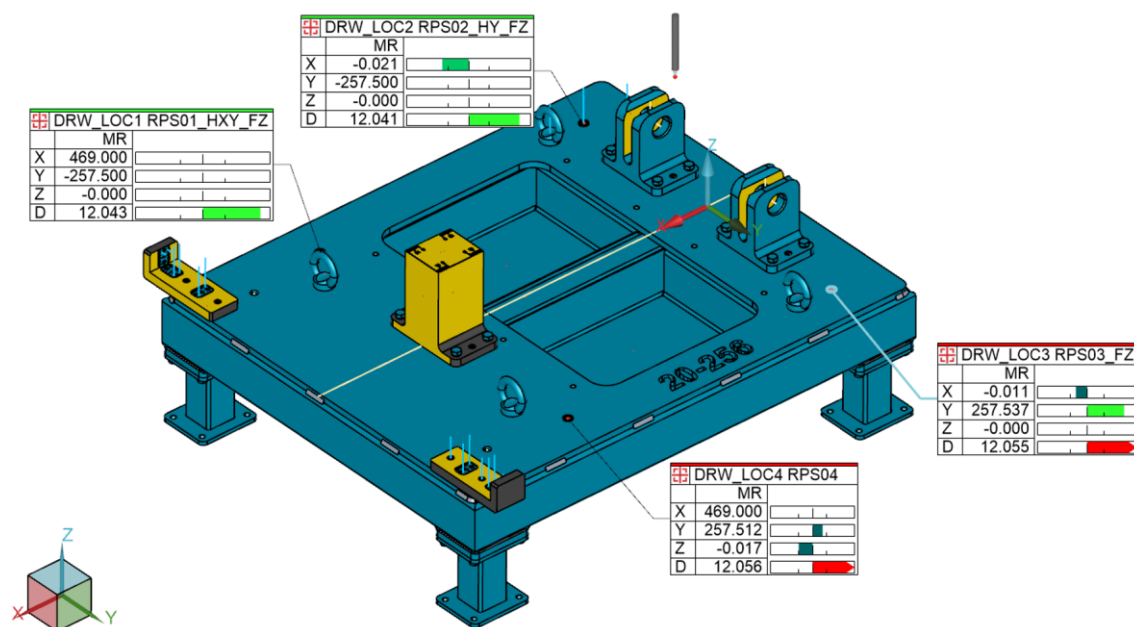
Obrázek 59: Příklad měření jednoho z dorazů

Dalším nekonvenčním unikátem firmy Bobcat je používání předepisování tolerance tvaru plochy namísto měření rovinnosti. To je také podloženo praktickými zkušenostmi. Při měření tolerance tvaru polohy totiž software vypíše všechny jednotlivě měřené body a jejich odchylky. Díky tomu se dá snadno zjistit, jak je plocha otočená či posunutá oproti nominální pozici. Při měření rovinnosti software body proloží plochu a z ní spočítá téměř nic neříkající hodnotu rovinnosti.



Obrázek 60: Měření vyrovnávacích bodů (vlevo), měření kritických rozměrů (vpravo)

Po změření všech potřebných bodů software zpracoval výsledky, které se nechají zobrazit přímo v modelu (Obrázek 61) nebo vypsát zprávu (Příloha 3) dokumentující měřené body a jejich odchylky od pozic značených na výkresu. Téměř všechny se shodovaly s výkresem. Objeví-li se ale ve zprávě červená čísla, je třeba se zamyslet, co znamenají a vyvodit z nich závěry, zdali je přípravek vadný, nebo ne.



Obrázek 61: Příklad vypsání výsledků vyrovnávacích bodů přímo v modelu



Prvními prvky mimo toleranci jsou průměry samotných vyrovnávacích otvorů (Tabulka 8). Tyto prvky ale nelze považovat za chybně vyrobené, protože rozdíl odchylky naměřené oproti odchylce požadované je v případě bodu RPS03\_Fz pouze 0,005 mm a v případě bodu RPS04 pouze 0,006 mm. To je zanedbatelně malá odchylka v porovnání s objemovou opakovatelností ramene, která je +/- 0,049 mm. Tudíž může jít pouze o chybu měření, a ne chybu výroby. Bod RPS04 se ani nepoužívá pro vyrovnání přípravku, ale slouží pouze jako pojistný bod, kdyby se něco stalo s jedním z ostatních třech vyrovnávacích bodů. Zároveň lze pozorovat, že všechny čtyři vyrovnávací body mají svůj průměr v rozsahu 13  $\mu$ m, proto lze říct, že byly vyrobeny jedním přesným nástrojem a můžeme je považovat za dostatečně přesné body pro vyrovnání součásti. V případě vyrovnávacích bodů je více důležitá pozice osy než průměr otvoru.

Tabulka 8: Výsledky měření vyrovnávacích bodů

⊕	MM	DRW_LOC1 - RPS01_HXY_FZ					
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL	
X	469.000	0.050	-0.050	469.000	0.000	0.000	
Y	-257.500	0.050	-0.050	-257.500	0.000	0.000	
Z	0.000	0.050	-0.050	0.000	0.000	0.000	
D	12.000	0.050	-0.050	12.043	0.043	0.000	
⊕	MM	DRW_LOC2 - RPS02_HY_FZ					
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL	
X	0.000	0.050	-0.050	-0.021	-0.021	0.000	
Y	-257.500	0.050	-0.050	-257.500	0.000	0.000	
Z	0.000	0.050	-0.050	0.000	0.000	0.000	
D	12.000	0.050	-0.050	12.041	0.041	0.000	
⊕	MM	DRW_LOC3 - RPS03_FZ					
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL	
X	0.000	0.050	-0.050	-0.011	-0.011	0.000	
Y	257.500	0.050	-0.050	257.537	0.037	0.000	
Z	0.000	0.050	-0.050	0.000	0.000	0.000	
D	12.000	0.050	-0.050	12.055	0.055	0.005	
⊕	MM	DRW_LOC4 - RPS04					
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL	
X	469.000	0.050	-0.050	469.000	0.000	0.000	
Y	257.500	0.050	-0.050	257.512	0.012	0.000	
Z	0.000	0.050	-0.050	-0.017	-0.017	0.000	
D	12.000	0.050	-0.050	12.056	0.056	0.006	

Dalšími měřenými prvky, který se nenachází v toleranci, je pozice osy tvořena kružnicemi zadních dorazů, které slouží k uchycení radlice a pozice jednotlivých kružnic (Tabulka 9). Opět je ale třeba zjistit, o jakou nepřesnost se jedná a zdali ji nelze zanedbat či nějak vysvětlit. Pozice osy se liší téměř o 0,76 mm od nominálního rozměru a podobně jsou na tom všechny kružnice. V tomto případě se ale problém nachází už v samotné toleranci polohy osy zadních úchytů, která je 0,25 mm. Tato tolerance byla převzata z výrobního výkresu radlice Caira, který byl zhotoven konstruktérem v Americe. Pokud vezmeme v potaz způsob výroby radlice, je hodnota tolerance téměř nedosažitelná. Otvory v zadní části radlice jsou totiž zhotoveny ještě předtím, než se radlice svaří dohromady.

Dále je potřeba si všimnout odchylek pozic os jednotlivých kružnic, a to jak v ose  $x$ , tak i v ose  $z$ . V ose  $x$  se totiž všechny pozice os kružnic nachází v malém rozmezí okolo -0,37 mm od nominálního rozměru a v ose  $z$  okolo +0,12 mm oproti nominálnímu rozměru. To znamená, že jsou osy kružnic sice posunuté, ale všechny podobně. Tím je dodržena podmínka napsaná v kapitole 11.3, a to požadavek na rovnoběžnost os zadních dorazů, kvůli vnesení co nejmenších deformací do radlice. Odchytky v ose  $z$  se v tomhle rozsahu na přesnost měření radlice téměř nepodílí. Větší problém dělá posunutí v ose  $x$ , které posouvá celou radlici o 0,37 mm dozadu. Tím se částečně znehodnocuje odečítání na stupnicích uprostřed a vpředu přípravku. Vezme-li se ovšem v potaz rozlišení stupnic, které je v případě předních dorazů 1 mm a v případě středního dorazu 2 mm, tak při odečítání pouhým okem nebude rozdíl markantní. Naopak při měření na souřadnicovém stroji by se s odchylkou muselo počítat a upravit měřicí program.

Tabulka 9: Výsledky měření os kružnic zadních dorazů

⊕	MM	002_A_RPS_POS_001 - K002				
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL
X	0.000			-0.414	-0.414	
Z	80.000			80.139	0.139	
DF	30.000	0.100	-0.100	30.093	0.093	0.000
TP	RFS	0.250		0.874	0.874	0.624
⊕	MM	003_A_RPS_POS_001 - K003				
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL
X	0.000			-0.319	-0.319	
Z	80.000			80.115	0.115	
DF	30.000	0.100	-0.100	30.095	0.095	0.000
TP	RFS	0.250		0.678	0.678	0.428
⊕	MM	017_A_RPS_POS_001 - K017				
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL
X	0.000			-0.398	-0.398	
Z	80.000			80.112	0.112	
DF	30.000	0.100	-0.100	30.086	0.086	0.000
TP	RFS	0.250		0.827	0.827	0.577
⊕	MM	018_A_RPS_POS_001 - K018				
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL
X	0.000			-0.351	-0.351	
Z	80.000			80.112	0.112	
DF	30.000	0.100	-0.100	30.088	0.088	0.000
TP	RFS	0.250		0.736	0.736	0.486



## 15 R&R studie měřicího přípravku

Pro zjištění opakovatelnosti a reprodukovatelnosti byla provedena R&R studie (opakovatelnost a reprodukovatelnost – Reproducibility & Repeatability). Měření probíhá na několika součástech a je uskutečněno několika operátory. Tato studie zjišťuje, jaká proměnlivost v měřicím systému je způsobena měřicím přípravkem, tedy opakovatelnost. Stejný operátor měří stejnou součást za stejných podmínek, použitím stejného měřidla. Jaká proměnlivost v systému je způsobena rozdílnými operátory se zjišťuje reprodukovatelností. To znamená mnohonásobné měření jedné součásti pomocí stejného měřidla a za stejných podmínek ovšem několika operátory. Zjišťuje tedy, jestli je přípravek vhodný zapojit do výrobního procesu a jestli nebude ovlivňovat variabilitu celého procesu. Dále určuje, jestli měřicí přípravek je schopen rozlišovat mezi různými díly. [35]

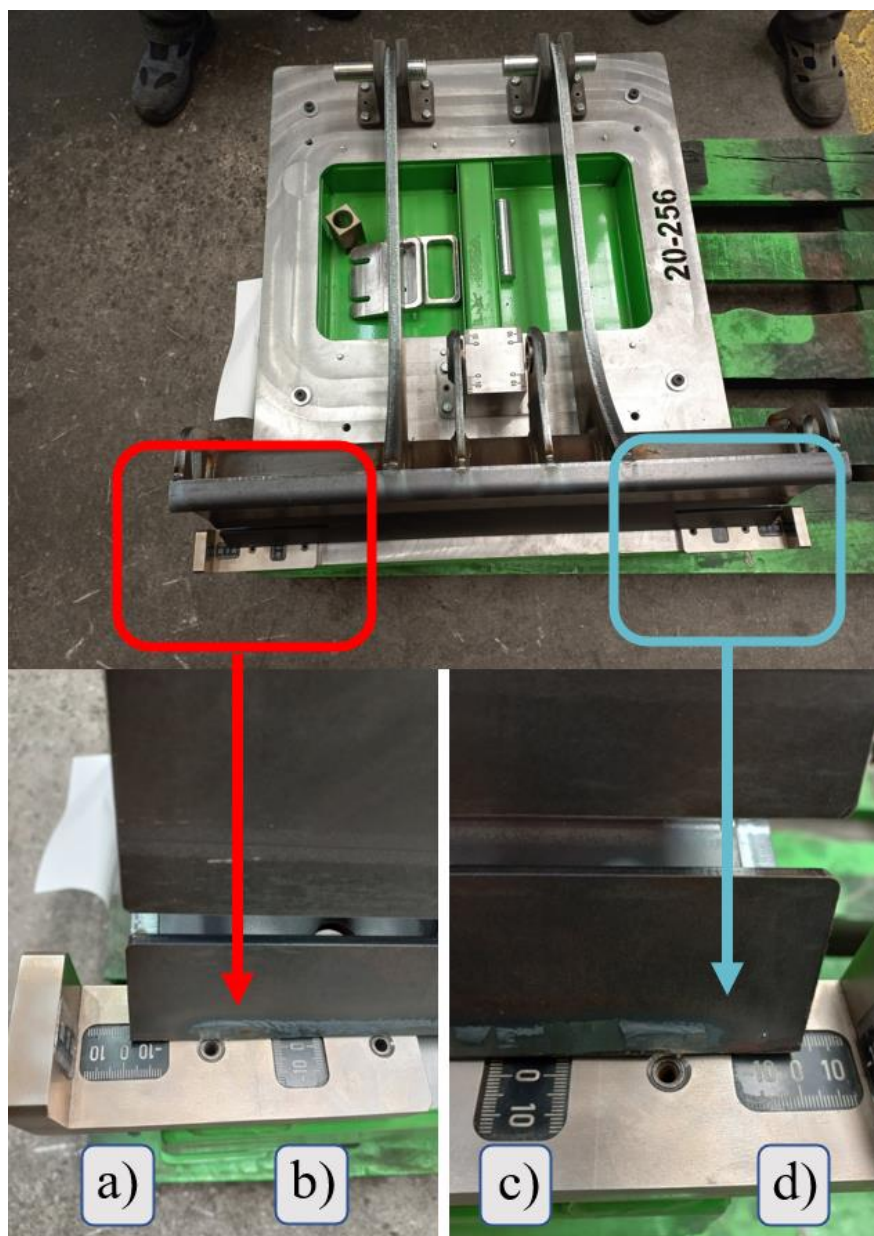
Jelikož tento přípravek byl navržen pro využití přímo na lince, a ne vždy zkušenými operátory, musel splňovat několik podmínek. Hlavní byla snadná čitelnost jednotlivých stupnic a jistota toho, že operátor vždy odečte správnou hodnotu. Proto byla zvolena stupnice s nízkou přesností, rozlišení 1 mm. Nižší rozlišení mohlo být použito, protože se jedná o součástku zemědělského stroje, do jejíž výroby vstupuje mnoho proměnných a nepřesností, jako je ohýbání plechu a svařování. To jsou jedny z nejméně přesných způsobů výroby součásti. Chtít po takové součástce přesnost v desetinách milimetru a vyšší je zcela nepodstatné a ekonomicky nevýhodné.

V případě přípravku 20-256 proběhla validace na třech vzorcích radlic odebraných přímo z výrobní linky a pouze na předních stupnicích. Provedena byla třemi operátory, mezi nimiž se nacházel inženýr kvality/vedoucí metrologie a technologové kvality. Všechna měření proběhla podobně, a proto je přiložena jen tabulka měření jedné součásti (Tabulka 10) (Obrázek 62). Jak lze vidět (Obrázek 62), tak došlo k drobné chybě při konstrukci radlice. Přední dorazy totiž měly mít navzájem otočené stupnice o 180°, aby se intuitivněji odečítaly hodnoty. Takže pro zjištění rozdílu mezi pozicí b) a c) se hodnoty sčítají namísto odečítají. To se dá snadno napravit otočením například stupnice c).

Tabulka 10: Výsledky R&R studie pro přípravek 20-256

R&R studie (mm)							
a)	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3	b)	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3
1	-2	-2	-2	1	-2	-2	-2
2	-2	-2	-2	2	-2	-2	-2
3	-2	-2	-2	3	-2	-2	-2
c)	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3	d)	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3
1	-3	-3	-3	1	0	0	0
2	-3	-3	-3	2	0	0	0
3	-3	-3	-3	3	0	0	0

Tato tabulka vypovídá o splnění všech požadavků, a to opakovatelnosti a reprodukovatelnosti díky použití navrženého přípravku, několika součástí a několika operátorů. Během testu došlo ke schválení přípravku vedoucím metrologie, který se sám podílel na testování. Zároveň z naměřených hodnot nepřesnosti radlice lze konstatovat, že rozlišení stupnic je dostatečné, protože hodnoty odchylek se pohybují v řádu milimetrů. Použitím přesnějších měřidel, jako je například číselníkový úchylkoměr, by mělo spíše negativní výsledky. Příklady jsou: malá robustnost odměřovací soustavy, složitější odečítání a zvýšená možnost chybovosti. To je proto, že odečítání hodnot na těchto měřidlech není uzpůsobeno k zaznamenání odchylky v řádu milimetrů.



Obrázek 62: Validace přípravku 20-256

# 16 Měření radlic

## 16.1 První měření

Po validaci přípravku proběhlo změření osmi radlic v Novém závodě. Toto měření bylo opět provedeno pod dozorem inženýra kvality/vedoucího metrologie a pouze na stupnicích předních dorazů. Jak lze pozorovat (Tabulka 11), tak odchylky při výrobě radlic v Novém závodě jsou velice podobné a průměrná hodnota (rovnice ( 1 )) směrodatné odchylky (rovnice ( 2 )) je 0,61 mm (0,40 mm při vynechání prvního měření). Při průměrném rozdílu stupnic b) a c) 0,6 mm na vzdálenosti stupnic 569 mm je hodnota natočení přední části radlice ve vodorovném směru  $0,063^\circ$ , tedy  $3,8'$  (rovnice ( 3 )). Tato hodnota dostatečně splňuje požadovanou rovnoběžnost mezi osou zadních úchyťů a přední částí radlice, která je na výkrese radlice dovolená o řád vyšší.

Hodnoty posunutí přední části radlice nejsou v tolerančním poli udávaném na výkrese ani ve směru  $x$  ani ve směru  $y$ , ale tyto rozměry nejsou tolik kritické. Hodnoty se přesto pro jednotlivé radlice nachází v úzkém pásmu, a proto lze upravit svařovací přípravky radlic tak, aby se odchylky snížily. Pro tyto případy je většina Bobcat svařovacích přípravků opatřena dorazy s nastavitelnou polohou pomocí distančních podložek.

Na pěti radlicích z tohoto měření se také vyzkoušelo rozšíření radlice, které ve všech případech byla namontováno bez problémů.

Tabulka 11: Hodnoty posunutí předních částí osmi radlic

Radlice	Měření v Novém závodě (mm)				
	Pozice a)	Pozice b)	Pozice c)	Pozice d)	b) + c)
1	-1	2,5	-3	3	-0,5
2	-1,5	3	-3,5	-0,5	-0,5
3	-2	2	-2,5	0	-0,5
4	-1,5	2	-2	-0,5	0
5	-3	2	-3	0	-1
6	-2,5	2	-3	0	-1
7	-1,5	2,5	-3	-0,5	-0,5
8	-2	2	-3	0	-1
Průměr	-1,9	2,3	-2,9	0,2	<b>-0,6</b>
Sm.odch.	0,60	0,35	0,41	1,09	
			<b>Pr. sm.odch.</b>	<b>0,61</b>	

Výpočet aritmetického průměru:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

(1)

Výpočet směrodatné odchylky:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

(2)

Hodnota natočení přední části radlice vůči zadním úchytům:

$$x = \operatorname{arctg} \frac{0,6}{569} = 0,063^\circ = 3,8'$$

(3)

## 16.2 Druhé měření

Druhé měření už porovnává přesnosti výroby radlic ve Starém a Novém závodě. Měřily se tři radlice od každého a v tomto případě se odečítala i stupnice uprostřed přípravku (Tabulka 12).

Tabulka 12: Porovnání přesnosti radlic v Novém a Starém závodě

Měření v Novém závodě (mm)									
Radlice	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	b) + c)
1	-2	1	-1	0	0	0	0	0	0
2	-3	0	-1	1	0	0	0	0	-1
3	-2	1	-1	0	-1	-1	1	1	0
Průměr	-2,33	0,67	-1,00	0,33	-0,33	-0,33	0,33	0,33	<b>-0,33</b>
Sm.odch.	0,47	0,47	0,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
		<b>Pr. sm.odch.</b>	<b>0,35</b>						

Měření ve Starém závodě (mm)									
Radlice	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	b) + c)
1	-1	2	-2	-2	0	0	0	0	0
2	0	2	-2	-4	0	0	0	0	0
3	-1	1	-2	-2	0	0	0	0	-1
Průměr	-0,67	1,67	-2,00	-2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>-0,33</b>
Sm.odch.	0,47	0,47	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	
		<b>Pr. sm.odch.</b>	<b>0,47</b>						

Z těchto výsledků je patrné, že nepatrně vyšší přesnosti se dosahuje při výrobě v Novém závodě, ale porovná-li se výsledky nové linky s předchozími výsledky (Tabulka 11), tak se příliš neliší. Průměrná směrodatná odchylka spočítaná pouze z předních dorazů je dokonce v obou případech menší, než je tomu u předchozího měření. I průměrná hodnota rozdílu stupnic b) a c) je u obou měření o řád přesnější, než je předepsáno na výkrese. Přesun výroby se tedy dá považovat za úspěšný se skoro totožnými výsledky. Dále měření ukázalo, že rozlišení stupnice na středním dorazu není dostatečně přesné (pozice e) – h) pro odečítání natočení a posunutí středního úchyty hydraulického pístu, protože téměř vždy ukazuje nulu. Bylo by tedy vhodné upravit stupnici takovým způsobem, aby se odchylky zvýraznily. Přesto lze přípravek použít pro měření na souřadnicovém měřicím stroji či měřicím ramenu, které po změření os vložených čepů dokážou získat rovnoběžnost osy středních „uch“ a osy zadních úchytných radlice.

## 17 Závěr

Cílem této práce byla rešerše ohledně kontrolních a měřicích přípravků, popsání problematiky výroby radlice rypadla E08 a na jejím základě navrhnout vhodné řešení kontrolního přípravku. Na závěr měl být přípravek použit ke kontrole dílů.

První část práce pojednává o přípravcích, jejich důležitosti a využití. Popisuje, že musí splňovat určité požadavky, aby sloužily svému účelu. Mezi ně patří například snížení nákladů na výrobu, zaručení konzistentnosti a kvality nebo zvýšení produkce. Dále jsou přípravky rozděleny do několika skupin, a to podle univerzálnosti a podle operace použití. Následující kapitoly zmiňují uložení a upnutí, které se na přípravkách nejčastěji používá. Dělí uložení na plošné, soustředné a radiální a na vnější a vnitřní. Také obsahuje rady a pravidla, jak se co nejlépe vyhnout zbytečným chybám. Kapitola o upínání popisuje způsoby upínání, například hydraulické, pneumatické nebo speciální. Mimo jiné tam jsou i popsány různé druhy dorazů a upínek. Tyto dvě strojní součásti se často používají v kombinaci, kdy dorazy přenášejí zatížení spojené s operací použití přípravku a upínky slouží pro rychlé upnutí dílu a zamezení jeho pohybu. Poslední kapitolou před praktickou částí jsou popsány obrázky ukazující příklady měřicích a kontrolních přípravků. Následně je vysvětlený pojem RPS systém a jeho Bobcat varianta, která se liší od toho používaného v automobilovém průmyslu.

Začátek praktické části krátce popisuje historii společnosti Doosan Bobcat EMEA s.r.o. a vznik prvních nakladačů. Poté jsou popsány jednotlivé budovy závodu situované v Dobříšském kampusu. Další kapitola popisuje kompaktní rypadlo E08 a jeho radlici, společně s tím, jak je vyráběná. Dále jsou vyjmenovány problémy s radlicí a její kontrolou. Převážně se jedná o různé druhy zkroucení, které buďto poškozují hydraulický píst stroje nebo nedochází k rovnoměrnému odhrnu půdy.

Na základě předchozích kapitol je nejprve zhotovena specifikace požadavků na navrhovaný přípravek. Mezi nimi je například požadavek na uchycení radlice ve stejném smyslu jako je tomu u stroje, tedy za přesně obráběné otvory, snadno čitelné stupnice pro rychlou kontrolu a možnost kontroly montovatelnosti rozšíření radlice. Následuje popis jednotlivých částí přípravku a průběh konstrukce. Po vysvětlení funkčnosti přípravku jsou podrobně popsány různé polohy, díky nimž lze měřit dodržení

geometrických tolerancí a délkových rozměrů. Pro představu průběhu vzniku přípravku jsou nastíněny i jeho předchozí verze a důvody, proč byly zavrhnuty.

Jeho výroba proběhla v Inovačním centru v areálu Dobříše. Aby byla zajištěna správná funkčnost, byl přípravek několikrát změřen. Nejdříve proběhlo měření svařovaného rámu na fakultě strojní ČVUT v Praze pomocí souřadnicového měřicího stroje Zeiss Prismo a programu Calypso. Všechny měřené charakteristiky byly v mezích, a proto následovala samotná montáž dorazů a úchytnů k rámu přípravku. Při tomto kroku byla odhalena chyba výroby a i měření, která byla hned opravena. Následovalo opětovné měření, tentokrát ovšem kompletního přípravku. Měřeno bylo měřicím ramenem Hexagone CimCore 7530 a to za pomoci programu PC-DMIS. Toto měření se odehrávalo v Dobříši v části výrobní haly určené metrologii. Ne všechny měřené prvky byly v toleranci podle výkresu, ale jak je vysvětleno v kapitole 14, tak i přesto mohl být přípravek použit pro určenou práci.

Dále proběhla zjednodušená R&R studie, která potvrdila vhodnost přípravku ke kontrole radlic. Byla zhotovena z dat získaných třemi operátory měřícími tři radlice a každý rozměr třikrát. Na základě této studie bylo změřeno ještě dalších osm radlic ze staré linky. Výsledky ukázaly, že hodnoty posunutí přední části radlice nesplňují hodnoty předepsané na výkrese, ale průměrná směrodatná odchylka se pohybuje okolo 0,6 mm, takže vhodným upravením stehovacího a svařovacího přípravku radlice by bylo možné dosáhnout ještě lepších výsledků.

Nakonec byly změřeny ještě tři další radlice z Nového závodu a tři ze Starého. Kvůli tomuto testu byl přípravek primárně vyroben, aby se porovnálo, jestli přesun linky nebude mít negativní vliv na přesnost radlice. Průměrné odchylky nepřesahují tři milimetry a průměrné směrodatné odchylky se nachází pod 0,5 mm v případě obou závodů, takže přesun výroby neměl vliv na její kvalitu. Měřicí přípravek je vhodný pro kontrolu radlice, co se týče její přední části (Tabulka 13). Při těchto měřeních se zároveň odečítala hodnota na středním dorazu a bylo zjištěno, že má nedostatečné rozlišení stupnice a na měření rovnoběžnosti osy středních „uch“ se nehodí. Naštěstí je přípravek konstruován, aby mohl být použit i pro měření na souřadnicovém stroji a pro to je stále vhodný. Po sejmutí bodů na vložených čepech uprostřed a vzadu přípravku může totiž software snadno vypsát hodnotu rovnoběžnosti. Kdyby bylo více času, bylo by dobré využít nějakého mechanismu, který by dokázal zvýraznit odchylku kvádrů středního



dorazu. Tím by se dosáhlo zrychlení a zlevnění měření, které by zvládl jeden operátor a nemuselo by se používat drahých souřadnicových strojů. Po konzultaci se zodpovědnými osobami bylo rozhodnuto, že se na přípravku bude měřit vždy první vyrobená radlice ve směně, aby se předešlo celým zmetkovým várkám. Délka měření jedné radlice se odhaduje na 6 minut pro jednoho operátora. Tento čas se ovšem se zaučenou obsluhou ještě sníží.

*Tabulka 13: Porovnání odchylek po měření v Novém a ve Starém závodě*

<b>Porovnání měření Nový a Starý závod (mm)</b>		
<b>Měření</b>	<b>Nový závod</b>	<b>Starý závod</b>
<b>Průměrná odchylka</b>	1,45	1,75
<b>Pr. Směrodatná odchylka</b>	0,48	0,47

Mezi další snadno opravitelné požadavky operátorů, kteří s přípravkem pracovali, bylo například opatření čepů většími náběhy pro lehčí a rychlejší založení radlice, namazání kolíků předních dorazů pro snadnější otáčení do dalších měřicích poloh či vyzvednutí přípravku na jednoduchý stůl pro větší ergonomičnost.

Všechny vytyčené cíle této diplomové práce byly tedy splněny, ale pořád je prostor pro zlepšení. I přes odhalené nedostatky přípravku se začne využívat na nově vzniklé výrobní lince a postupem času dojde k revizím a úpravám, aby dosahoval stoprocentní funkčnosti.

## 18 Seznam zdrojů a použité literatury

- [1] Bobcat. Bobcat Dobříš. [Online] [Citace: 24. únor 2022.] <https://www.bobcatdobris.cz/>.
- [2] Hejhálková, Helena. Stavební technika. Bobcat oslavil 60 let. [Online] 15. listopad 2018. [Citace: 24. únor 2022.] <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/bobcat-oslavil-60-let>.
- [3] Bobcat. Bobcat CZ. [Online] [Citace: 24. únor 2022.] <https://www.bobcat.cz/>.
- [4] Mesing. *Kontrolní přípravky*. [Online] 2017. [Citace: 4. březen 2022.] <https://mesing.cz/?page=kontrolni-pripravky&lang=cz>.
- [5] Carrlane. Locating Clamping Principles. [Online] Carr Lane Manufacturing. [Citace: 4. březen 2022.] <https://www.carrlane.com/engineering-resources/fixture-design-principles/locating-clamping-principles>.
- [6] Zamet. Upínky. [Online] [Citace: 4. březen 2022.] <https://www.zamet.cz/upinky>.
- [7] Lean 6 Sigma. Poka-yoke, vizualizace... [Online] [Citace: 4. březen 2022.] <https://lean6sigma.cz/poka-yoke-vizualizace/>.
- [8] Carrlane. Understanding Jig and Fixture Construction. [Online] [Citace: 6. březen 2022.] <https://www.carrlane.com/engineering-resources/technical-information/design-standards-engineering-information/understanding-jig-fixture-construction>.
- [9] MTM Stal. Ocelové třídy. [Online] [Citace: 17. březen 2022.] <https://www.mtmstal.cz/ocelove-tridy/ocel-s355j2-s355j2n>.
- [10] Pre-Scient. Design principles of Jigs and Fixtures. [Online] [Citace: 03. duben 2022.] <https://pre-scient.com/resources/knowledge-center/jigs-and-fixtures/design-principles-of-jigs-and-fixtures.html>.
- [11] MADDEN, Jeffrey J., et al. Welding fixture with active position adapting functions. Huazhong University of Science and Technology, 2007.
- [12] Enginnering Notes. Locating Devices Used for Jigs and Fixtures. [Online] [Citace: 03. duben 2022.] <https://www.engineeringenotes.com/industrial-engineering/machine-tools/locating-devices-used-for-jigs-and-fixtures-machine-tools-engineering/23213>.

- [13] Edward, Hoffman G. Jig and Fixture Design. Delmar : Cengage Learning, 2004. ISBN-13: 978-1-4018-1107-5.
- [14] Dušák, K. Obráběcí přípravky. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-260-9.
- [15] Zemčík, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [16] Řasa, Jaroslav, Václav Haněk a Jindřich Kafka. Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel, zásady montáže. Praha: Scientia, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
- [17] Vakuová upínací technika. Naros spol s.r.o. [online]. 2009 [Citace: 09. duben 2022.]. Dostupné z: [http://www.naros.cz/katalog/Prospekt\\_Vakuum\\_CZ.pdf](http://www.naros.cz/katalog/Prospekt_Vakuum_CZ.pdf)
- [18] Číselníkové úchylkoměry: Číselníkové úchylkoměry dle DIN. Unimetra [online]. [Citace: 09. duben 2022.]. Dostupné z: [http://www.unimetra.cz/soubory\\_zbozi/41\\_2.pdf](http://www.unimetra.cz/soubory_zbozi/41_2.pdf)
- [19] CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. Přípravky. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988. 04-240-88
- [20] FRANK, Augustin a kolektiv. Strojírenská Technologie 4: výrobní pomůcky. 1. vyd. Praha: SNTL, 1978, 352 s. 04-224-78
- [21] Unimetra. Měřicí přípravky. [Online] [Citace: 24. duben 2022.] <http://www.unimetra.cz/cz/katalog/vyrobky-unimetra/merici-pripravky/>
- [22] PRAKASH, Joshi. Jigs and Fixtures Design Manual. 2nd Edition. New York City: McGraw-Hill Professional, 2002. ISBN 978-0071405560.
- [23] Direct Industry. Hydraulic clamping system. [Online] [Citace: 15. duben 2022.] <https://www.directindustry.com/prod/ortlieb-precision/product-84503-2182637.html>.
- [24] Mark Forged. Pneumatic Clamping System. [Online] [Citace: 15. duben 2022.] <https://markforged.com/additive-manufacturing-movement/aarm-pneumatic-clamping-system>.
- [25] Měřicí přístroje. TETRAFIX. [Online] [Citace: 22. duben 2022.] <https://www.merici-pristroje.cz/tetrafix-upinaci-pripravky/>.
- [26] Technické parametry. Renishaw. [Online] [Citace: 22. duben 2022.] <https://www.renishaw.cz/cs/upinaci-stavebnice-pro-equator--20858>.

- [27] Design Weld. Kontrolní přípravky rozměrové. [Online] [Citace: 23. duben 2022.] <http://www.designweld.cz>.
- [28] VOLKSWAGEN AG. VW 01055:2017 - Reference Point System (RPS). [Interní norma]. 2017.
- [29] VOLKSWAGEN AG. VW 01052:2010 - Zeichnungen, Darstellungen. [Interní norma]. 2010.
- [30] Interní Bobcat standardy
- [31] Boukal. Kalibry, měrky, drátky, šablony. [Online] [Citace: 24. duben 2022.] [https://www.boukal.cz/sparove-merky-20-dilne-0-05-1-0-mm-100-mm/2943/produkt?gclid=Cj0KCQjw6pOTBhCTARIsAHF23fKqs4P3Phl2o7MEqizSCxyVwyGij0bphgyD\\_tPVJ1TejtnIOjXmPgaAksHEALw\\_wcB](https://www.boukal.cz/sparove-merky-20-dilne-0-05-1-0-mm-100-mm/2943/produkt?gclid=Cj0KCQjw6pOTBhCTARIsAHF23fKqs4P3Phl2o7MEqizSCxyVwyGij0bphgyD_tPVJ1TejtnIOjXmPgaAksHEALw_wcB).
- [32] Mea Systems. Kontrolní přípravky. [Online] [Citace: 24. duben 2022.] <https://www.measystems.cz/kontrolni-pripravky/>.
- [33] SVSSRO. CimCore Arm Brochure. [Online] [Citace: 06. květen 2022.] [https://www.svssro.cz/wp-content/uploads/2015/04/CimCore-Arm-brochure\\_EN.pdf](https://www.svssro.cz/wp-content/uploads/2015/04/CimCore-Arm-brochure_EN.pdf).
- [34] Retecon. Hexagon Absolute Arm. [Online] [Citace: 06. květen 2022.] [https://www.retecon.co.za/wp-content/uploads/2018/03/Hexagon\\_MI\\_ROMER\\_Absolute\\_Arm\\_Brochure\\_A4\\_EN-2.pdf](https://www.retecon.co.za/wp-content/uploads/2018/03/Hexagon_MI_ROMER_Absolute_Arm_Brochure_A4_EN-2.pdf).
- [35] Minitab Support. What is a gage repeatability and reproducibility (R&R) study? [Online] [Citace: 07. květen 2022.] <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/what-is-a-gage-r-r-study/>.
- [36] Indiamart. Clamping Fixture. [Online] [Citace: 15. duben 2022.] <https://www.indiamart.com/proddetail/clamping-fixture-20179845088.html>.
- [37] Zeiss. [Online] [Citace: 09. červen 2022.] [https://www.zeiss.de/messtechnik/produkte/systeme/koordinatenmessgeraete/portalmessgeraete/prismo.html?gclid=CjwKCAjwIaVBhBkEiwAsr7-czOUfA5fYro1YiFmRchg3AZ47CzQZdhZeLy0p\\_VppBl1a\\_CtqjR9WhoCrIlgQAvD\\_BwE#brochuredownload](https://www.zeiss.de/messtechnik/produkte/systeme/koordinatenmessgeraete/portalmessgeraete/prismo.html?gclid=CjwKCAjwIaVBhBkEiwAsr7-czOUfA5fYro1YiFmRchg3AZ47CzQZdhZeLy0p_VppBl1a_CtqjR9WhoCrIlgQAvD_BwE#brochuredownload).

## 19 Seznam obrázků, tabulek a rovnic

Obrázek 1: Jednoúčelový přípravek [36] .....	11
Obrázek 2: Příklady modulárního upínání systému pomocných desek [13] .....	13
Obrázek 3: Modulární systém pomocí kolíků [13] .....	14
Obrázek 4: Přípravek TETRAFIX [25] .....	15
Obrázek 5: Magnetický přípravek Renishaw [26] .....	15
Obrázek 6: Kontrolní přípravek pro kontrolu tolerance tvaru a polohy. [4].....	17
Obrázek 7: Opěrná lišta (vlevo) [16], prizmatický doraz (vpravo) [16].....	19
Obrázek 8: Různé druhy upínek [5] .....	19
Obrázek 9: Různé způsoby uložení [5] .....	20
Obrázek 10: Příklady vnějšího uložení [5] .....	21
Obrázek 11: Příklad vnitřního uložení [5] .....	22
Obrázek 12: Jak ovlivňuje pozice dorazů přesnost uložení dílu [5] .....	23
Obrázek 13: Příklad řešení poka-yoke [7] .....	24
Obrázek 14: Hydraulický systém upínání [23] .....	27
Obrázek 15: Pneumatický systém upínání [24] .....	28
Obrázek 16: Podtlakové upínání [17] .....	29
Obrázek 17: Válečkový kalibr [16].....	30
Obrázek 18: Listové spárové měrky [31].....	31
Obrázek 19: Číselníkový úchylkoměr [16].....	32
Obrázek 20: Příklad použití číselníkového úchylkoměru v přípravku [27].....	32
Obrázek 21: Pneumatické měřidlo .....	33
Obrázek 22: Měření vnitřní výšky svaru [21].....	34
Obrázek 23: Odměřování délek hřídelů pomocí snímače a digitální odměřovací jednotky [21].....	34
Obrázek 24: Kontrola tvaru, polohy a rozměru pro automotive díly [32] .....	34
Obrázek 25: Globální souřadnicový systém automobilu [28] .....	35
Obrázek 26: Příklad použití 3-2-1 pravidla [28].....	36
Obrázek 27: RPS značení [28] .....	37
Obrázek 28: Příklad označení měřených plochy pomocí geometrických tolerancí [30].....	39
Obrázek 29: Nakladač M200 (vlevo), smykem řízený nakladač M400 (vpravo) [2] .....	40

Obrázek 30: Aktuální Bobcat sortiment – rypadlo E85 (vlevo), smykem řízený nakladač S550 (vpravo) [3].....	41
Obrázek 31: Kompaktní rypadlo E08 [3].....	43
Obrázek 32: Radlice rypadla E08 .....	43
Obrázek 33: Přípravek pro stehování radlice Caira .....	44
Obrázek 34: Schéma nové výrobní haly ve Starém závodě.....	45
Obrázek 35: Rám přípravku .....	47
Obrázek 36: Řešení vyrovnávacích otvorů .....	47
Obrázek 37: Zadní úchyt.....	48
Obrázek 38: Střední doraz (vlevo), kvádr pro střední doraz (vpravo) .....	49
Obrázek 39: Způsob zjišťování odchylek radlice pomocí středního dorazu.....	50
Obrázek 40: Přední doraz (vlevo), distanční výpalek (vpravo) .....	51
Obrázek 41: Hotový návrh přípravku .....	52
Obrázek 42: Hotový návrh přípravku ve třech polohách. Poloha: a) simulace usazení radlice ve stroji, b) simulace dosednutí radlice na zem, c) testování prodloužení radlice, d) poloha při převozu .....	53
Obrázek 43: První návrh středního dorazu .....	54
Obrázek 44: Druhá varianta středního dorazu .....	55
Obrázek 45: První návrh předního dorazu .....	56
Obrázek 46: Druhá varianta předního dorazu .....	57
Obrázek 47: Hotový přípravek bez založené radlice .....	58
Obrázek 48: Hotový přípravek se založenou radlicí.....	59
Obrázek 49: Pohled na střední doraz (vlevo), pohled na přední doraz (vpravo) .....	59
Obrázek 50: Souřadnicový měřicí stroj Zeiss Prismo [37].....	60
Obrázek 51: Rám 20-256 se zobrazeným vyrovnáním a bezpečnostní kvádr ....	61
Obrázek 52: Měření elementu D1 (vlevo), vyhodnocení elementu (uprostřed), strategie měření (vpravo) .....	62
Obrázek 53: Strategie měření elementu Rovina2 (vlevo), vyhodnocení elementu (vpravo).....	62
Obrázek 54: Grafický element s charakteristikou rovinnosti a zobrazením měřených polylinií .....	63
Obrázek 55: Měřicí rameno Hexagon CimCore 7530 [34].....	65
Obrázek 56: Připravený plán měření se všemi měřenými body .....	66

Obrázek 57: Vytvoření válce pro odečtení hodnoty tolerance pozice osy zadních úchytů.....	66
Obrázek 58: Přípravek společně s ramenem připraven na měření.....	67
Obrázek 59: Příklad měření jednoho z dorazů.....	68
Obrázek 60: Měření vyrovnávacích bodů (vlevo), měření kritických rozměrů (vpravo).....	69
Obrázek 61: Příklad vypsání výsledků vyrovnávacích bodů přímo v modelu ...	69
Obrázek 62: Validace přípravku 20-256.....	75
Tabulka 1: Značení měřeného RPS bodu [28] .....	37
Tabulka 2: Značení měřených prvků [30].....	38
Tabulka 3: Příklad označení souřadnic vyrovnávacích bodů [30].....	38
Tabulka 4: Příklad označení měřených bodů [30] .....	39
Tabulka 5: Technické údaje rypadla E08 [3] .....	42
Tabulka 6: Parametry CMM Zeiss Prismo [37].....	60
Tabulka 7: Vlastnosti ramene 7530 [33].....	64
Tabulka 8: Výsledky měření vyrovnávacích bodů .....	70
Tabulka 9: Výsledky měření os kružnic zadních dorazů .....	72
Tabulka 10: Výsledky R&R studie pro přípravek 20-256 .....	74
Tabulka 11: Hodnoty posunutí předních částí osmi radlic .....	76
Tabulka 12: Porovnání přesnosti radlic v Novém a Starém závodě .....	78
Tabulka 13: Porovnání odchylek po měření v Novém a ve Starém závodě .....	81
Rovnice 1: Výpočet aritmetického průměru .....	78
Rovnice 2: Výpočet směrodatné odchylky .....	78
Rovnice 3: Hodnota natočení přední části radlice vůči zadním úchytům .....	78



## 20 Seznam příloh

Příloha 1: Výkresová dokumentace přípravku 20-256

Příloha 2: Standartní protokol prvního měření

Příloha 3: Protokol druhého měření