



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Návrh konstrukce paletkového výtahu

Design of Lift of Workpiece Pallet

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Vojtěch VOLF

Studijní program: (N2301) Strojní inženýrství
Studijní obor: (2301T047) Dopravní, letadlová a transportní technika
Vedoucí práce: Ing. Jiří Mrázek, PhD.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Volf** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **459666**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající 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:

Návrh konstrukce paletkového výtahu

Název diplomové práce anglicky:

Design of Lift of Workpiece Pallet

Pokyny pro vypracování:

Provedte návrh konstrukce výtahu paletek pro paletkovou přepravu dílů v automatizovaném provozu. Konstrukci navrhnete parametricky pro zadaný rozsah rozměrových parametrů. Výtah musí být kompatibilní s paletkou Bosch WT2 pro rozměr palety min 160x160 a max 480x480mm. Maximální hmotnost palety s materiálem a nosičem je 30 kg. Maximální zdvih je 2000 mm. Stručná osnova zadání: 1. Zpracujte rešerši problematiky dostupných systémů paletkové dopravy. 2. Provedte koncepční návrh varianty řešení. 3. Zpracujte nezbytné návrhové a kontrolní výpočty. 4. Zpracujte parametricky koncepční 3D model řešení. 5. Vytvořte 2D koncepční výkres řešení s vybranými detaily.

Seznam doporučené literatury:

Dražan, F., Kupka, L.: Transportní zařízení. SNTL Praha, 1966; Cvekl, Z., Dražan, F.: Teoretické základy transportních zařízení. SNTL Praha, 1976; Polák, J. a kol.: Dopravní a manipulační zařízení I, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2001; Polák, J. a kol.: Dopravní a manipulační zařízení II, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2005; Polák, J. a kol.: Dopravní a manipulační zařízení III, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2005; Polák, J. a kol.: Dopravní a manipulační zařízení IV, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2004; Cvekl, Z.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, VŠ skriptum, ediční středisko ČVUT Praha 1984

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


Ing. Jiří Mrázek, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS

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

Datum zadání diplomové práce: **15.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **29.05.2020**

Platnost zadání diplomové práce:


Ing. Jiří Mrázek, 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.

28.05.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Návrh konstrukce paletkového výtahu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing, Jiřího Mrázka, Ph.D. s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

.....
V Praze dne

.....
Vojtěch Volf

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Jiřímu Mrázkovi, Ph.D., za cenné rady, za navzdory blížícím se termínům neustále dobrou náladu a zkrátka za veškerou pomoc, kterou mi při psaní této práce poskytl. Dále bych rád poděkoval rodině a přátelům za projevenou podporu.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Vojtěch Volf
Název DP:	Návrh konstrukce paletkového výtahu
Anglický název:	Design of Lift of Workpiece Pallet
Rok:	2020
Studijní program:	(N2301) Strojní inženýrství
Studijní obor:	(2301T047) Dopravní, letadlová a transportní technika
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí DP:	Ing. Jiří Mrázek, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Jiří Mrázek, Ph.D.
Bibliografické údaje:	
počet stran	71
počet obrázků	72
počet tabulek	4
počet příloh	2
Klíčová slova:	Výtah, Dopravník, Dopravníkové systémy, Paletka, WT 2, Naklápění, Hliníkový profil
Keywords:	Lift, Vertical transfer unit, Conveyor, Conveyor systems, Workpiece carrier, WT 2, Tilting, Aluminium profile
Anotace:	V této práci se věnuji návrhu konstrukce výtahu paletkových dopravníků s naklápěcí se platformou pro užití výtahu v kombinaci s vratnou větví v podobě gravitační válečkové dráhy. Výtah je kompatibilní s paletkami Bosch WT 2 a je vhodný pro zdvihy až 2000 mm. Zároveň umožňuje obsluhovat více vodorovných dopravníkových drah s přístupem pro technologii procesu.
Abstract:	In this work I design the construction of an elevator of pallet conveyors with a tilting platform for the use of the elevator in combination with a return branch in the form of gravity roller conveyor. The lift is compatible with Bosch WT 2 pallets and is suitable for lifts up to 2000 mm. At the same time, it allows to operate more horizontal conveyor tracks with access for process technology.

OBSAH

Zadání.....	II
Prohlášení.....	III
Poděkování.....	IV
Anotační list.....	V
Obsah	VI
1 Úvod.....	1
2 Rešerše.....	3
2.1 Systémy paletkové dopravy	3
2.1.1 Dopravníky TLM	3
2.1.2 2200 Precision Move Pallet System	5
2.1.3 Systémy s destičkovým řetězem.....	6
2.1.3.1 FlexMove.....	6
2.1.3.2 EASYLANE	7
2.1.3.3 VarioFlow plus	8
2.1.4 Minitrans CARRY.....	8
2.1.5 Systémy řady TS	9
2.1.5.1 TS 1 Transfer system	9
2.1.5.2 TS 4plus Transfer system	9
2.1.5.3 TS 5 Transfer system	10
2.1.5.4 TS 2plus Transfer system	11
2.1.6 Systémy EASYFLOW flex a EASYMOVE.....	13
2.2 Hliníkové profily	13
2.3 Zhodnocení rešerše	16
3 Koncepční návrh	17
3.1 První generace modelu	18
3.1.1 Řešení s nutností úpravy.....	20
3.1.1.1 Panty.....	20
3.1.1.2 Platforma výtahu	21
3.1.2 Řešení vhodná pro druhou generací modelu.....	21
3.1.2.1 Platforma dopravníku	22
3.1.2.2 Rám výtahu	22
3.2 Druhá generace modelu.....	23
3.2.1 Rám výtahu	23
3.2.1.1 Podstava.....	23
3.2.1.2 Profily svislé části rámu	24
3.2.1.3 Lineární vedení	29
3.2.1.4 Bezpístnicový válec DGC-K.....	31
3.2.1.5 Energetický řetěz	32
3.2.1.6 Doraz.....	33
3.2.2 Platforma výtahu.....	36
3.2.2.1 Šroubové spoje	36
3.2.2.2 Svislá deska	42

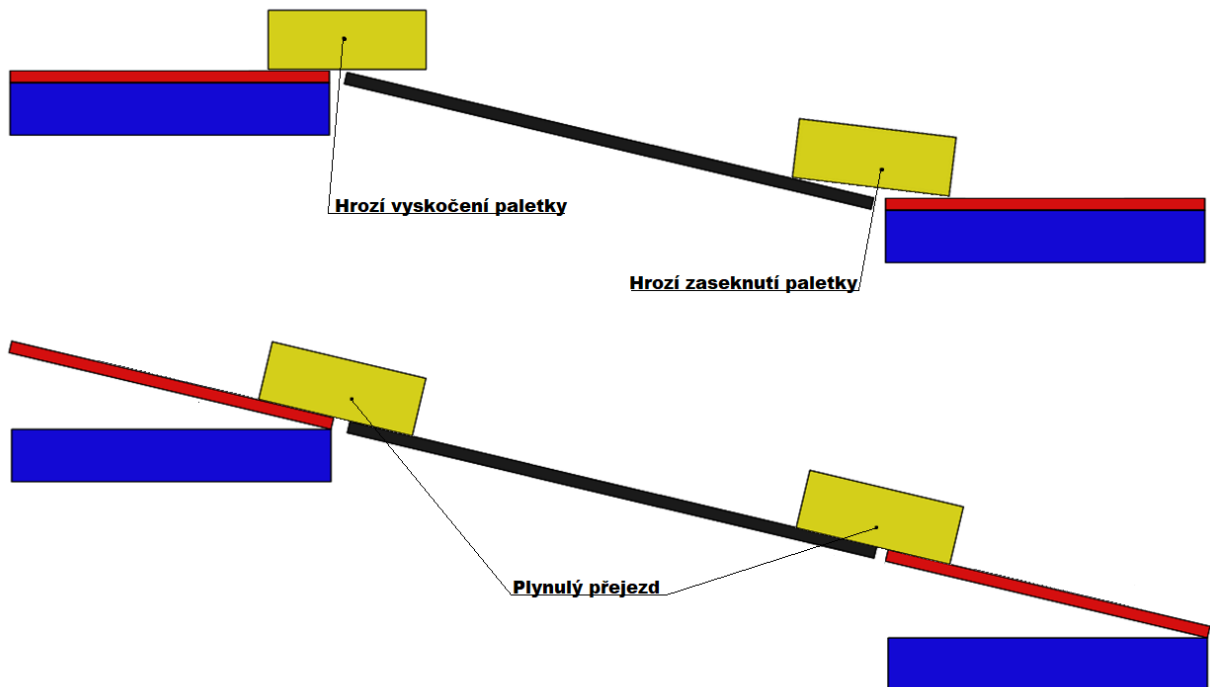
3.2.2.3	Ramena pro připojení platformy dopravníku	42
3.2.3	Platforma dopravníku	43
3.2.3.1	Dopravník.....	43
3.2.3.2	Doplňky platformy dopravníku	47
3.2.3.3	Spoj pomocí čepu.....	48
3.2.3.4	Zajištění lankem.....	50
4	Shrnutí konstrukční části.....	52
4.1	Konstrukce shodná pro všechny konfigurace	53
4.2	Parametrické konstrukce	55
4.2.1	Celý model	58
5	Závěr	64
	Seznam použité literatury	65
	Seznam obrázků	66
	Seznam tabulek	68
	Seznam zkratk a symbolů.....	69
	Seznam příloh	71

1 Úvod

Systém paletkové dopravy se hojně používá v sériové a velkosériové výrobě. Paletka je opatřena nosičem dílů nebo podsestav, které procházejí technologickým procesem výroby nebo montáže. Paletka je zastavována v jednotlivých technologických pracovištích, kde dochází k výrobním nebo montážním operacím. Po projetí kompletního okruhu je díl nebo sestava vyjmut a pokračuje dále ve výrobě nebo rovnou k expedici.

Vedoucím práce byl v praxi zaznamenán požadavek společností KOSTAL CR, WITTE Automotive, ICE Industrial Services, MARELLI AUTOMOTIVE LIGHTING a dalších společností na zjednodušení malých okruhů se systémem umístění dopravníků nad sebou. Jednou z možností je umístění gravitační dráhy (myšleno dopravníku se sklonem bez vlastního pohonu) do spodní větve, která většinou slouží jen pro návrat prázdných palet na začátek linky. Tento způsob se také v některých případech používá např. u spádových regálů a zásobování ručních pracovišť, jen je místo paletek používán většinou box s dostatečným bočním vedením. Pro paletku (např. WT 2), která má vedení bočních lišt se zámkem cca 10 mm a celkovou výšku paletky 28 mm, je toto problematické v místě přechodu z vodorovné části na skloněnou a ze skloněné části zpět na vodorovnou část. V praxi byly zaznamenány pokusy s častým zásekem nebo vyskakováním palet. Při dopravě paletek pak hrozí jejich vypadnutí při přechodu přes zlom. Řešením je pak naklonění dopravníkové platformy výtahu, která zlom odstraní. Při přechodu paletky v místě dělení tak nehrozí zásek ani vyskočení paletky z dráhy. Schéma přechodu paletky mezi gravitační drahou a výtahem je na další straně na Obr. 1. Tok lze řídit pomocí standardních pneumaticky ovládaných zářezek (stopery, případně stopery s tlumením) a standardních čidel, případně RFID prvky.

Tématem práce je výtah s naklápěnou platformou dopravníku, který by řešil výše zmíněné problémy při přejezdu paletky mezi výtahem a gravitační drahou, ale zároveň byl stále schopen obsluhovat vodorovné dopravníkové dráhy, které jsou nutné pro přístup technologie výrobního nebo montážního procesu. Model je konstruován na kompatibilitu s paletkami typu WT 2 od 160 mm do 480 mm a na maximální zdvih 2000 mm. V následujících kapitolách popisují rešerši stávajících výtahů a dopravníkových systémů, návrh koncepčního řešení a dimenzování parametrického modelu výtahu.



Obr. 1 Schéma přejezdu paletky mezi výtahem a gravitační dráhou

Modrá barva značí platformu výtahu, červená platformu dopravníku, černá gravitační dráhu a žlutá paletku s nákladem. Řešení bez naklopení platformy dopravníku zobrazeno nahoře, dole poté nově navrhované řešení s naklápěním platformy.

2 Rešerše

V následujících kapitolách popisují problematiku paletkových dopravníků. Vzhledem k povaze práce jsem se věnoval především kompatibilitě s paletkami a řešením výtahů.

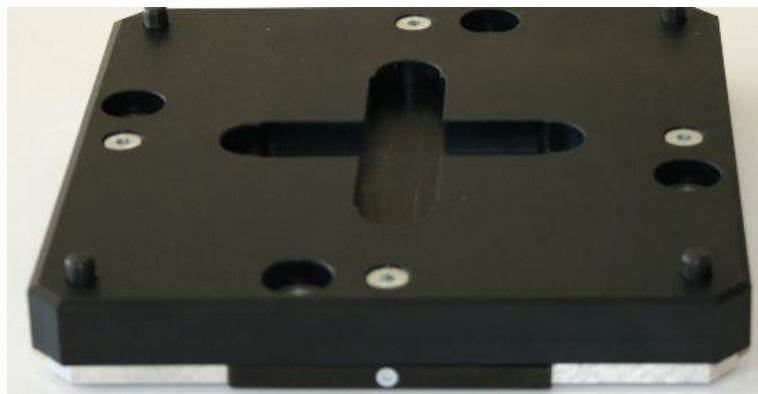
2.1 Systémy paletkové dopravy

Ačkoliv existuje nepřeberné množství paletkových dopravníkových systémů, naprostá většina z nich využívá shodné postupy a liší se především v detailech specifických pro dané výrobce. V této části rešerše se věnuji právě těmto rozdílům. Přesto je třeba zmínit, že i přes drobné odlišnosti jsou tyto systémy často do velké části kompatibilní s konkurenčními značkami, a je tak možné vybrat vhodná řešení napříč jednotlivými systémy a kombinovat je v nové celky.

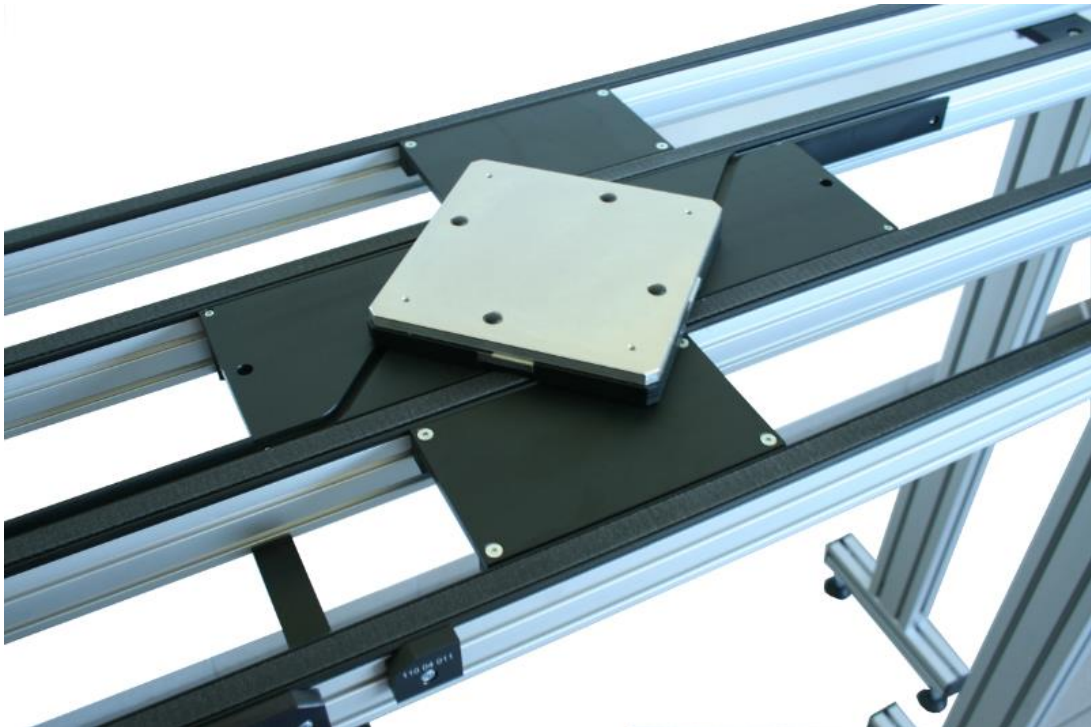
2.1.1 Dopravníky TLM

Firma ELCOM nabízí čtyři varianty dopravníků ze série TLM. Nejmenší z dopravníků je TLM 1000, který je schopen přepravovat paletky s rozměry 100x100 mm a maximální hmotností do 2 kilogramů. Oproti tomu systém TLM 5000 s nominální šířkou 500 mm přepravuje palety až s padesáti kilogramy zátěže. Všechny série (TLM 1000, 1500, 2000 i 5000) využívají k pohonu dvě větve s plochým nebo s ozubeným řemenem. TLM systémy užívají paletek od 100x100 mm po 500x500 mm pro TLM 5000.

Vedení paletek zajišťuje kromě nízkých bočnic originální řešení v podobě zatažitelných kolíků na spodní straně paletek. Čtveřici těchto kolíků lze vidět na Obr. 2. Tento systém umožňuje snadné otáčení o 90° zachycením jednoho z kolíků, stejně tak jako například přejezd paletky z jedné větve dopravníku na druhou s přesným vedením. Tento proces je vidět na Obr. 3.

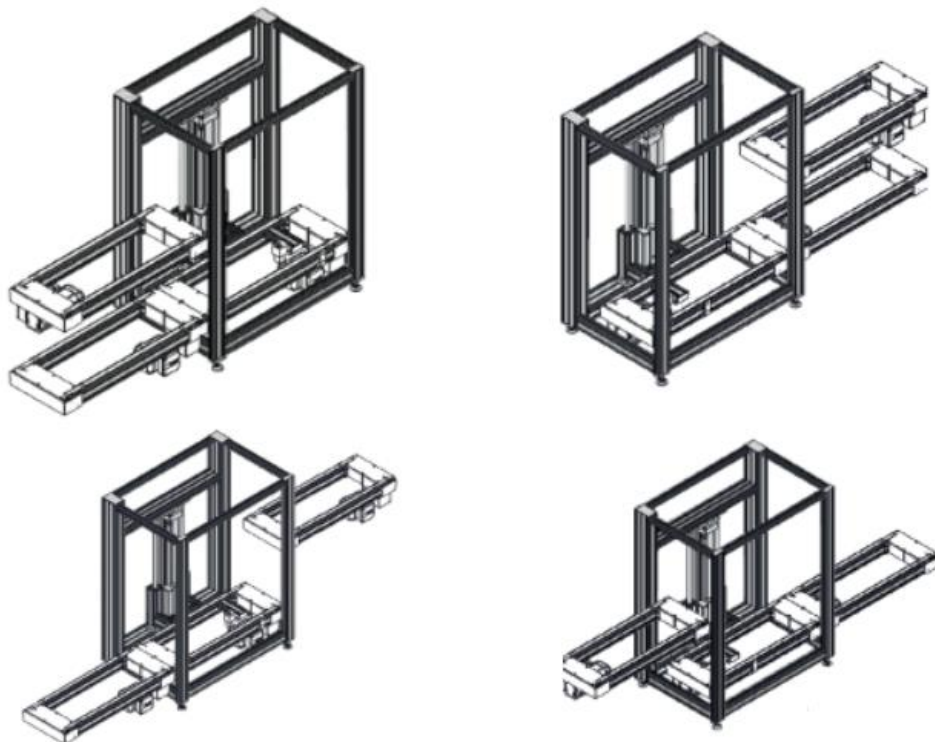


Obr. 2 Spodní strana paletky typu „M“ (1)



Obr. 3 Dopravník TLM 1500, přejezd paletky s vedením zatažitelným kolíkem (2)

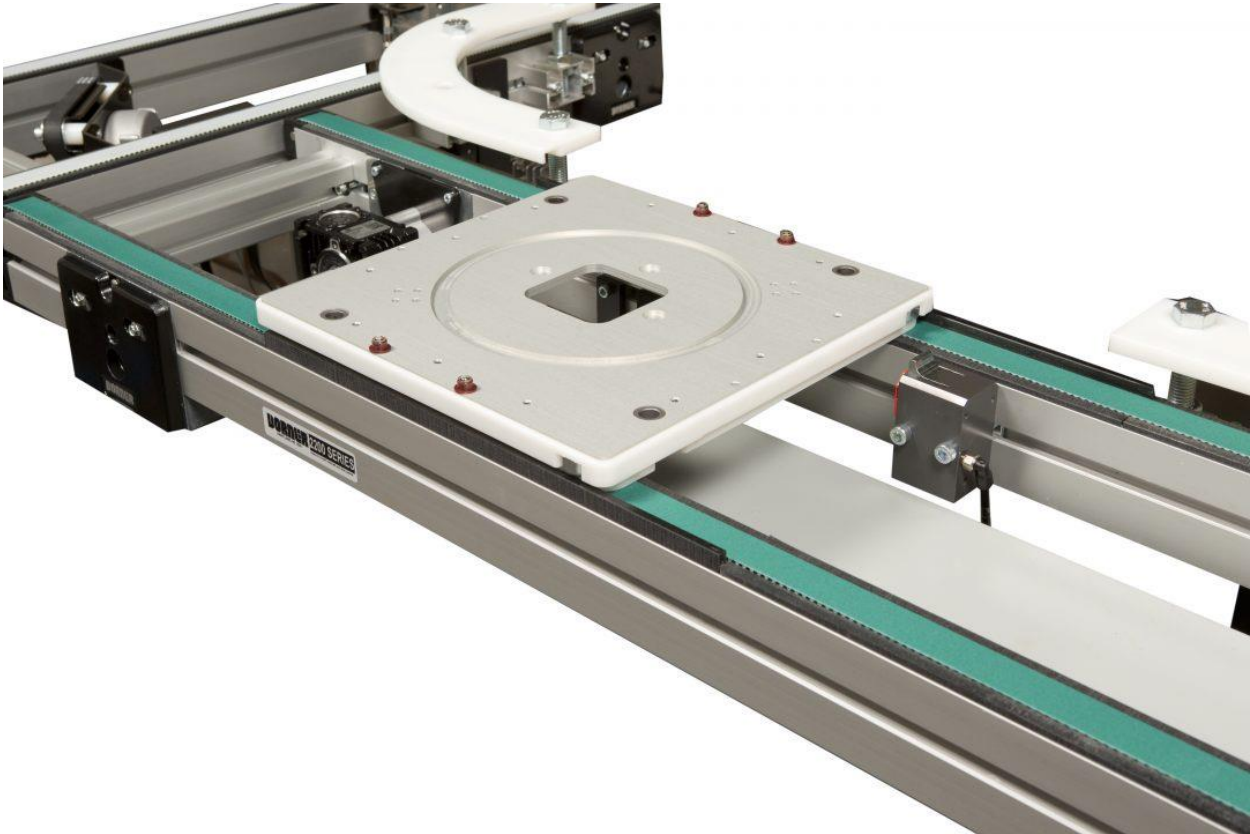
K překonání výškových rozdílů používá systém TLM výtah s možností inputu a outputu do rozdílných směrů. Čtyři varianty možných řešení jsou na Obr. 4.



Obr. 4 Výtah systému TLM 1500 (1)

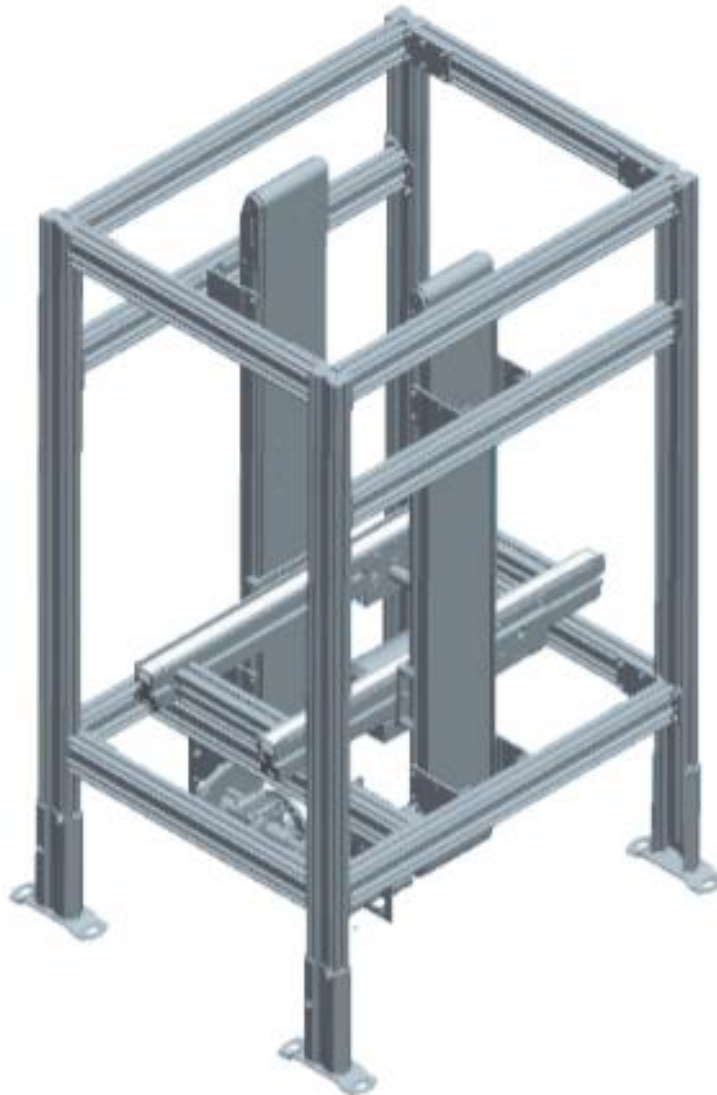
2.1.2 2200 Precision Move Pallet System

Paletkový dopravník od firmy Dorner využívá paletky od 160 do 480 mm. Pohon zajišťují dvě větve ozubeného řemenu. K přesnému vedení paletky využívá tento systém kolíků po stranách paletky, které se v zatáčkách chytí do kolejnič umístěných nad pásem dopravníku. Výjezd červených kolíků z bílého vedení je vidět na Obr. 5.



Obr. 5 2200 Precision move pallet system (3)

Tento systém využívá výtahu podobné rámové konstrukce, jako TLM systémy. Zdvih však v tomto případě zajišťuje namísto pneumatického válce dvojice ozubených řemenu. Ty jsou jasně patrné na Obr. 6. Výtah opět umožňuje pohyb paletky na obě strany.



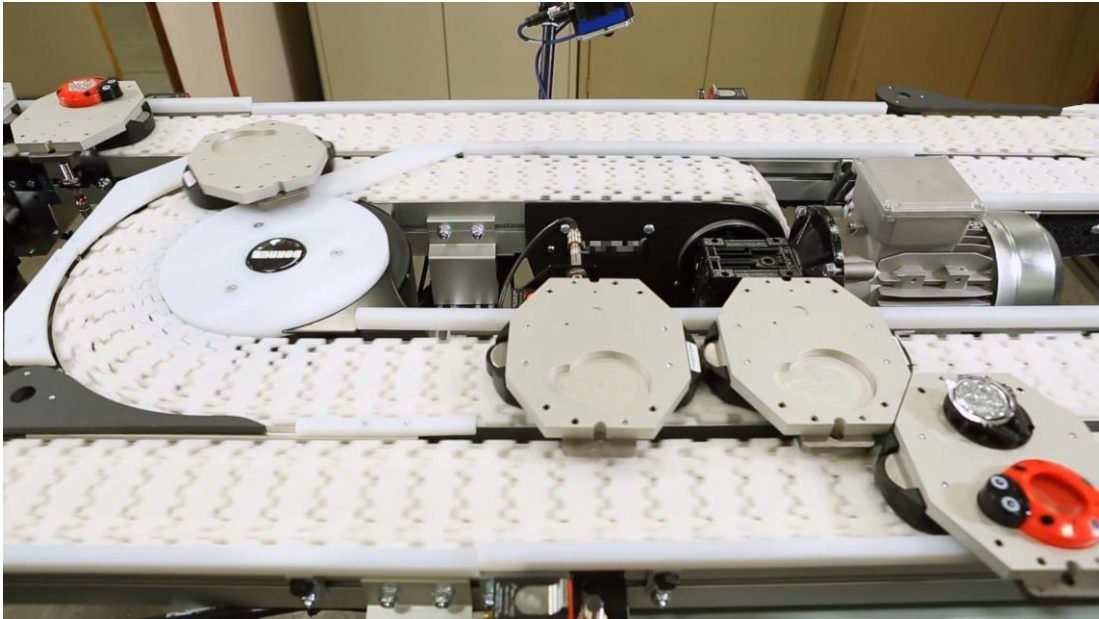
Obr. 6 Výtah systému Dorner 2200 Precision Move Pallet System (3)

2.1.3 Systémy s destičkovým řetězem

V této kapitole popisují dopravníky s destičkovým řetězem od různých výrobců.

2.1.3.1 FlexMove

Firma Dorner vyrábí také systém FlexMove. Tento paletkový dopravník disponuje poněkud netradičně destičkovým řetězem. Dostupná je pouze jednotná šířka 105 mm a palety neobvyklého osmiúhelníkového tvaru se vyrábí pouze ve třech velikostech (délky 100, 150 a 200 mm). Systém FlexMove s netradičním brzděním dvou paralelních větví představuje Obr. 7.



Obr. 7 FlexMove Pallet System (3)

2.1.3.2 EASYLANE

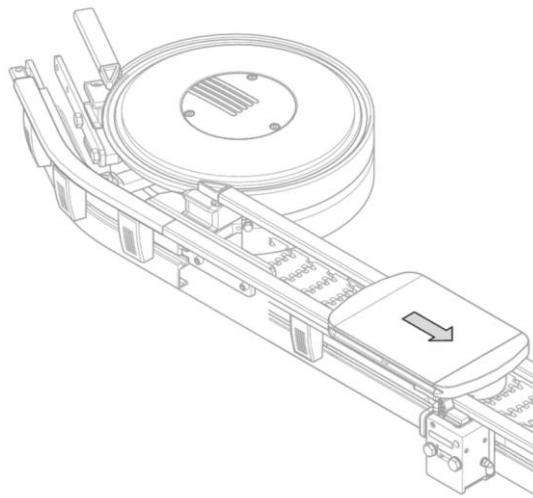
Destičkový řetěz a osmiúhelníkové paletky využívá také systém easylane od firmy Broich Systemtechnik GmbH. Další systémy od tohoto výrobce popisuje kapitola 2.1.6.



Obr. 8 Paletky a dopravník typu EASYLANE (10)

2.1.3.3 VarioFlow plus

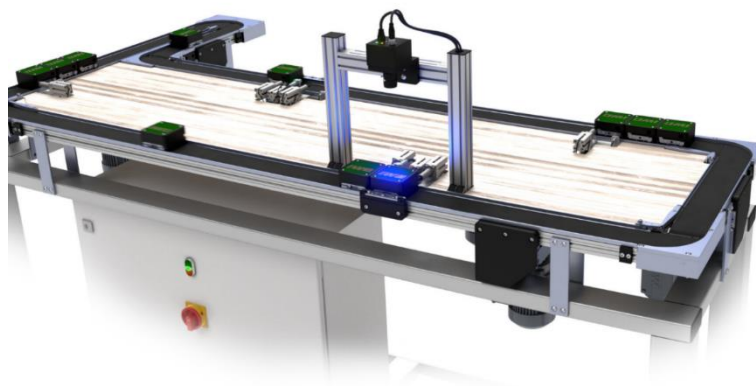
Dopravníkový systém VarioFlow plus firmy BOSCH Rexroth AG většinou přepravuje samostatné výrobky, paletka pro tento řetězový dopravník však také existuje. Její spodní část tvoří dva otěruvzdorné disky z oceli nebo z PE. Přestože systém VF plus existuje pro šíře pásu 65, 90, 120, 160, 240 a 320 mm, paletky jsou vyráběny pouze pro nejmenší dvě varianty a obě mají maximální nosnost pouhých 8 kilogramů.



Obr. 9 Paletka systému VarioFlow plus (4)

2.1.4 Minitrans CARRY

Firma IWB Industrietechnik používá k přepravě čtvercových paletek o velikostech 45, 60 a 80 mm pásové dopravníky. Jako jeden z mála transportních systémů tak Minitrans CARRY není kompatibilní s paletkami standardních rozměrů. Hliníkový profil s T drážkou tak typický pro dopravníkové systémy však zůstal zachován.



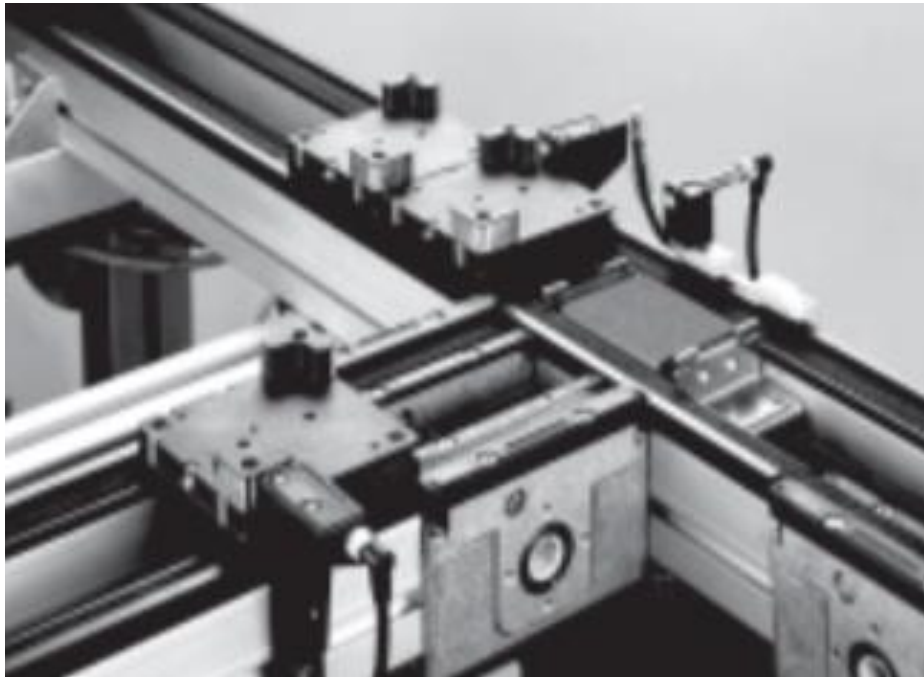
Obr. 10 Minitrans CARRY (11)

2.1.5 Systémy řady TS

Firma Bosch Rexroth disponuje několika řadami dopravníků. Jako přednímu světovému výrobcu těchto systémů věnují systémům s označením TS celou následující podkapitolu.

2.1.5.1 TS 1 Transfer system

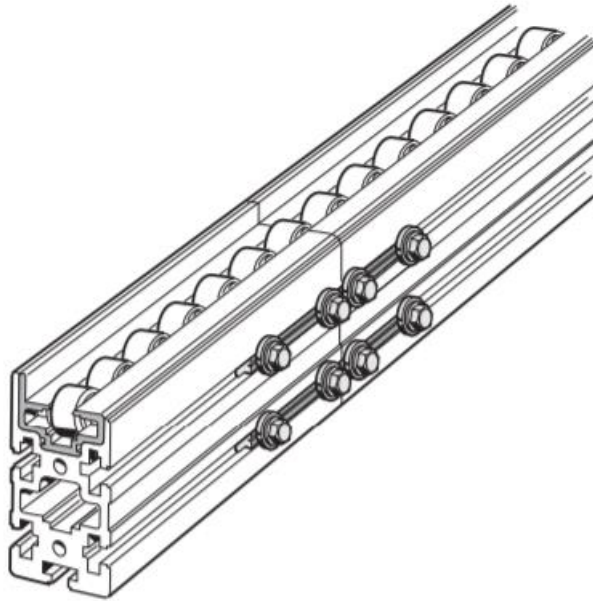
TS 1 je nejmenší ze čtveřice TS systémů firmy Bosch Rexroth. Paletky dostupné ve třech velikostech (80, 120 a 160 mm) a ve třech materiálových provedeních (ocel, hliník a PA) slouží k přepravě dílů do tří kilogramů. Paletky se pohybují díky dvojici plochých řemenů na konstrukci z vysoce modulárních hliníkových profilů.



Obr. 11 TS 1 Transfer system (4)

2.1.5.2 TS 4plus Transfer system

Hnacím médiem pro TS 4plus je válečkový řetěz umístěný v liště v hliníkovém profilu, jak lze vidět na Obr. 12. Náklady mohou dosahovat hmotnosti až 250 kg a paletky rozměrů až 1243 mm. Jako všechny TS systémy využívá pestré nabídky příslušenství od firmy Bosch Rexroth, včetně hliníkových profilů.



Obr. 12 Válečkový řetěz systému TS 4plus (4)

2.1.5.3 TS 5 Transfer system

Největší ze čtveřice TS systémů od firmy Bosch Rexroth je TS 5, poháněný válečkový dopravník pro náklady přesahující 400 kg. Vzhledem k přepracované hmotnosti jsou z hliníkových profilů u TS 5 většinou používány rozměry 45x90 a 45x180, případně 90x90 mm. Paletky pro tento typ dopravníku existují v rozmezí od 455 do 1040 mm.

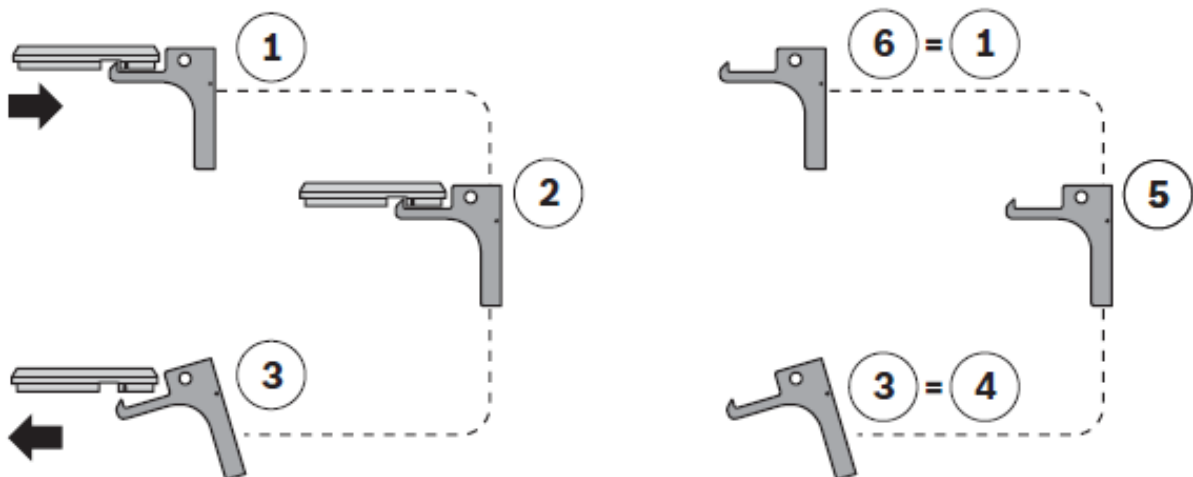


Obr. 13 Dopravník typu TS 5 (4)

2.1.5.4 TS 2plus Transfer system

Nejvšestrannějším z TS systémů je právě TS 2plus. Pro pohon paletky lze vybírat ze čtyř druhů hnacích médií (plochý řemen, ozubený řemen, válečkový řetěz a destičkový řetěz), samotné paletky pak lze vybírat v rozmezí 160 až 1200 mm. S možnou zátěží až 240 kilogramů se tak TS 2plus hodí pro nepřeberné množství aplikací. Tento systém navíc disponuje obrovským množstvím příslušenství a předdefinovaných konstrukčních celků, které usnadňují a urychlují montáž dopravní linky.

V rámci TS 2plus nabízí firma Bosch Rexroth výtah ECOLIFT EL 2 (Obr. 15). Tento výtah se od předchozích zmíněných liší tím, že k horizontálnímu posunu paletky nevyužívá přídavných pohonů. Zdvih zajišťuje řetěz, který v horní a dolní úvratí pohání rameno s hákem, které paletku posouvá ve vodorovném směru po válečkové trati. Při pohledu na řetěz v Obr. 15 je z Obr. 14 patrná funkce háku i jeho trajektorie.



Obr. 14 Schéma pohybu háku v rámci ECOLIFT EL 2 (4)

Tento výtah šetří energii, jelikož využívá pouze jednoho pohonu, nicméně je vzhledem ke své konstrukci schopen přijímat a vydávat paletky pouze z jedné strany, čímž značně omezuje možnosti rozmístění okolních stanic dopravníkové linky.



Obr. 15 ECOLIFT EL 2 (4)

Firma FMS Montagetechnik nabízí jednoduchý výtah kompatibilní s paletkami TS 2plus. Na Obr. 16 lze vidět bezpečnostní válec, který výtah pohání.



Obr. 16 Lift-System, FMS Montagetechnik (5)

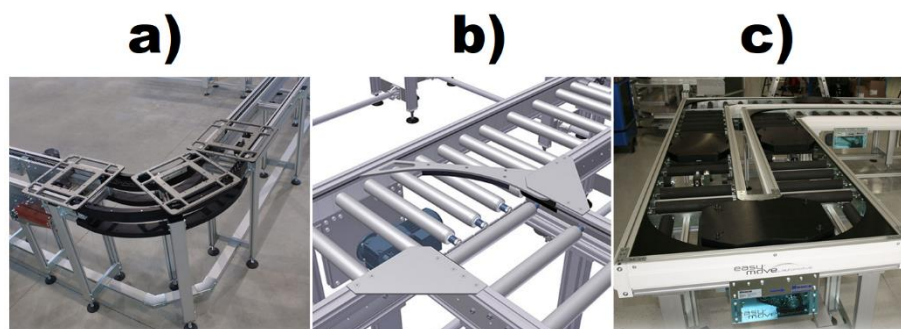
Systém TS 2 využívá paletky WT 2 (z německého Werkstückträger). Paletky s označením WT 2/E slouží pro náklady do 12 kg, WT 2 do 100 kg a typ WT 2/H do 240 kg. Označení WT 2/F, případně WT 2/F-H označuje paletku rámového typu (F z angl. Frame).



Obr. 17 Paletky WT 2 (vlevo) a WT 2/H (vpravo) (4)

2.1.6 Systémy EASYFLOW flex a EASYMOVE

Podobně jako TS 4plus a TS 5 využívají systémy firmy Broich Systemtechnik GmbH válečkového řetězu a válečkového dopravníku. Oproti srovnatelným systémům řady TS nabízí nižší možnou přepravovanou hmotnost.



Obr. 18 Systémy EASYFLOW flex (a), EASYMOVE (b) a EASYMOVE Automotive (c) (10)

2.2 Hliníkové profily

Jak je zřejmé z výše uvedených příkladů transportních systémů pro paletkovou dopravu, většina využívá modulárních hliníkových profilů s jednou nebo více T drážkami. Užití těchto profilů usnadňuje montáž a následné úpravy linky, jelikož spoje lze provést bez vrtání, sváření, nebo jakéhokoliv dodatečného

opracování profilu. Na místech, kde spojovací materiál nepřekáží funkčním částem dopravníku, lze umístit spoje zvnějšku, jak ukazuje Obr. 19.



Obr. 19 Vnější spoje hliníkových profilů (2)

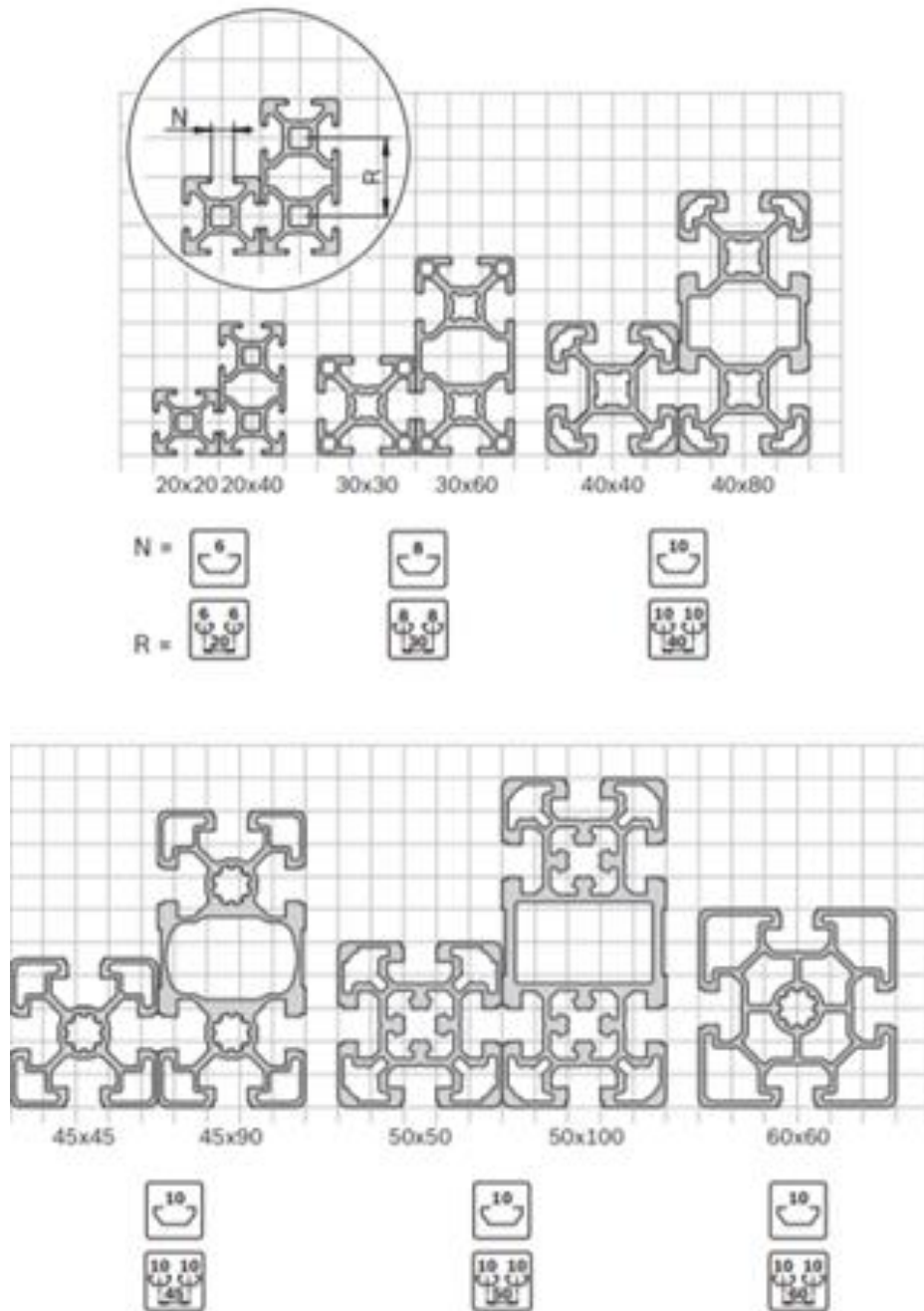
Jedná se o úhelníky, spojovací desky, kloubové spoje a vzpěry. Vnitřní spoj dovoluje ponechat drážky volné pro umístění panelů či pletiva, nemůže přijít do kontaktu s pohyblivými částmi systému a v některých případech může být preferován z estetického hlediska.

Příklad spoje, který nenarušuje vnější obrys profilů lze vidět na Obr. 20. Spojka se nejdříve zašroubuje do čela profilu a následně se dotáhnou dva šrouby, které drží matice v T drážce.



Obr. 20 Vnitřní spoj hliníkových profilů (13)

Samotné profily se vyrábí většinou v řadách v rozmezí od 20 do 100 mm po 10 mm, přičemž někteří výrobci nabízí i možnost 45 mm. Základní varianty profilů lze vidět na Obr. 21. Kromě čtvercových profilů lze použít i různě zkosené (Obr. 22, a), zaoblené (Obr. 22, b), trubkové nebo jinak upravené průřezy. Kromě těchto variant lze také některé T drážky zaslepit (Obr. 22, c), a získat tak rovný bok profilu (zamezení vniku nečistot, design atd.).

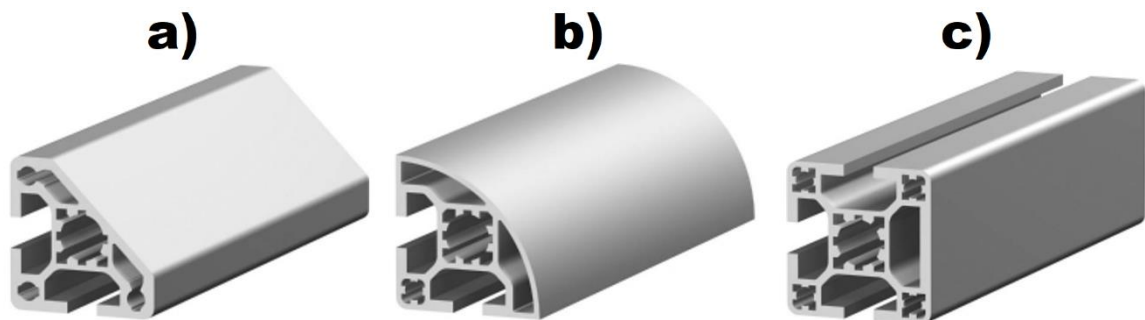


Obr. 21 Průřezy hliníkových profilů, Bosch Rexroth (4)

2.3 Zhodnocení rešerše

V předešlých kapitolách jsem shrnul dostupná řešení výtahů paletkových dopravníků. Všechny zmíněné výtahy pracují pouze s vodorovnými dopravníkovými systémy, čímž se vylučuje možnost použití výtahu v kombinaci s gravitační dráhou bez vložených dopravníkových tratí na kompenzaci sklonu. Použití gravitační dráhy jakožto vratné větve šetří náklady na provoz i na pořízení, neboť není třeba řešit pohon této dopravníkové trati. Na základě těchto poznatků jsem se rozhodl konstruovat výtah, který by bylo možné použít právě v kombinaci s vratnou gravitační dráhou.

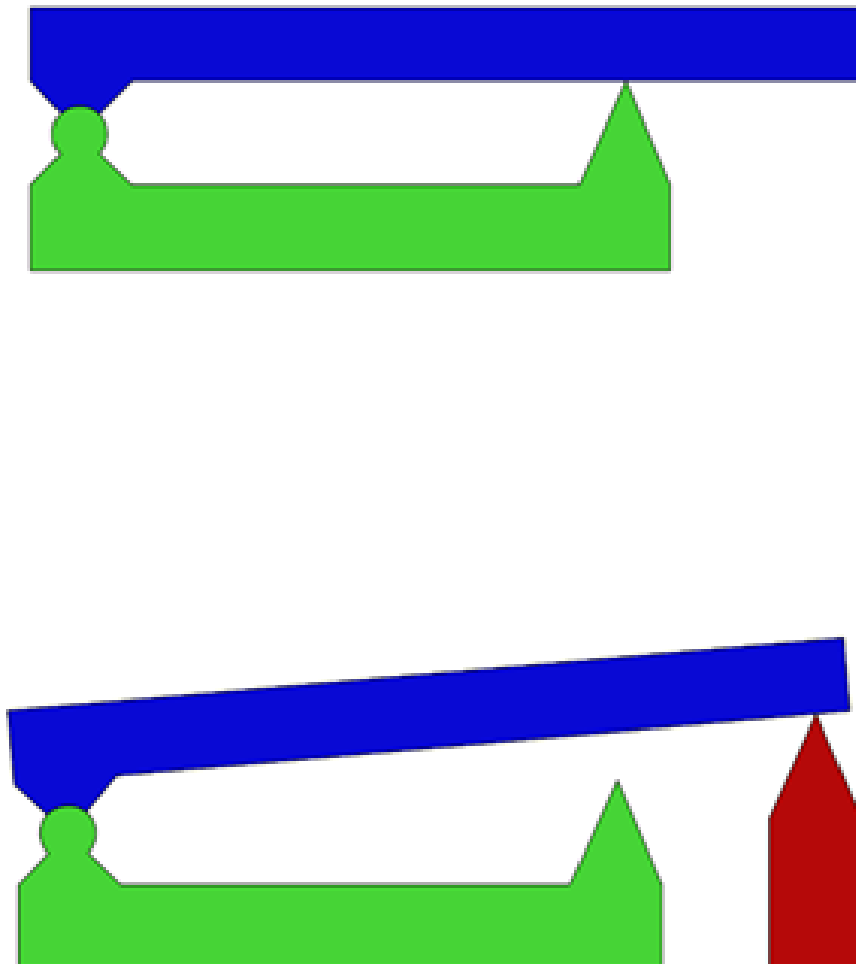
Vzhledem k všeobecně rozšířenému trendu používání hliníkových profilů na konstrukci dopravníků a s přihlédnutím k množství doplňků, které jsou s tímto řešením kompatibilní, jsem se také rozhodl využít hliníkových profilů. Z nabídky firmy Bosch Rexroth jsem se zaměřil na profily s T drážkou jmenovitého rozměru 10 mm, především pak na profily z řady 45 mm.



Obr. 22 Různé varianty hliníkových profilů (12)

3 Koncepční návrh

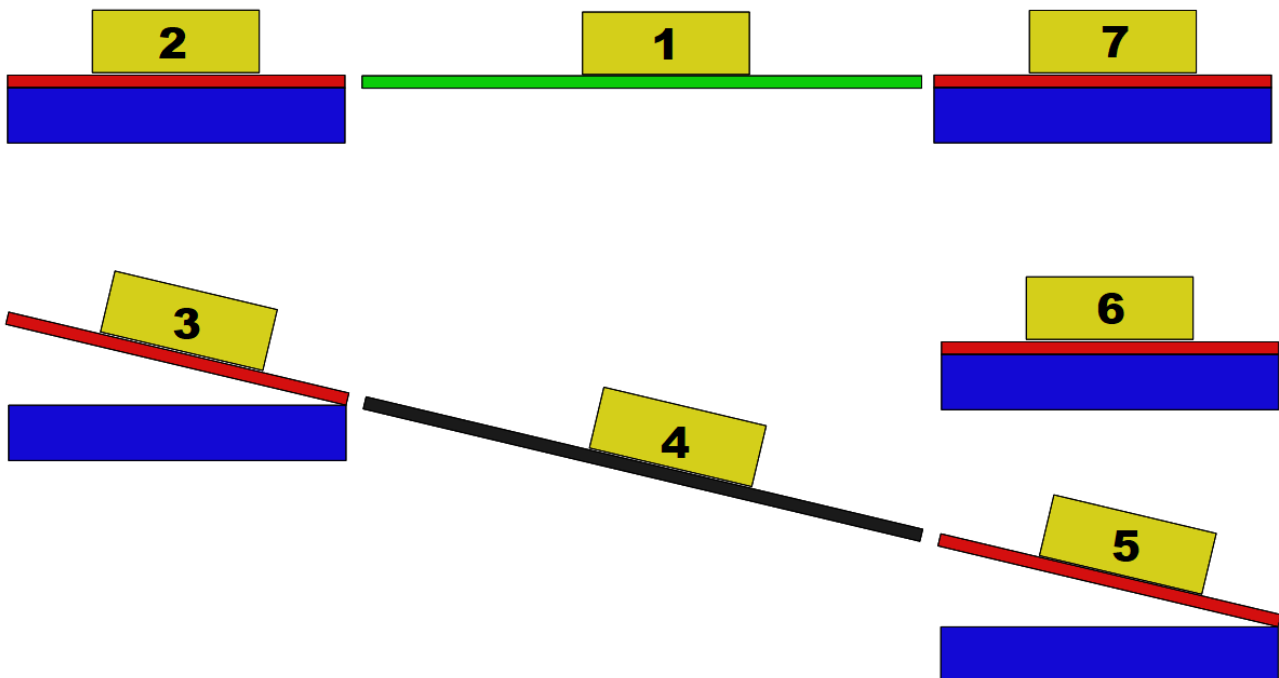
Koncepční návrh vychází z myšlenky naklápění dopravníkové části výtahu v dolní úvratí. Tento náklon je vyvozen kontaktem s dorazem, který je upevněn na rámu výtahu. Použitím tohoto jednoduchého řešení není nutná přítomnost dalšího pohonu na naklápění, ale zároveň je zachována možnost nastavení libovolného úhlu náklonu posunutím dorazu. Po dobu zdvihu a v horní úvratí zůstává dopravníková platforma ve vodorovné pozici. První koncepční schéma tohoto řešení ukazuje Obr. 23. Ve spodní části obrázku je výtah v dolní úvratí a doraz (červená) zvedá kloubem upevněnou dopravníkovou platformu (modrá) z vodorovné platformy výtahu (zelená). Horní část obrázku znázorňuje zdvih, resp. horní úvrať.



Obr. 23 První koncepční schéma naklápění dopravníkové platformy

Pohyb paletky s nákladem jednoduchým dopravníkovým systémem s dvojicí výtahů znázorňuje schéma na Obr. 24 s následujícím značením:

- 1 – paletka s nákladem na vodorovné dopravníkové trati
- 2 – výtah v horní úvrati, platforma dopravníku vodorovně
- 3 – výtah ve spodní úvrati, platforma dopravníku vyrovnává sklon nakloněné dopravníkové trati
- 4 – paletka s nákladem na nakloněné dopravníkové trati
- 5 – výtah ve spodní úvrati, platforma dopravníku vyrovnává sklon nakloněné dopravníkové trati
- 6 – výtah uprostřed zdvihu, platforma je již ve vodorovné pozici
- 7 – výtah v horní úvrati, platforma dopravníku vodorovně

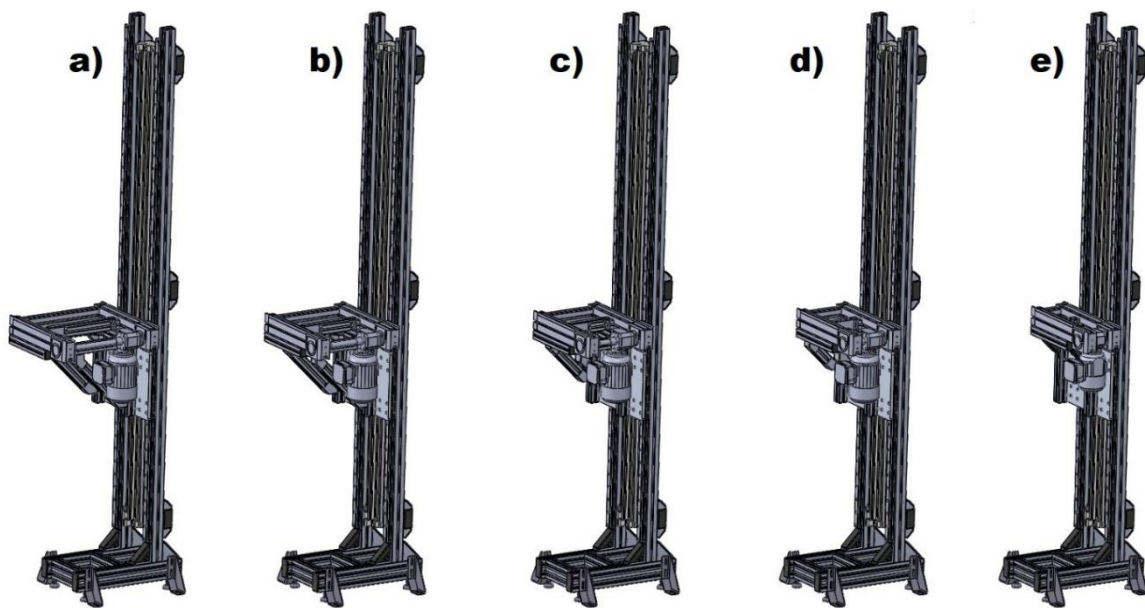


Obr. 24 Schéma pohybu paletky v jednoduchém systému s dvojicí výtahů po stranách

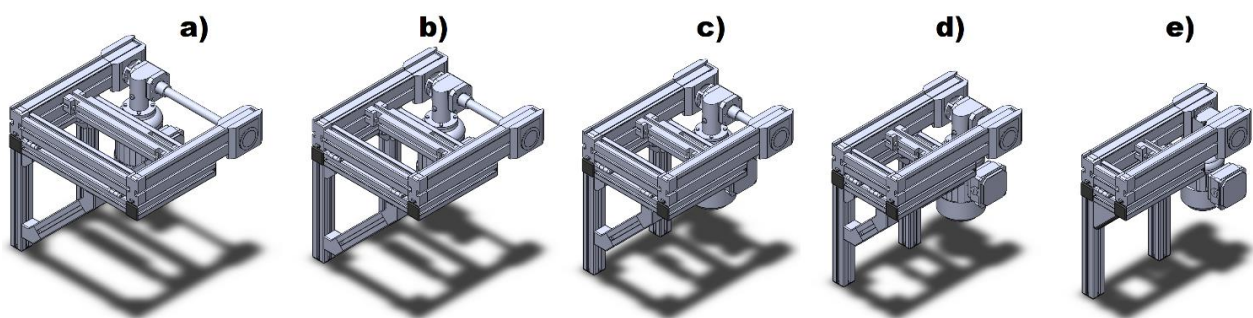
3.1 První generace modelu

Všechny modely první generace měly platformu výtahu rámové konstrukce z hliníkových profilů 45x45 mm. Nejmenší konfigurace využívala rohového úhelníku 45x90 mm, všechny ostatní konfigurace pak byly vyztuženy profilem pod úhlem 45°. Následující dva obrázky znázorňují samotné platformy (Obr. 26) a pohledy na celý výtah (Obr. 25), oba obrázky se značením $a=480$ mm, $b=400$ mm, $c=320$ mm,

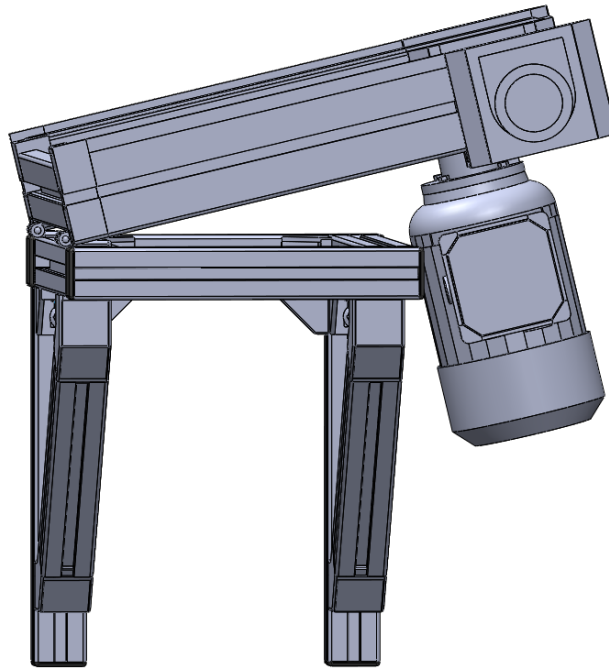
$d=240$ mm, $e=160$ mm. Podoba první generace se schématem z Obr. 23 je jasná z Obr. 27. Kloubový spoj je řešen pomocí pantů od firmy Bosch Rexroth. Rám výtahu tvoří základna z profilů 45x90 mm, svislou část pak dvojice profilů 45x60 mm, vyztužená na třech místech krátkými profily 45x90 mm. Tato generace jakožto první návrh postrádá osazení senzory a přípravu na rozvody elektřiny a stlačeného vzduchu v podobě energetického řetězu.



Obr. 25 Modely první generace, pohled na celý výtah



Obr. 26 Modely první generace, platforma výtahu a platforma dopravníku



Obr. 27 Model první generace ve spodní úvrti

3.1.1 Řešení s nutností úpravy

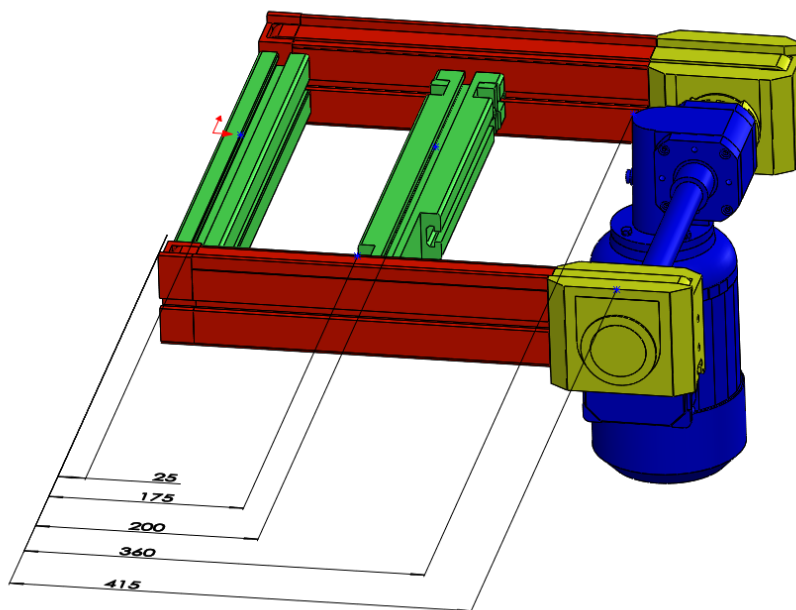
Velkou část konstrukce první generace jsem implementoval i v druhé iteraci parametrických modelů, nicméně dvě konstrukční řešení jsem se po zhodnocení funkčnosti první generace rozhodl přepracovat. Tato dvě řešení bylo užití pantů k naklápění dopravníkové platformy a samotná platforma výtahu, na které byly panty původně umístěny.

3.1.1.1 Panty

Panty tvořily v první generaci spoj mezi platformami výtahu a dopravníku. Využití nakupovaných pantů od firmy Bosch Rexroth (kód součásti 3842544531) jsem zvolil jednak kvůli snadnému řešení kloubového spoje, jednak kvůli rychlosti montáže. Panty byly jednoduše připevněny na již přítomné profily pomocí čtyř šroubů a matic do T drážky. Po vyhodnocení tlaků na tenký čep pantu jsem však od této varianty upustil.

Samotná pozice kloubového spoje byla druhým aspektem, který jsem se rozhodl upravit. Z důvodu konstrukce pantů a platformy dopravníku bylo možné panty umístit pouze na straně dál od motoru s převodovkou, jak je vidět na Obr. 27. V této poloze by hmotnost platformy dopravníku vyvolávala okolo pantu moment 39,5 Nm. Uvažované hmotnosti odvozené z katalogů výrobce byly 2,9 kg/m (zelená), 4,15 kg/m (červená), 1,5 kg (žlutá) a 8 kg (modrá). Barevné značení a

polohy těžišť vzhledem k podpoře jsou na Obr. 28. Přesunutí kloubové podpory na stranu motoru by značně zmenšilo sílu, kterou musí působit doraz při naklápění dopravníkové platformy. Z těchto důvodů jsem se rozhodl upustit od pantového provedení, které této pozice nebylo schopno dosáhnout kvůli nedostatku prostoru u motoru s převodovkou. Nové řešení s přepočítaným momentem popisuje kapitola 3.2.3, resp. 3.2.3.2.



Obr. 28 Výpočet momentu od tíhy dopravníku – polohy těžišť

3.1.1.2 Platforma výtahu

Platforma výtahu byla stejně jako rám výtahu řešena užitím hliníkových profilů. Tato konstrukce zajišťovala snadnou smontovatelnost, postrádala však potřebnou tuhost. Plech pro připevnění platformy k rámu výtahu zůstal zachován se změněnými rozměry umístění děr pro šrouby a přidáním materiálu pro upevnění energetického řetězu.

3.1.2 Řešení vhodná pro druhou generací modelu

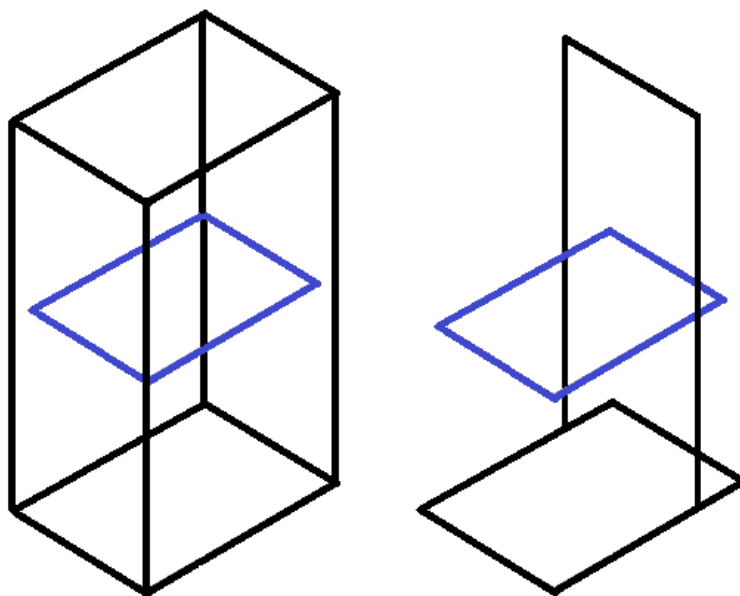
Některá řešení z modelu první generace plnila svou funkci a nebylo třeba je nijak zásadně měnit. Tyto konstrukční celky představuji níže.

3.1.2.1 Platforma dopravníku

Pro docílení kompatibility s paletkami WT 2 jsem se rozhodl využít pásového dopravníku BS 2 firmy Bosch Rexroth. Ze tří variant umístění motoru jsem pro všech 5 modelů zvolil umístění uprostřed, neboť umístění po stranách v jednom případě vyvolávalo zbytečný ohybový moment, v druhém poté překáželo rámu výtahu. Dle zadání jsem zvolil šířky dopravníku 160, 240, 320, 400 a 480 mm, délku dopravníku jsem však pro všech 5 typů paletek nastavil na 480 mm. Kromě možnosti přepravovat najednou 3 paletky typu 160 mm, resp. 2 paletky typu 240, umožňuje jednotná délka dopravníku vyrábět velkou část konstrukce výtahu ve stejných rozměrech nezávisle na velikosti paletky. Při výrobě výtahu toto řešení může znamenat ušetření skladovacího místa, neboť není třeba objednávat různé délky nebo průřezy profilů pro jednotlivé varianty výtahu. Zároveň se nabízí možnost mít předem vyrobené velké části konstrukce výtahu a při konkrétní zakázce pouze objednat komponenty pro danou konfiguraci, tj. v závislosti na zvolené paletce měnit pouze platformu výtahu a platformu dopravníku.

3.1.2.2 Rám výtahu

V rešeršní části jsem popsal dva používané typy rámu výtahů. Na Obr. 29 jsem schematicky naznačil rám uzavřené konstrukce, který lze vidět např. na Obr. 4, a rám konzolového typu, který využívá například výtah z Obr. 16. Z těchto dvou typů jsem vybral konzolové provedení se dvěma svislými profily, neboť pracuji s náklady s malými hmotnostmi a toto levnější řešení je dostatečné.



Obr. 29 Schéma rámu výtahů

Tento rám se skládá z podstavy a svislé části s pohonem výtahu a lineárním vedením. Pro druhou generaci zůstala konstrukce zachována, pouze byla doplněna o energetický řetěz, čidla pro kontrolu dosažení úvrati a vyztužení připojení svislé části. Podrobný popis finální konstrukce rámu obsahuje podkapitola 3.2.1.

3.2 Druhá generace modelu

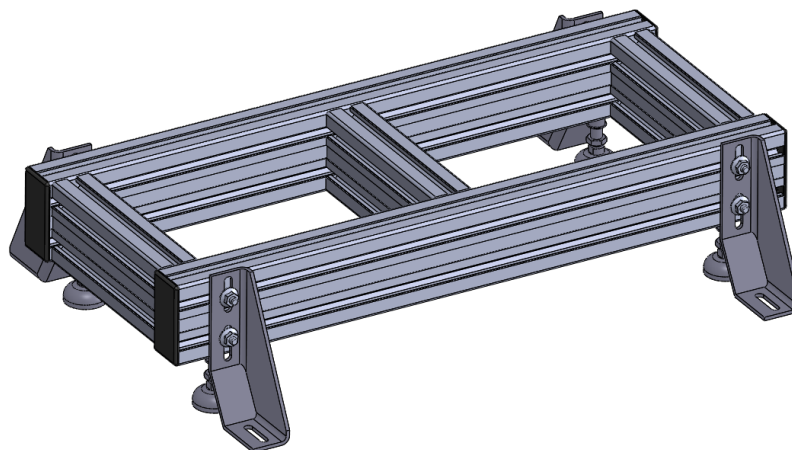
Model tvoří tři hlavní konstrukční celky. Těmi jsou rám výtahu, platforma výtahu a platforma dopravníku.

3.2.1 Rám výtahu

Rám tvoří podstava a svislá část s dvěma profily a pohonem výtahu.

3.2.1.1 Podstava

Podstavu výtahu tvoří pětice profilů průřezu 45x90 mm, doplněná o nastavitelné nohy M12x44 (číslo dílu 3 842 352 061) a kotvicí prvky k upevnění do podlahy (číslo dílu 3 842 338 979). Rozměry podstavy pro všechny konfigurace výtahu jsou 305x700 mm. Konce profilů jsou kvůli ochraně před pořezáním o ostré hrany profilů osazeny plastovými krytkami.



Obr. 30 Rám výtahu - podstava

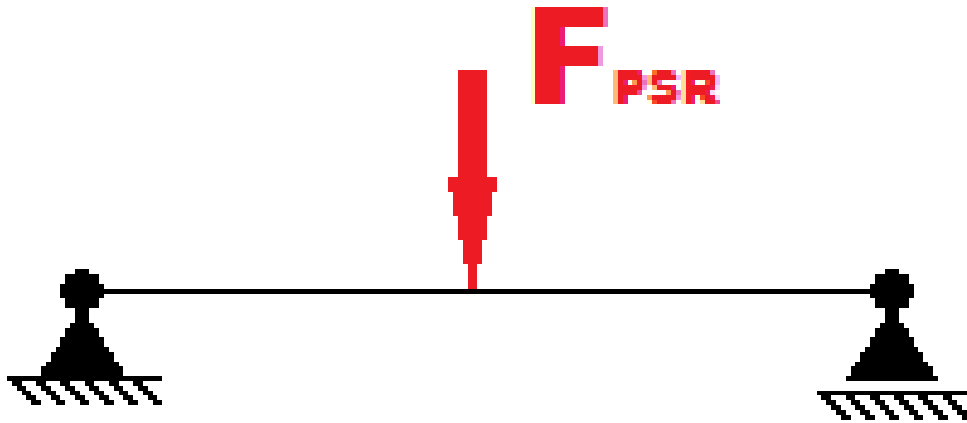
Pro dlouhý profil jsem ověřil průhyb od tíhy výtahu s nákladem. K výpočtu jsem využil katalogu výrobce profilu. Uvažovaná hmotnost je polovinou odhadu hmotnosti hliníkových plechů (uvažováno 2,7 g/cm) o výsledné hmotnosti 16,035 kg a dopravníkové platformy (13,35 kg), dále pak přičtením hmotnosti profilů 45x45 a 45x90 dle hmotností udaných výrobcem s uvažováním paletky s výtahem o hmotnosti 30 kg. Odhad jsem navýšil o 5% pro kabeláž a spojový materiál a zaokrouhlil na 70, resp. 35 kilogramů pro jeden nosník. Hodnoty E i J jsou brány

z katalogu pro daný profil. Síla F_{PSR} z Obr. 31 je ve výpočtech uvažována jako součin m_{PSR} a gravitačního zrychlení. Při užití vzorce na průhyb od zatížení silou v polovině profilu vyšel průhyb 0,049 mm, přičemž ve skutečnosti je umístění síly příznivější, a průhyb tak bude ještě menší.

$$v = \frac{m_{PSR} \cdot g \cdot L_{700}^3}{48 \cdot E \cdot J \cdot 10^4} \quad (1)$$

$$v = \frac{35 \cdot 9,81 \cdot 700^3}{48 \cdot 70000 \cdot 81,84 \cdot 10^4}$$

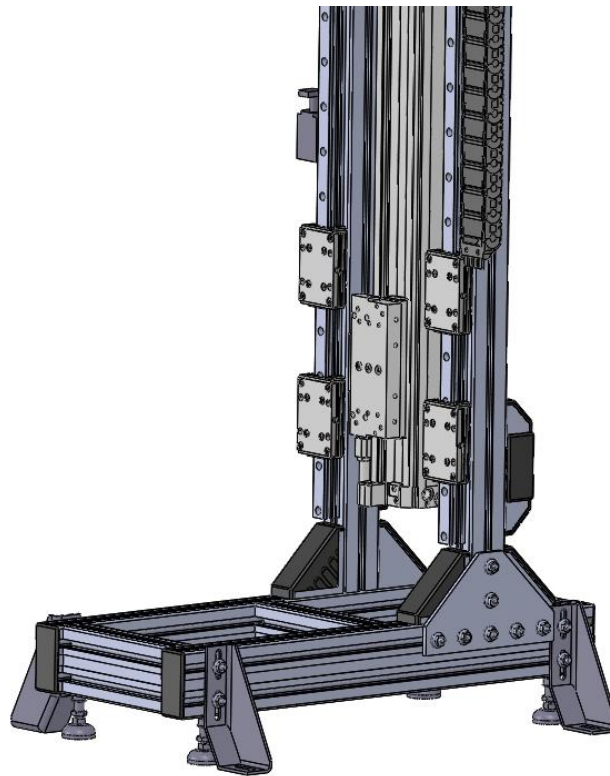
$$v = 0,049 \text{ mm}$$



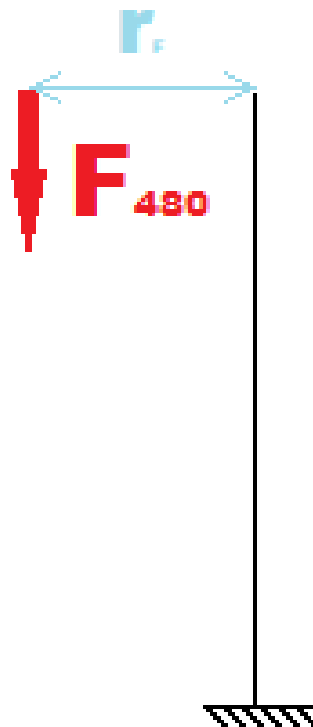
Obr. 31 Schéma počítaného profilu podstavy

3.2.1.2 Profily svislé části rámu

Svislou část rámu tvoří 2,5 metru dlouhé profily průřezu 45x60 mm, resp. 45x90H pro větší zátěže. K podstavě jsou připevněny čtveřicí rohových úhelníků 45x90 mm (číslo součásti 3 842 523 570) a pro zvýšení tuhosti i dvojicí plátů (8 981 019 450, resp. 8 981 019 455). Průhyb těchto profilů jsem počítal v nejnepříznivější situaci (horní úvrať, konfigurace pro paletku 480x480 mm, plné zatížení, těžiště nákladu v krajní poloze dál od rámu výtahu). Uvažoval jsem zatížení pouze ohybem se zatížením hmotností 63 kg, resp. polovinou z něj na jeden nosník. Sílu na rameni r_F nahrazuji ve výpočtech momentem vycházejícím z odhadu hmotnosti z kapitoly 3.2.1.1, oproštěného o hmotnost svislých profilů a odhad těžiště 340 mm od středu profilu.



Obr. 32 Rám výtahu – spodní část svislé části s podstavou



Obr. 33 Schéma počítaného profilu svislé části rámu

$$M = m_{480} \cdot g \cdot r_F \quad (2)$$

$$M = \frac{63}{2} \cdot 9,81 \cdot 0,34 = 105 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$u = \frac{M \cdot L_{2500}^3}{2 \cdot E \cdot J_H} \quad (3)$$

$$u = \frac{105 \cdot 2500^2 \cdot 10^3}{2 \cdot 70000 \cdot 717185} = 6,54 \text{ mm}$$

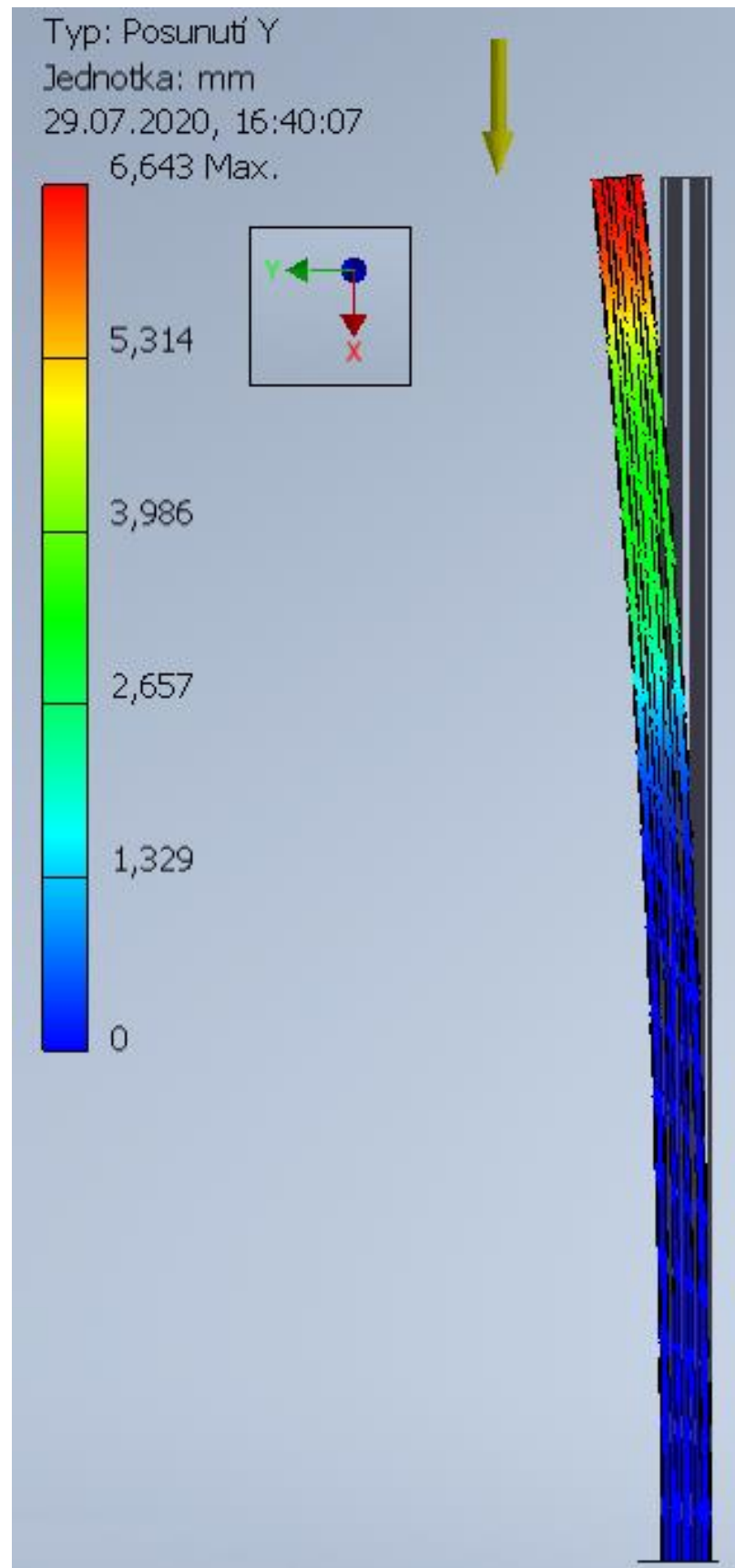
Výsledný posuv ve vodorovné hladině zjištěný analytickým výpočtem jsem porovnal s výsledky MKP analýzy z programu Autodesk Inventor 2020. Rozdíl vypočtené a simulované hodnoty je 0,1 mm. Obr. 34 ukazuje výsledky MKP analýzy s náhledem na model profilu. Model je ve spodní části vetknut, v horní části je poté zatížen žlutě značenou silou velikosti $m_{480} \cdot g = 309,015 \text{ N}$ ve vzdálenosti $r_F = 0,34 \text{ m}$ od středu profilu.

Posuv dopravníkové trati v horní úvrati o hodnotu 6,54 mm (na profilu 2500 mm s konfigurací 480) je přípustný a paletka se při nájezdu na výtah/dopravník srovná o vodící lišty. Pro snížení této hodnoty navrhuji svázání s nosnou konstrukcí horního dopravníku, které zmenší hodnotu výchylky, a přenesení část zatížení na nosnou strukturu navazujícího dopravníku.

Tab. 1: Srovnání analytických výpočtů s MKP

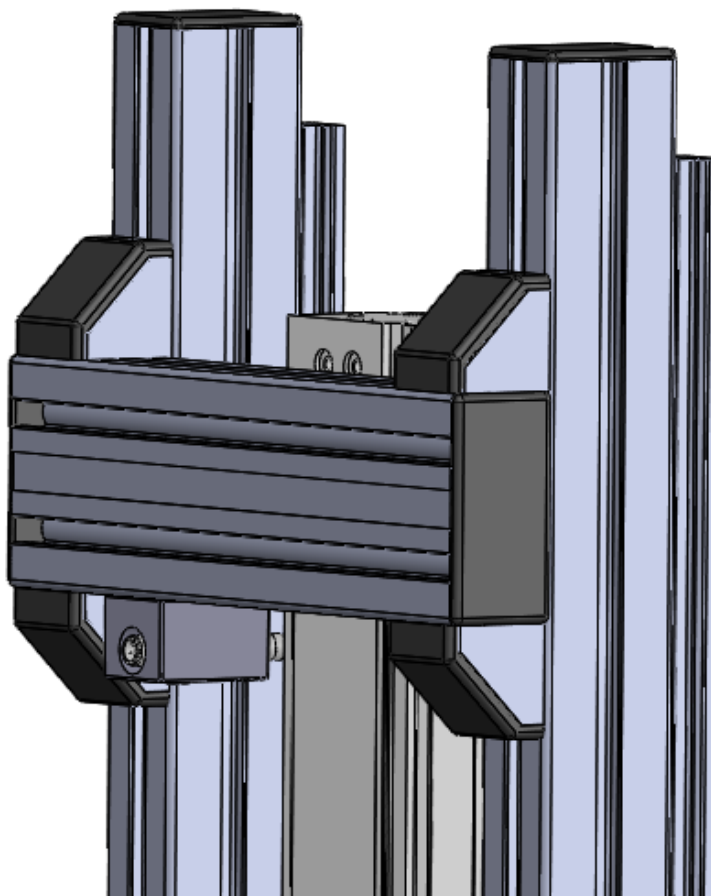
	Analytika	MKP	Rozdíl
Výchylka [mm]	6,536	6,643	0,107
Porovnání [%]	100,00	101,64	1,64

Vertikální posuv konce nosníku by vytvořil rozdíl výšek dopravníku a výtahu, ten však lze snadno vykompenzovat operativním upravením pozice úvrati o hodnotu posuvu. Tento posuv vycházel v řádech desetin milimetru (0,25 mm pro plně zatíženou konfiguraci 480).



Obr. 34 MKP analýza profilu svislé části rámu

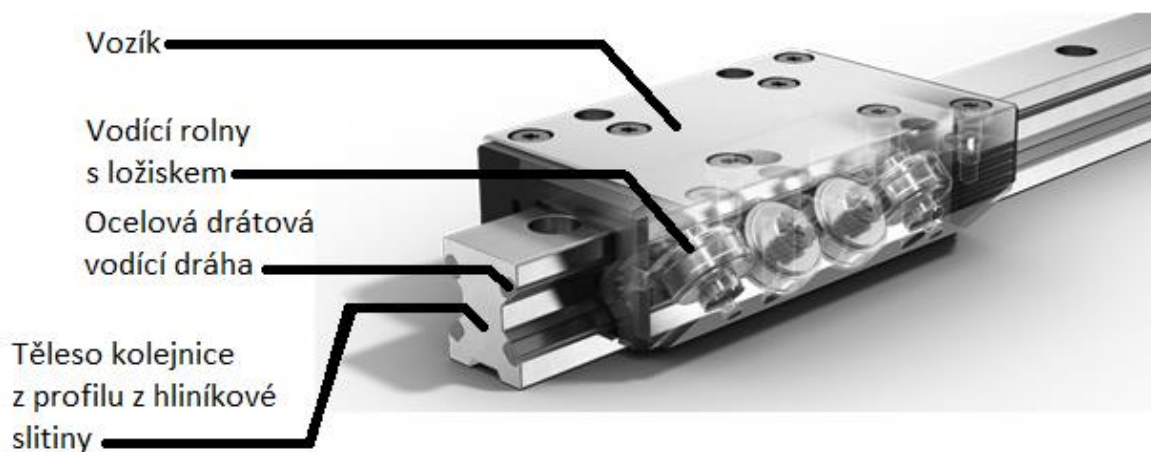
Dlouhé profily spojuje trojice vodorovných podpor, které slouží zároveň k upevnění bezpístnicového válce pohonu a čidla snímání dosažení úvratí výtahu. V případě umístění úvratí v jiné než krajní poloze, je třeba umístit čidlo polohy na jinou podporu, případně přidat vodorovnou podporu k umístění čidla do požadované výšky. Čidlo i jeho připevnění jsou opět součástí systému TS 2plus a jsou uzpůsobeny k namontování do T drážky profilu řady 45. Upevnění tří základních podpor je masivní kvůli uložení pístu, přidaná podpora pro čidlo však může být uchycena levnější rychlospojkou, případně polovičním množstvím úhelníků. Čidla reagují na přiblížení profilu L popsaného v kapitole 3.2.2.



Obr. 35 Vodorovná výztuha s čidlem snímání horní úvratí

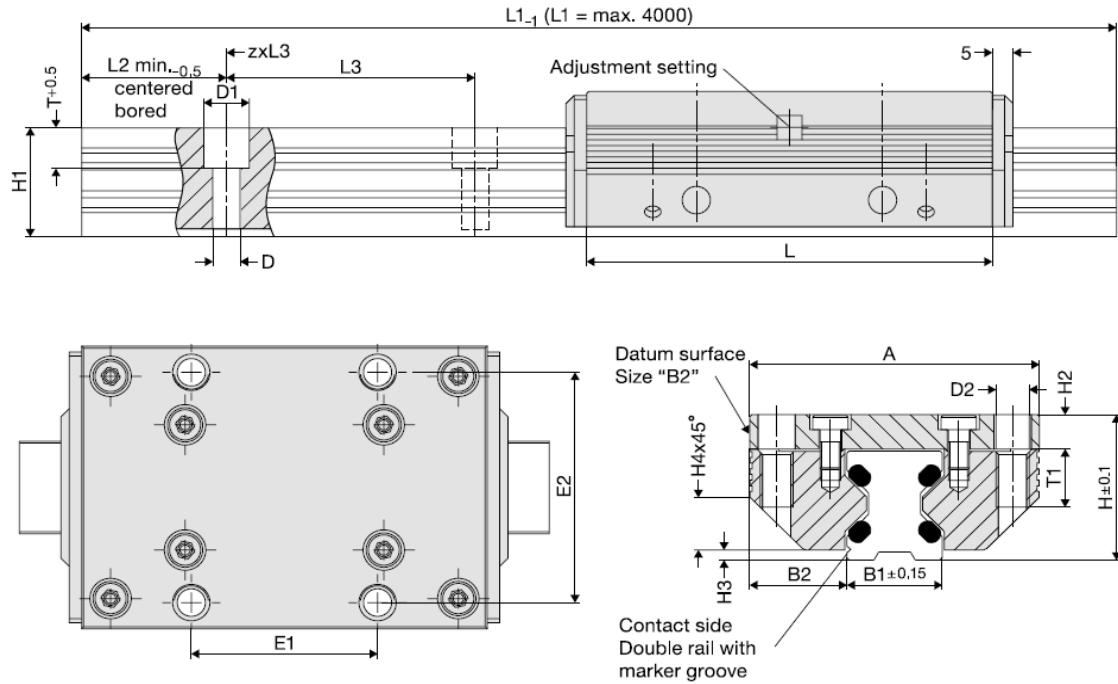
3.2.1.3 Lineární vedení

Svislé profily nesou dvojici lineárních vedení FDA 25 od firmy Franke se čtyřmi vozíky. Přestože jsem se většinu komponent v rámci kompatibility se systémem TS 2plus snažil vybírat z nabídky firmy Bosch Rexroth, kolejnice lineárních vedení dodávají v provedení z oceli, které není při umístění na hliníkové konstrukce vhodné. Při opakovaném tepelném namáhání by s užitím ocelové kolejnice mohlo docházet vlivem různé tepelné roztažnosti ke zbytečnému namáhání šroubových spojů, případně až k jejich porušení. Zároveň by docházelo k nežádoucímu ohybu hliníkového profilu. Z tohoto důvodu jsem zvolil hliníkovou kolejnici s vloženou ocelovou drahou (viz Obr. 36) od firmy Franke, s kombinací se čtyřmi vozíky s vedenými rolnami s jehličkovými ložisky. Tato čtveřice vozíků je vidět na Obr. 32. Jejich účelem je udržení momentů od tíhy platformy výtahu a dopravníku s paletkou tak, aby se nepřenášely na vozík pohonu.



Obr. 36 Lineární vedení FDA 25, firma Franke (9)

Rolny jsou umístěny za sebou do kříže. Kolejnice je tvořena hliníkovým profilem se zalisovaným ocelovým drátem s broušenou dráhou pro kontakt s rolnou. Kolejnice je navržena tak, že zalisování drží dráty v pozici a ty se přizpůsobují hliníkové části. Nedochozí k ohybu kolejnice vlivem teploty ani ohybu při montáži na hliníkový profil. Následuje výběr z katalogu s tabulkou rozměrů a možných provozních zatížení.



Dimensions

Size	Dimensions mm																	
	A	L	H	B1	B2	D	D1	D2	E1	E2	H1	H2	H3	H4	L2	L3	T	T1
12	37	64	19	12.0	12.50	3.4	6	M 4	25	30	14.7	4.0	1.4	5.5	10	40	5.5	8
15	47	78	24	15.5	15.75	4.5	8	M 5	30	38	18.7	5.0	2.0	8.0	10	60	6.0	10
20	63	92	30	21.0	21.00	5.5	10	M 6	40	53	22.6	7.0	2.0	11.0	10	60	8.0	12
25	70	98	36	23.0	23.50	6.6	11	M 8	45	57	27.0	8.5	2.5	13.0	10	60	10.0	16
35	100	135	48	32.0	34.00	9.0	15	M 10	62	82	37.0	10.5	3.5	20.0	12	80	11.5	20
45	120	165	60	45.0	37.50	11.0	18	M 12	80	100	46.0	13.5	4.0	22.0	16	105	14.5	24

Load ratings, weight

Size	Load rating N		Moment load ratings*, cassette Nm				Weight kg	
	C	C ₀	M _{0cx}	M _{cx}	M _{0cy} /M _{0cz}	M _{cy} /M _{cz}	Cassette	Rail/m
12	2800	3000	27	25	43	40	0.1	0.4
15	4200	3400	37	45	58	72	0.2	0.8
20	5400	5400	76	76	111	111	0.4	0.9
25	9000	10100	158	142	222	198	0.5	1.8
35	12500	18000	423	294	559	388	1.4	3.2
45	21200	25900	827	678	983	806	2.5	5.5

*See technical information for more information on moment load ratings

Order numbers

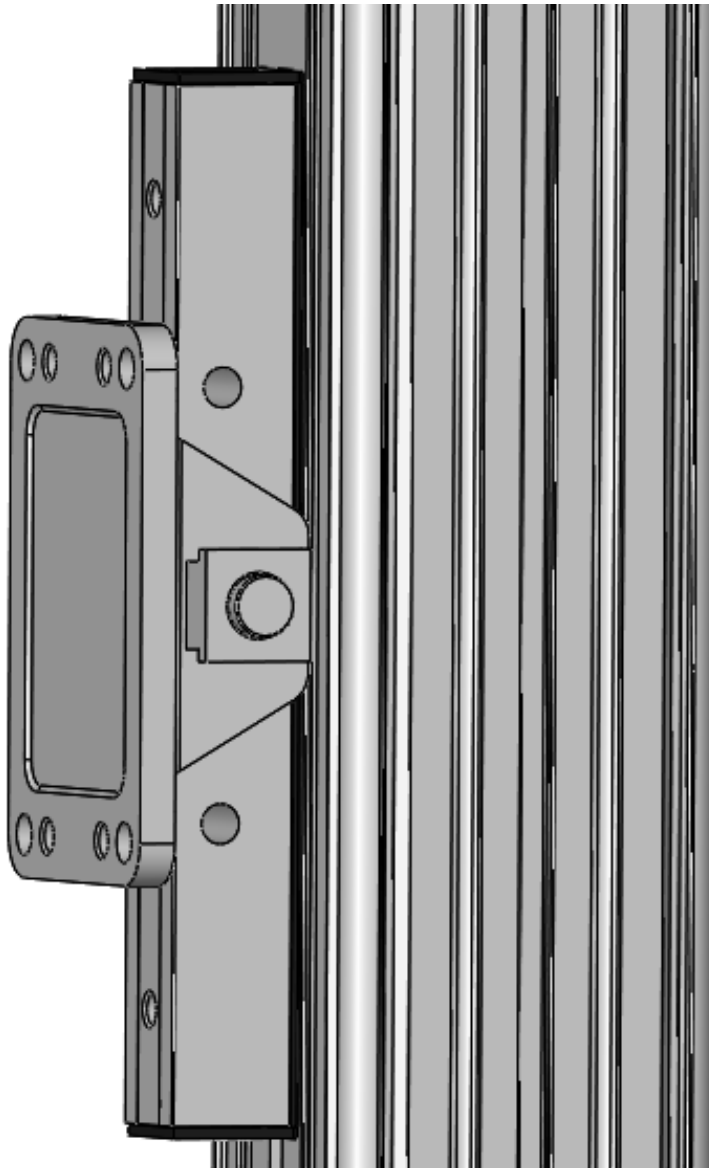
Order no.	Order code
Cassette	Double rail
84494A	e.g. FDA 25 D 1500
84396A	
84441A	
84363A	Type
84364A	Length in mm**
84365A	Double rail
	Size

**Guide rails in one piece up to 4000 mm. Longer stroke lengths are coupled.

Obr. 37 Výběr z katalogu pro lineární vedení FDA

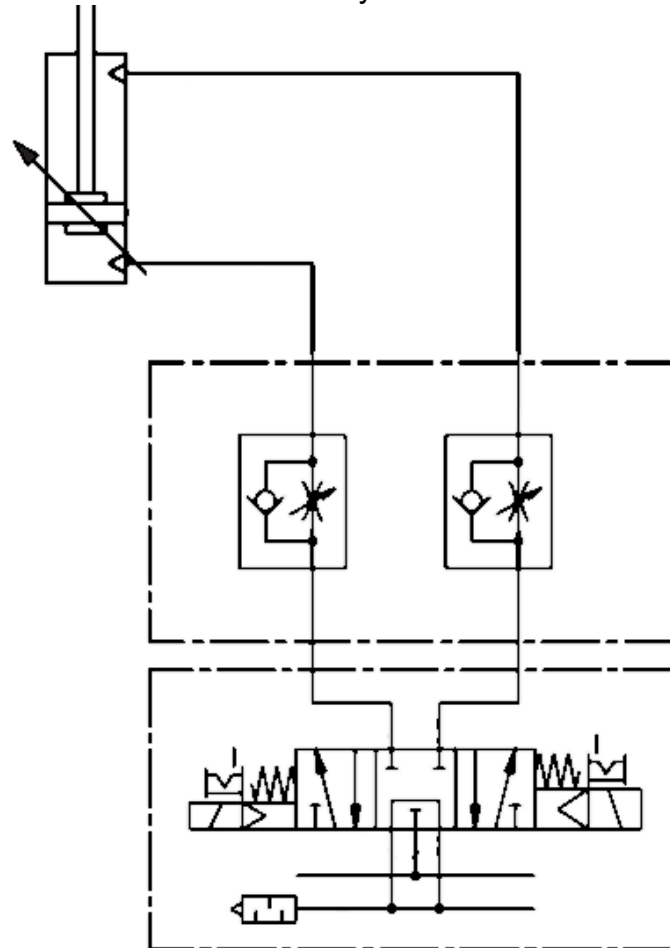
3.2.1.4 Bezpístnicový válec DGC-K

Pro pohon výtahu jsem zvolil bezpístnicový válec typu DGC-K řady 40 mm od firmy Festo. Válec jsem vybavil tlumiči YSR-16-20-C (s nastavitelnou polohou pro stanovení horní a dolní úvrati výtahu) a unašečem DARD-L1-40-S pro odstínění od klopného momentu. S využitím simulací dostupných pro tento výrobek na stránkách firmy Festo jsem stanovil dobu cesty z minimální spodní úvrati do maximální horní úvrati (dráha 2 m, viz zadání) na 6,5 s, opačný směr zvládne výtah za 4,3 s. V simulaci jsem uvažoval největší konfiguraci 480 mm s největší možnou hmotností paletky s nákladem 30 kg. (6)



Obr. 38 Vozík výtahu DGC-K s unašečem pro kompenzaci klopného momentu

Válec má pracovní tlak 6 bar, tj. standardní tlak pro pneumaticky ovládané prvky dopravníkových systémů. Ovládání válce zobrazuje následující pneumatické schéma s rozvaděčem a škrťacími ventily.



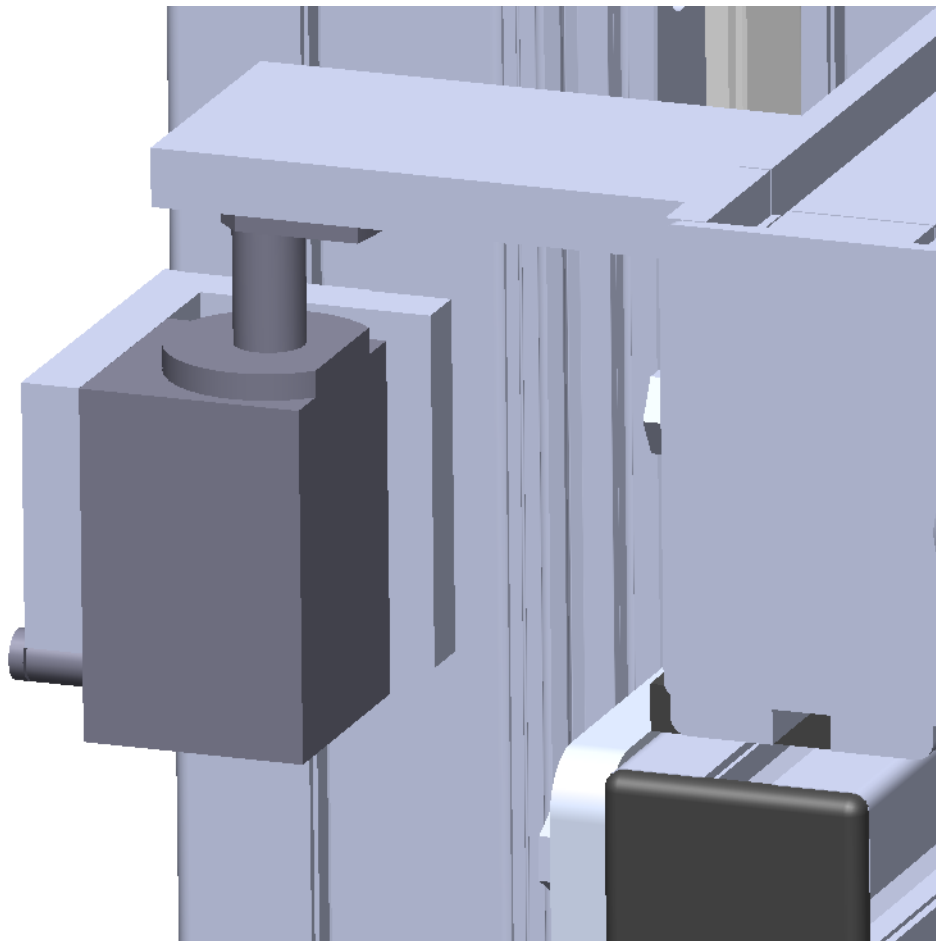
Obr. 39 Pneumatické schéma ovládání válce

3.2.1.5 Energetický řetěz

Energetický řetěz upevněný na jednom konci na plechu zadní části platformy výtahu a na druhé části na plechu na rámu výtahu k zajištění polohy kabeláže pro motor dopravníkové části jsem vybral od firmy Igus (7). Po zvážení volného zástavbového prostoru a výpočtu možných poloměrů a samonosných délek řetězů jsem se rozhodl pro model ze série 1450.038 se 40 články. Celková délka řetězu díky umístění pevného konce v polovině výšky rámu výtahu činí pouhých 1,33 metru. Přestože kabeláž není součástí modelu, o pozici jednotlivých vodičů jsem při umístění řetězu uvažoval. Pro motor dopravníkové části bych doporučoval vést kabeláž podél bližší vzpěry platformy výtahu, kabely od čidel úvratí pak drážkou profilu svislé části rámu.

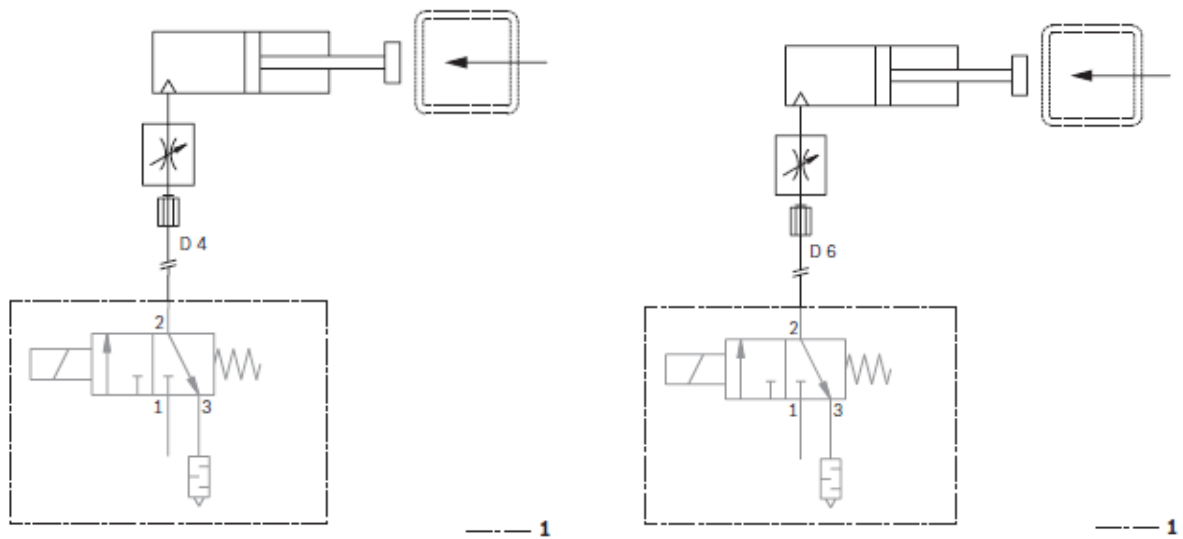
3.2.1.6 Doraz

Posledním prvkem svislé části rámu je doraz, který naklápí platformu dopravníku v dolní úvratí. Tento prvek je umístěn řádově desítky milimetrů nad spodní úvratí (v závislosti na požadovaném úhlu náklonu – pro 5° zhruba 40 mm od roviny spodní úvratí) a lze jej při změně výšky spodní úvratí jednoduše posunout do nové polohy v T drážce. K upevnění tlumiče dorazu jsem použil obrobek z L profilu popsaného v kapitole 3.2.2.



Obr. 40 Tlumič upevněný k rámu při kontaktu s protikusem platformy dopravníku

Na Obr. 40 je zobrazen jednočinný pneumaticky ovládaný tlumič s nastavitelnou intenzitou tlumení DA2/60. Ten je vhodný pro až 60 kg při rychlosti 6 m/min nebo 30 kg při 18 m/min. Pro větší konfigurace využívám tlumič DA2/100C, vhodný pro zatížení až 100 kg při 6 m/min nebo 55 kg při 18 m/min. Reset tlumiče se provádí pneumaticky dle následujících schémat s tlakem systému 4 – 6 bar. Tento tlak je stejný, jako pracovní tlak pohonu výtahu.



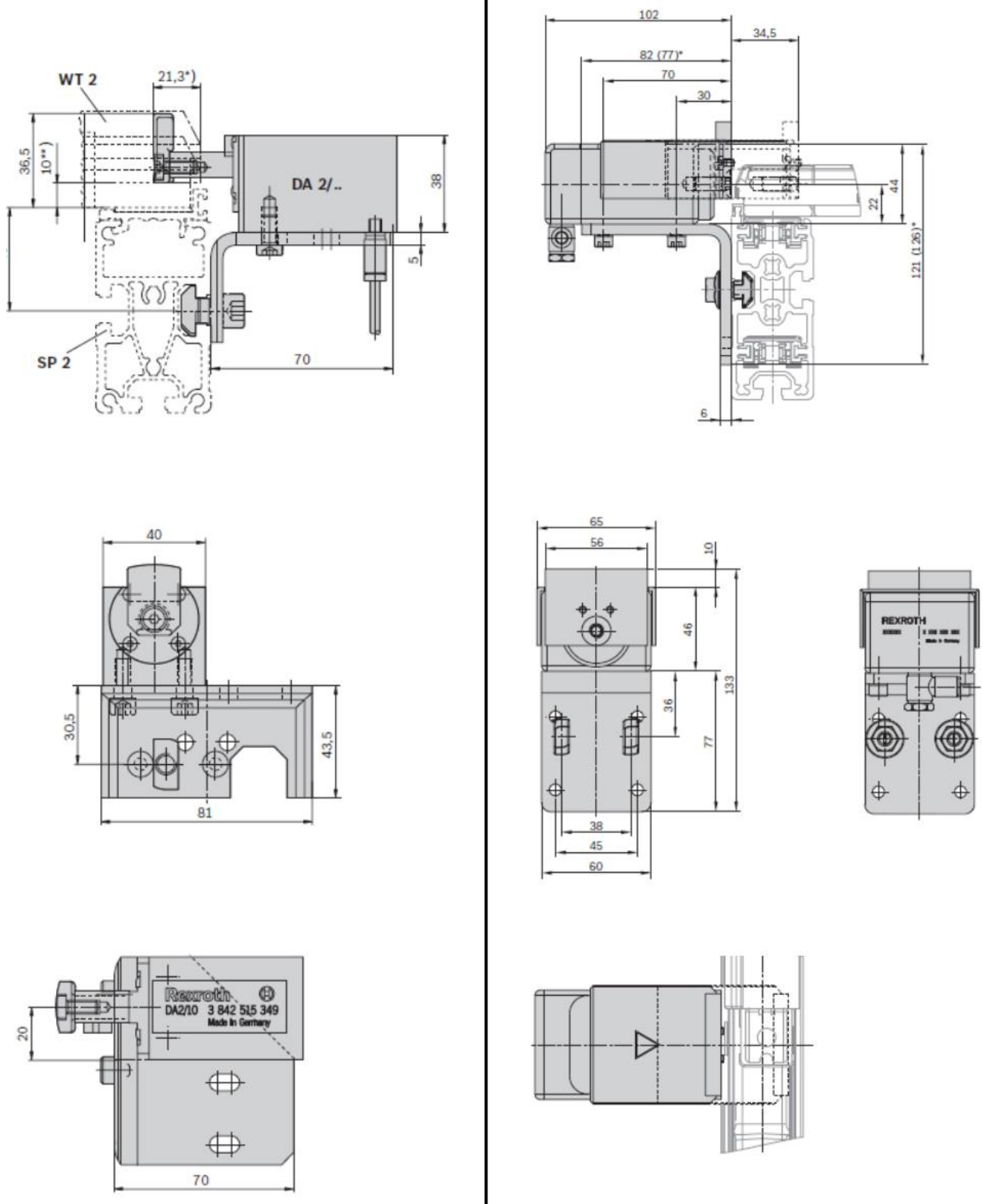
Obr. 41 Pneumatické schéma tlumiče DA2/60 (vlevo) a DA2/100-C (vpravo)

Samotné tlumiče jsou pak na Obr. 42. Dorazový palec tlumiče je opatřeno nově vyrobeným kusem s vnějším rádiusem, aby při náklonu platformy dopravníku nepřešel kontakt ploch na čárový styk.



Obr. 42 Pneumatický tlumič DA2/60 (vlevo) a DA2/100-C (vpravo)

Přesné rozměry obou tlumičů jsou na následující straně.

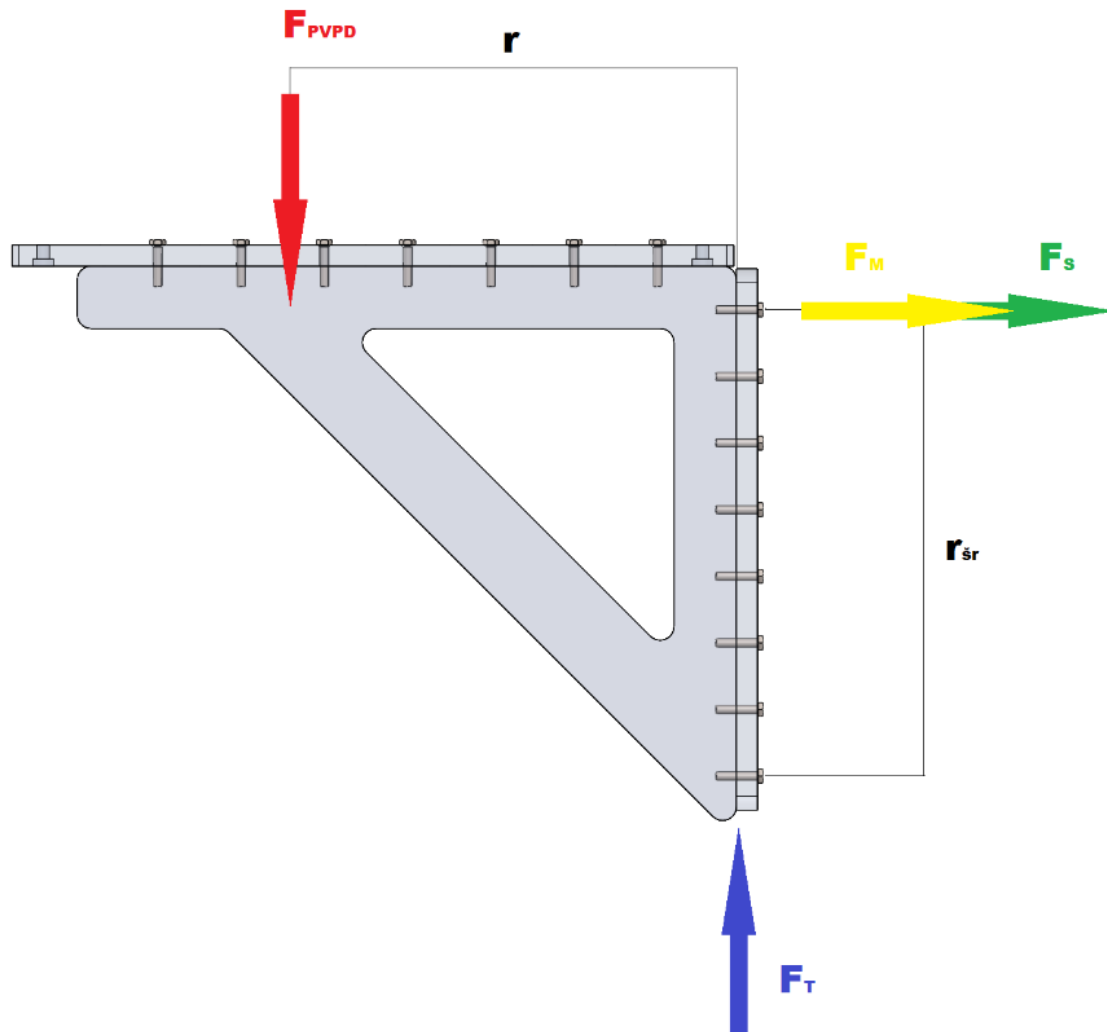


Obr. 43 Rozměry tlumičů DA2/60 (vlevo) a DA2/100-C (vpravo)

3.2.2 Platforma výtahu

Hliníkové profily v druhé generaci nahradila konstrukce z hliníkových plechů tloušťky 15 mm. Základ konstrukce nyní tvoří dvojice desek a dvojice podpor. Deska pro připevnění k rámu je pro všechny konfigurace jednotná, kdežto vodorovná deska vzhledem k nutnosti podpírat dopravníky různých velikostí mění své rozměry v závislosti na zvolené velikosti paletky. Rovněž jsou vodorovné desky větších konfigurací odlehčeny.

3.2.2.1 Šroubové spoje



Obr. 44 Schéma sil působících na šrouby vzpěry platformy výtahu

Desky a podpory jsou spojené šrouby se šestihrannou hlavou M8 dle ISO 4017. Návrhový a kontrolní výpočet spojení zadní desky s podporou (pro konfiguraci 480) popisují následující rovnice a tabulka 2.

$$F_T = F_{S-all} \cdot f \geq F_{PVPD} \quad (4)$$

F_{PVPD} je výsledkem přenásobení statické tíhy platformy výtahu a dopravníku koeficientem $k = 2$ pro dynamické zatížení od zabrzdění výtahu při cestě do spodní úvrti. Uvažovaný koeficient tření hliník – hliník (s třískově obrobeným povrchem) je $f = 0,4$. Hmotnost platformy $m_{PVPD} = 58 \text{ kg}$.

$$F_{PVPD} = m_{PVPD} \cdot g \cdot k \quad (5)$$

$$F_{PVPD} = 58 \cdot 9,81 \cdot 2 = 1137,96 \text{ N}$$

Dosažením do nerovnice 4 dostávám požadovanou osovou sílu ve šroubech F_{S-all} .

$$F_{S-all} \geq 2844,9 \text{ N}$$

Síla F_S připadající na jeden šroub se poté vypočte vydělením síly F_{S-all} počtem šroubů. V této konfiguraci je rozdělena mezi 16 šroubů.

$$F_S = \frac{F_{S-all}}{i_{SR}} \quad (6)$$

$$F_S = \frac{2844,9}{16} = 177,8 \text{ N}$$

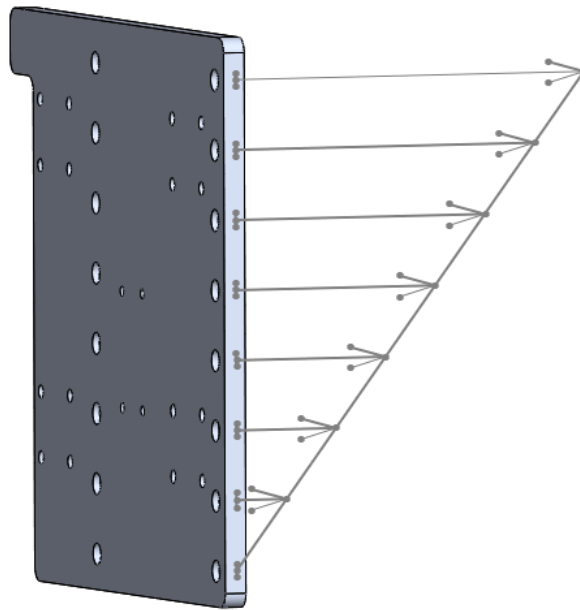
Z této síly jsem provedl návrhový výpočet a zjistil $d_{3_návrh}$.

$$\sigma_{dov} = \frac{F_S}{S_{3_návrh}} = \frac{F_S}{\frac{\pi \cdot d_{3_návrh}^2}{4}} \quad (7)$$

$$d_{3_návrh} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_S}{\pi \cdot \sigma_{dov}}} \quad (8)$$

$$d_{3_návrh} = \sqrt{\frac{4 \cdot 177,8}{\pi \cdot 640}} = 0,59 \text{ mm}$$

Z konstrukčních důvodů vzhledem k tloušťce desek spojovaných materiálů, nutnému předepnutí šroubů, existenci třecího momentu v závitě i pod hlavou šroubu, možnosti demontáže atd. volím s násobnou rezervou na straně bezpečnosti závit M8 ($d_3 = 6,466 \text{ mm}$). Dále se zabývám kontrolou s ohledem na rozložení sil u šroubového pole. Účinek momentu v podobě osové síly F_M uvažuji s lineárním průběhem s minimem v dolním šroubu a s maximem v horním šroubu vzpěry, jak ukazuje Obr. 45.



Obr. 45 Průběh přidavné osové síly ve šroubech od momentu

Z rovnováhy momentů kolem spodního šroubu uvažuji:

$$F_M \cdot r_{\text{šr}} = F_{PVPD} \cdot r \quad (9)$$

$$F_M = \frac{F_{PVPD} \cdot r}{r_{\text{šr}}} \quad (10)$$

$$F_M = \frac{1137,96 \cdot 340}{366} = 1057,12 \text{ N}$$

Skutečná osová síla je potom součtem těchto dvou dílčích osových sil.

$$F_O = F_S + F_M = 1234,93 \text{ N} \quad (11)$$

$$F_O = 1234,93 \text{ N}$$

Dále jsem vypočítal moment tření pod hlavou šroubu M_H a moment tření v závitě M_Z .

$$M_H = F_O \cdot f_H \cdot \frac{d_H}{2} \quad (12)$$

$$M_H = 1234,93 \cdot 0,17 \cdot \frac{11,63}{2} = 1220,79 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{i \cdot P}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctg\left(\frac{1 \cdot 1}{\pi \cdot 7,188}\right) = 0,0553 \text{ rad} = 3,168^\circ \quad (13)$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{1 \cdot 1}{\pi \cdot 7,188}\right) = 0,0553 \text{ rad} = 3,168^\circ$$

$$\beta_n = \arctg(\operatorname{tg} \beta \cdot \cos \gamma) \quad (14)$$

$$\beta_n = \arctg(\operatorname{tg} 30^\circ \cdot \cos 3,168^\circ) = 0,5229 \text{ rad} = 29,962^\circ$$

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{f_z}{\cos \beta_n}\right) \quad (15)$$

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{0,15}{\cos 29,962^\circ}\right) = 0,1714 = 9,823^\circ$$

$$M_Z = F_O \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \quad (16)$$

$$M_Z = 1234,93 \cdot \frac{7,188}{2} \cdot \operatorname{tg}(3,168^\circ + 9,823^\circ) = 1023,94 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Součtem těchto dvou momentů dostávám potřebný utahovací moment M_U .

$$M_U = M_H + M_Z \quad (17)$$

$$M_U = 1220,79 + 1023,94 = 2244,73 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Dále jsem provedl kontrolu napětí v tahu od osově síly F_O a napětí v krutu.

$$\sigma_T = \frac{F_O}{S_{SR}} = \frac{F_O}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \quad (18)$$

$$\sigma_T = \frac{1234,93}{\frac{\pi \cdot 6,466^2}{4}} = 37,61 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{M_Z}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \quad (19)$$

$$\tau_K = \frac{3235,37}{\frac{\pi \cdot 6,466^3}{16}} = 19,29 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Z těchto dvou hodnot jsem poté určil redukované napětí.

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_T^2 + (2 \cdot \tau_K)^2} \quad (20)$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{37,61^2 + (2 \cdot 19,29)^2} = 53,88 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Redukované napětí σ_{RED} vychází 11,88 krát menší, než je smluvní mez kluzu pro šrouby pevnostní třídy 8.8. Kompletní návrh pro všech 5 konfigurací obsahuje tabulka 2. Veličiny jsou v tabulce řazeny stejně, jako v rovnicích 5 až 20. Šedé buňky značí hodnoty shodné pro všechny konfigurace, modrá značí rozdílný vstup, zelená pak rozdílný výstup. Hlavními faktory jsou rozdílné hmotnosti platform dopravníku a výtahu a snižující se počet šroubů pro menší konfigurace. Tabulka je uvedena na následující straně.

Tab. 2: Kontrolní výpočet šroubů vzpěry pro všechny konfigurace

Veličina	Jednotka	Konfigurace				
		480	400	320	240	160
F_{PVPD}	N	1137,96	1059,5	1039	1000	981
f_m	1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
F_{S-all}	N	2844,9	2648,75	2597,5	2500	2452,5
$i_{\dot{s}R}$	1	16	16	12	10	10
F_S	N	177,81	165,55	216,46	250,00	245,25
r	mm	340	299	220	180	128
$r_{\dot{s}r}$	mm	366	366	240	192	192
F_M	N	1057,121	865,5478	952,4167	937,5	654
F_O	N	1234,93	1031,09	1168,88	1187,50	899,25
f_h	1	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
d_h	mm	11,63	11,63	11,63	11,63	11,63
M_H	N/mm	1220,79	1019,29	1155,49	1173,90	888,95
f_z	1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
i	1	1	1	1	1	1
P	1	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
d_2	mm	7,188	7,188	7,188	7,188	7,188
γ	rad	0,055298	0,055298	0,055298	0,055298	0,055298
β_n	rad	0,522937	0,522937	0,522937	0,522937	0,522937
φ'	rad	0,171439	0,171439	0,171439	0,171439	0,171439
M_{TZ}	N/mm	1023,94	854,93	969,17	984,62	745,61
M_U	N/mm	2244,73	1874,22	2124,67	2158,52	1634,57
d_3	mm	6,466	6,466	6,466	6,466	6,466
σ_T	N/mm ²	37,61	31,40	35,60	36,16	27,39
τ_K	N/mm ²	19,29	16,11	18,26	18,55	14,05
σ_{RED}	N/mm ²	53,88	44,98	51,00	51,81	39,23
σ_K	N/mm ²	640	640	640	640	640
k	1	11,88	14,23	12,55	12,35	16,31

3.2.2.2 Svislá deska

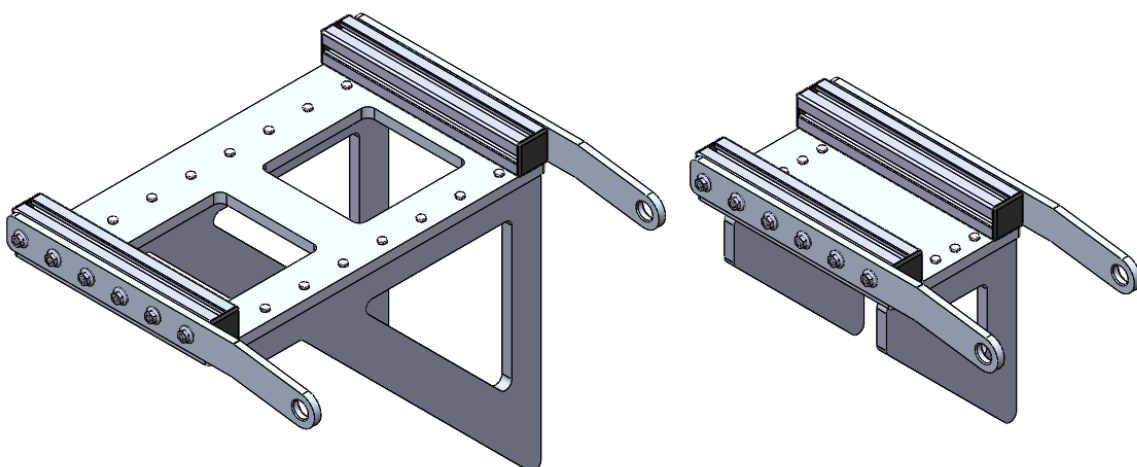
Svislou desku jsem doplnil o možnost připevnění energetického řetězu a také obrobkem z profilu L rozměru 100x100 a tloušťky 10 mm, který se v horní a dolní úvrati přiblíží k indukčnímu čidlu polohy a umožní potvrzení dosažení úvrati.



Obr. 46 Kontrola dosažení úvrati

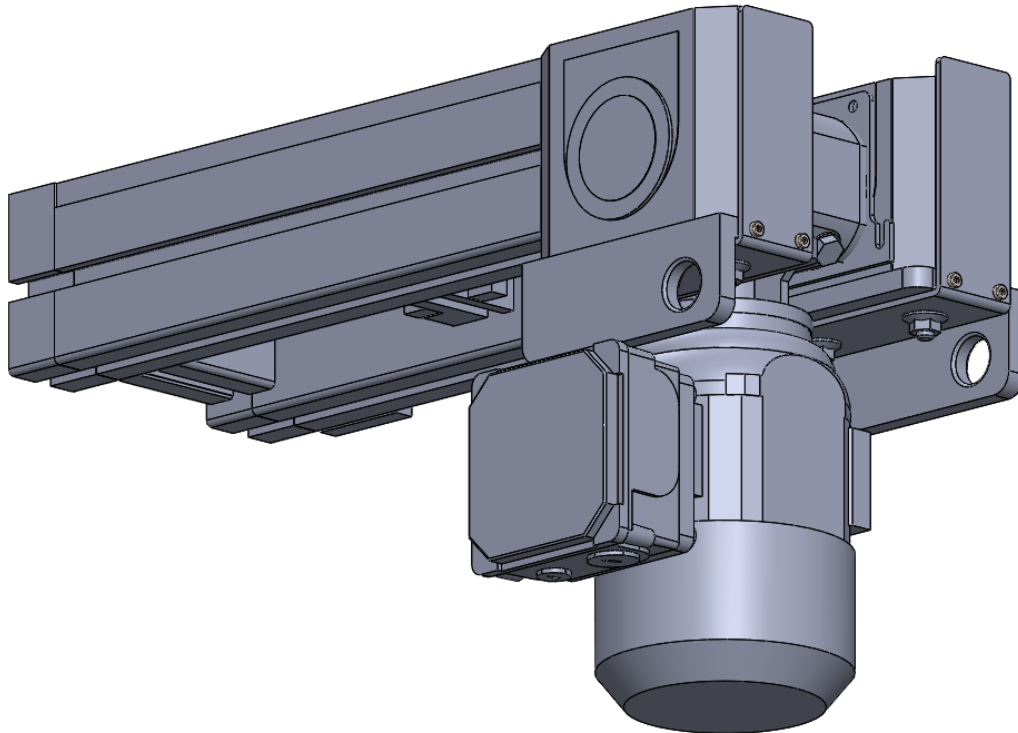
3.2.2.3 Ramena pro připojení platformy dopravníku

K vodorovné desce jsou šrouby s T hlavou připevněny dva profily 45x45 mm, které drží dvojici ramen z 10 mm tlustých hliníkových plechů s otvorem na konci (Obr. 47).



Obr. 47 Platforma výtahu bez svislé desky, konfigurace 480 (vlevo) a 160 (vpravo)

Tento otvor slouží k uložení pouzdra čepu. Protikus je na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**



Obr. 48 Dopravník s L profily pro čep (160P)

3.2.3 Platforma dopravníku

Základ platformy dopravníku vycházel z modelu první generace, který je popsán v kapitole 3.1.2.1. Konkrétní řešení platformy druhé generace řeší následující podkapitoly.

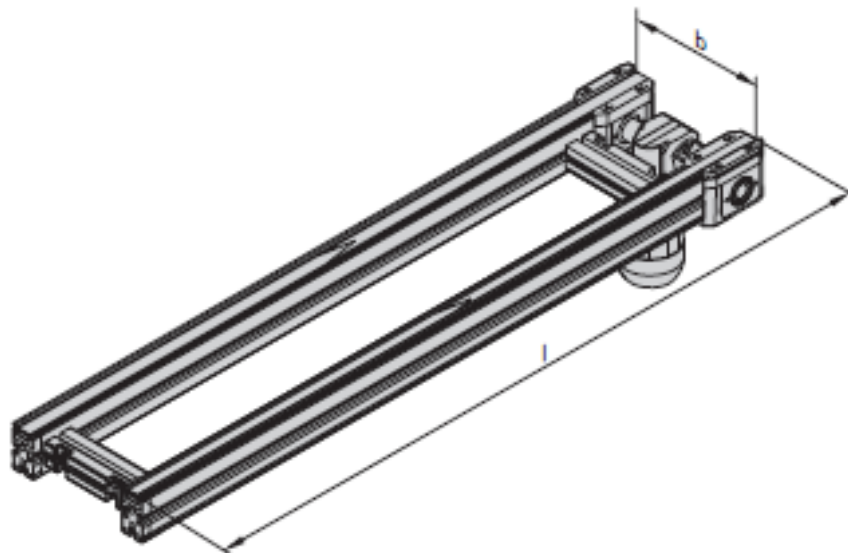
3.2.3.1 Dopravník

Pro použití ve výtahu jsem po konzultaci s vedoucím zvolil dopravník Bosch Rexroth BS2 jako zástupce nejčastěji používaného typu dopravníku pro výtahové sekce.



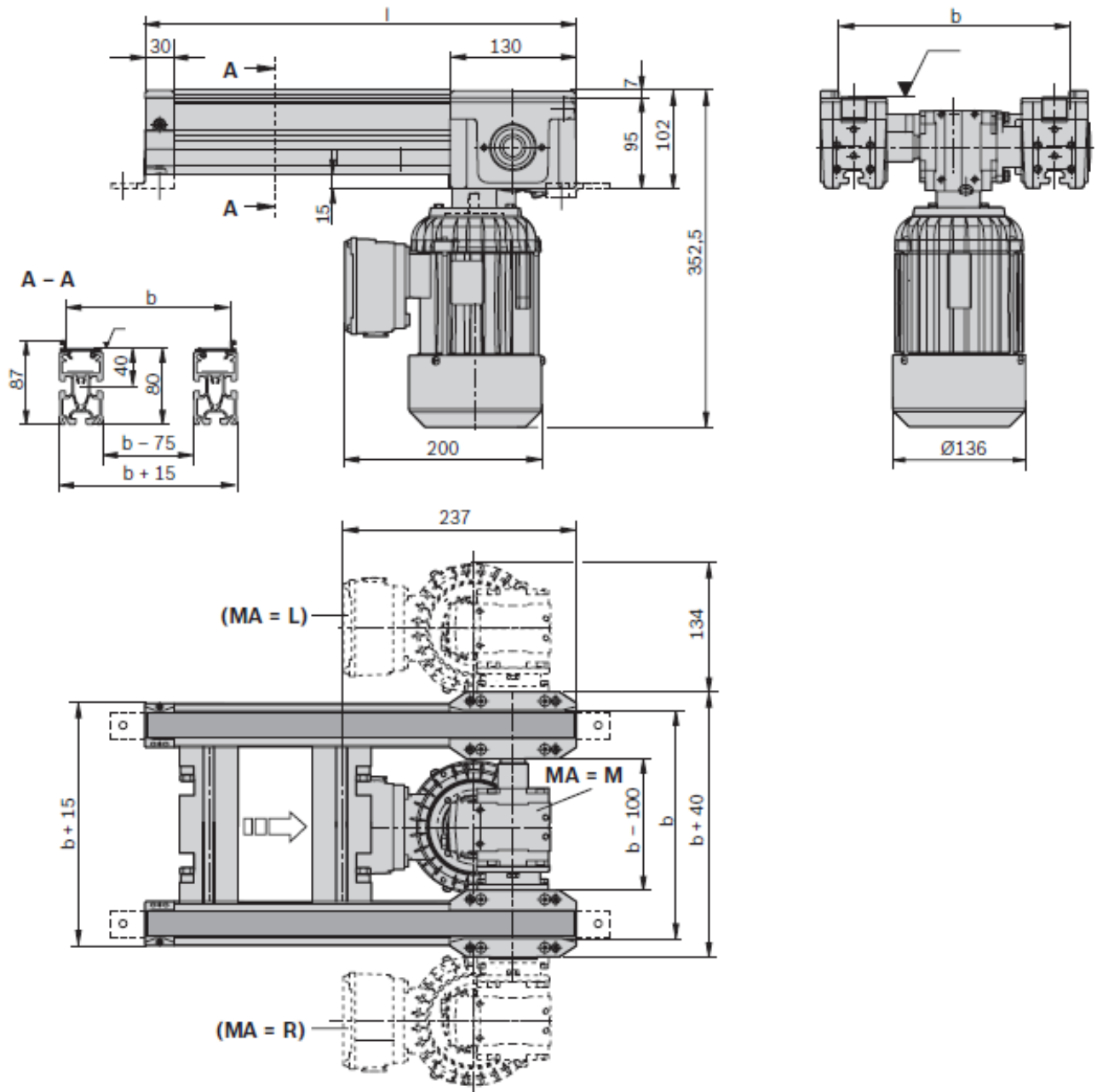
Obr. 49 Dopravník typu BS2 (4)

Dopravník tvoří dvojice drah z profilů z hliníkové slitiny, hnací a vratný domek a elektromotor se šnekovou předovkou. Používá ozubený dopravní řemen 25T5, umožňuje reverzní operace (oba směry pohybu) a zatížitelnost sekce je max 600 N. Parametrická šířka b je 160 – 1200 mm, délka l je 240 mm – 6000 mm. Standardně je proveden v ESD (antistatika). Mnou zvolené varianty jsou b rovno 160 až 480 mm, l rovno 480 mm.



Obr. 50 Parametrické rozměry dopravníku BS2 (4)

Základní rozměry zvoleného dopravníku jsou na následujícím obrázku.

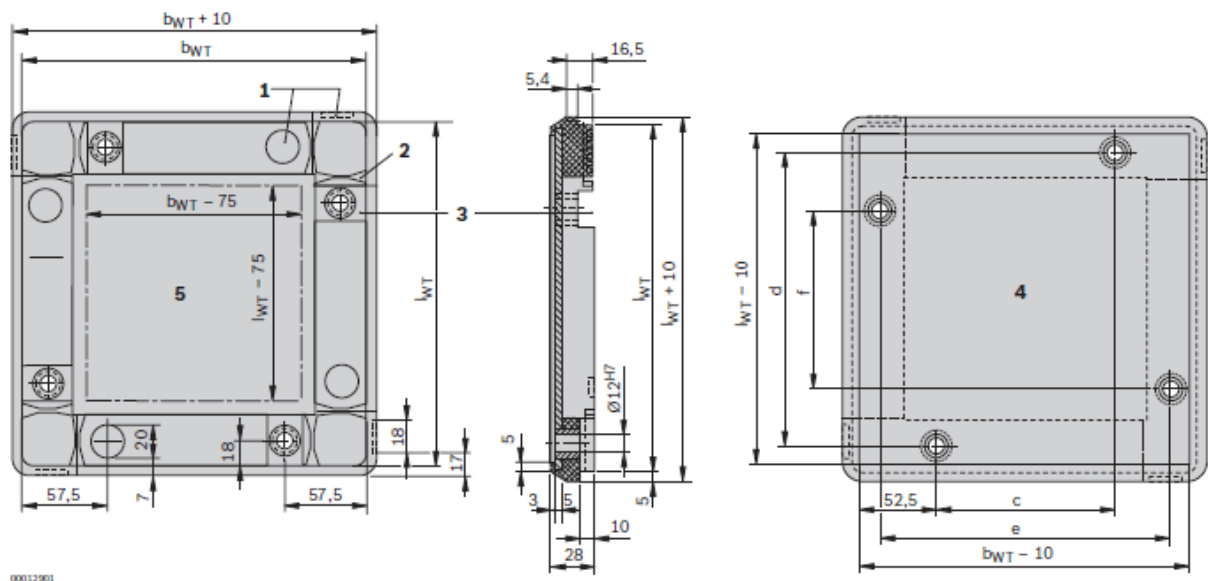


Obr. 51 Základní rozměry dopravníku BS2

Pro zvolené typy dopravníků se používá paletka typu WT 2. Jedná se o u nás nejčastěji používaný typ speciálních paletek pro paletkovou přepravu ve výrobě. Obrázek paletky a základní rozměry uvádí následující dvojice obrázků.

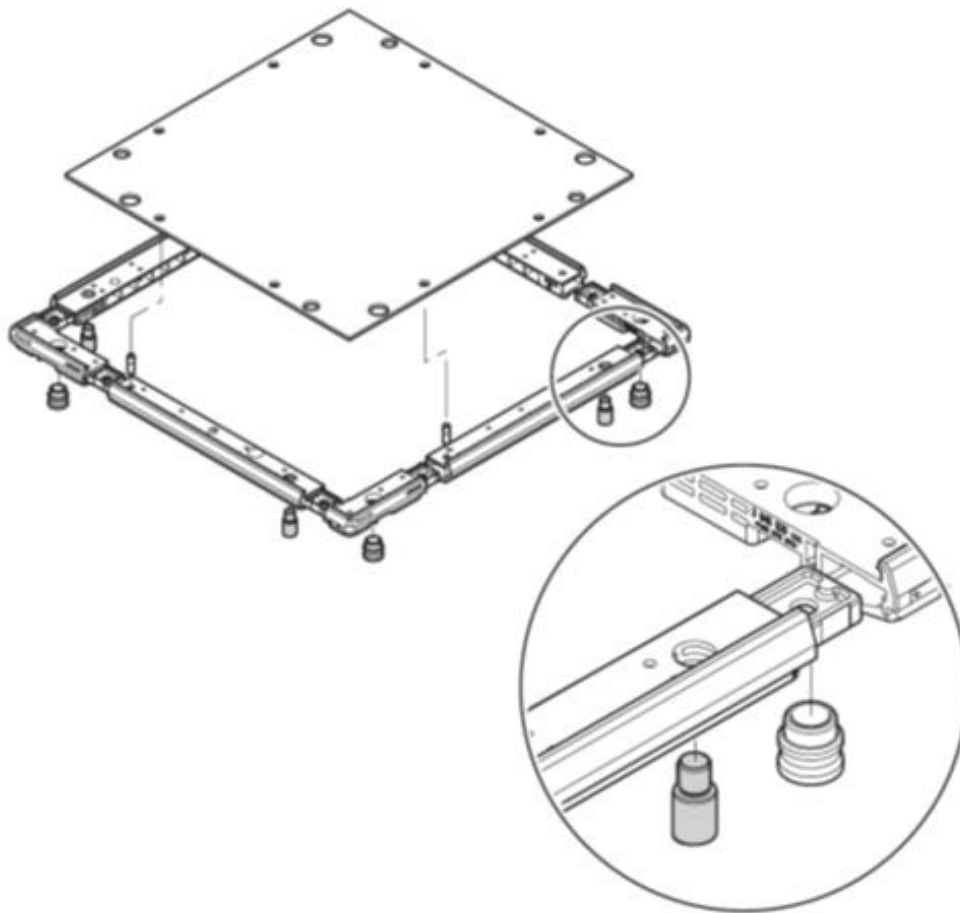


Obr. 52 Paletka typu WT 2



Obr. 53 Základní rozměry paletky WT 2

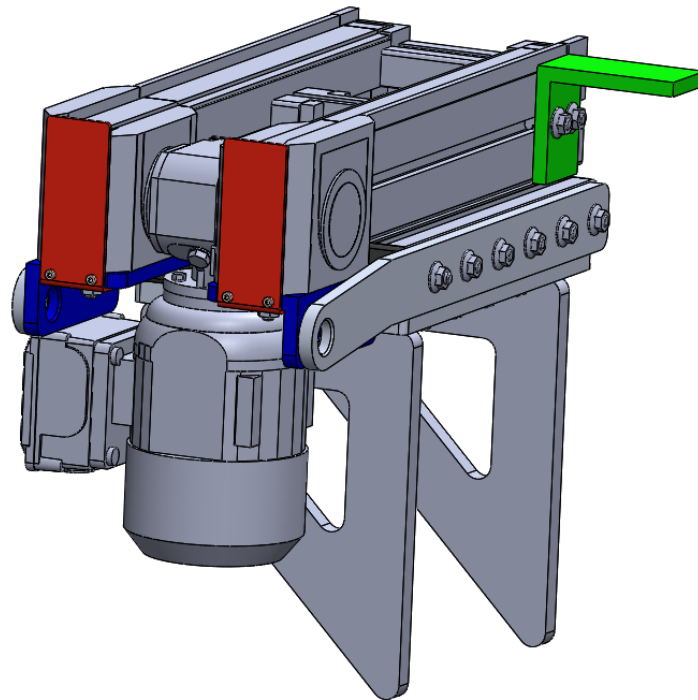
Výrobce umožňuje konfiguraci rozměrů od 160x160 do 1200x1200 mm s tloušťkou desky 4,8; 8,0 nebo 12,7mm. Provedení je vždy v ESD. Modularitu umožňuje stavebnicová konstrukce zobrazená na Obr. 54. Paletka je tvořena nosnou deskou, plastovým rámem z rohových a prodlužovacích modulů, centrovací zděří, výztužným čepem a pružným kolíkem. Ke mnou zvoleným dopravníkům patří paletky do rozměru 480x480 mm, tedy 12 kombinací rozměrů paletky.



Obr. 54 Konstrukce paletky typu WT 2 (4)

3.2.3.2 Doplnky platformy dopravníku

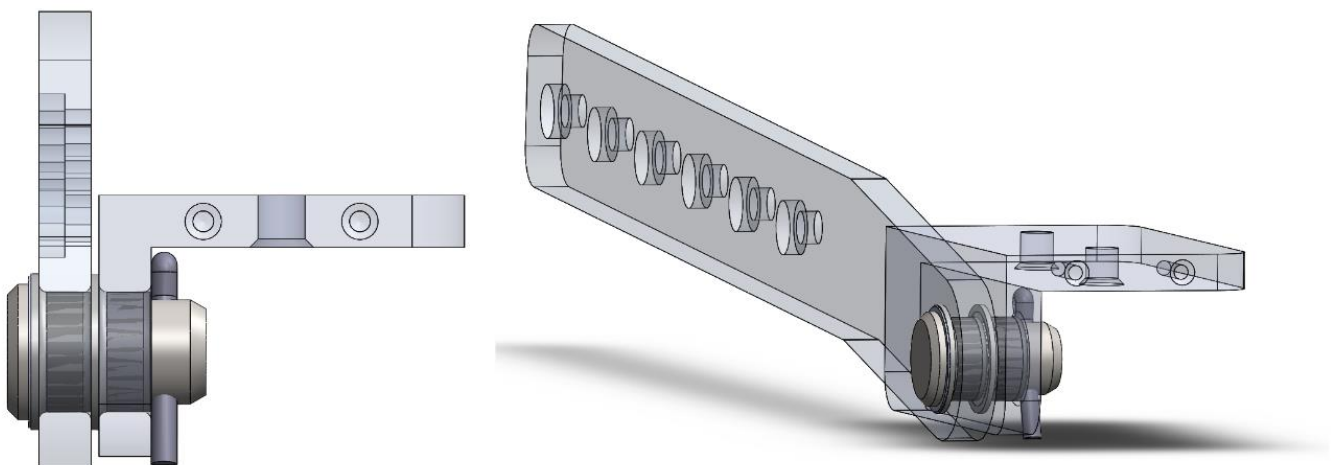
Následující obrázek znázorňuje trojici přidávaných prvků. Zeleně je označen profil tvaru L (stejný polotovar popsán v kapitole 3.2.2), který v dolní úvratí dosedá na k rámu připevněný doraz a naklápí dopravník. Vlivem přesunutí kloubového spoje oproti první generaci musí tento spoj vyvíjet pouze zhruba poloviční moment vzhledem k poloze čepu. K natočení dopravníku pak namísto původních 39,5 Nm stačí 23,36 Nm. Výpočet vychází z poloh těžišť z Obr. 28 s uvažováním čepu 25 mm od pravého okraje sestavy. Červená barva značí dvojici plechů, která slouží k zastavení paletky na konci dopravníku. V případě používání výtahu pro přesun paletek z dolní úvratí vzhůru jsou pak tyto dva plechy nahrazeny plechem jedním, který je připevněn k prostředku profilu na opačné části dopravníku. Modrou barvou jsou vyznačeny profily tvaru L (opět polotovar 100x100, tl. 10 mm popsány v kapitole v kapitole 3.2.2), které mají otvor pro pouzdro čepu.



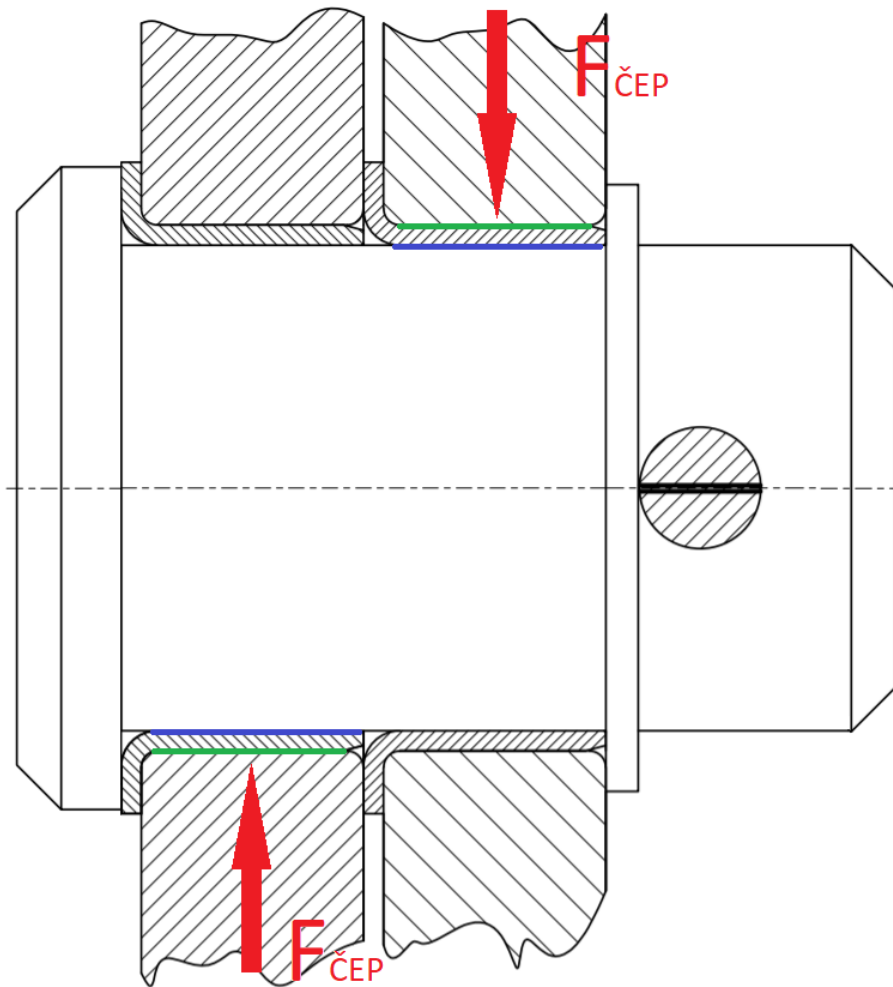
Obr. 55 Platforma dopravníku s vyznačenými přidanými prvky

3.2.3.3 Spoj pomocí čepu

Při návrhu čepu jsem za největší problém považoval otláčení hliníkových plechů. Dovolенý tlak uvažuji jako 0,6 násobek meze kluzu uváděné pro materiál EN AW-6060 T66, tj. $p_{dov} = 0,6 \cdot 160 \text{ MPa} = 96 \text{ MPa}$. Uvažované plochy kontrolované na otláčení jsou vidět na Obr. 57.



Obr. 56 Spojení dopravníku s výtahem pomocí čepu



Obr. 57 Řez čepem s vyznačenými silovými účinky - kontrola na otláčení

$$p = \frac{F_{\text{čep}}}{S_{\text{návrh_čep}}} \leq p_{\text{dov}} \quad (21)$$

Dosazením násobku průměru čepu a tloušťky plechu a úpravou předešlé rovnice dostávám:

$$d_{\text{návrh_čep}} \geq \frac{F_{\text{čep}}}{p_{\text{dov}} \cdot a} = \frac{m_{\text{dopra}} \cdot g \cdot k_{\zeta}}{p_{\text{dov}} \cdot a} \quad (22)$$

S přihlédnutím k zaoblení hran dosazuji $a = 8 \text{ mm}$, sílu čepu poté počítám z hmotnosti platformy dopravníku s paletkou a nákladem o hmotnosti 30 kg upravenou koeficientem $k_{\zeta} = 3$ pro dynamické zatížení. Jeden čep by nikdy neměl přenášet plnou tíhu, přesto jsem tento krajní případ v návrhovém výpočtu uvažoval.

$$d_{\text{návrh_čep}} \geq \frac{43,5 \cdot 9,81 \cdot 3}{96 \cdot 8} = 1,67 \text{ mm}$$

Volím mohutnější průměr a naklápění dopravníku vůči platformě výtahu realizují čepy o průměru 20 mm. Čep spojuje L profil platformy dopravníku s ramenem platformy výtahu. Čep je uložen ve dvojici kluzných pouzder PCMF 202311.5 E od firmy SKF (8). Kluzná pouzdra jsou z kompozitu PTFE. Čep průměru 20 mm odpovídá hlavními rozměry normě DIN 1434, nicméně funkční plocha dřívku by měla být obrobena na toleranci f7, nikoliv h11, jak udává norma. Zároveň drsnost povrchu vzhledem k užitým kluzným pouzdrům volím maximálně 0,4 μm (broušeno). K zajištění polohy čepu slouží závlačka jmenovitého průměru 5 mm. Vymezení axiální vzdálenosti mezi L profilem a ramenem platformy výtahu zajišťuje příruba vnitřního pouzdra. Toto řešení zamezuje možnosti kontaktu obou plechů, které by odíralo součásti a vzhledem k zvoleným materiálům zanechalo nežádoucí nevzhledné stopy.

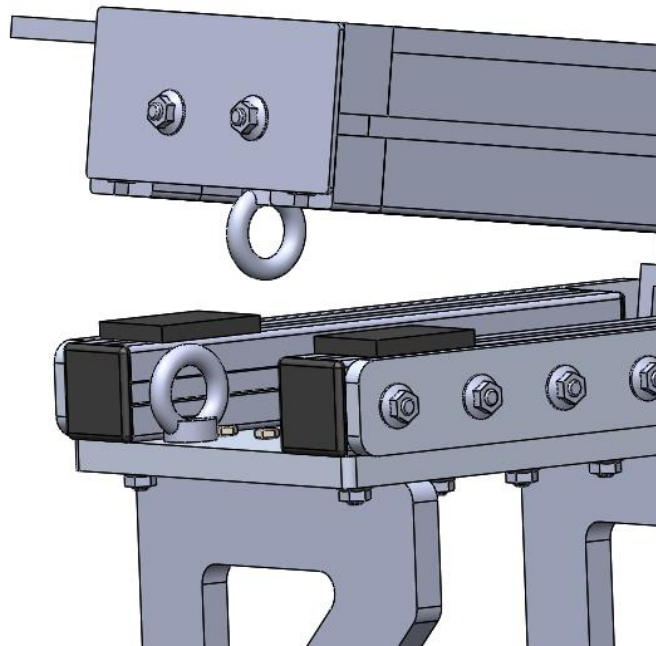
Kontrolu čepu na stříh jsem prováděl opět s uvažováním plného zatížení při zatížení pouze jednoho čepu dle rovnice:

$$\tau_s = \frac{F_{\text{čep}}}{S_{\text{čep}}} \quad (23)$$

Výsledné napětí 4,075 MPa je pro ocelový čep zanedbatelné. Kontrolu otlačení hliníkových profilů a pouzder z PTFE jsem prováděl dosazením do rovnice 21 s nahrazením $S_{\text{návrh}_{\text{čep}}}$ pomocí plochy pouzder (184 mm²) a čepu (160 mm²). Výsledná napětí 5,8 MPa pro kontakt pouzdra s plechem a 8 MPa pro kontakt pouzdra s čepem jsou hluboko pod mezními hodnotami jednotlivých součástí.

3.2.3.4 Zajištění lankem

Pro případ vychýlení platformy dopravníku do většího než maximálního povoleného úhlu jsem opatřil konec platformy dopravníku a výtahu šrouby s okem M10 dle DIN 580. Jedná se o krajní situaci v případě nesprávné obsluhy, případně při kolizi s cizím tělesem, např. manipulačním vozíkem. Jeden šroub se dotáhne k plechu platformy výtahu, druhý se zašroubuje do T matice v drážce profilu platformy dopravníku. Mezi tyto šrouby se natáhne ocelové lanko průměru 6 mm dle DIN 3055 - 42 drátů s drátěnou duší (7 drátů). Délky lanka počítají s vodorovnou vzdáleností šroubů s okem 55 mm.



Obr. 58 Šrouby s okem pro uchycení jistícího lanka

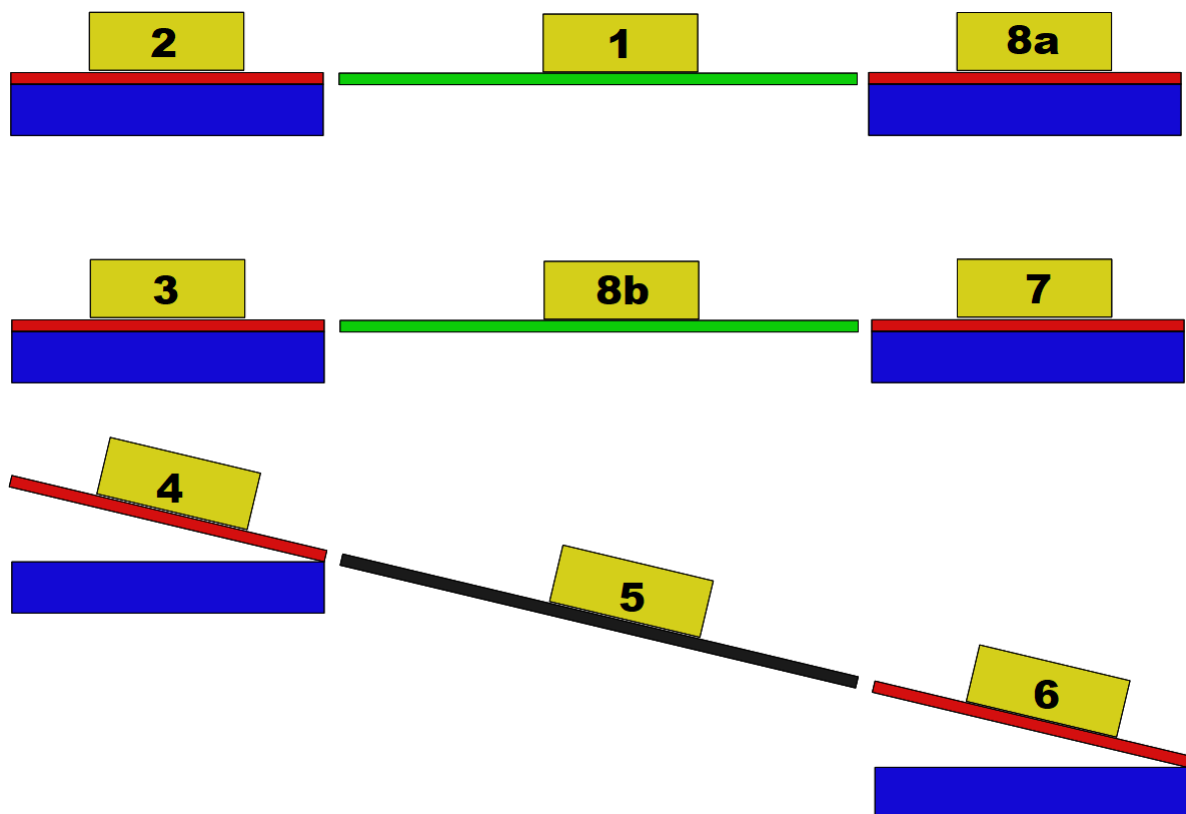
Tabulka 3 udává doporučené a maximální úhly natočení dopravníkové platformy vůči rovině platformy výtahu spolu s délkou jistícího lanka.

Tab. 3: Úhly natočení a délka jistícího lanka

	480	400	320	240	160
Doporučený max. úhel naklopení	5°	5°	5°	10°	5°
Krajní úhel naklopení	7,2°	7,2°	7,2°	12,5°	7,8°
Délka jistícího lanka	58 mm	59 mm	60 mm	105 mm	64 mm

4 Shrnutí konstrukční části

Z dílčích konstrukčních celků popsaných v kapitole 3 jsem sestavil parametrický 3D model výtahu. Výsledkem je deset konfigurací výtahu s možností přepravy dvanácti různých rozměrů paletek WT 2. Všechny konfigurace jsou schopny pracovat s paletkou s nákladem 30 kg (s ohledem na nosnost dopravníku u nejmenších konfigurací) a mají maximální možný pracovní zdvih roven 2000 mm. Konfigurace jsem rozdělil podle šíře paletky na konfigurace 160, 240, 320, 400 a 480, podle způsobu přístavení k dopravníkové větvi poté na varianty L a P. Oproti původnímu koncepčnímu schématu z úvodu koncepčního návrhu (Obr. 24) je konečný model rovněž schopen operovat s hnanou dopravníkovou drahou vloženou mezi horní dopravníkovou dráhu a spodní gravitační dráhu. Upravené schéma možného pohybu paletky s nákladem je na následujícím obrázku.



Obr. 59 Nové schéma možného pohybu paletky

Paletka s nákladem může stále cestovat stejně, jako v původně uvažovaném schématu, tj. cestou 1 až 8a, nicméně nově vzniklé pozice 8b lze dosáhnout z pozic 3 a 7, čímž je systém mnohem flexibilnější, než při původně uvažovaném konceptu bez vložené dráhy. Model tohoto schématu představuje Obr. 60.

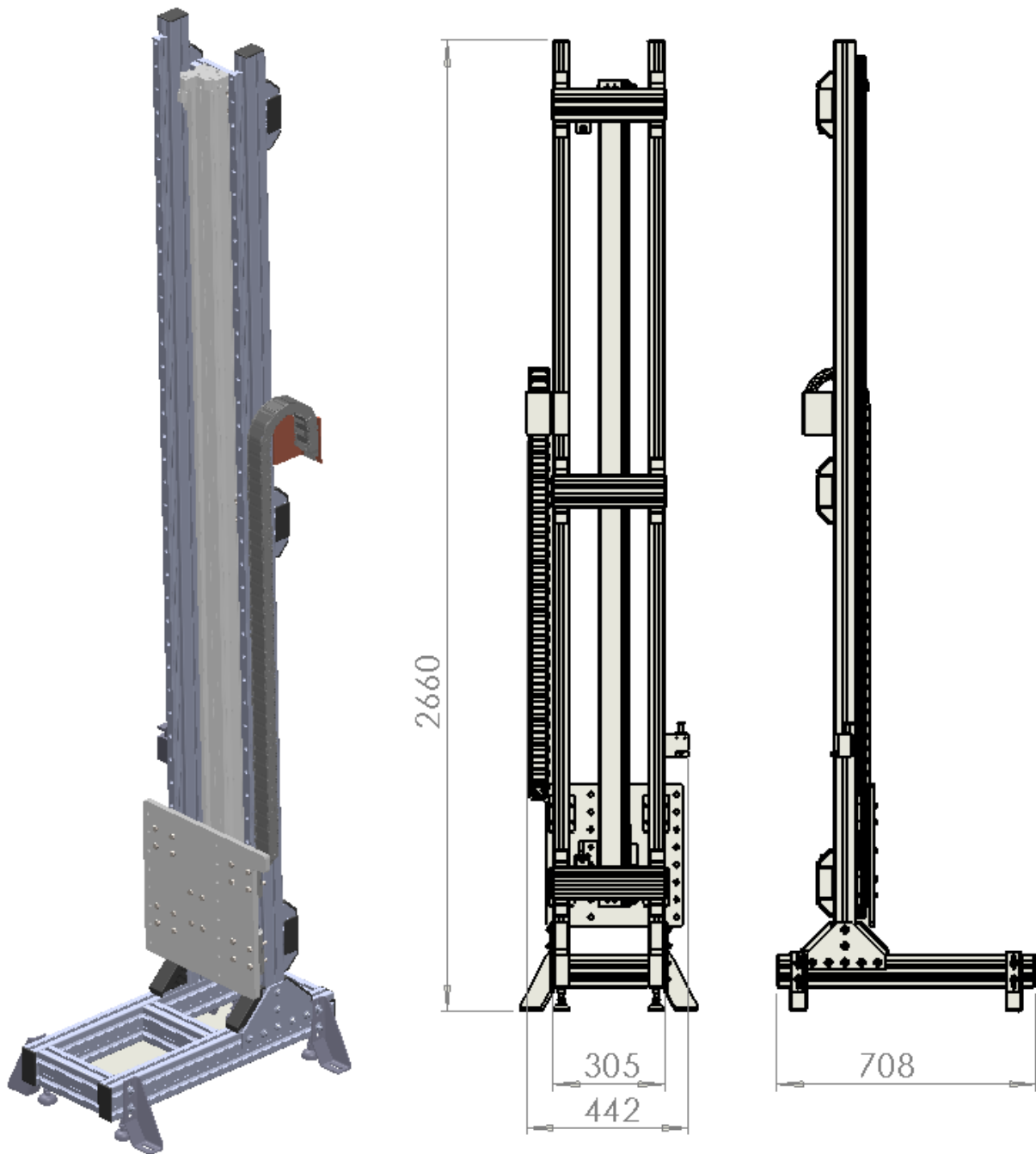


Obr. 60 Výtahy 480L a 480P v sestavě s dopravníkovým systémem

Dvojice výtahů 480L a 480P je zde spojena gravitační dopravníkovou drahou ve spodních úvratích, ve střední a v horní poloze jsou poté umístěny dvě hnané dopravníkové větve, které umožňují technologické úpravy. Výtahy lze samozřejmě spojit delšími a komplexnějšími dopravníkovými systémy, zobrazené 2200 mm dlouhé dopravníkové tratě zde slouží pouze pro ilustraci konceptu. Tento systém umožňuje snížit náklady na použití výtahu tam, kde je nižší takt linky, nebo tam, kde jsou prováděny technologické operace ve více konfiguracích nebo typech. Příkladem by bylo využití horní větve na montáž levého zrcátka automobilu, spodní větve pak na montáž pravého zrcátka atp.

4.1 Konstrukce shodná pro všechny konfigurace

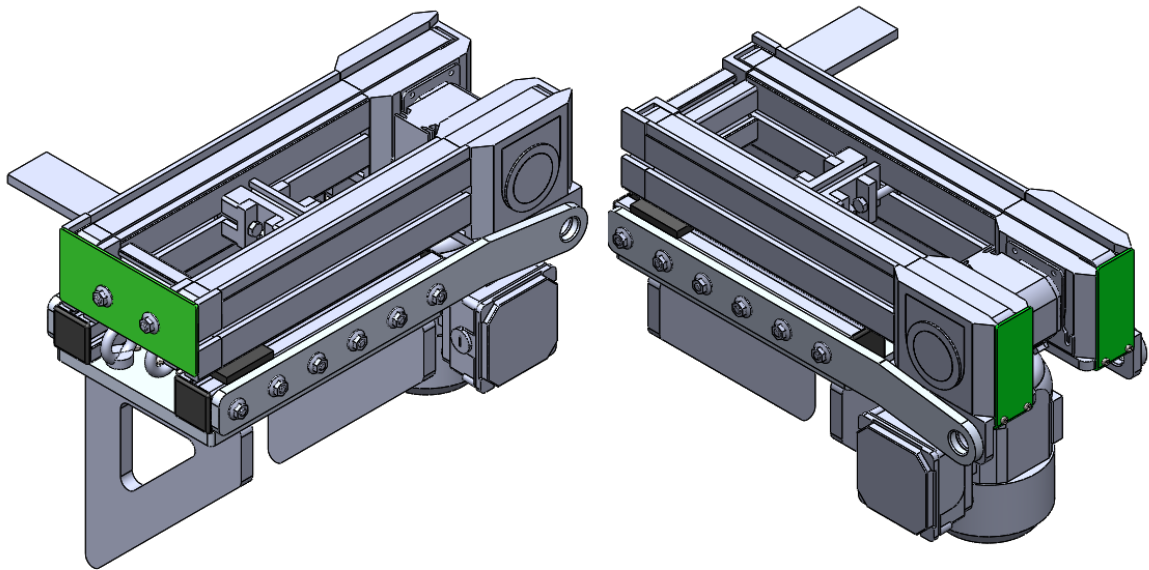
Všech deset konfigurací modelu využívá jednotný rám výtahu. Vertikální plech k připevnění vzpěr platformy výtahu je rovněž jednotný, menší konfigurace pouze nevyužijí několik spodních děr pro šrouby. Následuje obrázek shodné konstrukce s celkovými rozměry.



Obr. 61 Rám výtahu s celkovými rozměry

4.2 Parametrické konstrukce

Jak již zmiňuje úvod kapitoly 4, model má deset konfigurací. Rozdělení konfigurací na označení L a P určuje postavení vůči gravitační dráze. Konfigurace označené písmenem L jsou schopny paletku na gravitační dráhu odevzdat, zatímco označení P značí konfigurace, které paletku ve spodní úvratí přijímají. Pro zastavení paletky na druhé straně platformy dopravníku slouží zarážka v podobě plechu, která je barevně vyznačena na následujícím obrázku.



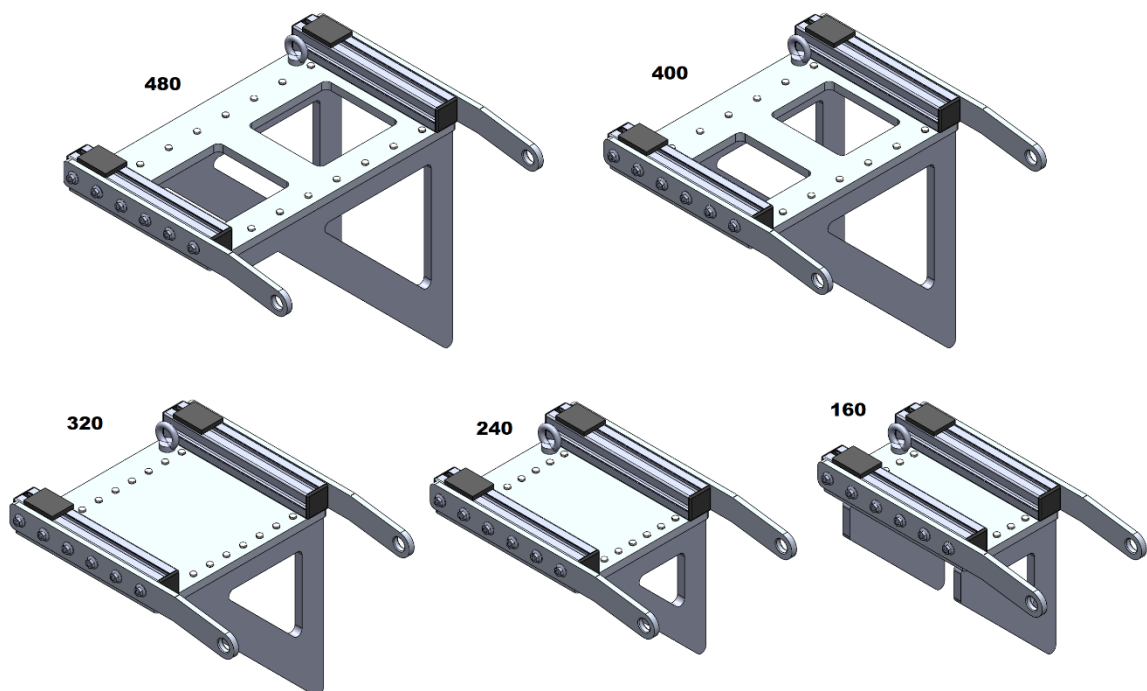
Obr. 62 Platformy dopravníku a výtahu konfigurací 160L (vlevo) a 160P (vpravo)

Číselné značení konfigurací značí šířku paletky, resp. připojeného dopravníkového systému. Tabulka 4 znázorňuje 12 možných kombinací rozměrů paletek typu WT 2, které je výtah schopen přepravovat. První sloupec tabulky udává katalogové číslo součásti firmy Bosch Rexroth.

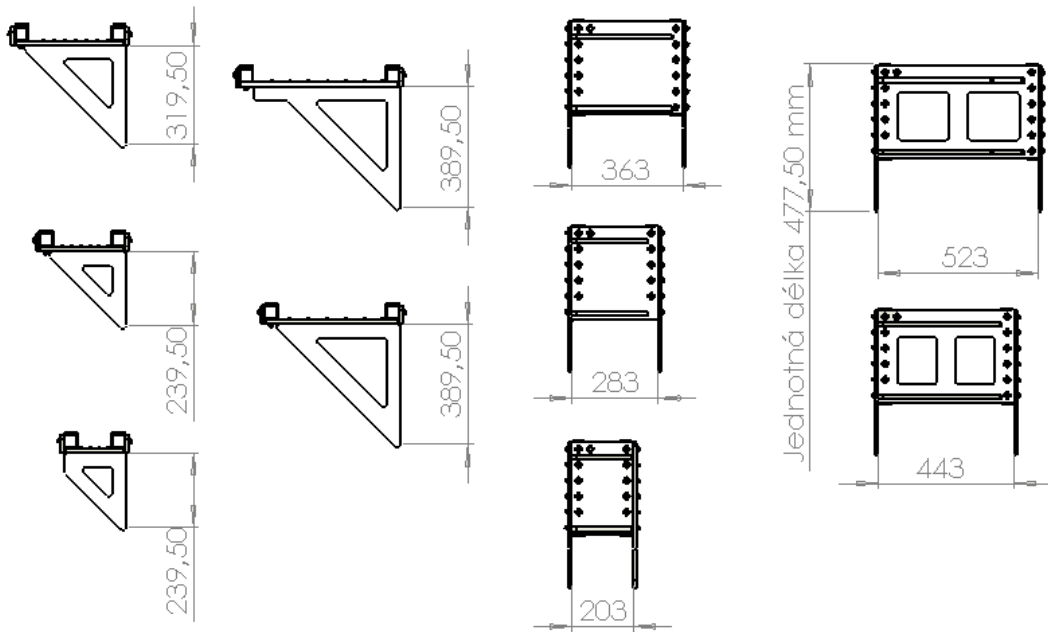
Tab. 4: Rozměry kompatibilních paletok WT 2

Číslo součásti	Šířka [mm]	Délka [mm]
842090030	160	160
842090032	160	240
842090034	160	320
842090039	240	240
842090041	240	320
842090043	240	400
842090048	320	320
842090050	320	400
842090051	320	480
842090080	400	400
842090081	400	480
842090086	480	480

Platformy výtahu jsou jednotnou délkou uzpůsobeny k podpoře platformy dopravníku. Horizontální deska dvou větších konfigurací je odlehčena, parametricky se zmenšující vzpěry jsou pak odlehčeny ve všech konfiguracích. Modely všech velikostí zobrazuje Obr. 63, rozměry jednotlivých modelů potom Obr. 64.

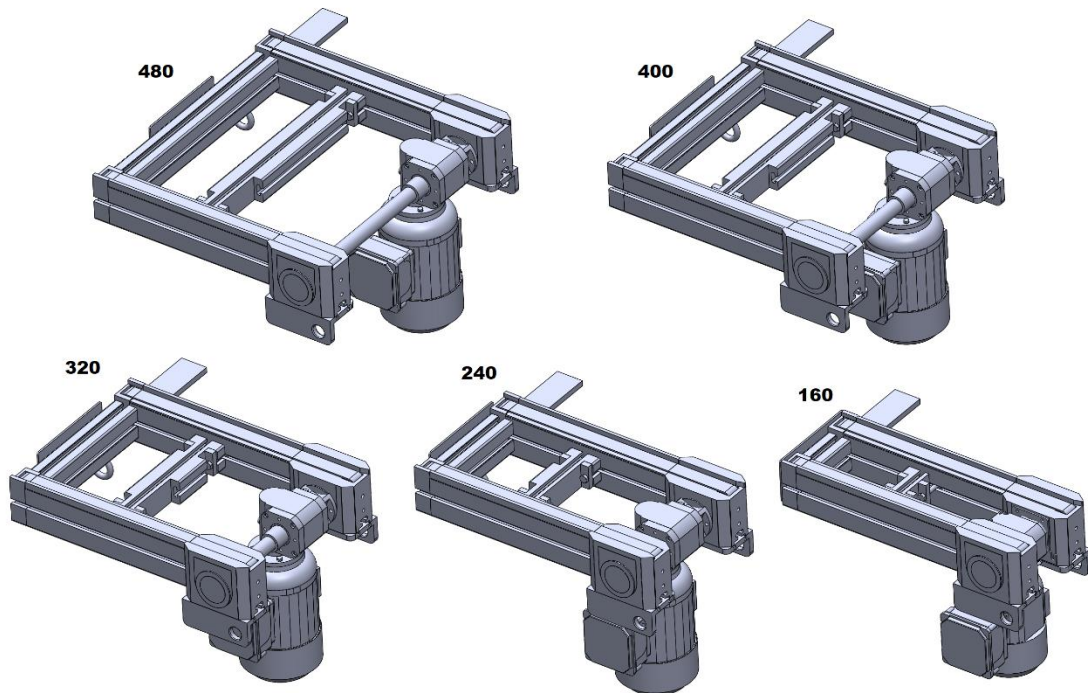


Obr. 63 Pětice modelů platformy výtahu

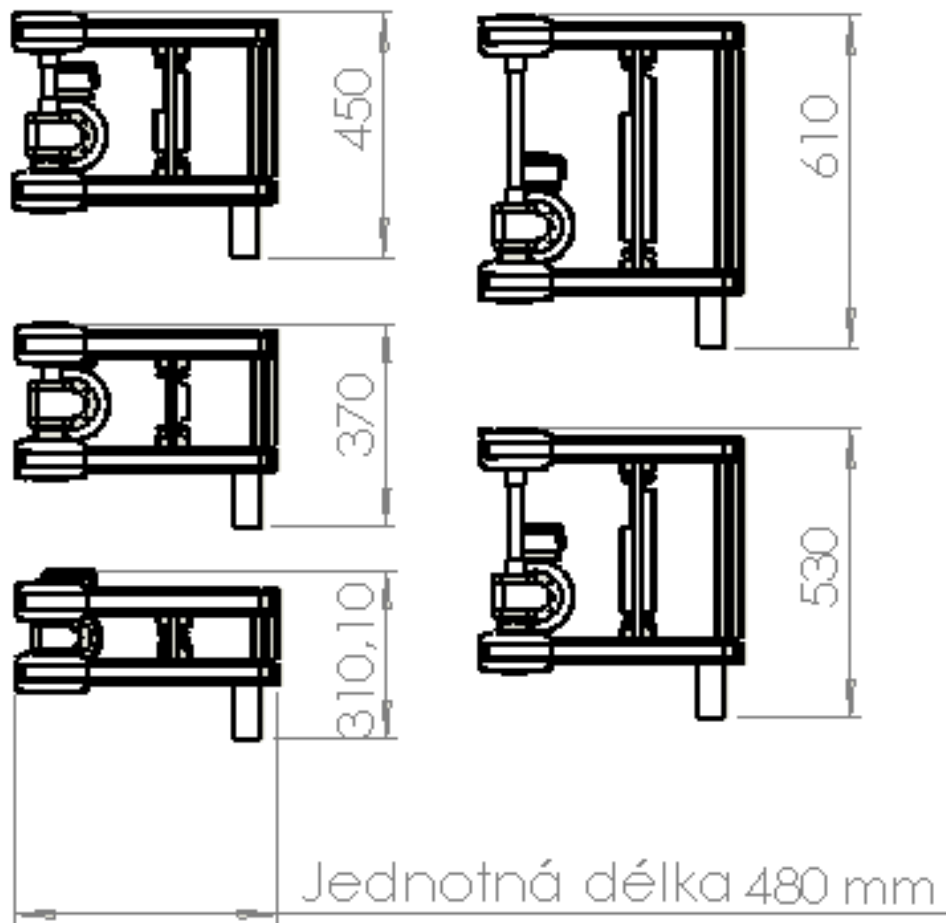


Obr. 64 Rozměry platform výtahu jednotlivých konfigurací

Platformu dopravníku tvoří dopravník BS 2 různých šířek, doplněný o jeden nebo dva plechy zářky paletky, profil 45x60 parametrické délky, šroub s okem a trojici obrobků z profilu L 100x100 tloušťky 10 mm.



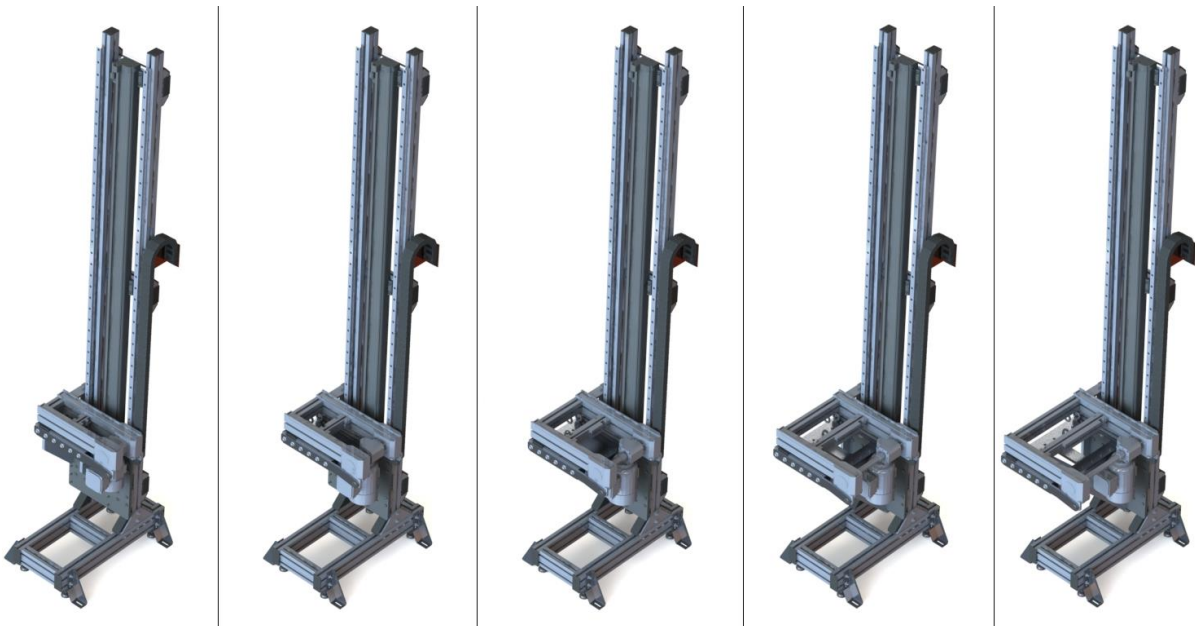
Obr. 65 Pětice modelů platformy dopravníku (konfigurace L)



Obr. 66 Rozměry platform dopravníku jednotlivých konfigurací

4.2.1 Celý model

Složením konstrukcí z předešlých dvou podkapitol dostávám celý model výtahu. Všechny desítky konfigurací je zobrazeno na následujících obrázcích. Poté následují rendery sestav s více výtahy a poté detaily z těchto sestav.



Obr. 67 Model výtahu v konfiguracích 160L, 240L, 320L, 400L a 480L



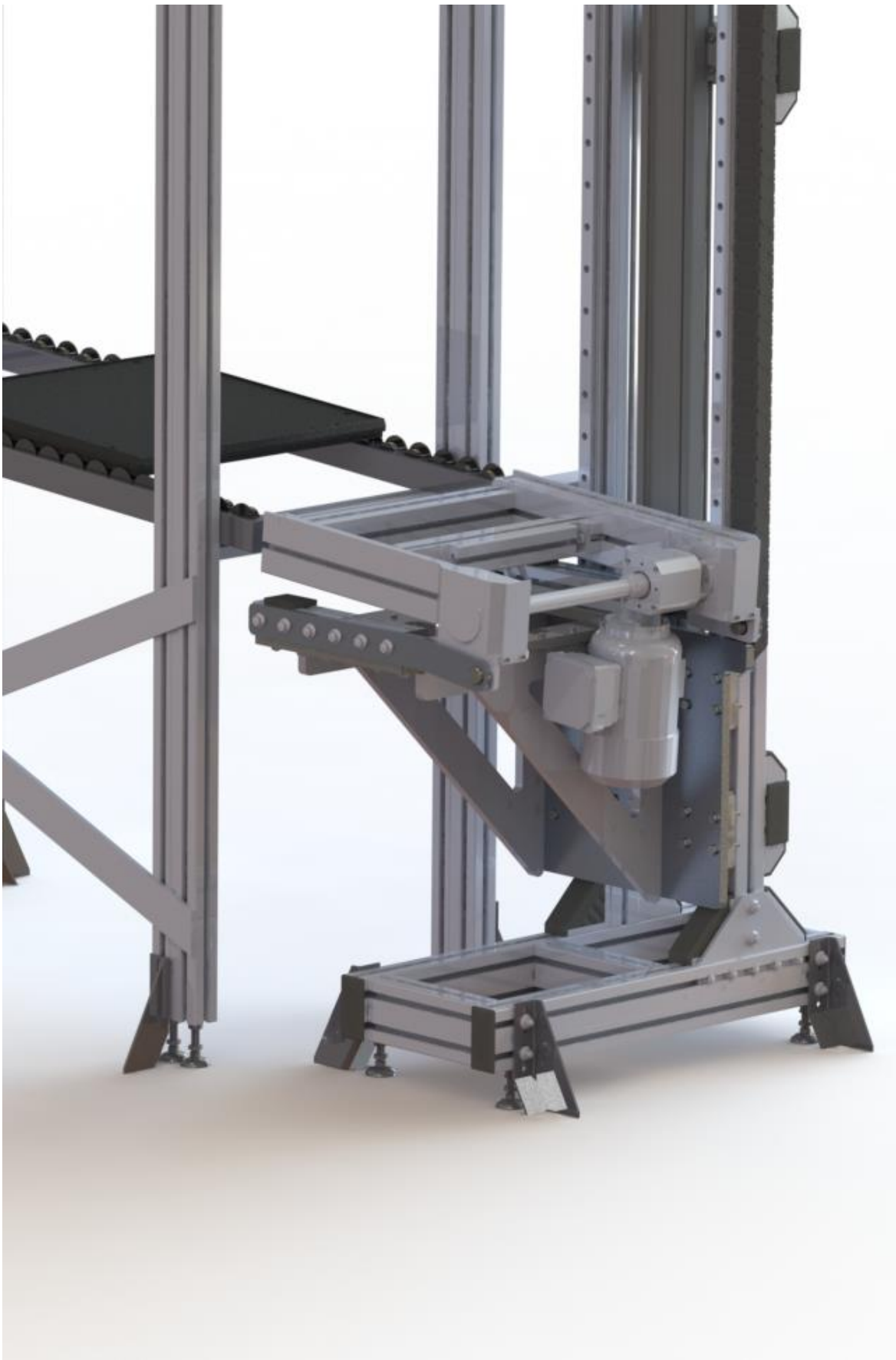
Obr. 68 Model výtahu v konfiguracích 160P, 240P, 320P, 400P a 480P



Obr. 69 Render sestavy s konfiguracemi 480L a 480P



Obr. 70 Render sestavy s konfiguracemi 160L a 160P



Obr. 71 Detail renderu sestavy s konfigurací 480P



Obr. 72 Detail renderu sestavy s konfigurací 480L

5 Závěr

Zpracoval jsem rešerši zaměřenou na problematiku systémů paletkové dopravy, zvláště jsem se pak zaměřil na způsoby manipulace s paletkou ve vertikálním směru. Na základě rešerše jsem navrhl koncept výtahu s naklápěcí se platformou dopravníku, který není na trhu dostupný. Koncepční návrh jsem nejprve zpracoval schematicky a poté ve formě modelu první generace. Tento model jsem na základě výpočtů a zhodnocení dosažení cílů původního schématu upravil a rozpracoval do parametrického modelu druhé generace. Výtah jsem nadimenzoval na požadované hodnoty ze zadání, tj. maximální zdvih 2000 mm, maximální hmotnost paletky s nákladem 30 kg a kompatibilita s paletkami Bosch WT 2 o rozměrech 160x160 mm až 480x480 mm.

Ve výsledku jsem vytvořil model s deseti rozdílnými konfiguracemi v závislosti na velikosti paletky a pozici připojení do dopravníkového systému, který je kompatibilní s dvanácti kombinacemi rozměrů paletek. Konstrukce vychází ze stavebnicového řešení systému profilů z hliníkové slitiny. Vyráběné díly jsou jednoduché a obrobitelné na běžných CNC strojích (frézka, soustruh, ...) a jejich polotovary jsou běžně dostupné. Výrobu tohoto výtahu díky tomu mohou zvládnout i malé firmy a výroba včetně dodávky pneumatického válce nepřesáhne cca 2 až 3 týdny, čímž lze konkurovat velkým dodavatelům.

Celé řešení jsem nakonec zpracoval do 2D koncepčního výkresu sestavy s dvojicí výtahů řady 480 a 2D koncepčního výkresu modelu s podsestavami všech pěti velikostí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. *Elcom-automation.com*. [Online] [Citace: 18. 6 2020.] www.elcom-automation.com.
2. *Haberkorn.cz*. [Online] [Citace: 18. 6 2020.] www.haberkorn.cz/paletkove-dopravniky.
3. *Dorner Conveyors*. [Online] [Citace: 19. 6 2020.] www.dornerconveyors.com.
4. *Bosch Rexroth*. [Online] [Citace: 22. 4 2020.] www.boschrexroth.com.
5. *FMS-montagetechnik*. [Online] [Citace: 28. 5 2020.] www.fms-montagetechnik.de.
6. *Festo*. [Online] [Citace: 19. 6 2020.] www.festo.com.
7. *IGUS*. [Online] [Citace: 5. 7 2020.] www.igus.cz.
8. *SKF*. [Online] [Citace: 11. 7 2020.] www.skf.com.
9. *Franke*. [Online] [Citace: 20. 6 2020.] www.franke-gmbh.com.
10. *Broich-SystemTechnik*. [Online] [Citace: 22. 4 2020.] www.broich-systemtechnik.de.
11. *IBW*. [Online] [Citace: 29. 6 2020.] www.iwb.gmbh.
12. *MayTec*. [Online] [Citace: 16. 6 2020.] www.maytec.com.de.
13. *Robotunits.com*. [Online] [Citace: 21. 6 2020.] www.robotunits.com.
14. Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. Scientia, spol. s r.o. Praha, 1999
15. Dražan, F., Kupka, L.: *Transportní zařízení*. SNTL Praha, 1966
16. Cvekl, Z., Dražan, F.: *Teoretické základy transportních zařízení*. SNTL Praha, 1976
17. Dražan, F., Voštová, V., Jeřábek, K., Brand, M.: *Teorie a stavba dopravníků*. Ediční středisko ČVUT Praha, 1983
18. Polák, J. a kol.: *Dopravní a manipulační zařízení I, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2001*
19. Polák, J. a kol.: *Dopravní a manipulační zařízení II, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2005*
20. Polák, J. a kol.: *Dopravní a manipulační zařízení III, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2005*
21. Polák, J. a kol.: *Dopravní a manipulační zařízení IV, VŠ skriptum, VŠB Ostrava 2004*

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma přejezdu paletky mezi výtahem a gravitační drahou	2
Obr. 2 Spodní strana paletky typu „M“ (1)	3
Obr. 3 Dopravník TLM 1500, přejezd paletky s vedením zatažitelným kolíkem (2).....	4
Obr. 4 Výtah systému TLM 1500 (1)	4
Obr. 5 2200 Precision move pallet system (3)	5
Obr. 6 Výtah systému Dorner 2200 Precision Move Pallet System (3).....	6
Obr. 7 FlexMove Pallet System (3)	7
Obr. 8 Paletky a dopravník typu EASYLANE (10).....	7
Obr. 9 Paletka systému VarioFlow plus (4)	8
Obr. 10 Minitrans CARRY (11).....	8
Obr. 11 TS 1 Transfer system (4)	9
Obr. 12 Válečkový řetěz systému TS 4plus (4)	10
Obr. 13 Dopravník typu TS 5 (4)	10
Obr. 14 Schéma pohybu háku v rámci ECOLIFT EL 2 (4)	11
Obr. 15 ECOLIFT EL 2 (4)	12
Obr. 16 Lift-System, FMS Montagetech (5)	12
Obr. 17 Paletky WT 2 (vlevo) a WT 2/H (vpravo) (4)	13
Obr. 18 Systémy EASYFLOW flex (a), EASYMOVE (b) a EASYMOVE Automotive (c) (10)	13
Obr. 19 Vnější spoje hliníkových profilů (2)	14
Obr. 20 Vnitřní spoj hliníkových profilů (13)	14
Obr. 21 Průřezy hliníkových profilů, Bosch Rexroth (4).....	15
Obr. 22 Různé varianty hliníkových profilů (12)	16
Obr. 23 První koncepční schéma naklápění dopravníkové platformy	17
Obr. 24 Schéma pohybu paletky v jednoduchém systému s dvojicí výtahů po stranách.....	18
Obr. 25 Modely první generace, pohled na celý výtah.....	19
Obr. 26 Modely první generace, platforma výtahu a platforma dopravníku	19
Obr. 27 Model první generace ve spodní úvrati	20
Obr. 28 Výpočet momentu od tíhy dopravníku – polohy těžišť	21
Obr. 29 Schéma rámu výtahů	22
Obr. 30 Rám výtahu - podstava	23
Obr. 31 Schéma počítaného profilu podstavy	24
Obr. 32 Rám výtahu – spodní část svislé části s podstavou.....	25
Obr. 33 Schéma počítaného profilu svislé části rámu	25
Obr. 34 MKP analýza profilu svislé části rámu.....	27
Obr. 35 Vodorovná výztuha s čidlem snímání horní úvrati	28
Obr. 36 Lineární vedení FDA 25, firma Franke (9)	29
Obr. 37 Výběr z katalogu pro lineární vedení FDA.....	30
Obr. 38 Vozík výtahu DGC-K s unašečem pro kompenzaci klopného momentu	31
Obr. 39 Pneumatické schéma ovládání válce	32
Obr. 40 Tlumič upevněný k rámu při kontaktu s protikusem platformy dopravníku	33
Obr. 41 Pneumatické schéma tlumiče DA2/60 (vlevo) a DA2/100-C (vpravo)	34
Obr. 42 Pneumatický tlumič DA2/60 (vlevo) a DA2/100-C (vpravo)	34
Obr. 43 Rozměry tlumičů DA2/60 (vlevo) a DA2/100-C (vpravo)	35
Obr. 44 Schéma sil působících na šrouby vzpěry platformy výtahu	36
Obr. 45 Průběh přidavné osově síly ve šroubech od momentu	38
Obr. 46 Kontrola dosažení úvrati.....	42
Obr. 47 Platforma výtahu bez svislé desky, konfigurace 480 (vlevo) a 160 (vpravo)	42
Obr. 48 Dopravník s L profily pro čep (160P).....	43
Obr. 49 Dopravník typu BS2 (4)	44

Obr. 50 Parametrické rozměry dopravníku BS2 (4)	44
Obr. 51 Základní rozměry dopravníku BS2	45
Obr. 52 Paletka typu WT 2	46
Obr. 53 Základní rozměry paletky WT 2	46
Obr. 54 Konstrukce paletky typu WT 2 (4)	47
Obr. 55 Platforma dopravníku s vyznačenými přidanými prvky	48
Obr. 56 Spojení dopravníku s výtahem pomocí čepu	48
Obr. 57 Řez čepem s vyznačenými silovými účinky - kontrola na otlačení	49
Obr. 58 Šrouby s okem pro uchycení jisticího lanka	51
Obr. 59 Nové schéma možného pohybu paletky	52
Obr. 60 Výtahy 480L a 480P v sestavě s dopravníkovým systémem	53
Obr. 61 Rám výtahu s celkovými rozměry	54
Obr. 62 Platformy dopravníku a výtahu konfigurací 160L (vlevo) a 160P (vpravo)	55
Obr. 63 Pětice modelů platformy výtahu	56
Obr. 64 Rozměry platforem výtahu jednotlivých konfigurací	57
Obr. 65 Pětice modelů platformy dopravníku (konfigurace L)	57
Obr. 66 Rozměry platforem dopravníku jednotlivých konfigurací	58
Obr. 67 Model výtahu v konfiguracích 160L, 240L, 320L, 400L a 480L	59
Obr. 68 Model výtahu v konfiguracích 160P, 240P, 320P, 400P a 480P	59
Obr. 69 Render sestavy s konfiguracemi 480L a 480P	60
Obr. 70 Render sestavy s konfiguracemi 160L a 160P	61
Obr. 71 Detail renderu sestavy s konfigurací 480P	62
Obr. 72 Detail renderu sestavy s konfigurací 480L	63

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Srovnání analytických výpočtů s MKP</i>	26
<i>Tab. 2: Kontrolní výpočet šroubů vzpěry pro všechny konfigurace</i>	41
<i>Tab. 3: Úhly natočení a délka jisticího lanka</i>	51
<i>Tab. 4: Rozměry kompatibilních paletok WT 2</i>	56

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Průhyb profilu podstavy	v	mm
Polovina hmotnosti platformy s rámem	m_{PSR}	kg
Gravitační zrychlení	g	$m \cdot s^{-1}$
Délka profilu podstavy	L_{700}	mm
Youngův modul Al profilů	E	$N \cdot mm^{-2}$
Moment setrvačnosti Al profilu 45x90	J	mm^4
Tíha platformy dopravníku a výtahu (s paletkou)	F_{480}	N
Hmotnost platformy dopravníku a výtahu a paletky	m_{480}	kg
Náhradní moment za sílu F_{480}	M	$N \cdot m$
Rameno působení síly F_{480}	r_F	mm
Průhyb profilu rámu	u	mm
Délka profilu rámu	L_{2500}	mm
Moment setrvačnosti Al profilu 45x90H	J_H	mm^4
Třecí síla pod šrouby vzpěry	F_T	N
Nutná osová síla ve šroubech vzpěry	F_{S-all}	N
Součinitel tření mezi vzpěrrou a svislým plechem	f_m	1
Upravená tíha platformy výtahu a dopravníku	F_{PVPD}	N
Hmotnost platformy	m_{PVPD}	kg
Koeficient dynamických účinků	k	1
Osová síla pro jeden šroub	F_S	N
Počet šroubů vzpěry	$i_{\text{šR}}$	1
Dovolené tahové napětí šroubů vzpěry	σ_{dov}	$N \cdot mm^{-2}$
Návrhová plocha jádra šroubu vzpěry	$S_{3_návrh}$	mm^2
Návrhový průměr jádra šroubu vzpěry	$d_{3_návrh}$	mm
Osová síla v šroubu vzpěry od momentu	F_M	N
Rozteč spodního a horního šroubu	$r_{\text{šr}}$	mm
Rameno působení síly F_{PVPD}	r	mm
Skutečná osová síla	F_O	N
Moment tření pod hlavou šroubu	M_H	$N \cdot mm$
Součinitel tření pod hlavou šroubu	f_H	1
Průměr plochy pod hlavou šroubu	d_H	mm



Úhel stoupání	γ	$^{\circ}$
Počet chodů závitu	i	1
Rozteč závitu	P	1
Střední průměr závitu	d_2	mm
Úhel boku profilu	β_n	$^{\circ}$
Úhel závitu	β	$^{\circ}$
Třecí úhel	φ'	$^{\circ}$
Součinitel tření v závitu	f_z	1
Moment tření v závitu	M_Z	$N \cdot mm$
Utahovací moment	M_U	$N \cdot mm$
Tahové napětí	σ_T	$N \cdot mm^{-2}$
Plocha šroubu vzpěry	$S_{\check{S}R}$	mm^2
Průměr jádra šroubu vzpěry	d_3	mm
Napětí v krutu	τ_K	$N \cdot mm^{-2}$
Krouticí moment	M_K	$N \cdot mm$
Průřezový modul v krutu	W_K	mm^3
Redukované napětí	σ_{RED}	$N \cdot mm^{-2}$
Tlak na otláčení	p	$N \cdot mm^{-2}$
Síla působící na čep	$F_{\check{c}ep}$	N
Návrhová plocha čepu na otláčení	$S_{n\check{a}vrh_c\check{e}p}$	mm^2
Dovolený tlak	p_{dov}	$N \cdot mm^{-2}$
Návrhový průměr čepu	$d_{n\check{a}vrh_c\check{e}p}$	mm
Tloušťka plechu	a	mm
Hmotnost platformy dopravníku a paletky	m_{dopra}	kg
Koeficient dynamických účinků na čep	$k_{\check{c}}$	1
Smykové napětí v čepu	τ_s	$N \cdot mm^{-2}$
Průměr čepu	$S_{\check{c}ep}$	mm^2



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1.: Konceptni_vykres_480

Příloha 2.: Konceptni_vykres_vsechny_konfigurace