



**FAKULTA  
ŠROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav konstruování a částí strojů**

**Poziční jednotka pro transportní systém  
paletových dopravníků**

**Positioning unit for pallet conveyor transport  
system**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2019**

**Bc. Adam ČÍŽEK**

**Studijní program:** N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ  
**Studijní obor:** 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika  
**Vedoucí práce:** Ing. Eliška Cézová, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čížek** Jméno: **Adam** Osobní číslo: **439128**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Poziční jednotka pro transportní systém paletových dopravníků**

Název diplomové práce anglicky:

**Positioning unit for pallet conveyor transport system**

Pokyny pro vypracování:

Stručná osnova zadání:

1. Rešerše pozičních jednotek a jejich základních konstrukčních uzlů
2. Konceptní návrh vhodných variant řešení
3. Řešení konstrukce včetně nezbytných návrhových a kontrolních výpočtů.
4. Zpracování konceptního 3D modelu navržené konstrukce
5. Vypracování 2D dokumentace v rozsahu konceptního výkresu sestavy

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.  
ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.  
Cvekl, Z., Dražan, F.: Teoretické základy transportních zařízení. SNTL Praha, 1976  
Dražan, F., Voštová, V., Jeřábek, K., Brand, M.: Teorie a stavba dopravníků. Ediční středisko ČVUT Praha, 1983  
Polák, J. a kol.: Dopravní a manipulační zařízení I, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2001

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


**Ing. Eliška Cézová, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS**


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

Datum zadání diplomové práce: **18.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.06.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **20.12.2019**

  
Ing. Eliška Cézová, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
Ing. František Lopot, 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.

30.04.2019  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Poziční jednotka pro transportní systém paletových dopravníků“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Elišky Cézové, Ph.D a s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze .....

Adam Čížek

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Elišce Cézové, Ph.D. za odborný dohled, vedení a čas, který mi věnovala.

## ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Adam Čížek
Název BP:	Poziční jednotka pro transportní systém paletových dopravníků
Anglický název:	Positioning unit for pallet conveyor transport system
Rok:	2019
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Obor studia:	2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
Ústav:	Ú12113 – Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí DP:	Ing. Eliška Cézová, Ph.D.
Bibliografické údaje:	Počet stran 59 Počet obrázků 64 Počet tabulek 6 Počet příloh 2
Klíčová slova:	poziční jednotka, dopravník, pneumatický válec, lineární vedení, separátor
Keywords:	positioning unit, transfer system, pneumatic cylinder, linear systeme, separators
Anotace:	Diplomová práce se zabývá návrhem pozičních jednotek a problematikou s tím spojenou. Na začátku práce je řešena typů pozičních jednotek a jejich komponent. V další části této práce jsou navrženy dvě poziční jednotky. Následně je proveden kontrolní výpočet nejzatěžovanějších komponent.
Abstract:	Diploma thesis is aimed on design of positioning unit for pallet conveyor transport system and solving all problems related with that design. At the beginning of the work there is made a recherche of the positioning units and their components. In the next part of this work two positional units are designed. Then the control calculation of the most critical parts are made.

## OBSAH

1. Úvod .....	1
2. Poziční jednotka, funkce a její komponenty .....	2
2.1. Poziční jednotky s vnitřním vodítkem .....	3
2.2. Poziční jednotka se zdvihem .....	4
2.2.1. Pneumatické válce .....	5
2.2.2. Separátory .....	6
2.2.3. Lineární systémy .....	7
2.2.4. Palety .....	8
2.3. Konstrukční řešení různých firem .....	9
2.3.1. Bosch Rexroth .....	9
2.3.2. STEIN automation .....	10
2.3.3. Montech .....	10
2.3.4. Lipro .....	11
2.3.5. Asutec .....	11
3. Návrh a konstrukce poziční jednotky .....	12
3.1. Poziční jednotka s volným zdvihem .....	13
3.1.1. Profily .....	15
3.1.2. Separátor .....	15
3.1.3. Pneumatický válec .....	16
3.1.4. Kontrola integrovaného lineárního vedení .....	18
3.1.5. Boční profily a kryty .....	28
3.1.6. Poziční deska .....	29
3.1.7. Zarážky .....	30
3.1.8. MKP analýza zarážky .....	31
3.1.9. Spodní deska .....	32
3.1.10. MKP analýza poziční jednotky s volným zdvihem .....	33
3.1.11. Vyhodnocení vypočtených výsledků .....	36
3.2. Poziční jednotka s omezeným zdvihem .....	37
3.2.1. Profily .....	39
3.2.2. Separátor .....	39
3.2.3. Pneumatický válec .....	40
3.2.4. Poziční deska .....	41
3.2.5. Lineární vedení s deskou .....	42
3.2.6. Nastavení délky zdvihu .....	43
3.2.7. MKP analýza plechu .....	44
3.2.8. Horní deska .....	45
3.2.9. Profily a kryty .....	46
3.2.10. Spodní deska .....	47
3.2.11. MKP analýza poziční jednotky s omezeným zdvihem .....	48
3.2.1. Vyhodnocení vypočtených výsledků .....	51
4. Závěr .....	52

<b>Seznam zkratk a symbolů .....</b>	<b>53</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>55</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>56</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>58</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>59</b>

## 1. Úvod

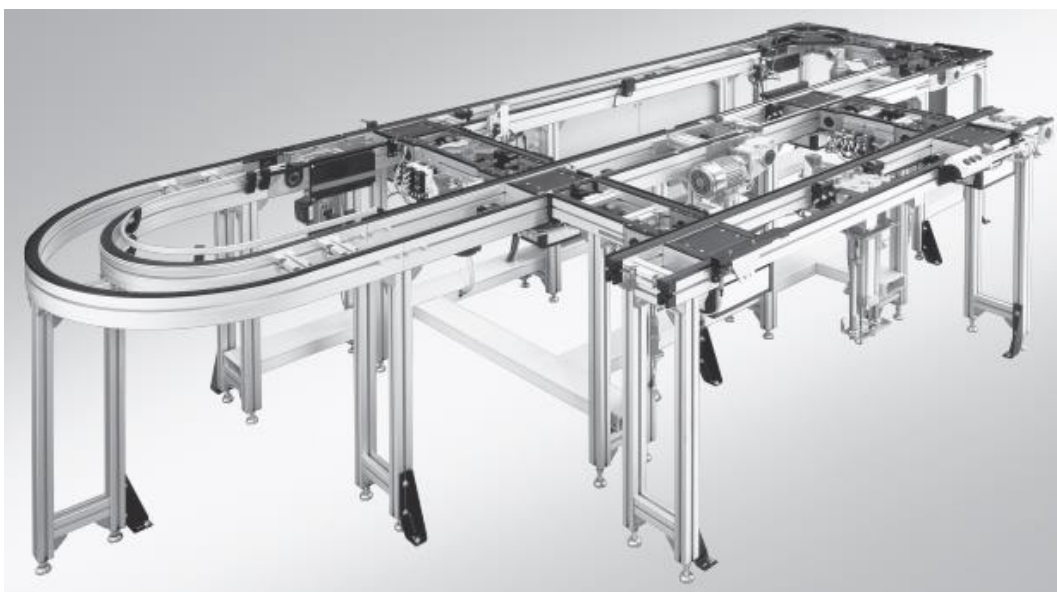
Paletové dopravníky slouží k přenosu materiálu na paletách mezi stanovišti. Dopravník tvoří základní konstrukce, která určuje dráhu palety. Pohyb palety je zajištěn pomocí jednoho celistvého nebo více oddělených pásů. Pásky mohou být hladké nebo ozubené. Dále paleta může být přemístěna pomocí řetězu nebo válečku. Vše je uvedeno do pohybu pomocí motorů. Celá konstrukce (obr. 1) je pak doplněna o speciální díly jako jsou zatáčky, přejezdy a poziční jednotky.

Dopravníky se v praxi hodně využívají při sériové výrobě. Výrobek je dopravován na paletě mezi různými stanovišti, na kterých se vykonává určitá technologická operace. Na každém stanovišti musí paleta zastavit a v některých případech přesně zapozicovat. Z tohoto důvodu jsou zapotřebí poziční jednotky, kterých se vyrábí mnoho typů.

V rámci této diplomové práce bude zpracována rešerše zaměřená na běžně používaná konstrukční řešení pozičních jednotek u systémů paletových dopravníků. Součástí rešerše bude popis kupovaných komponentů potřebných k sestavení poziční jednotky.

V technické části diplomové práce budou navrženy koncepční návrhy dvou pozičních jednotek. Návrhy budou dále zpracovány a budou provedeny všechny potřebné kontrolní výpočty. Budou vytvořeny 3D modely a výkresy sestav.

Cílem této diplomové práce je navrhnout poziční jednotku k pásovým dopravníkům pro velikost palet 240x240 mm až 480x480 mm s maximálním zatížením 300 N a přesností  $\pm 0,1$  mm. Dále vypracovat veškerou potřebnou dokumentaci ke konstrukčnímu návrhu.



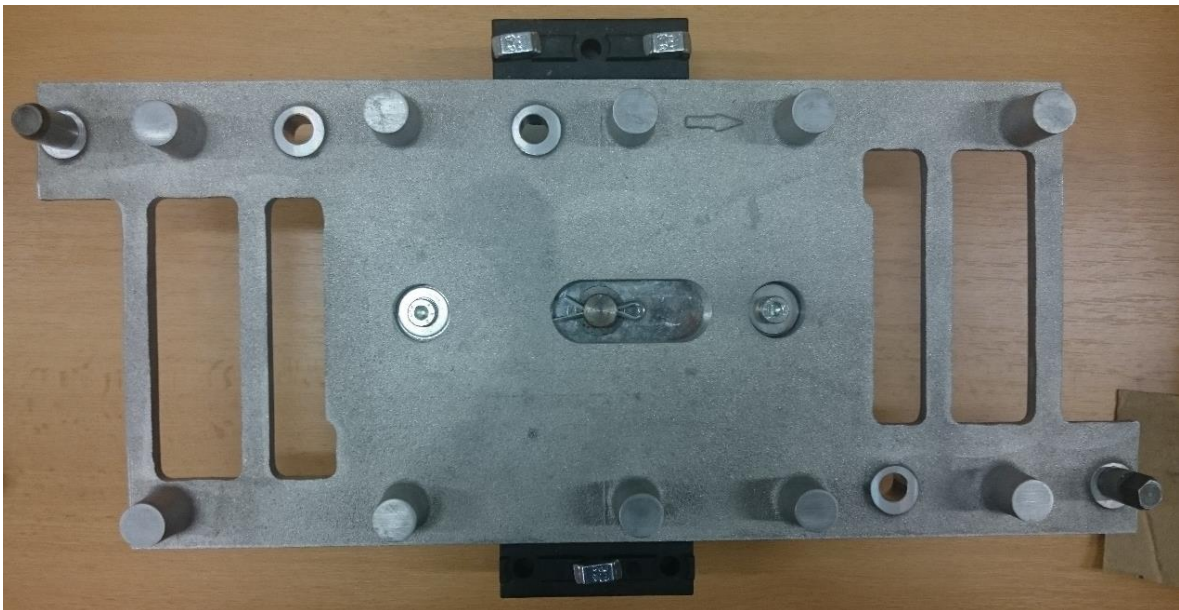
Obr. 1.: Dopravník Bosch Rexroth TS2 [3]



## 2. Poziční jednotka, funkce a její komponenty

Hlavní funkcí poziční jednotky (obr. 2) je zastavit paletu s materiálem na určitém místě a zapozicovat ji s určitou přesností tak, aby mohla být provedena operace na výrobku. Poziční jednotky se běžně používají v sériové pásové výrobě. Pro firmy jsou hlavními parametry síla zdvihu a přesnost zapozicování. Méně přesné jednotky se používají k jednodušším činnostem, jako je například vložení komponent na výrobek. Nejpřesnější se používají například při automatickém sváření, obrábění či pájení.

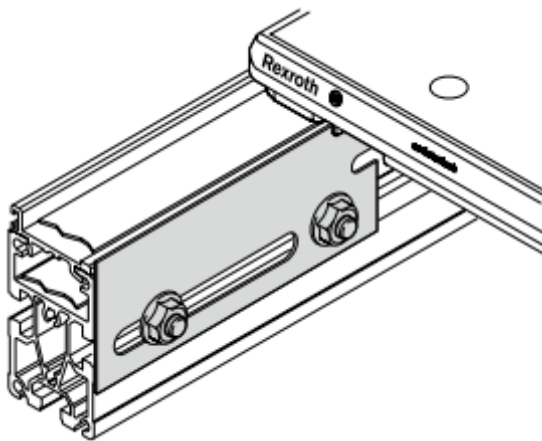
V dnešní době se můžeme setkat se dvěma typy principů pozicování. Poziční jednotky s vnitřním vodítkem a poziční jednotky se zdvihem. Druhý zmíněný princip je přesnější a více se používá.



Obr. 2.: Poziční jednotka Bosch Rexroth [autor]

## 2.1. Poziční jednotky s vnitřním vodítkem

Tento stabilizační prvek je používám při pozicování s menší přesností. Maximální dosahovaná přesnost je  $\pm 0,2$  mm. Paleta, která nese materiál, musí mít vyrobenou speciální drážku. Paleta přijede na dané místo, vyříznutou drážkou najede na poziční vodítko (obr. 3) a na stanovišti je zastavena pomocí separátoru. Po provedení operace na výrobku separátor pustí paletu dál a tato činnost se opakuje. Kromě malé přesnosti pozicování je hlavní nevýhodou, že paleta je neustále v kontaktu s běžícím pásem a tím dochází k opotřebení a zahřívání pásu. Stálý kontakt také může způsobovat nežádoucí vibrace a hluk na pracovišti. Dále není možné paletu zatěžovat větší vnější silou od technologických procesů, snadno se dopravník přetíží a je nutno vše kontrolovat na kontaktní tlak.



Obr. 3.: Poziční jednotka s vnitřním vodítkem  
Bosch Rexroth [3]



Obr. 4.: Polohovací jednotka Asutec [2]

Druhou variantou jak pozicovat paletu, která je v neustálém v kontaktu s pásem, je zapozicování pomocí kolíku. Paleta je zastavena pomocí separátoru. Polohovací válec (obr. 4), který je na konci pístnice vybaven pozičním kolíkem ji rovnou zapozicuje bez složitější konstrukce. Tato metoda může být přesnější než při použití vodítka, ale má stejné nevýhody. Pro přesné pozicování jsou potřeba minimálně dva válce, přesně vyrobené kolíky a otvory v paletě.

Pro dosažení ještě větší přesnosti se dají obě metody zkombinovat. V tomto případě probíhá pozicování válci z boku palety a paleta se na druhé straně opírá o bočnici.

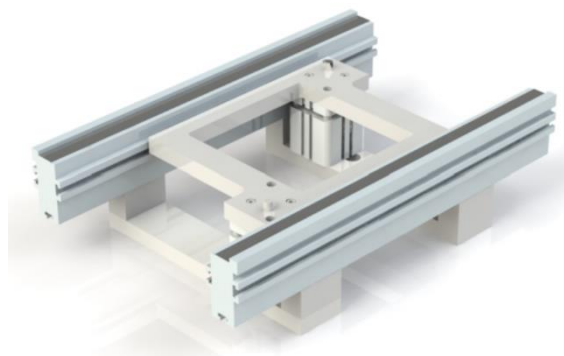
## 2.2. Poziční jednotka se zdvihem

S poziční jednotkou (obr. 5) se zdvihem se můžeme setkat nejčastěji. Hlavní předností je vysoká přesnost, která může být až  $\pm 0,05$  mm. Paleta musí mít připravené otvory, do kterých zajíždějí poziční kolíky. Principem pozicování se zdvihem je, že materiál na paletě přijede na stanoviště, kde ji separátor zastaví, pneumatický válec vyzvedne paletu a pomocí pozičních kolíků ji přesně zapozicuje. Po provedení operace na výrobku píst opět paletu spustí na pás a separátor paletu pouští dál. Výhodou zdvihu je, že paleta není v kontaktu s běžícím pásem, ale tato metoda je dražší a konstrukce složitější. Díky zdvihu je potřeba si při výběru jednotky pracující na tomto principu dávat pozor na nosnost, která je omezena zdvižným válcem.



Obr. 5.: Poziční jednotka STEIN automation [4]

Tyto poziční jednotky se dají rozdělit na dva typy podle konstrukce. Buď má jeden nebo více pneumatických válců, na kterých je přidělaná deska s minimálně dvěma pozičními kolíky, a to celé je připevněno k profilům dopravníku (obr. 6). Nebo jsou poziční kolíky přidělané přímo na válce, které jsou přimontovány k profilům.



Obr. 6.: STEIN automation open lift centring device [4]

### 2.2.1. Pneumatické válce

Pneumatické válce neboli lineární pohony můžeme rozdělit na jednočinné a dvojčinné (obr. 7). Při výběru pneumatických válců se musí hledět především na nosnost a zdvih. Podle tíhy, kterou válec musí zvednout se vybere průměr pístu a podle potřebného zdvihu se vybere délka. Lineární pohony mohou mít i integrovaná vedení (obr. 8) pro větší přesnost pohybu a snížení namáhání pístnice na ohyb. Píst u pohonu může být vybaven magnetem, což je důležité u strojů, kde je potřeba hlídat pozici pístu. Na takové pohony se dávají magnetické senzory, které hlídají horní a dolní pozici pístu.



*Obr. 7.: Pneumatický válec  
s lineárním vedením  
[autor]*



*Obr. 8.: Pneumatický válec [autor]*

U jednočinných válců je jeden směr pohybu řízen pneumaticky a druhý bývá nejčastěji řízen mechanicky. Mechanického pohybu můžeme docílit například pružinou, která vrací píst do původní polohy. Tento typ válce se používá především pro menší zdvihy. Jednočinný válec se pozná podle toho, že má přivedený vzduch jen k jednomu víku. [1]

U pneumatických válců dvojčinných jsou oba směry pohybu řízeny vzduchem, tedy vzduch je přiveden k oběma víkům. Hlavní výhodou těchto válců je, že se dá pořídit válec s mnohem vyšším zdvihem a oproti pružině můžeme řídit rychlost válce v obou směrech pomocí škrtících ventilů.

### 2.2.2. Separátory

Separátory mají za úkol zastavit paletu na místě a pak ji pustit dál. Dělit je můžeme podle konstrukce. Na tlumené separátory, kde součástí je i tlumič, anebo netlumené separátory. Druhé rozdělení je podle typu přívodu energie na pneumatické nebo elektrické. [2]

Separátor s tlumením (obr. 9) zpomalí a plynule zastaví paletu bez přenosu vibrací. Tento typ se vyrábí jak pneumatický, tak i elektrický. Pneumatický lze snadno přizpůsobit hmotnosti palety. Pneumatický tlumený separátor dokáže utlumit až 3000 kg, elektrický pouze 1000 kg. [2]

Separátory bez tlumení (obr. 10) neobsahují tlumič, paleta tedy natvrdo narazí do oddělovače. Proto jsou tyto oddělovače použitelné pro menší hmotnosti palet a menší rychlost. Opět se tyto separátory vyrábějí jak elektrické, tak pneumatické. Pneumatické dokáží zastavit až 800 kg a elektrické pouze 150 kg. [2]



Obr. 9.: Separátor s tlumením Bosch [autor]



Obr. 10.: Separátor bez tlumení Bosch [autor]

### 2.2.3. Lineární systémy

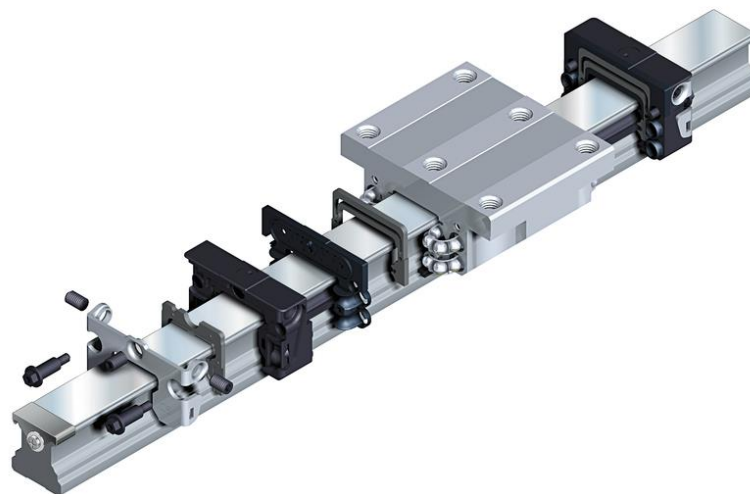
Lineární systémy slouží jako přesný a jednoduchý vodící systém, který umožňuje regulovat pohyb v jedné ose. Skládají se z lineárního vedení, vozíku a pohonu. Pohon zajišťuje pohyb, který vedení zpřesňuje. Tyto systémy lze rozdělit na dva typy, lineární vedení s vodící tyčí nebo kolejničí.

Lineární vedení s vodící tyčí (obr. 11) má na sobě kuličkové nebo kluzné pouzdro. Vodící tyč udržuje směr, ve kterém se má systém pohybovat a pouzdra umožňují pohyb celku. Tento systém se používá u pneumatických válců, kde může být integrován.



Obr. 11.: Kuličkové pouzdro SKF [17]

U lineárního vedení s kolejničí (obr. 12), která určuje směr pohybu, vykonává pohyb vozík. Ve vozíku mohou být oběžné kuličky, válečky nebo rolny. Toto vedení je velice přesné a hodně využívané v praxi.

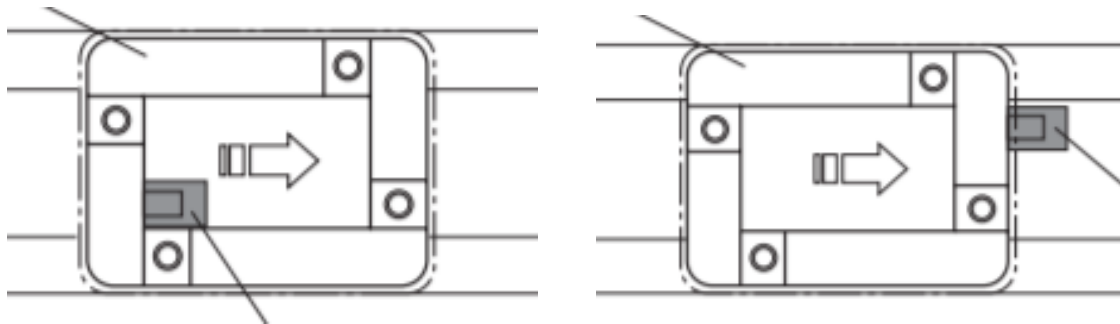


Obr. 12.: Vozík s oběžnými kuličkami SKF [17]

#### 2.2.4. Palety

Palety mají za úkol nést materiál mezi dvěma stanovišti. Výrobek může být položen přímo na paletu, nebo může být připevněn. Paleta se pak pokládá na dopravník. Podle rozměrů palet se volí vzdálenost profilů dopravníkové dráhy. V paletě může být připravená drážka pro vnitřní vodítko nebo otvory pro poziční kolíky, které jsou potřeba při přesnějším pozicování.

Palety se volí hlavně podle velikosti, kterou zákazník pro výrobek potřebuje. Druhým hlavním hlediskem pro výběr palet je jejich nosnost. Dále se dají vybrat palety podle místa, kde proběhne zastavení, buď za vnitřní hranu nebo za hranu vnější (obr 13).

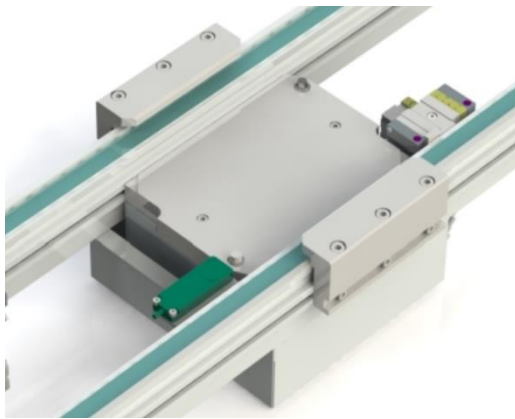


Obr. 13.: Zastavení palet [3]

### 2.3.2. STEIN automation

Tato firma vyrábí a dodává komponenty založené na podobném principu jako firma Bosch. Přesnost pozicování je  $\pm 0,02$  mm. Maximální zdvih nabízí 250 mm. Opět je deska s pozičními kolíky připevněna k pneumatickému válci. K pozičním jednotkám této firmy lze dokoupit i horní zarážky (obr. 18). [4]

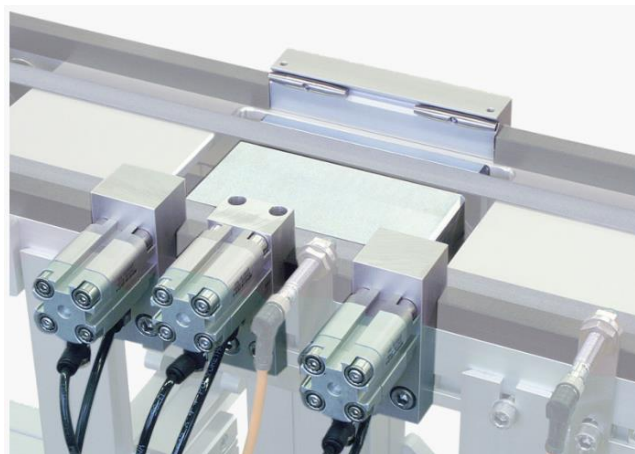
Zajímavým řešením, kterým se liší od konkurence, je použití dvou pneumatických válců. Díky dvěma válcům a robustní konstrukci lze poziční jednotku zatížit až 30 kN. Tyto válce jsou úhlopříčně namontované k celkové konstrukci. [4]



Obr. 18.: Poziční jednotka STEIN automation s horními zarážkami [4]

### 2.3.3. Montech

Montech nabízí poziční jednotky bez zdvihu s přesností  $\pm 0,05$  mm. Jejich poziční jednotky pracují na principu pozičních jednotek s vodítkem (obr. 19). Paleta najede z boku na vodítko a z druhého boku je zajištěna pneumatickými válci. Paleta je přesně pozicována, ale zůstává v neustálém kontaktu z pásem. [5]

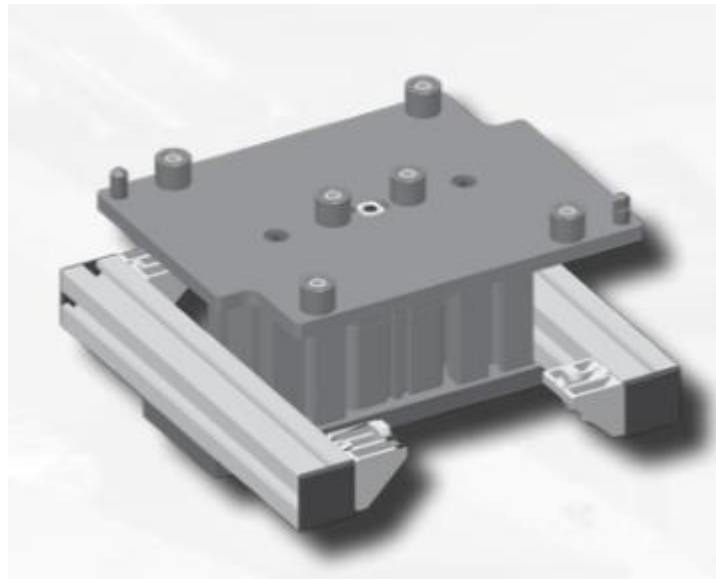


Obr. 19.: Poziční jednotka Montech [5]



### 2.3.4. Lipro

Firma Lipro má poziční jednotky (obr. 20) na stejném principu jako Bosch Rexroth a firma STEIN automation. Největší přesnost dosahuje  $\pm 0,1$  mm a maximální zdvih je 400 mm. Sílu zdvihu mají rozdělenou podle velikosti palet, kde pro palety do délky 240 mm je to 800 N. Pro palety délky do 400 mm je to 1200 N a nad délku 400 mm je to 1800 N. [6]



*Obr. 20.: Poziční jednotka Lipro [6]*

### 2.3.5. Asutec

Asutec využívá k pozicování palet vysouvání pozičních kolíků (obr. 21). Paleta zůstává v neustále kontaktu s pásem. Není potřeba žádná složitá konstrukce, pouze se použije dvojice válců, která je namontována přímo k profilům. Pro větší přesnost se dá použít více válců. [2]



*Obr. 21.: Poziční válec Asutec [2]*

### 3. Návrh a konstrukce poziční jednotky

Dle zadání jsou navrženy dva koncepční návrhy pozičních jednotek. První poziční jednotka je s volným zdvihem a druhá poziční jednotka je s omezeným zdvihem. Pro obě jednotky je stejné maximální zatížení 300 N a minimální přesnost  $\pm 0,1$  mm. Obě varianty jsou dále zpracované a jsou pro ně provedeny potřebné kontrolní výpočty. Poziční jednotky jsou navrhovány a kontrolovány pro zadané velikosti palet od 240x240 mm až po 480x480 mm a všechny jejich možné kombinace (tab. 1), kde se velikost palet zvětšuje po 80 mm.

Jako materiál navrhovaných dílů je vybrána hliníková slitina EN AW-6061 pro svojí vynikající pevnost, dostatečnou tvrdost, dobrou obrobitelnost a nízkou váhu. Povrchová úprava je volena eloxování, kvůli zlepšení povrchových vlastností slitiny hliníku, jako je povrchová tvrdost. Navíc barvu eloxování poziční jednotky si zákazník může zvolit dle svých potřeb.

Spojovací materiál tvoří šrouby s vnitřním šestihranem a nízkou hlavou DIN 7984 M12, M8, M6 a M5 různých délek, pevnostní třídy 8.8. K připojení prvků k profilům se použijí T-matice M8 pro drážku v profilu velikosti 10 a rychlospojky. Pod hlavy šroubů jsou navrženy pojistné podložky SCHNORR typ S M12, M8, M6 a M5. Dále pro dosažení přesnosti montáže jsou navrženy válcové kolíky DIN 6325 průměr 4 třída přesnosti m6 a pružné kolíky DIN 1481 průměru 4.

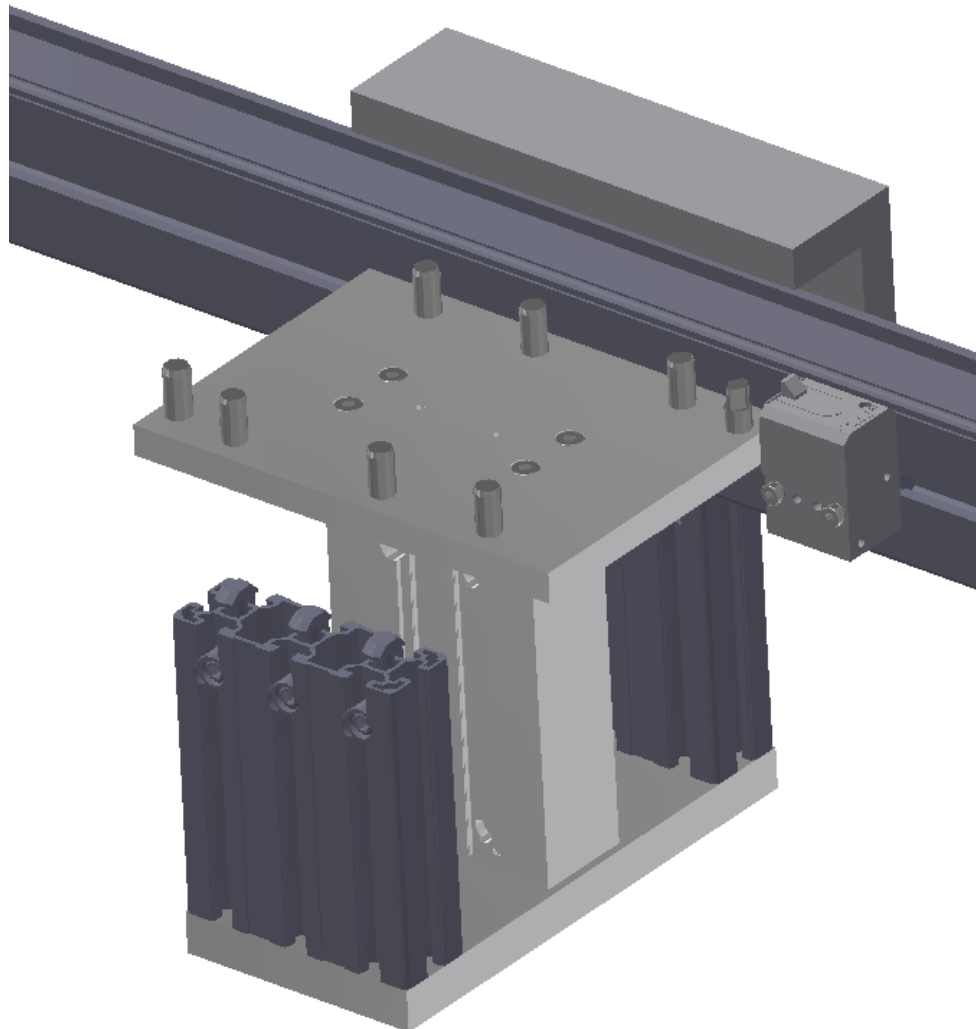
Tab. 1.: Rozměry palet [autor]

Šířka [mm]	240	240	240	240	320	320	320	320	400	400	400	400	480	480	480	480
Délka [mm]	240	320	400	480	240	320	400	480	240	320	400	480	240	320	400	480

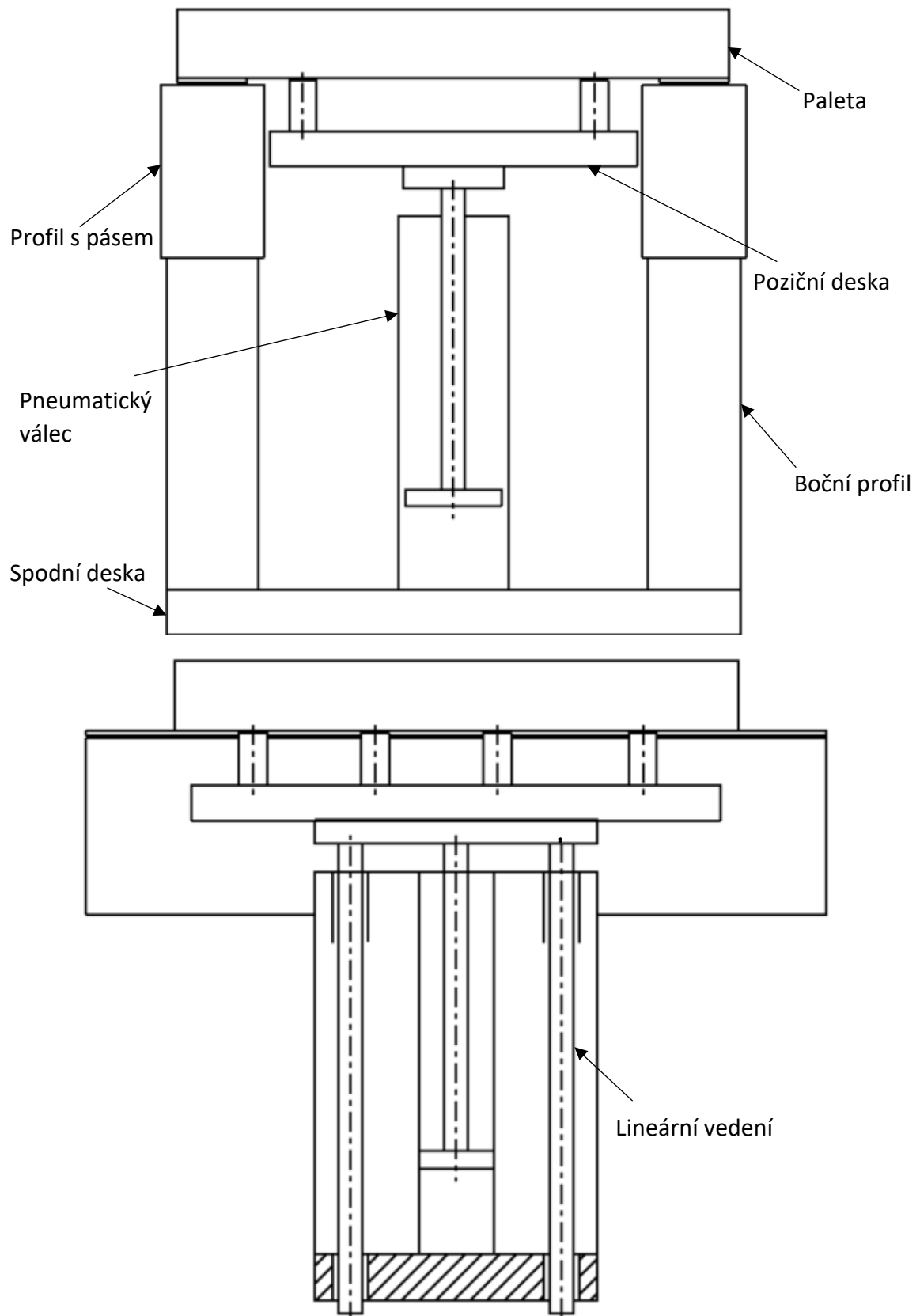
### 3.1. Poziční jednotka s volným zdvihem

U poziční jednotky s volným zdvihem (obr. 22) je zvolen maximální zdvih 3 mm. Přesnost je podle zadání  $\pm 0,1$  mm, pro zatížení 300 N a pro velikosti patel od 240x240 mm až po 480x480 mm a všechny jejich varianty dle zadání. Některé díly jsou nakupovány, ostatní jsou navrženy a vyrobeny. U vyráběných dílů jsou provedeny potřebné početní kontroly na deformaci, aby byla dodržena potřebná přesnost celé jednotky.

Mezi nakupované díly patří profily, pneumatický válec, separátor, poziční kolíky a veškerý spojovací materiál. Vyráběné díly jsou spodní deska, poziční deska a horní zarážky.



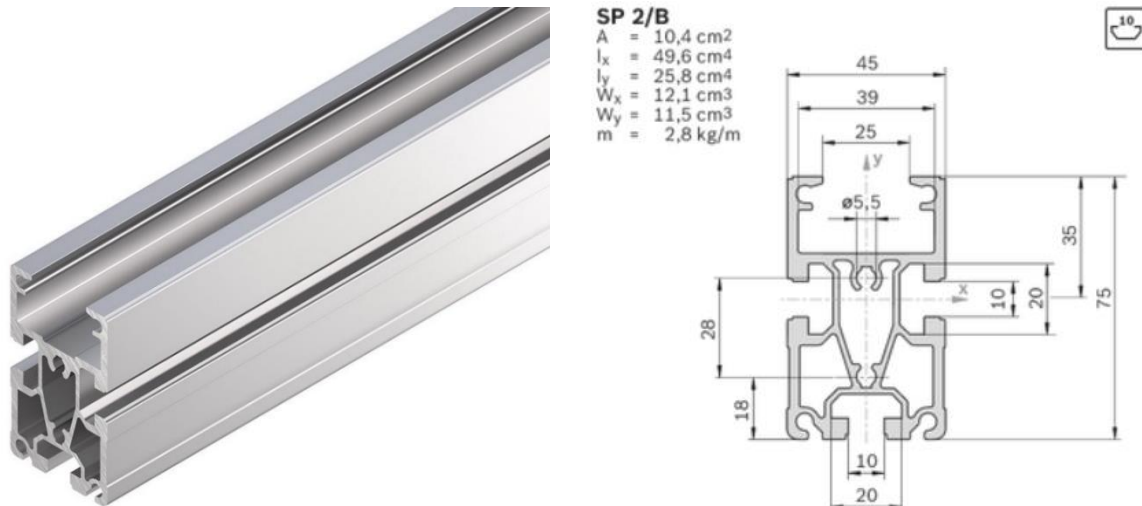
Obr. 22.: Poziční jednotka s volným zdvihem [autor]



Obr. 23.: Schéma poziční jednotky s volným zdvihem [autor]

### 3.1.1. Profily

Profily (obr. 24) jsou vybrány z nabídky firmy Bosch. Typ profilů SP 2/B se hodí k sestavení dopravníkové dráhy. Tyto profily mají montážní drážku pro T matice velikosti 10. Jsou vyrobeny ze slitiny hliníku, délky se nabízejí od 60 do 6 000 mm. Profily jsou uzpůsobeny pro běh pásů, který se vrací uvnitř profilu. Drážky pro montáž jednotlivých komponent či dalších profilů jsou možné po obou stranách a ze spodu. Profily a další komponenty se montují pomocí T matic a rychlospojek. [3]



Obr. 24.: Profil Bosch SP 2/B [3]

### 3.1.2. Separátor

Separátor je zvolen od firmy Asutec a to pneumatický separátor bez tlumení ASU-70 (obr. 25). Tento separátor zastaví maximálně paletu o hmotnosti 70 kg, což vyhovuje zadání, kde je maximální váha 30 kg. [2]



Obr. 25.: Separátor bez tlumení ASU-70 [2]

### 3.1.3. Pneumatický válec

Byl zvolen pneumatický válec s lineárním vedením od firmy SMC (obr. 26), typu MGPA32TF-25AZ, kde MGP značí válce pro větší zatížení, A značí typ lineárního vedení. Z důvodu přesnosti bylo vybráno přesné valivé vedení (tab. 3). 32 je zvolený průměr pístu (tab. 2), TF je trubkový závit pro šroubení. Číslo 25 z kódu značí maximální zdvih 25 mm a AZ znamená, že válec má nastavitelné vzduchové tlumení. [7]



Obr. 26.: Pneumatický válec SMC [7]

Dle zadaných parametrů je průměr pístu navržen z tabulky (tab. 2) dané výrobcem, dle zadaných parametrů. Pro zadané maximální zatížení 300 N a pro běžně užívaný tlak 0,6 MPa je vybrán píst o průměru 32 mm. Píst zvoleného průměru má zdvih 483 N, je zde ponechána rezerva, kdyby došlo k poklesu tlaku, nebo by byla paleta lehce přetížena. [7]

Tab. 2.: Zatížení a průměr pístu [7]

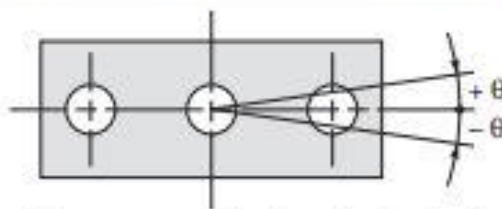
Bore size [mm]	Rod size [mm]	Operating direction	Piston area [mm <sup>2</sup> ]	Operating pressure [MPa]								
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
16	8	OUT	201	40	60	80	101	121	141	161	181	201
		IN	151	30	45	60	75	90	106	121	136	151
20	10	OUT	314	63	94	126	157	188	220	251	283	314
		IN	236	47	71	94	118	142	165	188	212	236
25	10	OUT	491	98	147	196	245	294	344	393	442	491
		IN	412	82	124	165	206	247	289	330	371	412
32	14	OUT	804	161	241	322	402	483	563	643	724	804
		IN	650	130	195	260	325	390	455	520	585	650
40	14	OUT	1257	251	377	503	628	754	880	1005	1131	1257
		IN	1103	221	331	441	551	662	772	882	992	1103
50	20	OUT	1963	393	589	785	982	1178	1374	1571	1767	1963
		IN	1649	330	495	660	825	990	1154	1319	1484	1649
63	20	OUT	3117	623	935	1247	1559	1870	2182	2494	2806	3117
		IN	2803	561	841	1121	1402	1682	1962	2242	2523	2803
80	25	OUT	5027	1005	1508	2011	2513	3016	3519	4021	4524	5027
		IN	4536	907	1361	1814	2268	2722	3175	3629	4082	4536
100	30	OUT	7854	1571	2356	3142	3927	4712	5498	6283	7069	7854
		IN	7147	1429	2144	2859	3574	4288	5003	5718	6432	7147

\*: Theoretical output [N] = Pressure [MPa] x Piston area [mm<sup>2</sup>]

Lineární vedení typu A u pneumatických válců typu MGPA má přesnost natočení  $0,01^\circ$  (tab. 3), což je lineární vedení s největší přesností, kterou výrobce nabízí. Tato chyba vedení je dále kontrolována výpočtem, aby bylo zjištěno, jestli poziční jednotka s tímto válcem bude vyhovovat zadané přesnosti. [7]

Tab. 3.: Natočení lineárního vedení [7]

### Non-rotating Accuracy of Plate

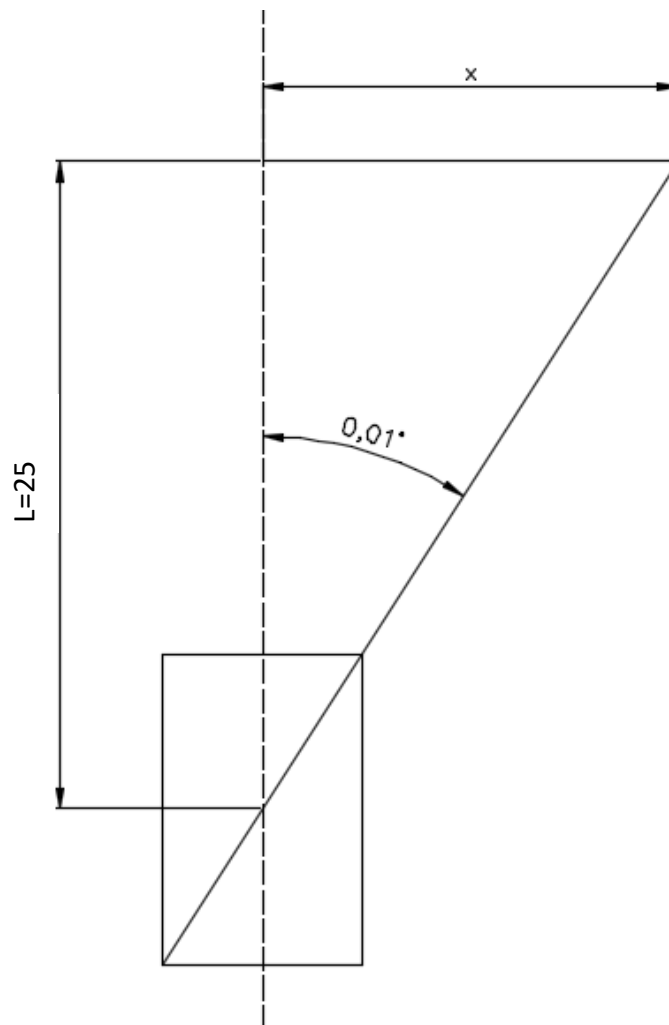


Bore size [mm]	Non-rotating accuracy $\theta$		
	MGPM	MGPL	MGPA
16	$\pm 0.07^\circ$	$\pm 0.05^\circ$	$\pm 0.01^\circ$
20	$\pm 0.06^\circ$	$\pm 0.04^\circ$	
25			
32	$\pm 0.05^\circ$	$\pm 0.03^\circ$	
40			
50	$\pm 0.04^\circ$	$\pm 0.03^\circ$	
63	$\pm 0.03^\circ$	$\pm 0.03^\circ$	
80			
100			

### 3.1.4. Kontrola integrovaného lineárního vedení

Výpočet natočení rohu palety 240x240 mm, jako nejvzdálenějšího bodu od středu rotace, kde bude vlivem rotace největší posun. Tento posun je způsoben nepřesností lineárního vedení ve válci, která je  $0,01^\circ$  (tab. 3). Tato nepřesnost je při zasunutí pístnici. Z toho důvodu se musí natočení přepočítat na maximální vysunutí válce, které je 25 mm.

Výpočet posunutí konce vodící tyče lineárního vedení při vysunutí o 25 mm podle schématu (obr.27).



Obr. 27.: Výpočetní schéma posunutí konce vodící tyče [autor]

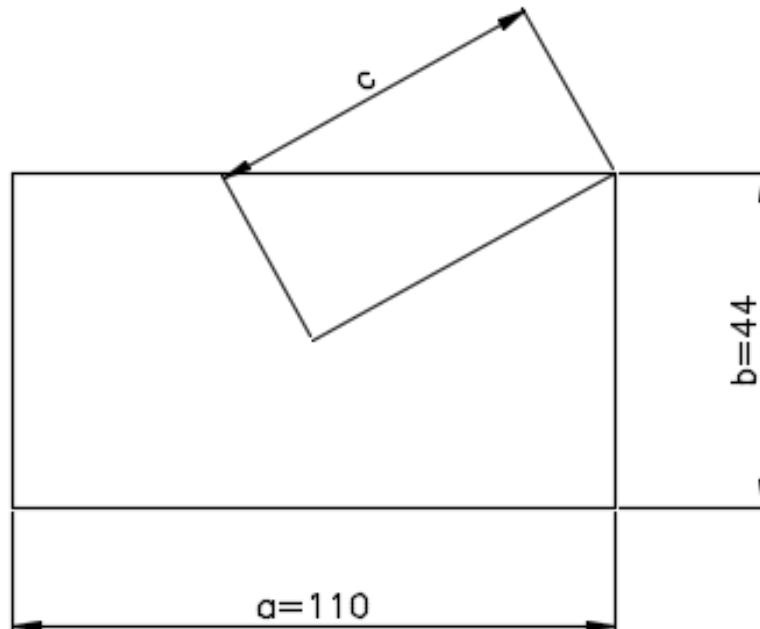
$$\tan \theta = \frac{x}{L} \quad (1)$$

$$x = \tan 0,01^\circ \cdot 25 = 4,36 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \quad (2)$$

Výpočet této hodnoty se pak používá u všech velikostí palet, jelikož se válec nemění.



Výpočet vzdálenosti rohu desky pneumatického válce od středu rotace. Výpočet je proveden dle výpočetního schématu (obr. 28).



Obr. 28.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky desky pneumatického válce[autor]

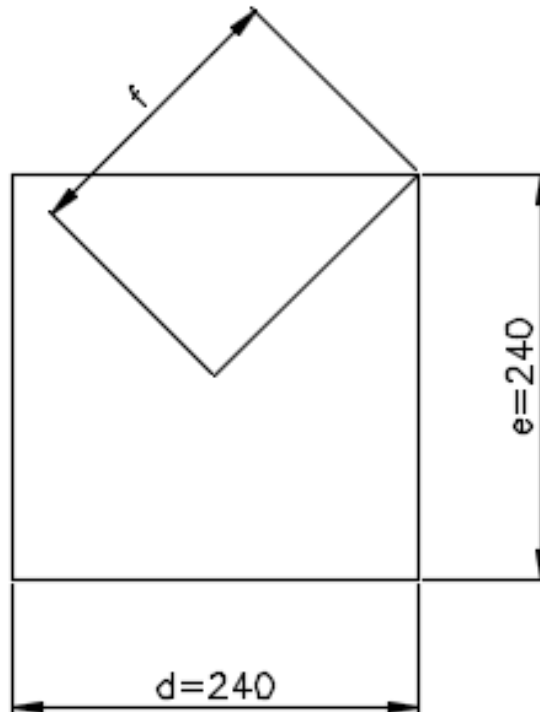
$$c'^2 = a^2 + b^2 = 110^2 + 44^2 \quad (3)$$

$$c' = \sqrt{110^2 + 44^2} = 118,47 \text{ mm} \quad (4)$$

$$c = \frac{c'}{2} = \frac{118,47}{2} = 59,24 \text{ mm} \quad (5)$$

Opět tato velikost  $c$  se používá dále u všech velikostí palet, jelikož se pneumatický válec nemění.

Dále je proveden výpočet poloviny úhlopříčky palety o velikosti 240x240 mm, který je nejvzdálenější bodu od středu rotace (obr. 29).



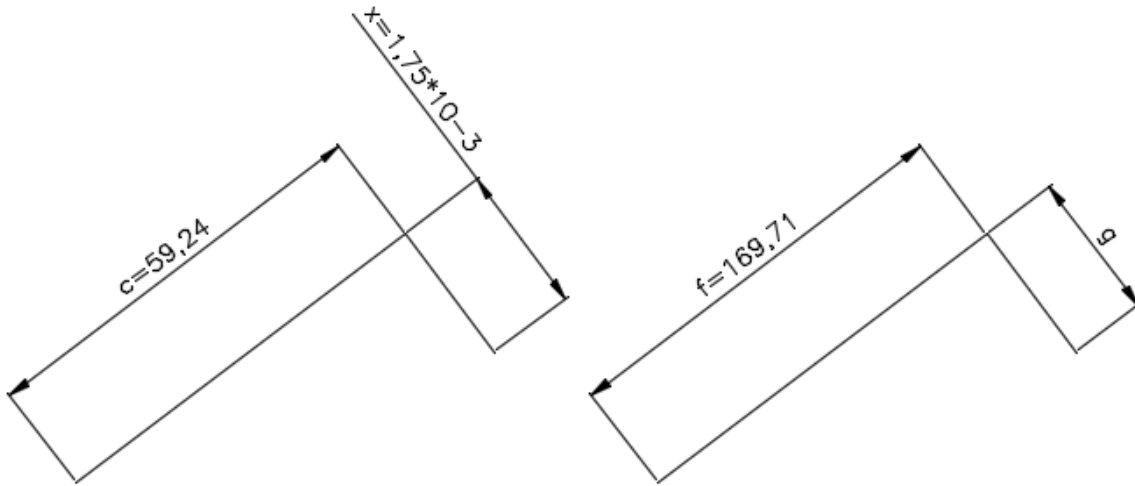
Obr. 29.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky palety velikosti 240x240 mm [autor]

$$f_{240}'^2 = d_{240}^2 + e_{240}^2 = 240^2 + 240^2 \quad (6)$$

$$f_{240}' = \sqrt{240^2 + 240^2} = 339,41 \text{ mm} \quad (7)$$

$$f_{240} = \frac{f_{240}'}{2} = \frac{339,41}{2} = 169,71 \text{ mm} \quad (8)$$

Z podobnosti trojúhelníků je dopočítán posun rohu palety podle schématu (obr. 30).



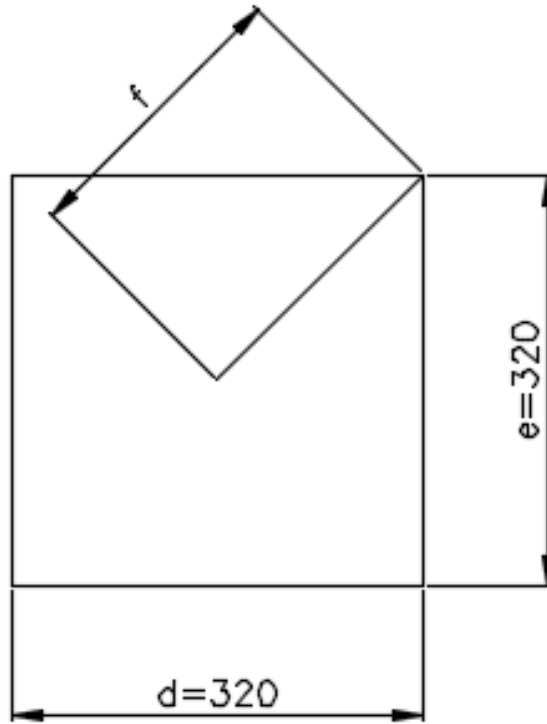
Obr. 30.: Výpočetní schéma posunu rohu palety 240x240 mm [autor]

$$k = \frac{x}{c} = \frac{4,36 \cdot 10^{-3}}{59,24} = 7,36 \cdot 10^{-5} \quad (9)$$

$$g_{240} = f_{240} \cdot k = 169,71 \cdot 7,36 \cdot 10^{-5} = 0,012 \text{ mm} \quad (10)$$

Natočení nejvzdálenějšího bodu palet 240x240 mm od středu rotace vyšlo 0,012 mm, tato hodnota vyhovuje potřebné přesnosti.

Dále je proveden výpočet poloviny úhlopříčky palety o velikosti 240x240 mm, který je nejbzdálenější bodu od středu rotace (obr. 31).



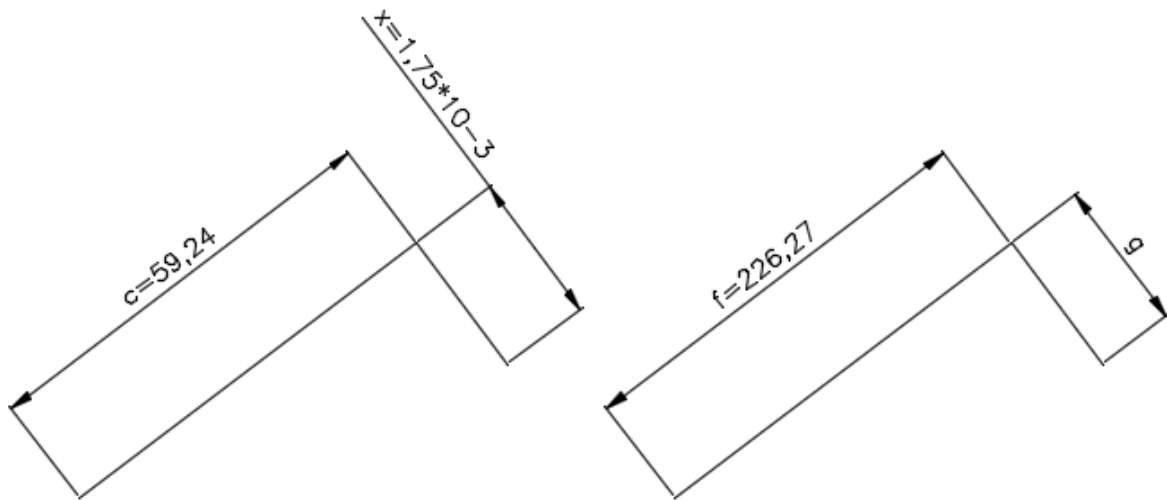
Obr. 31.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky palety velikosti 320x320 mm [autor]

$$f_{320}'^2 = d_{320}^2 + e_{320}^2 = 320^2 + 320^2 \quad (11)$$

$$f_{320}' = \sqrt{320^2 + 320^2} = \sqrt{204\,800} = 452,55 \text{ mm} \quad (12)$$

$$f_{320} = \frac{f_{320}'}{2} = \frac{452,55}{2} = 226,27 \text{ mm} \quad (13)$$

Z podobnosti trojúhelníků je dopočítán posun rohu palety podle schématu (obr. 32).



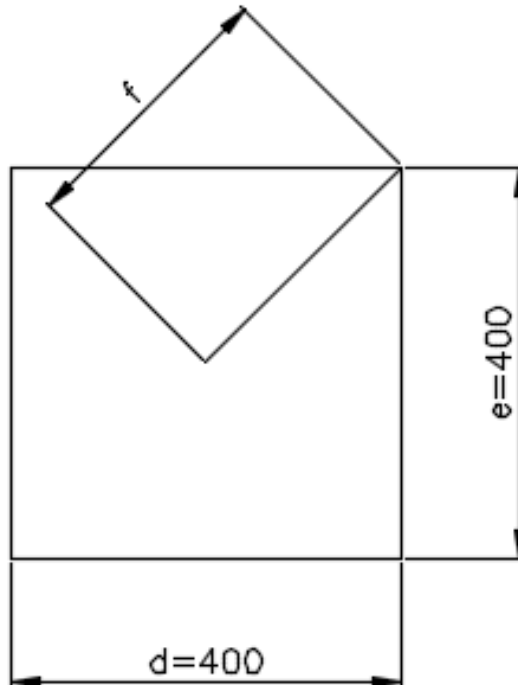
Obr. 32.: Výpočetní schéma posunu rohu palety 320x320 mm [autor]

$$k = \frac{x}{c} = \frac{4,36 \cdot 10^{-3}}{59,24} = 7,36 \cdot 10^{-5} \quad (14)$$

$$g_{320} = f_{320} \cdot k = 226,27 \cdot 7,36 \cdot 10^{-5} = 0,017 \text{ mm} \quad (15)$$

Natočení nejvzdálenějšího bodu palet 320x320 mm od středu rotace je 0,017 mm. Tato hodnota je vyhovující.

Dále je proveden výpočet poloviny úhlopříčky palety o velikosti 240x240 mm, který je nejbzdálenější bodu od středu rotace (obr. 33).



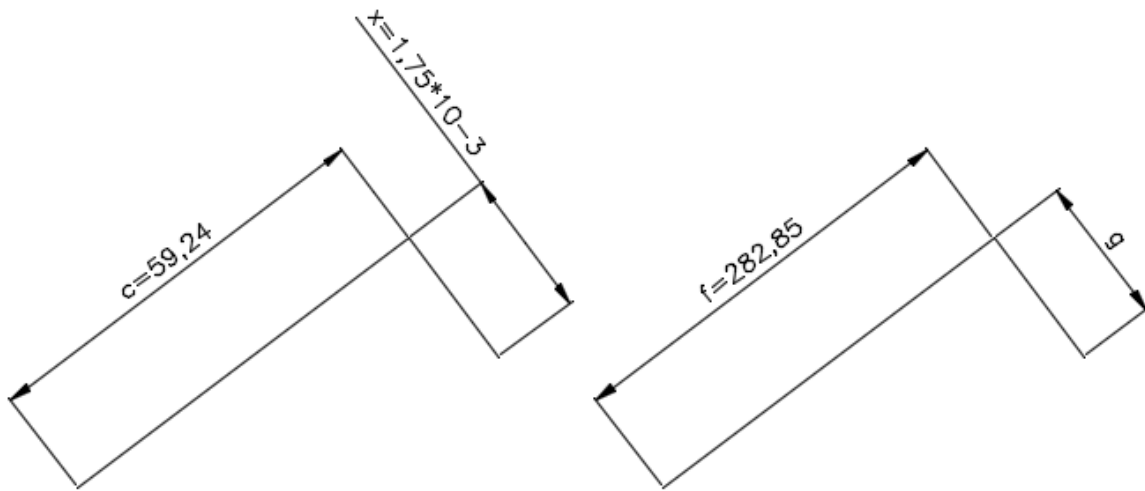
Obr. 33.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky palety velikosti 400x400 mm [autor]

$$f'_{400}{}^2 = d_{400}^2 + e_{400}^2 = 400^2 + 400^2 \quad (16)$$

$$f'_{400} = \sqrt{400^2 + 400^2} = \sqrt{320\,000} = 565,69 \text{ mm} \quad (17)$$

$$f_{400} = \frac{f'_{400}}{2} = \frac{565,69}{2} = 282,85 \text{ mm} \quad (18)$$

Z podobnosti trojúhelníků je dopočítán posun rohu palety podle schématu (obr. 34).



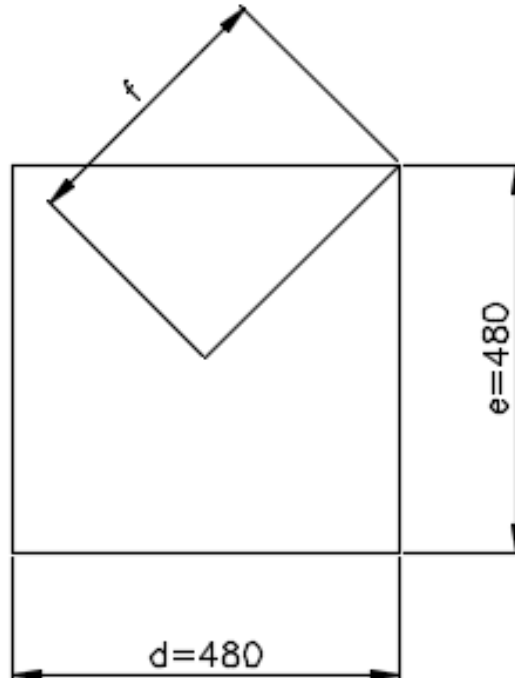
Obr. 34.: Výpočetní schéma posunu rohu palety 400x400 mm [autor]

$$k = \frac{x}{c} = \frac{4,36 \cdot 10^{-3}}{59,24} = 7,36 \cdot 10^{-5} \quad (19)$$

$$g_{400} = f_{400} \cdot k = 282,85 \cdot 7,36 \cdot 10^{-5} = 0,021 \text{ mm} \quad (20)$$

Natočení nejvzdálenějšího bodu palet 400x400 mm od středu rotace je 0,021 mm. Tento posun vyhovuje zadané hodnotě.

Dále je proveden výpočet poloviny úhlopříčky palety o velikosti 240x240 mm, který je nejvzdálenější bodu od středu rotace (obr. 35).



Obr. 35.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky palety velikosti 480x480 mm [autor]

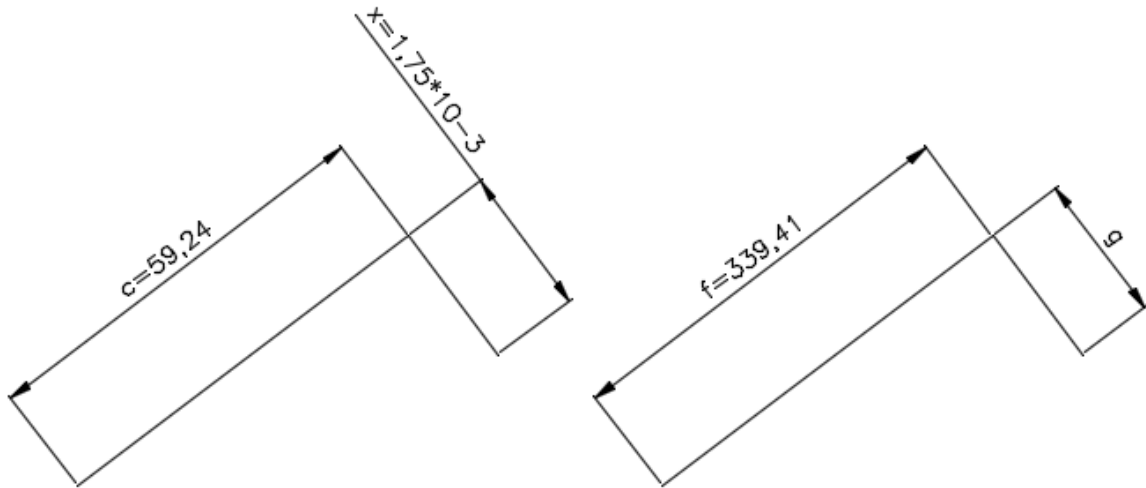
$$f_{480}'^2 = d_{480}^2 + e_{480}^2 = 480^2 + 480^2 \quad (21)$$

$$f_{480}' = \sqrt{480^2 + 480^2} = \sqrt{460\,800} = 678,82 \text{ mm} \quad (22)$$

$$f_{480} = \frac{f_{240}'}{2} = \frac{678,82}{2} = 339,41 \text{ mm} \quad (23)$$



Přes výpočet podobnosti trojúhelníků je dopočítán posun rohu palety podle schématu (obr. 36).



Obr. 36.: Výpočetní schéma posunu rohu palety 480x480 mm [autor]

$$k = \frac{x}{c} = \frac{4,36 \cdot 10^{-3}}{59,24} = 7,36 \cdot 10^{-5} \quad (24)$$

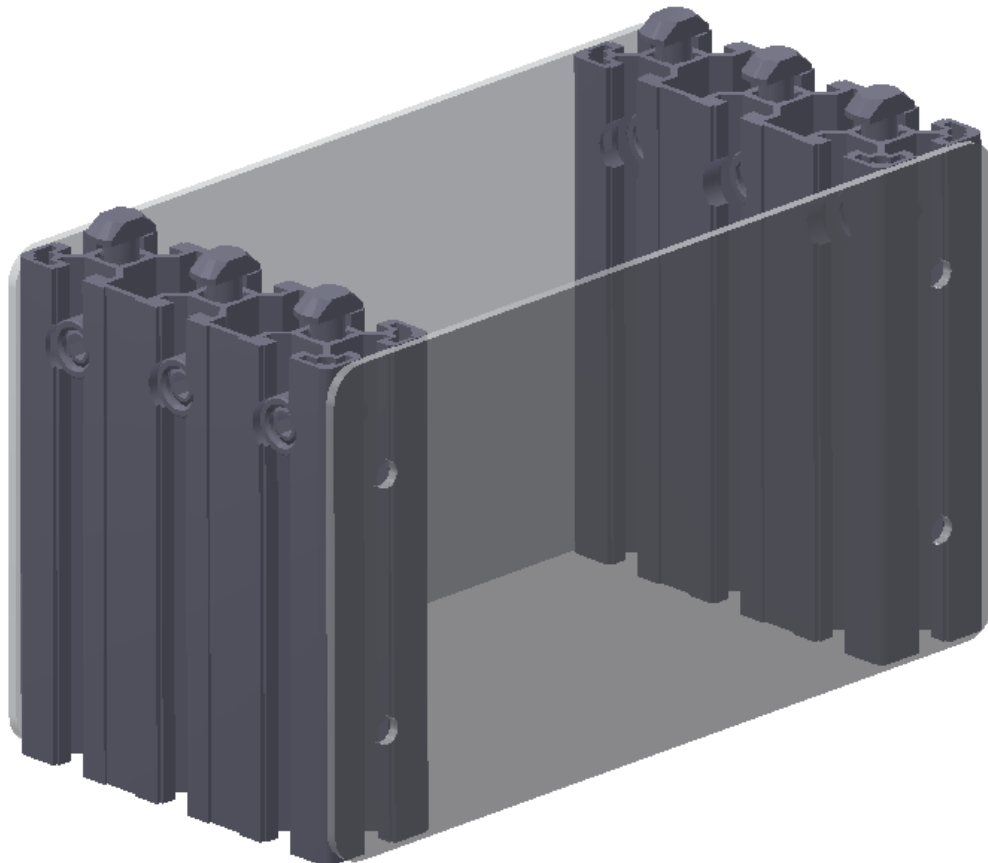
$$g_{480} = f_{480} \cdot k = 339,41 \cdot 7,36 \cdot 10^{-5} = 0,025 \text{ mm} \quad (25)$$

Natočení nejvzdálenějšího bodu palet 480x480 mm od středu rotace je 0,025 mm, a to je o řád nižší než požadovaná přesnost.

### 3.1.5. Boční profily a kryty

Boční profily (obr. 37) jsou vybrány 40x120 mm od firmy Bosch. Profily jsou vyrobeny ze slitiny hliníku. Do profilů musí být vyvrtány otvory pro rychlospojky, pomocí kterých se přimontují k profilům s pásem. Otvory musí mít průměr 17 mm. Ve spodní části profilů jsou obrobena závity M12, díky kterým se přišroubuje spodní deska. V profilech jsou připravené drážky pro T matice, to umožňuje snadnou montáž krytů. Kryty jsou potřeba z bezpečnostních důvodů, protože všechny pohyblivé části mají být zakrytované. [3]

Kryty mohou být plastové, ze slitiny hliníku nebo nerezové. Stačí do nich v potřebné vzdálenosti vyvrtat otvory. Pomocí šroubů a T matic se přimontují z boku k profilům.

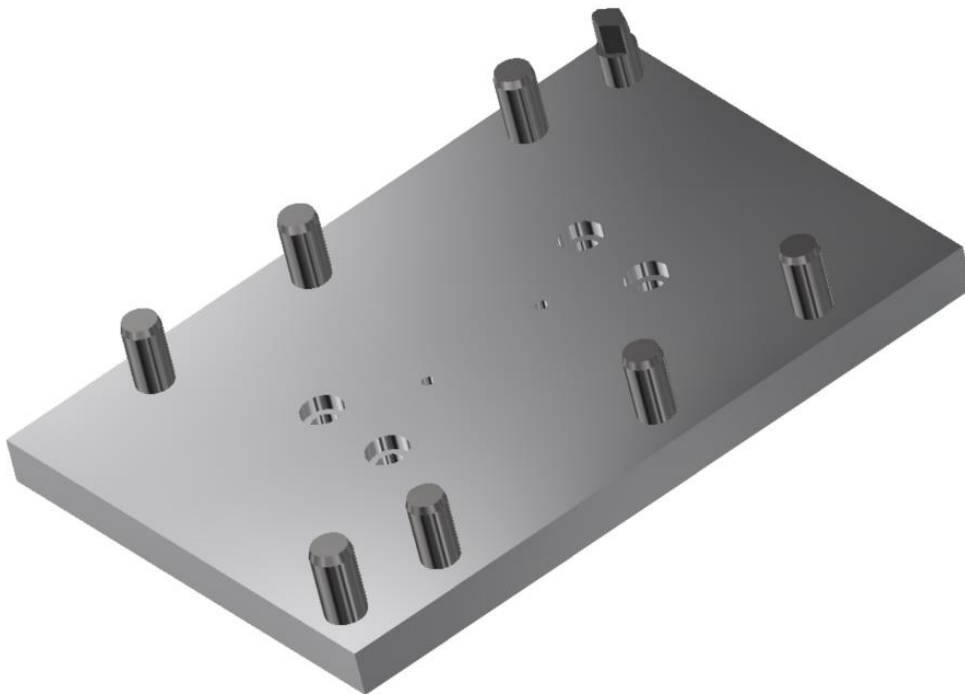


Obr. 37.: Boční profil [autor]

### 3.1.6. Poziční deska

Poziční deska (obr. 38) má za úkol nadzvednout paletu a zapozicovat ji. Deska je připojena na pneumatický válec pomocí šroubů. Přesné pozice při montáži je dosaženo pomocí válcového a pružného kolíku. Na desku je umístěno několik válcových kolíků, které podírají paletu při zvedání a dva poziční kolíky, které paletu přesně pozicují.

Kolíky, které mají podírat paletu, jsou válcový kalený DIN 6325 velikosti 12x32 o třídě přesnosti m6. Otvory pro tyto kolíky mají průměr 12 mm s třídou přesnosti H7 a hloubku 10 mm. Otvor pro válcový kolík, který pozicuje desku na pneumatickém válci, má průměr 4 mm, je průchozí a má třídu přesnosti H7. Otvor pro pružný kolík je průchozí a má průměr 4 mm třídy přesnosti H12. [8]



Obr. 38.: Poziční deska [autor]

Poziční kolíky, které se lisují na desku, nabízí firma Bosch. Montují se úhlopříčně. Jeden kolík je válcový (obr. 39) a druhý kolík má sražené hrany (obr. 40). Kolíky se umísťují tak, aby zapadly do připravených děr na paletě a přesně ji zapozicovaly. [3]



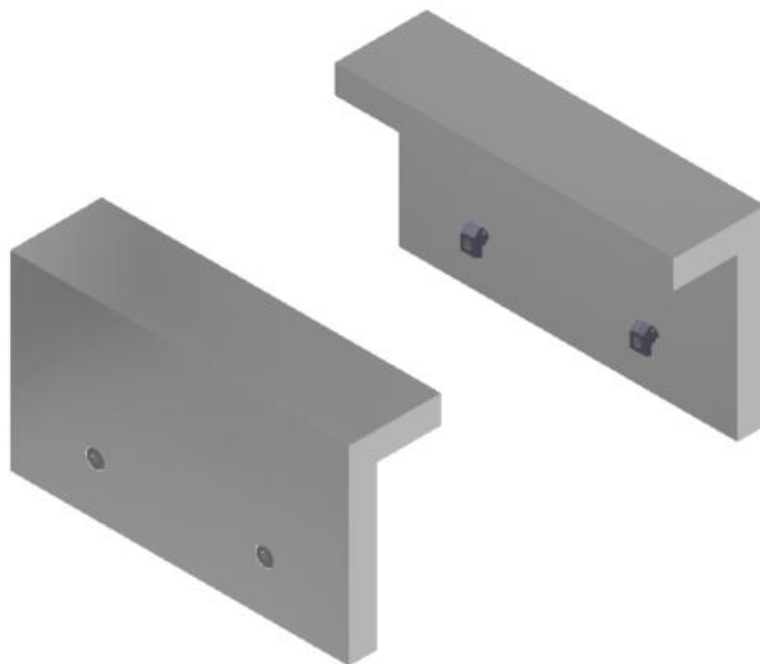
Obr. 39.: Poziční kolík válcový [autor]

Obr. 40.: Poziční kolík zploštělý [autor]

### 3.1.7. Zarážky

Zarážky (obr. 41) slouží ke stabilizaci palety v horní pozici a zároveň omezují zdvih pneumatického válce. V zarážkách jsou navrženy dva průchozí otvory pro šrouby k uchycení k profilům. Zarážky jsou uchyceny k profilům z boku.

Pro zarážky je navržen materiál slitina hliníku EN AW-6061. Tloušťka zarážek je 20 mm. Šrouby pro uchycení jsou zvoleny M8 a k nim T matice. Díry pro šrouby mají průměr 9 mm. [8]

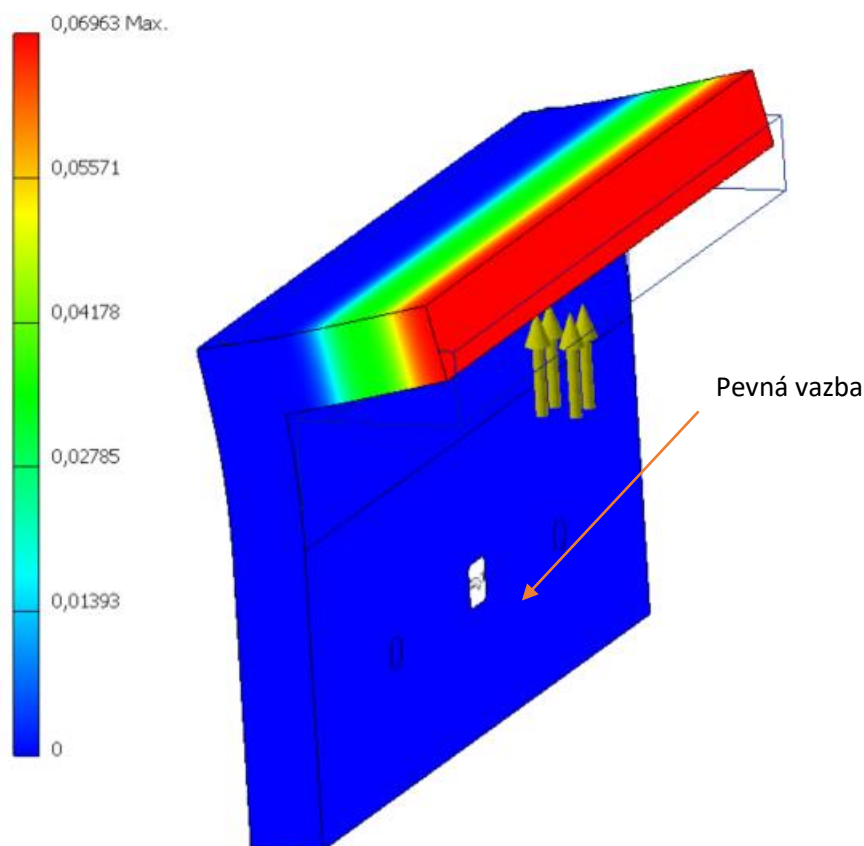


*Obr. 41.: Zarážky [autor]*

Při vysunutí palety je vyvinutý tlak na obě zarážky. Z tohoto důvodu je provedena MKP kontrola těchto součástí.

### 3.1.8. MKP analýza zarážky

Z důvodu tlaku vyvinutého po zastavení palety o horní zarážky, jsou kontrolovány deformace zarážek (obr. 42). Tloušťka plechů je 20 mm a zatížení od válce je bráno vyšší, než se běžně používá a to 0,8 MPa. Tlak je aplikován na horní vnitřní plochu. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,03 mm až 1 mm. Pevná vazba je zavedena na vnitřní boční plochu, kde jsou zarážky v kontaktu s profily. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť je závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]



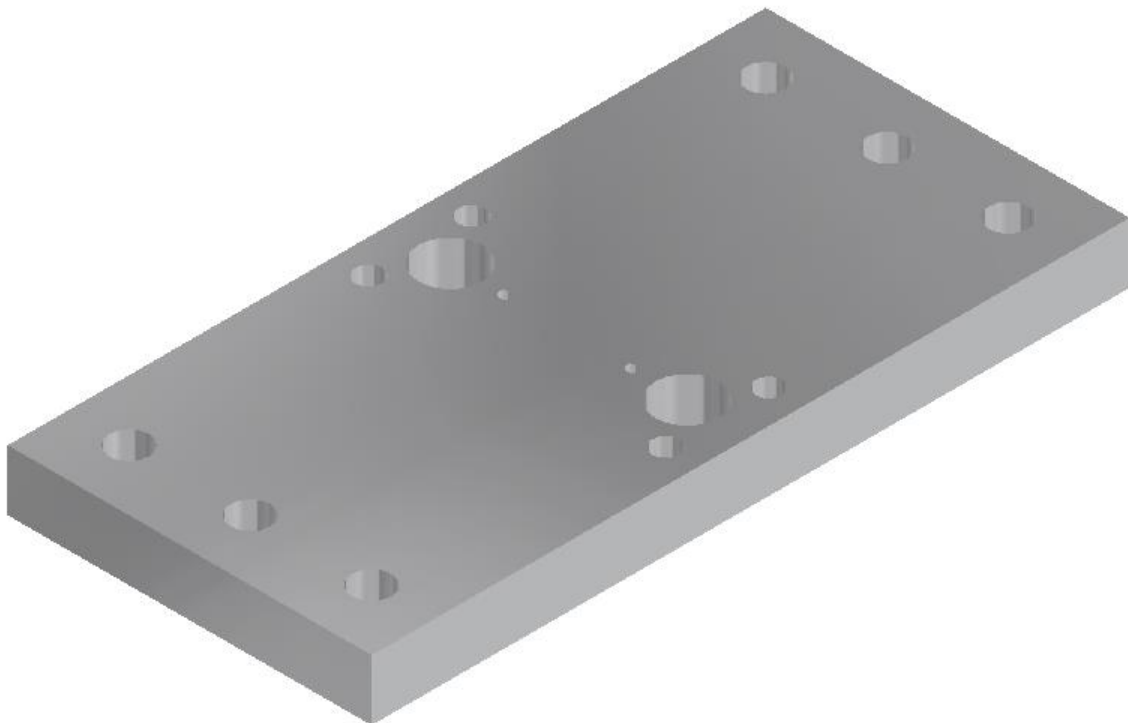
Obr. 42.: Deformace zarážky poziční jednotky s volným zdvihem – výpočet MKP [autor]

Maximální průhyb zarážky ze slitiny hliníku vychází 0,07 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, součást vyhovuje.

### 3.1.9. Spodní deska

Spodní deska (obr. 43) drží válec a je přimontována k profilům. V desce jsou navrženy otvory pro lineární vedení pneumatického válce. Dále jsou navrženy průchozí otvory pro šrouby a otvory neprůchozí pro kolíky.

Materiál desky je zvolen slitina hliníku EN AW-6061. Tloušťka desky je 20 mm. Otvory pro šroub, přes které se přichytí pneumatický válec, jsou navrženy pro velikost šroubů M8 a mají průměr 9 mm. Otvory pro přichycení k profilům mají průměr 13 mm. Hlavy šroubů se do desky zapustí. Otvory pro kolíky pozicující pneumatický válec mají hloubku 5 mm a průměr 4 mm. Pro kolíky válcové je přesnost otvorů H7 a pro kolíky pružné H12. [8]

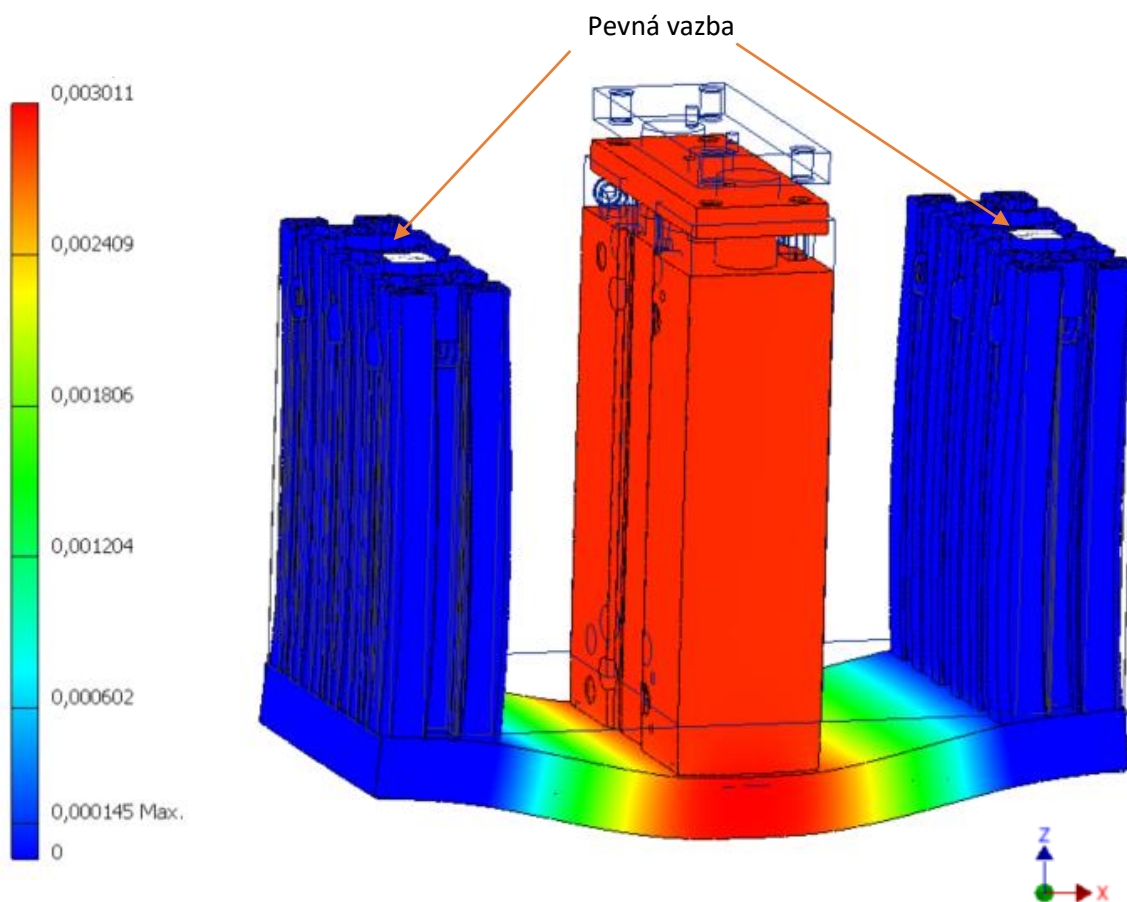


Obr. 43.: Spodní deska [autor]

Na tuto desku působí největší tlak od pneumatického válce, který zvedá paletu. Z toho důvodu je provedena MKP kontrola, při které je kontrolován průhyb desky, který nesmí být větší, než je dovolená přesnost ze zadání. Jelikož celá poziční jednotka je navržena symetricky, je kontrolován průhyb pouze v jedné ose.

### 3.1.10. MKP analýza poziční jednotky s volným zdvihem

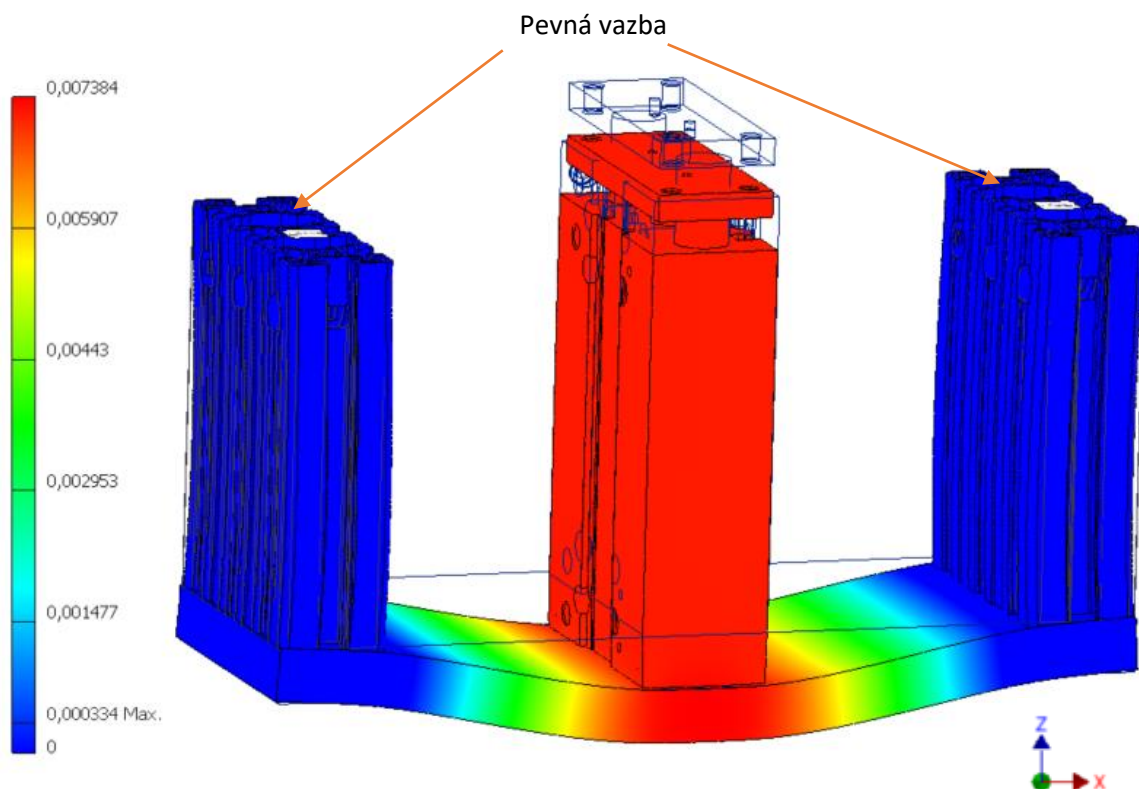
MKP kontrola (obr. 44) spodní desky, která má navrženou tloušťku 20 mm při zatížení zadanou maximální silou  $F = 300$  N. Síla je aplikovaná do spodní plochy pneumatického válce. Rozměry desky jsou uzpůsobeny pro velikost palety o šířce 240 mm. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,03 mm až 1 mm. Nahoře na jedné bočnici je zavedena pevná vazba a na druhé je zakázán pohyb v ose Z. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť je závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]



Obr. 44.: Deformace poziční jednotky s volným zdvihem pro palety o šířce 240 mm – výpočet MKP [autor]

Maximální průhyb pro desku ze slitiny hliníku vychází 0,003 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, součást vyhovuje.

MKP kontrola (obr. 45) spodní desky, která má navrženou tloušťku 20 mm při zatížení zadanou maximální silou  $F = 300 \text{ N}$ . Síla je aplikovaná do spodní plochy pneumatického válce. Rozměry desky jsou uzpůsobeny pro velikost palety o šířce 320 mm. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,03 mm až 1 mm. Nahoře na jedné bočnici je zavedena pevná vazba a na druhé je zakázán pohyb v ose Z. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť je závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]

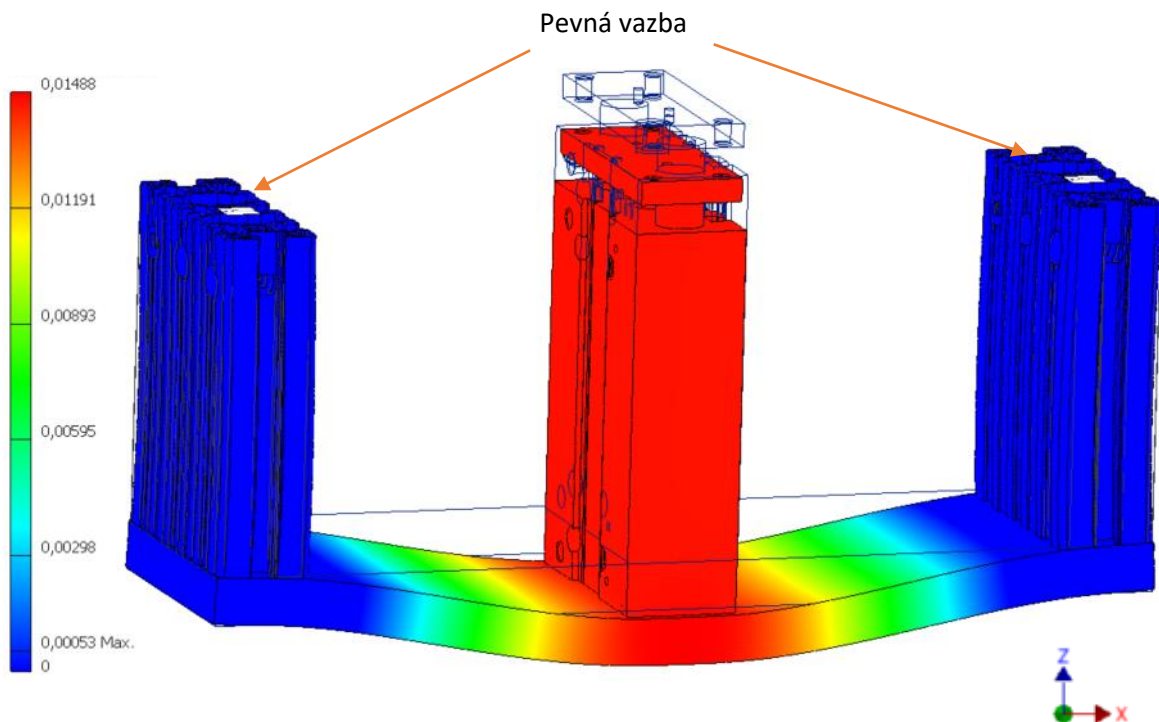


Obr. 45.: Deformace poziční jednotky s volným zdvihem pro palety o šířce 320 mm – výpočet MKP [autor]

Maximální průhyb pro hliníkovou desku vychází lehce přes 0,007 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, součást vyhovuje.



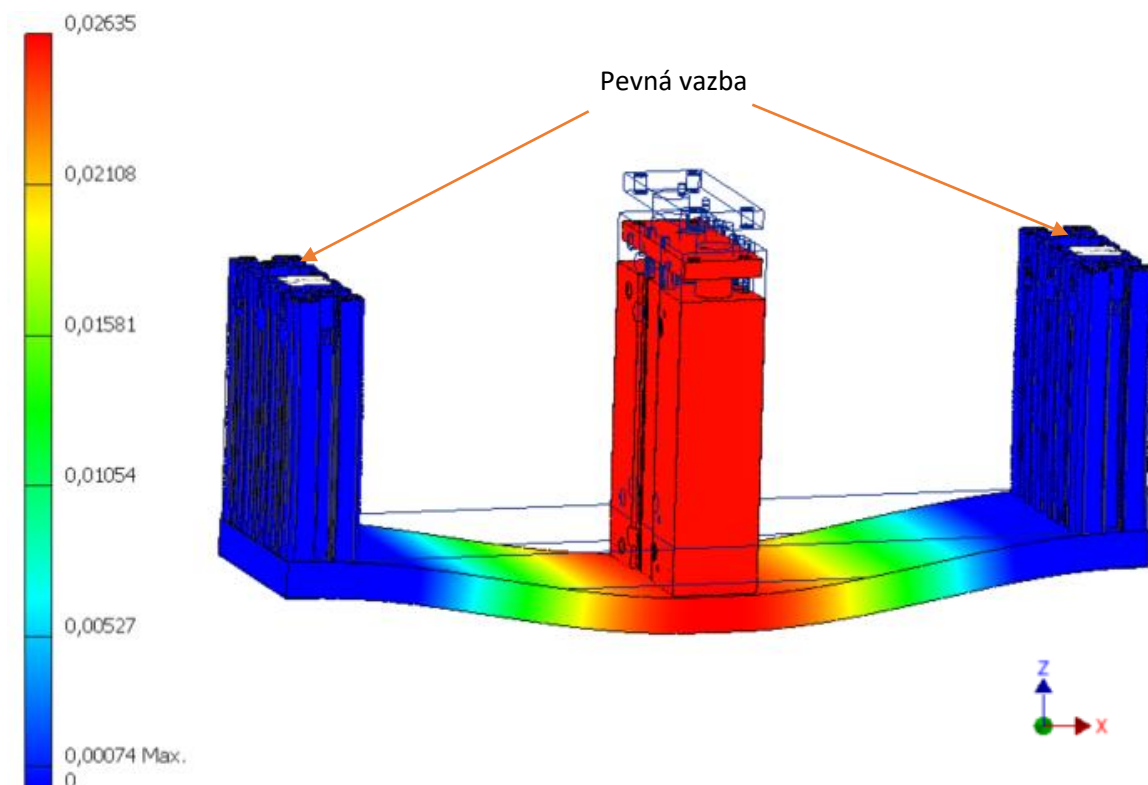
MKP kontrola (obr. 46) spodní desky, která má navrženou tloušťku 20 mm při zatížení zadanou maximální silou  $F = 300 \text{ N}$ . Síla je aplikovaná do spodní plochy pneumatického válce. Rozměry desky jsou uzpůsobeny pro velikost palety o šířce 400 mm. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,03 mm až 1 mm. Nahoře na jedné bočnici je zavedena pevná vazba a na druhé je zakázán pohyb v ose Z. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť je závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]



Obr. 46.: Deformace poziční jednotky s volným zdvihem pro palety o šířce 400 mm – výpočet MKP  
[autor]

Maximální průhyb pro hliníkovou desku vychází 0,015 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, součást vyhovuje.

MKP kontrola (obr. 47) spodní desky, která má navrženou tloušťku 20 mm při zatížení zadanou maximální silou  $F = 300$  N. Síla je aplikovaná do spodní plochy pneumatického válce. Rozměry desky jsou uzpůsobeny pro velikost palety o šířce 480 mm. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,03 mm až 1 mm. Nahoře na jedné bočnici je zavedena pevná vazba a na druhé je zakázán pohyb v ose Z. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť je závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]



Obr. 47.: Deformace poziční jednotky s volným zdvihem pro palety o šířce 480 mm – výpočet MKP [autor]

Maximální průhyb pro hliníkovou desku vychází necelých 0,03 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, součást vyhovuje.

### 3.1.11. Vyhodnocení vypočtených výsledků

Výsledky všech vypočtených deformací pro všechny šířky palet jsou uvedeny v tabulce (tab. 4). Všechny výsledky jsou menší než povolená maximální hodnota přesnosti  $\pm 0,1$  mm.

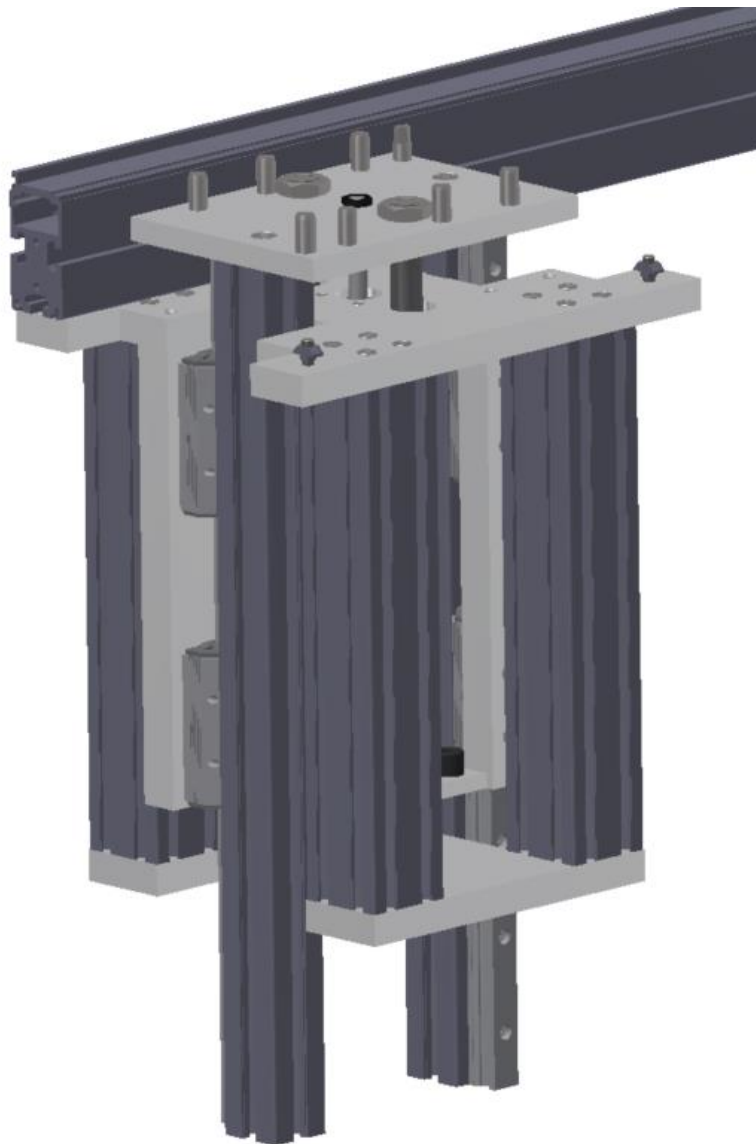
Tab. 4.: Výsledky [autor]

Šířka palety [mm]	240	320	400	480
Posun palety [mm]	0,005	0,007	0,008	0,01
Průhyb desky [mm]	0,007	0,024	0,06	0,04

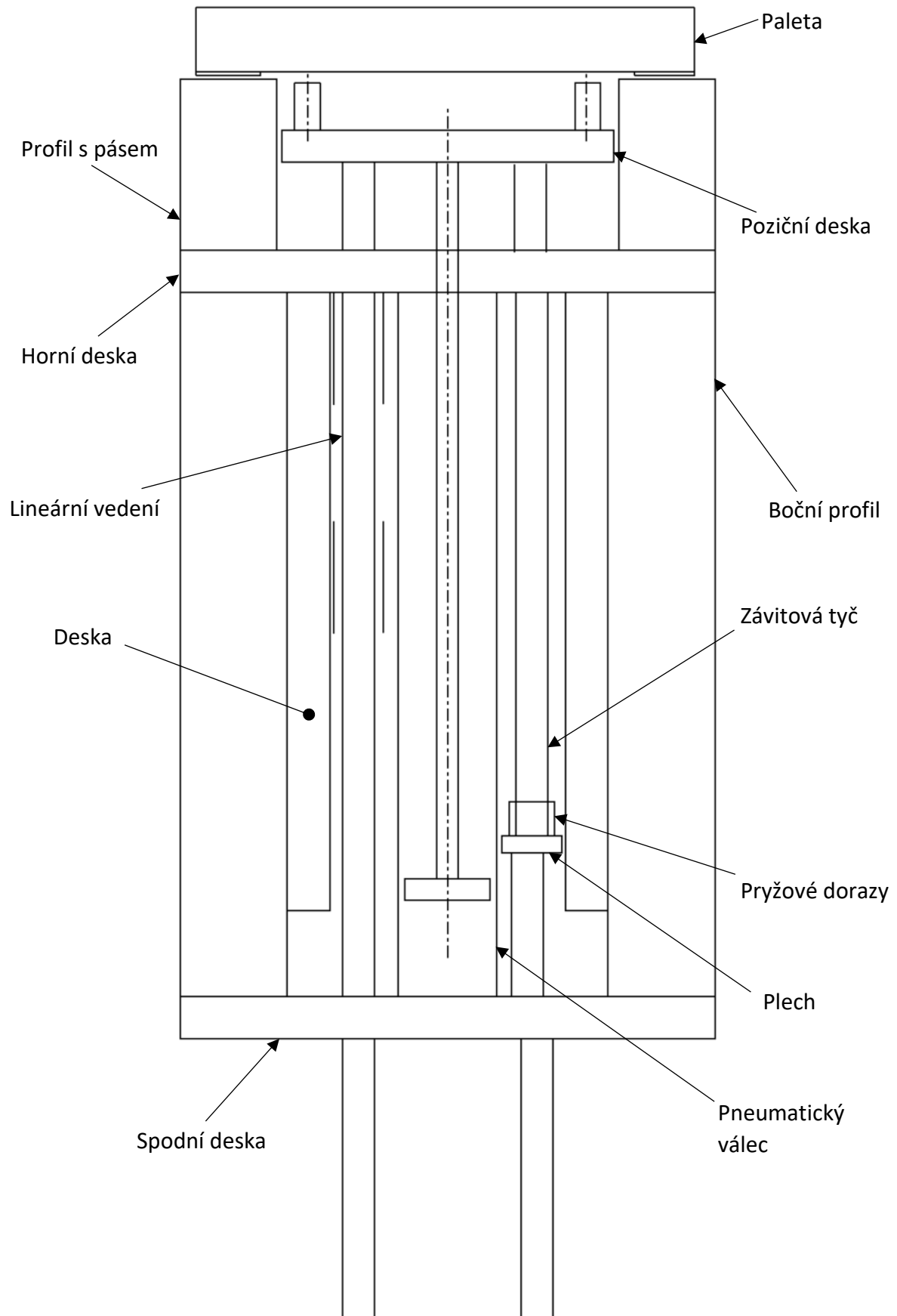
### 3.2. Poziční jednotka s omezeným zdvihem

Je navržena poziční jednotka s omezeným zdvihem (obr. 48). Zdvih je zvolen 200 mm. Požadovaná přesnost je  $\pm 0,05$  mm a zatížení 300 N. Velikost palet, pro které je jednotka navržena, je od 240x240 mm do 480x480 mm a jejich kombinace. Velikost palet se zvětšuje po 80 mm. Některé díly jsou nakupovány, ostatní jsou navrženy a vyrobeny. U vyrobených dílů jsou provedeny početní kontroly na deformaci z důvodů dosažení potřebné přesnosti celé jednotky.

Mezi nakupované díly patří pneumatický válec, profily, separátor, lineární vedení, poziční kolíky, kolíky, závitové tyče, pryžové zarážky a spojovací materiál. Navrhované díly jsou poziční deska, horní a dolní deska, plechy pro nastavení velikosti zdvihu a vložky.



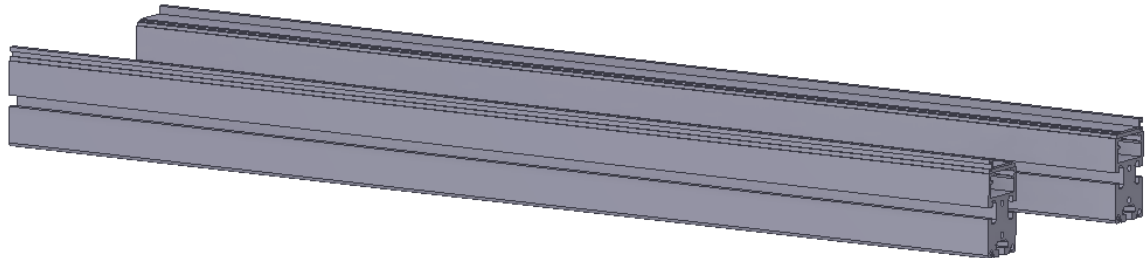
Obr. 48.: Poziční jednotka s omezeným zdvihem [autor]



Obr. 49.: Schéma poziční jednotky s omezeným zdvihem [autor]

### 3.2.1. Profily

Profily (obr. 50) jsou použity stejné jako u poziční jednotky s volným zdvihem, hliníkové SP 2/B od firmy Bosch. [3]



Obr. 50.: Profily Bosch [3]

### 3.2.2. Separátor

Separátor ASU-70 (obr. 51) je volen podle maximální hmotnosti, kterou dokáže zabrzdit a ta je 70 kg. Řízený je pneumaticky. [2]



Obr. 51.: Separátor Asutec [2]

### 3.2.3. Pneumatický válec

Pneumatický válec (obr. 52) je volen jednoduchý dvojčinný od firmy SMC. Typ válce CP96SDG32-225C, kde CP96S značí typ válce, D vestavěný magnet v pístnici pro použití senzorů k určení polohy, G je přidaná příruba na konci válce pro lepší rozložení tlaku a montáže k spodní desce. 32 je průměr pístu v milimetrech a 225C je délka zdvihu válce v milimetrech. [9]



Obr. 52.: Pneumatický válec SMC [9]

Průměr pístu je volen z tabulky (tab. 5) danou výrobcem. Při běžně používaném tlaku 0,6 MPa a zatížení 300 N ze zadání je zvolen průměr pístu 32 mm, kde je ponechána rezerva pro případ poklesu tlaku nebo přetížení. Celková síla zdvihu je 482 N. [9]

Tab. 5.: Průměr pístu v závislosti na zatížení a pracovním tlaku [9]

### Theoretical Output



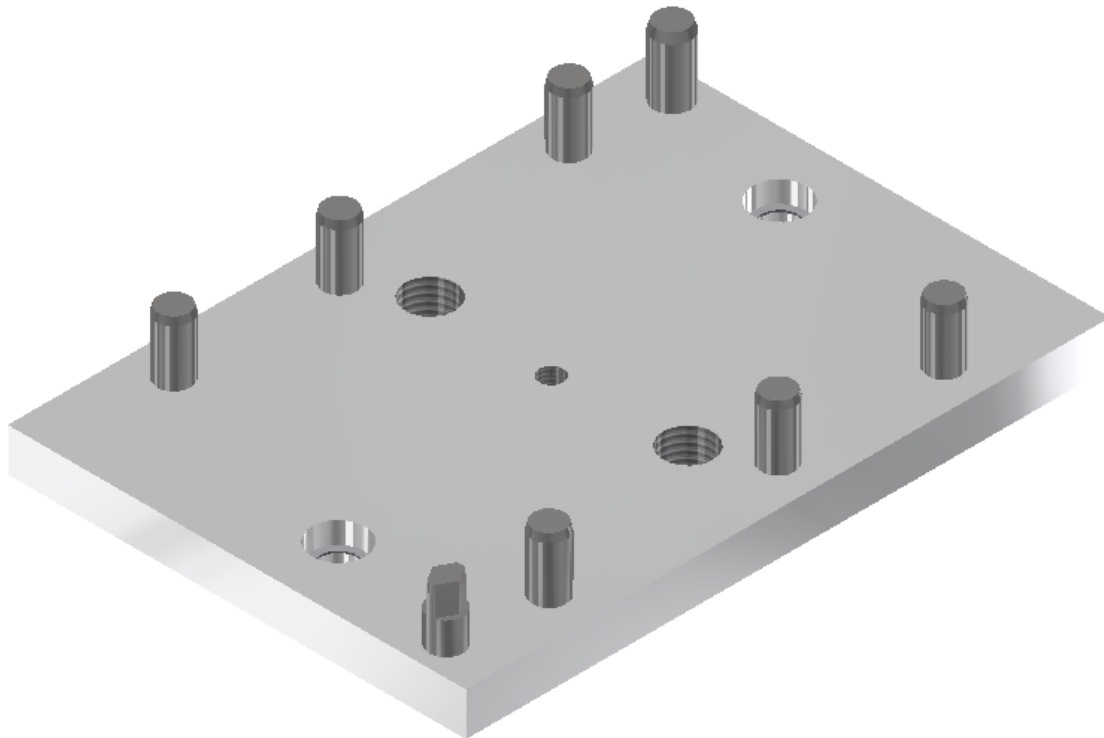
Bore size [mm]	Rod size [mm]	Operating direction	Piston area [mm <sup>2</sup> ]	Operating pressure [MPa]									
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
32	12	OUT	804	161	241	322	402	482	563	643	724	804	
		IN	691	138	207	276	346	415	484	553	622	691	
40	16	OUT	1257	251	377	503	629	754	880	1006	1131	1257	
		IN	1056	211	317	422	528	634	739	845	950	1056	
50	20	OUT	1963	393	589	785	982	1178	1374	1570	1767	1963	
		IN	1649	330	495	660	825	989	1154	1319	1484	1649	
63	20	OUT	3117	623	935	1247	1559	1870	2182	2494	2805	3117	
		IN	2803	561	841	1121	1402	1682	1962	2242	2523	2803	
80	25	OUT	5027	1005	1508	2011	2514	3016	3519	4022	4524	5027	
		IN	4536	907	1361	1814	2268	2722	3175	3629	4082	4536	
100	25	OUT	7854	1571	2356	3142	3927	4712	5498	6283	7068	7854	
		IN	7363	1473	2209	2945	3682	4418	5154	5890	6627	7363	
125	32	OUT	12272	2454	3682	4909	6136	7363	8590	9817	11045	12272	
		IN	11468	2294	3440	4587	5734	6881	8027	9174	10321	11468	

Note) Theoretical output [N] = Pressure [MPa] x Piston area [mm<sup>2</sup>]

### 3.2.4. Poziční deska

Poziční deska (obr. 53) pro jednotku s omezeným zdvihem je podobná jako u poziční jednotky neomezeného zdvihu. Úhlopříčně jsou umístěny dva různé poziční kolíky a po stranách jsou válcové kolíky, které působí proti nosné desce palety, se kterou jsou v přímém kontaktu. Velikost desky se odvíjí od velikosti palet, které má pozicovat. Hlavní rozdíl je v uchycení desky k pístu válce. Deska je chycena mezi dvě matice přímo na pístnici. Dále jsou zde otvory pro závitové tyče a pro přichycení lineárního vedení.

Poziční kolíky jsou zakoupeny od firmy Bosch. Kolíky, které podpírají paletu, jsou kolíky válcové kalené DIN 6325 velikosti 12x32 a třídy přesnosti m6. Otvory pro tyto kolíky mají průměr 12 mm s třídou přesnosti H7 a hloubku 10 mm. [8]

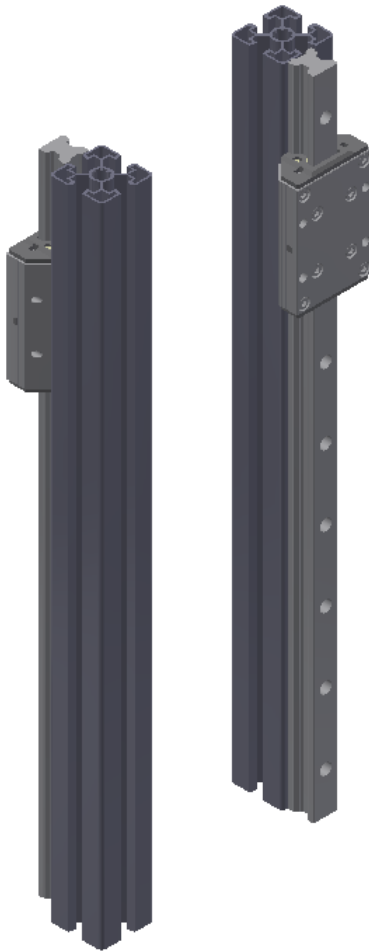


*Obr. 53.: Poziční deska [autor]*

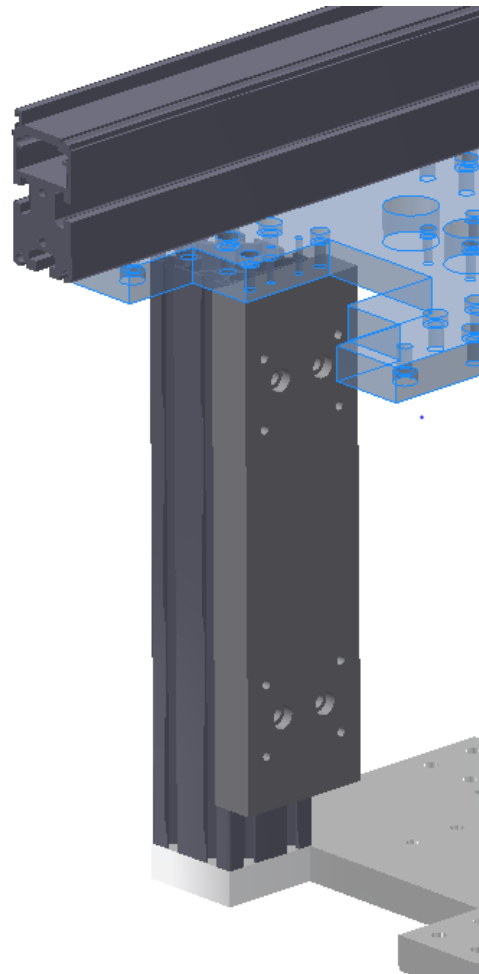
### 3.2.5. Lineární vedení s deskou

Vybráno je lineární vedení s kolejnicí (obr. 54) pro svojí vysokou přesnost. Této přesnosti dosahuje pomocí nastavitelných rolen proti sobě od vůle až po předepnutí. Předepnutí odpovídá pohybový odpor. V návrhu je použito lineární vedení firmy Franke typu FDA, kde pro dosažení maximální přesnosti jsou použity dva domky pro jednu kolejnici. Kolejnice je k poziční desce přichycena přes profily od firmy Bosch 40x40L. Montují se pomocí šroubů a T matic. Domky jsou upevněny přes desky k nosným profilům (obr. 55). Pohyb tedy vykonávají profily s kolejnicemi, domky jsou upevněny na pevno. [3][10]

Deska je navržena ze slitiny hliníku EN AW-6061. Přichytává se na profil pomocí čtyř šroubů M8 a T matic do drážky 10 a závitem M8. Hlavy těchto šroubů se do desky zapouštějí. Dále jsou v desce vyřezány závity M4 pro přichycení domků lineárního vedení. Deska se dále přichycuje k horní desce pomocí šroubů M8. Pozice je pak zaručena pomocí válcového a pružného kolíku průměru 4 mm délky 40 mm. Pro kolíky válcové je přesnost otvorů H7 a pro kolíky pružné H12. [8]



Obr. 54.: Lineární vedení s profily [autor]



Obr. 55.: Deska [autor]



### 3.2.6. Nastavení délky zdvihu

Nastavení délky zdvihu je řešeno pomocí dvou závitových tyčí a dvou plechů se zarážkami (obr. 56). Závitové tyče jsou napevno přimontovány k poziční desce. Na závitové tyče jsou nasazeny plechy, které drží mezi dvěma maticemi. Délka zdvihu se nastavuje umístěním plechů na závitových tyčích. Na plechy jsou umístěny pryžové tlumící dorazy. Doraz je zajištěn o horní desku.

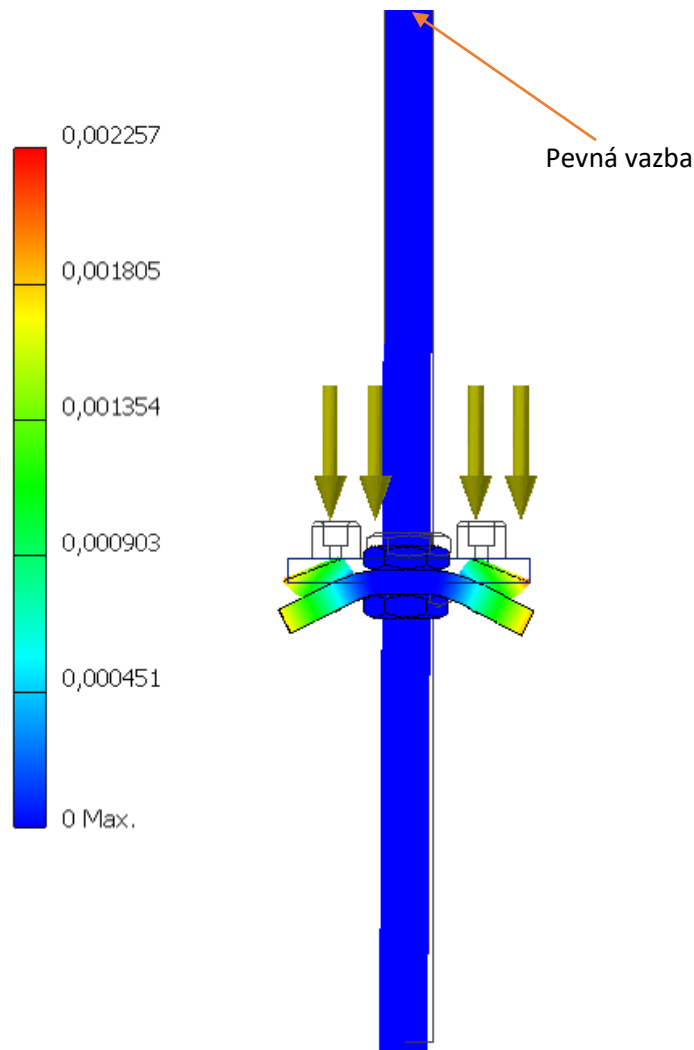
Závitové tyče jsou navrženy M20 o délce 550 mm. Na tyto tyče jsou vybrány matice nízké DIN 439 M20. Zarážky jsou navrženy pryžové.



*Obr. 56.: Nastavení zdvihu [autor]*

### 3.2.7. MKP analýza plechu

Z důvodu tlaku vyvinutého po zastavení zarážek o horní desku, je kontrolována deformace navržených plechů (obr. 57). Tloušťka plechů je 10 mm a zatížení od válce je bráno vyšší, než se běžně plouživých 0,6 MPa a to 0,8 MPa. Tlak je aplikován do pryžových zarážek. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,03 mm až 1 mm. Pevná vazba je zavedena nahoru na závitovou tyč. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť je závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]



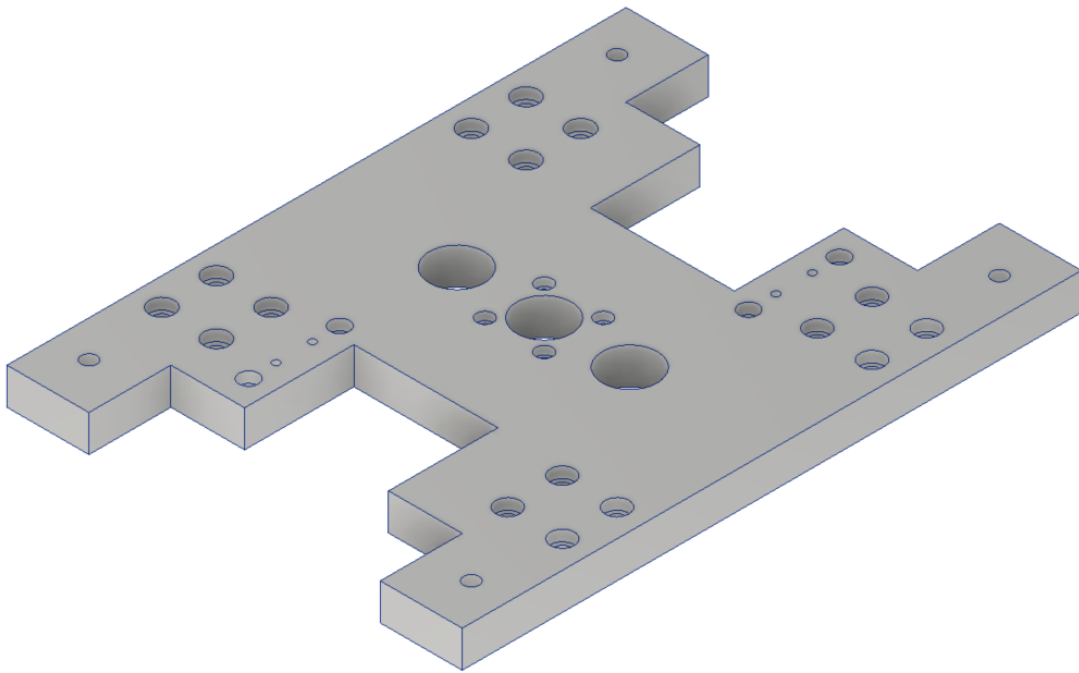
Obr. 57.: Deformace plechu – výpočet MKP [autor]

Maximální deformace vyšla přibližně 0,002 mm. Tato deformace je vzhledem k maximální povolené deformaci  $\pm 0,1$  zanedbatelná.

### 3.2.8. Horní deska

Horní deska (obr. 58) je zařazena do konstrukce kvůli zajištění pneumatického válce nahoře a jako doraz pro závitové tyče, z důvodů nastavení velikosti zdvihu. Dále jsou k horní desce přišroubovány nosné profily a desky s lineárním vedením. Celá konstrukce poziční jednotky je pak přes horní desku přimontována k profilům s pásem. Rozměry horní desky se odvíjejí podle velikosti palet, které má poziční jednotka pozicovat.

V horní desce jsou navrženy otvory pro šrouby, pístnici pneumatického válce a pro závitové tyče. Šrouby jsou voleny velikosti M8 a otvory pro ně jsou navrženy 8,4 mm. Jediné šrouby, kterými se montuje pneumatický válec, jsou velikosti M5, otvory pro ně jsou 5,3 mm. Všechny šrouby mají do desky zapuštěné hlavy. Dále jsou zde otvory pro kolíky. V desce jsou obrobena výřezy pro lineární vedení.

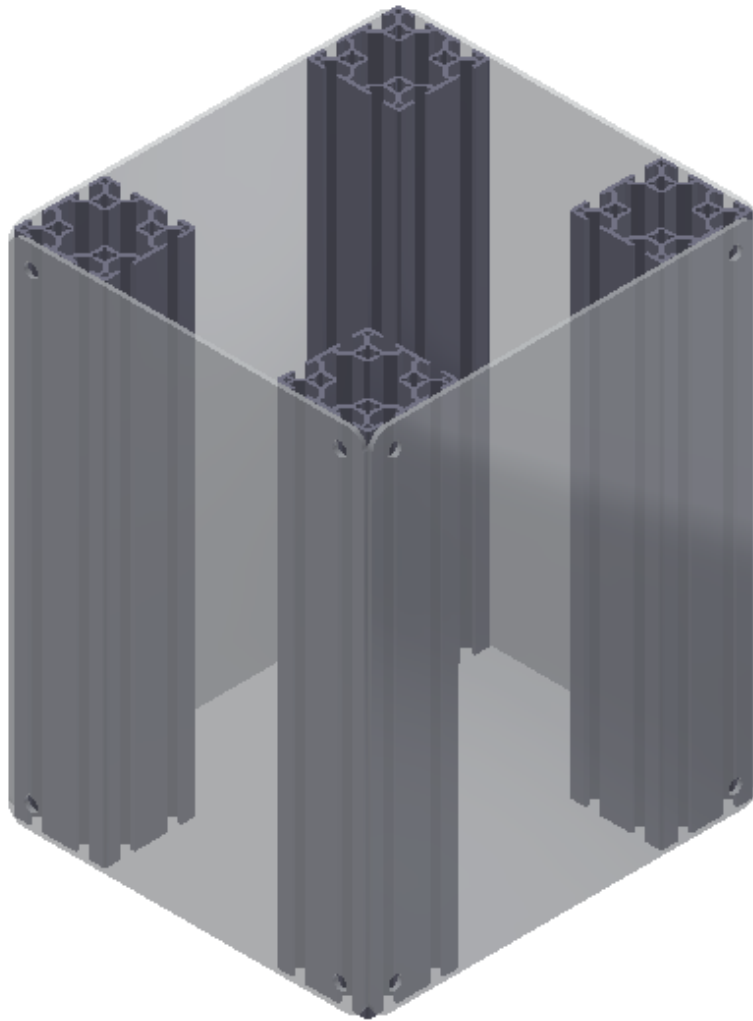


Obr. 58.: Horní deska [autor]

### 3.2.9. Profily a kryty

Profily jsou voleny od firmy Bosch 60x60 mm (obr. 59). V konstrukci jsou použity čtyři. V profilech jsou vyříznuté závity M8, pomocí kterých se přichytí obě desky. Do drážek velikosti 8 mm jsou pomocí T matic přichyceny desky, přes které drží domky lineárního vedení. Do zbylých drážek se mohou přidělat krycí desky. [3]

Kryty se používají z bezpečnostních důvodů, pro zakrytí pohyblivých částí. Kryty mohou být plastové, ze slitiny hliníku nebo nerez, stačí do nich vyvrtat díry pro šrouby M6.

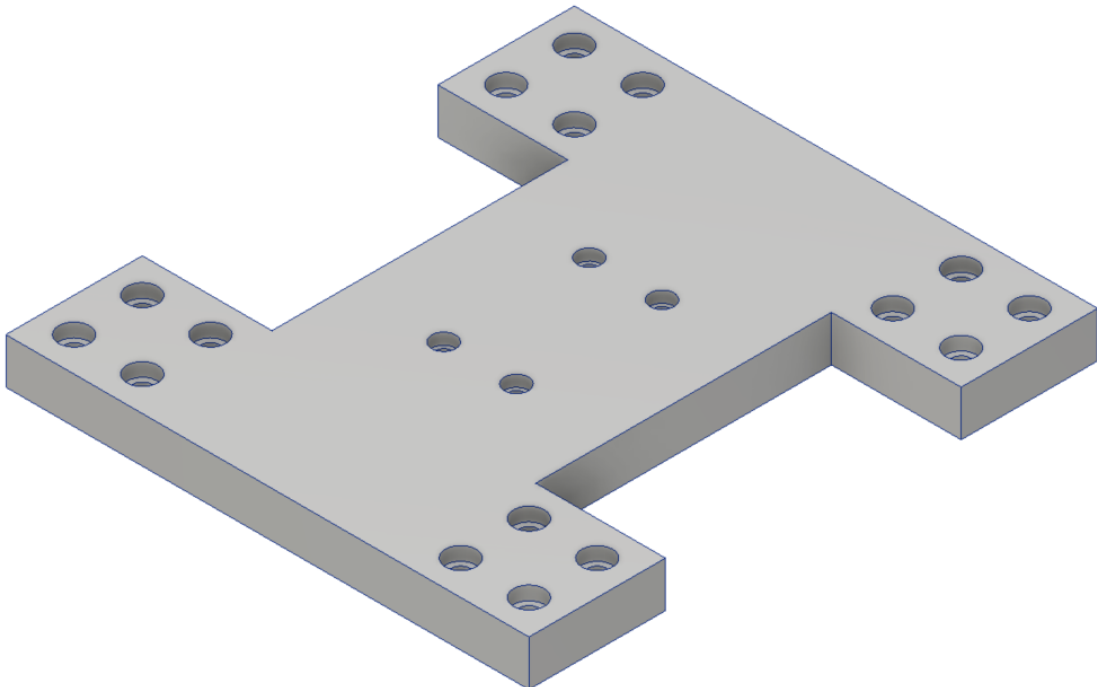


Obr. 59.: Profily s kryty [autor]

### 3.2.10. Spodní deska

Spodní deska (obr. 60) drží pneumatický válec a je přišroubována k nosným profilům. Jelikož nese pneumatický válec, působí na ní největší zatížení. Proto u MKP kontroly navržené konstrukce se největší pozornost vztahuje na tento díl.

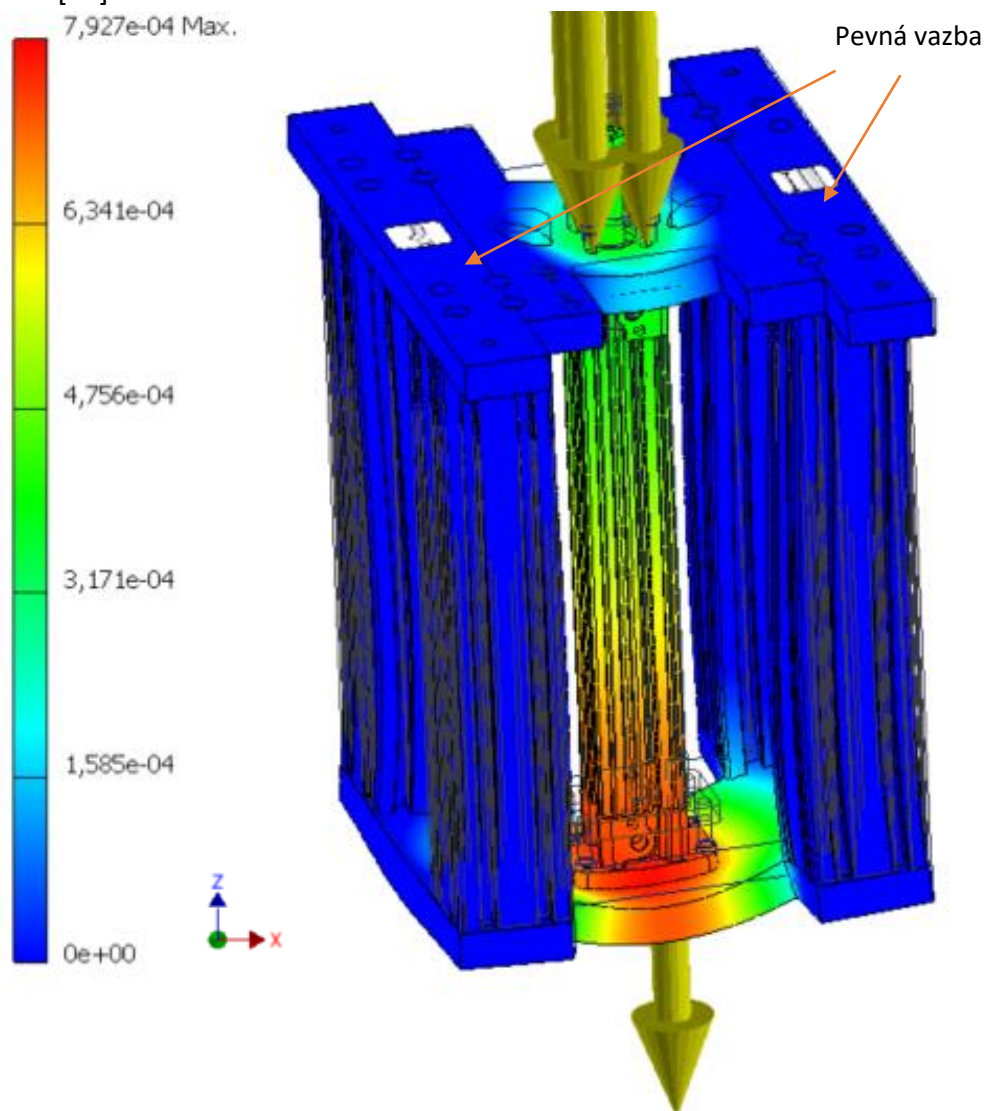
Deska je navržena z hliníkové slitiny EN AW-6061. Má tloušťku 20 mm. Jsou v ní obrobena otvory pro šrouby M8 o průměru 8,4 mm a výřezy pro kolejnice lineárního vedení. Všechny šrouby mají zapuštěnou hlavu do desky.



*Obr. 60.: Spodní deska [autor]*

### 3.2.11. MKP analýza poziční jednotky s omezeným zdvihem

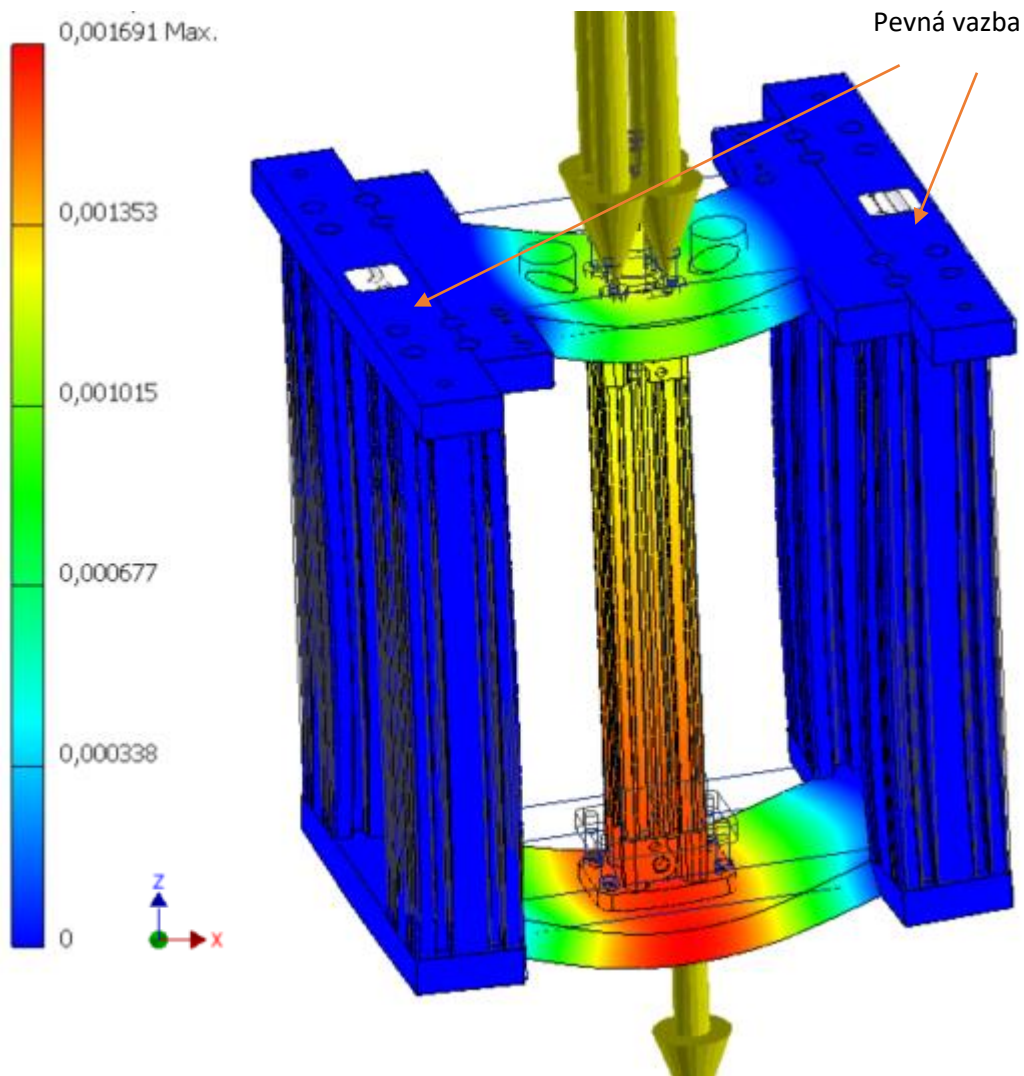
MKP kontrola (obr. 61) spodní desky, která má navrženou tloušťku 20 mm při zatížení zadanou maximální silou  $F = 300 \text{ N}$ . Síla je rozložena a aplikována do spodní a horní plochy pneumatického válce. Rozměry desky jsou uzpůsobeny pro velikost palety o šířce 240 mm. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,05 mm, minimální velikost je 0,05 mm až 1 mm. Pevná vazba je na desce v oblasti, kde se montuje k profilům s pásem. Na jedné straně je zakázán pohyb ve všech směrech, na druhé je zakázán pouze v ose Z. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]



Obr. 61.: Deformace poziční jednotky s omezeným zdvihem pro palety o šířce 240 mm – MKP analýza [Autor]

Maximální průhyb pro hliníkovou desku vychází 0,0003 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, a proto součást vyhovuje.

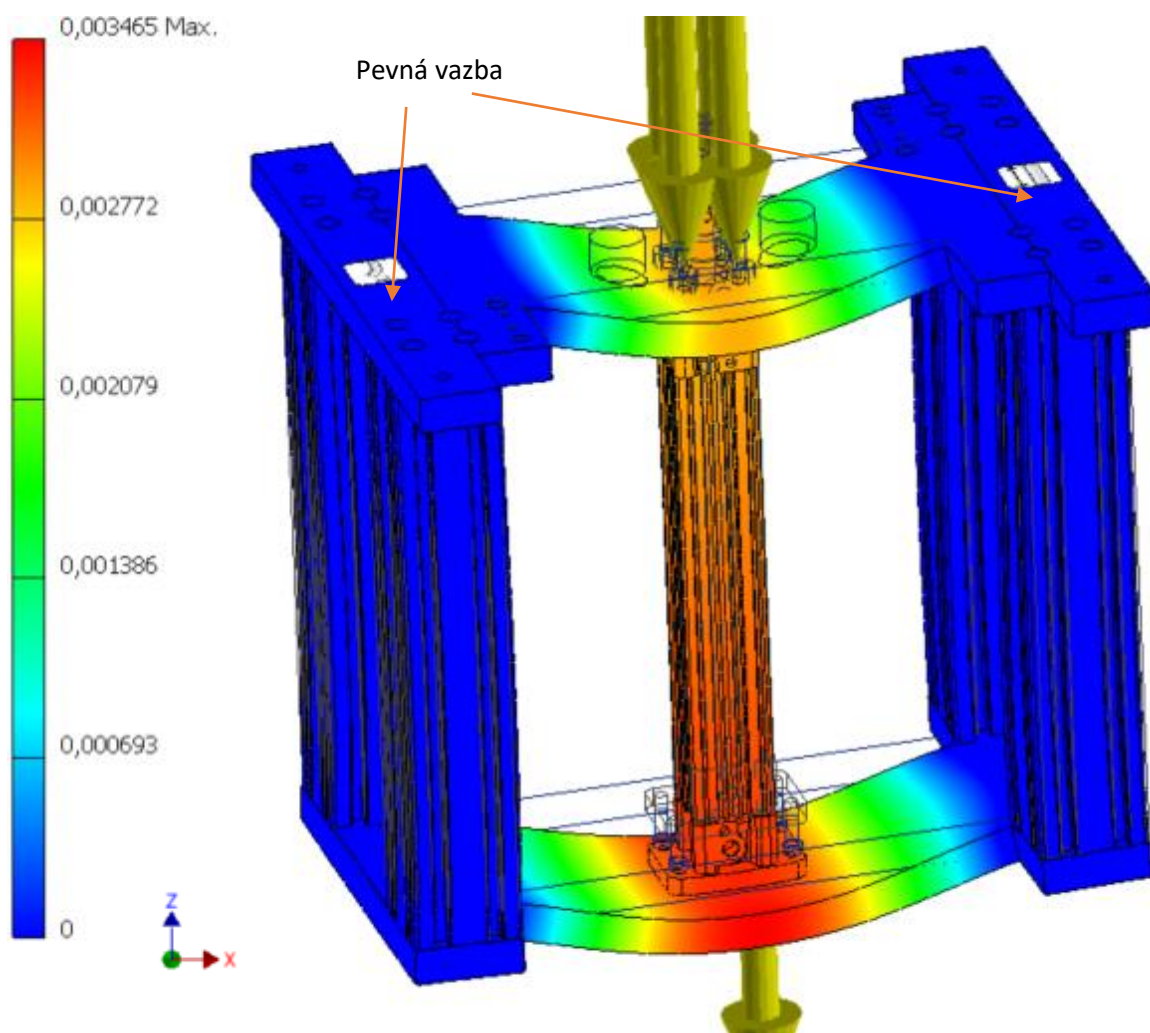
MKP kontrola (obr. 62) spodní desky, která má navrženou tloušťku 20 mm při zatížení zadanou maximální silou  $F = 300 \text{ N}$ . Síla je rozložena a aplikována do spodní a horní plochy pneumatického válce. Rozměry desky jsou uzpůsobeny pro velikost palety o šířce 320 mm. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,05 mm až 1 mm. Pevná vazba je na desce v oblasti, kde se montuje k profilům s pásem. Na jedné straně je zakázán pohyb ve všech směrech, na druhé je zakázán pouze v ose Z. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]



Obr. 62.: Deformace poziční jednotky s omezeným zdvihem pro palety o šířce 320 mm – MKP analýza [Autor]

Maximální průhyb pro hliníkovou desku vychází necelých 0,002 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, a proto součást vyhovuje.

MKP kontrola (obr. 63) spodní desky, která má navrženou tloušťku 20 mm při zatížení zadanou maximální silou  $F = 300 \text{ N}$ . Síla je rozložena a aplikována do spodní a horní plochy pneumatického válce. Rozměry desky jsou uzpůsobeny pro velikost palety o šířce 400 mm. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,05 mm, minimální velikost je 0,03 mm a maximální 0,1 mm. Pevná vazba je na desce v oblasti, kde se montuje k profilům s pásem. Na jedné straně je zakázán pohyb ve všech směrech, na druhé je zakázán pouze v ose Z. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]

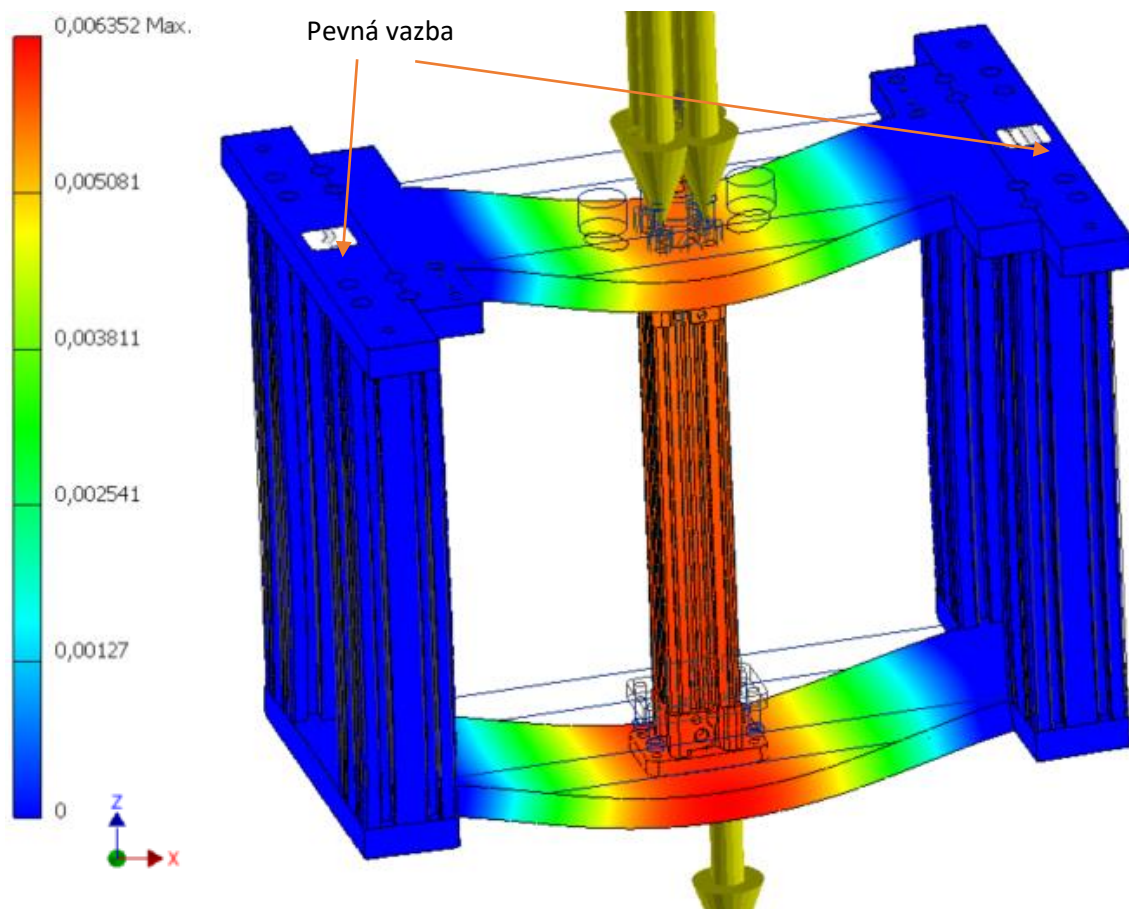


Obr. 63.: Deformace poziční jednotky s omezeným zdvihem pro palety o šířce 400 mm – MKP analýza [Autor]

Maximální průhyb pro hliníkovou desku vychází 0,0035 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, a proto součást vyhovuje.



MKP kontrola (obr. 64) spodní desky, která má navrženou tloušťku 20 mm při zatížení zadanou maximální silou  $F = 300 \text{ N}$ . Síla je rozložena a aplikována do spodní a horní plochy pneumatického válce. Rozměry desky jsou uzpůsobeny pro velikost palety o šířce 480 mm. Materiál navržených dílů je slitina hliníku EN AW-6061. Velikost počátečního elementu sítě je 0,05 mm až 1 mm. Pevná vazba je na desce v oblasti, kde se montuje k profilům s pásem. Na jedné straně je zakázán pohyb ve všech směrech, na druhé je zakázán pouze v ose Z. Jednotlivé díly modelu jsou brány jako elastický, homogenní a izotropní materiál. Síť závislá na geometrii dílů. Úloha je řešena jako statická a nelineární. [11]



Obr. 64.: Deformace poziční jednotky s omezeným zdvihem pro palety o šířce 480 mm – MKP analýza [Autor]

Maximální průhyb pro hliníkovou desku vychází 0,006 mm. Vypočtený průhyb je menší než povolená maximální hodnota, a proto součást vyhovuje.

### 3.2.1. Vyhodnocení vypočtených výsledků

Výsledky všech vypočtených deformací pro všechny šířky palet jsou uvedeny v tabulce (tab. 6). Všechny výsledky vycházejí nižší, než je požadovaná hodnota přesnosti  $\pm 0,1 \text{ mm}$ .

Tab. 6.: Deformace [autor]

Šířka palety [mm]	240	320	400	480
Průhyb desky [mm]	0,0008	0,002	0,003	0,006

## 4. Závěr

V rámci této diplomové práce byly navrženy dvě poziční jednotky pro transportní systém paletových dopravníků. Obě poziční jednotky byly dále zpracovány pro zadané velikosti přepravovaných palet a všechny jejich kombinace.

V úvodu práce (kap. 2) byla pojednána rešerše současného stavu techniky pozičních jednotek. Podrobně byly popsány jednotlivé typy pozičních jednotek a jejich jednotlivé komponenty, které se k sestavení jednotlivých celků používají. Dále bylo provedeno srovnání typů pozičních jednotek různých firem.

Byly provedeny koncepční návrhy dvou pozičních jednotek (kap. 3). Dále byly řešeny jednotlivé díly, které slouží k sestavení obou navržených celků. U nakoupených dílů byl popsán důvod, proč byly zvoleny právě tyto díly a u navrhovaných komponent byla provedena analýza metodou konečných prvků. Tato analýza byla provedena z důvodu zajištění potřebné přesnosti poziční jednotky, která byla zadaná. Všechny navržené díly vyhovovaly zadané hodnotě.

První navržená poziční jednotka (kap. 3.1) byla poziční jednotka s volným zdvihem a přesností pozicování  $\pm 0,1$  mm při maximálním zatížení 300 N. Nakupované díly byly voleny dle parametrů od výrobce tak, aby vyhovovaly všem zadaným hodnotám. U pneumatického válce byl proveden kontrolní výpočet integrovaného lineárního vedení. Pro všechny velikosti palet byla splněna hodnota požadované přesnosti. Vybrané navrhované komponenty byly podrobeny MKP analýze, kde výsledky deformací vyšly mnohem nižší, než byla zadaná hodnota. Největší pozornost byla věnována spodní desce, která nese veškeré zatížení. Pro spodní desku byla navržena tloušťka 20 mm, ta vyhovovala pro všechny řešené šířky pozičních jednotek.

Druhá navržená poziční jednotka (kap. 3.2) byla poziční jednotka s omezeným zdvihem, u které mělo být dosaženo přesnosti  $\pm 0,1$  mm při zatížení 300 N. Nakupované díly byly vybrány z katalogů od výrobců tak, aby byla zaručena zadaná přesnost. Vybrané navrhované díly byly podrobeny MKP analýze. U horní a dolní desky ke kterým je přišroubován pneumatický válec, vyšla deformace řádově nižší, než je požadovaná přesnost. Dále byly kontrolovány zarážky, na které působí při vysunutí poziční jednotky stálý tlak. I u nich vyšla deformace nižší než zadaná hodnota.

Přílohou diplomové práce je vypracována 2D dokumentace v rozsahu koncepčních výkresů obou sestav a kusovníků všech použitých dílů.

**Seznam zkratek a symbolů**

MKP		Analytická metoda konečných prvků
$\theta$	[°]	Úhel natočení lineárního vedení pneumatického válce
$x$	[mm]	Posunutí lineárního vedení při vysunutí
$c'$	[mm]	Délka úhlopříčky desky pneumatického válce
$c$	[mm]	Polovina úhlopříčky desky pneumatického válce
$a$	[mm]	Šířka desky pneumatického válce
$b$	[mm]	Délka desky pneumatického válce
$f'_{240}$	[mm]	Úhlopříčka palety 240x240
$f'_{320}$	[mm]	Úhlopříčka palety 320x320
$f'_{400}$	[mm]	Úhlopříčka palety 400x400
$f'_{480}$	[mm]	Úhlopříčka palety 480x480
$d_{240}$	[mm]	Šířka palety 240 mm
$d_{320}$	[mm]	Šířka palety 320 mm
$d_{400}$	[mm]	Šířka palety 400 mm
$d_{480}$	[mm]	Šířka palety 480 mm
$e_{240}$	[mm]	Délka palety 240
$e_{320}$	[mm]	Délka palety 320
$e_{400}$	[mm]	Délka palety 400
$e_{480}$	[mm]	Délka palety 480
$f_{240}$	[mm]	Polovina úhlopříčka palety 240x240
$f_{320}$	[mm]	Polovina úhlopříčka palety 320x320
$f_{400}$	[mm]	Polovina úhlopříčka palety 400x400
$f_{480}$	[mm]	Polovina úhlopříčka palety 480x480
$k$	[1]	Podíl poloviny úhlopříčky a posunutí lineárního vedení při vysunutí
$g_{240}$	[mm]	Posunutí rohu palety 240x240
$g_{320}$	[mm]	Posunutí rohu palety 320x320



---

$g_{400}$	[mm]	Posunutí rohu palety 400x400
$g_{480}$	[mm]	Posunutí rohu palety 480x480

## Seznam použité literatury

- [1] JEMIL SC s.r.o.. Pneumatické válce. Katalog. České budějovice, 2016
- [2] ASUTEC. Product catalogue. Katalog. Köngen, 2017
- [3] REXROTH Bosch Group. TS 2plus transfer system. Katalog. Stuttgart, 2017
- [4] STEIN AUTOMATION. Product catalogue stein 300. Katalog.  
Villingen-Schwenningen, 2014
- [5] MONTECH. Assambly instructions single-belt transfer systém LTE. Katalog.  
Derendingen, 2015
- [6] LIPRO. Transport systems. Katalog. Dekani, 2017
- [7] SMC. Series MGP. Katalog. Tokio, 2018
- [8] LEINVEBER, Jiří; VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2011,  
ISBN 978-80-7361-081-4.
- [9] SMC. ISO cylinder. Katalog. Tokio, 2018
- [10] Franke. Linearsysteme. Katalog. Aalen, 2009
- [11] Španiel, M. Úvod do metody konečných prvků. Praha: ČVUT, 2011,  
ISBN 978-80-01-04665-4
- [12] ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Spojce a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008,  
ISBN 978-80-01-04138-3
- [13] ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003,  
ISBN 978-80-01-04137-6
- [14] CVEKL, Z., DRAŽAN F. Teoretické základy transportních zařízení. Praha: ČVUT,  
1976
- [15] DRAŽAN, F., VOŠTOVÁ, V., JEŘÁBEK, K., BRAND, M.: Teorie a stavba dopravníků.  
Praha: ČVUT, 1983
- [16] POLÁK, J. a kol.: Dopravní a manipulační zařízení I, Ostrava: VŠB, 2001  
ISBN 80-05-00713-2

**Seznam obrázků**

Obr. 1.: Dopravník Bosch Rexroth TS2 [3] .....	1
Obr. 2.: Poziční jednotka Bosch Rexroth [autor] .....	2
Obr. 3.: Poziční jednotka s vnitřním vodítkem Bosch Rexroth [3] .....	3
Obr. 4.: Polohovací jednotka Asutec [2] .....	3
Obr. 5.: Poziční jednotka STEIN automation [4] .....	4
Obr. 6.: STEIN automation open lift centring device [4] .....	4
Obr. 7.: Pneumatický válec s lineárním vedením [autor] .....	5
Obr. 8.: Pneumatický válec [autor] .....	5
Obr. 9.: Separátor s tlumením Bosch [autor] .....	6
Obr. 10.: Separátor bez tlumení Bosch [autor] .....	6
Obr. 11.: Kuličkové pouzdro SKF [17] .....	7
Obr. 12.: Vozík s oběžnými kuličkami SKF [17] .....	7
Obr. 13.: Zastavení palet [3] .....	8
Obr. 14.: Poziční jednotka Bosch [3] .....	9
Obr. 15.: Poziční jednotka Bosch [3] .....	9
Obr. 16.: Poziční kolík válcový [autor] .....	9
Obr. 17.: Poziční kolík zploštělý [autor] .....	9
Obr. 18.: Poziční jednotka STEIN automation s horními zarážkami [4] .....	10
Obr. 19.: Poziční jednotka Montech [5] .....	10
Obr. 20.: Poziční jednotka Lipro [6] .....	11
Obr. 21.: Poziční válec Asutec [2] .....	11
Obr. 22.: Poziční jednotka s volným zdvihem [autor] .....	13
Obr. 23.: Schéma poziční jednotky s volným zdvihem [autor] .....	14
Obr. 24.: Profil Bosch SP 2/B [3] .....	15
Obr. 25.: Separátor bez tlumení ASU-70 [2] .....	15
Obr. 26.: Pneumatický válec SMC [7] .....	16
Obr. 27.: Výpočetní schéma posunutí konce vodící tyče [autor] .....	18
Obr. 28.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky desky pneumatického válce [autor] .....	19
Obr. 29.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky palety velikosti 240x240 mm [autor] .....	20
Obr. 30.: Výpočetní schéma posunu rohu palety 240x240 mm [autor] .....	21
Obr. 31.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky palety velikosti 320x320 mm [autor] .....	22
Obr. 32.: Výpočetní schéma posunu rohu palety 320x320 mm [autor] .....	23
Obr. 33.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky palety velikosti 400x400 mm [autor] .....	24
Obr. 34.: Výpočetní schéma posunu rohu palety 400x400 mm [autor] .....	25
Obr. 35.: Výpočetní schéma půlky úhlopříčky palety velikosti 480x480 mm [autor] .....	26
Obr. 36.: Výpočetní schéma posunu rohu palety 480x480 mm [autor] .....	27
Obr. 37.: Boční profil [autor] .....	28
Obr. 38.: Poziční deska [autor] .....	29
Obr. 39.: Poziční kolík válcový [autor] .....	29
Obr. 40.: Poziční kolík zploštělý [autor] .....	29
Obr. 41.: Zarážky [autor] .....	30

Obr. 42.: Deformace zarážky poziční jednotky s volným zdvihem – výpočet MKP [autor] .....	31
Obr. 43.: Spodní deska [autor] .....	32
Obr. 44.: Deformace poziční jednotky s volným zdvihem pro palety o šířce 240 mm – výpočet MKP [autor] .....	33
Obr. 45.: Deformace poziční jednotky s volným zdvihem pro palety o šířce 320 mm – výpočet MKP [autor] .....	34
Obr. 46.: Deformace poziční jednotky s volným zdvihem pro palety o šířce 400 mm – výpočet MKP [autor] .....	35
Obr. 47.: Deformace poziční jednotky s volným zdvihem pro palety o šířce 480 mm – výpočet MKP [autor] .....	36
Obr. 48.: Poziční jednotka s omezeným zdvihem [autor] .....	37
Obr. 49.: Schéma poziční jednotky s omezeným zdvihem [autor] .....	38
Obr. 50.: Profily Bosch [3] .....	39
Obr. 51.: Separátor Asutec [2] .....	39
Obr. 52.: Pneumatický válec SMC [9] .....	40
Obr. 53.: Poziční deska [autor] .....	41
Obr. 54.: Lineární vedení s profily [autor] .....	42
Obr. 55.: Deska [autor] .....	42
Obr. 56.: Nastavení zdvihu [autor] .....	43
Obr. 57.: Deformace plechu – výpočet MKP [autor] .....	44
Obr. 58.: Horní deska [autor] .....	45
Obr. 59.: Profily s kryty [autor] .....	46
Obr. 60.: Spodní deska [autor] .....	47
Obr. 61.: Deformace poziční jednotky s omezeným zdvihem pro palety o šířce 240 mm – MKP analýza [Autor] .....	48
Obr. 62.: Deformace poziční jednotky s omezeným zdvihem pro palety o šířce 320 mm – MKP analýza [Autor] .....	49
Obr. 63.: Deformace poziční jednotky s omezeným zdvihem pro palety o šířce 400 mm – MKP analýza [Autor] .....	50
Obr. 64.: Deformace poziční jednotky s omezeným zdvihem pro palety o šířce 480 mm – MKP analýza [Autor] .....	51



## Seznam tabulek

Tab. 1.: Rozměry palet [autor] .....	12
Tab. 2.: Zatížení a průměr pístu [7] .....	16
Tab. 3.: Natočení lineárního vedení [7] .....	17
Tab. 4.: Výsledky [autor] .....	36
Tab. 5.: Průměr pístu v závislosti na zatížení a pracovním tlaku [9] .....	40
Tab. 6.: Deformace [autor] .....	51





## Seznam příloh

Příloha 1. výkres

DP-0001-AC-01 – Poziční jednotka s volným zdvihem

Příloha 2. výkres

DP-0001-AC-02 – Poziční jednotka s omezením zdvihem