



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

## FAKULTA STROJNÍ



Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh části jednoúčelového stroje k testování výrobků pro měření  
teploty**

**Design Part Of Dedicated Machine Designed To Test Products For  
Temperature Measurement**

Diplomová práce

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Jiří Mrázek, Ph.D.

**Bc. Pavel Pscheidt**

---

**Praha 2015**



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem Diplomovou prací s názvem: Návrh části jednoúčelového stroje k testování výrobku pro měření teploty vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Mrázka, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze

Bc. Pavel Pscheidt



## Poděkování

Děkuji panu Ing. Jiřímu Mrázkovi, Ph.D., který mou práci vedl, panu Ing. Martinu Štursovi, který vedl projekt, v rámci kterého byla tato diplomová práce vypracována. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Chárovi za mnoho cenných konstrukčních rad a v neposlední řadě panu Ing. Jaromíru Hvíždalovi, který mi umožnil se učit a prosadit se ve strojní konstrukci firmy JHV Engineering s.r.o.



## Anotační list

Jméno autora: **Bc. Pavel Pscheidt**

Název DP: Návrh části jednoúčelového stroje k testování výrobků pro měření teploty

Anglický název: Design part of dedicated machine designed to test products for temperature measurement

Rok: 2014/2015

Obor studia: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika  
Ústav: Ústav konstruování a částí strojů

Vedoucí BP: Ing. Jiří Mrázek, Ph.D.

Konzultanti: Ing. Jan Chára, Ing. Martin Štursa

Bibliografické údaje: počet stran: 98  
počet obrázků: 79  
počet tabulek: 3  
počet příloh: 4

Klíčová slova: jednoúčelový stroj, transportní systém, manipulace, testování

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem části jednoúčelového stroje k testování výrobku pro měření teploty, transportem výrobku, konceptem testovací linky a konstrukcí vybraných částí linky.

Keywords: describes machine, transfer system, manipulation, testing

Annotation:

This thesis describes the design of a single-purpose machine for testing of products for temperature identified, transporting of the product, concept testing lines and design of selected parts of the line.



## Obsah

1 ÚVOD.....	8
2 Pásové dopravníky.....	9
2.1 Hlavní části pásových dopravníků.....	9
2.1.1 Tažné elementy dopravníků.....	10
2.1.2 Přejezdy, příčné dopravníky a zatáčky.....	11
2.1.3 Příslušenství dopravníků.....	15
2.2 Hlavní dodavatelé.....	18
3. Specifikace výrobku a požadavky na výrobní linku.....	19
3.1 Popis výrobku.....	19
3.2 Požadavky na provoz zařízení.....	20
3.3 Popis výrobního procesu.....	20
4 Procesní tok a layout pracoviště.....	22
4.1 Koncept jednoúčelového stroje.....	22
4.1.1 Otočný karusel.....	23
4.1.2 Koncept s paletkami.....	24
5.2 Layout testovací linky.....	26
5.3 Manipulace mezi dopravníky.....	27
5.3.1 Tři dvouosé manipulátory.....	28
5.3.2 Tříosý manipulátor.....	29
5.3.3 Tříosý robot SCARA.....	30
5.4 Výběr použité varianty manipulace.....	31
6 Definice paletky a její transport po lince.....	32
6.1 Paletka.....	32
6.1.1 Paletka verze 1.....	33
6.1.2 Paletka VERZE 2.....	35



6.1.3 Paletka VERZE 3 .....	37
6.2 Dopravníky .....	39
6.2.1. Podklady pro dodání dopravníků .....	39
6.2.2 Uložení dopravníků .....	42
6.2.3 Příslušenství dopravníků .....	43
6.3 Manipulátor .....	44
6.3.1 Požadavky manipulátoru .....	45
6.3.2 Konstrukce hlavy manipulátoru .....	46
6.3.3 Pevnostní výpočet hlavy manipulátoru .....	48
6.3.4 Výpočet tolerancí .....	62
6.3 Popis krytování – bezpečnost obsluhy .....	71
7 Popis jednotlivých stanic testovací linky .....	74
7.1 Stanice založení .....	74
7.1.1 Přízdvih pro ukotvení paletky .....	75
7.1.2 Poloha a logika laserových čidel určujících správné založení .....	77
7.1.3 Poloha ovládacích částí a signalizace .....	79
7.2 Testovací stanice .....	80
7.2.1 Uložení paletky ve stanici testování .....	81
7.2.2 Konstrukce lázní ohřevu .....	81
7.2.3 Konstrukce kontaktování .....	83
7.3 Chladicí stanice .....	84
7.3.1 Uložení paletky ve stanici chlazení .....	85
7.3.2 Konstrukce lázní chlazení .....	85
7.4 Stanice vykládání .....	87
7.4.1 Popis odebírací pozice .....	88
7.4.2 NOK skluz a NOK box .....	88



---

8 Zhodnocení konstrukce stroje .....	90
8.1 Paletka .....	90
8.2 Manipulátor .....	90
8.3 Stanice testování.....	91
8.3 NOK box.....	91
9 Závěr .....	92
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ: .....	93
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ: .....	94
SEZNAM OBRÁZKŮ: .....	95
SEZNAM TABULEK: .....	97
SEZNAM PŘÍLOH: .....	98



## 1 ÚVOD

V dnešní době je automatizace nedílnou součástí průmyslu a její začlenění se čím dál tím více rozšiřuje do velkého rozsahu provozů. Hlavním účelem automatizace je ulehčit člověku práci, nebo ho dokonce úplně nahradit. To má za následek zefektivnění a zlevnění výroby, zvýšení produkce a snížení počtu špatně vyrobených kusů. Proto jsou vyráběny automatické a poloautomatické linky např. pro potravinářský průmysl, automobilový průmysl, elektrotechnický průmysl a mnoho dalších. Nedílnou součástí těchto linek jsou např. transportní systémy (dopravníky), manipulační systémy (manipulátory a roboty) a podavače. Pro zajištění pohybů v automatizaci se používají elektrické, pneumatické a hydraulické pohony. Všechny tyto systémy jsou dnes již běžně řízeny pomocí průmyslových počítačů (PLC).

Tato diplomová práce byla vypracována pro firmu JHV Engineering s.r.o. Tato společnost se zabývá výrobou jednoúčelových strojů již od roku 1999 a mezi její přední klienty patří velké firmy jako například Siemens, ŠKODA AUTO, ABB, DENSO, DOOSAN a mnoho dalších.

Cílem této práce je koncepční návrh testovací linky, návrh transportu výrobku po lince a detailní konstrukce vybraných stanic. Testovací linka má kontrolovat správnost údajů vyhodnocených testováním. Vstupem do testovací linky je již hotový výrobek určený pro měření teploty. Tento výrobek musí být přepraven do pozice pro testování, kde je nahřát na požadovanou teplotu. Po nahřátí je výrobek spojen s vyhodnocovací aparaturou, která označí výrobek jako vyhovující či nevyhovující. Dále musí být výrobek očištěn a ochlazen. Technologický proces dále pokračuje značením plastové krabičky, která je součástí výrobku, a kontrolou vyznačených informací. Tyto poslední dvě operace jsou nad rámec této práce a jsou zde uvedeny pro úplnost.



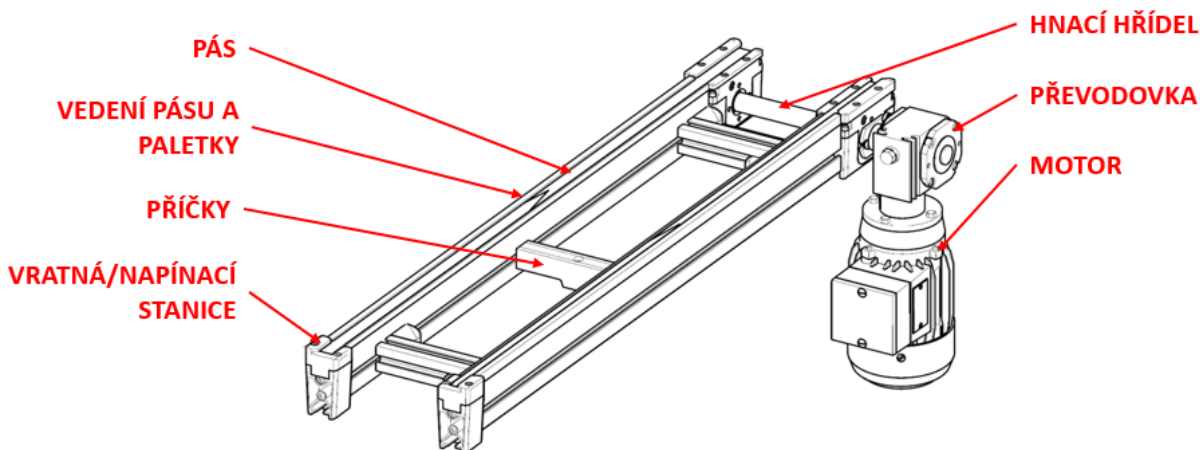
## 2 Pásové dopravníky

V této kapitole je popsána problematika pásových dopravníků pro transport paletek. Jsou zde popsány jednotlivé části těchto dopravníků a hlavní dodavatelé působící na českém trhu.

### 2.1 Hlavní části pásových dopravníků

Hlavní částí dopravníku je pás (tažný element), který zajišťuje pohyb paletky. Pás je veden většinou v plastovém vedení, které zamezuje pohybu pásu mimo požadovanou trajektorii. Z vnější strany je vedení osazené nad pás. Díky tomuto osazení drží paleta správný směr. O pohon se většinou stará asynchronní elektromotor se šnekovou převodovkou. Točivý moment je dále přenášen hnací hřídelí na hnací kola. Přenos točivého momentu na pás může být přenášen pomocí tření nebo ozubených kol.

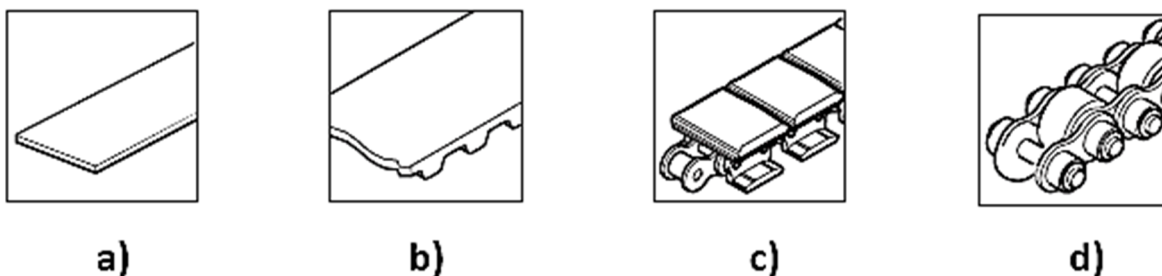
Poloha motoru s převodovkou může být různá, např. mezi pásy. Elektromotor se navrhuje podle délky dopravníku a jeho zátěže. Volbou převodu šnekové převodovky se určuje rychlost dopravníku. Tu je možné také řídit pomocí frekvenčního měniče, což jsou ovšem další náklady navíc.



Obrázek 1: Pásový dopravník [6]

### 2.1.1 Tažné elementy dopravníků

Tažný element je nejdůležitější částí těchto dopravníků, zajišťuje pohyb paletky po dopravníku. Tažné elementy se vyrábějí z různých materiálů a o různých konstrukcích. Důležité při volbě tažného elementu (v praxi se jedná o vhodné zvolení typu dopravníku) je, aby zajišťoval dostatečné tření pro přenesení požadovaných sil mezi paletkou a pásem. Dalším důležitým faktorem je životnost pásu, protože často dochází k prokluzu pásu pod paletkou na stoperech. Pásky mohou být též v ESD provedení (antistatické).

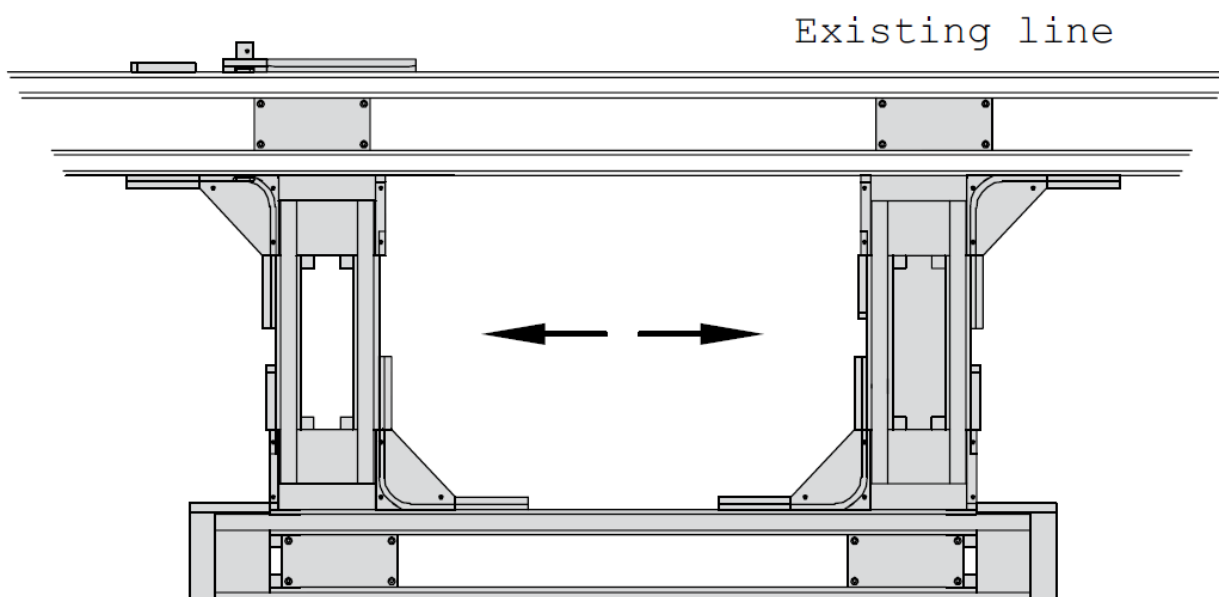


Obrázek 2: Druhy tažných elementů [4]

Jak je vidět na obrázku 2 a) a b), tak se vyrábějí ploché pásky nebo pásky s ozubeným profilem na jedné straně. Většinou se jedná o textilní pásky s povrchovou úpravou (pro zlepšení tření). Článkové řetězy (obrázek 2 c)) se skládají z tažného řetězu, na kterém jsou umístěny plastové segmenty. Tyto řetězy je možné používat i do zatáček. V tomto případě použití je ale nutný kvalitní pravidelný servis, protože může dojít k zadření pásu v zatáčce. Poslední typ řetězu je na obrázku 2 d), jedná se o kladkový řetěz. Skládá se z větších a menších kladek. Větší kladky přicházejí do kontaktu pouze s paletkou. Menší kladky po stranách se pohybují ve vedení a přenášejí normálovou sílu od paletky na dopravník. Mezi kladky je u některých výrobců možné dokoupit plastové kryty. Ty zamezují padání nečistot do řetězu a vodicích drážek, předchází se tak možnému zadření nebo zvýšenému opotřebení. Tyto řetězy se vyznačují dlouhou životností a nízkým opotřebením palet (dochází k protáčení kladek pod paletou). Dále je také možné článkové a kloubové řetězy použít na vysoké zatížení.

## 2.1.2 Přejezdy, příčné dopravníky a zatáčky

Ve výrobním procesu je občas nutné transportovat paletu mezi různými větvemi dopravníků, nebo do slepých větví (např. ruční pracoviště podél výrobní linky). To umožňují přejezdy a příčné dopravníky (obrázek 3). Pro uzavření okruhu dopravníků je také možné použít zatáčky. Ty jsou ale často omezeny minimálním poloměrem, jsou náročnější na údržbu a je možné je použít pro menší zatížení. Při volbě mezi zatáčkami a přejezdy je nutné myslet na orientaci palety.



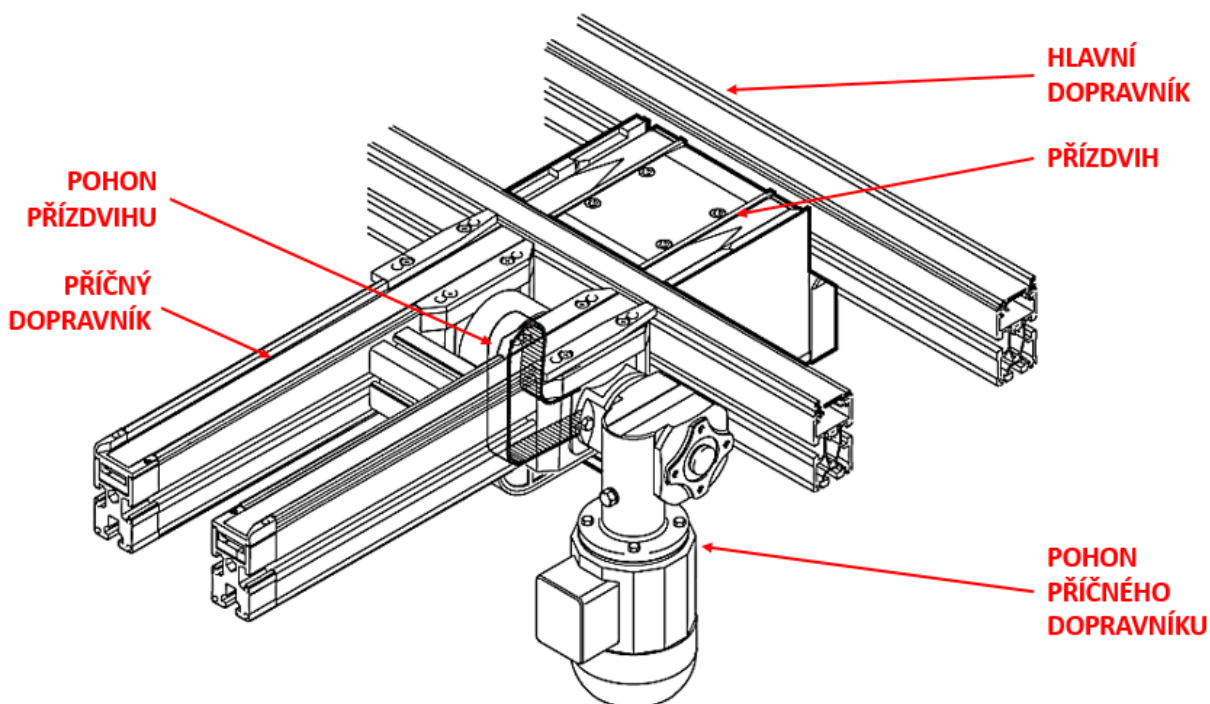
Obrázek 3: Vedlejší větev dopravníku [5]

### 2.1.2.1 Přejezdy a příčné dopravníky

Při použití přízdvihu paletka nemění orientaci. Přízdvih většinou bývá třípolohový. Základní poloha je ve stejné rovině jako hlavní dopravník (pás přízdvihu je lehce pod pásem dopravníku, aby bylo možné hladké najetí palety na přízdvih). Druhá poloha je zvednutý přízdvih, umožňující přejezd. Poslední třetí poloha je když přízdvih zajede pod úroveň hlavního dopravníku. To umožňuje průjezd palety. Na jedné straně přízdvihu se nachází osazení nad výšku pásu hlavního dopravníku, to slouží jako stoper pro zastavení palety na přízdvihu.

Celý přejezd tedy probíhá následovně. Přízdvih je v základní poloze. Paleta přijíždí po hlavním dopravníku a zastaví se na osazení na přízdvihu. V tuto chvíli se přízdvih zvedne nad úroveň bočního vedení hlavního dopravníku. Nyní paleta odjíždí

na příčný dopravník, který je ve stejné výšce jako zvednutý přízdvih. Dopravník na přízdvihu většinou má společný pohon s příčným dopravníkem (obrázek 4).

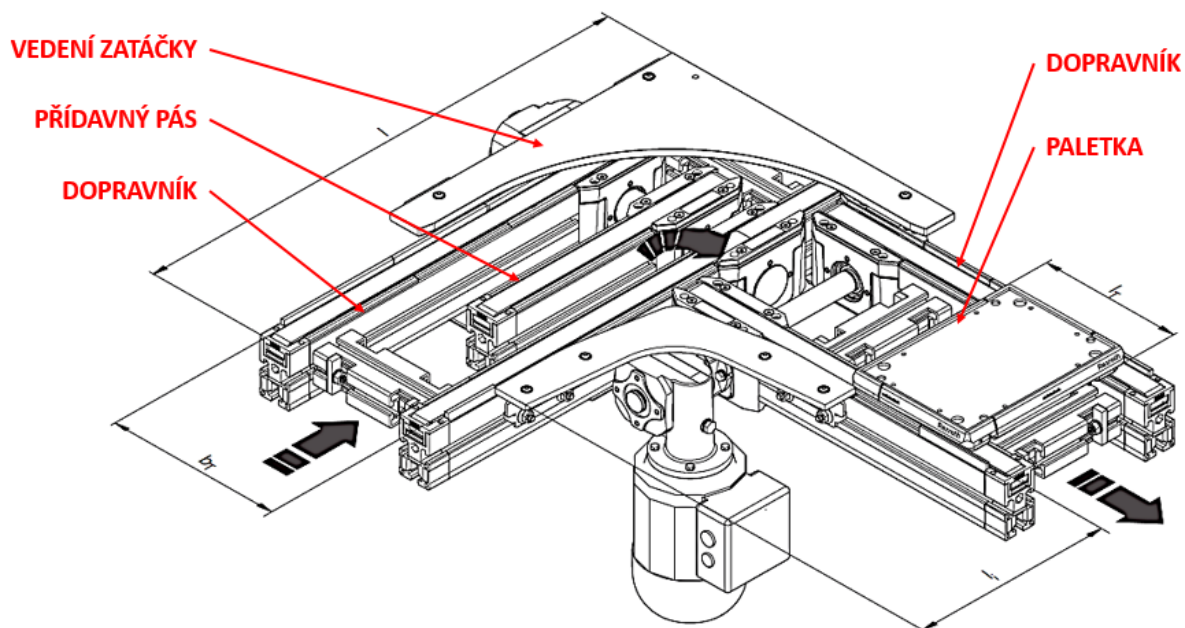


Obrázek 4: Přízdvih a příčný dopravník [6]

#### 2.1.2.2 Zatáčky Dopravníků

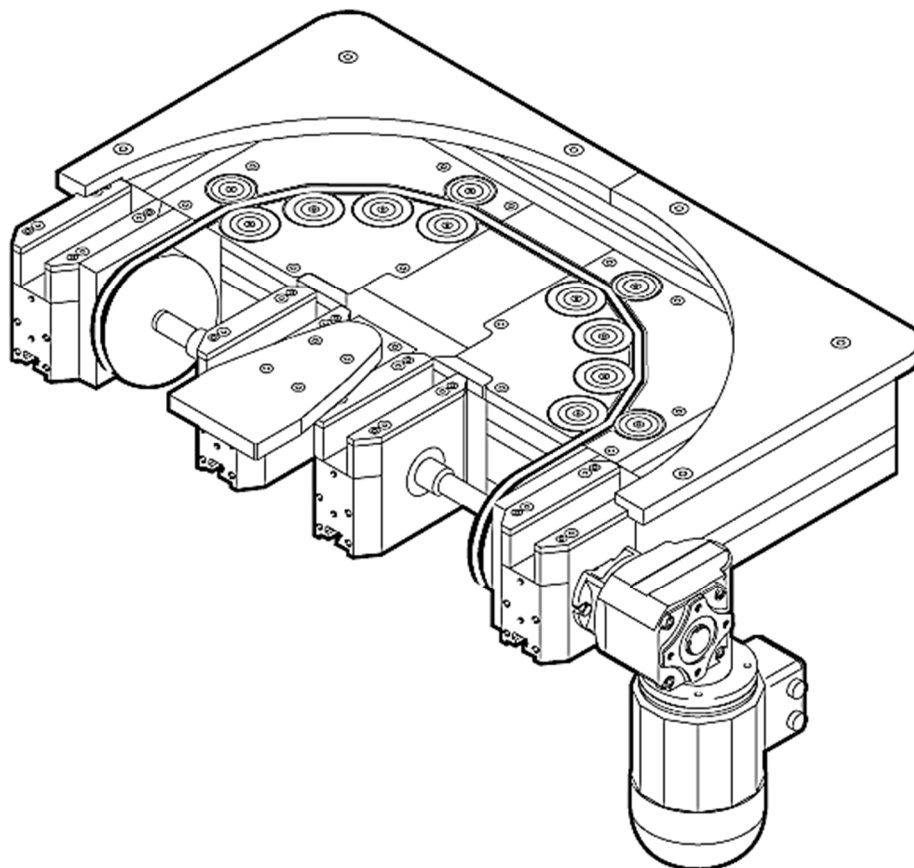
Při použití zatáček dochází k pootočení paletky o úhel zatáčky. V zatáčkách je možné použít stejný tažný prvek jako na dopravníku, jiný tažný prvek nebo žádný tažný prvek. Volba zatáček se odvíjí od úhlu zatočení a typu hlavního dopravníku.

Na obrázku 5 je zatáčka s bočním vedením. U této konstrukce je použit přídatný pás u prvního dopravníku pro zajištění dostatečné třecí plochy mezi dopravníkem a paletkou. Tuto zatáčku je vhodné použít pro zatáčky o úhlu 90°. Hlavní výhodou je, že nemusí být použit další přídatný pohon.



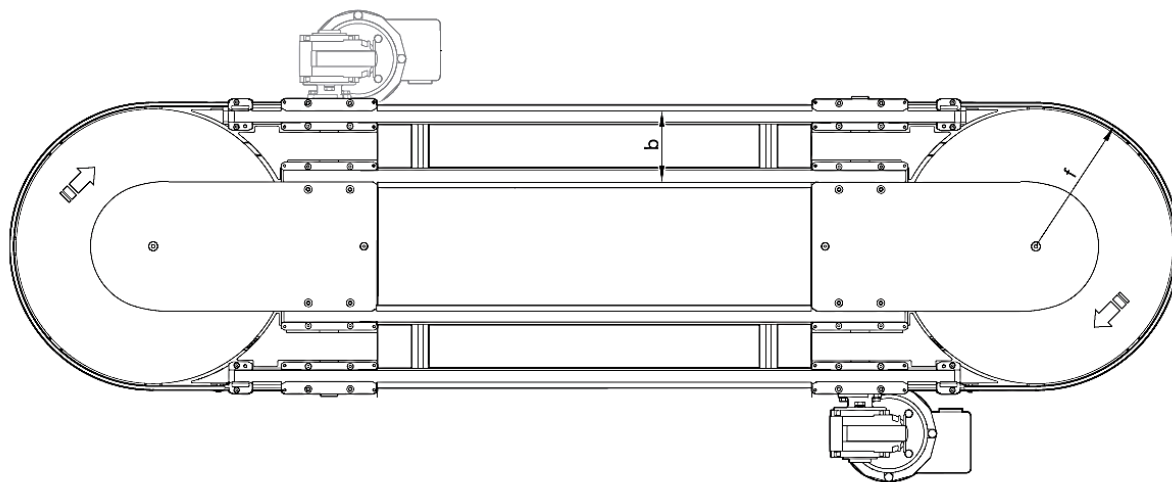
Obrázek 5: Zatáčka s bočním vedením [6]

Další zatáčka má jako tažný element gumový pás kruhového průřezu (obrázek 6). Pás je veden mezi kladkami a má vlastní pohon. Opět zde je použito boční vedení pro nasměrování paletky. Nevýhodou této konstrukce je vyšší cena, kvůli vlastnímu pohonu (u 90° aplikace je možné využít pohonu dopravníků). Hlavními výhodou je možnost použití úhlu zatočení 90° i 180°.



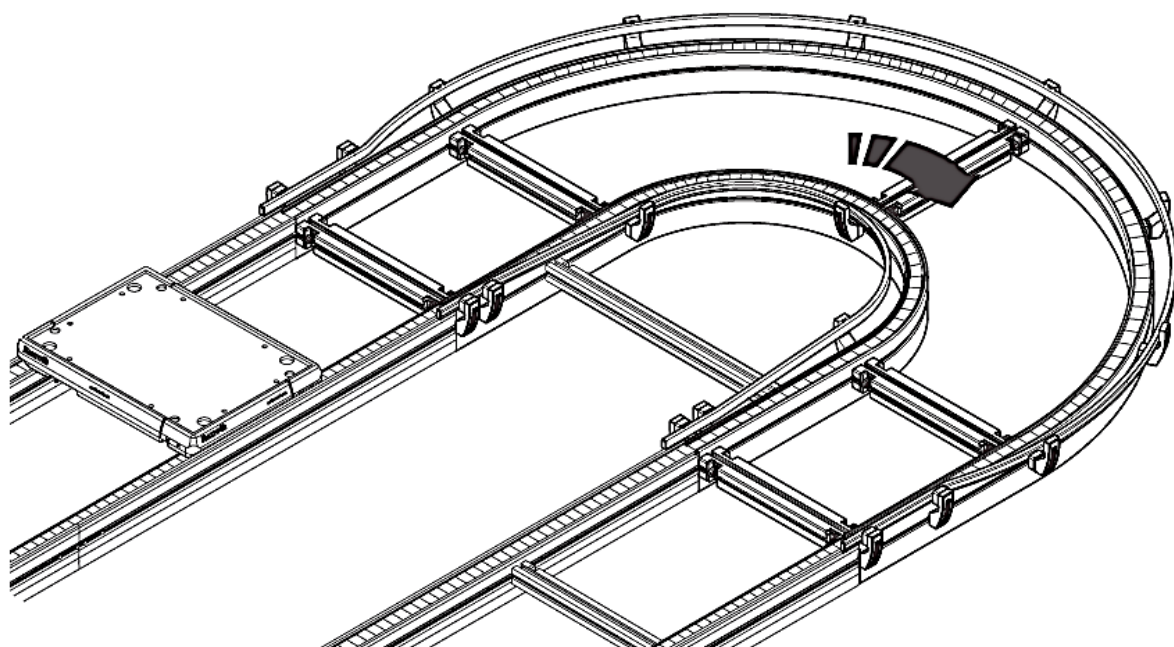
Obrázek 6: Zatáčka s bočním vedením a tažným elementem [6]

Další verze zatáček je s otočnou deskou (Obrázek 7). Tato aplikace je vhodná spíše pro menší zatížení. Tyto zatáčky musejí mít vlastní pohon.



Obrázek 7: Zatačky s otočnou deskou [6]

Posledním z hlavních typů zatáček je, když článkový řetěz je veden v skruženém profilu. U tohoto typu je možné vyšší zatížení než u předchozích typů. Nicméně nevýhodou je nutnost pravidelného a bezchybného mazání řetězu a řetězové dráhy. Mazání lze řešit pomocí automatických mazacích jednotek, které dodávají v pravidelných intervalech požadované množství maziva. V případě nedodržení správné údržby může dojít k zadření řetězu v profil. Hlavní nevýhodou zatáček je, že většina z nich má menší zatížitelnost než rovná sekce a většinou neumožňují akumulární provoz. Palety nemohou stát v řadě na stoperu v prokluzu v zatáčce. Dalšími nevýhodami jsou: vysoká cena a rozměrové omezení.



Obrázek 8: Zatáčka v dopravníku [4]

### 2.1.3 Příslušenství dopravníků

K pásovým dopravníkům je dodáváno velké množství příslušenství. K základním patří prvky k zastavení na požadované poloze (stopery), ustavení v přesné poloze (přízdvihy) a otočení paletky (točny).

### 2.1.3.1 Stoper

Stoper slouží k zastavení paletky na požadované pozici. Mohou sloužit např. jako buffer, odebírací pozice nebo zastavení na pracovišti (většinou je vhodné použít aretaci z druhé strany paletky, nebo rovnou použít přízdvih). Stoper je většinou ovládán pneumaticky a většinou je jejich součástí senzor. Senzor poskytuje informaci o pozici stoperu. Stoper je možné použít jednotlivě nebo i v páru (pro větší palety). Některé firmy dodávají i stopery s integrovaným tlumičem. Ty je vhodné použít především pro vyšší transportní rychlosti a vyšší hmotnosti palet.

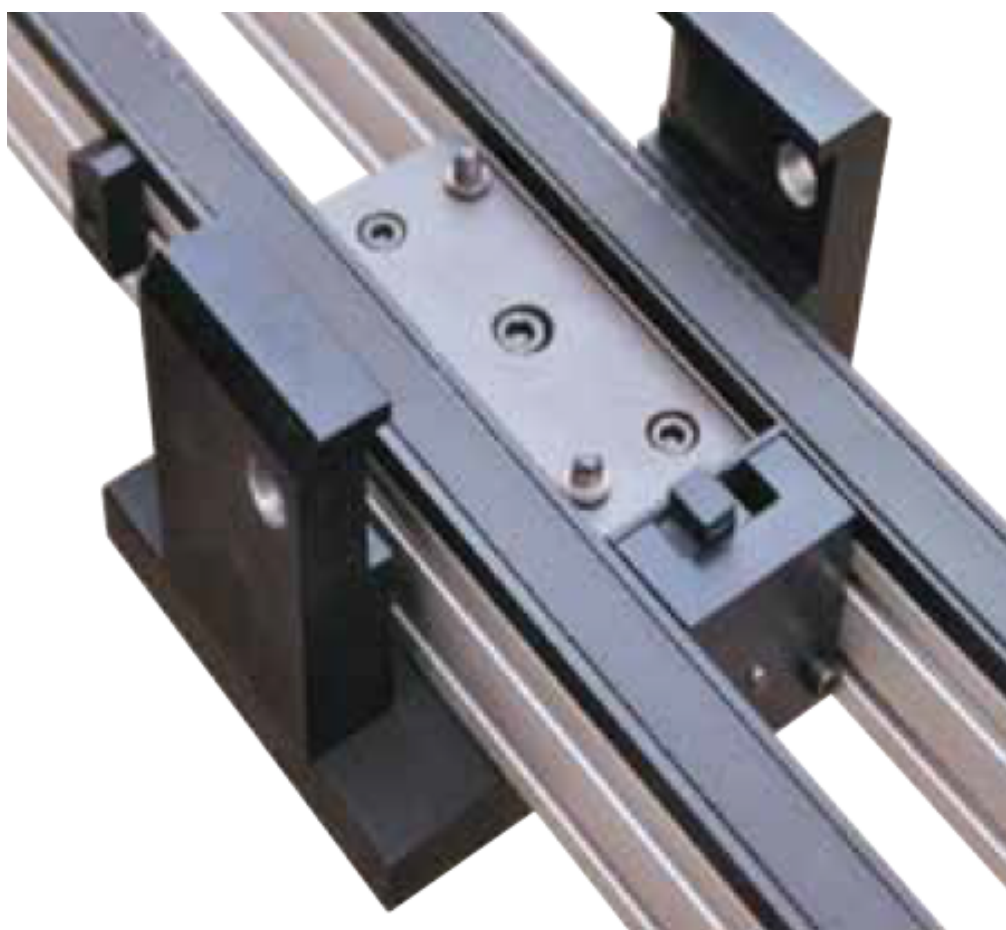


Obrázek 9: Stoper



### 2.1.3.2 Přízdvihy

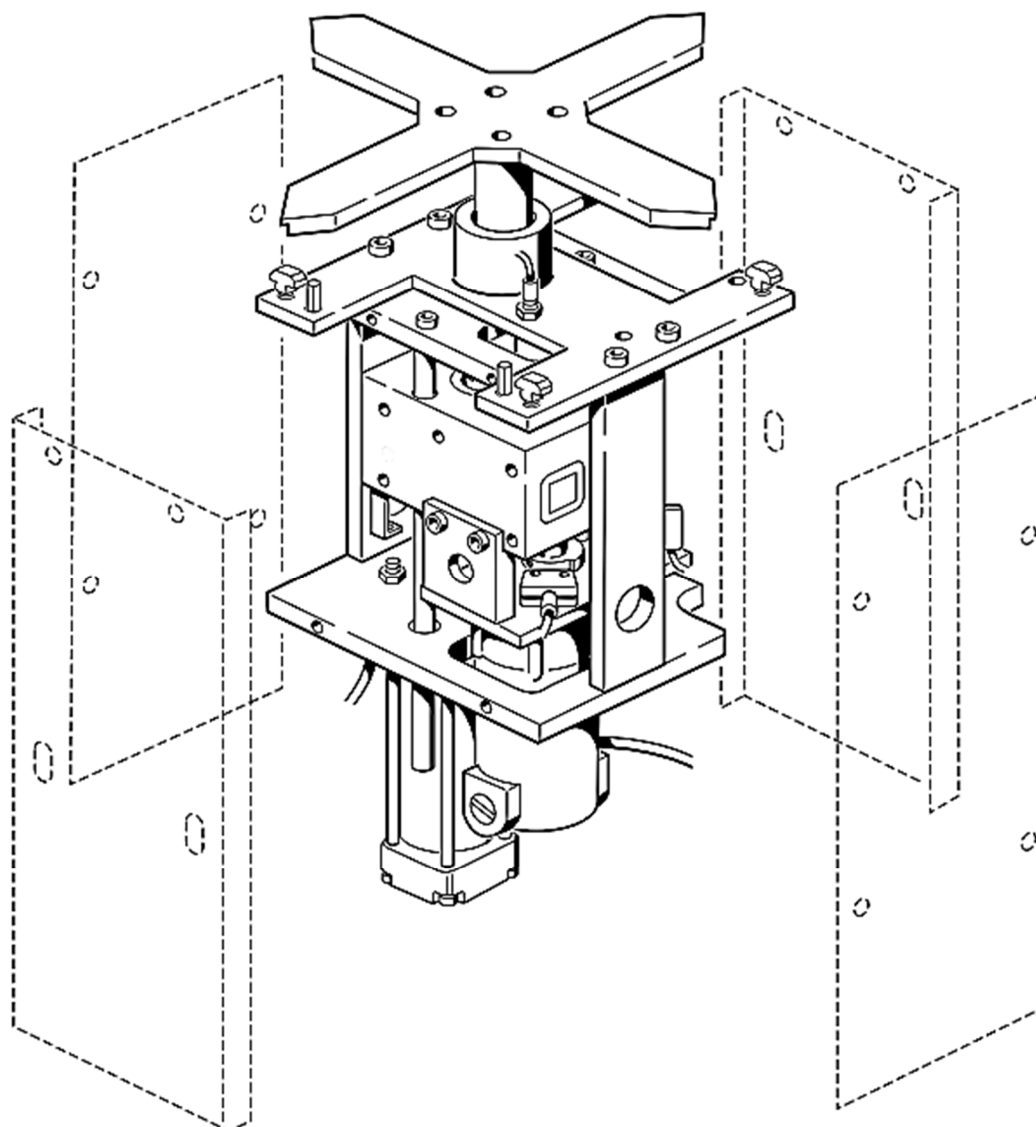
Přízdvihy slouží k přesnému a pevnému ustavení paletky. Paletka se zastaví na stoperu a následně přízdvih paletku zvedne nad úroveň pásu. Některé přízdvihy mohou být vybaveny vrchním dorazem (obrázek 10), proti kterému je paletka přitlačována. Přízdvihy se často používají např. na ručních a automatizovaných pracovištích (zabránění pohybu paletky, podpěra) nebo na kontrolních stanovištích, kde je nutná přesná poloha paletky.



Obrázek 10: Přízdvih [5]

### 2.1.3.3 Točny

Před některými stanicemi je nutné otočit paletkou. K tomu je vhodné požit otočné přízdvihy. Paletka najede na stoper, dále je vyzvednuta nad úroveň dopravníku a je otočena o požadovaný úhel (90° nebo 180°). O zdvih se stará pneumatický válec a o rotaci elektromotor s převodovkou.



Obrázek 11: Točna [7]

## 2.2 Hlavní dodavatelé

Výrobci dopravníků působí na našem trhu velké množství. Mezi největší výrobce dopravníkových systémů jsou společnosti Bosch Rexroth a Haberkorn. Tyto společnosti nabízejí velmi rozšířené a variabilní systémy, které si každý zákazník uzpůsobí na míru. Mezi menší výrobce patří např. firmy TMT spol s.r.o. nebo DAS spol. s.r.o.

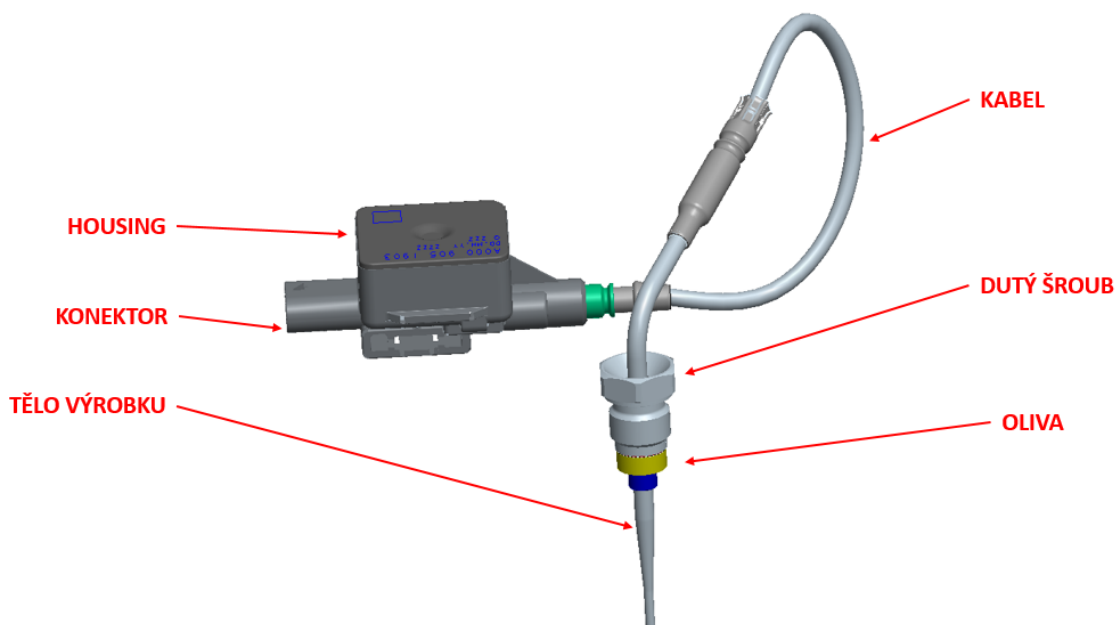
### 3. Specifikace výrobku a požadavky na výrobní linku

Zařízení slouží k testování funkčnosti senzoru, tzn. měření teploty a komunikace. Samotný test je proveden zařízením (PC + měřicí přístroje) dodaným koncovým zákazníkem. Kusy se testují při ponoření termočlánu do silikonového oleje při teplotě 200°C. Po testu v silikonovém oleji následuje omytí, osušení a ochlazení termočlánu.

Na závěr probíhá značení plastové krabičky senzoru (housingu) laserem po úspěšném otestování (pouze pro vyhovující kusy). Značení housingu a kontrola popisu není součástí této diplomové práce a řešil ji vedoucí projektu.

#### 3.1 Popis výrobku

Výrobek je určen k měření teploty. Skládá se z vlastního těla výrobku (termočlánu), housingu s elektronikou a kabelu mezi termočlánekem a housingem. Výrobek pomocí elektroniky zpracovává signál z termočlánu a následně předává informaci dál.



Obrázek 12: Výrobek

Vstupem do testovací linky je hotový produkt, který je nutné otestovat a označit. V současné době existují 4 varianty výrobku. Jednotlivé varianty produktu se



liší pouze v délce kabelu a ohybu termočlánku - rovný nebo ohnutý v úhlu  $115^\circ \pm 3^\circ$ . Jedná se tedy o dvě varianty s rovným termočlánkem a dvě s ohnutým termočlánkem. Každá varianta se liší délkou kabelu.

## 3.2 Požadavky na provoz zařízení

V následující tabulce jsou popsány základní požadavky na testovací linku.

Tabulka 1: Požadavky na zařízení

Počet správně vyhodnocených kusů	$\geq 99,7$	%
Takt (strojní čas + manipulace)	20 (nutná ruční manipulace max. 10s)	sekundy/ks
SMED – maximální délka přetypování	10	minuty
Vytížení stroje (směnný provoz)	nonstop	směny
Max. plánovaná týdenní údržba	2	hodiny/týden
Počet osob obsluhy	1	počet osob stání/sezení
Max. roční objem výroby	920 000	ks/rok
Max. rozměry stanice – final test	1500 x 2000 x 1800	š x h x v (mm)
Pracovní výška	950	mm
Počet variant výrobku HW/SW	4	variant
Maximální délka poruchy	48	hodiny

## 3.3 Popis výrobního procesu

Podle požadavků koncového zákazníka musí výrobní proces probíhat podle následujících bodů:

1. Operátor zakládá manuálně kus do stanice a spouští proces kapacitním nebo nagara spínačem.
2. Stanice kus automaticky dopraví do pozice pro test (nahřívání) a ponoří termočlánek do olejové lázně (na definovanou dobu).
3. Stanice kus po uplynutí definované doby nahřívání automaticky nakontaktuje skrze konektor, zašle do testovacího zařízení provozní informace (teplota lázně, teplota okolí) a kus otestuje (samotný test bude proveden zařízením dodaným koncovým zákazníkem).



4. Po dokončení testování zašle testovací zařízení výsledek operace (OK/NOK) do stanice. V tuto chvíli je test na daném kusu dokončen.
5. Stanice kus automaticky přesune do pozice pro čištění, sušení a chlazení.
6. Stanice kus automaticky přesune do pozice pro laserové značení. Zde je plastová krabička OK výrobku popsána definovaným popisem (DMX + text). NOK kusy nejsou nikdy popsány. Tato činnost není součástí této diplomové práce.
7. Stanice kus automaticky přesune do pozice pro kontrolu DMX kódu. Zde je zkontrolována čitelnost DMX kódu a jeho kvalita (GRADE). Tato činnost není součástí této diplomové práce.
8. Stanice kus automaticky přesune do pozice pro hotové kusy.
9. Operátor manuálně vyjímá kus z pozice pro hotové kusy.
10. Operátor pokračuje k další operaci.



## 4 Procesní tok a layout pracoviště

Výrobek je založen do universálního lůžka (pro všechny varianty výrobku). Dále je přemístěn do testovací pozice, kde je termočlánek ponořen do horkého silikonového oleje. Po uplynutí 20 sekund (doba prohřátí termočlátku) dojde k nakontaktování a zjištění informace, zda výrobek udává správné hodnoty (OK- vyhovující kus / NOK- nevyhovující kus). Celková doba výrobku na testovací pozici je 30 sekund. Následuje přesun do chladicí pozice, kde dojde k ochlazení a očištění výrobku. Následuje pozice značení. Jedná se o laserový popis housingu DMX kódem a textem. Na stanici popisu navazuje stanice kontroly DMX kódu housingu. Tyto dvě stanice nejsou součástí této diplomové práce. Takt celého stroje je maximálně 20 sekund.

### 4.1 Koncept jednoúčelového stroje

Byly zvoleny dva základní koncepty testovací linky, a to otočný karusel a koncept s dopravníky.

### 4.1.1 Otočný karusel

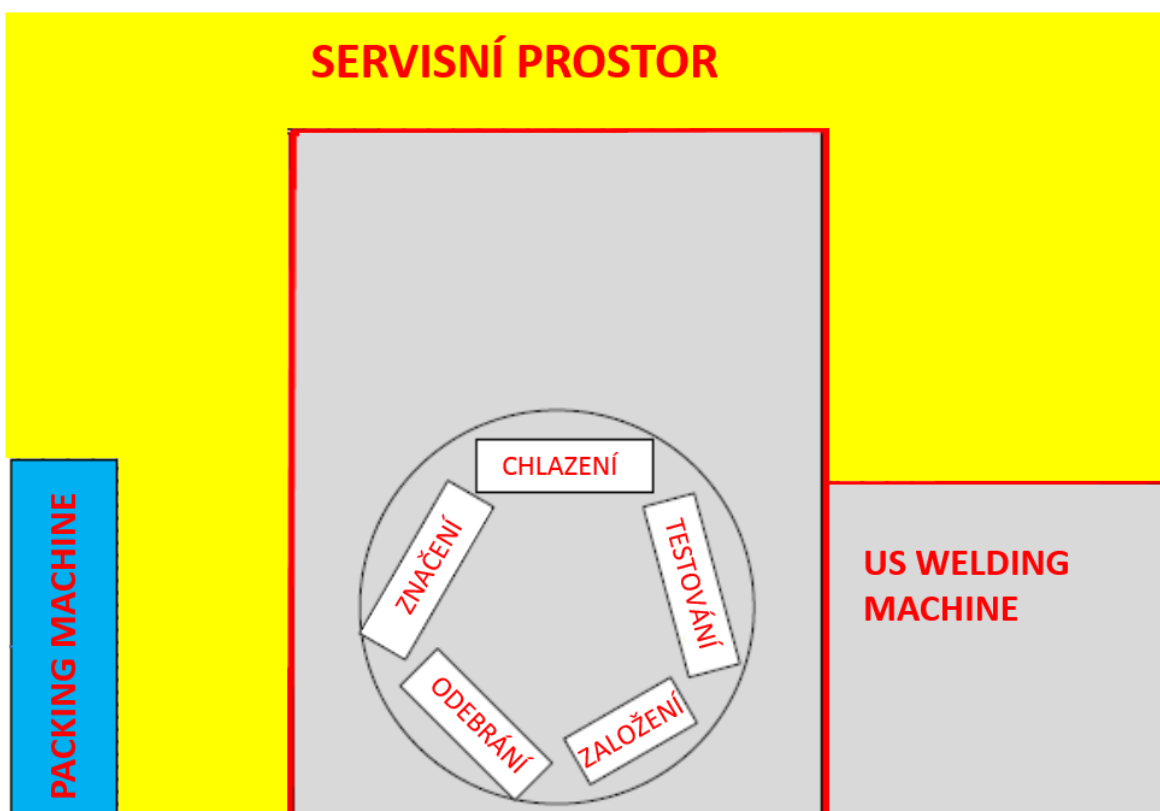
Tato varianta počítá s otočným stolem umístěným na karuselovém motoru. Jednotlivé stanice by pak byly umístěny okolo karuselu. Toto řešení má malé zástavbové rozměry a jednoduchou konstrukci. Největším problémem je dodržení stanoveného taktu, jelikož doba testování (30 sekund) je větší než takt celého stroje (20 sekund). Je tedy nutno do koncepce zařadit více stanic testování, což by u této konstrukční varianty bylo velmi obtížné.

Na obrázku 13 je layout této varianty. Jsou zde zobrazeny i okolní stroje, jejich pozice je důležitá zejména z důvodu umístění servisních dveří.

+malé zástavbové rozměry

-problémy s taktem

+levná a jednoduchá konstrukce



Obrázek 13: koncept s karuselem



### 4.1.2 Koncept s paletkami

Tato koncepce vychází z myšlenky založení výrobku do paletky. Ta je dopravována po lince pomocí pásových dopravníků uložených do tvaru U. Jedná se o dva hlavní dopravníky a jeden dopravník přejezdový. U této varianty je nutné řešit manipulaci s paletkou mezi hlavními dopravníky a stanicemi testování (ohřev) a chlazení.

+možnost umístění více stanic ohřevu

+lepší možnost využití prostoru

+možnost umístění více stanic  
chlazení

-nutnost manipulace mezi dopravníky  
-vyšší cena

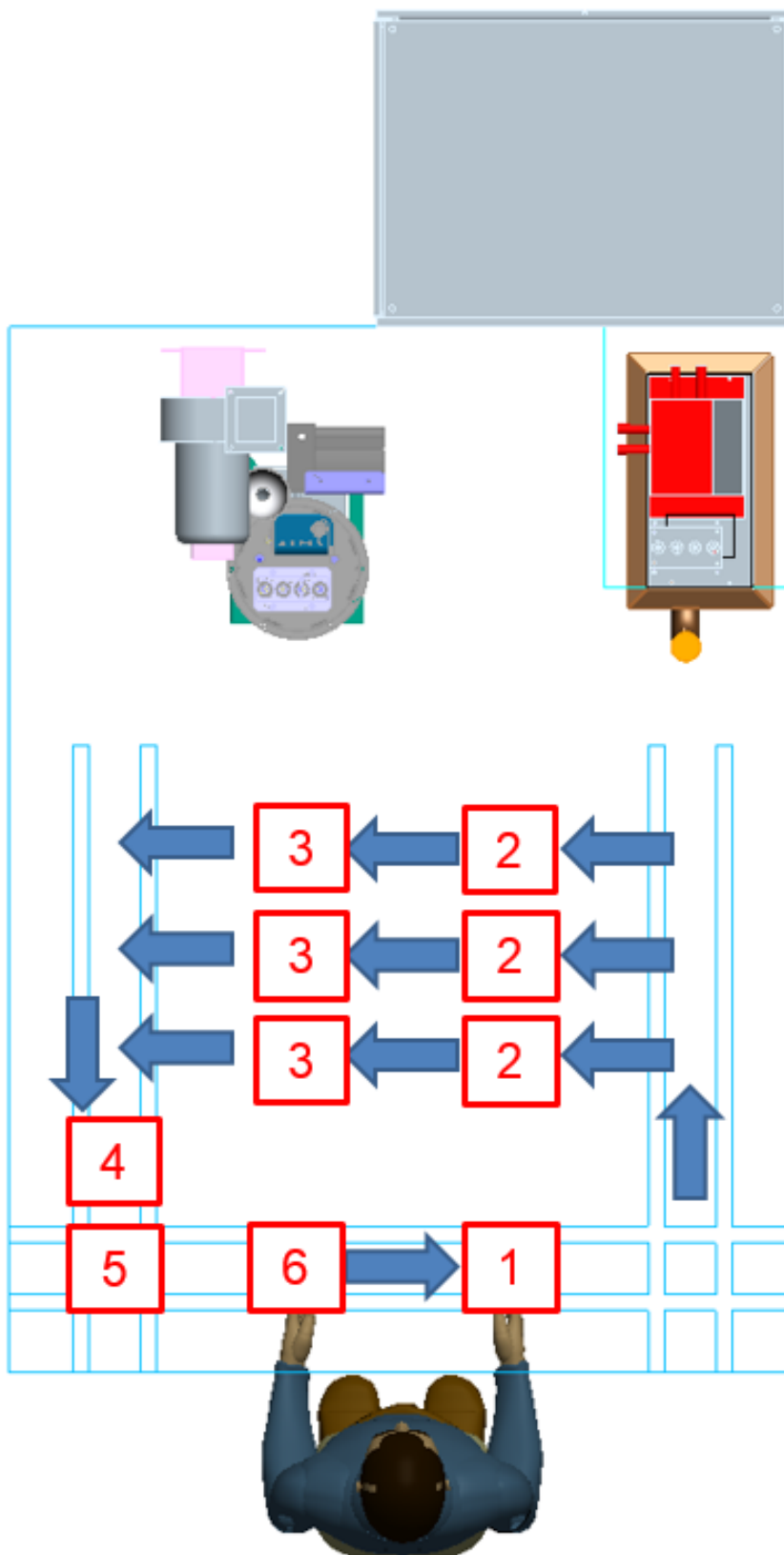
Tato koncepce byla zadavatelem práce zvolena jako varianta, se kterou se bude dále pracovat, a to především z důvodu dodržení taktu testovací linky.

Na obrázku 14 jsou vyznačeny přibližné pozice jednotlivých stanic a hrubé rozmístění dopravníků. Dále jsou zde naznačeny předběžné pozice jednotek chlazení a ohřevu.

Pozice označené na obrázku:

- 1 Stanice zakládání
- 2 Stanice testování
- 3 Stanice chlazení
- 4 Stanice značení
- 5 Stanice kontroly
- 6 Stanice odebírání

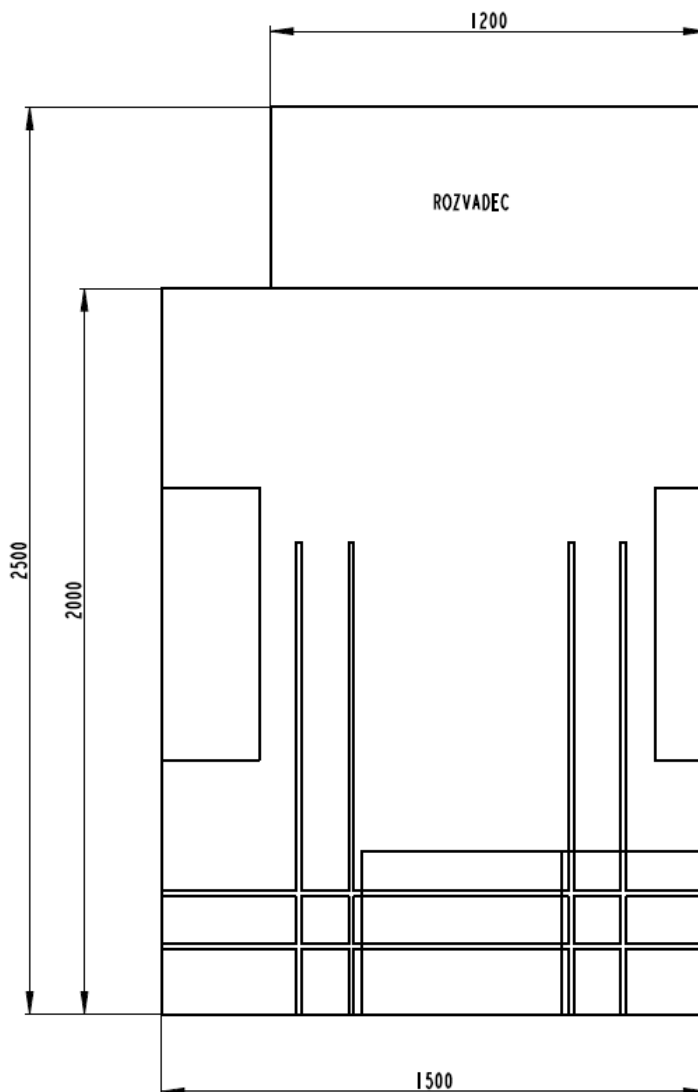




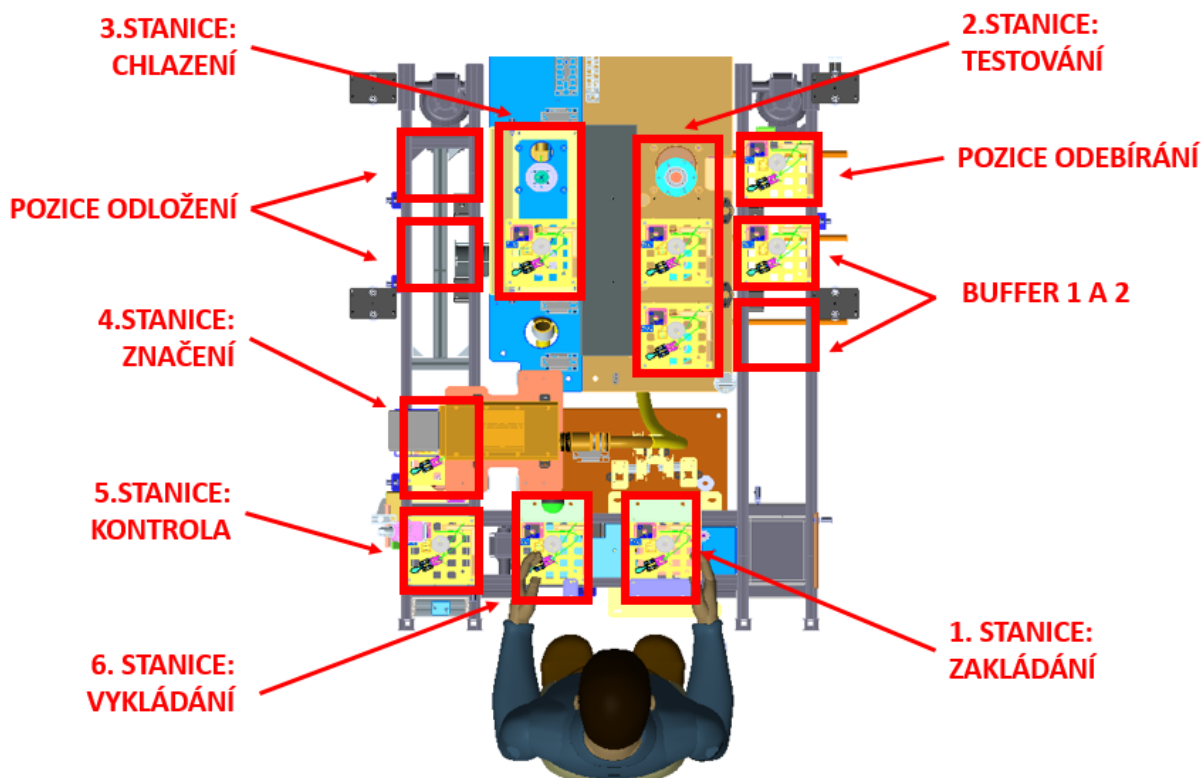
Obrázek 14: Koncept s dopravníky

## 5.2 Layout testovací linky

Maximální rozměry testovací linky jsou stanoveny na 1500 milimetrů šířky, 2000 milimetrů hloubky a 1800 milimetrů výšky. Z přední strany linky je prostor pro obsluhu. Vpravo linka přímo sousedí s dalším strojem (US welding machine). Zbylý prostor je možno použít jako servisní plochu. Po konzultaci s koncovým zákazníkem bylo dovoleno začlenit rozvaděč mimo obrys stroje. Na obrázku 15 je naznačen půdorys výrobní linky, předběžné pozice dopravníků a prostor pro zakládání a odebírání výrobků z paletky (přední strana linky). Na obrázku 16 jsou přesné pozice stanic a pozic paletky.



Obrázek 15: Layout testovací linky



Obrázek 16: Pozice stanic

### 5.3 Manipulace mezi dopravníky

Jak bylo dříve zmíněno, tak takt celé linky může být maximálně 20 sekund. Minimální takt může být 10 sekund, které jsou určeny pro ruční manipulaci obsluhy.

Důležitější je maximální hodnota taktu, vzhledem k tomu že doba testování je 30 sekund. Jedná se o 20 sekund ohřevu, po kterém dojde ke kontaktování housingu. Následuje 10 sekund vyhodnocování, zda je kus OK nebo NOK (vyhovující, nebo nevyhovující). Tato hodnota byla udána v zadání (vyhodnocování provádí klient). Nicméně během předpřejímky stroje ve firmě JHV Engineering s.r.o. nám bylo sděleno, že vyhodnocení se jim podařilo zkrátit na dobu tří sekund. Ve stanici chlazení se výrobek nachází po dobu 5 sekund. Tato hodnota vychází ze zkušeností podobného stroje již dříve vyrobeného firmou JHV Engineering s.r.o.

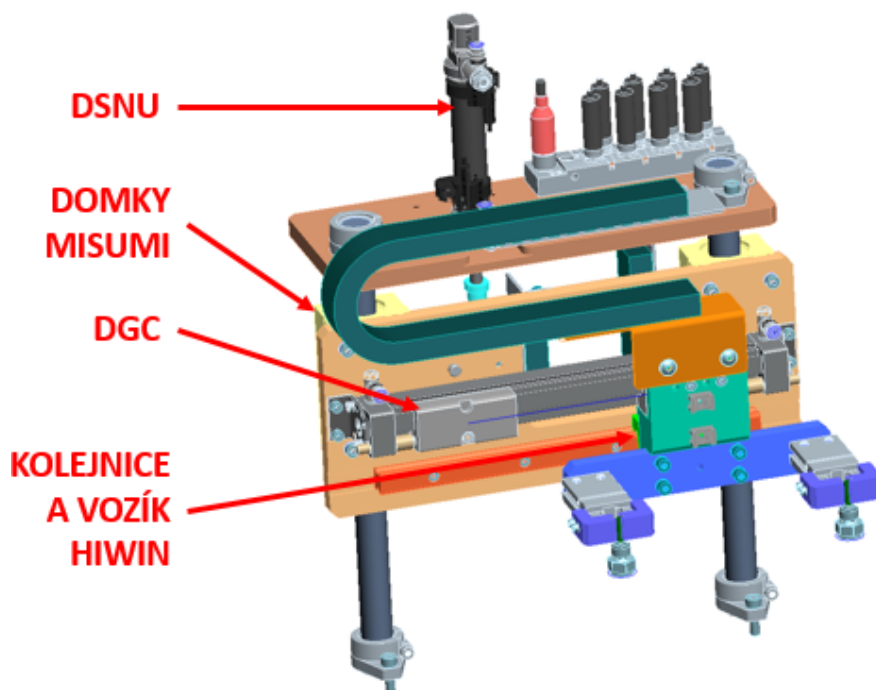
### 5.3.1 Tři dvouosé manipulátory

Tato varianta manipulace počítá se třemi lázněmi ohřevu a třemi lázněmi chlazení. Manipulace mezi lázněmi by zajišťovali tři stejné dvouosé manipulátory.

Na obrázku 17 je příklad takového manipulátoru použitým na jiné výrobní lince. O vodorovný posun se stará bezpístnicový válec od společnosti Festo typu DGC a kolej a vozík od společnosti HIWIN. Pro naši aplikaci, jsou nutné čtyři polohy vodorovného posuvu (odebrání z dopravníku, lázeň ohřevu, lázeň chlazení, odložení na dopravník). Muselo by tedy být použito příslušenství k těmto válcům zajišťující tyto polohy, nebo místo pneumatického válce použít pohybový šroub a servomotor s převodovkou.

Svislý posun zde zajišťuje válec typu DSNU od společnosti FESTO. O vedení zajišťují kuličkové domky od společnosti MISUMI pohybující se po ložiskových tyčích.

Vzhledem k vysokým požadavkům na přesnost a manipulace ve čtyřech polohách by zde bylo vhodné použití servomotorů a pohybových šroubů. Tato varianta by byla z ekonomického hlediska velmi nákladná, protože by na jeden manipulátor bylo nutné použít dva tyto pohony a celkem tedy šest pohonů a vedení.

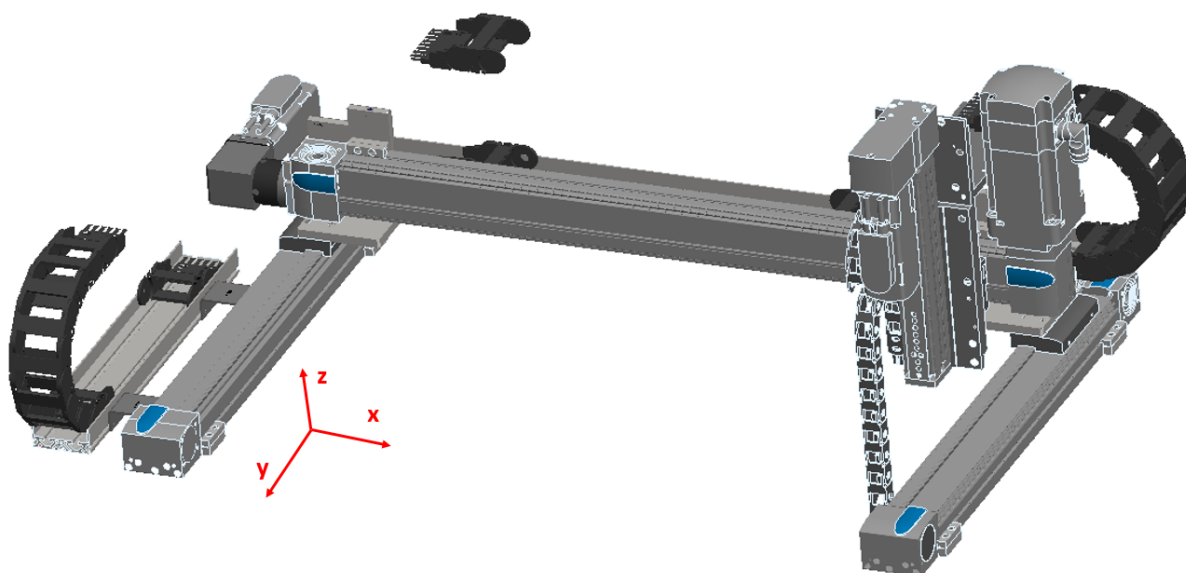


Obrázek 17: Dvouosý manipulátor

### 5.3.2 Tříosý manipulátor

U této varianty by byl použit pouze jeden tříosý manipulátor. Oproti předchozí variantě to znamená poloviční počet pohonů. Je zde tedy výrazně nižší cena.

Tento manipulátor zajišťuje odebrání z dopravníku (možnost pouze jednoho odebíracího místa + buffer), obsluhu všech lázní ohřevu a chlazení a odložení palety na dopravník. U tohoto manipulátoru je nutno počítat s výkonnějším servomotorem pro pohyb v ose y. Tento pohon totiž pohybuje s nemalou váhou skoro celého manipulátoru. Na obrázku 18 je manipulátor od společnosti FESTO.



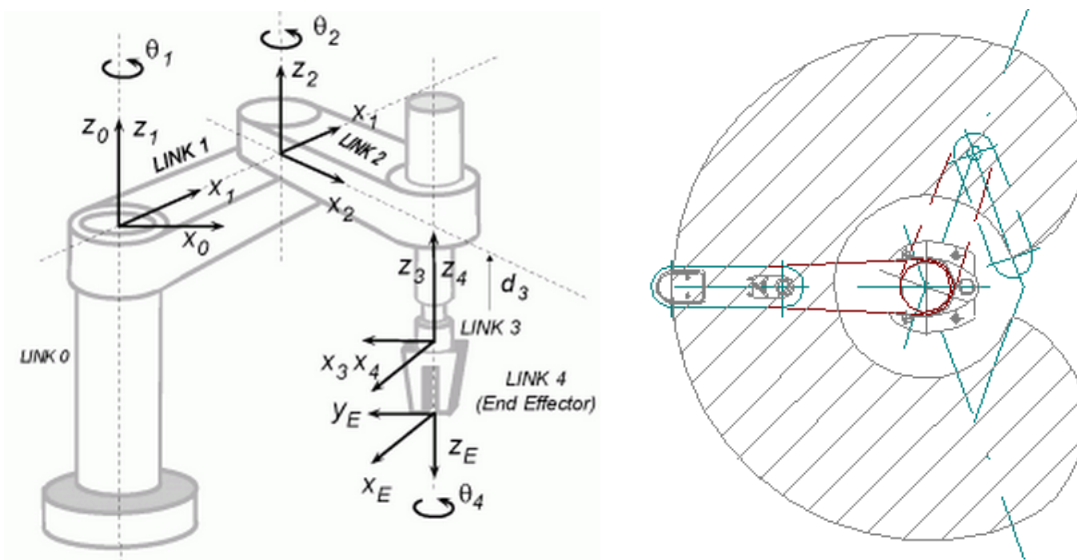
Obrázek 18: Tříosý manipulátor

### 5.3.3 Třiosý robot SCARA

Roboty SCARA (Simplified Compliant Articulated Robot Arm) se vyrábějí především v třiosých a čtyřiosých variantách. Pro naše použití postačuje třiosá varianta. Hlavní předností těchto robotů je velmi jednoduché uživatelské ovládání a nízká cena oproti jiným robotickým rukám.

Tento typ robotů se skládá z příslušného počtu ramen. Ty jsou spojeny pomocí poháněných rotačních spojů. Na konci posledního ramene je pohybový šroub starající se o zdvih v ose z. Kinematické schéma SCARA robotu a rozsah pohybu je na obrázku 19.

Výrobci těchto robotů je velmi mnoho např. Mitsubishi, Kuka, Omron, Denso a ABB.



Obrázek 19: SCARA schéma [8], [9]



Obrázek 20: SCARA [10]

## 5.4 Výběr použité varianty manipulace

Vzhledem k využití prostoru, náročnosti konstrukce a především ceně byla vedoucím projektu panem Ing. Martinem Štursou zvolena varianta jednoho tříosého manipulátoru. Tento manipulátor měl být původně hlavní náplní této diplomové práce, ale vedoucí projektu se rozhodl poptat tento manipulátor u společnosti FESTO. Vzhledem k přijatelné ceně byl manipulátor touto firmou dodán.



## 6 Definice paletky a její transport po lince

V kapitole 3. byla vybrána varianta s paletkami. Výrobek bude do paletky založen ve stanici zakládání, dále je paleta přemístěna dopravníkem na pozici odebrání. Zde paleta čeká na manipulátor, který jí přesune na pozici testování, dále na pozici chlazení a nakonec přemístí paletu na dopravník. Paleta pokračuje na dopravníku do stanice značení, kontroly a nakonec do stanice odebrání.

V následujících podkapitolách je popsána paleta, tak jak šel její vývoj, podklady pro poptávku dopravníků a manipulátoru, popis konstrukce hlavy manipulátoru a popsání bezpečnosti týkající se operátora.

### 6.1 Paletka

Vzhledem k požadované specifické konstrukci a vysokým teplotám působícím na paletku na stanicích ohřevu nebylo možné použít standardně vyráběné palety. Půdorysné rozměry byly zvoleny 160mm x 160mm, a to z důvodu aby bylo možné použít dopravníkový systém TS1 od firmy BOSCH REXROTH.

Dále bylo nutné zajistit nízkou hmotnost palety. Důvodem je možnost dosažení vyšší rychlosti manipulace mezi dopravníky a stanicemi testování a chlazení.

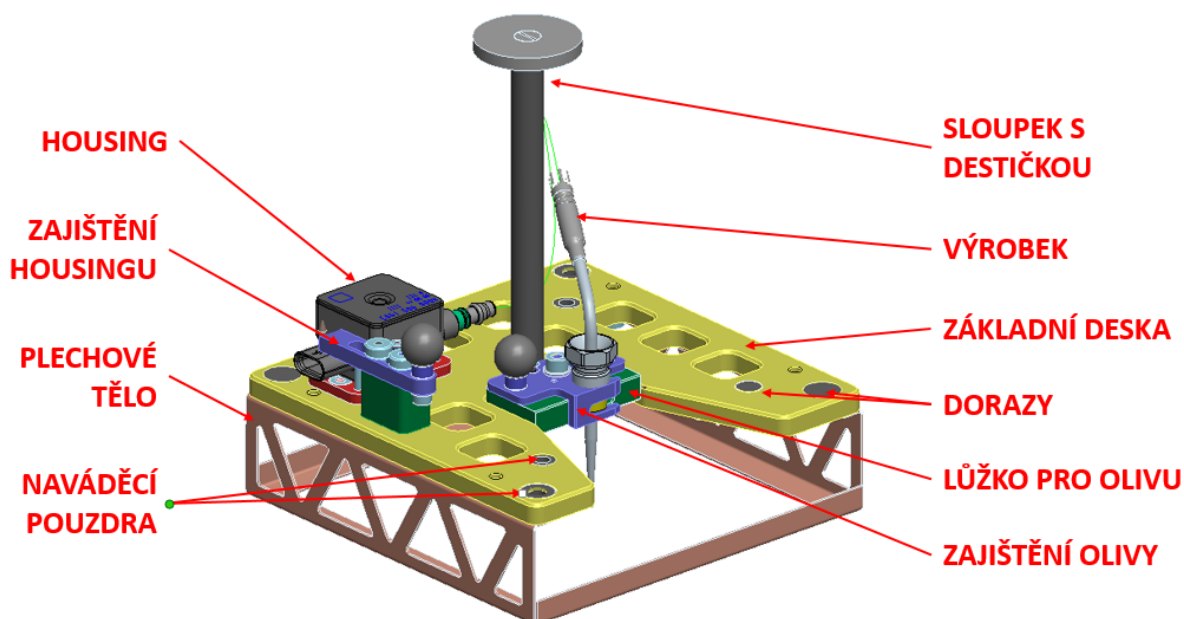


### 6.1.1 Paletka verze 1

Hlavní částí první vývojové verze palety je duralová deska pro přesné uložení komponent a plechového těla.

Tělo je vyrobené jako plechový výpalek z materiálu 17 240, který je dále ohnut a svařen. Hlavními výhodami tohoto těla jsou cena a technologická jednoduchost. Nevýhodou je menší přesnost. A to je především nerovnoběžnost vrchní desky s plochou dotýkající se dopravníku a možnost zkřížení těla palety. Zkřížení by mělo za následek bodový styk palety a dopravníku, což by přinášelo potíže především, když paletka stojí na stoperech. Velmi pravděpodobně by došlo ke snížení životnosti pásu dopravníku.

Vrchní deska je vyrobená ze slitiny hliníku EN 5083 v broušené úpravě o toleranci h11. tato deska byla nejdříve vyřezána vodou, následně ofrézována a nakonec povrchově upravena eloxováním.

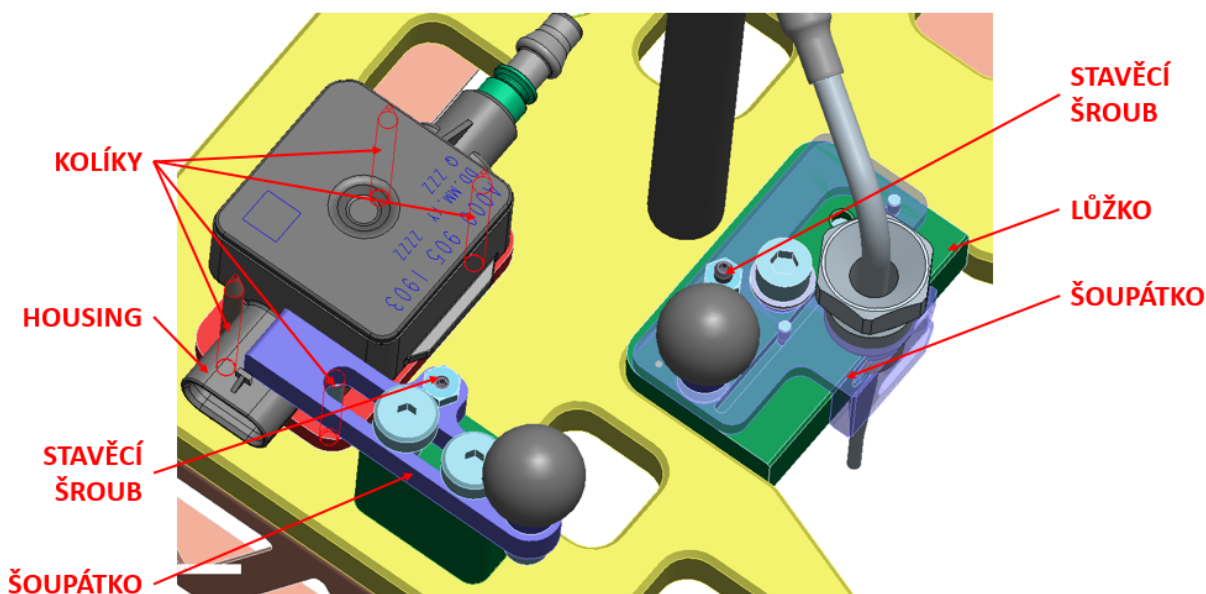


Obrázek 21: Paletka verze 1

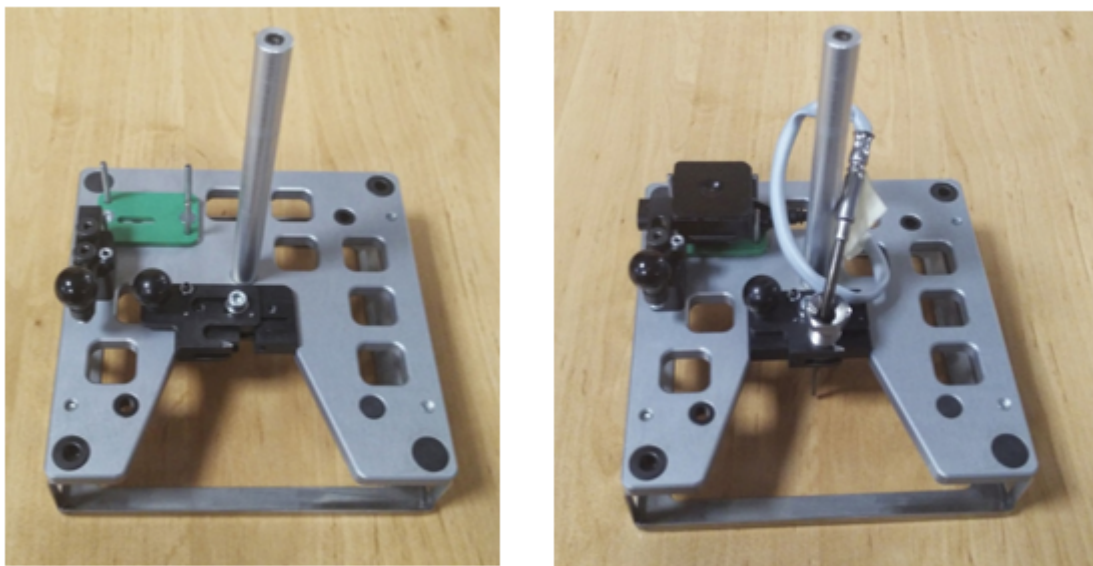
Ve vrchní desce jsou vsazena naváděcí pouzdra a dorazy pro hlavu manipulátoru a sloupky u stanic chlazení a ohřevu (popsáno v kapitole 6.3.2). Pouzdra jsou nakoupená od firmy MISUMI a kalené dorazy jsou vyrobené ve firmě JHV Engineering s.r.o. Další součásti sloužící k manipulaci jsou sloupek a kruhová deska ve vrchní části. Za tuto desku přitáhne magnet paletku k manipulátoru.

Vlastní výrobek je z čela zasazován do kaleného lůžka a zajištěn šoupátkem ve správné poloze. Housing je mezi čtyřmi kolíky a taktéž zajištěn šoupátkem. Šoupátka jsou v krajních pozicích zajištěna pomocí stavěcích šroubů s odpruženou kuličkou (kulička zapadá do příslušných zhloubení).

První verze paletky neprošla ergonomickou zkouškou u klienta, a to především kvůli zakládání termočlánku. Byl zde vznesen požadavek na zakládání kolmo na desku. Dále zde nesl housing známky poškození na jeho plastových částech (jednalo se o lehké oděrky způsobené opakovaným vkládáním a zajišťováním).



Obrázek 22: Paletka verze 1 - detail



Obrázek 23: Paletka verze 1 - fotografie

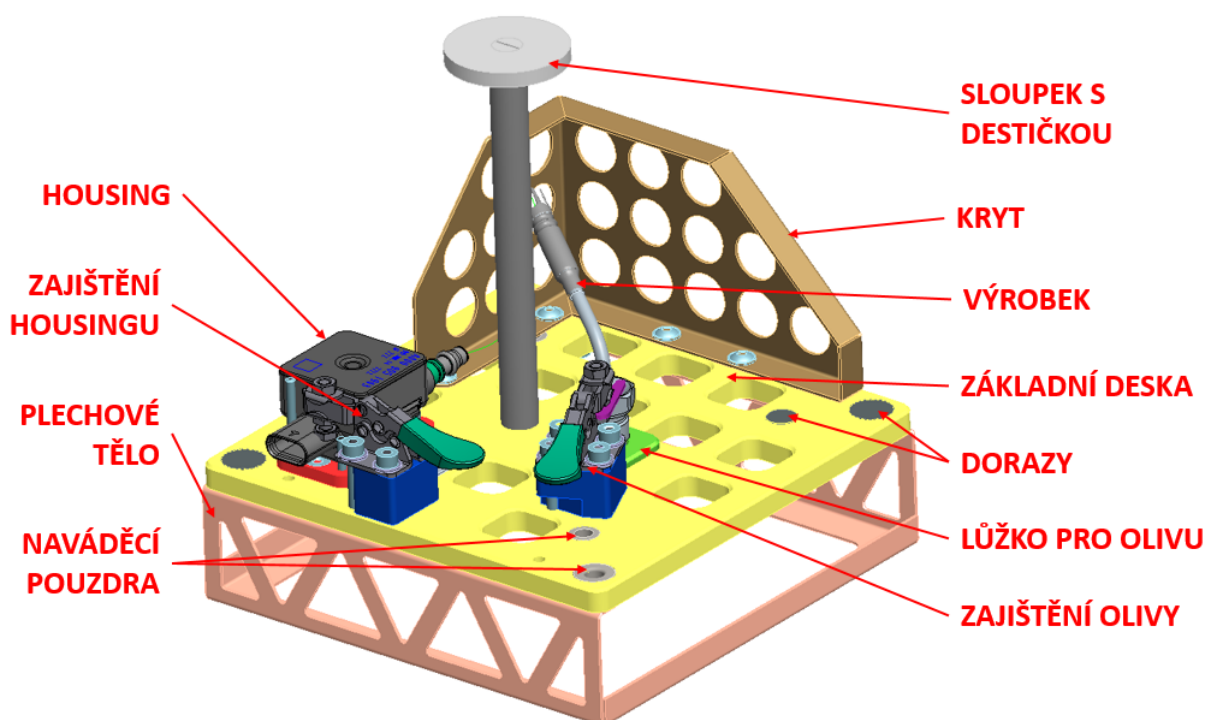
### 6.1.2 Paletka VERZE 2

U druhé vývojové verze paletky byla deska upravena pro lůžko vyhovující požadavkům zákazníka. Ukotvení těla výrobku je zajištěno upínkami, na které je navařen nerezový plech (materiál 17 240).

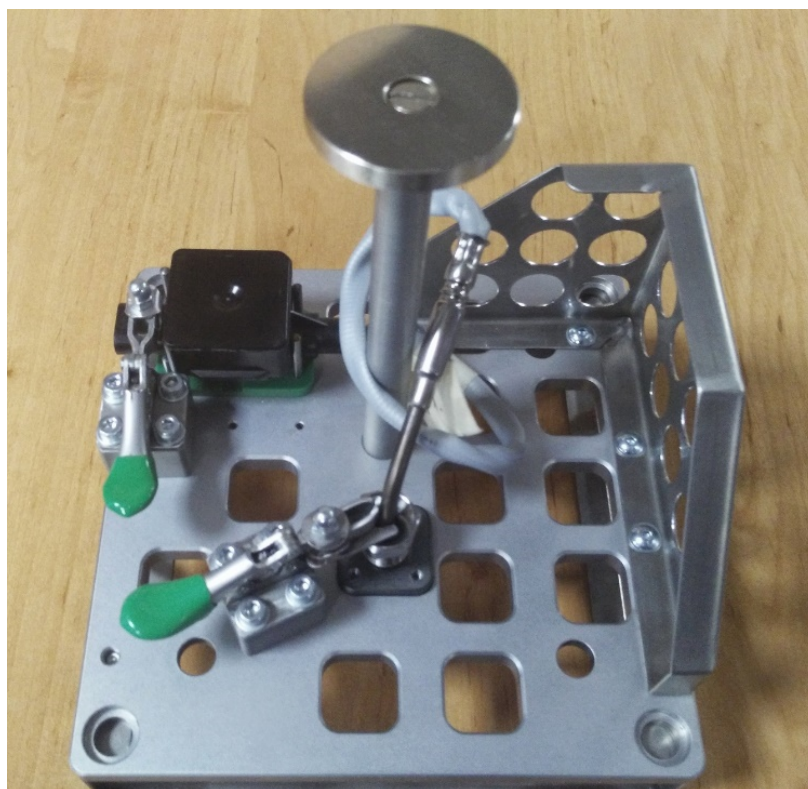
Housing je opět umístěn mezi čtyři kolíky, ale nyní je zajištěn stejnou upínkou jako termočlánek.

Dále tato verze byla doplněna o boční kryt (aby nemohlo dojít k přimáčknutí kabelu termočlánu hlavou manipulátoru).

I ke druhé verzi paletky byly výhrady ze strany zákazníka, tudíž byla vyrobená třetí verze. Výhrady se týkaly především uložení housingu. Bylo požadováno lůžko bez nutnosti zajišťování (složitější pohyb operátora pro zajištění polohy housingu ve správné poloze).



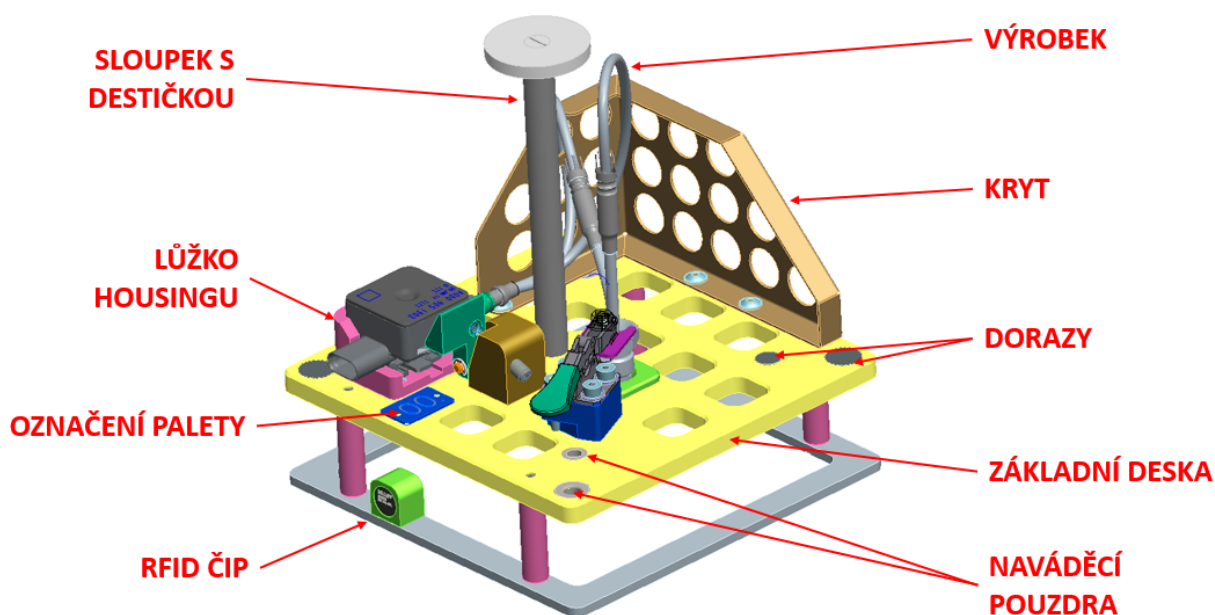
Obrázek 24: Paletka verze 2



Obrázek 25: Paletka verze 2 - fotografie

### 6.1.3 Paletka VERZE 3

U poslední vývojové verze paletky je nyní housing zakládán do plastového lůžka (sica block). Nejdříve se založí osazení (na housingu) do kapsy na lůžku a následně se housing jen zlehka zatlačí dolů. O zajištění se stará ocelový (kalený) klín, který je přitlačován pružinou proti housingu. Tato konstrukce z ergonomického hlediska zajišťuje jednoduché založení i odebrání housingu do (z) palety.

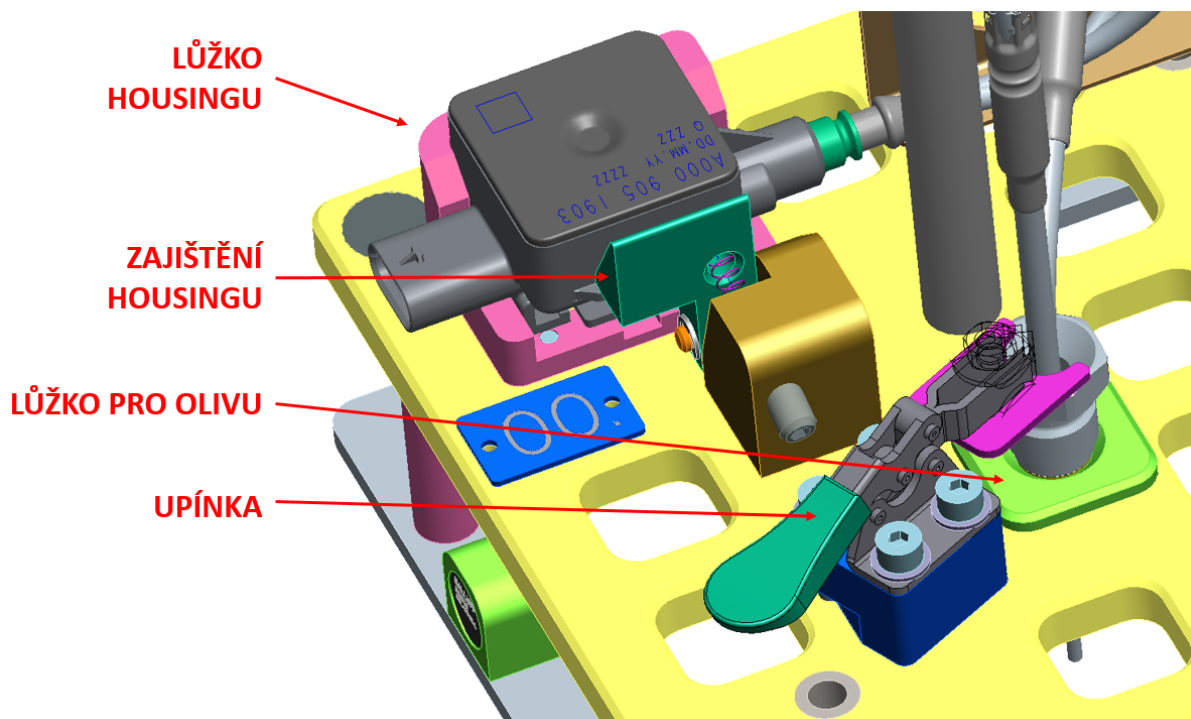


Obrázek 26: Paletka verze 3

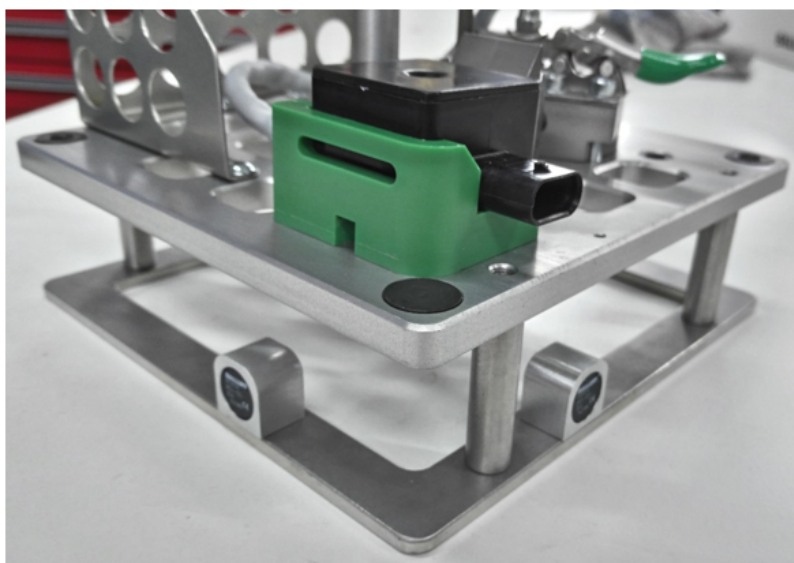
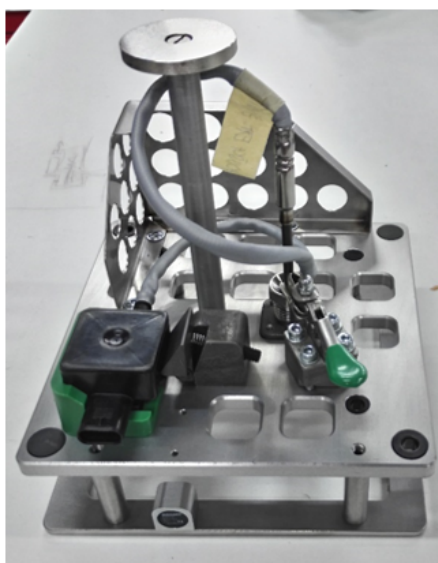
Další výraznou změnu zaznamenala spodní část palety. Původní ohnutý výpalek byl nahrazen rovným a silnějším plechem (taktéž výpalek). Distance mezi hlavní deskou a plechem je zajištěna pomocí sloupků. Tato konstrukce zajišťuje plošný styk pásu a paletky, nemůže tedy dojít k bodovému styku paletky a pásu. Dále je zde větší jistota, že spodní plech a hlavní deska budou rovnoběžné (díky použité technologii).

Paleta byla také opatřena RFID čipem. Na stanicích, ve kterých to je nutné, se nacházejí RFID vyhodnocovače, které umožňují bezdrátové čtení i zápis informací o paletce (výrobku v ní) do čipu. Tyto čipy jsou na paletce dva, protože se paletka pohybuje ve dvou směrech a nebylo vždy možné umístit čtečku tak, aby bylo možné použít pouze jeden čip.

Tato verze byla odsouhlasena při provozním testu a bylo tedy možné zahájit výrobu všech jedenácti paletek pro tuto testovací linku. V příloze 1 se nachází sestavný výkres této verze paletky. Výkresy byly vypracovány podle požadavků zadavatele.



Obrázek 27: Paletka verze 3 - detail



Obrázek 28: Paletka verze 3 - fotografie



## 6.2 Dopravníky

Pro transport paletek po lince byl zvolen pásový dopravník (manipulace mezi dopravníky a lázněmi je zajištěna manipulátorem. Podle požadavků zákazníka byl zvolen dodavatel Bosch Rexroth.

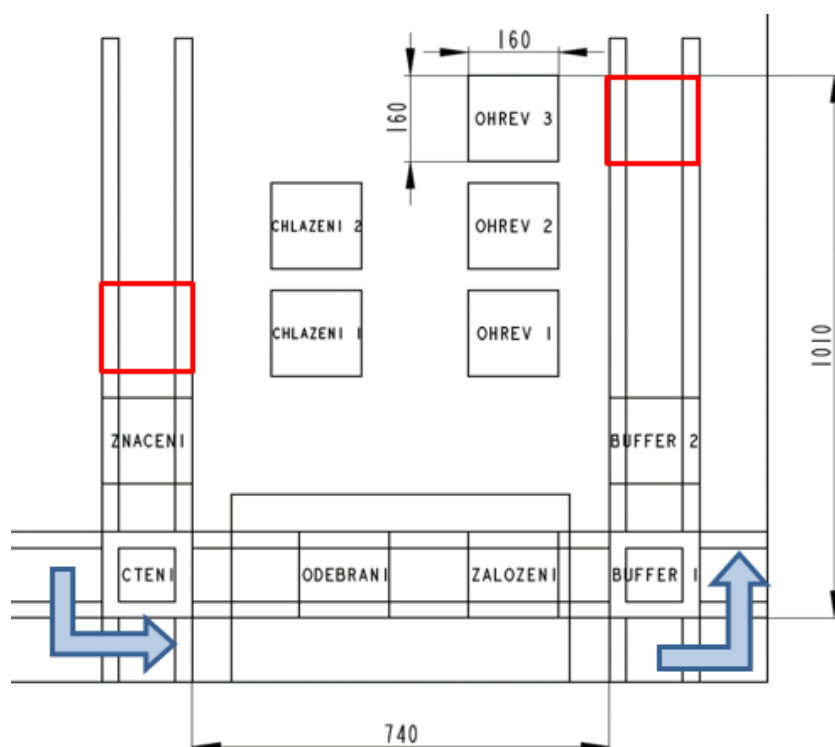
### 6.2.1. Podklady pro dodání dopravníků

Velikost paletky byla zvolena pro použití dopravníků řady TS1 (půdorys palety 160 mm x 160 mm). Bylo navrženo uspořádání dopravníků viz obrázek 29. V tomto uspořádání pak byl sestaven okruh dopravníků Bosch Rexroth TS1. Výrobce dopravníků byl zvolen s ohledem na přání zadavatele.

Požadavky na dopravníky:

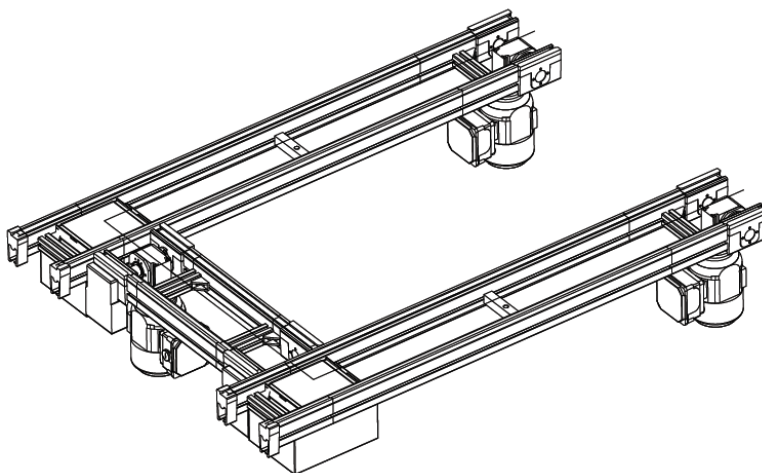
- Velikost palety 160 mm x 160 mm
- Maximální hmotnost palety 1.5 Kg
- Rychlost dopravníku 12 m/min
- 2 hlavní dopravníky
- 1 přejezdový dopravník
- Zdvihy zajišťující přejezd mezi dopravníky
- V případě potřeby budou všechny palety na dopravnících (10 palet)
- Umístění motorů mezi pásy
- Orientace motorů směrem dolů

Pozice odebrání a zakládání o odebrání z dopravníku jsou označeny červeným čtvercem a směr pohybu palet je naznačen šipkami (obrázek 29).



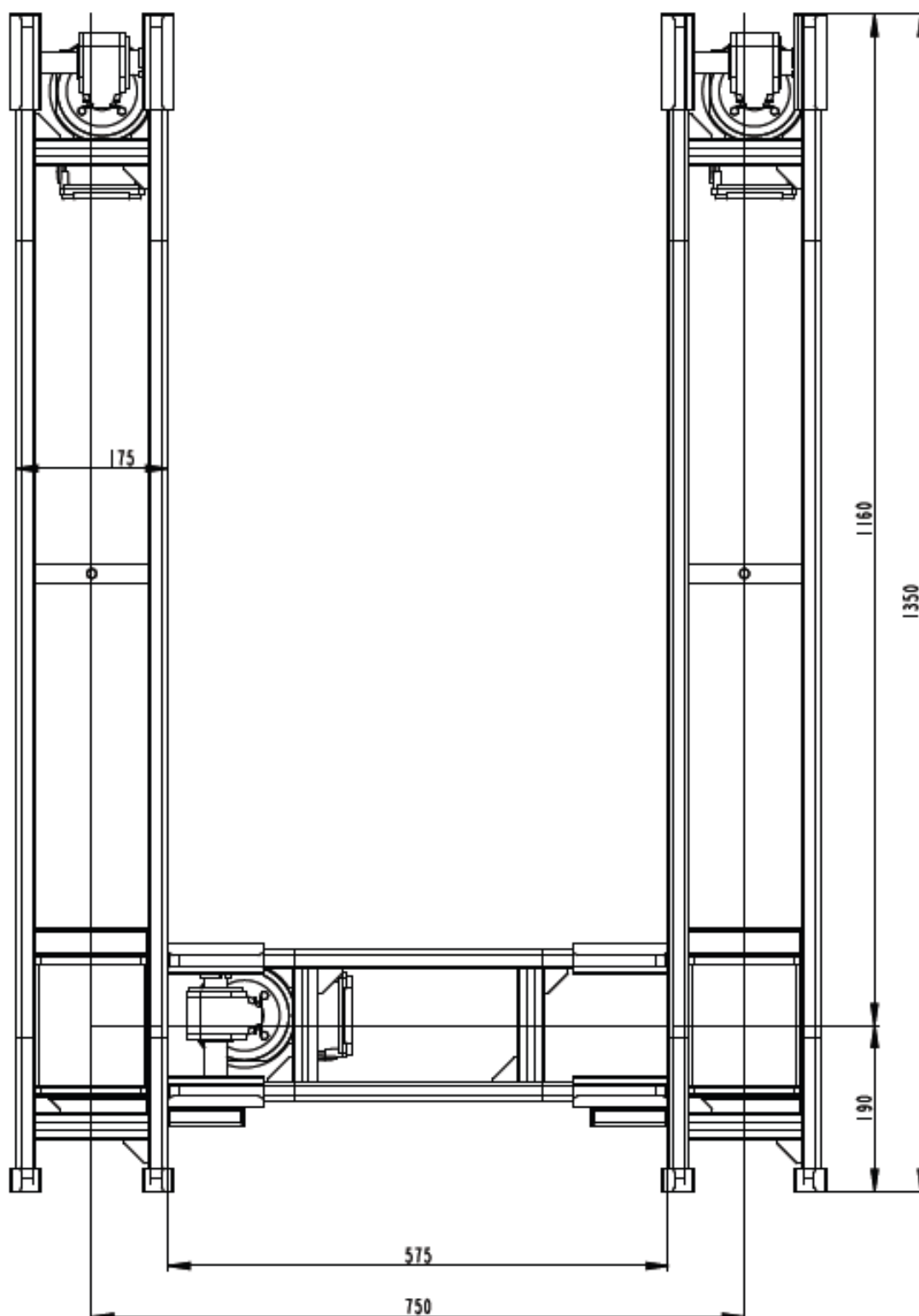
Obrázek 29: Layout dopravníků

Na základě těchto informací a komunikace s dodavatelem byl vytvořen 3D model okruhu dopravníků (obrázky 30 a 31). Tento model byl dále upravován, aby vyhovoval přesnému rozložení stanic. Jednalo se především o upřesnění délek a pozic motorů, a to především z důvodů umístění přízdvihů na vybraných stanicích (založení a značení).



Obrázek 30: Dopravníky





Obrázek 31: Přesné rozměry dopravníků

## 6.2.2 Uložení dopravníků

Dopravníky jsou uloženy na ocelových deskách. Desky jsou k rámu uchyceny pomocí závitových tyčí (obrázek 32), velkoplošných podložek a matic. Tímto řešením byla zajištěna možnost vyrovnání dopravníků (nepočítalo se s přesně vyrobeným rámem, přeci jenom se jedná o svařenec). Dále zde byla zajištěna možnost nastavit výšku dopravníků. Dopravník je uchycen k deskám pomocí T-šroubů.



Obrázek 32: Podpěra dopravníku



Obrázek 33: Ukotvení dopravníků

### 6.2.3 Příslušenství dopravníků

Dopravníky jsou osazeny stopery (ustavení polohy palety), indukčními čidly (informace přítomnosti palety) a RFID vyhodnocovači (zjištění informací o výrobku).

Tabulka 2: Příslušenství dopravníků

	Dodavatel	Typ
Stoper	Bosch Rexroth	VE 1
Indukční čidlo	Balluff	M12 BES03YR
RFID	Balluff	BISL-400-043-003-02-S115

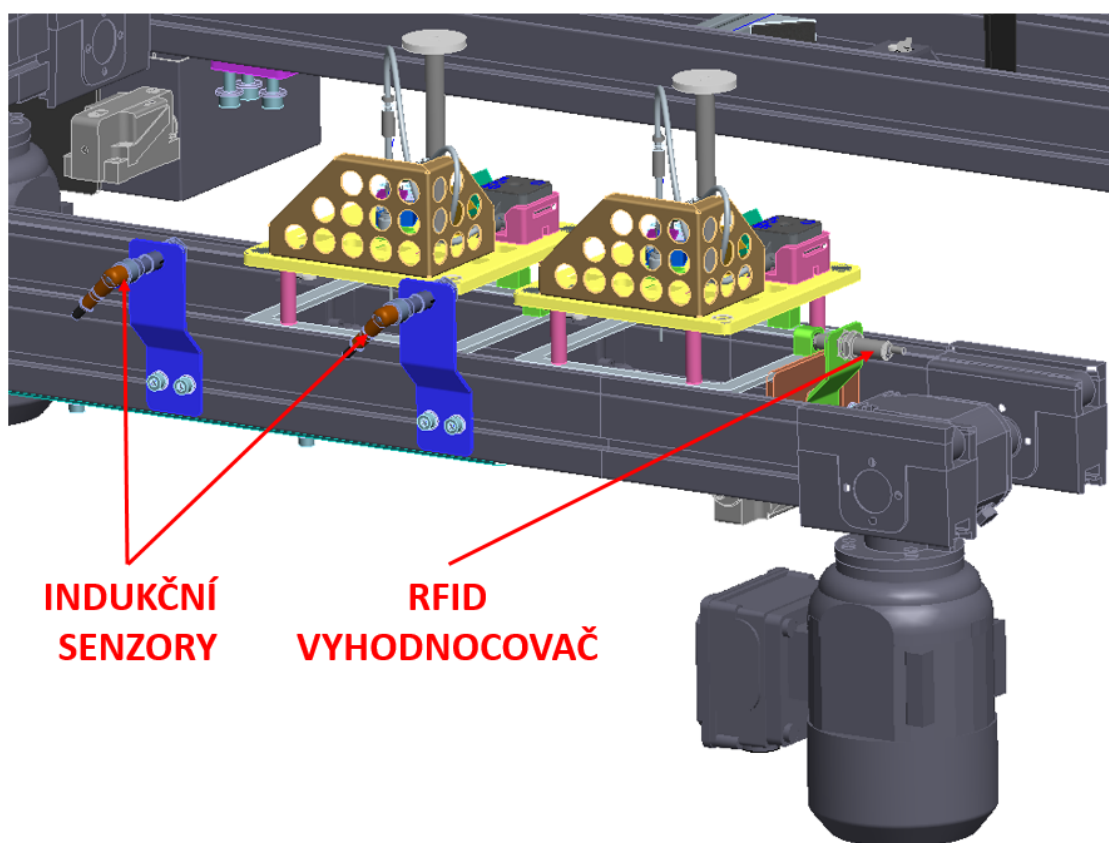
Na přejezdovém dopravníku se na pozici odebírání nachází stoper a indukční čidlo. U stanice zakládání nebylo možné kvůli použitému přízdvihu použít stoper od firmy Bosch Rexroth, tudíž byl použit válec od společnosti Festo. Stanice zakládání je vybavena RFID vyhodnocovačem.

Na prvním hlavním dopravníku jsou umístěny tři stopery a indukční čidla. Jedná se o zajištění pozic buffer 1, buffer 2. U pozice odebírání palety z dopravníku je navíc ještě RFID vyhodnocovač.



Obrázek 34: Dopravník s indukčními čidly a stopery

Na druhém hlavním dopravníku se nacházejí dvě pozice, na které je možno manipulátorem položit paletku. Tyto pozice jsou osazeny stopery a indukčními čidly. Na této větvi se dále nachází stanice značení a kontroly. Tyto stanice jsou osazeny indukčními čidly a RFID vyhodnocovači. Stopery zde ale nejsou použity. U značení se opět nachází přízdvih a je zde opět použit válec od společnosti Festo a stanice kontroly se nachází na zdvihu (přejezdu mezi dopravníky).



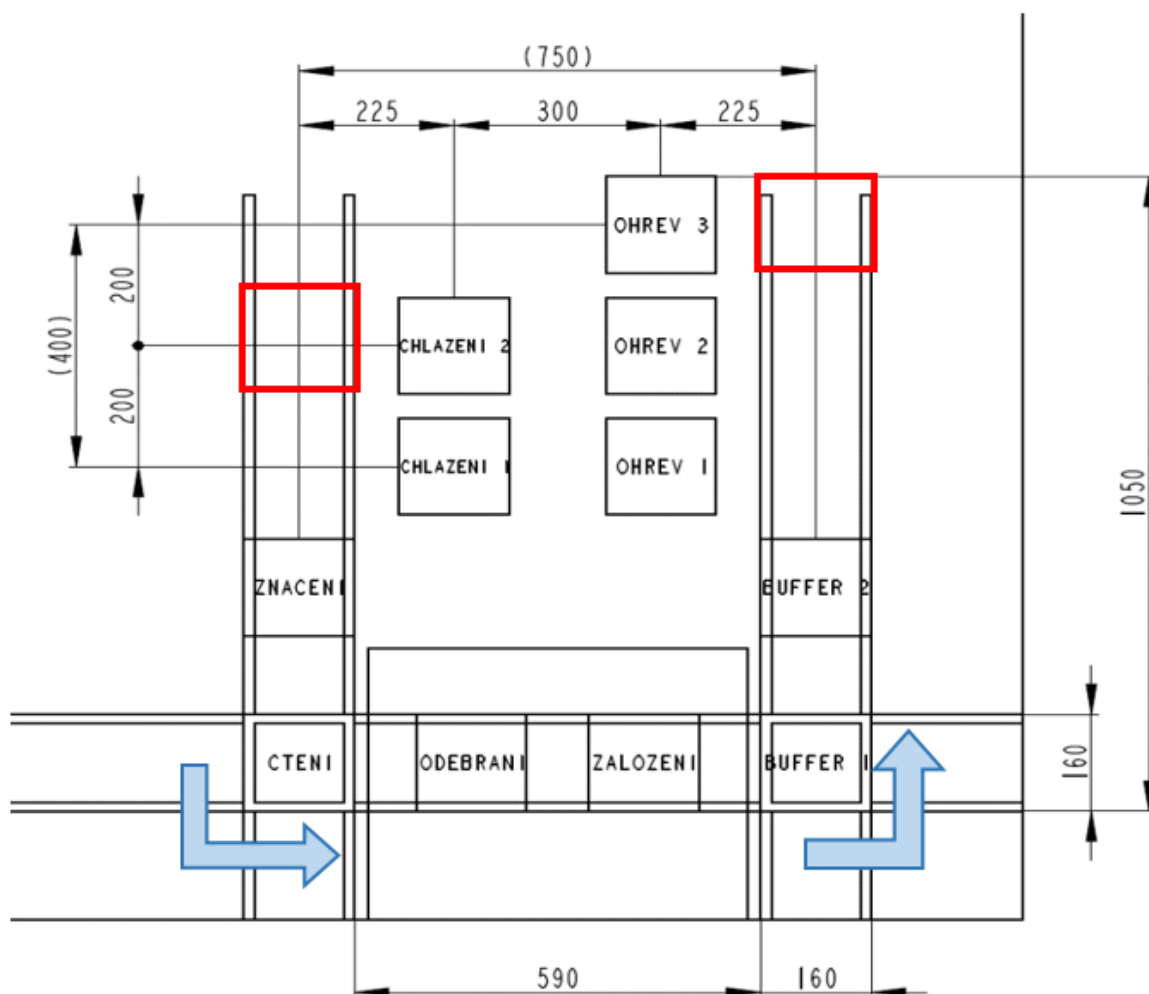
Obrázek 35: Dopravník s příslušenstvím

## 6.3 Manipulátor

Pro přepravu paletek mezi hlavními dopravníky a lázněmi testování a chlazení byl vybrán trojosý manipulátor. Konstrukce manipulátoru byla řešena v spolupráci se společností Festo. Následující kapitola 6.3.1. je pouze stručné shrnutí, které slouží k ujasnění informací k následující kapitole 6.3.2.

### 6.3.1 Požadavky manipulátoru

Požadavky na manipulátor jsou dány hlavně layoutem jednoúčelového stroje. Na obrázku jsou opět červeně označeny pozice odebrání a zakládání palety na dopravník. Zdvih manipulátoru byl definován na 250mm. Maximální hmotnost palety byla definována na 1.5Kg a hmotnost hlavy manipulátoru přibližně 1Kg. Takt celého stroje je 20 sekund. Technologické časy jsou 30 sekund pro testovací stanice (ohrev 1-3) a 5 sekund pro stanice chlazení.



Obrázek 36: Layout pro manipulátor

Podle požadavků byl navrhnout a dodán následující manipulátor. O pohon manipulátoru se starají servomotory s absolutním odměřováním. Rozsah manipulátoru je  $x=500\text{mm}$ ,  $y=1000\text{mm}$  a  $z=250\text{mm}$ .

Osa  $x$  je konstruována ze dvou pohonů typu EGC-80. Jedná se o lineární vedení spolu s ozubenými řemeny. Oba pohony jsou propojeny mechanickou

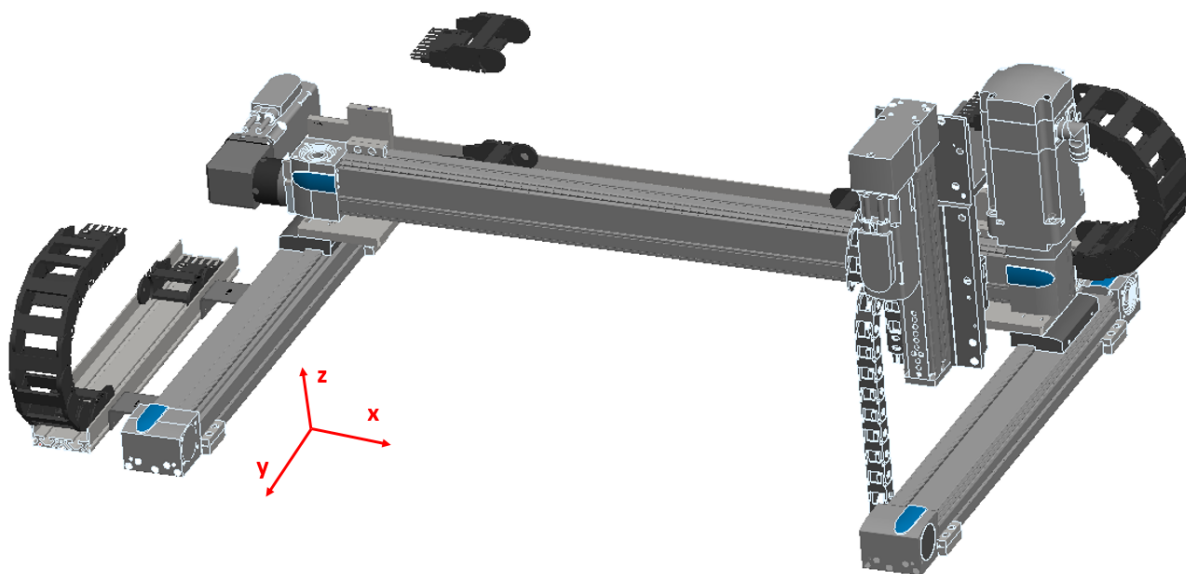
Návrh části jednoúčelového stroje k testování výrobků pro měření teploty

vazbou pro zajištění synchronizace. Vše je poháněno servomotorem bez převodovky.

Osa y se skládá z jednoho pohonu typu EGC-80. Osazena je servomotorem s úhlovou převodovkou. Ta byla zvolena kvůli zástavbě.

O zdvih v ose z se starají saně typu DNCE-40 (lineární vedení + kuličkový šroub). Pohon zajišťuje servomotor s planetovou převodovkou. Servomotor je umístěn směrem dolů, opět kvůli omezenému prostoru okolo manipulátoru.

Společnost Festo nám dodala kompletní manipulátor včetně veškeré elektroniky (čidla, kabely, drivery pro servomotory, atd.). Naprogramování manipulátoru bylo zajištěno programátory z JHV Engineering s.r.o.



Obrázek 37: Manipulátor

### 6.3.2 Konstrukce hlavy manipulátoru

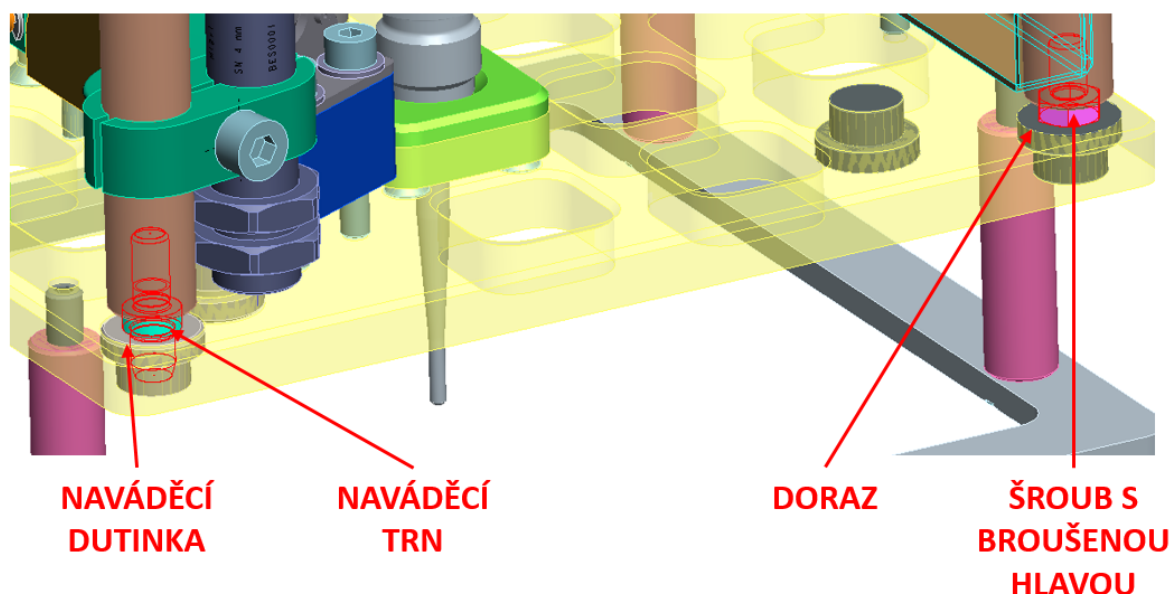
Hlava manipulátoru zajišťuje spojení paletky s manipulátorem po dobu transportu mezi dopravníky a stanicemi testování a chlazení.

Základní částí hlavy manipulátoru je křížová deska, která je připojena k ose z manipulátoru (k pohonu DNCE-40) pomocí mezidesky. O přesné sesazení desek se starají lícované dutinky od společnosti Festo řady ZBH. Tyto nahrazují kolíky a jsou požity především kvůli jejich malé hmotnosti a kompaktnímu způsobu použití.

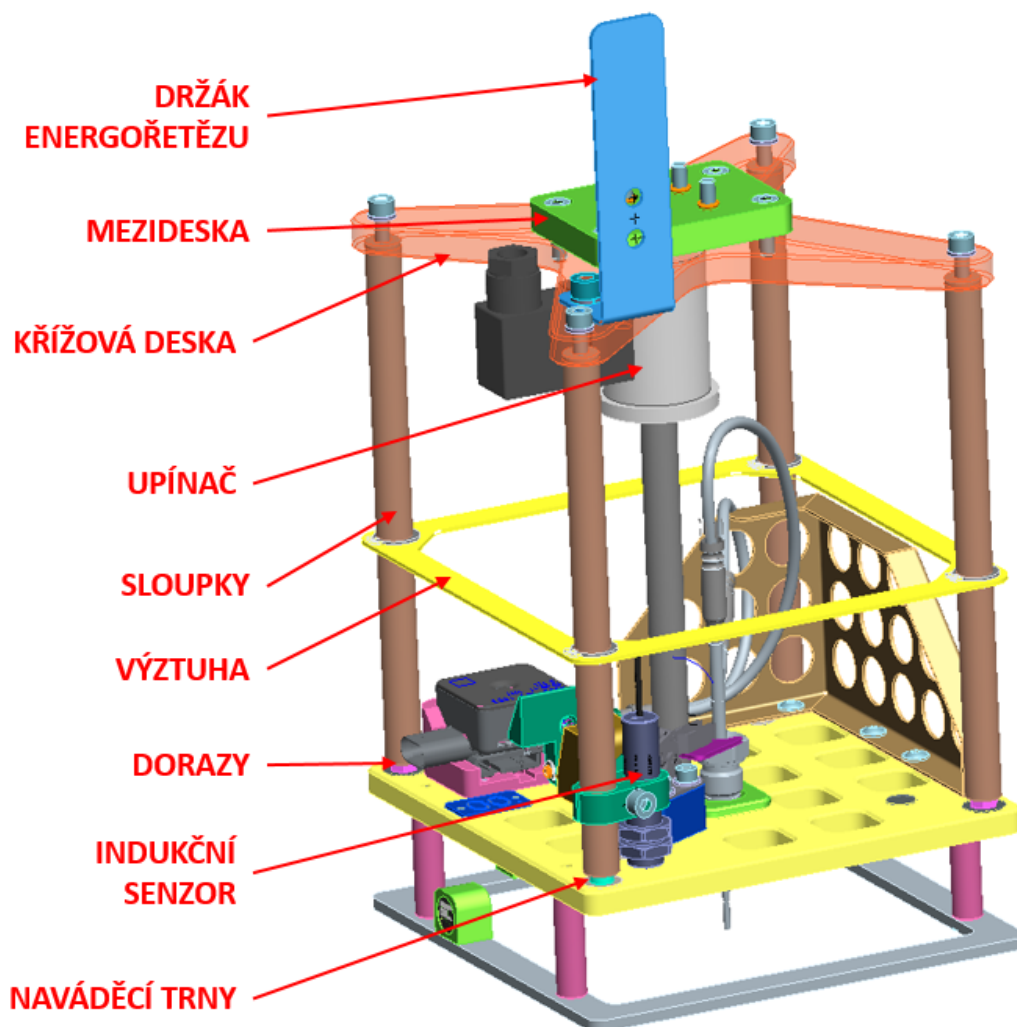
Na křížové desce je umístěn elektromagnetický upínač typu M52177/24VDC od firmy Eclipse Magnetics Ltd. Maximální síla, kterou vyvine upínač, je 250N. Tento upínač přitahuje paletu k hlavě manipulátoru za destičku umístěnou na paletce.

Paleta je ustavena k hlavě manipulátoru pomocí naváděcích trnů a dutinek. Trny jsou umístěny na dvou sloupcích hlavy manipulátoru a pouzdra jsou vsazena v duralové desce paletky. Na zbylých dvou sloupcích (rozích paletky) se nacházejí kalené dorazy. Sloupky jsou v křížové desce uloženy v tolerovaném zahloubení a uprostřed zajištěny plechovým výpalkem pro větší stabilitu konstrukce.

Hlava manipulátoru je také osazena indukčním senzorem M12MI-PSC40B-BV03 od společnosti Balluff indikujícím přítomnost palety na manipulátoru.



Obrázek 38: Navádění paletky



Obrázek 39: Hlava manipulátoru

### 6.3.3 Pevnostní výpočet hlavy manipulátoru

V této kapitole je popsána pevnostní analýza hlavy manipulátoru (obrázek 39), jejíž konstrukce je popsána v kapitole 6.3.2. Cílem je určit bezpečnost a deformace vzhledem k maximálnímu možnému zrychlení manipulátoru. K pevnostním výpočtům byl použit program Solidworks.

#### 6.3.3.1 Zjednodušení modelu

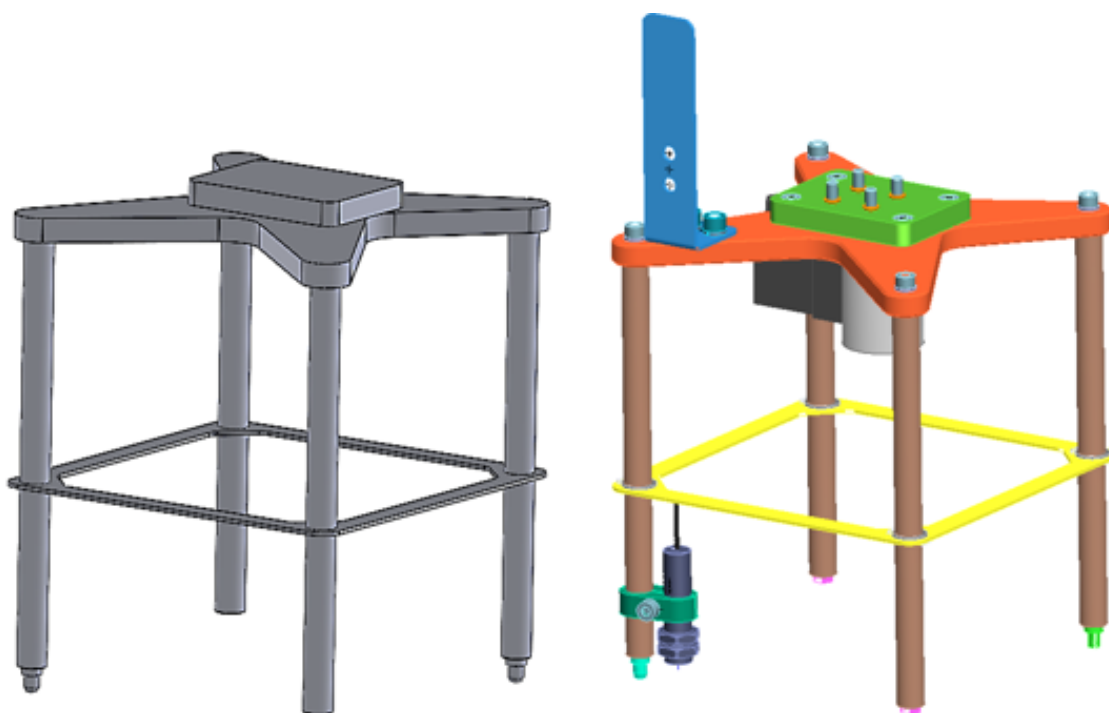
Přesto že se jedná o výpočet zrychlení, tak celá simulace je pro zjednodušení statická. Zjednodušení silových účinků bude uvedeno v kapitole 6.3.3.3.

Model Hlavy manipulátoru byl zjednodušen pro lepší vytvoření sítě a zrychlení výpočtu. Byl odstraněn indukční senzor, jeho držák, držák energořetězu,



elektromagnet a dorazy pro paletku. Dále byly odstraněny veškeré šrouby, díry pro šrouby, závitky zkosení na křížové desce a drážky pro pojistné kroužky. Kontakty mezi součástmi byly určeny jako svařené (vůle v uložení sloupků a vůle mezi výztuhou a sloupky byly vymezeny). Na obrázku 40 je na levé straně zjednodušený model a na pravé straně model původní.

U tohoto modelu nebylo možné použít rovinu symetrie, protože naváděcí trny se nacházejí na protilehlých sloupcích.



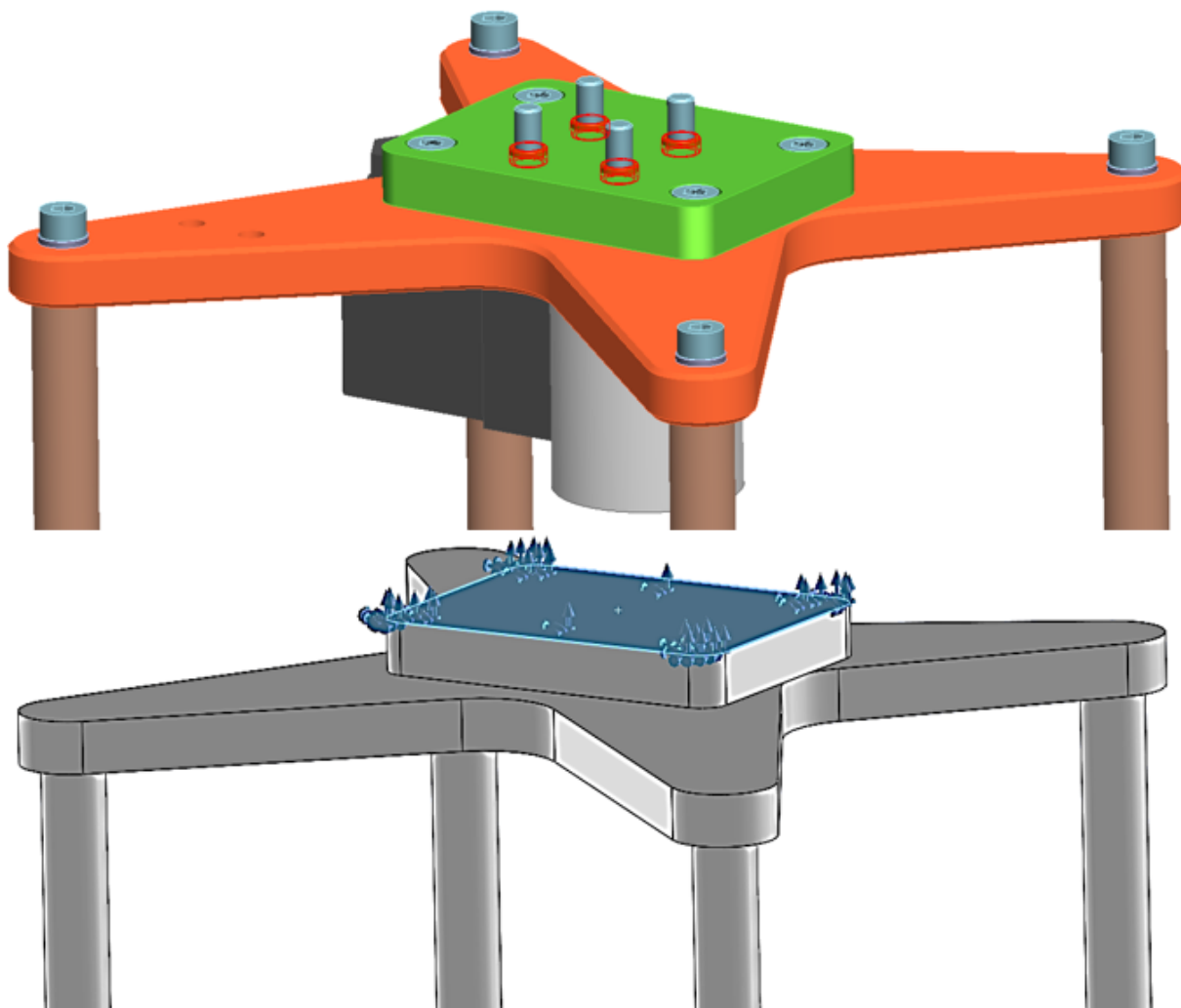
Obrázek 40: Zjednodušení hlavy manipulátoru

### 6.3.3.2 Uložení modelu

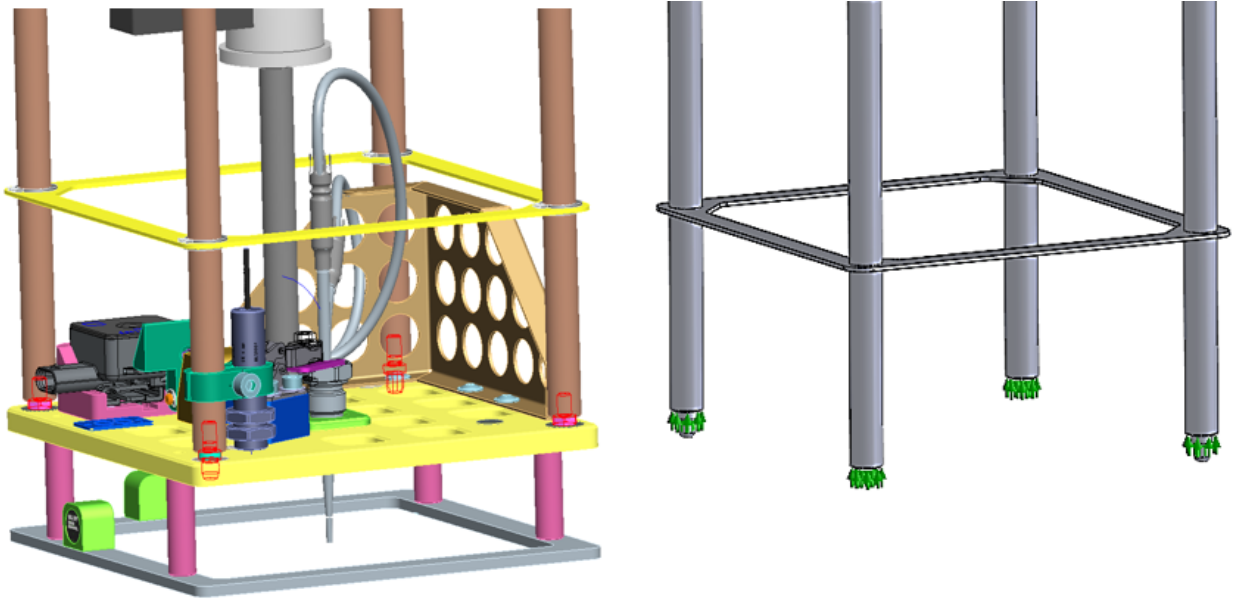
Ve skutečnosti je hlava manipulátoru připevněna přišroubována k manipulátoru pomocí 4 šroubů a dutinek typu ZBH od společnosti Festo (dutinky nahrazují kolíky). Toto uložení bylo nahrazeno vetknutím (nulové posuvy a nulové natočení ve všech osách). Na obrázku 41 je ve vrchní části původní model a ve spodní části obrázku je model pro výpočet s označenou vetknutou plochou.

Pro další uložení bylo uvažován stav, kdy paletka je přitahována magnetem proti dorazům. Paletka je přitahována silou 250N, což má za následek vyztužení konstrukce. V programu Solidworks byl definován vzájemný nulový normálový posun spodních ploch sloupků nahrazujících kontakt s paletkou. Z obrázku 42 je na levé

části patrné, jak je paletka přitahována proti dorazům. V pravé části jsou naznačeny plochy s definovaným nulovým posuvem.



Obrázek 41: Uložení hlavy manipulátoru



Obrázek 42: Uložení paletky na hlavě manipulátoru

#### 6.3.3.3 Zatížení soustavy

Další zatížení je od změny hybnosti vlastní hlavy manipulátoru. Tato změna hybnosti je zanedbána vzhledem k tomu, že těžiště hlavy manipulátoru se nachází velmi blízko od plochy, která je v kontaktu s manipulátorem (50mm od této plochy, obě desky mají dohromady tloušťku 20mm). Odpor vzduchu hlavy manipulátoru i paletky je zanedbán.

Hlava manipulátoru je zatížena od síly magnetu, který přitahuje paletku. Tato síla je 250N a působí kolmo na spodní plochy sloupků.

Dále je hlava manipulátoru zatížena změnou hybnosti paletky. Tato změna hybnosti paletky je definována jako síla umístěná v těžišti paletky a působící na naváděcí trny. Hmotnost paletky je 1,2 kg (ve výpočtech byla uvažována hmotnost paletky 1,5 kg) a maximální zrychlení manipulátoru je až  $7,3 \text{ m/s}^2$  v ose y (obrázek 37). Přejezd v ose y je dlouhý 400 mm. akcelerace i decelerace nabývají stejné hodnoty a to po celé délce přejezdu (200 mm manipulátor akceleruje a 200 mm deceleruje). Čas akcelerace a maximální dosažená rychlost jsou popsány ve vztazích (1) a (2).

Na požadavek zadavatele byl výpočet uvažován pro situaci havárie. To znamená, že se manipulátor rázově zastaví (např. zmáčknutím tlačítka TOTAL



STOP). Pro tento případ byla zadavatelem zvolena decelerace  $100 \text{ m/s}^2$ . Výsledná síla od změny hybnosti paletky je vyjádřena ve vztahu (5) a činí  $150 \text{ N}$ . Manipulátor při zastavování z maximální možné rychlosti během havárie urazí vzdálenost  $15 \text{ mm}$ , jak je patrné ze vztahu (4).

Vstupní veličiny:

$$m = 1,5 \text{ kg}$$

$$a_a = 7,3 \text{ m/s}^2$$

$$s_a = 0,2 \text{ m}$$

$$a_d = 100 \text{ m/s}^2$$

$$t_a = \sqrt{\frac{2 \cdot s_a}{a_a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{7,3}} = 0,23 \text{ s} \quad (1)$$

$$v_{\max} = a_a \cdot t_a = 7,3 \cdot 0,23 = 1,7 \text{ m/s} \quad (2)$$

$$t_d = \frac{v_{\max}}{a_d} = \frac{1,7}{100} = 0,017 \text{ s} \quad (3)$$

$$s_d = \frac{1}{2} \cdot a_d \cdot t_d^2 = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 0,017^2 = 0,015 \text{ m} \quad (4)$$

$$F = m \cdot a = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ N} \quad (5)$$

Kde:

$m$  [kg] – hmotnost paletky

$a_a$  [ $\text{m/s}^2$ ] – maximální zrychlení manipulátoru

$a_d$  [ $\text{m/s}^2$ ] – maximální hodnota decelerace při havárii

$s_p$  [m] – délka dráhy přejezdu během akcelerace

$s_d$  [m] – vzdálenost ujetá během havárie

$t_a$  [s] – čas akcelerace

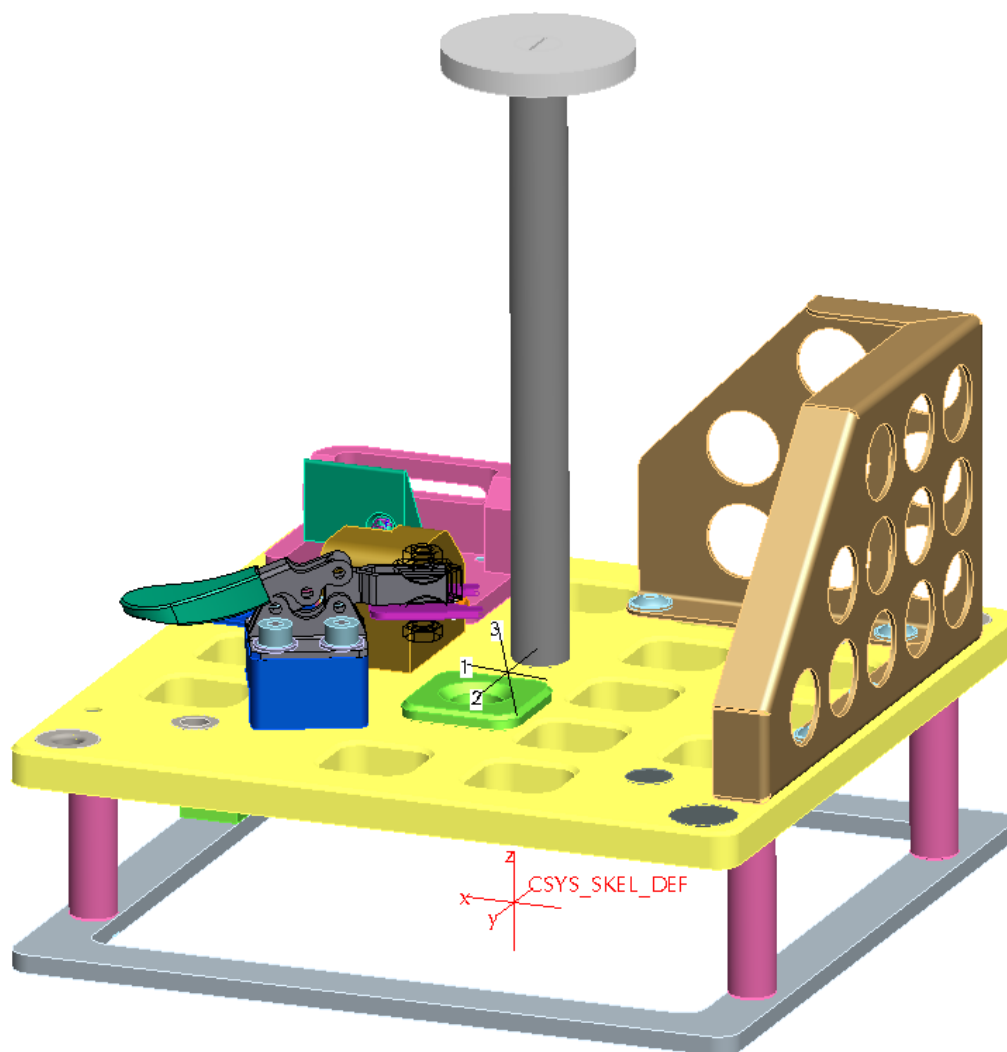
$t_d$  [s] – čas decelerace při havárii

$v_{\max}$  [m/s] – maximální možná rychlost manipulátoru

$v_{\max}$  [m/s] – maximální možná rychlost manipulátoru

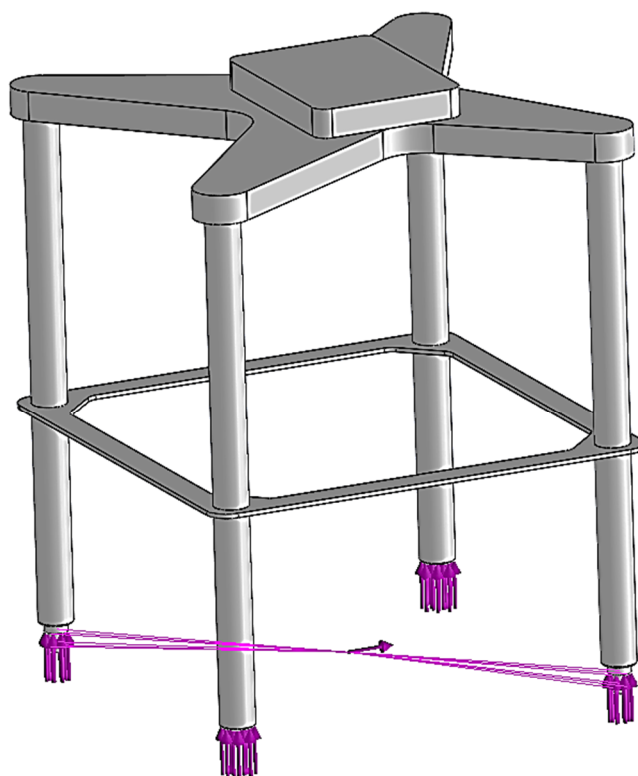
$F$  [N] – síla působící v těžišti paletky během havárie

Poloha těžiště paletky je názorná z obrázku 43 a je vyznačeno černým křížem. Vzhledem k základnímu souřadnému systému (červený kříž) je poloha těžiště posunutá v ose x o 4,03 mm, v ose y o -7,02 mm a v ose z o 46,9 mm.

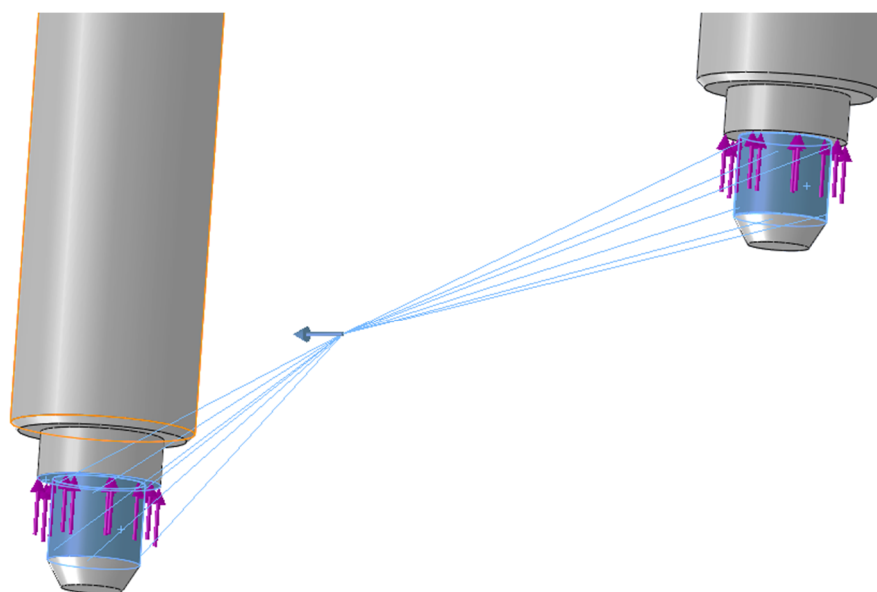


Obrázek 43: Těžiště paletky

Na obrázcích 44 a 45 je vidět umístění sil v modelu hlavy manipulátoru. Normálová síla od magnetu působí na spodky naváděcích trnů a spodní plochy sloupků. Síla od změny hybnosti je umístěna v těžišti paletky a působí na válcové plochy naváděcích trnů.



Obrázek 44: Umístění vnějších působících sil na hlavu manipulátoru



Obrázek 45: Plochy naváděcích trnů, na které působí vnější síly

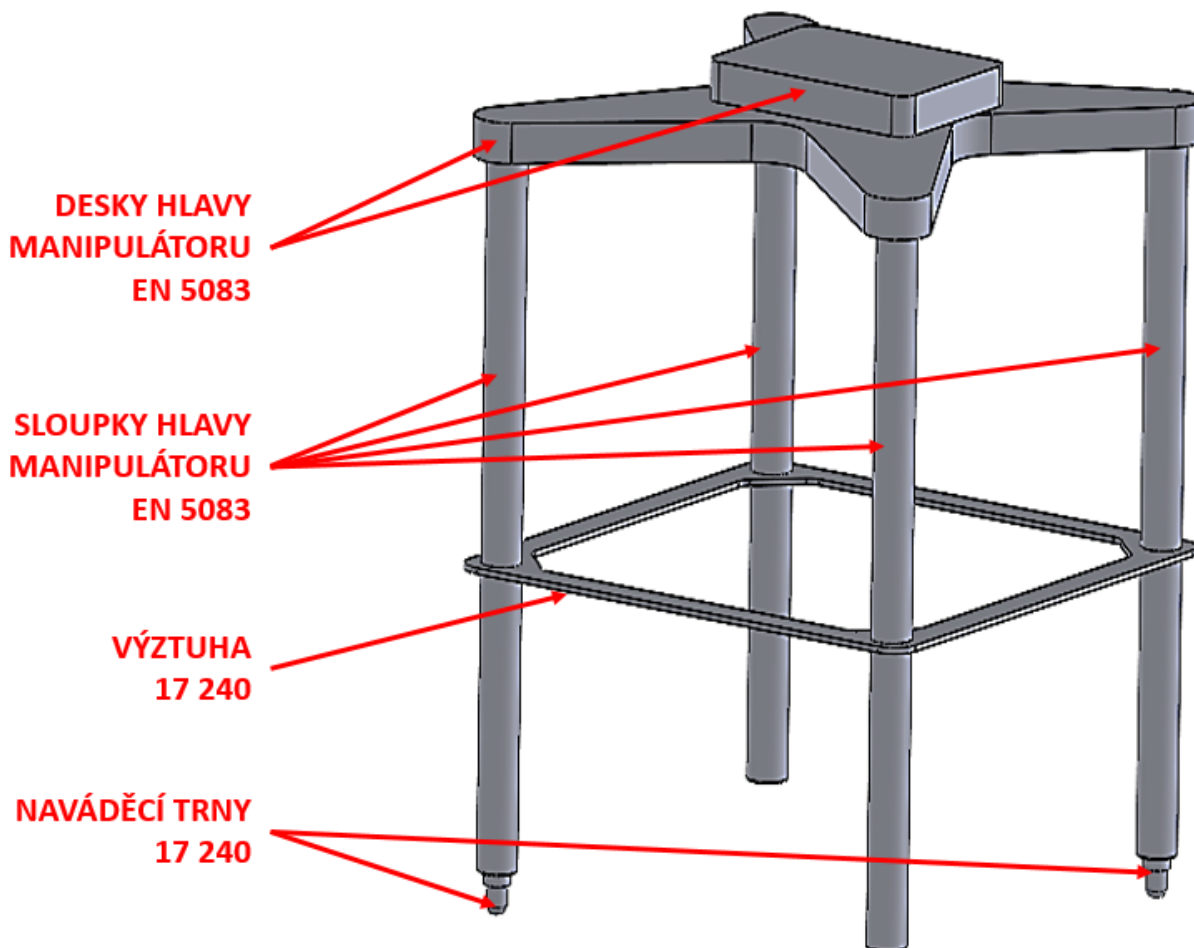
#### 6.3.3.4 Použité materiály a jejich vlastnosti

Jako hlavní stavební materiál pro hlavu manipulátoru byla zvolena slitina hliníku EN 5083 a to především z důvodu úspory hmotnosti. Z tohoto materiálu jsou vyrobeny obě desky (polotovary v broušené úpravě) a sloupky hlavy manipulátoru. Všechny tyto díly byly následně opatřeny vrstvou eloxu.

Výztuha je vypálena z plechu z nerezové oceli 17 240. Tento materiál byl zvolen především kvůli ceně (levnější a rychlejší výroba než výpalek z oceli např. 11 373, protože je nutné použít povrchovou úpravu např. zinkování).

U naváděcích trnů dodavatel (Misumi) neuvádí přesný druh oceli, ze které jsou trny vyrobeny. Zvolil jsem tedy stejný materiál jako u výztuhy a to ocel 17 240.

Základní vlastnosti nutné pro pevnostní analýzu jsou uvedeny v tabulce 3.



Obrázek 46: Materiály hlavy manipulátoru

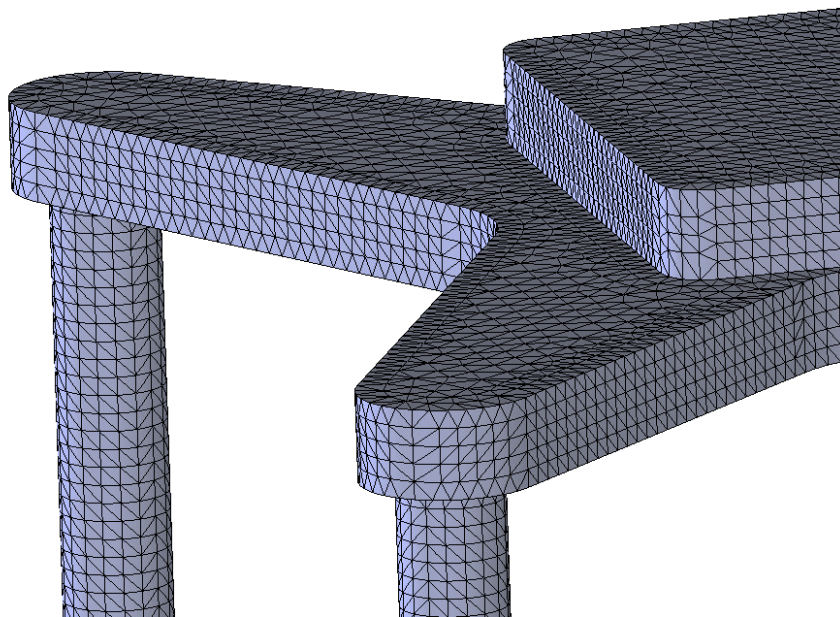
Tabulka 3: Přehled základních vlastností použitých materiálů

	EN 5083	17 240
Youngův modul pružnosti E [N/mm <sup>2</sup> ]	0,7·10 <sup>5</sup>	1.99·10 <sup>5</sup>
Mez Pevnosti R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	275	490
Smluvní mez kluzu R <sub>p0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	125	186
Poissonův poměr μ [-]	0.33	0.3

#### 6.3.3.5 Vytvoření sítě modelu

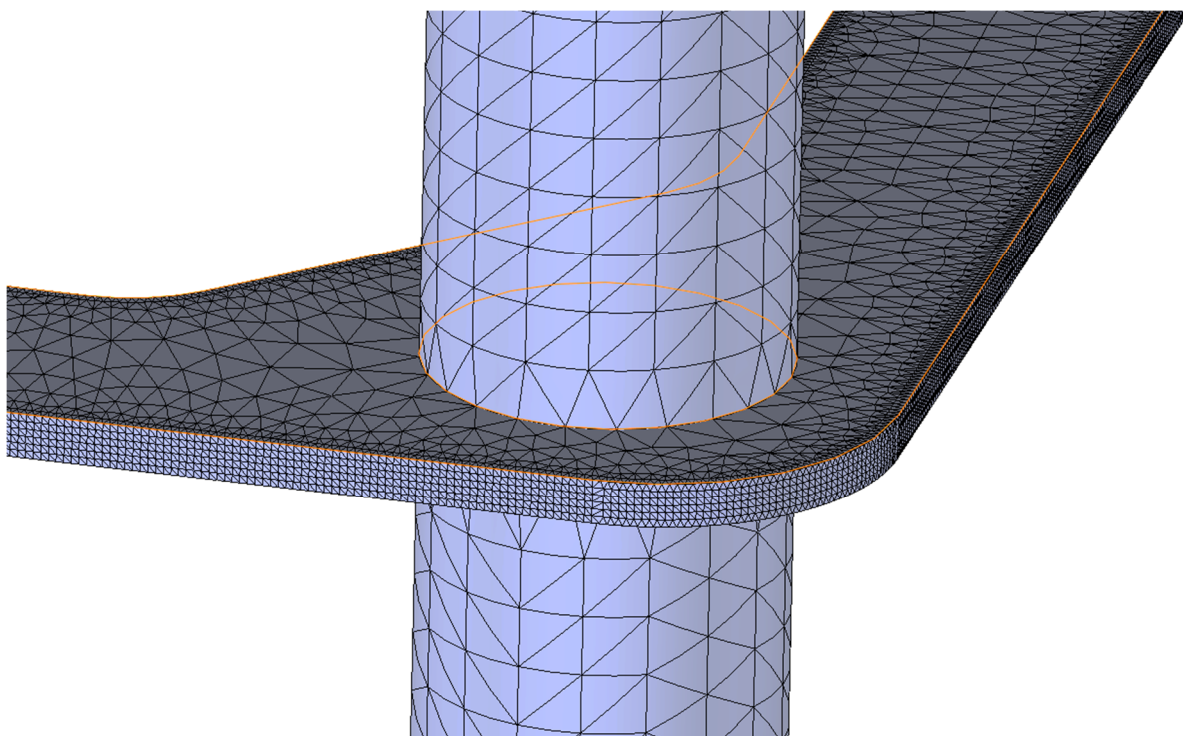
Program Solidworks simulation, stejně jako ostatní MKP řešiče implementované v CAD programech, pracuje jen s jedním typem elementu objemové sítě. Tímto typem je tetrahedrální element (čtyřstěn), přesněji čtyřstěnný element druhého řádu o 10 uzlech označovaný jako C3D10.

Maximální velikost elementu byla stanovena na 3 mm a v některých místech bylo použito zjemnění sítě (je zde i tenkostěnný prvek). Celkem je síť tvořena z 440 571 elementů a 723 605 uzlů. Detaily jednotlivých zjemnění sítě jsou vidět na obrázcích 47 až 49.

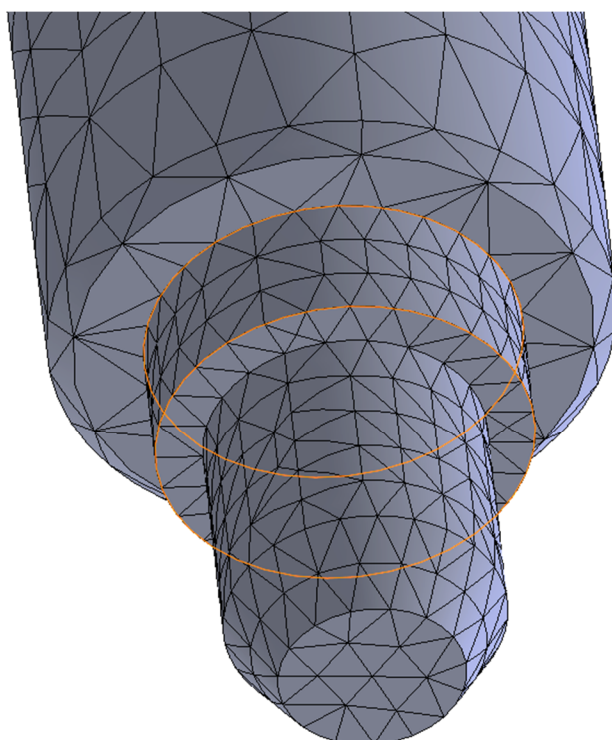


Obrázek 47: Zjemnění sítě na bočních plochách desek a sloupcích





*Obrázek 48: Zjemnění sítě na výztuži*

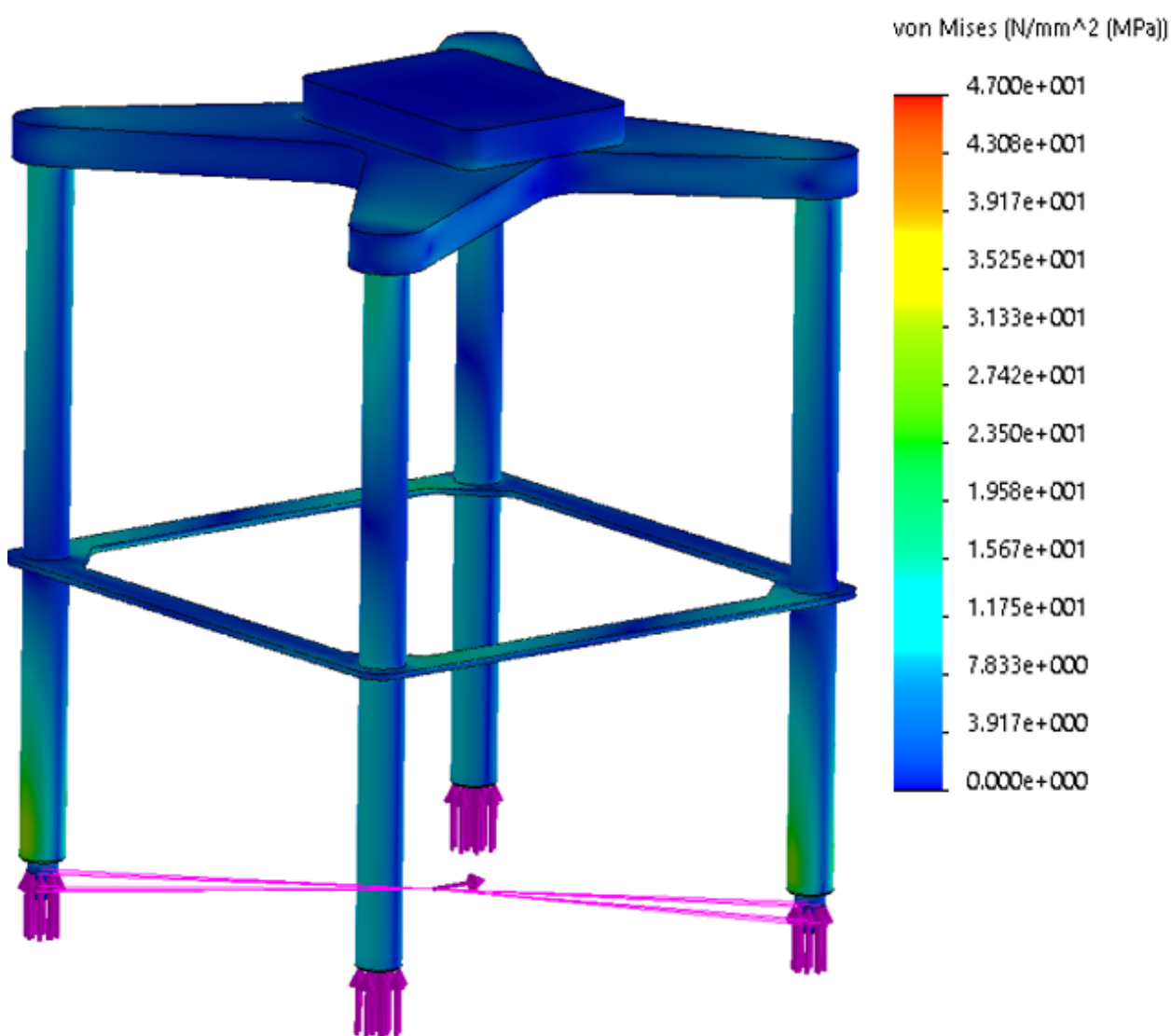


*Obrázek 49: Zjemnění sítě na naváděcích trnech*

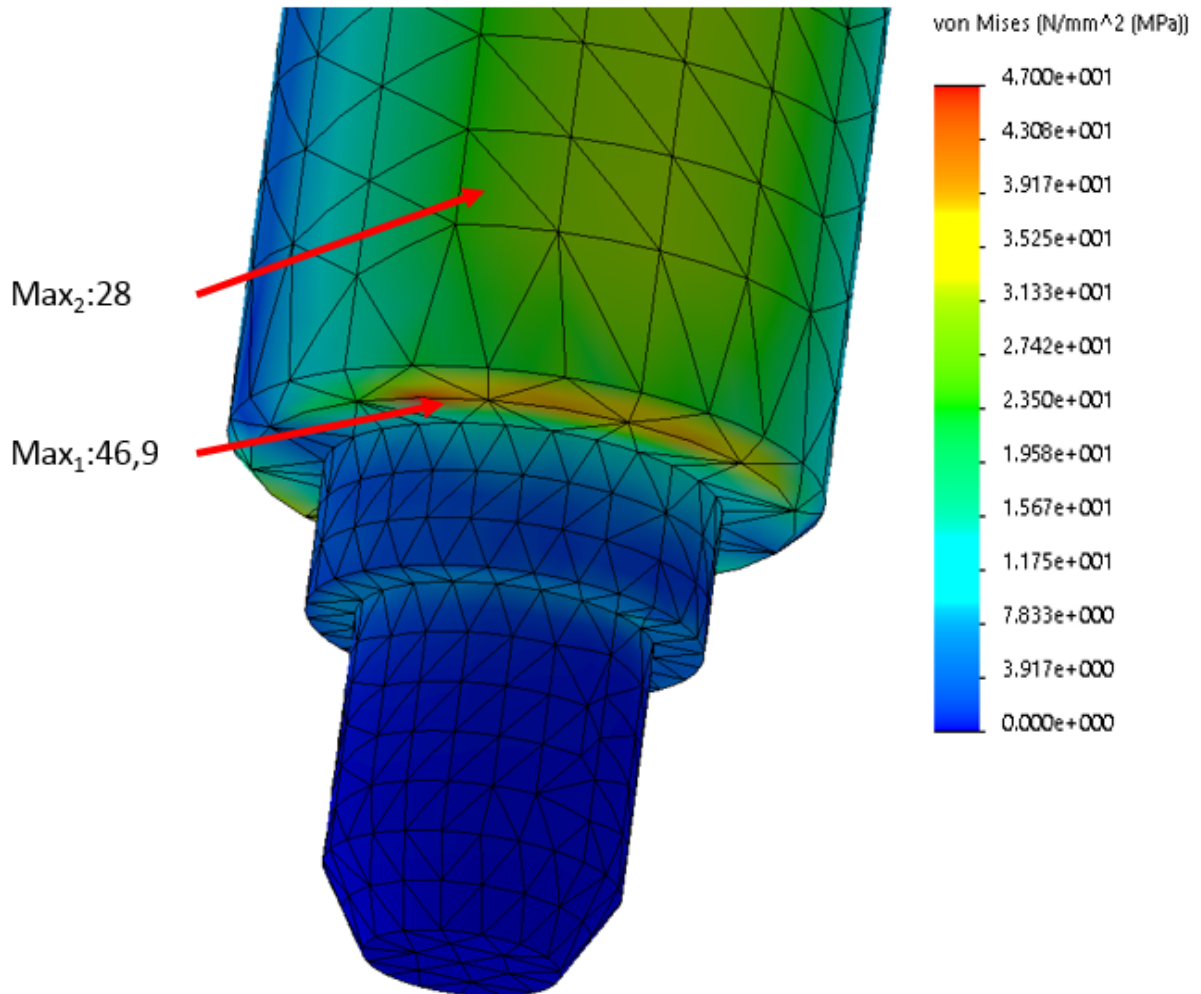
### 6.3.3.6 Výsledky simulace

Jako výsledky simulace byly požadovány tyto: von Misesovo napětí (HMH), posunutí a bezpečnost.

Von Misesovo napětí je vidět na obrázku 50. Maximální napětí je zobrazeno na obrázku 51 jako  $Max_1$  (na obrázku 50 se nachází na sloupku úplně vlevo). Jedná se o lokální hranové napětí pravděpodobně způsobené distribucí sítě. Možným řešením by bylo zjemnění sítě případně použití jiných prvků. Vzhledem k náročnosti řešení nebyla provedena tato úprava MKP modelu. Jde o špičku hodnot v malém objemu.



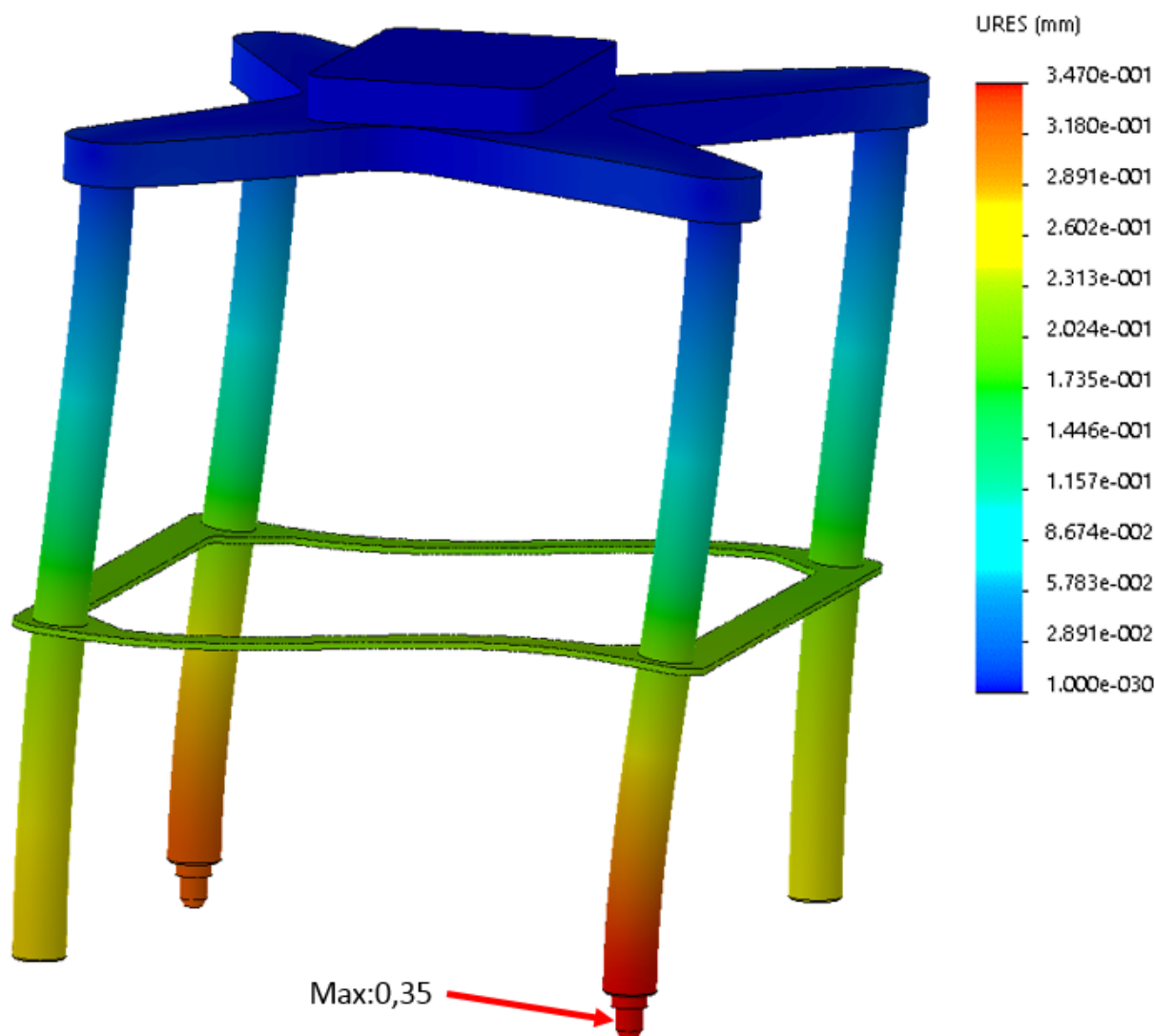
Obrázek 50: Von Misesovo napětí



Obrázek 51: Napěťová singularita

Při neuvažování špiček bylo nalezeno místo největšího napětí na téměř sloupku na jeho válcové ploše nedaleko původního extrému. Toto napětí činí 28 N/mm<sup>2</sup>.

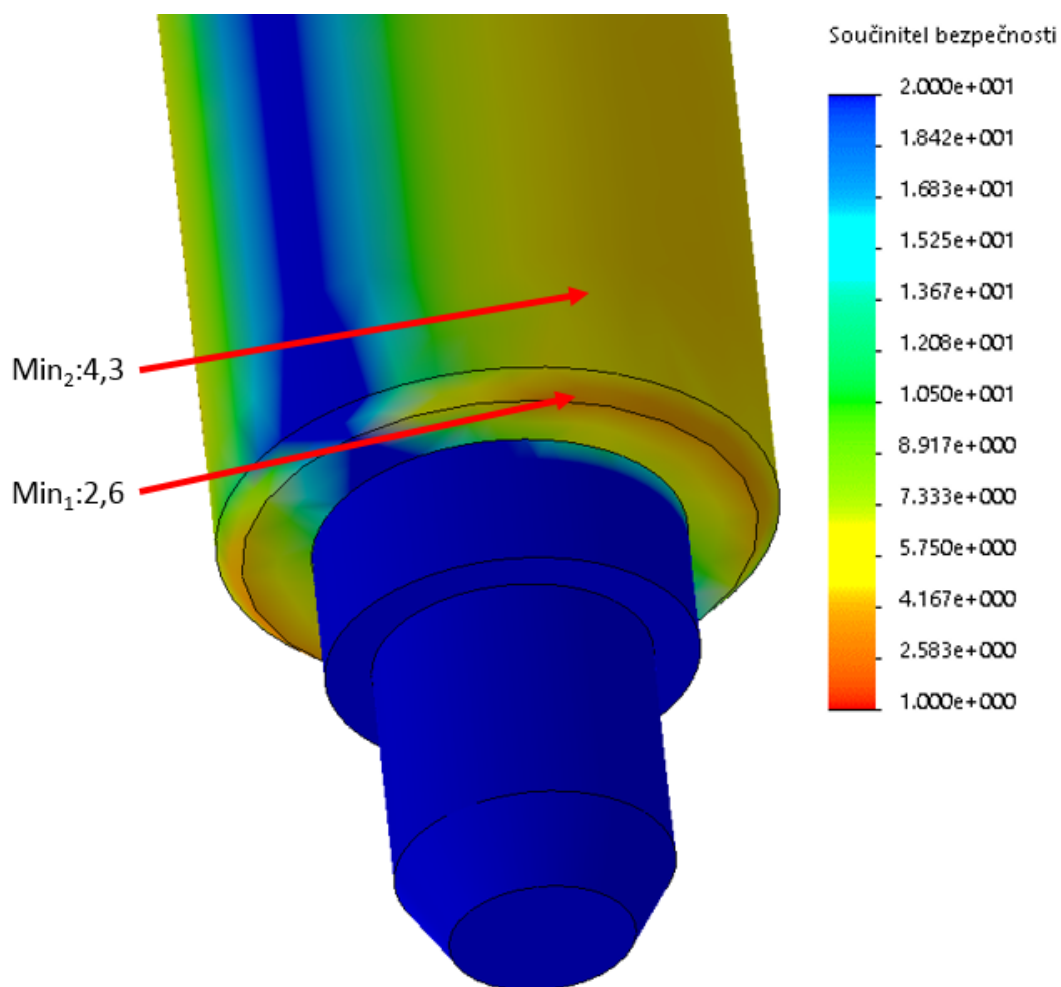
Posunutí je zobrazeno na obrázku 52 a pro názornost je zobrazeno v měřítku 50:1. Maximální velikost posuvu je opět na stejném sloupku jako maximální napětí a jeho hodnota dosahuje 0.35 mm.



Obrázek 52: Maximální posunutí

Co se týče bezpečnosti, tak je opět ovlivněna lokálním hranovým napětím. Nejmenší bezpečnost (na obrázku 53 jako  $Min_1$ ) se nachází v místě největšího napětí a jeho hodnota činí 2.6. Ve skutečnosti však pravděpodobně bude bezpečnost vyšší, zobrazena je na obrázku 53 jako  $Min_2$ . Tato hodnota je 4.3.

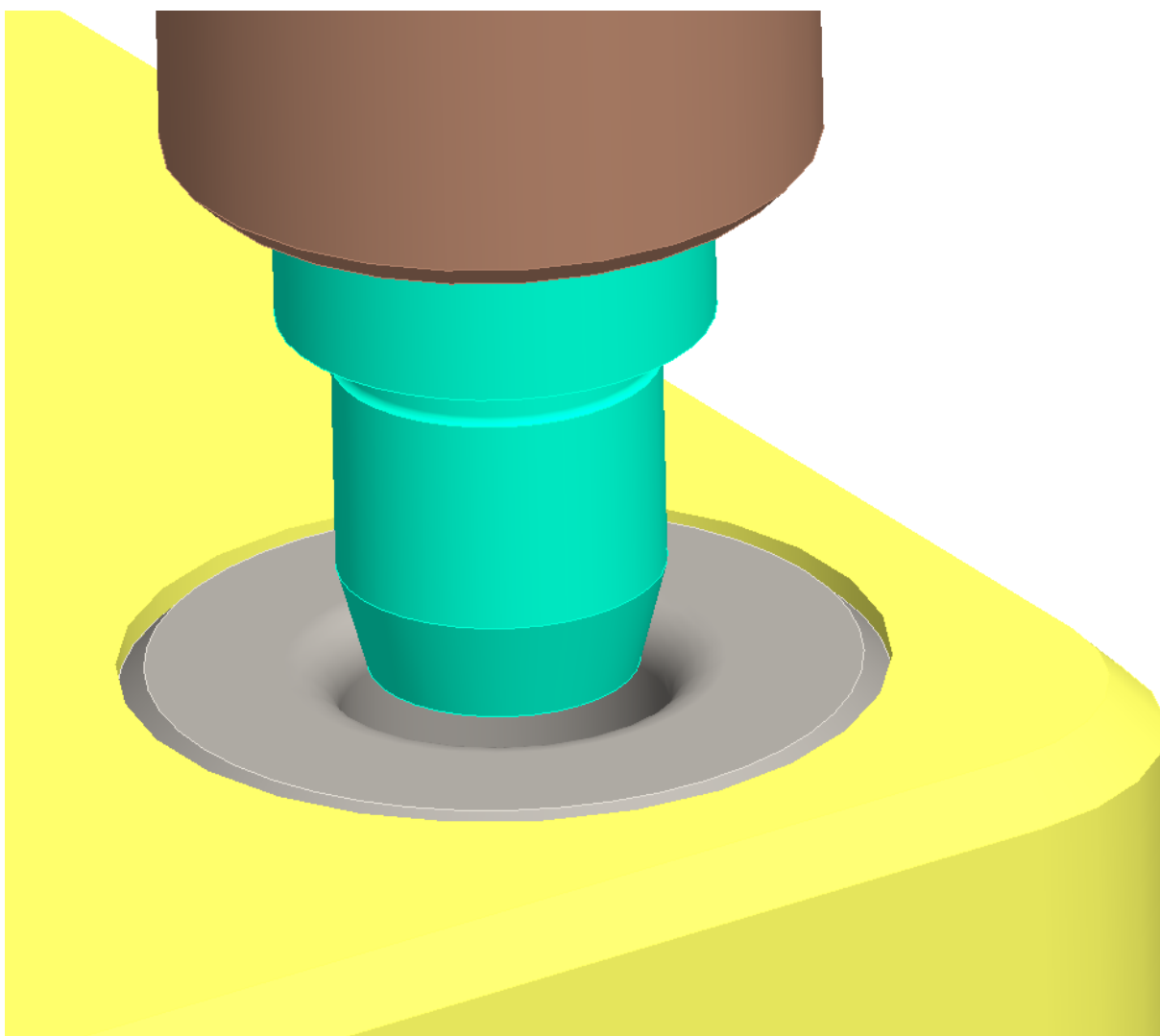
Tyto hodnoty byly považovány vzhledem k uvažovaným zjednodušením za dostačující a to především protože se jedná o stav havárie a ten by neměl nastat příliš často.



Obrázek 53: Minimální bezpečnosti hlavy manipulátoru

### 6.3.4 Výpočet tolerancí

Výpočet tolerancí hlavy manipulátoru a paletky byl prováděn z důvodu zajištění správného uchycení paletky k hlavě manipulátoru. Hlava manipulátoru při odebrání paletky z dopravníku přijede nad paletku, osa z manipulátoru se vysouvá, dokud nenarazí na doraz a následně je spuštěn proud do magnetu. Pro výpočet je uvažován pouze jeden směr a ten je kolmý na směr pohybu dopravníku. Vzhledem k tomu, že paletka dojíždí na plochý doraz, tak není nutné řešit tuto problematiku ve směru pohybu dopravníku (poloha tohoto dorazu je stavitelná a lze jí uzpůsobit).



Obrázek 54: Naváděcí trn a dutinka



Podmínkou pro správné uchycení paletky hlavou manipulátoru je zapadnutí náběhu naváděcího trnu do naváděcí dutinky. Průměr funkční válcové plochy naváděcího trnu je 5 mm a nejmenší průměr náběhu trnu je 3 mm. Průměr funkční válcové plochy dutinky je 5 mm. Na hraně mezi funkční válcovou plochou a vrchní plochou dutinky se nachází zaoblení o poloměru 1 mm.

Ve vztahu (6) je vyjádřen krajní případ, kdy dojde k dosednutí vrcholku trnu na konec zaoblení dutinky. Výsledné maximální možné posunutí naváděcího trnu vůči naváděcí dutince musí být tedy menší než  $T_C=2$  mm.

Vstupní veličiny:

$$d = 3 \text{ mm}$$

$$D = 5 \text{ mm}$$

$$R = 1 \text{ mm}$$

$$T_C = \frac{D-d}{2} + R = \frac{5-3}{2} + 1 = 2 \text{ mm} \quad (6)$$

Kde:

d [mm] – nejmenší průměr náběhu naváděcího trnu

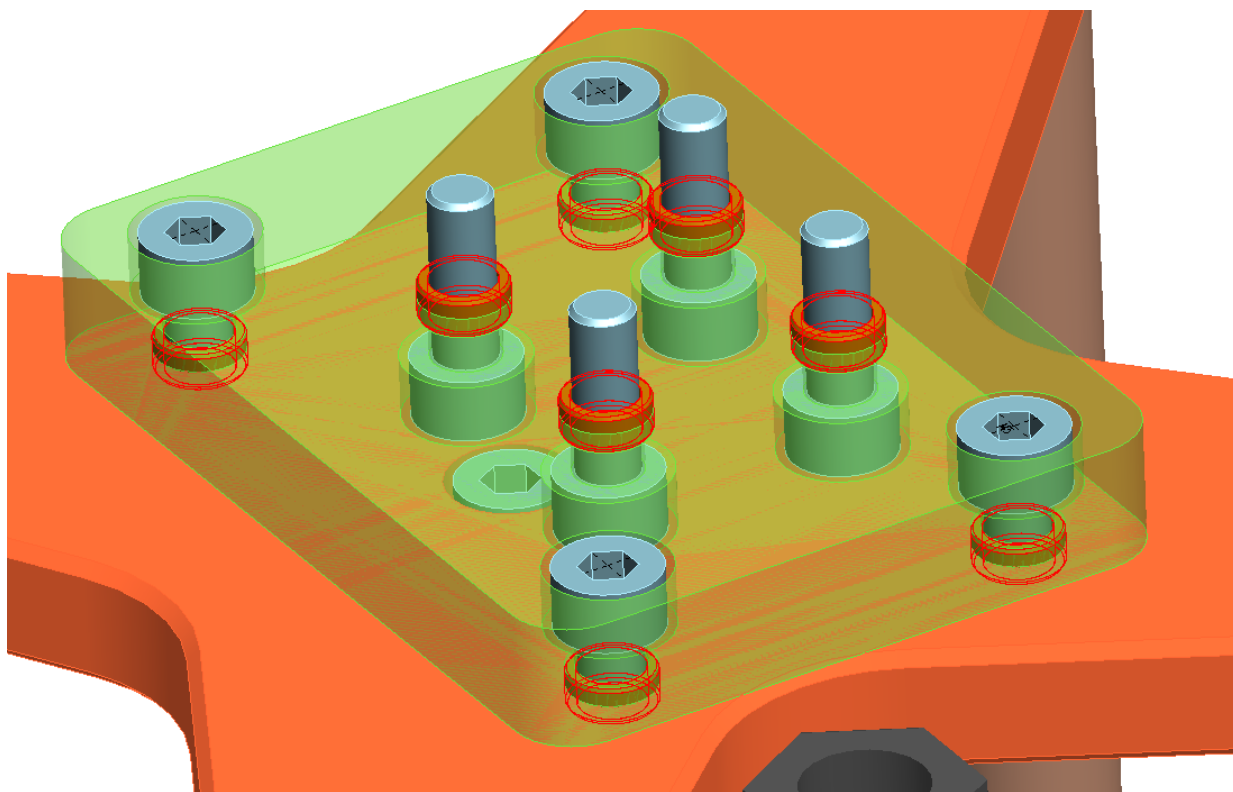
D [mm] – průměr dutinky

R [mm] – rádius naváděcí dutinky

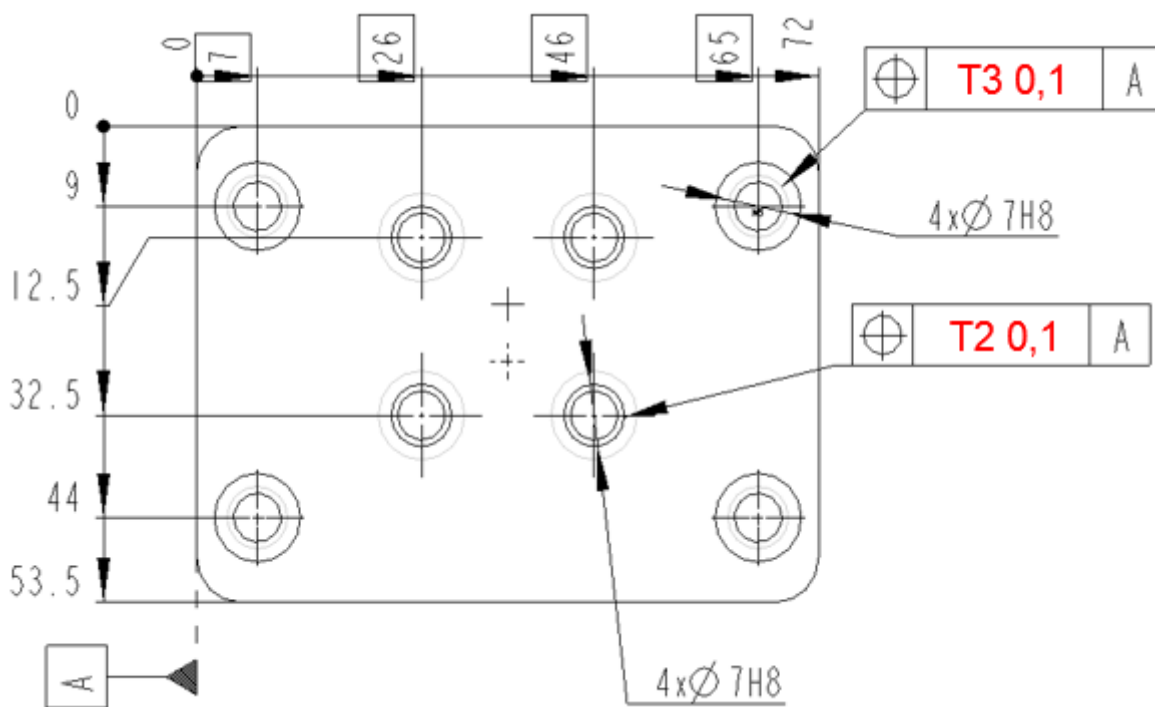
$T_C$  [mm] – maximální možné vychýlení naváděcího trnu a dutinky

#### 6.3.4.2 Výpočet tolerancí hlavy manipulátoru

První veličinou, která vstupuje do tolerančního řetězce, je opakovatelná přesnost manipulátoru. Ta podle výrobce činí  $T_1=0,05$  mm. Osa z manipulátoru je spojena s vrchní deskou manipulátoru pomocí dutinek (ZBH) od společnosti Festo, které nahrazují kolíky. Stejným způsobem je spojena vrchní deska s křížovou deskou (obrázek 55).

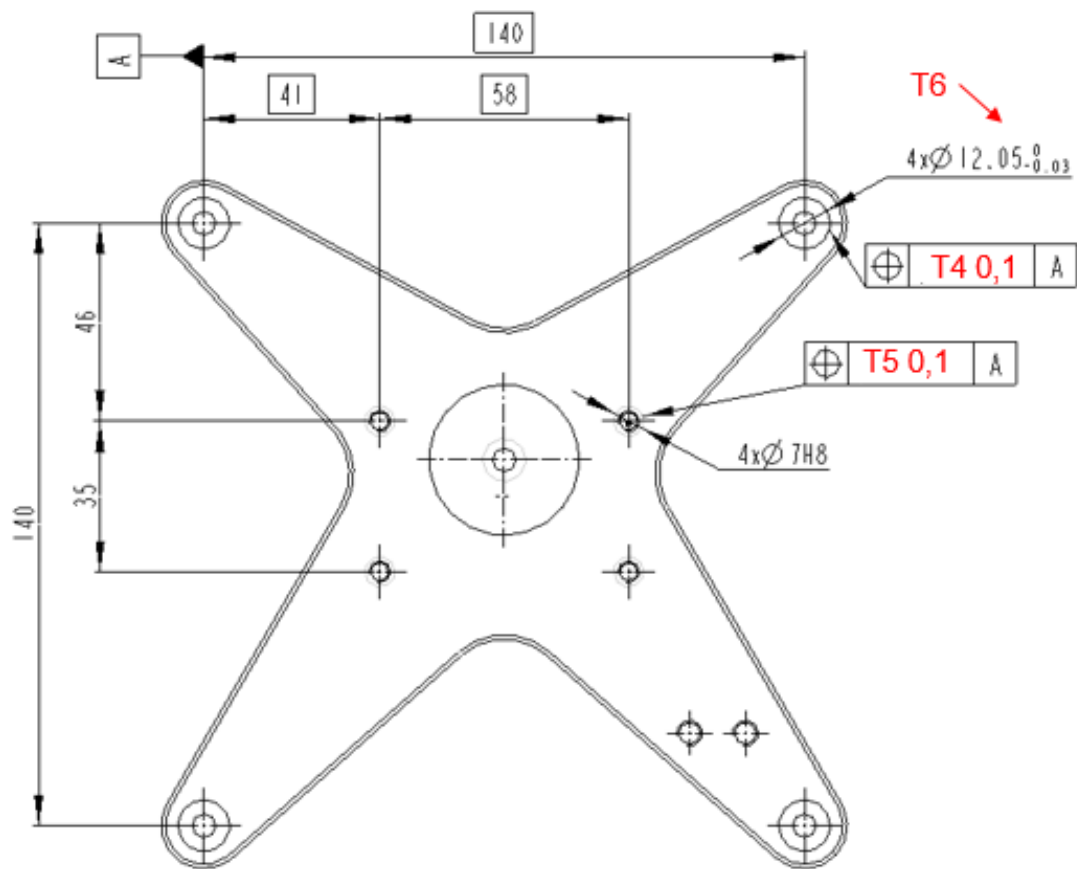


Obrázek 55: Spojení desek hlavy manipulátoru a manipulátoru



Obrázek 56: Tolerance polohy vrchní desky manipulátoru





Obrázek 57: Tolerance polohy děr na křížové desce

Tolerance polohy děr pro dutinky ve vrchní desce jsou zřejmé z obrázku 56. V nejméně příznivém stavu by zde mohlo nastat vzájemné vychýlení polohy děr o 0,1 mm. Úplně stejný případ nastává u křížové desky (obrázek 57), kde vzájemné polohy zahloubení pro sloupky a děr pro dutinky mohou dosáhnout taktéž odchylky 0,1 mm. Dále zde vůle pro uložení sloupků. Tato vůle může dosahovat až hodnoty 0,05 mm na průměru. Každý sloupek bude tedy v nejhorším možném případě odchýlen o  $T6=0,025$  mm od jeho teoretické polohy (obrázek 56).

Ve výpočtu nejsou uvažovány uložení dutinek. Jedná se o uložení  $\varnothing 7$ -H8/g6. Sloupky jsou uvažovány jako přesně kolmé. Ve spodní části sloupků se nacházejí přesné díry pro uložení trnů. Tyto díry se považují za přesně souosé se zahloubením v křížové desce. Uložení trnů je  $\varnothing 5$ -H8/g6 a vůle v tomto uložení je taktéž zanedbána.

Maximální možná odchylka hlavy manipulátoru je vyjádřena ve vztahu (7).



Vstupní veličiny:

$$T1 = 0,05 \text{ mm}$$

$$T2 = 0,1 \text{ mm}$$

$$T3 = 0,1 \text{ mm}$$

$$T4 = 0,1 \text{ mm}$$

$$T5 = 0,1 \text{ mm}$$

$$T6 = 0,025 \text{ mm}$$

$$T_{HM} = T1 + \frac{T2 + T3 + T4 + T5}{2} + T6$$

$$T_{HM} = 0,05 + \frac{0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,1}{2} + 0,025 = 0,275 \text{ mm}$$

(7)

Kde:

T1 [mm] – opakovatelná přesnost manipulátoru

T2 [mm] – tolerance polohy děr pro dutinky na vrchní straně horní desky

T3 [mm] – tolerance polohy děr pro dutinky na spodní straně horní desky

T4 [mm] – tolerance polohy zahloubení pro sloupky na křížové desce

T5 [mm] – tolerance polohy děr pro dutinky na křížové desce

T6 [mm] – maximální možná odchylka polohy sloupku v zahloubení

T<sub>HM</sub> [mm] – maximální možná odchylka hlavy manipulátoru

6.3.4.2 Výpočet tolerancí polohy paletky

Paletka je dopravována po dopravníku a pro hladký chod musí být zajištěna vůle mezi bočním vedením dopravníku a spodní částí paletky. Dopravník disponuje šířkou mezi bočními vedeními 161 mm s tolerancí  $\pm 0,3$  mm. Spodní plech paletky, který je v kontaktu s dopravníkem, má šířku 160 mm s tolerancí  $-0,1$  mm (obrázek 58). K maximálnímu vychýlení paletky od středu dopravníku dojde, když dopravník mezi dopravníkem a spodním plechem palety je největší možná vůle. To znamená, že šířka dopravníku nabývá horní hodnoty tolerance a šířka plechu paletky nabývá spodní hodnoty tolerance. Maximální vychýlení palety ze středové polohy je polovina hodnoty této vůle a je vyjádřeno vztahem (8).

Vstupní veličiny:

$$H_D = 161,3 \text{ mm}$$

$$H_P = 159,9 \text{ mm}$$

$$V = \frac{H_D - H_P}{2} = \frac{161,3 - 159,9}{2} = 0,7 \text{ mm}$$

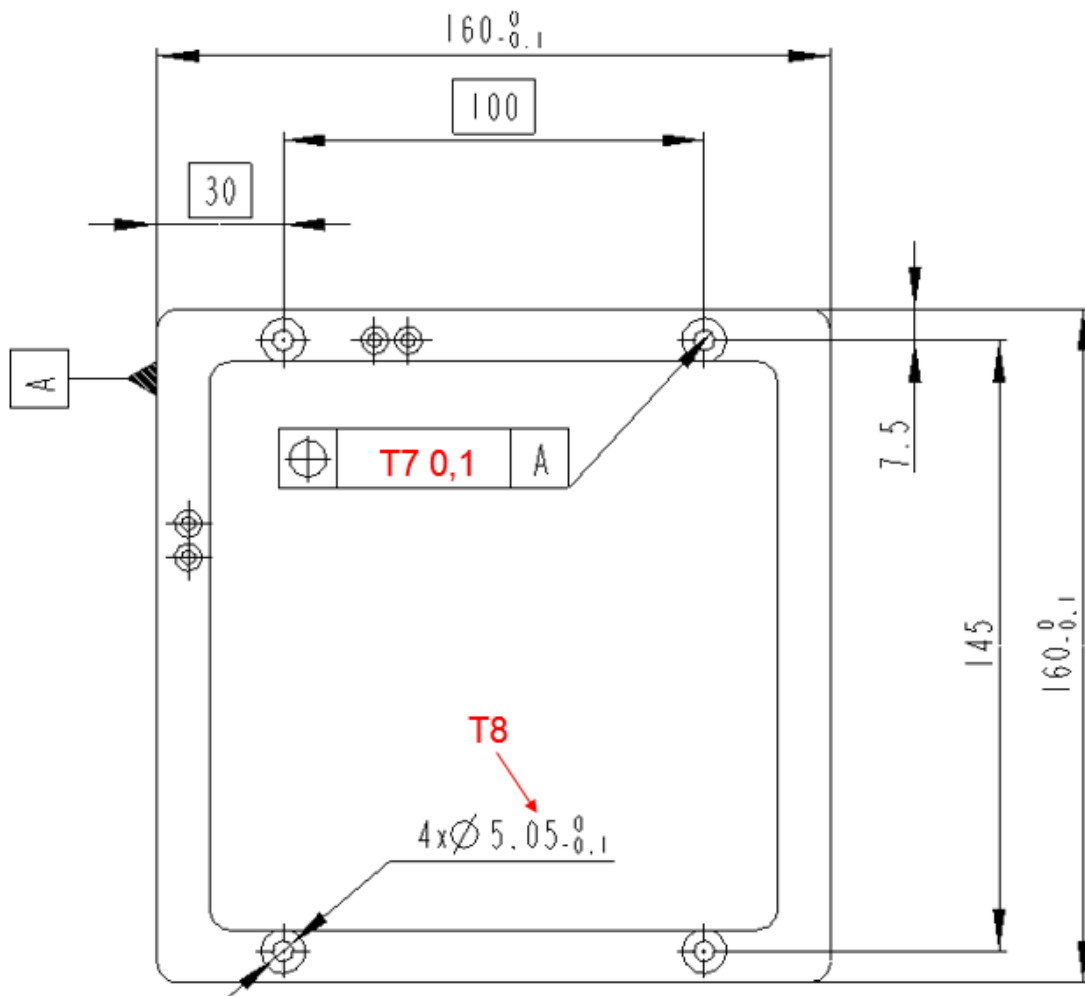
(8)

Kde:

$H_D$  [mm] – maximální možná šířka dopravníku

$H_P$  [mm] – minimální možná šířka paletky

$V$  [mm] – maximální možné vychýlení paletky od středu dopravníku



Obrázek 58: Spodní plech paletky



Paletka (obrázek 26) se skládá ze tří hlavních částí. Je to spodní plech (obrázek 58), vrchní duralová deska (obrázek 59) a sloupky spojující desku a plech. U sloupků je opět uvažováno, že dosedají kolmo na desku i plech a závity v nich umístěné jsou souosé. Vůle v uložení naváděcích pouzder ( $\varnothing 10H8/g6$ ) a vůle v závitech se opět zanedbávají.

Na obrázku 58 je znázorněna tolerance polohy děr pro šrouby (i jejich průměry), které spojují spodní plech a sloupky. Obrázek 59 znázorňuje tolerance polohy závitů spojujících desku se sloupky a toleranci polohy děr pro uložení naváděcích pouzder.

Výsledné maximální možné vychýlení je vyjádřeno ve vztahu (9). A dosahuje hodnoty 0,175 mm.

Vstupní veličiny:

$$T7 = 0,1 \text{ mm}$$

$$T8 = 0,05 \text{ mm}$$

$$T9 = 0,1 \text{ mm}$$

$$T10 = 0,1 \text{ mm}$$

$$T_P = \frac{T7 + T8 + T9 + T10}{2} = \frac{0,1 + 0,05 + 0,1 + 0,1}{2} = 0,175 \text{ mm} \quad (9)$$

Kde:

T7 [mm] – tolerance polohy děr pro šrouby ve spodním plechu palety

T8 [mm] – maximální možná vůle v uložení šroubu ve spodním plechu

T9 [mm] – tolerance polohy děr pro šrouby v desce palety

T10 [mm] – tolerance polohy děr pro uložení naváděcích dutinek

T<sub>P</sub> [mm] – maximální vychýlení naváděcích dutinek v rámci palety





Vstupní veličiny:

$$T_C = 2 \text{ mm}$$

$$T_{HM} = 0,275 \text{ mm}$$

$$V = 0,7 \text{ mm}$$

$$T_P = 0,175 \text{ mm}$$

$$T_C > T_{HM} + V + T_P \rightarrow 2 > 0,275 + 0,7 + 0,175 \rightarrow 2 > 1,15 \quad (9)$$

Kde:

$T_C$  [mm] – maximální možné vychýlení naváděcího trnu a dutinky

$T_{HM}$  [mm] – maximální možná odchylka hlavy manipulátoru

$V$  [mm] – maximální možné vychýlení paletky od středu dopravníku

$T_P$  [mm] – tolerance polohy děr pro uložení naváděcích dutinek

### 6.3 Popis krytování – bezpečnost obsluhy

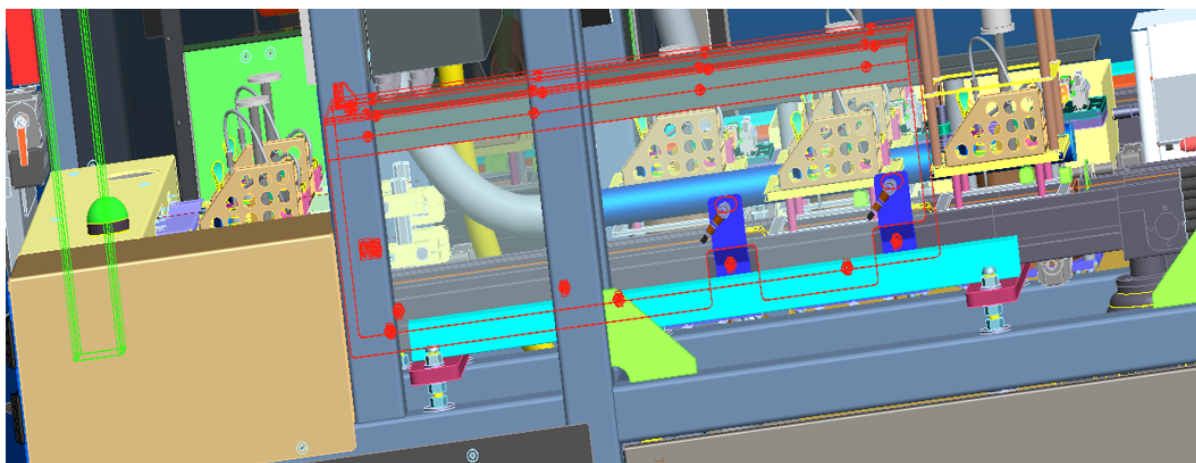
Prostor pro obsluhu bylo nutné zakrytovat, aby nemohlo dojít k poranění operátora. Konceptně to bylo pojato tak, aby řešení bylo co nejlevnější. To znamená vyhnout se nákupu optických závor. Mezery mezi kryty, či jednotlivými díly nesmí přesahovat 4 milimetry. V dosahu nesmí být žádné ostré hrany a podobně. Operátor obsluhuje první stanici zakládání a poslední stanici odebrání. Zde bylo tedy nutné zajistit tuto bezpečnost. Ostatní části stroje jsou zakrytované.

Krytování před těmito stanicemi tvoří jakýsi pult a je tvořeno nerezovými plechy (17 240). Tento pult je podepřen sloupky, pro zajištění stability v případě, že by se operátor o tento pult opřel. Zároveň je zde umístěn ovládací prvek. Prostor za těmito stanicemi je krytován jedním plechem a makrolonovou výplní. V té jsou umístěny ovládací a signální prvky.



Obrázek 60: Prostor pro obsluhu

Na pravé straně se nachází tunel (obrázek 61), kterým paletky pokračují po dopravníku na pozice bufferů a na pozici odebírání paletky manipulátorem. Tento tunel je dostatečně dlouhý, aby obsluha nemohla zasáhnout do prostoru manipulátoru.

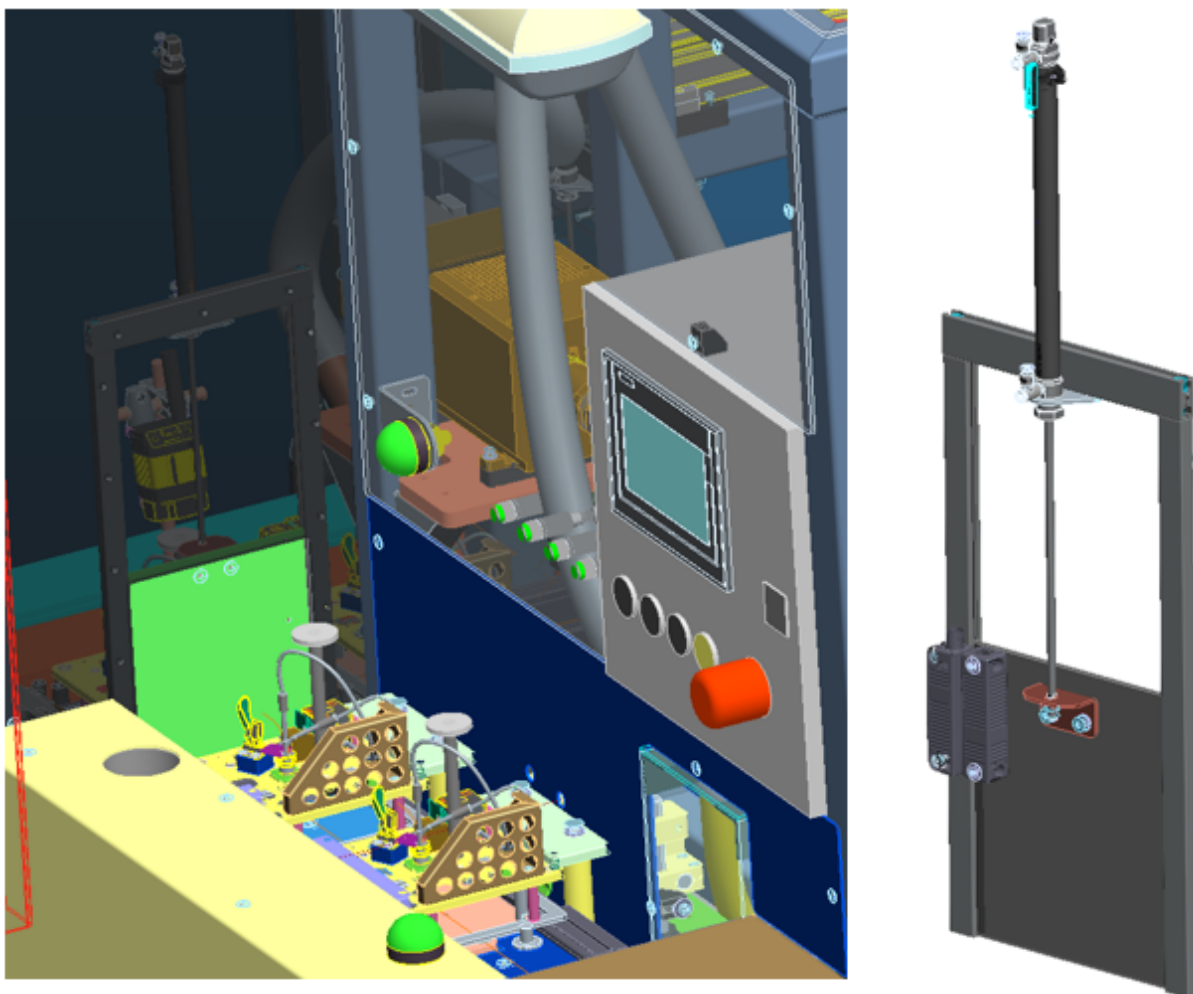


Obrázek 61: Tunel

Na levé straně od prostoru pro obsluhu se nachází „temná komora“, ve které se nachází stanice značení a kontroly DMX kódu. Tento prostor je zakrytován plechy a černými neprůhlednými makrolony. To je především kvůli tomu, aby nepronikaly odražené paprsky laseru mimo tento prostor.

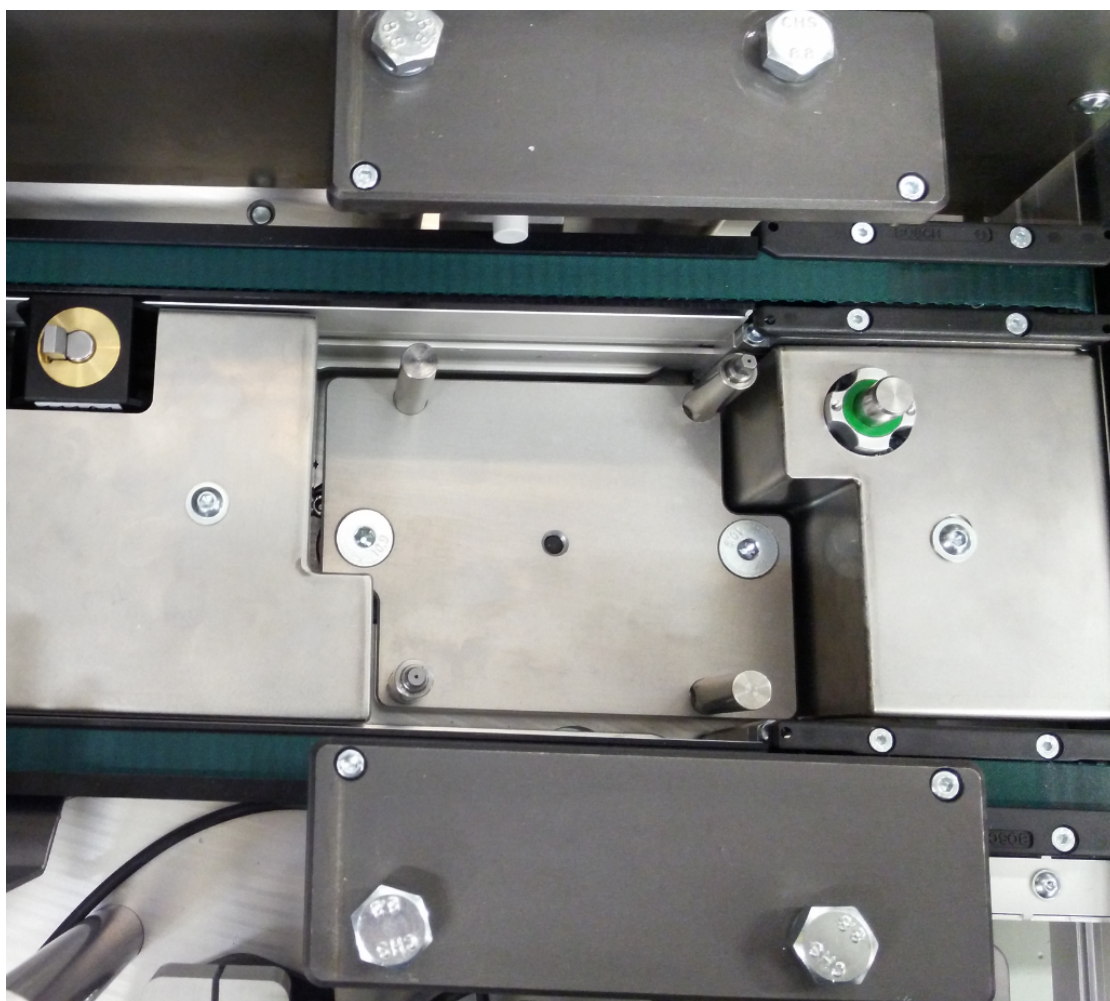
Vstup a výstup z této komory je zajištěn pomocí gilotinových dveří (obrázek 62). Tyto dveře jsou opatřeny magnetickým zámekem, poskytujícím informaci, zda jsou dveře zavřeny. V případě že laser značí housing DMX kódem musí být oboje dveře zavřené, aby nedocházelo k úniku paprsků mimo komoru. Dále zamezují operátorovi zasáhnout do prostoru manipulátoru. Ten tedy v kombinaci s tunelem může pracovat nepřetržitě.





Obrázek 62: Gilotinové dveře

Na stanici zakládání se nachází přízdvih pro zajištění správné a stabilní pozice paletky při zakládání výrobku. Tento přízdvih je zakrytován tak, aby nevznikala žádná střížná hrana a nemohlo by dojít k poranění operátora. Dochází zde ale k možnosti vložení prstu mezi paletku a doraz přízdvihu. Pneuválec zajišťující zdvih byl tedy seřízen škrťacími ventily tak, aby nedošlo k poranění. Toto seřízení bylo odzkoušeno simulací provozního stavu vložení končetiny.



Obrázek 63: Krytování přízdvihu

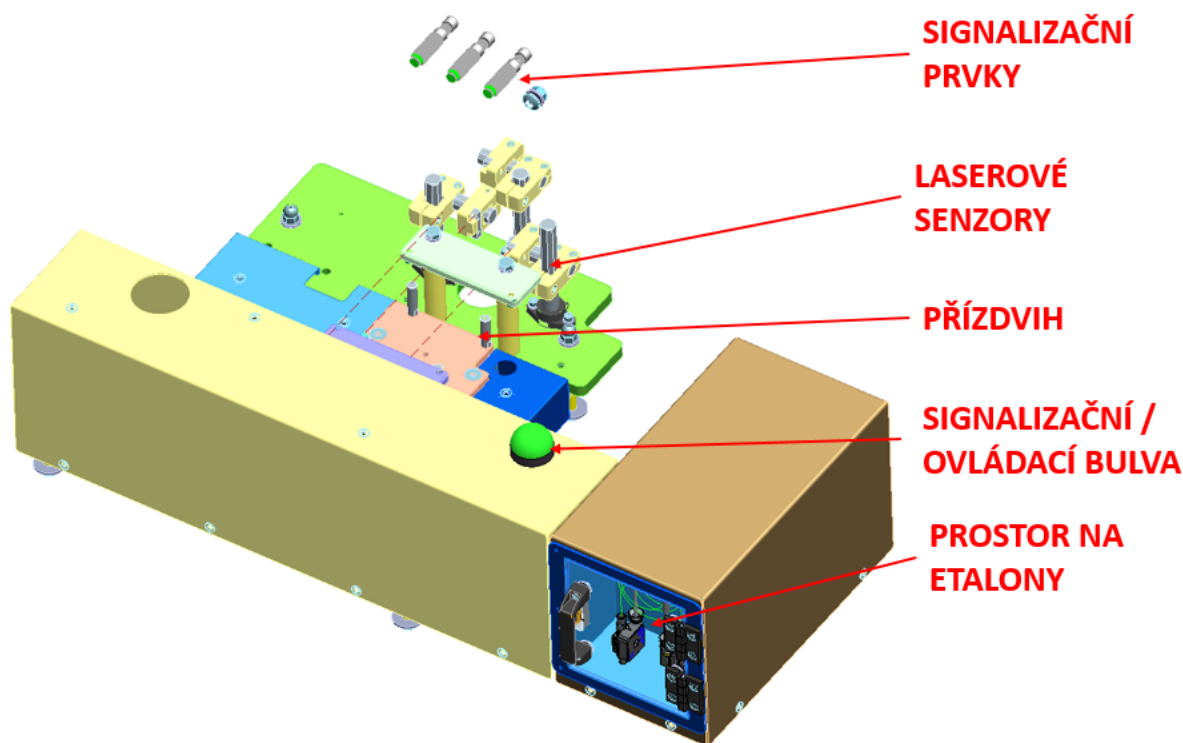
## 7 Popis jednotlivých stanic testovací linky

V následujících kapitolách budou popsány jednotlivé stanice, jejich funkce a popis jejich konstrukce. Jedná se o stanice založení, testování (ohřevu), chlazení, a odebrání.

### 7.1 Stanice založení

Ve stanici založení, jak její název napovídá, dochází k zakládání výrobku do paletky. Celý proces začíná přijetím paletky do této stanice a zastavením na stoperu. Dále dochází ke zvednutí přízdvihu a zajištění palety v přesné poloze (to je nutné kvůli sensorům zjišťujícím správné založení výrobku). Do paletky je založen výrobek a je zajištěn upínkami. Po správném založení všechny signalizační prvky svítí zeleně

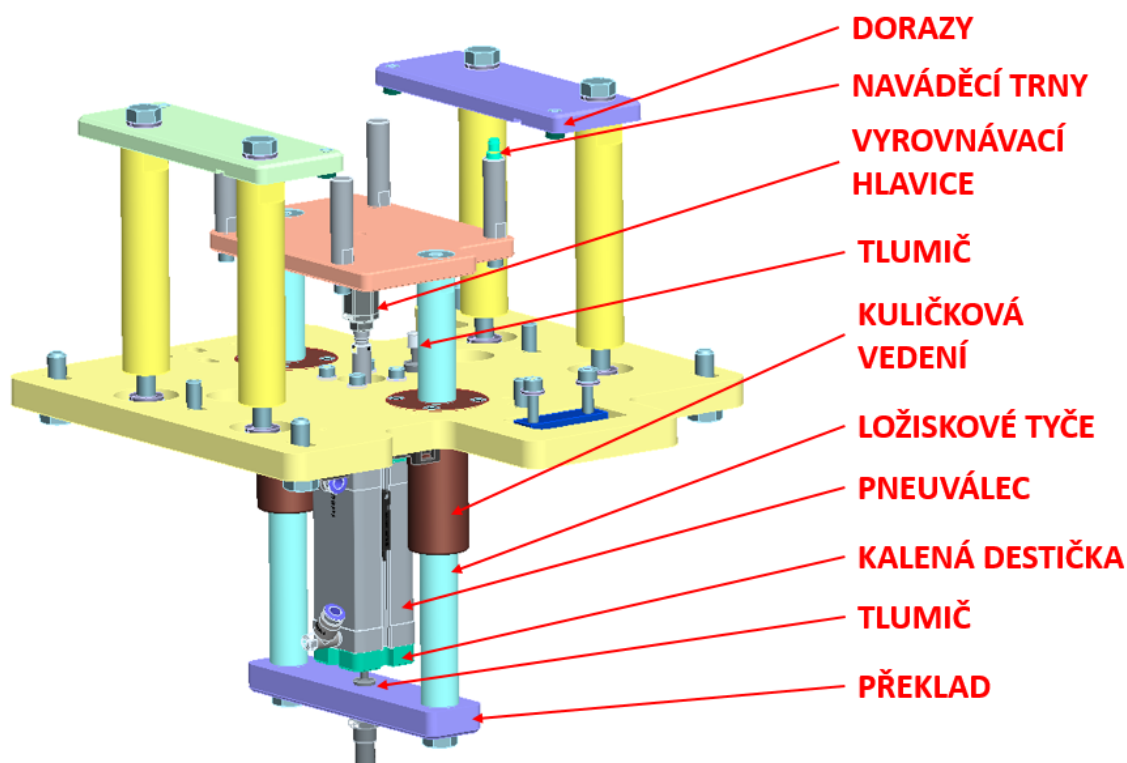
a zeleně se rozsvítí ovládací bulva. Po jejím sepnutí přízdvih sjíždí do spodní polohy, následuje spuštění stoperu a vypuštění paletky po dopravníku na pozici prvního bufferu. V příloze 2 se nachází sestavný výkres této stanice. Výkresy byly vypracovány podle požadavků zadavatele.



Obrázek 64: Stanice zakládání

### 7.1.1 Přízdvih pro ukotvení paletky

Přízdvih na této stanici zakládání zajišťuje přesné ustavení paletky, a to především z toho důvodu, aby byla paletky vždy ve stejné poloze. To je z důvodu snímání správného založení a upnutí výrobku (popsáno v kapitole 7.1.2.).



Obrázek 65: Přízdvih

O zajištění zdvihu se stará pneuválec, který zvedá desku, na které jsou umístěny sloupky s hroty a dorazy. Tyto hroty zapadají do paletky a dorazy se opírou o dorazové kameny ve spodní části duralové desky paletky. Celá paletka je přizvednuta proti dorazům ve vrchní části přízdvihu. Celá pohyblivá část je vedena pomocí sloupků vedených v kuličkových pouzdrech od firmy Misumi.

Za zmínku ještě stojí propojení těchto sloupků ve spodní části duralovým překladem. Na té je umístěn tlumič, který tlumí příjezd do vrchní polohy. Tento tlumič naráží do kalené destičky, která je umístěna ze spodní části pneuválce. Spodní poloha je taktéž odtlumena tlumičem umístěným v základní desce. Na pístnici pneuválce je umístěna kompenzační hlavice pro zachycení nesouosostí.

Základní deska přízdvihu je přišroubována k hlavní desce, která zahrnuje skoro celou oblast obsluhy (společná pro stanice zakládání a odebírání).

Ve stanici zakládání nebyl použit stoper od společnosti Bosch Rexroth, a to kvůli zástavbě. Stoper je použit d společnosti festo. Přízdvih nebyl použit nakupovaný od výrobce dopravníků, a to především kvůli atypickému tvaru naší palety.

Při konstrukci těchto přízdvihů vycházeno ze zkušeností z předchozích realizací. Bylo použito typově obdobné řešení, které je duševně vlastněno JHV, a nemůže být detailně publikováno.

### 7.1.2 Poloha a logika laserových čidel určujících správné založení

Na stanici zakládání přijede paleta a přízdvih ji zvedne proti dorazu. Tak je zajištěna vždy stejná pozice palety. Dochází k založení výrobku, a to je indikováno třemi laserovými senzory od společnosti Balluff (BOS Q08M-X-LS20-02).



Obrázek 66: Laserové senzory

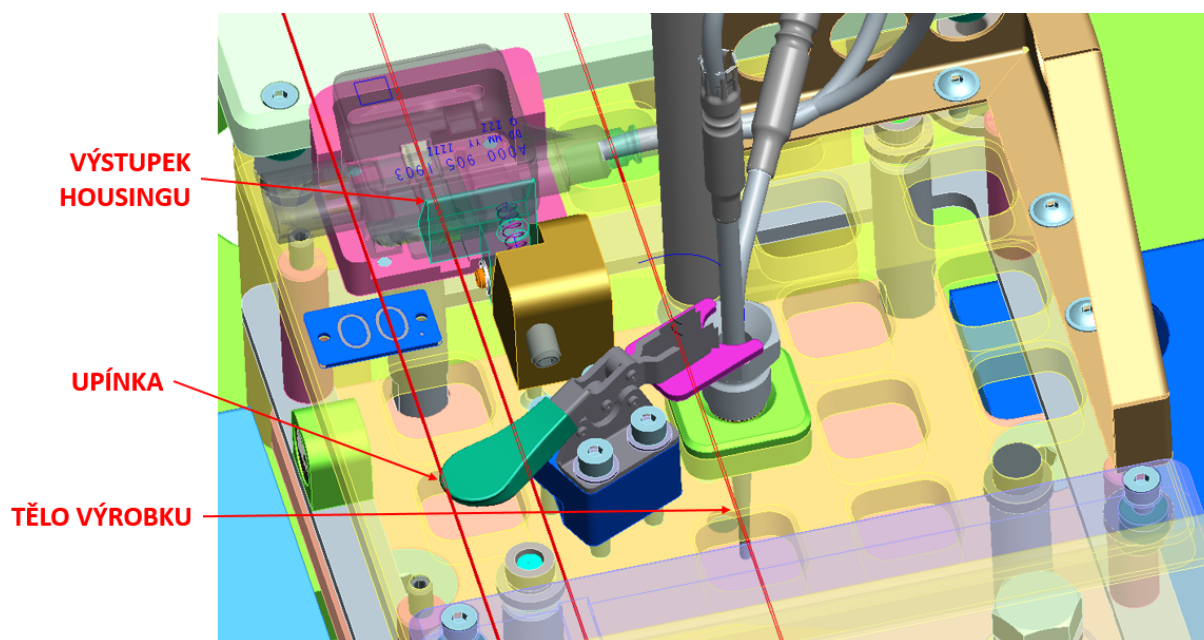
Jedná se o určení polohy termočlánu, kde senzor svítí pod paletou skoro na jeho špičku. Tento senzor nám indikuje kolmost a sousost termočlánu vzhledem k lůžku. Druhý senzor snímá polohu páčky upínky a udává informaci o správném upnutí výrobku v lůžku. Třetí senzor snímá výstupek na spodní části housingu. Housing není možní zajistit v lůžku v jiné než správné poloze.

Na tyto senzory jsou napojeny signální prvky, umístěné na krytování před obsluhou. Každý signální prvek odpovídá jednomu senzoru.

U všech senzorů je použita obrácená logika. Tedy pokud přijímač nedetekuje signál, tak je vše správně a vyšle o tom informaci do PLC.

Zmínil bych zde ještě sloupkový systém, na kterém jsou umístěny senzory. Tato konstrukce z vyráběných dílů je sice o něco dražší, ale poskytuje jednu výhodu. A to, že při povolení jednoho šroubového spoje (dvojice) můžeme měnit polohu pouze v jedné ose (natočení nebo posuv).

Na této stanici se taktéž nachází RFID vyhodnocovač a indukční čidlo snímající přítomnost palety.



Obrázek 67: Snímání založení

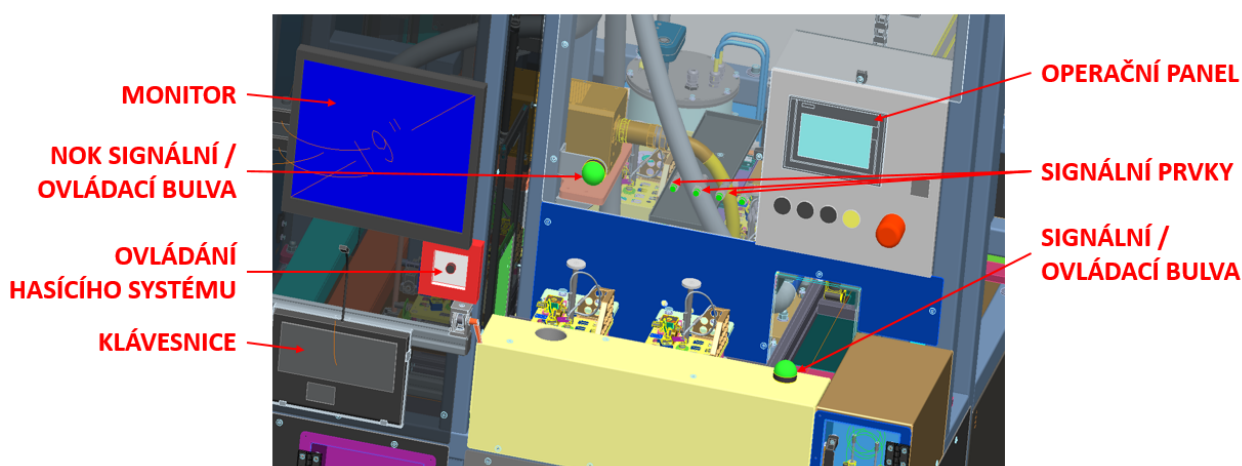
### 7.1.3 Poloha ovládacích částí a signalizace

V prostoru pro obsluhu se nacházejí tři signální prvky, dva ovládací a zároveň signální prvky, operační panel, monitor s klávesnicí a tlačítko ovládací hasící systém.

Při zakládání signalizují správné založení tři signálky. Červená barva signalizuje nesprávnou polohu výrobku a zelená správnou. V případě, že jsou všechny zelené, rozsvítí se zeleně i ovládací bulva. Po dotyku operátora bulvy je paletka transportována do další pozice.

Levá bulva slouží k signalizaci NOK kusů. Pokud z předposlední stanice (kontrola DMX kódu) vyjíždí vyhovující kus (OK), bulva svítí zeleně. V případě, že je vyhodnocen nevyhovující kus (NOK), paletka zůstává na pozici kontroly a bulva svítí červeně. Operátor je tímto upozorněn na NOK kus. Nyní operátor musí stisknout bulvu, paletka vyjede na pozici odebrání a nevyhovující kus je vhozen do NOK skluzu.

Na levé straně od pracoviště se nachází tlačítko spuštění hasícího systému. Ten je zde přítomen na požadavky zákazníka. Pracujeme zde totiž s horkým silikonovým olejem (200°C) a s izopropylalkoholem, který je značně těkavý a má nízkou teplotu vzplanutí (pracovní teplota 4°C).

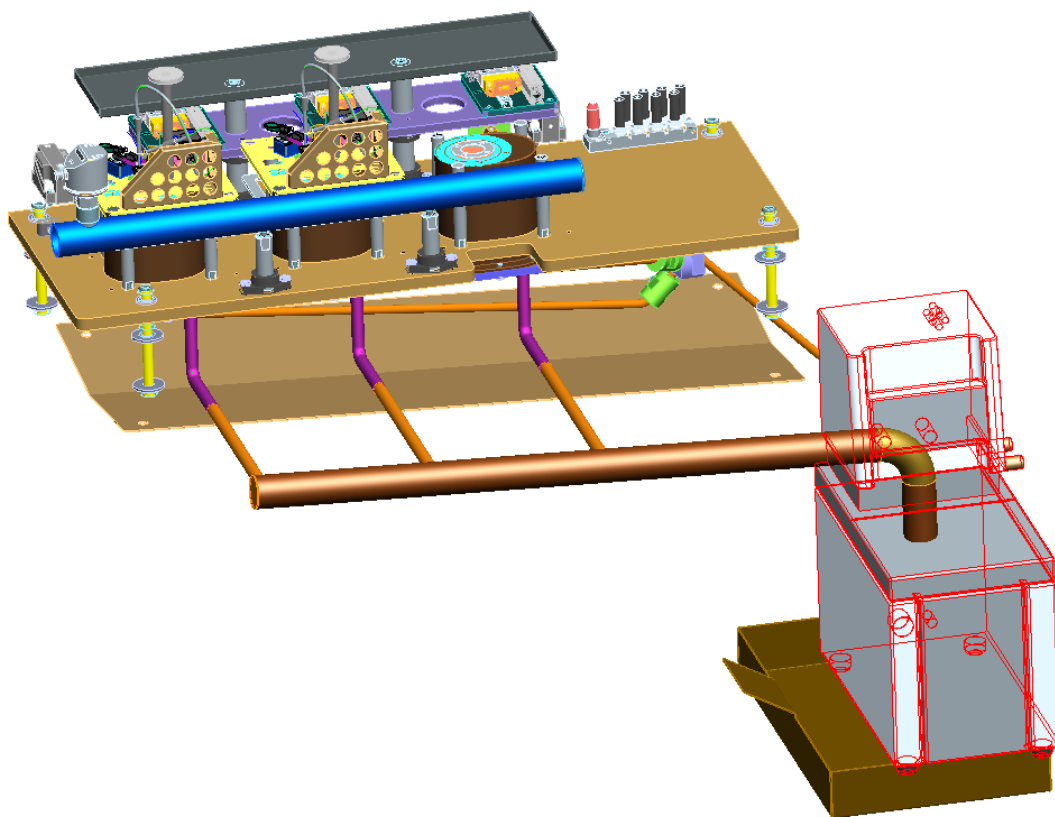


Obrázek 68: Signální prvky

## 7.2 Testovací stanice

Na testovacích stanicích dochází k hlavnímu technologickému procesu a to otestování, zda termočlánek udává opravdu správnou hodnotu. Proces probíhá tak, že okolo článku proudí horký silikonový olej o teplotě  $200^{\circ}\text{C}\pm 1$ . Důležitá je také stabilita oleje, teplota může kolísat  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Po uplynutí 20 sekund prohřevu termočlánek dojde k nakontaktování housingu a porovnání teploty oleje v lázni a hodnotou, kterou udává termočlánek. Následně dojde k vlastnímu vyhodnocení, zda je kus OK nebo NOK (vyhovující nebo nevyhovující). Vyhodnocovací aparatura byla dodána zákazníkem.

Mojí prací na tomto uzlu byla konstrukce lázni ohřevu a kontaktování. Výběr zdroje horkého oleje, potrubí a odsávání, byl řešen vedoucím projektu Ing. Martinem Štursou. V příloze 3 se nachází sestavný výkres této stanice. Výkresy byly vypracovány podle požadavků zadavatele.

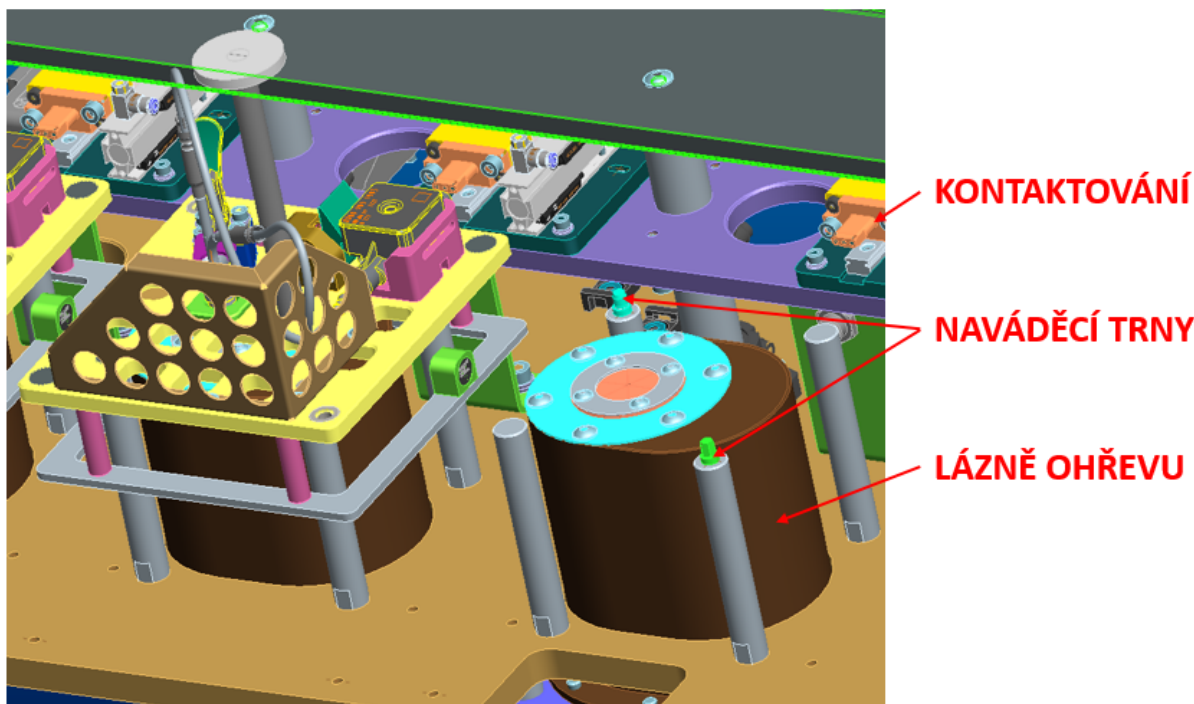


Obrázek 69: Stanice testování



### 7.2.1 Uložení paletky ve stanici testování

Přesun na pozici testování zajišťuje manipulátor, který vyzvedne paletku z dopravníku a položí ji na lázeň ohřevu na sloupky s naváděcími trny. Paleta zde leží na stejných opěrných bodech, za které je zvedána na přízdvihu. Uprostřed palety se nyní nachází vlastní lázeň ohřevu.



Obrázek 70: Uložení paletky na stanici testování

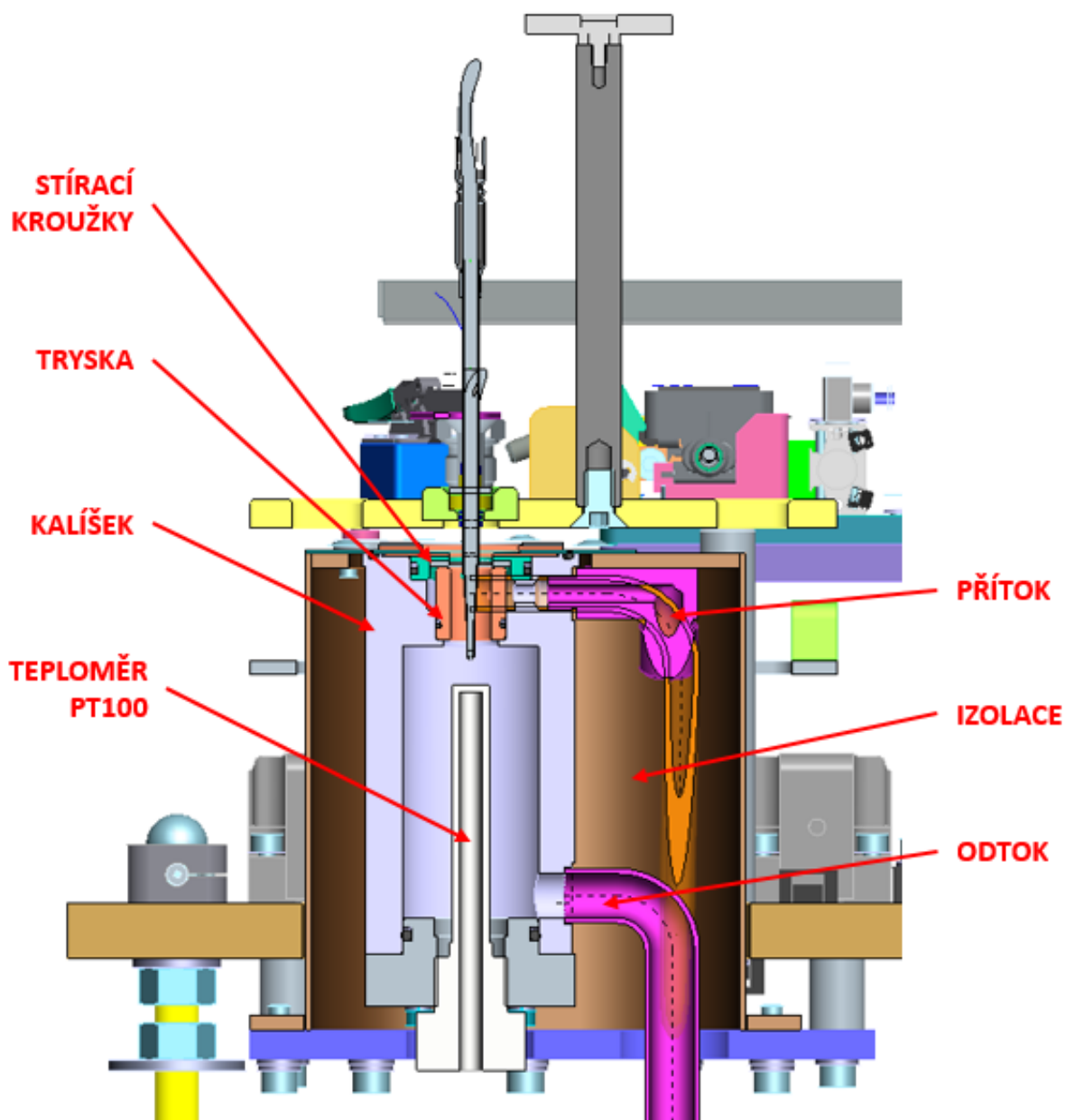
### 7.2.2 Konstrukce lázní ohřevu

Celá lázeň se skládá především z kalíšku, trysky, odporového teploměru PT100, teflonových stíračů, izolace a krycího plechu. Hlavními cíli při konstrukci byly tyto: zabránit přestupu tepla do vlastní konstrukce stroje a okolí, rovnoběžnost vrchní plochy lázně se spodní deskou (paletka je uložena velmi blízko), zajištění vhodného průtoku pro ohřev termočláňku a stabilní teplota oleje v lázni.

Vrchním otvorem v kalíšku je přiváděn horký olej ze zdroje. Ten prochází přes trysku, která má excentricky uložené otvory, aby docházelo ke vzniku víru. Zde je vše utěsněn tak, aby nedocházelo k úniku oleje jinudy než otvory v trysce (použit O-kroužek a ploché těsnění odpovídající pracovnímu prostředí).

Olej dále proudí okolo termočlánu do těla kalíšku, kde se nachází odporový teploměr PT100. Ten udává referenční teplotu pro vyhodnocení vlastního testu. Olej ve spodní části odtéká dále do odpadní větve.

Svařovaný kryt je ke kalíšku připojen přes vrchní plech. Samotný spoj je proveden pomocí O-kroužku a teflonových stíračů tak, aby se nedotýkaly kovové části krytu a kalíšku (aby nedocházelo k vedení tepla). Prostor mezi kalíškem a krytem je vyplněn izolací pro zajištění stability lázně.



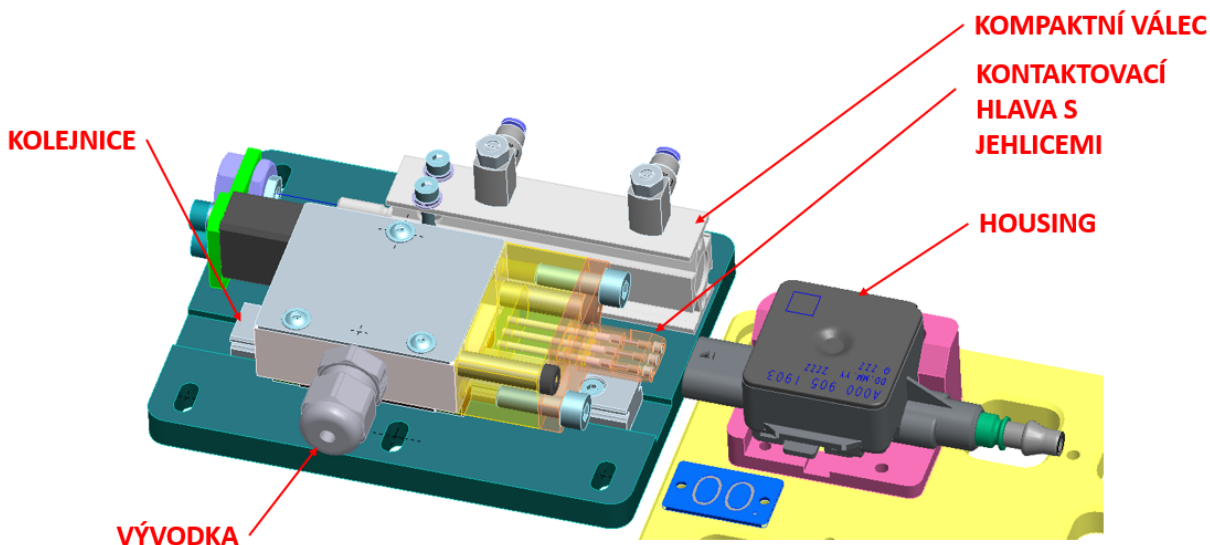
Obrázek 71: Lázeň ohřevu

Během realizace stroje se zjistilo, že stírače nefungují úplně dokonale a dochází k odkápnutí oleje během manipulace s paletkou mezi stanicemi. Tento nedostatek byl vyřešen uzpůsobením pohybu tak, že nejdříve vyjela osa z manipulátoru do horní pozice, nechala se vytvořit kapka, která byla odkápnuta pomocí rychlého pohybu dolů a opět nahoru. Kapka tedy odkápla zpět do kalíšku.

### 7.2.3 Konstrukce kontaktování

Sestavy kontaktování housingu se nachází na levé straně od lázni ohřevu. Kontaktování přichází na řadu po prohřátí termočládku a slouží k přenosu informací do vyhodnocovacího zařízení.

Z konstrukčního hlediska se jedná o lineární pohyb, kdy kontaktovací hlava zajede do housingu. Tato hlava je vyrobena z plastu (TECAPEEK GF30), aby nedocházelo k poškozování výrobků. O lineární vedení se zde stará hnízdo a kolejnice od společnosti Hiwin. Pohyb zajišťuje kompaktní válec od firmy Festo.



Obrázek 72: Kontaktování

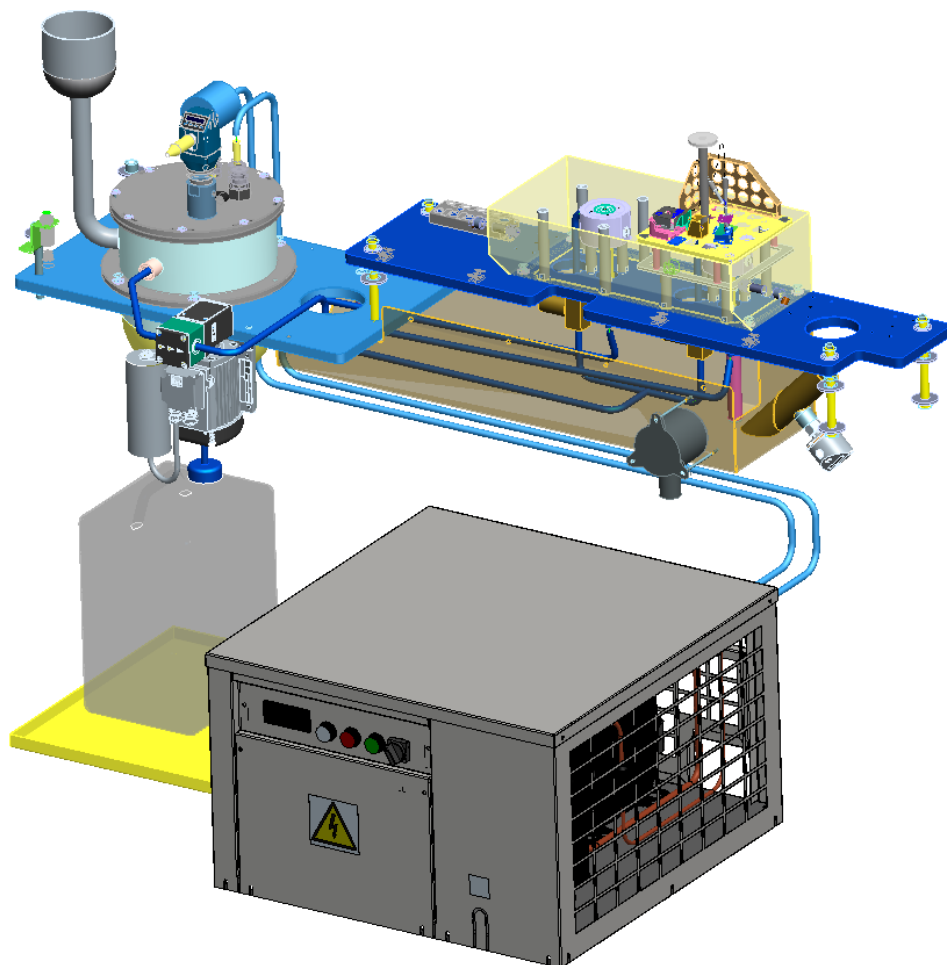
V kontaktovací hlavě jsou uloženy kontaktovací jehly od společnosti INGUN. Ty mají přední část pružně uloženou, takže při nakontaktování dojde k jejímu částečnému zasunutí. Kably k nim jsou vedeny přes vývodku a následně do vyhodnocovacího zařízení. Energetický řetěz jsem zde nepovažoval za bezpodmínečně nutný (malý průřez kabelů a krátký pohyb). Kably byly tedy

vyvedeny do smyčky nad kontaktování tak, aby nedocházelo k jejich lámání nebo tření o okolní díly.

Celá kontaktovací jednotka je přišroubována přes drážky, aby bylo možné její přesné nastavení vůči housingu.

## 7.3 Chladicí stanice

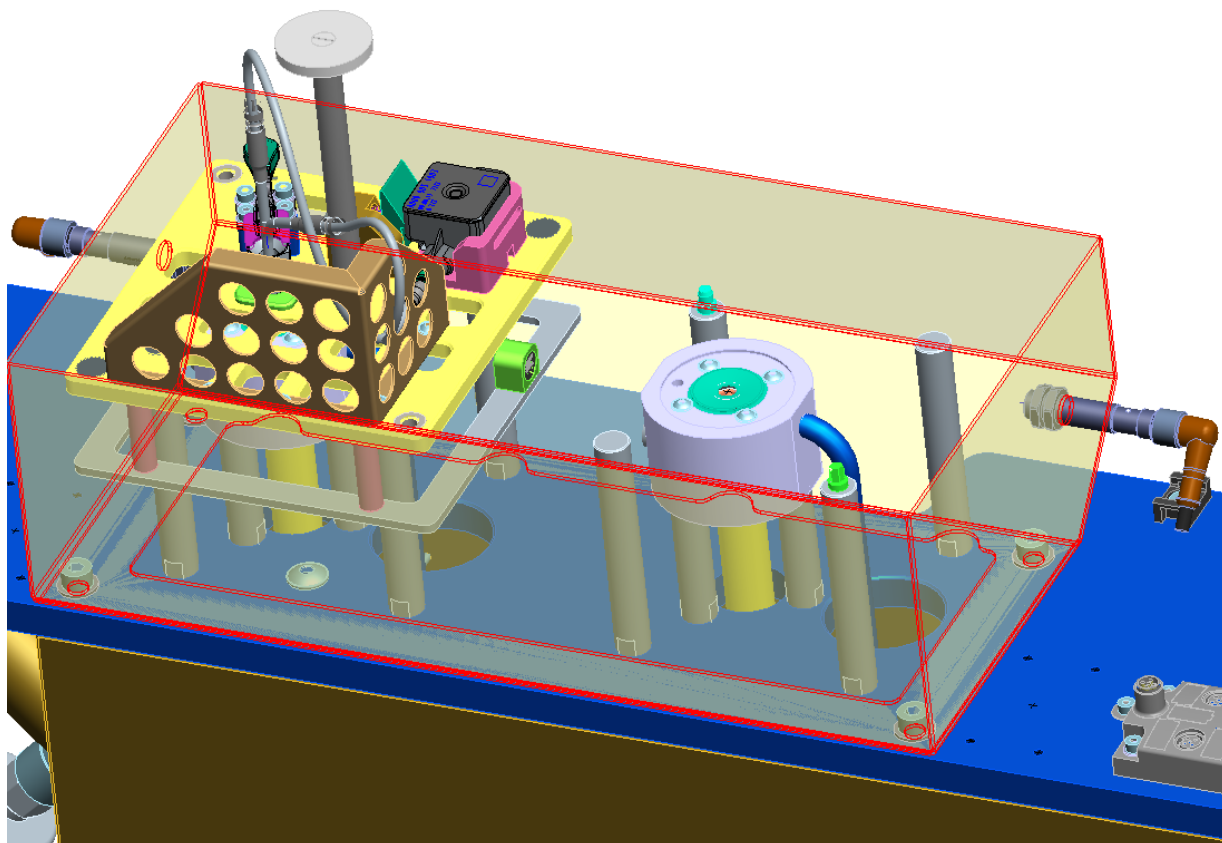
V této stanici dochází k ochlazení a očištění výrobku od zbytků oleje. Jako médium je zde použit podchlazený ( $4^{\circ}\text{C}$ ) izopropylalkohol (IPA). Doba chlazení je minimálně 5 sekund. Na této stanici jsem se podílel na konstrukci kalíšků. Konstrukce zásobníku izopropylalkoholu (zároveň výměníku), odsávání a výběr chladicí jednotky není součástí této práce a řešil jej vedoucí projektu Ing. Martin Štursa. V příloze 4 se nachází sestavný výkres této stanice. Výkresy byly vypracovány podle požadavků zadavatele.



Obrázek 73: Stanice chlazení

### 7.3.1 Uložení paletky ve stanici chlazení

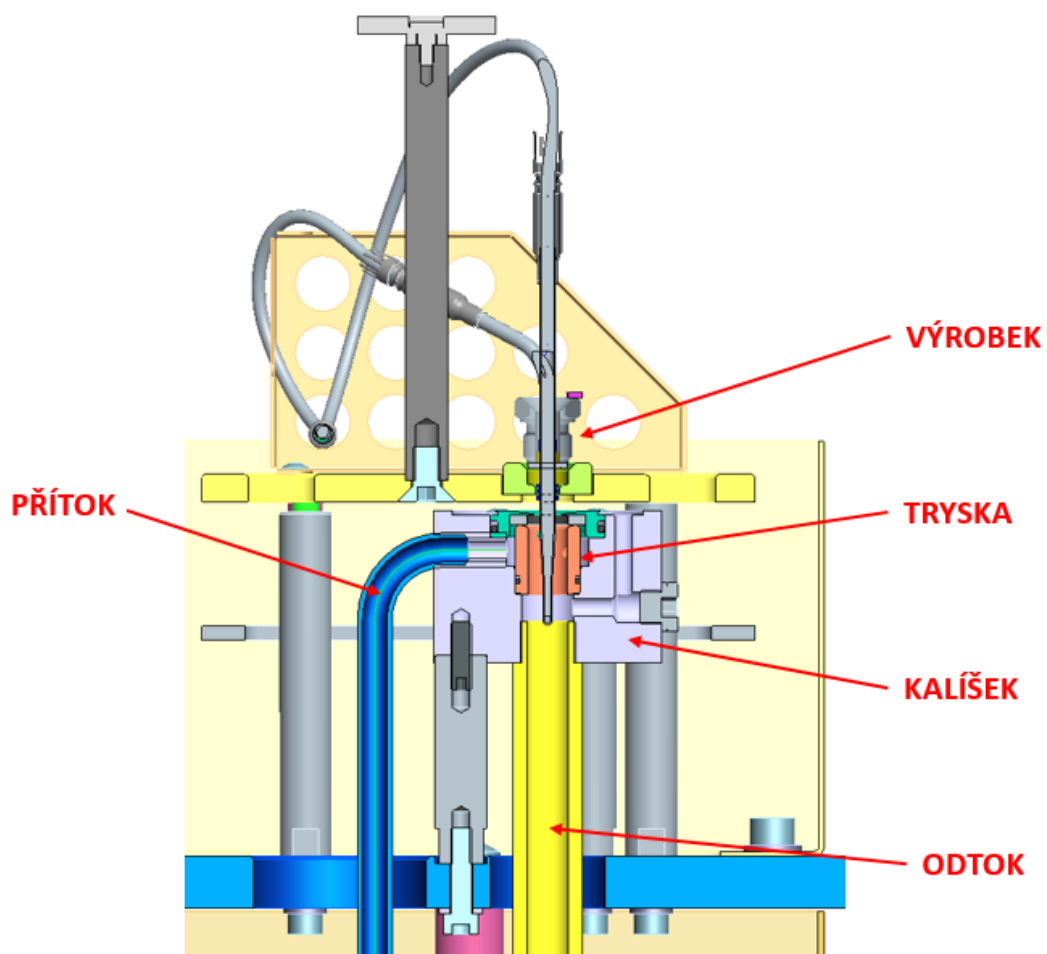
Uložení paletky na stanici chlazení je identické jako na stanici testování. Paletka je položena manipulátorem na naváděcí trny.



Obrázek 74: Uložení paletky na stanici chlazení

### 7.3.2 Konstrukce lázní chlazení

Konstrukce lázní chlazení je velmi podobná jako u ohřevu. Hlavním rozdílem je, že lázně chlazení nejsou izolované. Opět zde přitéká médium (IPA) do vrchní části kalíšku, protéká přes trysku a vytváří vír. Dochází tedy k ochlazení a očištění výrobku. Dále IPA pokračuje odtokovou trubkou zpět do zásobníku. Nad tryskou se nacházejí opět teflonové stírací kroužky. Všechny díly jsou zde řádně utěsněny pomocí O-kroužků.



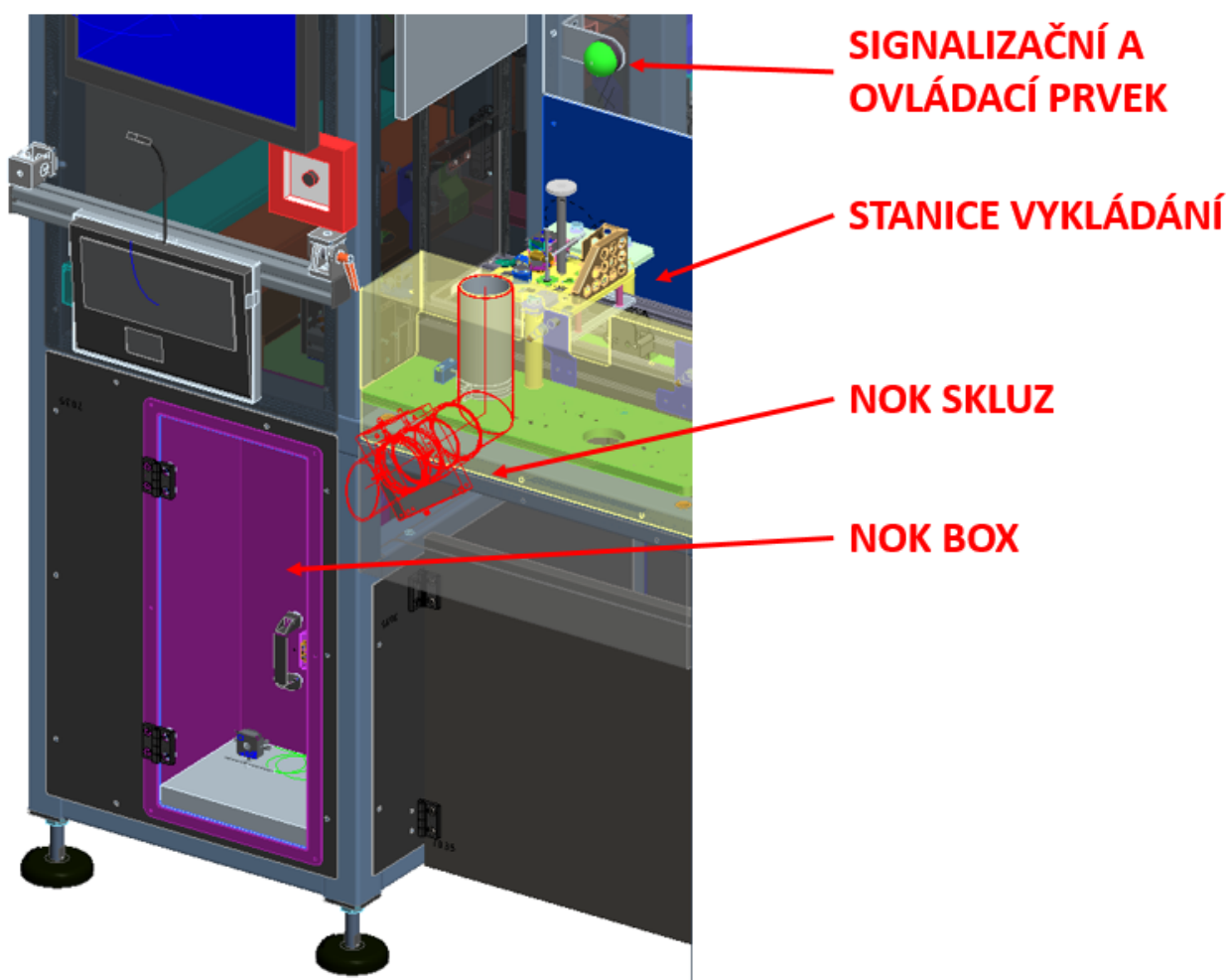
Obrázek 75: Konstrukce lázně chlazení



Obrázek 76: Stanice chlazení

## 7.4 Stanice vykládání

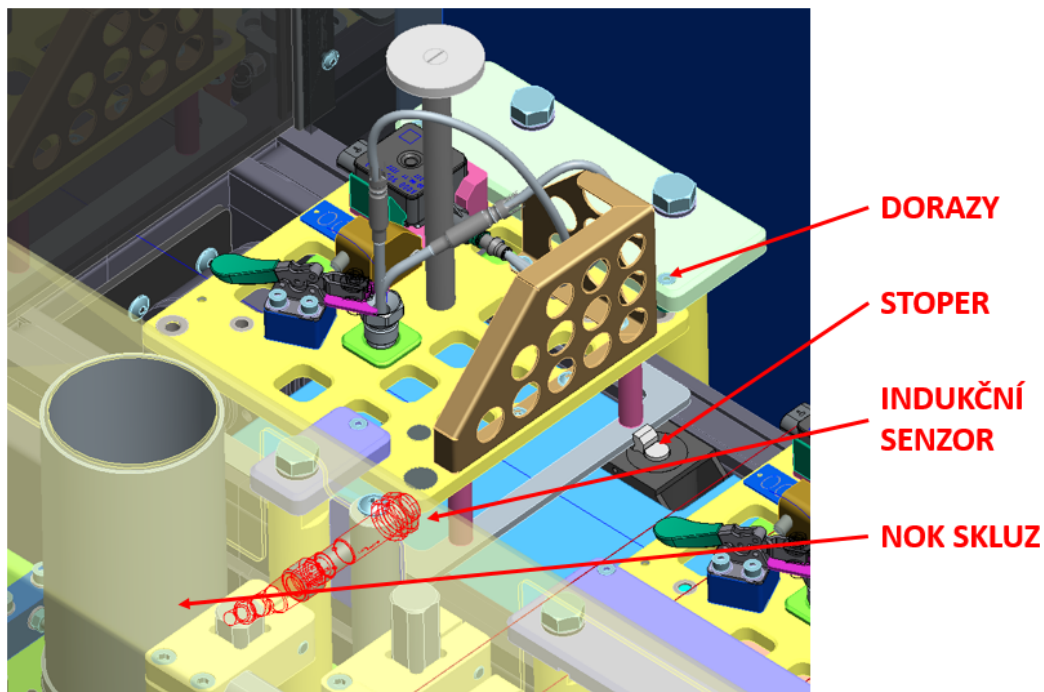
Do stanice vykládání přijíždí paletka po dopravníku na stoper ze stanic značení a kontroly. Výrobek je následně odebrán. Pokud je výrobek vyhodnocen jako nevyhovující, tak zůstane paletka stát v předposlední stanici kontroly. Ovládací bulva se rozsvítí červeně a operátor musí dotykem potvrdit informaci o NOK kusu. Následně vyjede paletka na pozici vykládání, obsluha odebere výrobek a vhodí do NOK skluzu.



Obrázek 77: Stanice vykládání

### 7.4.1 Popis odebírací pozice

Odebírací pozice je vybavena stoperem, indukčním senzorem a dorazy nad paletkou. Dorazy zabraňují nadzvednutí paletky při odjišťování upínek. Jinak je mezi paletkou a dorazy zajištěna lehká vůle pro hladký průjezd palety po dopravníku.



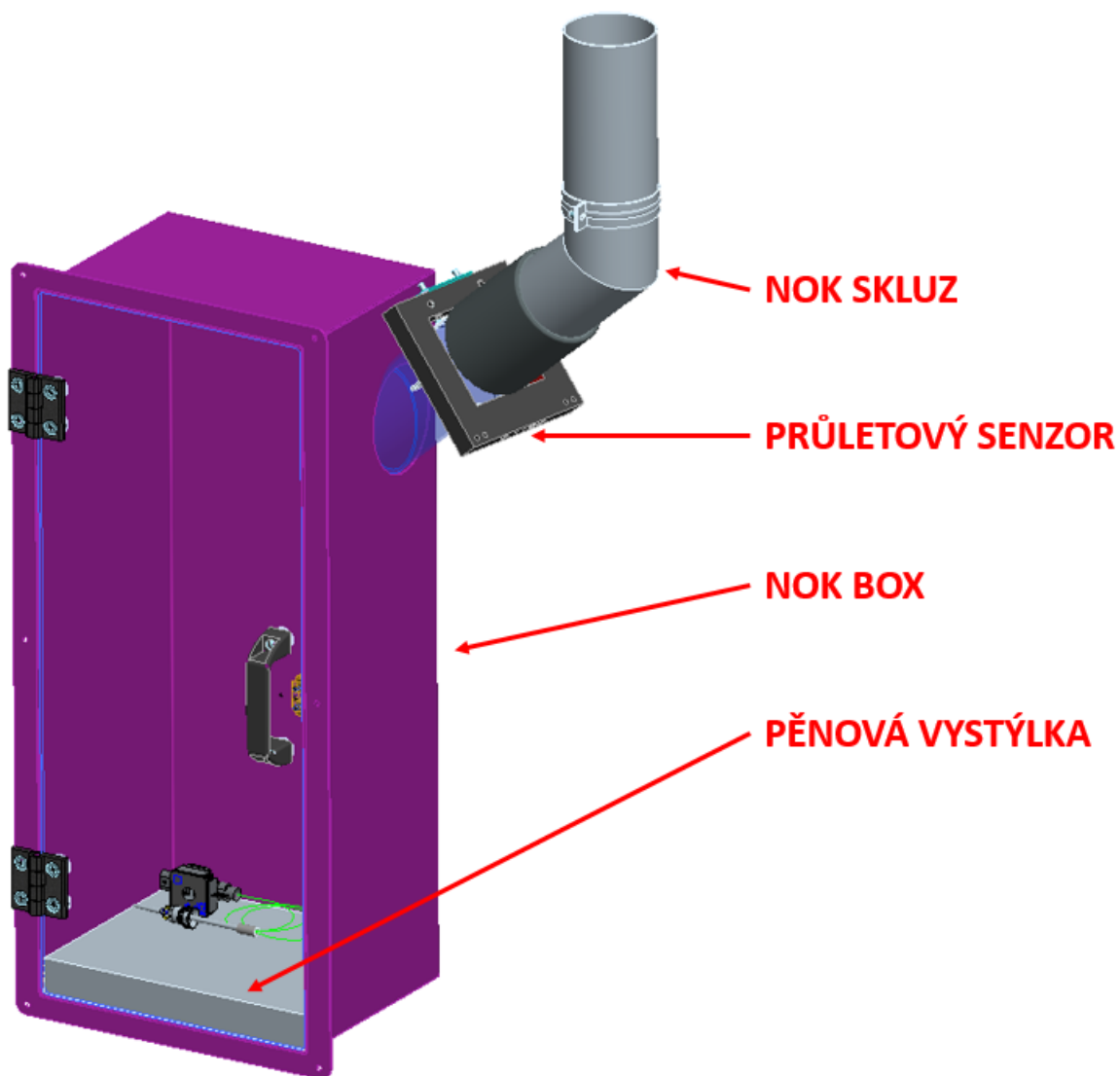
Obrázek 78: Odebírací pozice

### 7.4.2 NOK skluz a NOK box

Přes NOK skluz prolétají nevyhovující kusy do NOK boxu. Bylo nutné zajistit informaci o průletu výrobku. Je zde tedy použito průletový senzor. Toto čidlo je umístěno tak, aby nebylo možné vložit a následně vytáhnout výrobek ze skluzu. Zamezuje se tak opětovnému testování. Celý NOK skluz je vyroben z odpadních trubek a kolínek. Trubka, na níž je umístěno průletové čidlo je průhledná.

NOK box je vyrobený z plechu a je nalakován červenou barvou (občas je nazýván redbox). Z přední strany má průhledné makrolonové dveře a na dně je vystlán pěnovým materiálem (aby nedocházelo k poškození výrobků).





Obrázek 79: NOK box a NOK skluz



## 8 Zhodnocení konstrukce stroje

V této kapitole je zhodnocena konstrukce stroje. Dále zde jsou rozepsány nedostatky, které vyplynuly z testovacího provozu.

### 8.1 Paletka

Konstrukce paletky celkem dvakrát neprošla ergonomickou zkouškou u koncového klienta. Byly vyrobeny celkem tři prototypy, ale až třetí této zkoušce vyhověl.

U první verze bylo nepříliš ergonomické zakládání vlastního těla výrobku i housingu. Jejich zajištění bylo řešeno pomocí šoupátek a občas docházelo dokonce k poškození výrobku.

Do druhé verze paletky byl výrobek zakládán z vrchní strany a byl zajištěn pomocí upínek. Housing byl uchycen také pomocí upínky. Řešení zajištění upínkami bylo levnější než vyráběná šoupátka. Pro zajištění housingu bylo nutné ho podržet v požadované poloze a zajistit jej.

Ve třetí variantě bylo uzpůsobeno lůžko k zajištění housingu pomocí západky. Výroba lůžka a západky byla finančně náročnější, než použití upínky, ale z ergonomického hlediska byla tato varianta vyhovující. U této paletky byl navíc nahrazen spodní ohýbaný plech plechem rovným a sloupky. To mělo za následek větší přesnost.

### 8.2 Manipulátor

Během programování manipulátoru byly provedeny pokusy o co nejrychlejší přejezdy mezi lázněmi. Při manipulátoru zrychleních přes  $5 \text{ m/s}^2$  docházelo k tomu, že rám celé stanice nebyl stabilní a docházelo k jeho lehkému vychýlení. Konečné největší zrychlení manipulátoru bylo naprogramováno na necelé  $4 \text{ m/s}^2$ . Toto zrychlení bylo dostačující pro to, aby manipulátor zajišťoval plynulý tok paletek po testovací lince a zároveň nedocházelo k pružným deformacím od dynamických sil.



## 8.3 Stanice testování

Stanice testování byly konstruovány o co nejmenších rozměrech s ohledem na rozměry paletky (ta si musela zachovat tuhost konstrukce).

Dále se u stanice testování během testovacího provozu bylo zjištěno, že stírací kroužky nedokáží spolehlivě setřít veškerý olej. Mezi stanicemi testování a chlazení byla sice vana na zachytávání kapek, nicméně tento problém byl vyřešen pomocí manipulátoru. Během pohybu manipulátoru mezi lázněmi byl ještě volný čas (nebyly problémy s dodržením taktu stroje), tudíž mohla být do cyklu zařazena následující sekvence: manipulátor zdvihne paletku nad stanicí testování, nechá vytvořit na výrobku kapku, kterou následným pohybem dolů a nahoru odkápně.

## 8.3 NOK box

Původní uspořádání NOK boxu bylo mělké kvůli požadavku zadavatele na pád z malé výšky. Protože ale docházelo k zásekům výrobků ve skluzu a k jejich hromadění, tak byl NOK box nakonec prohlouben a na dně vystlán pěnovým materiálem, který tlumil dopad výrobků.



## 9 Závěr

V této práci byla zpracována rešerše problematiky pásových dopravníků pro přepravu palet. Rešerše byla zaměřena na jednotlivé části pásových dopravníků, jejich příslušenství a hlavní dodavatelé působící na našem trhu.

Dále byl popsán vlastní testovaný výrobek, požadavky na testovací linku a detailní popis vlastního testovacího procesu. Z těchto informací ve specifikaci s paletkami byl vytvořen koncept transportu výrobku po testovací lince. Ten byl zvolen pomocí dopravníků a to především díky zaručenému dodržení taktu linky. Po zvolení konceptu byl určen layout celého stroje. Pro manipulaci s paletkou mezi dopravníky a lázněmi byl zvolen tříosý manipulátor.

Stanice zakládání byla konstruována tak, aby nemohlo dojít ke špatnému založení výrobku. Stanice testování a chlazení jsou založené na stejném konceptu s těmi rozdíly, že stanice testování je izolována a je zde přítomno kontaktování.

Celá testovací linka byla konstruována s ohledem na ergonomii obsluhy, názornou signalizaci a intuitivní ovládání. Dále zde bylo dbáno na bezpečnost, aby nemohlo dojít k poranění operátora nebo jiných osob pohybujících se v okolí tohoto stroje.

Na základě této diplomové práce byla kompletní linka vyrobena, předána koncovému zákazníkovi a úspěšně prošla testovacím provozem. Nyní je tato linka nasazena v plném výrobním procesu.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ:

### Knihy:

- [1] DRAŽAN, F. *Teorie a stavba dopravníků*, 1. vydání; Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1983.
- [2] POLÁK, J. *Dopravní a manipulační zařízení*, 1. Vydání; Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1969.
- [3] LIENVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*, 1. Vydání; Úvaly: Albra, 2003.

### Elektronické zdroje:

- [4] BOSCH REXROTH, Transfersystem TS2 [online]. [cit. 2015-06-17.]. Dostupné z [http://www.betz.cz/download\\_soubory/Vyrobní\\_linky\\_TS2\\_Rexroth\\_4\\_2.pdf](http://www.betz.cz/download_soubory/Vyrobní_linky_TS2_Rexroth_4_2.pdf)
- [5] HABERKORN, Modular transfer system [online]. [cit. 2015-06-17.]. Dostupné z [http://www.haberkorn.cz/dyndoc/download/ss-elcom-paletkove\\_dopravniky\\_tlm.pdf](http://www.haberkorn.cz/dyndoc/download/ss-elcom-paletkove_dopravniky_tlm.pdf)
- [6] BOSCH REXROTH, Transfersystem TS1 [online]. [cit. 2015-06-17.]. Dostupné z [http://www.betz.cz/download\\_soubory/TS1\\_5\\_1.pdf](http://www.betz.cz/download_soubory/TS1_5_1.pdf)
- [7] BOSCH REXROTH, Lift-Rotate Unit [online]. [cit. 2015-06-17.]. Dostupné z [http://dc-america.resource.bosch.com/media/us/products\\_13/product\\_groups\\_1/assembly\\_technology\\_pdfs/8981-500-278\\_0709.pdf](http://dc-america.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/assembly_technology_pdfs/8981-500-278_0709.pdf)
- [8] OPEN-ROBOTICS, Dynamics of seriál robots [online]. [cit. 2015-06-17.]. Dostupné z <http://open-robotics.com/tag/scara/?ckattempt=1>
- [9] IAI AMERICA, SCARA Coordinates and Homing [online]. [cit. 2015-06-17.]. Dostupné z <http://www.intelligentactuator.com/code-example-ix-scara-coordinates-and-homing/>
- [10] SOFTPEDIA, SCARA robot [online]. [cit. 2015-06-17.]. Dostupné z <http://linux.softpedia.com/get/Science/SCARA-robot-100789.shtml>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

E	[N/mm <sup>2</sup> ]	Yangův modul pružnosti
R <sub>m</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	mez pevnosti
R <sub>p0,2</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	smluvní mez kluzu
μ	[-]	Poissonův poměr
m	[kg]	hmotnost paletky
a <sub>a</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	maximální zrychlení manipulátoru
a <sub>d</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	maximální hodnota decelerace při havárii
s <sub>p</sub>	[m]	délka dráhy přejezdu během akcelerace
s <sub>d</sub>	[m]	vzdálenost ujetá během havárie
t <sub>a</sub>	[s]	čas akcelerace
t <sub>d</sub>	[s]	čas decelerace při havárii
v <sub>max</sub>	[m/s]	maximální možná rychlost manipulátoru
v <sub>max</sub>	[m/s]	maximální možná rychlost manipulátoru
F	[N]	síla působící v těžišti paletky během havárie
d	[mm]	nejmenší průměr náběhu naváděcího trnu
D	[mm]	průměr dutinky
R	[mm]	rádius naváděcí dutinky
T1	[mm]	opakovatelná přesnost manipulátoru
T2	[mm]	tolerance polohy děr pro dutinky na vrchní straně desky
T3	[mm]	tolerance polohy děr pro dutinky na spodní straně desky
T4	[mm]	tolerance polohy zahloubení pro sloupky na křížové desce
T5	[mm]	tolerance polohy děr pro dutinky na křížové desce
T6	[mm]	maximální možná odchylka polohy sloupku v zahloubení
T7	[mm]	tolerance polohy děr pro šrouby ve spodním plechu palety
T8	[mm]	maximální možná vůle v uložení šroubu v plechu
T9	[mm]	tolerance polohy děr pro šrouby v desce palety
T10	[mm]	tolerance polohy děr pro uložení naváděcích dutinek
T <sub>C</sub>	[mm]	maximální možné vychýlení naváděcího trnu a dutinky
T <sub>P</sub>	[mm]	maximální vychýlení naváděcích dutinek v rámci palety
T <sub>HM</sub>	[mm]	maximální možná odchylka hlavy manipulátoru



$H_D$	[mm]	maximální možná šířka dopravníku
$H_P$	[mm]	minimální možná šířka paletky
$V$	[mm]	maximální možné vychýlení paletky od středu dopravníku

## SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1: Pásový dopravník .....	9
Obrázek 2: Druhy tažných elementů .....	10
Obrázek 3: Vedlejší větev dopravníku .....	11
Obrázek 4: Přízdvih a příčný dopravník.....	12
Obrázek 5: Zatáčka s bočním vedením.....	13
Obrázek 6: Zatáčka s bočním vedením a tažným elementem.....	14
Obrázek 7: Zatáčky s otočnou deskou .....	14
Obrázek 8: Zatáčka v dopravníku.....	15
Obrázek 9: Stoper .....	16
Obrázek 10: Přízdvih.....	17
Obrázek 11: Točna.....	18
Obrázek 12: Výrobek.....	19
Obrázek 13: koncept s karuselem .....	23
Obrázek 14: Koncept s dopravníky .....	25
Obrázek 15: Layout testovací linky.....	26
Obrázek 16: Pozice stanic.....	27
Obrázek 17: Dvouosý manipulátor .....	28
Obrázek 18: Tříosý manipulátor .....	29
Obrázek 19: SCARA schéma .....	30
Obrázek 20: SCARA.....	31
Obrázek 21: Paletka verze 1 .....	33
Obrázek 22: Paletka verze 1 - detail .....	34
Obrázek 23: Paletka verze 1 - fotografie .....	35
Obrázek 24: Paletka verze 2 .....	36
Obrázek 25: Paletka verze 2 - fotografie .....	36
Obrázek 26: Paletka verze 3 .....	37
Obrázek 27: Paletka verze 3 - detail .....	38
Návrh části jednoúčelového stroje k testování výrobků pro měření teploty	95



Obrázek 28: Paletka verze 3 - fotografie .....	38
Obrázek 29: Layout dopravníků .....	40
Obrázek 30: Dopravníky.....	40
Obrázek 31: Přesné rozměry dopravníků .....	41
Obrázek 32: Podpěra dopravníku.....	42
Obrázek 33: Ukotvení dopravníků .....	42
Obrázek 34: Dopravník s indukčními čidly a stopery .....	43
Obrázek 35: Dopravník s příslušenstvím.....	44
Obrázek 36: Layout pro manipulátor .....	45
Obrázek 37: Manipulátor .....	46
Obrázek 38: Navádění paletky .....	47
Obrázek 39: Hlava manipulátoru .....	48
Obrázek 40: Zjednodušení hlavy manipulátoru .....	49
Obrázek 41: Uložení hlavy manipulátoru.....	50
Obrázek 42: Uložení paletky na hlavě manipulátoru .....	51
Obrázek 43: Těžiště paletky .....	53
Obrázek 44: Umístění vnějších působících sil na hlavu manipulátoru.....	54
Obrázek 45: Plochy naváděcích trnů, na které působí vnější síly .....	54
Obrázek 46: Materiály hlavy manipulátoru .....	55
Obrázek 47: Zjemnění sítě na bočních plochách desek a sloupcích.....	56
Obrázek 48: Zjemnění sítě na výztuži .....	57
Obrázek 49: Zjemnění sítě na naváděcích trnech .....	57
Obrázek 50: Von Misesovo napětí .....	58
Obrázek 51: Napěťová singularita.....	59
Obrázek 52: Maximální posunutí.....	60
Obrázek 53: Minimální bezpečnosti hlavy manipulátoru .....	61
Obrázek 54: Naváděcí trn a dutinka .....	62
Obrázek 55: Spojení desek hlavy manipulátoru a manipulátoru.....	64
Obrázek 56: Tolerance polohy vrchní desky manipulátoru.....	64
Obrázek 57: Tolerance polohy děr na křížové desce .....	65
Obrázek 58: Spodní plech paletky.....	67
Obrázek 59: Deska paletky .....	69
Návrh části jednoúčelového stroje k testování výrobků pro měření teploty .....	96





Obrázek 60: Prostor pro obsluhu.....	71
Obrázek 61: Tunel.....	72
Obrázek 62: Gilotinové dveře.....	73
Obrázek 63: Krytování přízdvihu.....	74
Obrázek 64: Stanice zakládání.....	75
Obrázek 65: Přízdvih.....	76
Obrázek 66: Laserové senzory.....	77
Obrázek 67: Snímání založení.....	78
Obrázek 68: Signální prvky.....	79
Obrázek 69: Stanice testování.....	80
Obrázek 70: Uložení paletky na stanici testování.....	81
Obrázek 71: Lázeň ohřevu.....	82
Obrázek 72: Kontaktování.....	83
Obrázek 73: Stanice chlazení.....	84
Obrázek 74: Uložení paletky na stanici chlazení.....	85
Obrázek 75: Konstrukce lázně chlazení.....	86
Obrázek 76: Stanice chlazení.....	86
Obrázek 77: Stanice vykládání.....	87
Obrázek 78: Odebírací pozice.....	88
Obrázek 79: NOK box a NOK skluz.....	89

## SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1: Požadavky na zařízení.....	20
Tabulka 2: Příslušenství dopravníků.....	43
Tabulka 3: Přehled základních vlastností použitých materiálů.....	56



## SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha 1 - Sestavný výkres paletky

Příloha 2 - Sestavný výkres stanice zakládání

Příloha 3 - Sestavný výkres stanice testování

Příloha 4 - Sestavný výkres stanice chlazení