

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční návrh systému pro vážení u paletové přepravy

Autor: **Adam Bečvář**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Adam BEČVÁŘ
Osobní číslo:	S19B0038P
Studijní program:	B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	Stavba výrobních strojů a zařízení
Téma práce:	Konstrukční návrh systému pro vážení u paletové přepravy
Zadávací katedra:	Katedra konstruování strojů

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem této práce je navrhnout technické řešení systému pro vážení přepravovaného nákladu na paletovém vozíku. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost z hlediska vybitelnosti a výrobních nákladů. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematického popisu funkce
2. Vypracování rozboru technických parametrů a návrhu variant řešení
3. Vypracování SWOT analýzy pro vhodné řešení s návrhem koncepčního řešení
4. Zhodnocení vybrané navržené konstrukční varianty

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran A4**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

MARTINEK, R *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN, 2006

ŘAŠA, J., ŠVERCL, J *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 2004

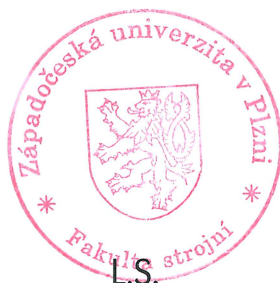
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství, poděkování

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Chtěl bych tímto poděkovat panu Doc. Ing. Josefu Formánkovi, Ph.D, za věcné rady a připomínky vedoucí k vypracování této práce.

V Plzni dne 12. července 2020

Adam Bečvář

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Bečvář		Adam
STUDIJNÍ OBOR	23-35-8 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční návrh systému pro vážení u paletové přepravy		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

Počet stran A4 a ekvivalentů A4

CELKEM	61	TEXTOVÁ ČÁST	39	GRAFICKÁ ČÁST	22
---------------	----	-------------------------	----	--------------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje řešeršní část zabývající se aktuálním stavem paletových vozíků s váhovým systémem ve světě. Dále obsahuje princip funkce nejpoužívanějších senzorů. V následující části obsahuje několik koncepčních variant, SWOT analýzu a podrobnější rozpracování výsledné koncepční varianty vybrané pomocí SWOT analýzy do koncepčního řešení.
KLÍČOVÁ SLOVA	Paletový vozík, senzor, váhový displej, SWOT analýza

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Bečvář		Adam
FIELD OF STUDY	23-35-8 „Construction of production machines and equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.		Name Josef
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Engineering design of the weighing system on a pallet truck		

FACULTY	Engineering design	DEPARTMENT	Mechanical design	SUBMITTED IN	2020
----------------	--------------------	-------------------	-------------------	---------------------	------

Number of pages (A4 and eq. A4)

TOTALLY	61	TEXT PART	39	GRAPHICAL PART	22
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION (MAX 10 ROWS) TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Bachelor thesis contains a search section dealing with the current state of pallet trucks with weighing system in the world. It also contains the principle of the function of most used sensors. The following section includes several conceptual variants, a SWOT analysis, and a more detailed breakdown of the resulting conceptual variant selected by the SWOT analysis into the conceptual solution.
KEY WORDS	Pallet truck, sensor, weighing system, SWOT analysis

Obsah

1 Úvod	12
1.1 Definice paletového vozíku	12
1.2 Konstrukce paletového vozíku	12
1.3 Váhový systém	13
2 Rešerše současného stavu paletových vozíků se zabudovaným váhovým systémem	14
2.1 Současný stav paletových vozíků se zabudovanou váhou ve světě	14
2.1.1 AMW22p	14
2.1.2 LHM230WIQ	15
2.1.3 M25 Scale+	15
2.1.4 PROLINE2100L	16
2.2 Váhové senzory	16
2.2.1 Přehled váhových sensorů	17
2.2.1.1 Piezoelektrické snímače	17
2.2.1.2 Hydraulické snímače	17
2.2.1.3 Rezonanční snímače (vibrační drát)	18
2.2.1.4 Tlakové snímače pro hydraulickou kapalinu	18
2.2.1.5 Nemechanické snímače	18
2.3 Aplikace váhového systému na paletový vozík	19
2.3.1 Tenzometrický snímač	19
2.3.2 Optický senzor	19
2.3.3 Tlakový snímač pro hydraulickou kapalinu	20
3 Konceptní návrhy	21
3.1 Návrh černé skříňky	21
3.2 Návrh technologie provozního transformačního procesu	21
3.3 Požadavky na paletový vozík	22
3.4 Návrh jednotlivých konceptních variant	22
3.4.1 Varianta 1 - tenzometrická váhová buňka	23
3.4.2 Varianta 2 - tenzometr	24
3.4.3 Varianta 3 - tlakový snímač pro hydraulickou kapalinu	24
3.4.4 Varianta 4 - Optický senzor na principu volného svazku fotonů	25
4 SWOT analýza	28
4.1 Kritéria SWOT analýzy	28
4.1.1 Transformační hledisko	28
4.1.2 Technologické hledisko	29
4.1.3 Ekonomické hledisko	29
4.1.4 Ergonomické hledisko	30
4.1.5 Vyhodnocení SWOT analýzy	30

5	Rozpracování koncepčního návrhu	31
5.1	Specifikace vozíku	31
5.2	Průřez ližiny	31
5.3	Umístění váhového systému na paletovém vozíku	33
5.3.1	Umístění senzoru	33
5.3.2	Umístění převodníku a LCD displeje	34
5.4	Návrh vedení ližin	36
5.5	Průhyb ližiny	37
5.5.1	Výsledek MKP	37
5.5.2	Výsledek ručního výpočtu	37
5.6	Výběr jednotlivých částí paletového vozíku	38
5.6.1	Výběr senzoru	38
5.6.2	Výběr převodníku	39
5.6.3	Výběr zobrazovacího zařízení-displeje	39
5.7	Zhodnocení navržené koncepční varianty	40
5.7.1	Ekonomické zhodnocení	40
5.7.2	Stručné shrnutí	41
6	Vizualizace	42
7	Závěr	50
	Literatura	51
	Přílohy	1
A	Kontrola průhybu ližiny	A2
B	SWOT analýza	B1

Seznam obrázků

1.1	Popis částí paletového vozíku (převzato z [11])	12
2.1	Wheatstoneův můstek (převzato z [18])	17
3.1	Návrh černé skříňky	21
3.2	Návrh technologie provozního transformačního procesu	21
3.3	Varianta 1 - Tenzometrická váhová buňka	23
3.4	Varianta 2 - Tenzometr	24
3.5	Varianta 3 - Tlakový snímač pro hydraulickou kapalinu	25
3.6	Varianta 4	26
5.1	Skutečný průřez ližiny	32
5.2	Zábrany proti samovolnému uvolnění	32
5.3	Pohled na zábrany - bokorys	32
5.4	Váhový systém se třemi tenzometrickými buňkami	33
5.5	Převodník s displejem	34
5.6	Převodník pod tělem vozíku	35
5.7	Displej v madle	35
5.8	Sestava vedení	36
5.9	Vedení v horní části ližiny	36
5.10	Vedení ve spodní části ližiny	37
5.11	Výsledek MKP analýzy	37
5.12	Tenzometrický váhový senzor DINI ARGEO (převzato z [2])	38
5.13	Převodník TE485 (převzato z [16])	39
5.14	Segmentový displej (převzato z [12])	40
6.1	Sestava vozíku	42
6.2	Sestava vozíku odkrytá	43
6.3	Sestava vozíku (bez kabeláže) - rozstřel	44
6.4	Pomocná kolečka	45
6.5	Pomocná kolečka - rozstřel	45
6.6	Zdvihací soustrojí	45
6.7	Zdvihací soustrojí - rozstřel	46
6.8	Madlo	46
6.9	Pohled na tenzometrické tlakové buňky	46
6.10	Kabel od senzoru	47
6.11	Kabely svedené do bužírky	47
6.12	Nadzvednutý horní díl ližiny	47
6.13	Zadní kabeláž	48
6.14	Kabeláž v ližině svedena do ochranných trubiček	48
6.15	Kabeláž vedená ochrannými trubičkami do převodníku	48
6.16	Vedení kabeláže z převodníku do displeje	49
6.17	Vývod kabelu z ochranné trubičky do tažné oje	49

Seznam tabulek

2.1	Parametry paletového vozíku AMW 22p [1]	14
2.2	Parametry paletového vozíku LHM230WIQ [4]	15
2.3	Parametry paletového vozíku M25 Scale+ [8]	15
2.4	Parametry paletového vozíku PROLINE2100L [10]	16
4.1	Výběr optimální varianty	30
5.1	Atributy paletového vozíku	31
5.2	Nacnění vozíku (převzato z [2], [7], [12], [16])	40
5.3	Ceny průmyslových vozíků (převzato z [1], [4])	41

Seznam použitého software

L^AT_EX

PTC Creo 5.0

Inventor Professional 2019

Inkscape

MS Excel

OpenOffice Calc

MS Paint

1 Úvod

Cílem této práce je navrhnout technické řešení systému pro vážení nákladu na paletovém vozíku. Dále provést specifikaci požadavků s ohledem na správnou funkčnost a technickou jednoduchost z hlediska vyrobitelnosti a výrobních nákladů. Pomocí SWOT analýzy vybrat z navržených variant vhodné řešení, které bude zpracováno do koncepčního návrhu. U výsledného řešení provést komplexní hodnocení.

1.1 Definice paletového vozíku

Paletový vozík, případně nízkozdvižný vozík, je označení pro dopravní prostředek určený k manipulaci s nákladem. Nejčastěji se s jeho pomocí přepravují europalety, gitterboxy případně jiný náklad. Pohon zajišťuje především lidská síla, existují však i konstrukční provedení, kdy hybnou sílu zajišťuje elektrický pohon. Velice často se využívá také vysoko-
kozdvížného paletového vozíku, tím se však tato práce zabývat nebude. Paletový vozík je především určen pro provoz po dostatečně tuhém a hladkém povrchu. Nejčastěji se používá ve výrobních halách a skladech pro převoz materiálu na krátké vzdálenosti mezi jednotlivými pracovišti.[24]

1.2 Konstrukce paletového vozíku



Obrázek 1.1: Popis částí paletového vozíku (převzato z [11])

Charakteristickým prvkem každého paletového vozíku jsou ližiny. V zásadě se jedná o dva ocelové nosníky obdélníkového průřezu na dvou podporách. Na jednom konci jsou připojeny do těla vozíku, součástí kterého je hydraulický válec, řídicí kola a ovládací prvky. Druhá strana ližin je podepřena pomocnými kolečky. V případě pohonu lidskou silou je zdvih i řízení paletového vozíku umožněno tažnou ojí. Změny směru pohybu paletového

vozíku se řídí jejím natáčením. Hydraulický válec zajišťující zdvih je ovládán pumpováním oje. Snížení zdvihu obstarává redukční ventil hydraulického válce ovládaný pákou na jejím madle. U paletových vozíků s elektrickým pohonem je pumpování hydraulické kapaliny do válce zajištěno pomocí elektrického hydraulického čerpadla.[24] Jednotlivé části paletového vozíku jsou popsány na obrázku 1.1.

1.3 Váhový systém

Měření hmotnosti na základě tíhy je jedním z nejstarších druhů měření vůbec. Pro získání údajů o hmotnosti nákladu slouží váhové systémy. Své využití nacházejí téměř ve všech odvětvích lidské činnosti. Od oblasti použití se odvíjí potřebná přesnost jednotlivých prvků měřicí techniky a konstrukční provedení daného technického systému. V dnešní době se mezi nejrozšířenější metody řadí vážení na tenzometrickém principu. Ten spočívá na principu měření změny elektrického odporu v závislosti na deformaci vodiče. Tato metoda se vyznačuje vysokou přesností, spolehlivostí a jednoduchostí. V dřívějších dobách se využívalo jednodušších zařízení na principu rovnováhy sil v požadované poloze na páce. Toho se v praxi dosahovalo vyvažováním měřeného břemene sadou závaží o známé hmotnosti. Změnou poměru délek ramen váhy bylo možné redukovat potřebné množství protizávaží. Výhodou je vysoká přesnost, nevýhodou naopak časová náročnost. Další dlouho známou metodou využívanou do dnešních dob jsou váhy pružinové. Ty pracují na principu deformace pružiny o známé tuhosti, přičemž změna délky se indikuje na číselné stupnici.[23]

2 Rešerše současného stavu paletových vozíků se zabudovaným váhovým systémem

Paletové vozíky se zabudovaným váhovým systémem jsou ve světě již několik let zcela běžnou záležitostí. Využívají se především ve skladech při příjmu či expedici zboží, zejména při nakládání vozidla za účelem zamezení překročení maximální užité hmotnosti. Výhodou je především časová úspora, jelikož odpadá nutnost dovézt zboží na váhu a zpět.

2.1 Současný stav paletových vozíků se zabudovanou váhou ve světě

Firem vyrábějících paletové vozíky se zabudovaným váhovým systémem se na trhu vyskytuje hned několik. Mezi největší a nejznámější z nich patří například firmy jako jsou:

- Jungheinrich s.r.o. [3]
- Toyota Material Handling CZ s.r.o. [3]
- Linde material Handling [3]
- RAVAS International [3]

2.1.1 AMW22p

Výrobce: Jungheinrich s.r.o.

Rozměry obdélníku opsaného ližinám	1150 × 540 [mm]
Výška ližin	62 [mm]
Nosnost	2200 [kg]
Zdvih	122 [mm]
Průměr koleček Řídící / Pomocné	180 / 82 [mm]
Vlastní hmotnost	102 [kg]
Cena	Nezjištěno

Tabulka 2.1: Parametry paletového vozíku AMW 22p [1]

Paletový vozík AMW 22 firmy Jungheinrich s.r.o. je vhodný do velkoskladů a výrobních hal, kde je zapotřebí rychlého a přesného měření. Vozík je navržen pro snadné ovládání, což umožňuje levákům i pravákům bezproblémové užívání. Přesnost měření v celém rozsahu se pohybuje v rozmezí 0,1 %. Robustní konstrukce zajišťuje vysokou stabilitu, přičemž veškerá elektronika je chráněna proti prachu a vodě. Výhodou je automatické vypínání po 30 minutách nečinnosti. Tím je zajištěna vysoká provozní doba až 60 hodin.[1] Výrobce nabízí kromě standardní výbavy i volitelnou, která obsahuje výhody, mezi které se řadí počítání vážených kusů, podsvícený displej, vestavěná tiskárna, případně antistatické řízení.[1]

2.1.2 LHM230WIQ

Výrobce: Toyota Material Handling CZ s.r.o.

Rozměry obdélníku opsaného ližinám	1150 × 520 - základní model
Výška ližin	Nezjištěno
Nosnost	2200 [kg]
Zdvih	200 [mm]
Průměr koleček Řídící / Pomocné	Nezjištěno
Vlastní hmotnost	Nezjištěno
Cena	Nezjištěno

Tabulka 2.2: Parametry paletového vozíku LHM230WIQ [4]

Vozík LHM230WIQ třídy BT Lifter od firmy Toyota Material Handling CZ s.r.o. slouží především pro orientační vážení. Firma udává přesnost měření v rozmezí 20 kg, což při nosnosti 2300 kg odpovídá přibližně 1 procentu. Výhodou oproti ostatním vozíkům této třídy je však široký sortiment různých délek a šířek ližin nebo řídicích i pomocných koleček. Vozík disponuje rychlozdvihem, zvýšenou odolností a provozuschopností. Výrobce zaručuje více než sto tisíc pracovních zdvihů v průběhu životnosti vozíku. Produkt je vhodný do vlhkých a korozivních prostředí.[4]

2.1.3 M25 Scale+

Výrobce: Linde Material Handling

Rozměry obdélníku opsaného ližinám	1185 × 555 [mm]
Výška ližin	60 [mm]
Nosnost	2500 [kg]
Zdvih	115 [mm]
Průměr koleček Řídící / Pomocné	200 / 82 [mm]
Vlastní hmotnost	117 [kg]
Cena	Nezjištěno

Tabulka 2.3: Parametry paletového vozíku M25 Scale+ [8]

Tento typ paletového vozíku váží s přesností půl kilogramu na celém rozsahu. Vozík je ergonomický a obsahuje bezpečnostní prvky, například snížený podvozek zabraňující zranění nohy. Prodává se ve dvou variantách. První variantou je model z nerezové oceli s otevřenými vidlicemi, který se využívá ve vlhkých a korozivních prostředích. Druhá varianta z nerezové oceli s uzavřenými vidlicemi je vhodná především do provozů se zvýšeným požadavkem na hygienu. Kromě váhového systému vozík disponuje i tiskárnou a paměťovou kartou umožňující uchování dat. Výdrž baterie se pohybuje okolo 50 hodin.[8]

2.1.4 PROLINE2100L

Výrobce: RAVAS International

Rozměry obdélníku opsaného ližinám	1150 × 555 [mm]
Výška ližin	Nezjištěno
Nosnost	2000 [kg]
Zdvih	200 [mm]
Průměr koleček Řídící / Pomocné	Nezjištěno
Vlastní hmotnost	104 [kg]
Cena	Nezjištěno

Tabulka 2.4: Parametry paletového vozíku PROLINE2100L [10]

Paletový vozík PROLINE 2100L váží s přesností na 0,1 %. Výdrž baterie až 35 hodin s automatickým vypnutím po třiceti minutách, nabití baterie trvá šest hodin. Baterie je vyměnitelná. Možnost instalace tiskárny. Vozík je ergonomický a disponuje možností posílání dat přes Bluetooth, případně přes WLAN neboli bezdrátovou lokální síť.[10]

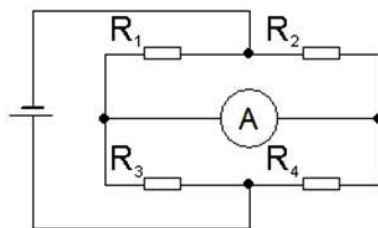
2.2 Váhové senzory

Nejčastěji využívanými váhovými senzory v průmyslu jsou senzory tenzometrické odporové. Využívají se pro diagnostiku poruch, velikosti průhybů, vážení hmotnosti, měření vlastní frekvence a jiné. Mezi nejčastěji používané se řadí snímače pro měření síly, tlaku, tahu, stříhu a krutu.

Váží systémy pro paletový vozík se v principu používají ve dvou provedeních. Prvním provedením jsou ližinové váhy se čtyřmi tenzometrickými snímači. Ližinové váhy se také využívají jakožto podlahové váhy, kdy lze vozíkem zajet pod váhu. Každý ze čtyř tenzometrických snímačů může být opatřen nožním šroubem, který umožňuje vyrovnat nerovnosti podlahy. V ostatních případech jsou senzory zabudovány přímo do těla vozíku. Druhé provedení spočívá v instalaci tenzometrických snímačů přímo do dělených ližin paletového vozíku. Jedním ze snímačů používaných v paletových vozících je tenzometrický snímač KPZ 502E-2. Samotný tenzometr je zabudován uvnitř těla snímače.[5]

Princip měření váhy tenzometrickým odporovým snímačem zabudovaným v ližinách paletového vozíku je následující. Po zatížení ližin nákladem vzniká vlivem tlaku pružná deformace v těle tenzometru. Vlivem této pružné deformace dochází ke změně délky a průřezu odporového drátku, čímž dochází ke změně měrného elektrického odporu. Závislost změny odporu na změně délky je téměř lineární. Pokud je známa závislost deformace daného materiálu na zátěžné síle, může být změna měrného elektrického odporu převedena na hmotnost zátěže. Pro správný výsledek je zapotřebí vzít v potaz změnu vodivosti a roztažnosti materiálu vlivem teploty. Dále je nutno započítat součinitel deformační citlivosti. Velikost součinitele deformační citlivosti i vliv teploty závisí na druhu materiálu.[22]

V případě, kdy by bylo zapotřebí měřit náklad o velmi malé hmotnosti, by mohlo hrozit, že deformace budou příliš malé a změny odporu těžce měřitelné. Těmto problémům lze



Obrázek 2.1: Wheatstoneův můstek (převzato z [18])

především zapojením do Wheatstoneova můstku. Tento můstek se používá pro měření velmi malých změn odporů. Můstek se skládá ze čtyř rezistorů zapojených do dvou větví, přičemž jeden z rezistorů má neznámý odpor. Princip je založen na vyvážení můstku odporem do rovnovážného stavu, kdy ampérmetrem neprotéká žádný proud. Neznámý odpor lze následně dopočítat.[18]

2.2.1 Přehled váhových senzorů

Možností, jak měřit hmotnost existuje celá řada. Nejčastěji používanými jsou snímače mechanického namáhání, mezi které patří:[13][15]

- Tenzometrické odporové
- Piezoelektrické
- Hydraulické
- Rezonanční (Vibrační drát)
- Tlakové snímače pro hydraulickou kapalinu

2.2.1.1 Piezoelektrické snímače

Piezoelektrické snímače pracují na principu piezoelektrického jevu. Jedná se o schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformaci.[9] Jev se vyskytuje pouze u krystalů bez středu symetrie. Nejčastěji se používá monokrystalický křemík.

V nezatíženém stavu jsou těžiště kladných i záporných iontů, vyskytujících se v krystalu, shodná. Při zatížení krystalu dochází k jeho deformaci, která způsobí posunutí těžiště kladných iontů vůči těžišti iontů záporných o určitou vzdálenost. Vlivem toho dochází ke vzniku elektrického náboje v krystalu. Své využití nachází především v měření tlaku a zrychlení.[9]

2.2.1.2 Hydraulické snímače

Tento typ snímačů funguje na principu působení tlaku v kapalině na manometr. Po zatížení dochází ke stlačení pístu vlivem působení zátěžné síly. Po stlačení pístu dochází k deformaci membrány, jenž je ve styku s hydraulickou kapalinou. Měřená hydraulická kapalina však musí být slučitelná s nerezovou ocelí, ze které je membrána vyrobena, aby nedošlo k reakci mezi membránou a hydraulickou kapalinou. Deformace membrány způsobí změnu tlaku v kapalině, přičemž se tato změna indikuje na manometru. Nárůst tlaku

v kapalině je přímo úměrný zátěžné síle. Přesnost snímače není závislá na množství či teplotě kapaliny.[25]

Konstrukčních variant hydraulického snímače je spousta, záleží na způsobu aplikace. Další z možných variant je přímý dotyk tekutiny s pístem s absencí membrány. V této variantě je nutno zajistit dokonalé utěsnění pístu, aby nedocházelo ke ztrátám tekutiny mezi válcem a pístem.

2.2.1.3 Rezonanční snímače (vibrační drát)

Princip senzoru s vibračním drátem spočívá ve změně napětí napnutého drátu, jenž v nezátíženém stavu vibruje na vlastní rezonanční frekvenci. Při zatížení dojde ke změně napětí v drátu, která způsobí změnu vibrací a tím změnu rezonanční frekvence. Změna rezonanční frekvence je úměrná zatížení. Po odlehčení se vibrace drátu vrátí na původní rezonanční frekvenci.[17]

2.2.1.4 Tlakové snímače pro hydraulickou kapalinu

Tyto snímače pracují na podobném principu jako snímače hydraulické. Vlivem působení tlaku na snímač dojde k deformaci membrány uvnitř snímače. Měřená hydraulická kapalina však musí být slučitelná s nerezovou ocelí, ze které je membrána vyrobena, aby nedošlo k reakci mezi membránou a kapalinou. Informace o deformaci membrány se přenáší několika drátky do manometru, přičemž signál bývá elektrický-proudový či napěťový.[14]

2.2.1.5 Nemechanické snímače

Dalším typem snímačů hmotnosti jsou snímače nemechanické, mezi které se řadí například snímače optické. Optické snímače pracují na odlišném principu než snímače doposud popsané. Hlavním rozdílem je především přenos informace o velikosti zatížení. Zatímco u mechanických snímačů se tato informace přenáší za pomoci elektrických i neelektrických veličin vlivem deformace, u optických snímačů se přenáší pomocí fotonů. Optické snímače se v zásadě dělí na dva typy. Prvním typem je snímač na principu volného svazku fotonů, který putuje od vysílače k sledované ploše, od které se odrazí směrem k přijímači. Při zatížení dojde ke změně vzdálenosti a tím ke změně výstupního optického toku. Přijímač i vysílač mohou být součástí jednoho snímače, případně se použijí snímače dva. Jeden ze snímačů slouží jakožto vysílač a druhý jako přijímač. Snímače musí být vůči sobě natočeny o správný úhel, aby byla splněna podmínka dopadu a odrazu paprsku pro správnou funkci snímače.[14]

Druhý typ optického snímače využívá pro funkci optické vlákno. V tomto případě snímač částečně pracuje na principu deformací. Optické vlákno je vedeno mezi hroty horní a spodní komponenty. Při zatížení dojde ke změně vzdálenosti mezi komponentami, čímž dojde k deformaci optického vlákna mezi hroty. Optickým vláknem prochází fotony, jejichž průchod se při deformaci vlákna výrazně zhoršuje. Změna optického toku na výstupu je úměrná velikosti zatížení.[14]

Optická vlákna se dělí na optická vlákna vlastní a nevlastní. Vlastní optické vlákno je součástí snímače. Nevlastní optické vlákno slouží jen jako prostředí pro přenos fotonů.[14]

2.3 Aplikace váhového systému na paletový vozík

Pro správnou funkci váhového systému je zapotřebí zvolit vhodnou konstrukci vozíku. Tvar a rozměry konstrukce vozíku závisí především na typu senzoru, jeho umístění, velikosti a počtu senzorů. Kromě senzorů však konstrukci ovlivňuje i velikost a umístění převodníků a displeje. Dále je nutno vyřešit vedení kabelů od senzoru do převodníku a z převodníku do displeje. Převodník a displej mohou být umístěny separátně, případně displej může být součástí převodníku, přičemž pro oba případy je nutno zvolit jinou konstrukci. V některých případech, jako například u hydraulického či pneumatického snímače, není převodník potřeba. Zde je nutno vyřešit pouze vedení kapalného, resp. plynného média do manometru.

2.3.1 Tenzometrický snímač

Nejčastěji používanými snímači jsou snímače tenzometrické, které se zpravidla umísťují do dělených ližin paletového vozíku. Snímače jsou v každé z ližin umístěny ve stejných vzdálenostech. Tím se zajistí správná funkce váhového systému. Displej bývá součástí převodníku, který je nejčastěji uložen na horní ploše těla paletového vozíku. Displej však může být od převodníku oddělen a umístěn například na madlo tažné oje. Možností, jak v tomto případě uložit převodník je několik. Umístěn může být opět na horní ploše těla vozíku, případně na jeho zadní stranu. Tato řešení umístění displeje a převodníku lze aplikovat i na jiné druhy senzorů, jako je optický.

2.3.2 Optický senzor

Optický senzor, jak již bylo zmíněno výše, je možno aplikovat ve dvou základních provedeních. Prvním z těchto provedení je optický snímač na principu volného svazku fotonů. Opět je zapotřebí dělených ližin, kdy je snímač uložen na spodní ližině a horní ližina složí jakožto odrazná plocha. Dále je nutno vyřešit posuv horní ližiny vůči spodní takovým způsobem, aby bylo možné změřit změnu polohy. Jedním z možných řešení je uložení na pružinách. To si lze představit jako několik pružin řazených paralelně po vnitřních stranách dělených ližin. Pokud je známá tuhost pružin, jejich počáteční délka a změna délky vlivem zatížení, lze tak dopočítat zátěžnou sílu. Je nutno vyřešit správné posunutí horní ližiny vůči spodní jen v jednom směru. Toho se dá docílit přidáním vodících drážek. Dále je zapotřebí zajistit horní polohu, která je zároveň i maximální vzdáleností mezi ližinami. Při nezajištění by mohlo při odlehčení dojít k rozebrání systému ližin. Toho lze dosáhnout přidáním zarážky nebo jiného podobného konstrukčního prvku.

Druhé provedení optického senzoru pracuje se stejným systémem posuvu ližin vůči sobě. Liší se však v senzoru. Toto provedení nepracuje na principu volného svazku fotonů, nýbrž na principu optického vlákna. Horní i spodní ližina je vybavena drážkami, které do sebe zapadají. Mezi těmito drážkami je vedeno optické vlákno. Při zatížení dojde k posunutí horní ližiny vůči spodní a tím k jejich přiblížení. Z důvodu přiblížení se optické vlákno deformuje mezi drážkami, čímž dochází ke snížení výstupního optického toku. Vlivem závislosti změny optického toku na deformaci vlákna, a tedy na změně vzdálenosti mezi horní a spodní ližinou lze zjistit zátěžnou sílu. Opět je nutno znát tuhost pružin, počáteční

délku a změřenou změnu délky.

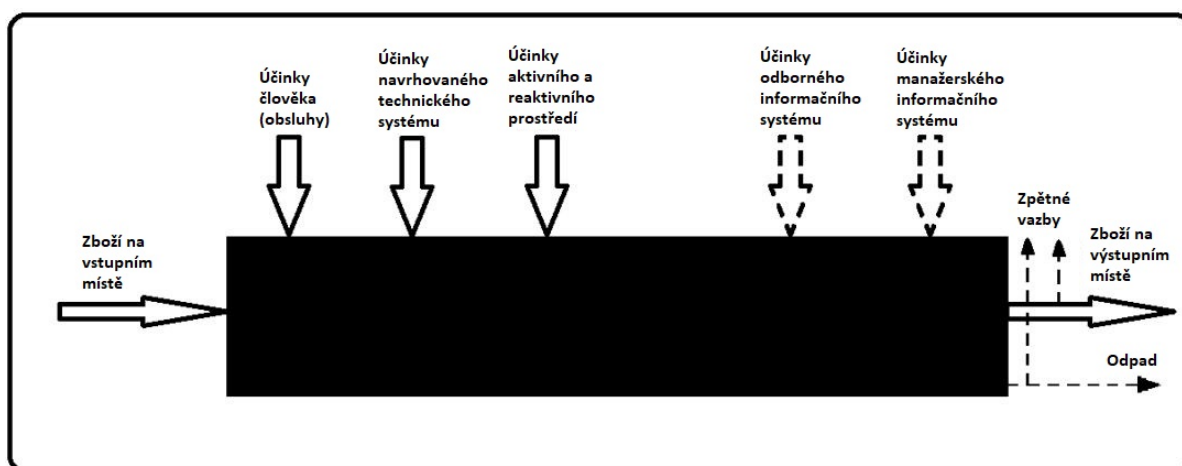
2.3.3 Tlakový snímač pro hydraulickou kapalinu

Tato metoda je velice podobná metodě připojení hydraulické hadice na hydraulický válec. Tlakový snímač se připojí ze spodní části hydraulického válce přímo na komoru s vysokotlakou hydraulickou kapalinou nebo lépe, na rozvod této kapaliny. K tlakovému snímači jsou připojeny drátky vedoucí k manometru. Manometr může být, stejně jako v případě hydraulického nebo pneumatického snímače, umístěn na manipulační části tažné oje, případně v ní být integrován. Drátky vedoucí od snímače k manometru mohou být vedeny vnitřní částí tažné oje. Vedení a výměna drátků je však v porovnání s hydraulickou hadicí mnohem jednodušší z důvodu větší ohebnosti a malého průměru vodiče.

3 Koncepční návrhy

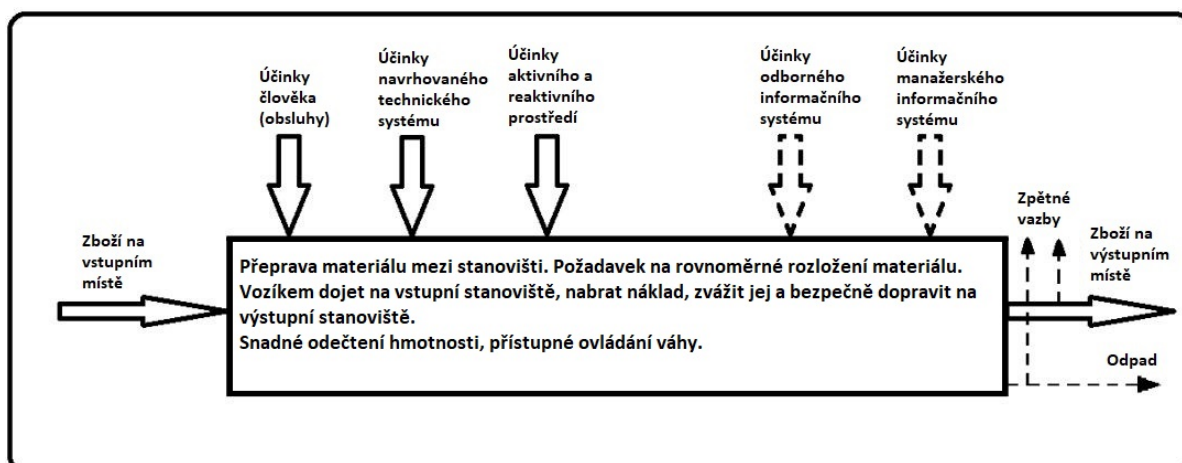
Tato část bakalářské práce se bude zabývat jednotlivými koncepčními návrhy, jejich porovnáním SWOT analýzou a výběru nejvhodnější varianty. U každé z navržených koncepčních variant bude popsán princip funkce. Ke každé variantě bude dále přiložena skica, ze které bude tento princip patrný. Dále z ní bude zřejmý typ senzoru a jeho umístění.

3.1 Návrh černé skříňky



Obrázek 3.1: Návrh černé skříňky

3.2 Návrh technologie provozního transformačního procesu



Obrázek 3.2: Návrh technologie provozního transformačního procesu

3.3 Požadavky na paletový vozík

Na paletový vozík jsou kladeny požadavky z několika hledisek. Nejčastěji se jedná o základní požadavky z transformačního, technického, ekonomického a ergonomického hlediska.

1. Požadavky z hlediska transformačního

- Snadný pohyb
- Nosnost
- Jednoduché ovládání
- Změna výšky ližin
- Životnost
- Rychlé a přesné vážení

2. Požadavky z hlediska technického

- Dostupnost technologie výroby
- Snadná a přesná výroba
- Jednoduchá montáž a demontáž
- Přístupnost k jednotlivým částem
- Servisování

3. Požadavky z hlediska ekonomického

- Levný návrh
- Nízká cena výroby (v závislosti na technologii výroby)
- Cenová dostupnost senzorů
- Výhodná montáž a demontáž

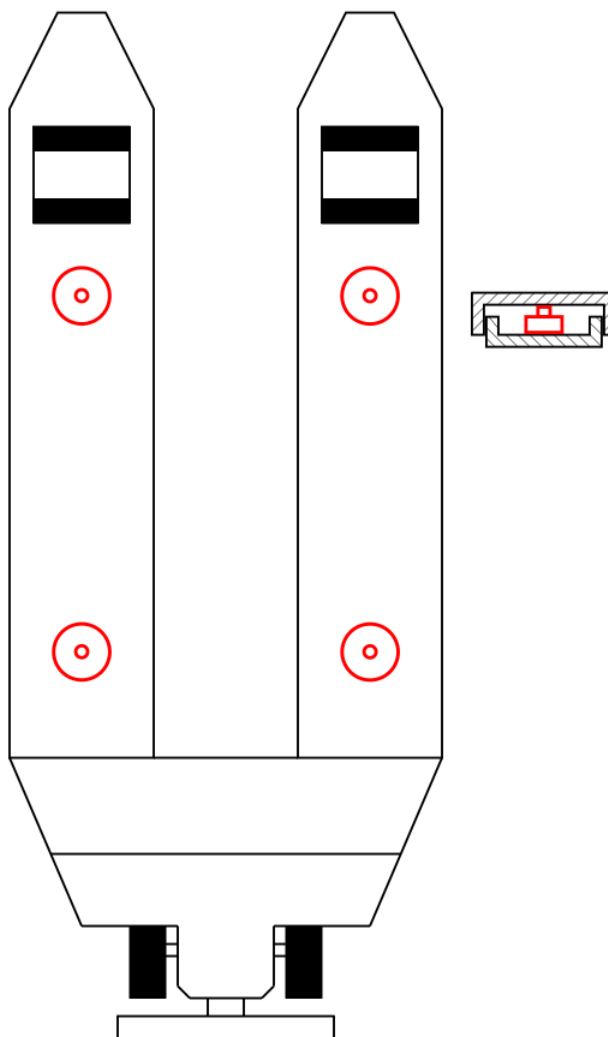
4. Požadavky z hlediska ergonomického

- Bezpečnost proti poškození
- Ochrana proti pohybu zátěže
- Uvedení do pohybu a zastavení
- Protiskluzové madlo

3.4 Návrh jednotlivých koncepčních variant

Jak již bylo zmíněno výše, možností vážení nákladu na paletovém vozíku je celá řada. V předchozích kapitolách byly uvedeny příklady existujících paletových vozíků se zabudovaným váhovým systémem. Dále byly popsány principy některých váhových senzorů, z nichž budou vycházet následující koncepční varianty.

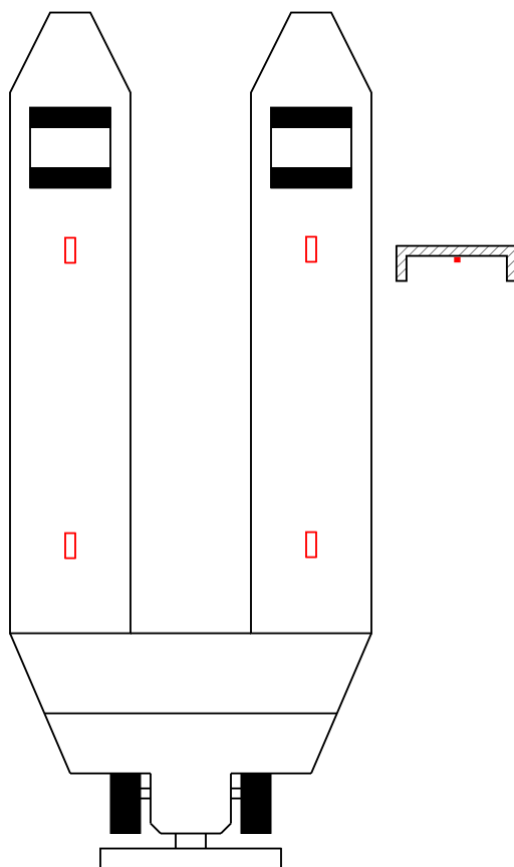
3.4.1 Varianta 1 - tenzometrická váhová buňka



Obrázek 3.3: Varianta 1 - Tenzometrická váhová buňka

Tato varianta je běžně používána v průmyslové praxi. Nejčastěji se jedná o variantu se čtyřmi váhovými buňkami. V případě dlouhých ližin nebo tam, kde to spotřebitel požaduje, se používá více váhových buněk. Váhové buňky jsou v obou ližinách umístěny na identických místech, pro zajištění co nejpřesnějšího měření bez zanášení chyb. Pro převod signálu z tenzometrického snímače do digitální podoby existuje mnoho převodníků. Jedním z nich je převodník TE485 firmy Papouch s.r.o.. Převodník lze uložit na zadní část těla vozíku. Jedná se o přesný nízko šumový A/D (analog / digital) převodník používaný pro měření tlaku, hmotnosti, deformace a krouticích momentů. Tento převodník disponuje analýzou vlivu teploty a tlaku na mechanickou stálost materiálů.[16] Displej pro zobrazení hodnot lze umístit na manipulační část tažné oje, případně na horní část těla vozíku. V případě, kdy bude zobrazovací displej umístěn na tažné oji bude vznikat požadavek na malé rozměry displeje, pro její bezproblémové držení. Tomu vyhovuje displej řady TDS s výškou znaku 10 mm od firmy Papouch s.r.o..[6]

3.4.2 Varianta 2 - tenzometr

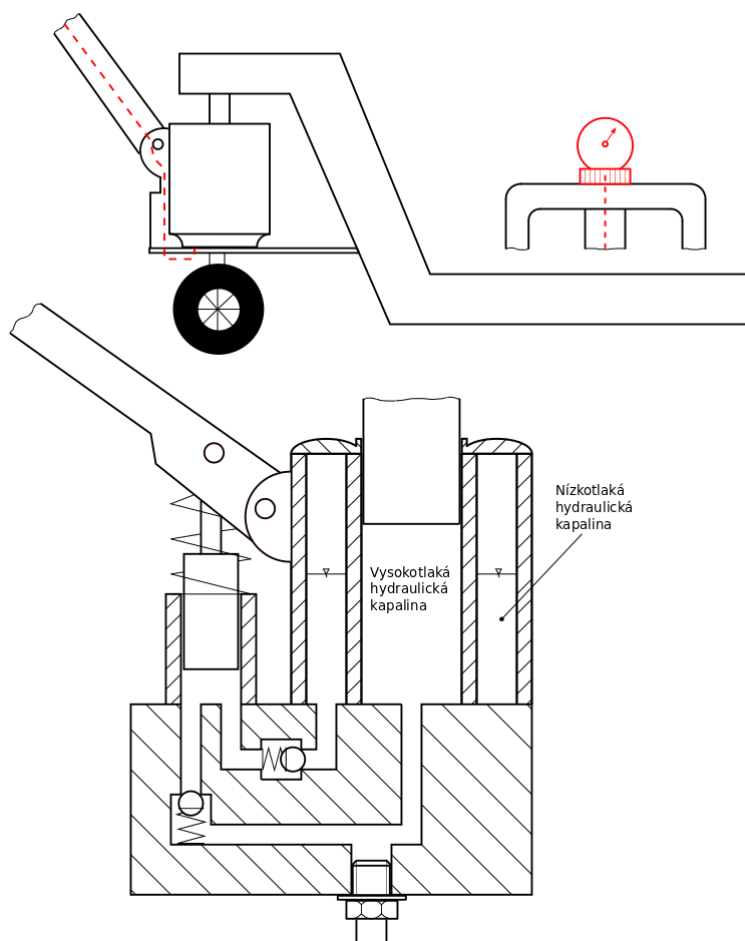


Obrázek 3.4: Varianta 2 - Tenzometr

Tato varianta se neskládá z tenzometrických buněk, jako tomu bylo u varianty 1, nýbrž ze samostatných tenzometrů. Díky tomu odpadá nutnost dělených ližin, čímž se dosáhne jednodušší výroby, montáže, nižší ceny a snadnější servisní údržby. S tím souvisí jednodušší aplikace tenzometrů a jejich snadnější výměna, což je oproti předchozí variantě značná výhoda. V případě potřeby lze snadno přidat, resp. odebrat jeden či více tenzometrů. Jednotlivé tenzometry lze v případě nutnosti přemístit na jiné místo ližin. Jistou nevýhodou však mohou být nekryté tenzometry a kabeláž, takže může dojít ke snadnějšímu mechanickému poškození. Stejně jako ve variantě 1 je možné použít převodník TE485 a displej řady TDS s výškou znaku 10 mm se stejným umístěním.

3.4.3 Varianta 3 - tlakový snímač pro hydraulickou kapalinu

V tomto případě dochází k měření hmotnosti naloženého nákladu přímo v hydraulickém pístu vozíku. Tlak pracovního média je měřen tlakovým snímačem hydraulické kapaliny umístěným ve spodní části hydraulického válce. Snímač je napojen přímo na rozvod vysokotlaké hydraulické kapaliny. Toho lze dosáhnout vhodným konstrukčním návrhem, případně konstrukční úpravou již existujícího pístu. Drátky vedoucí k manometru umístěnému na manipulační části tažné oje jsou připojeny k tlakovému snímači, přičemž je možno je vést vnitřní částí tažné oje, čímž jsou chráněny před mechanickým poškozením.



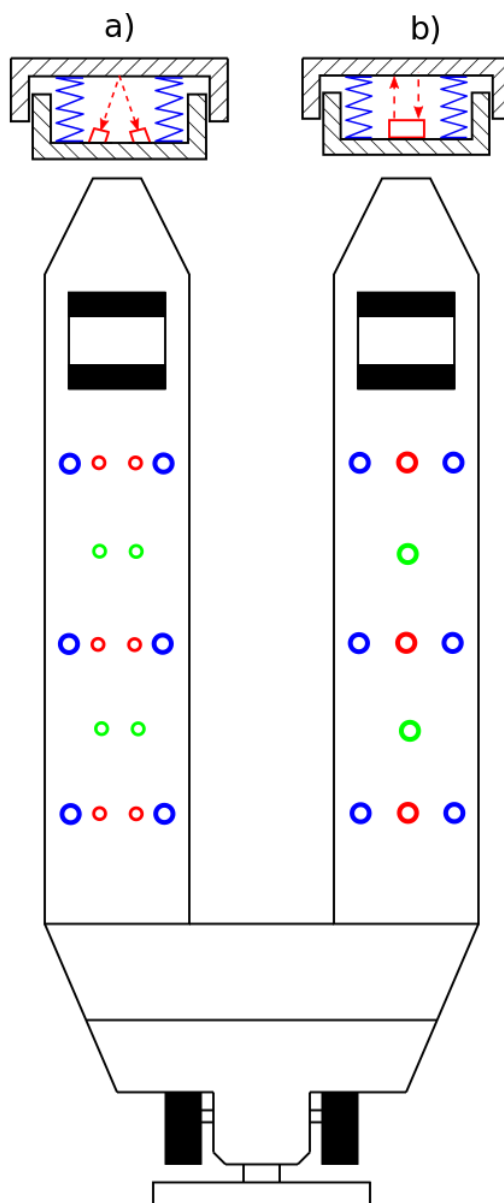
Obrázek 3.5: Varianta 3 - Tlakový snímač pro hydraulickou kapalinu

3.4.4 Varianta 4 - Optický senzor na principu volného svazku fotonů

Tato varianta již byla částečně popsána výše. Základním principem je použití několika optických senzorů v obou ližinách. Stejně jako u tenzometrického měření je zapotřebí, aby senzory byly v obou ližinách umístěny na stejných místech. Kromě senzorů je však v každé ližině po obou stranách umístěno několik pružin. Polohy jednotlivých pružin v obou ližinách musí být stejné. Při zatížení horní ližiny dojde ke stlačení pružin o určitou hodnotu čímž dojde k přiblížení horní ližiny vůči spodní. Tato změna délky je zaznamenána optickým senzorem a poslána do převodníku, kde je přepočítána na hmotnost. Je nutné znát počáteční délku pružin a jejich tuhost, která musí být pro všechny pružiny stejná. Výhodou této metody je vysoká přesnost měření, sestávající z vysoké citlivosti optických senzorů.

Pro značnou úsporu místa a jednodušší montáž je lépe použít jeden snímač sloužící jako vysílač i přijímač.

Vlivem únavy materiálu pružin však bude v průběhu času docházet ke změnám tuhosti a tím i k nepřesnému měření. Toho se lze vyvarovat výměnou pružin po určitém počtu zatížení. Případně je možné na základě laboratorních měření vykreslit křivku únavy materiálu v závislosti na počtu zátěžných cyklů. Křivku lze vygenerovat pro různé hodnoty zatížení a následně aproximovat. Výsledná hodnota zatížení bude ovlivněna touto křiv-



Obrázek 3.6: Varianta 4

kou. Převodník musí disponovat možností počítat zátěžné cykly, aby bylo možné s touto křivkou pracovat.

Další nevýhodou je kmitání pružin, které přímo ovlivňuje samotné měření. Po naložení nákladu dojde k rozkmitání pružin. Pro jednoznačnost měření je nutno setrvat do útlumu pružin, kdy se taktéž ustálí hodnota změny délky. Další rozkmitání pružin vzniká pohybem vozíku po podlaze. Platí pravidlo - čím drsnější podlaha, tím větší kmity. Toho se lze vyvarovat přepočtem kmitů do střední hodnoty, kdy lze téměř okamžitě získat výsledek. Tento výsledek však bude vlivem přepočtu značně nepřesný.

Zároveň je nutno zajistit maximální horní i dolní polohu obou částí ližiny. Obojí lze zajistit vhodným konstrukčním prvkem. Dolní polohu je možno zajistit kolíčky pevně spojenými s horní, případně spodní částí ližiny. Po dosednutí kolíčku na druhou část ližiny již dále nedochází ke změnám polohy vlivem deformace pružin. Jedná se o pojistku vůči nadměrnému zatěžování, které by mohlo mít za následek snížení jejich životnosti. Zároveň však

dochází k eliminaci rizika mechanického poškození senzoru, ke kterému by mohlo dojít při nadměrné deformaci pružin. Tímto vlivem by horní ližina dosedla na senzor a došlo by k jeho poškození vlivem tlaku ližiny. To se dá pojistit i takovou volbou pružin, jejichž maximální možná deformace je shodná s maximální dolní polohou. Maximální horní polohu ližin je možno zajistit jistým přesahem okrajů vůči sobě na určitých místech ližin. V případě, kdy by tento přesah byl po celé délce ližiny, došlo by ke značnému ztížení montáže i demontáže, přičemž by hrozilo, že montáž i demontáž bude nemožná. Pokud však bude přesah jen na určitých úsecích a v určité délce, montáž i demontáž bude možné provést za použití například páčidla či jiných vhodných nebo speciálních nástrojů k tomu určených.

4 SWOT analýza

SWOT analýza je základním nástrojem pro strategické plánování. Skládá se ze dvou oblastí, přičemž každá z nich obsahuje dvě podoblasti.[21]

1. Interní analýza [21]

- Strengths (Silné stránky)
- Weaknesses (Slabé stránky)

2. Externí analýza [21]

- Opportunities (Příležitosti)
- Threats (Hrozby)

Interní analýza se týká všeho, co má svůj původ v organizaci a lze ji přímo ovlivnit. Externí analýza pochází z vnějšího prostředí a není možné ji nijak ovlivnit. Aby SWOT analýza byla správná, je zapotřebí, aby ve všech čtyřech podoblastech byly zaneseny určité faktory. V opačném případě je SWOT analýza nesprávná a je úmyslně vylepšována, či naopak zhoršována.[21]

V této podkapitole bude vypracována SWOT analýza pro každou výše popsanou variantu a ty budou následně porovnány. Porovnávání budou z hlediska technického, ekonomického, transformačního a ergonomického.

Jistou nevýhodou SWOT analýzy je subjektivní hodnocení daných kritérií. Toto hodnocení by však nemělo být spontánní a mělo by se opírat o jisté důkazy a úvahy, ze kterých se následně bude vycházet. Hodnocení kritérií jednotlivých variant v této práci je opřeno o úvahu z kapitoly 4.1, dále z poznatků uvedených v předchozí části této práce a informací získaných z citovaných zdrojů použitých pro sepsání předchozích kapitol. Některá kritéria, vyskytující se především v ergonomickém hledisku, uvažují, že se daný návrh skutečně vyrábí a nabízí na trhu.

4.1 Kritéria SWOT analýzy

Nejprve je nutno vytvořit kritéria, podle kterých budou všechny varianty posuzovány. Kritéria budou rozdělena do oblastí interní a externí analýzy, resp. do transformačního, technického, ekonomického a ergonomického hlediska. Všechny kritéria a jejich rozdělení do silných a slabých stránek, resp. do příležitostí a hrozeb jsou uvedeny v rozhodovací tabulce, přičemž zde je uvedena úvaha, podle které byla tato kritéria zvolena.

4.1.1 Transformační hledisko

Hmotnost vozíku bude vyšší než u vozíku bez váhového systému. Rozhodující vliv bude mít váha obou částí ližin, váha sensorů, převodníku, kabeláže a displeje. Váha vozíku může mít vliv na manipulaci s vozíkem, kdy se zvyšující se váhou dochází ke zhoršení manipulace. Životnost vozíku vysoce souvisí s frekvencí použití a zároveň s prostředím, ve kterém se vozík používá. Pokud bude vozík používán v nevhodném prostředí, například

po nerovné podlaze, hrozí mechanické poškození senzorů vlivem kmitání nákladu. Při poškození bude senzor pracovat nesprávně, při velkém rozsahu poškození nebude pracovat vůbec.

Z důvodu zajištění správného používání vozíku zákazníkem, vedoucím ke snížení rizika poškození výrobku je možno vytvořit podrobný návod pro použití jak v papírové, tak i digitální podobě. Z hlediska konkurenceschopnosti je výhodné navrhnout takový systém, jehož obsluha bude velmi jednoduchá.

4.1.2 Technologické hledisko

Aby byl vozík vyrobitelný, je zapotřebí vytvořit vhodný návrh výroby. V případě speciálních konstrukčních prvků je dražší výroba a je zapotřebí vytvořit vhodný technologický návrh, případně disponovat kvalifikovanějšími pracovníky. Z důvodu montáže a demontáže je v některých případech zapotřebí speciálních nástrojů. Pro výrobu většího počtu kusů a časovou úsporu je nutné provést rozšíření výroby, případně její automatizaci. S tím souvisí odběr většího množství nakupovaných kusů, kdy je možné získat množstevní cenu a tím snížit náklady. Zároveň je zapotřebí disponovat dostatkem skladovacích prostor. Dále je třeba vzít v potaz moderní materiály, které mohou být výhodné z hlediska fyzikálních vlastností a ekonomického hlediska. Pro časovou úsporu při expedici může být výhodnější použití speciálních manipulačních zařízení, ovšem opět je nutno vzít v úvahu cenu těchto zařízení a zvážit, zda se je vyplatí pořizovat. S výrobou úzce souvisí i výzkum nových technologií, vlivem kterého může dojít k vyvinutí nových technologií výroby či montáže a tím i k vyšší konkurenceschopnosti a zároveň k minimalizaci rizika, že o daný systém nebude zájem.

4.1.3 Ekonomické hledisko

Při návrhu vozíku je nutno vzít v potaz ekonomické hledisko, především pak prodejní cenu, která je pro potenciálního zákazníka rozhodující a určuje zároveň konkurenceschopnost daného výrobku. Kromě výdajů na návrh, výrobu a montáž je třeba počítat i s výdaji na ekologickou likvidaci, která úzce souvisí s použitými materiály. Před samotnou výrobou prodejních kusů je potřeba odzkoušet navržený systém, proto nás bude zajímat také cena výroby prototypu.

Z pohledu ekonomického hlediska jsou však důležitými a nezbytnými výdaji platy zaměstnanců, přičemž tato suma roste se zvyšující se kvalifikací pracovníků. Z tohoto důvodu je nutno se zamyslet, zda je nezbytné pro danou variantu disponovat vysoce kvalifikovanými pracovníky. Ovšem při méně kvalifikované pracovní síle existuje riziko hůře provedené práce a ztráty zákazníků. Kromě rizika ztráty zákazníků existuje ještě riziko ztráty poptávky. Toto riziko úzce souvisí s daným váhovým systémem, přesností jeho vážení, prodejní cenou a zároveň vhodnějších konkurenčních produktů. Proto je zapotřebí navrhnout co nejlevnější a velice přesný váhový systém. V případě levného a kvalitního váhového systému, kdy bude zákazník spokojen je možno se zákazníkem uzavřít dlouhodobý kontrakt. Značnou hrozbou z pohledu ekonomiky je růst inflace a zvýšení ceny nakupovaných částí. V případě rozšíření výroby a její eventuální automatizace také zvýšení ceny výrobních strojů z důvodu jejich stálé inovace.

4.1.4 Ergonomické hledisko

Nezbytným hlediskem pro spokojenost zákazníka a naplnění norem je ergonomické a bezpečnostní hledisko. Pro zajištění bezpečnosti je nutno navrhnout jisté bezpečnostní prvky. Typickým příkladem může být přidání audiovizuálních bezpečnostních prvků, jakými mohou být například reflexní prvky nebo vzduchová houkačka.

Kromě těchto prvků je třeba vzít v potaz i čistitelnost vozíku. V případě špatné čistitelnosti je nezbytné použít syntetická čisticidla poškozující zdraví. Pro zamezení úrazu vlivem přejetí chodidla či namotání pracovního oděvu, čímž může dojít k pádu či odření kůže, je třeba zakrýt rotující části, v tomto případě pomocná a řídicí kolečka. Avšak zakrytí koleček souvisí se zhoršenou manipulací. Je také zapotřebí odstranit všechny ostré hrany, o které by se obsluha mohla zranit a přivodit si otravu krve či jiné zdravotní komplikace. Pro jednoduchou manipulaci a snadné ovládání vozíku je třeba myslet na ergonomičnost daného návrhu. Při špatné ergonomii bude vlivem manipulace s vozíkem vznikat zbytečná námaha obsluhy a s tím spojené zdravotní komplikace. To se týká především zdvihu nákladu, uvedení vozíku do pohybu a z pohybu do klidu.

Při dodržení všech bezpečnostních a ergonomických předpisů, uvedených v potřebných normách, je vysoká pravděpodobnost získání potřebných certifikátů zvyšujících prestiž daných výrobků. Při vhodné volbě bezpečnostních prvků a konstrukčních úprav, zvyšujících bezpečnost a ergonomičnost, je možno stanovit nový bezpečnostní standard, vlivem kterého dojde ke zvýšení bezpečnosti i u konkurenčních výrobků.

4.1.5 Vyhodnocení SWOT analýzy

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Silné stránky	16	15,6	14,6	14,1
Slabé stránky	11,1	11,3	10,2	13
Příležitosti	16,7	15,6	16,4	15,6
Hrozby	12	11,7	11,4	11,9
Celkem	9,6	8,2	9,4	4,8

Tabulka 4.1: Výběr optimální varianty

Z provedené SWOT analýzy, viz příloha B, která byla vytvořena pro každou z navržených variant, je zapotřebí vybrat optimální řešení. Toho lze docílit sečtením hodnocení silných stránek a příležitostí a následným odečtením součtu slabých stránek a hrozeb. Nejvýhodnější variantou je ta, jejíž celková hodnota je nejvyšší. Z Tabulky 4.1 vyplývá, že nejvýhodnější variantou je varianta 1, neboli váhový systém s tenzometrickou váhovou buňkou.

5 Rozpracování koncepčního návrhu

Tato kapitola se bude zabývat návrhem koncepčního řešení váhového systému, vybraného v předchozí kapitole. Jedná se o vážení nákladu za pomoci tenzometrických váhových buněk. V této kapitole bude uvedena bližší specifikace daného paletového vozíku, typ a umístění senzorů, umístění A/D převodníku a displeje pro zobrazení hmotnosti. Toto bude zobrazeno na zjednodušeném 3D modelu vytvořeném v programu PTC Creo 5.0.

5.1 Specifikace vozíku

Mezi základní specifikace patří rozměry vozíku, především potom rozměry obdélníku opsaného ližinám a jejich výška. Mezi neméně důležité atributy patří také nosnost, rozměry obou polovin ližiny, jejich maximální a minimální zdvih, průměr řídicích a pomocných koleček a jejich rozteč.

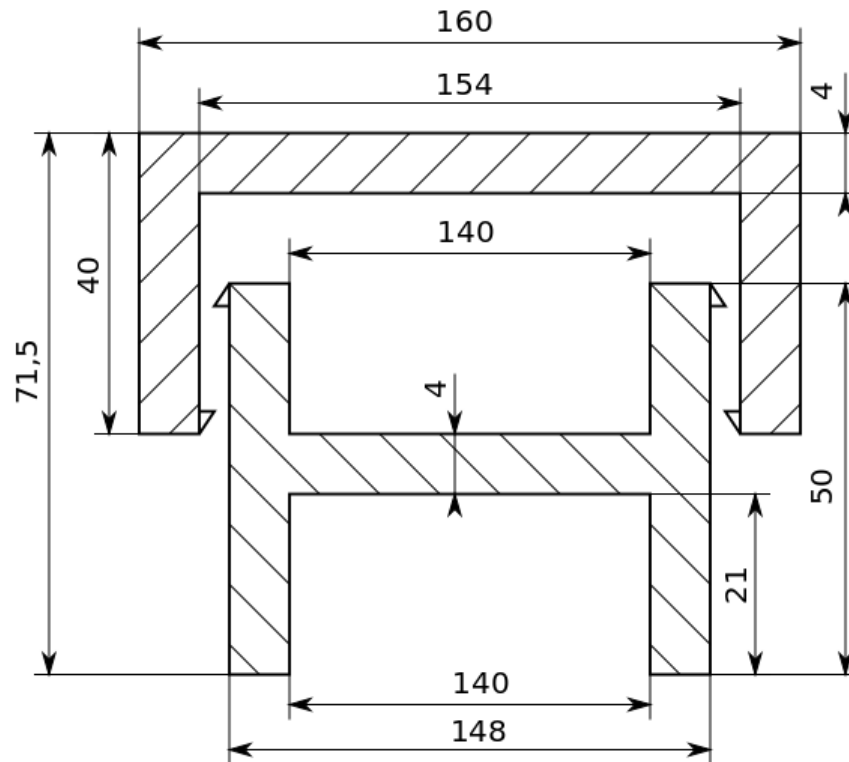
Atribut	Hodnota	Jednotka
Nosnost	2000	[kg]
Rozměry obdélníku opsaného ližinám	2000 × 540	[mm]
Maximální výška sestavených ližin	91,5	[mm]
Celková výška spodní poloviny ližiny	50	[mm]
Celková výška horní poloviny ližiny	70	[mm]
Maximální zdvih	204,5	[mm]
Minimální zdvih	92	[mm]
Průměr pomocných koleček	60	[mm]
Průměr řídicích koleček	200	[mm]
Rozteč mezi řídicími a pomocnými kolečky	2015	[mm]

Tabulka 5.1: Atributy paletového vozíku

5.2 Průřez ližiny

Na obrázku 5.1 je zobrazen skutečný průřez ližiny s navrženými parametry. Tyto rozměry budou využity pro kontrolní výpočet viz příloha A. Z důvodu zjednodušení bude skutečný profil nahrazen profilem zjednodušeným. Z tohoto důvodu budou některé rozměry pozměněny.

Na obrázku 5.1 si lze povšimnout čtyř výstupků trojúhelníkového tvaru. Jedná se o zábrany zamezující samovolnému rozebrání ližiny. Tyto zábrany je nutno vhodně umístit jak po vnitřním obvodu její horní části, tak i po vnějším obvodu spodní části. Takto zvolená konstrukce umožní zasunutí s použitím vhodného přípravku a bez větší námahy. Znázorněny jsou na obrázku 5.2 a na obrázku 5.3



Obrázek 5.1: Skutečný průřez ližiny



Obrázek 5.2: Zábrany proti samovolnému uvolnění



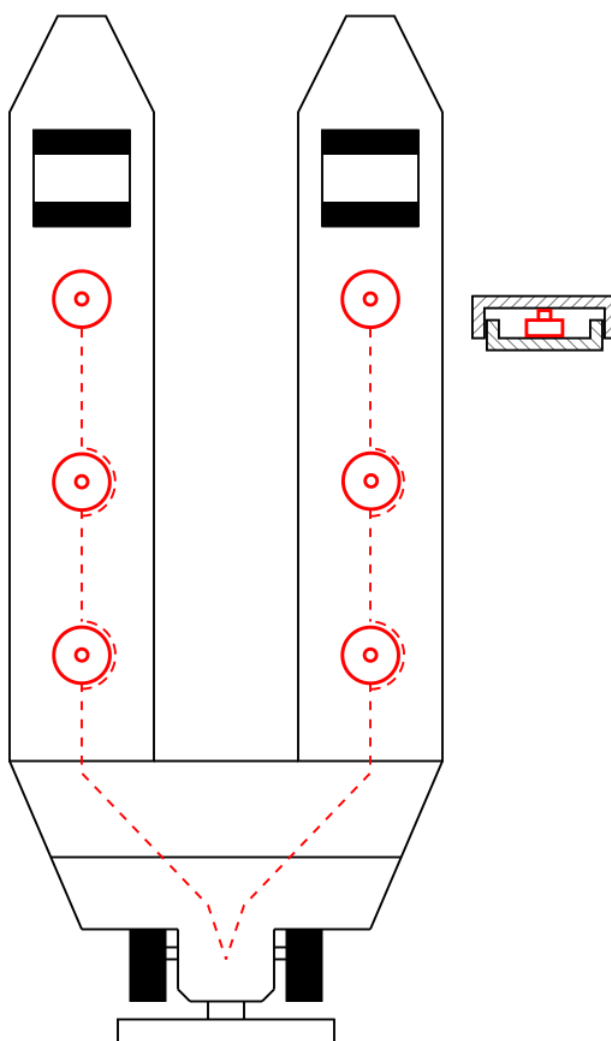
Obrázek 5.3: Pohled na zábrany - bokorys

5.3 Umístění váhového systému na paletovém vozíku

Pro zajištění správné funkce, snadné montáže či demontáže, minimalizace namáhání obsluhy a zajištění ochrany před poškozením je zapotřebí dílčí části váhového systému vhodně umístit. Jedná se především o umístění senzorů, převodníku, displeje a kabeláže. Tato umístění budou zřejmá z 3D modelu.

5.3.1 Umístění senzoru

Varianta s dvěma váhovými senzory je uvedena na obrázku 3.3. Každá ližina obsahuje dva váhové senzory, celý vozík tedy obsahuje čtyři čidla. Ve spodním dílu ližiny je vyrobeno vybrání pro zajištění polohy senzoru. Při symetrickém rozložení zatížení, po celé délce



Obrázek 5.4: Váhový systém se třemi tenzometrickými buňkami

obou ližin, dojde k rozložení váhy mezi všechny čtyři senzory. Na každý z nich se tedy přenesou čtvrtina zatížení. Pokud bude vozík zatížen dvěma tunami, na každý senzor bude působit zatížení o velikosti pět set kilogramů. Takový zátěžný stav je pouze idealizovaný, v reálné praxi dochází k nerovnoměrnému zatížení, kdy jeden senzor může být namáhán

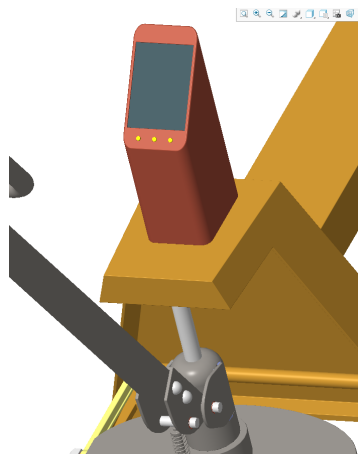
více než zbylé tři. Je tak zapotřebí zvolit senzory o dostatečné nosnosti a zároveň i vhodnou vzdálenost mezi nimi. Výpočet přesné vzdálenosti mezi senzory by se prováděl až u finálního konstrukčního návrhu. Vycházelo by se z rozložení napětí při zatížení a z praktických testů. V běžné průmyslové praxi bývají palety nejvíce naložené ve středu a méně u krajů. V takovém případě bývá napětí působící na paletu největší uprostřed. Z toho vyplývá, že aby docházelo k co nejpřesnějšímu měření, je zapotřebí senzory umístit co nejblíže středu profilu. Mnohdy se na paletových vozících se převáží i jiné druhy nákladu, než pouze palety. Při nerovnoměrném zatížení bude docházet k nepřesnému měření. V nejhorším případě může dojít i k poškození vedení z důvodu chybějící podpory v podobě senzoru umístěného v přední či zadní části ližiny.

Těmto problémům se dá předejít přidáním jednoho či více senzorů do každé ližiny. Na obrázku 5.4 je uveden příklad se třemi senzory včetně znázorněného vedení kabeláže. Jeden senzor je v přední části, druhý v zadní a třetí mezi nimi. Při rovnoměrném zatížení dvěma tunami v celé délce ližin by každý senzor přenášel hmotnost přibližně tři sta třicet tři kilogramů. V reálné praxi však opět některé senzory budou zatěžovány více a jiné méně. V tomto případě bude také docházet k rovnoměrnějšímu rozložení napětí mezi jednotlivé váhové buňky. Obecně bude platit, že čím více senzorů, tím přesnější měření, ale zároveň vyšší cena. Cena jedné tenzometrické buňky se pohybuje okolo pěti tisíc korun. Přidání jednoho senzoru do každé ližiny se tak prodraží přibližně o deset tisíc korun.

Ačkoliv by varianta se třemi váhovými buňkami byla dražší, předešlo by se tím mnohým problémům popsaným v prvním odstavci této podkapitoly. Do navržené koncepční varianty byly použity tři senzory v každé ližině, viz obrázek 5.4. Vedení kabeláže od senzorů je zobrazeno na obrázku 6.9.

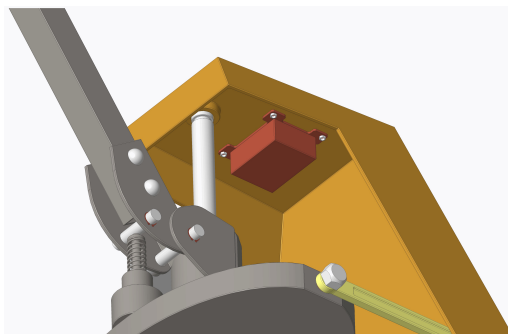
5.3.2 Umístění převodníku a LCD displeje

Převodník je možné umístit na více míst na rámu paletového vozíku. Jedno z vhodných umístění je uvedeno na obrázku 5.5. Jedná se o kombinaci převodníku a displeje. Toto umístění se velmi často využívá v průmyslové praxi. Je zde ale velké riziko poškození převodníku či displeje, především při nakládání na paletový vozík z jeřábu nebo při zavadění převodníkem o překážku.



Obrázek 5.5: Převodník s displejem

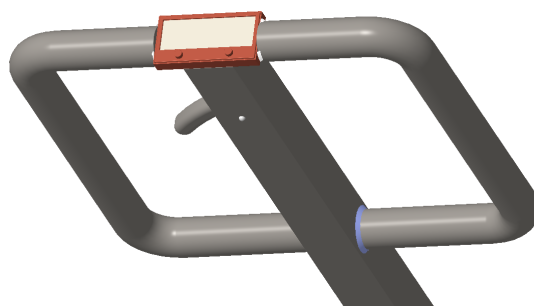
Do finálního návrhu byla vybrána varianta dle obrázku 5.6 a to z důvodu snadné montáže a značného krytí převodníku. Tím je sníženo riziko mechanického poškození. Jistou nevýhodou je vedení kabeláže, které je nutno pro minimalizaci rizika poškození vést po zadní straně rámu. K němu musí být připevněna za pomoci vhodných rozebíratelných prvků, nebo být vedena vnitřkem ochranné trubičky. Na obrázcích 6.13, 6.14 a 6.15 je zobrazeno vedení kabeláže vnitřkem ochranné trubičky.



Obrázek 5.6: Převodník pod tělem vozíku

Při umístění displeje je zapotřebí brát v potaz především ergonomické hledisko. Při nevhodném umístění může docházet k obtížnější obsluze i ke zhoršenému čtení údajů uvedených na displeji. V takových případech dochází ke zvýšenému namáhání obsluhy, s čímž mohou souviset zdravotní problémy. Displej je možno umístit na rám paletového vozíku dle obrázku 5.5, kdy je součástí převodníku. O několik řádků výše jsou však popsány důvody, proč toto umístění nebylo do návrhu vybráno.

Dalším vhodným umístěním, vybraným do koncepční varianty, je umístění na tažné oji, viz obrázek 5.7. V tomto případě jsou rozměry displeje značně omezené a to velikostí madla tažné oje. Díky malým rozměrům je displej částečně chráněn madlem, ve kterém je umístěn, proti mechanickému poškození. Zároveň není nijak výrazně omezen prostor pro držení madla a snadnou obsluhu vozíku. Pokud by byl displej příliš velký, prostor pro uchycení madla by byl omezený a zároveň by došlo ke zvýšení rizika jeho poškození.



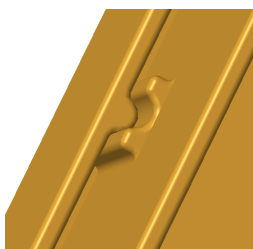
Obrázek 5.7: Displej v madle

K displeji musí být od převodníku vedena kabeláž. Nejbezpečnější možnost vedení kabeláže v případě umístění displeje v madle tažné oje je vedení jejím vnitřkem. Tím je chráněna proti mechanickému poškození. Od převodníku k tažné oji je nejvhodnější vedení kabeláže vnitřkem ochranné trubičky, která však musí být dobře ohebná z důvodu

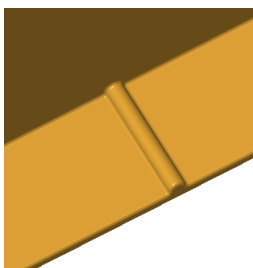
změny výšky vozíku. Vedení kabeláže od převodníku k displeji je znázorněno na obrázcích 6.15, 6.16, 6.17.

5.4 Návrh vedení ližin

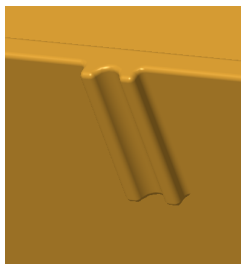
Pro správnou funkci váhového systému je zapotřebí zajistit vedení horní ližiny vůči spodní pouze ve vertikálním směru. V horizontálním směru musí být poloha obou částí ližiny zajištěna vhodným vedením proti podélnému i příčnému pohybu. Navržené vedení je zobrazeno na obrázcích 5.8, 5.9 a 5.10. Ve vedení musí být zajištěna minimální vůle, která však musí být dostatečně velká, aby v případě deformace ližiny nedošlo ke vzpěru a zamezení vertikálního pohybu. Toho lze dosáhnout i dostatečně pružným vedením, které lze vytvořit z polyuretanu či jiného vhodného pružného i pevného materiálu. Jestliže je vedení kovové s dostatečnou vůlí, lze jej spolu s celou částí ližiny vyrobit z jednoho kusu materiálu. V opačném případě by bylo zapotřebí jej k ližině upevnit vhodnými spojovacími prvky buď napevno, nebo rozebíratelně. V případě pevného spojení lze vedení nalisovat do připraveného otvoru v ližině. Koncepční varianta byla navržena s vedením vyrobeným spolu s ližinou z jednoho kusu materiálu, jak lze vidět na obrázcích 5.8, 5.9 a 5.10. Pro správnou funkci je tedy zapotřebí zajistit dostatečnou vůli mezi oběma částmi vedení.



Obrázek 5.8: Sestava vedení



Obrázek 5.9: Vedení v horní části ližiny



Obrázek 5.10: Vedení ve spodní části ližiny

5.5 Průhyb ližiny

Je zapotřebí zkontrolovat, zda navržené rozměry, jenž jsou uvedeny na obrázku 5.1 budou vyhovovat a nebude docházet k příliš velké deformaci ližiny, která by mohla vést ke zhoršené kvalitě měření a v krajním případě i k nevyhovujícímu výrobku. Tato hodnota vychází z tzv. „Mezního stavu použitelnosti“ a její výpočet je uveden v příloze A. Průhyb ližiny byl zkontrolován metodou konečných prvků (MKP). Dále byl proveden ruční výpočet průhybu. V této kapitole budou uvedeny výsledky obou výpočtů. Kompletní výpočty jsou uvedeny v příloze A, která je součástí této práce. Skutečný profil ližiny uvedený na obrázku 5.1 byl nahrazen zjednodušeným profilem zobrazeným na obrázcích A.8 a A.11 v příloze A.

5.5.1 Výsledek MKP

Z obrázku 5.11 je zřejmé, že MKP analýzou vyšel maximální průhyb 0,606 mm.



Obrázek 5.11: Výsledek MKP analýzy

5.5.2 Výsledek ručního výpočtu

$$v(x_v) = 7,13 \cdot 10^{-5} \text{ m} \doteq 0,0713 \text{ mm}$$

Ručním výpočtem byl zjištěn průhyb 0,0713 mm. Jedná se o značný rozdíl oproti průhybu zjištěnému MKP analýzou. Tento rozdíl může být způsoben dvěma hlavními problémy. Prvním problémem je skutečnost, že v ručním výpočtu byl uvažován jen průhyb ližiny po celé její délce bez deformace jejího průřezu.

Druhým problémem by mohlo být rozložení sil. V ručním výpočtu bylo bráno v potaz

nahrazení spojitého zatížení jednou osamělou silou umístěnou uprostřed nosníku. V MKP analýze bylo zatížení nasimulováno osamělou silou rozloženou po celé jeho délce.

5.6 Výběr jednotlivých částí paletového vozíku

5.6.1 Výběr senzoru

Z vybrané koncepční varianty je zřejmé, že se musí jednat o tenzometrickou váhovou buňku. Dále je zapotřebí vzít v potaz druh namáhání. Senzor bude umístěn uvnitř ližiny, která se skládá z pevné spodní části a pohyblivé horní části. Vlivem zatížení nákladem se horní část ližiny posune ve směru ližiny spodní. Tím dojde ke snížení vzdálenosti mezi nimi. Z toho plyne, že se jedná o namáhání tlakem. Dále je zapotřebí uvážit rozložení hmotnosti. V tabulce 5.1 bylo uvedeno, že maximální přípustná nosnost vozíku je 2000 kg. Vzhledem k tomu, že paletový vozík disponuje dvěma ližinami lze předpokládat zatížení každé ližiny hmotností 1000 kg. Dále v kapitole 5.3.1 bylo specifikováno, že v každé ližině budou umístěny 3 tenzometrické buňky. Jednoduchým výpočtem lze zjistit, že nosnost na jednu buňku je rovna přibližně 333 kg. Dále musí být brán zřetel na nerovnoměrné zatížení, které bude v praxi nastávat velice často a ne vždy bude dodržována maximální přípustná nosnost 2000 kg. Z uvedených důvodů je zapotřebí maximální přípustnou nosnost buňky zvýšit.

Při porovnání cen na adrese¹ dne [2019/11/29] byly ceny tenzometrických váhových buněk řady DINI ARGEO CPX pro zatížení 1000 kg a 2500 kg totožné. Proto byl vybrán senzor DINI ARGEO CPX s třídou přesnosti C3 s maximálním zatížením 2500 kg. Jedná se o tenzometrický nerezový tlakový snímač. Průměr senzoru je 82 mm s výškou 44 mm. Senzor je vhodný především pro plošinové váhy s vysokou váživostí. Senzor disponuje krytím IP68, díky čemuž je schopen přesného měření i v nepříznivých podmínkách. Senzor měří s přesností až 0,05 %, což odpovídá odchylce jednoho kilogramu při zatížení dvěma tisíci kilogramy. Stíněný kabel o délce 5 metrů se skládá ze čtyř izolovaných vodičů.[2] Tento



Obrázek 5.12: Tenzometrický váhový senzor DINI ARGEO (převzato z [2])

senzor plně vyhovuje požadavkům kladeným na paletový vozík. Celková nosnost senzoru je vyšší než maximální nosnost vozíku a zároveň mnohem větší, než je předpokládané

¹<https://www.tenzometricke-snimace.cz>

zatížení jednoho čidla. Tím je minimalizováno riziko poškození senzoru vlivem jeho přetížení. Rozměry senzoru korespondují s vnitřní šířkou spodní části ližiny 138 mm a zároveň nedochází k překročení maximální možné výšky 91,5 mm. Kabel je dodáván v délce pěti metrů, není tedy problém s omezením umístění senzoru z důvodu limitující délky kabelu.

5.6.2 Výběr převodníku

Převodník je zařízení sloužící pro převod vstupního signálu na signál výstupní. Nejčastěji je používán A/D převodník. Jak již název napovídá, jedná se o zařízení pro převod analogového signálu na signál digitální, jež jde zpracovat na číslicových počítačích. Pokud je signál v digitální podobě, lze s ním pracovat mnohem snáze, než když je v podobě analogové.[19]

Pro správné měření je nutné vybrat převodník, který bude schopen převést informaci o změně elektrického odporu na digitální číslo zobrazitelné na displeji. Vhodným převodníkem může být převodník TE485 firmy Papouch s.r.o.. Jedná se o přesný nízko šumový A/D převodník, který umožňuje převádět signál z měření tlaku, deformace a hmotnosti včetně diferenciálního vážení pro velice přesné určení hmotnosti. Převodník je schopen zaznamenávat až 50 změn signálu za vteřinu. Je vybaven softwarem, který umožňuje ukládat naměřené hodnoty v prostředí Windows. Převodník je nutno napájet napětím 8-30 V.[16] Pro napájení je možno k převodníku připojit externí baterii, která bude poža-

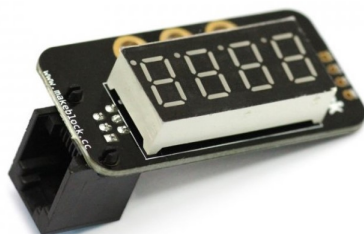


Obrázek 5.13: Převodník TE485 (převzato z [16])

dované napětí převodníku dodávat. Baterii lze dobít buďto po jejím vybití, nebo lze k vozíku přidělat dynamo, které by při pohybu vozíku baterii dobíjelo. Pro snadnější aplikaci na paletový vozík je vhodné převodník i baterii umístit do jednoho krytu, který bude následně namontován na vozík.

5.6.3 Výběr zobrazovacího zařízení-displeje

Zobrazovací zařízení je zařízení sloužící k zobrazování informací v různých podobách.[20] V případě váhového systému se jedná o zařízení zobrazující číselné vyjádření informace o hmotnosti daného nákladu. U paletového vozíku jsou důležitými parametry velikost a tvar displeje z důvodu vhodného uložení.



Obrázek 5.14: Segmentový displej (převzato z [12])

Pro účely zobrazení informace o hmotnosti je zcela dostačující segmentový displej. Segmenty mohou být tvořeny LED, OLED nebo tekutými krystaly. [20] Nabídka těchto displejů je velká, od jedno segmentového až po 7 a více segmentové displeje. Maximální nosnost vozíku byla stanovena na 2000 kg a přesnost váhového systému na této hodnotě je v rozmezí jednoho kilogramu. Z toho vyplývá, že pro účely použití na váhovém systému bude stačit 4-segmentový displej.

Jedním z vhodných displejů může být displej ME 7-segmentový sériový displej prodejce hwkitchen.cz. Jedná se o alfanumerický segmentový displej se čtyřmi číslicemi a desetinnou tečkou u každé z nich[12]. Displej disponuje nastavitelností jasu, čímž lze zajistit dobrou čitelnost v každém osvětlení. Displej lze snadno přes kabel připojit do převodníku.[12]

5.7 Zhodnocení navržené koncepční varianty

5.7.1 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické hodnocení bylo prováděno k cenám platným dne 30.6.2020.

V tabulce 5.2 jsou uvedeny ceny jednotlivých částí paletového vozíku vybraných v předchozích kapitolách.

Součást	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Celková cena [Kč]
Běžný vozík	5 281	1	5 281
Tenzometrická buňka	6 437	6	38 622
Displej	196	1	196
Převodník	2 690	1	2 690
Souhrn			46 789

Tabulka 5.2: Nacenění vozíku (převzato z [2], [7], [12], [16])

Z tabulky 5.2 vyplývá, že cena vozíku se bude pohybovat přibližně okolo 47 000 Kč. V této ceně však nejsou zahrnuty ceny za práci, spojovací a ochranné elementy, výroba krytů převodníku a displeje, výroba dělených ližin a další faktory podílející se na celkové ceně vozíku. Lze tedy předpokládat, že po započítání všech těchto faktorů se výsledná cena bude pohybovat v rozmezí 50-60 tisíc Kč. Zjištění přesné ceny by zahrnovalo mnohem důkladnější analýzu. Provedená analýza je však pro účely této práce dostačující. Dále jsou pro porovnání v tabulce 5.3 uvedeny ceny některých používaných průmyslových vozíků s vážním systémem.

Vozík	Výrobce	Cena [Kč]
AMW 22p	Jungheinrich s.r.o.	50 230-85 430
LHM230WIQ	Toyota Material Handling	19 179

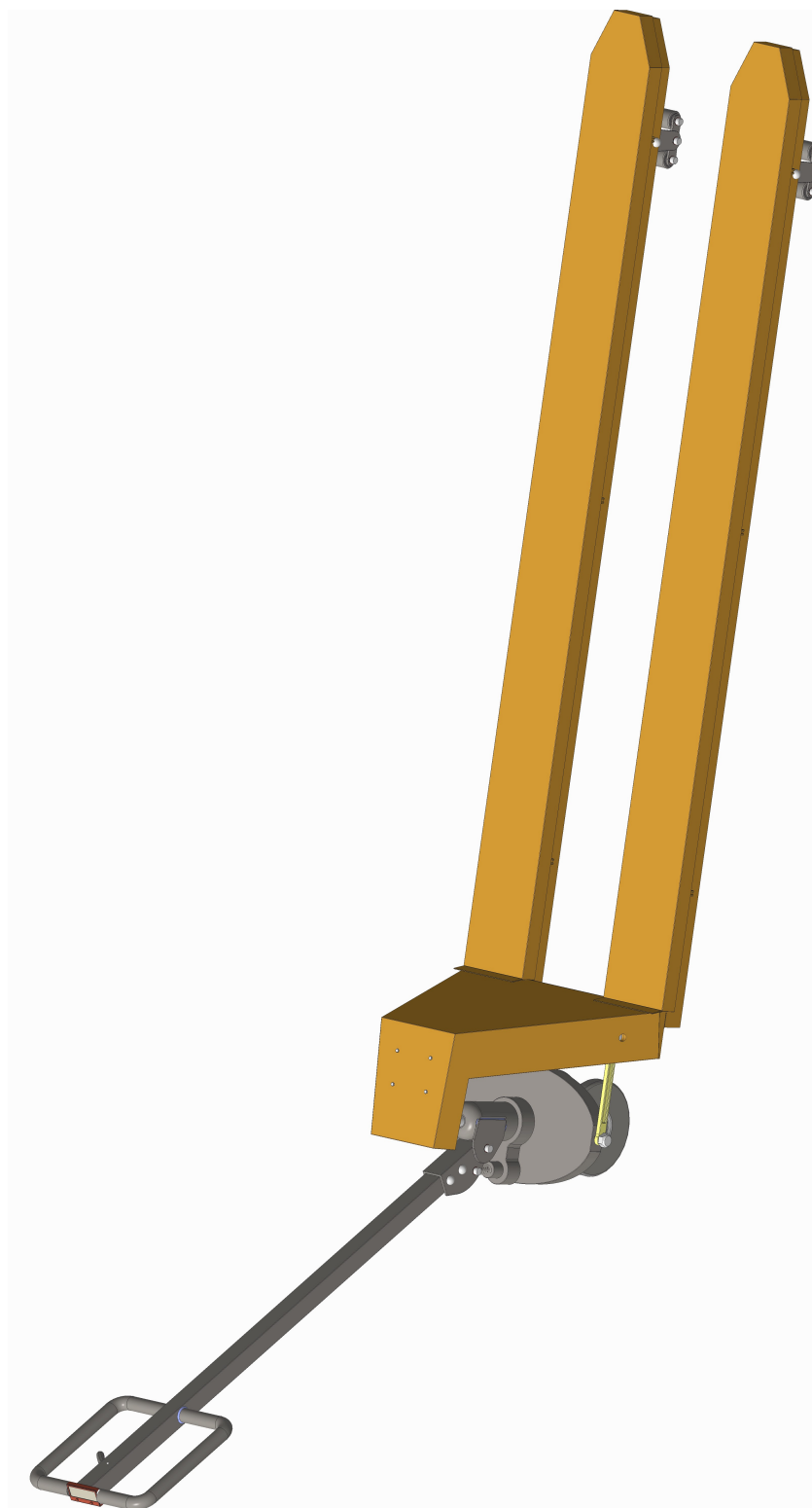
Tabulka 5.3: Ceny průmyslových vozíků (převzato z [1], [4])

Z tabulky 5.3 vyplývá, že cena skutečných vozíků se zabudovaným vážním systémem se pohybuje v rozmezí přibližně 19 - 85 tisíc Kč. Dále je z tabulky 5.2 zřejmé, že do uvedené spodní cenové hranice se navržený vozík nevejde, avšak do horní velmi pravděpodobně ano.

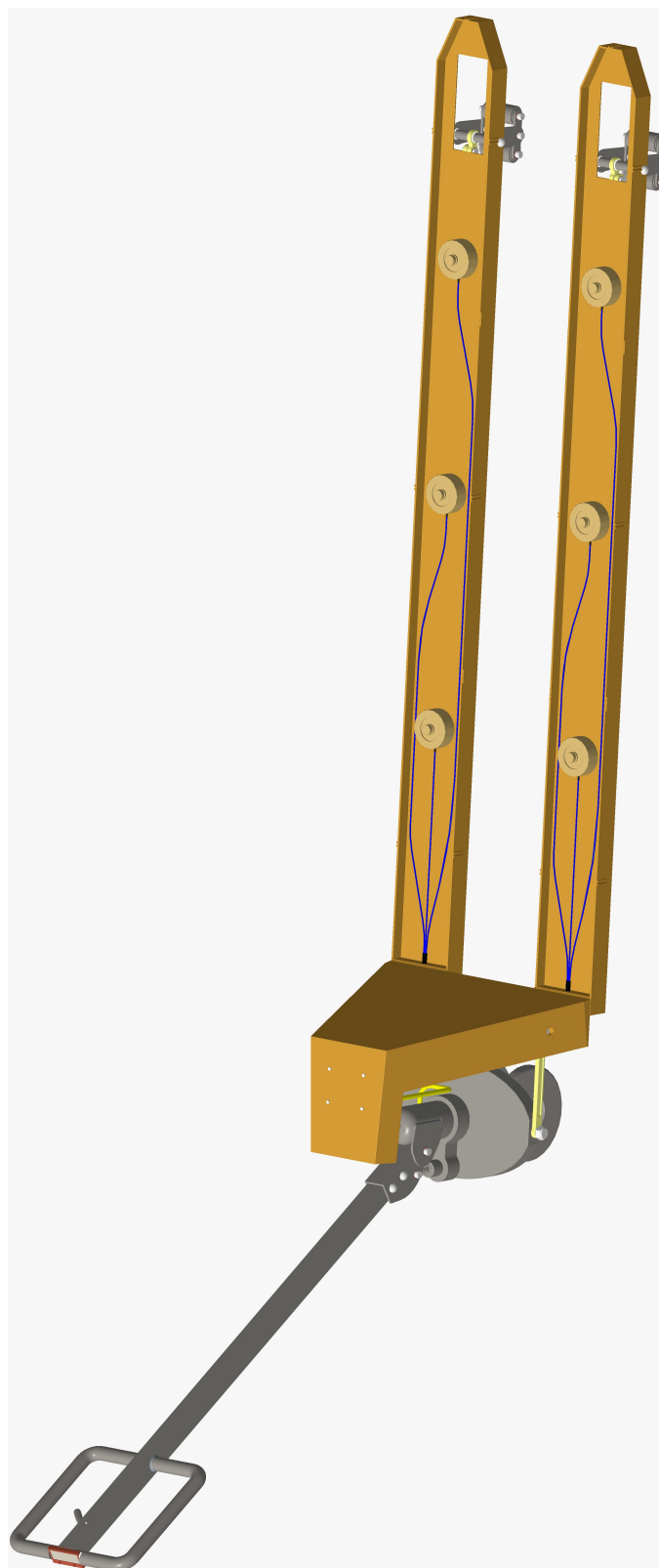
5.7.2 Stručné shrnutí

Ve vybrané variantě byl stanoven počet senzorů v ližině na tři, s ohledem na funkční a ekonomické hledisko, přičemž byla brána v potaz cena konkrétního senzoru, viz kapitola 5.6.1. Umístění převodníku bylo vybráno s ohledem na minimalizaci nebezpečí mechanického poškození během provozu. Z ekonomického hlediska byla tato varianta upřednostněna před zařízením disponujícím převodníkem i displejem. Umístění kabeláže bylo opět vybráno s ohledem na minimalizaci hrozby mechanického poškození během provozu. Umístění displeje bylo vybráno s ohledem na ergonomičnost a za účelem minimálního namáhání obsluhy pro zajištění spokojenosti zákazníků. Dále bylo navrženo vedení a rozměry ližin pro zajištění správné funkce váhového systému. Upřednostněno bylo vedení vyrobené spolu s ližinou z jednoho kusu materiálu před vedením, vyrobeným z jiného materiálu než je ližina, a to především z hlediska vyrobitelnosti.

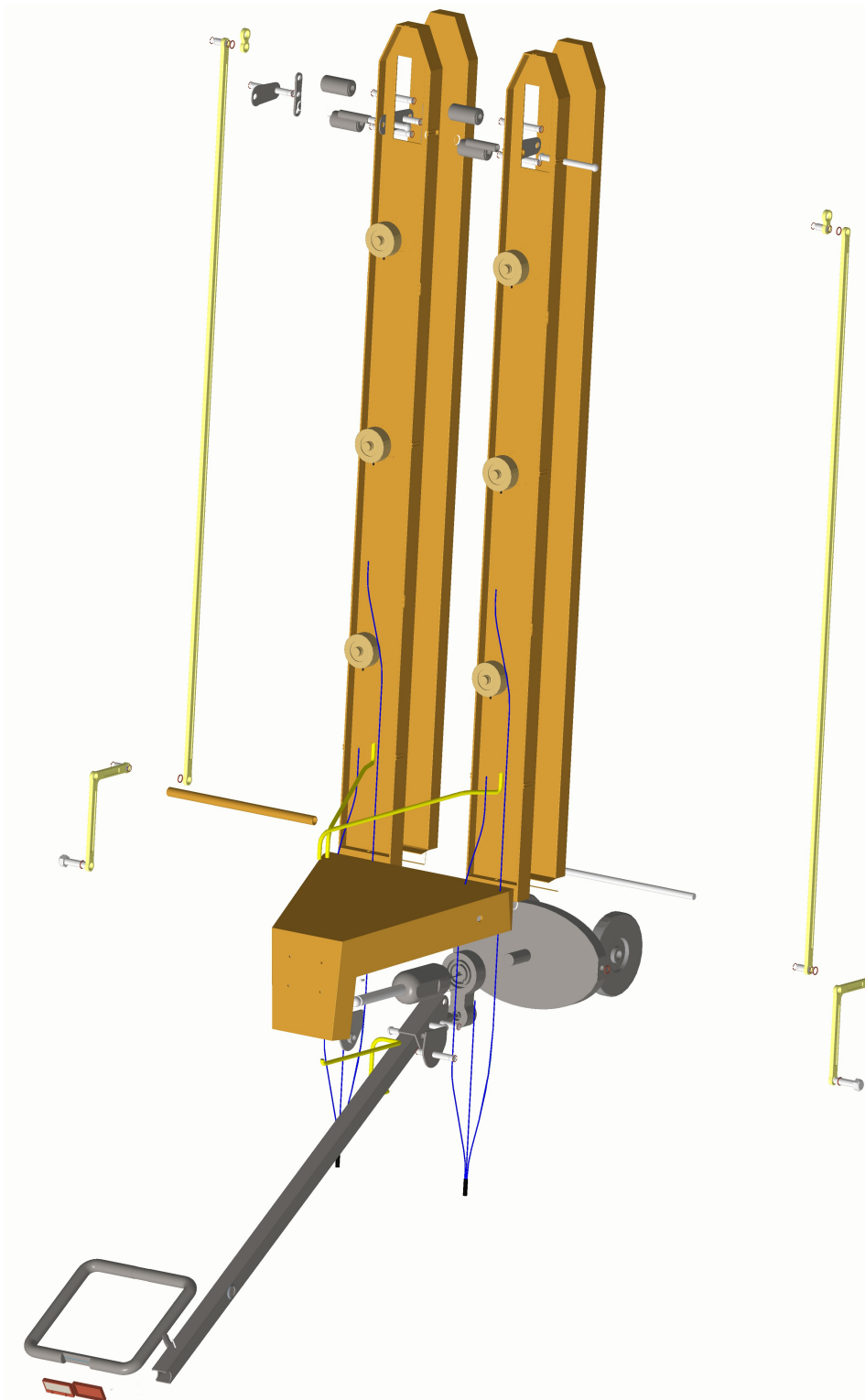
6 Vizualizace



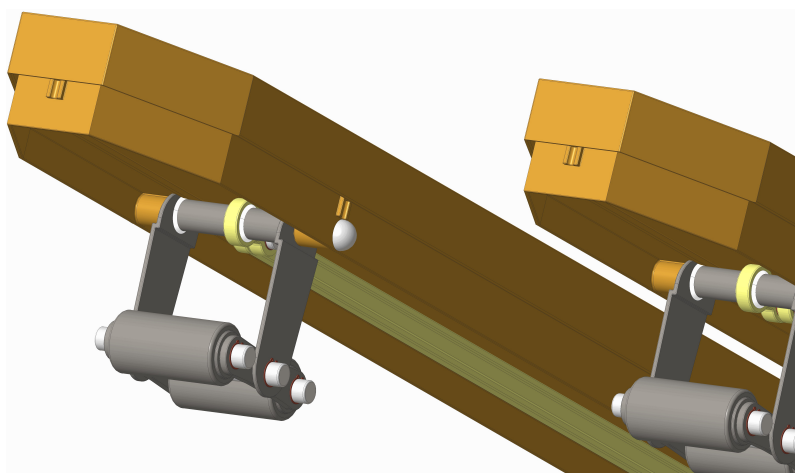
Obrázek 6.1: Sestava vozíku



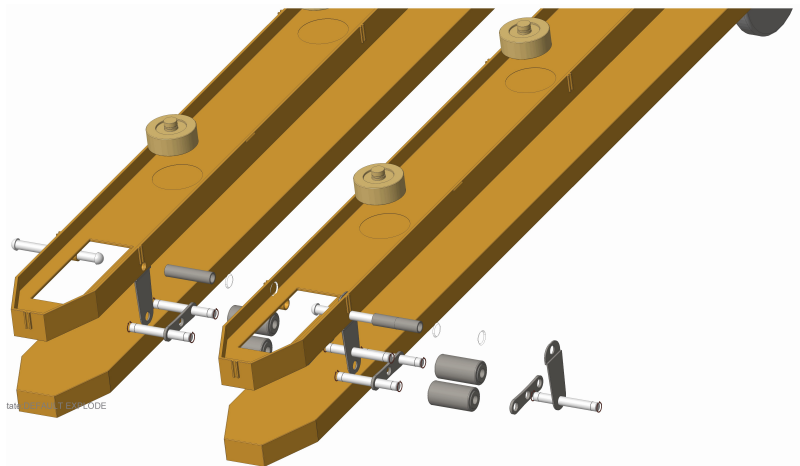
Obrázek 6.2: Sestava vozíku odkrytá



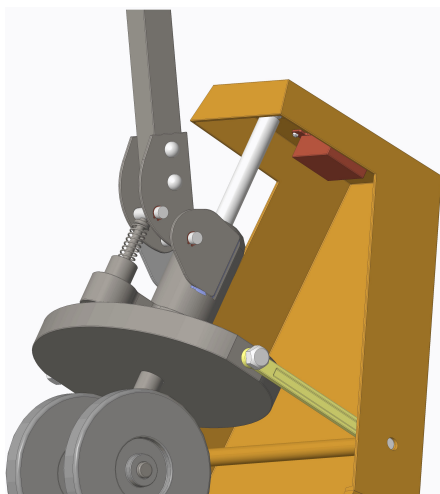
Obrázek 6.3: Sestava vozíku (bez kabeláže) - rozstřel



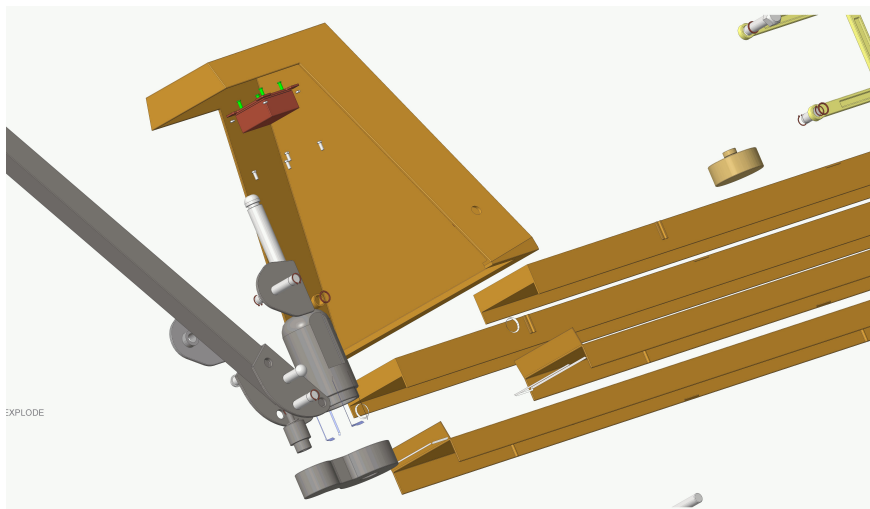
Obrázek 6.4: Pomocná kolečka



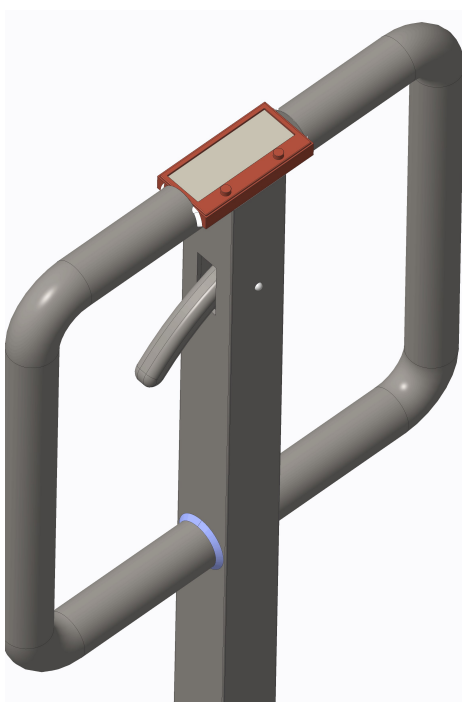
Obrázek 6.5: Pomocná kolečka - rozstřel



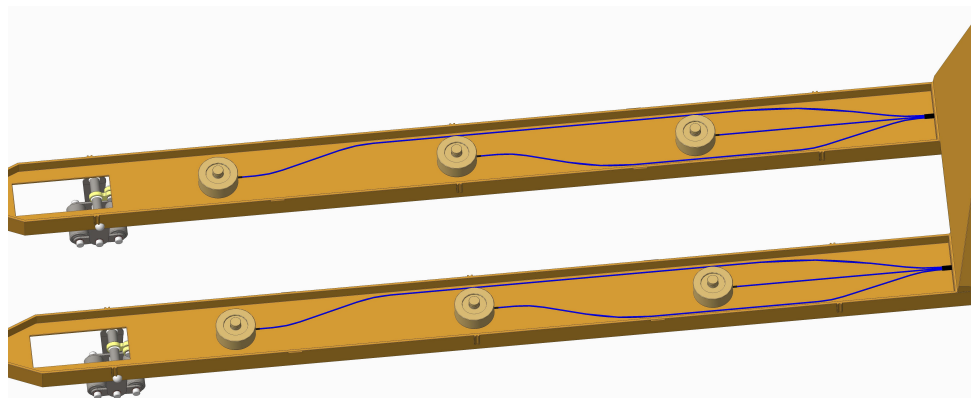
Obrázek 6.6: Zdvihací soustrojí



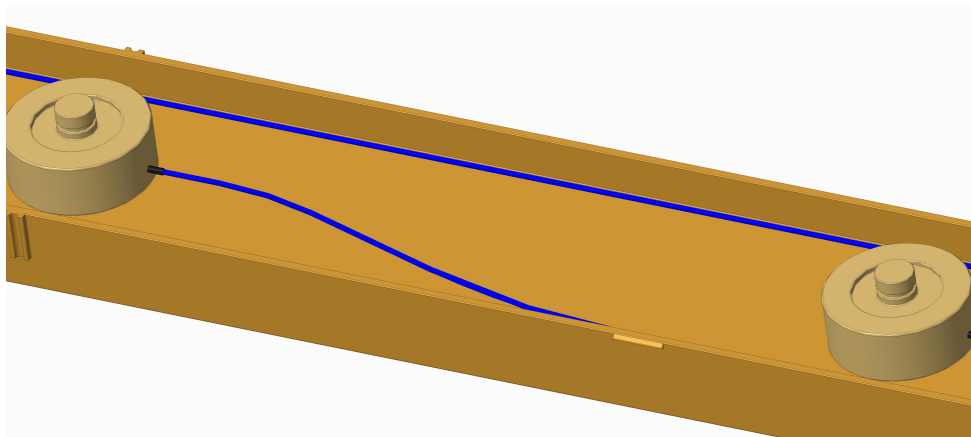
Obrázek 6.7: Zdvihací soustrojí - rozstřel



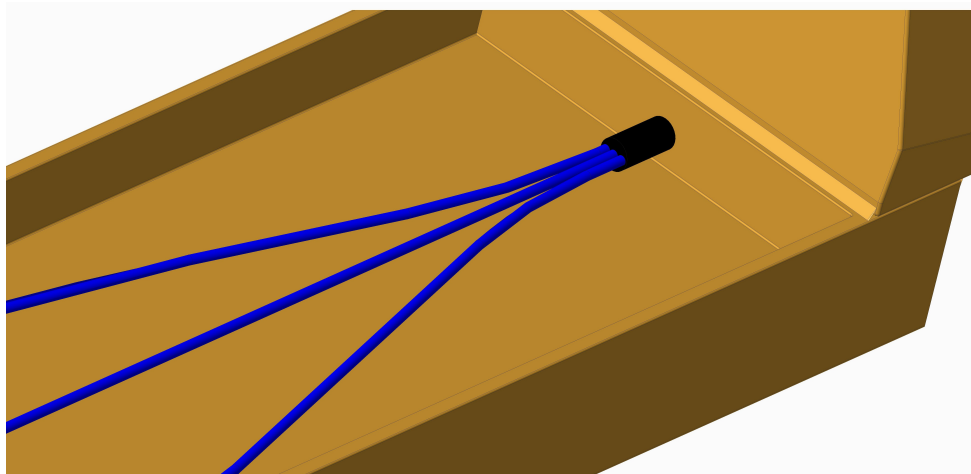
Obrázek 6.8: Madlo



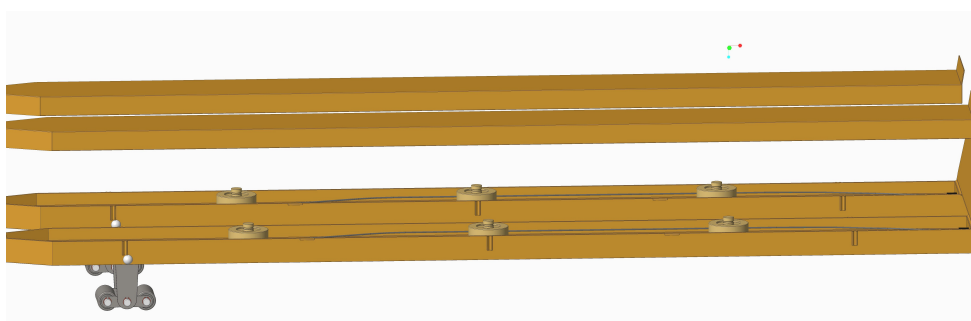
Obrázek 6.9: Pohled na tenzometrické tlakové buňky



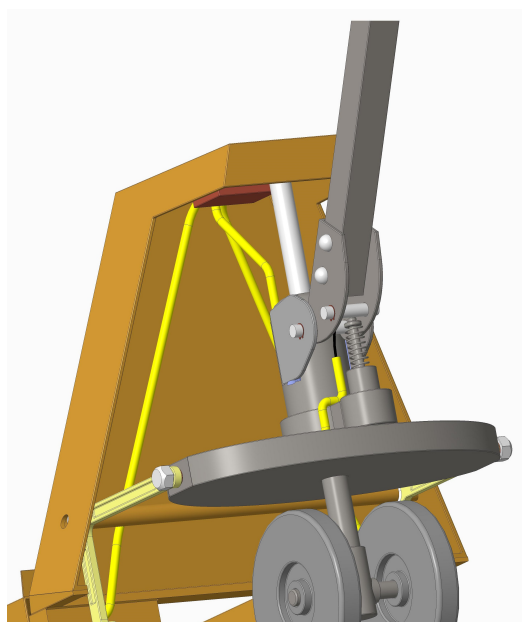
Obrázek 6.10: Kabel od senzoru



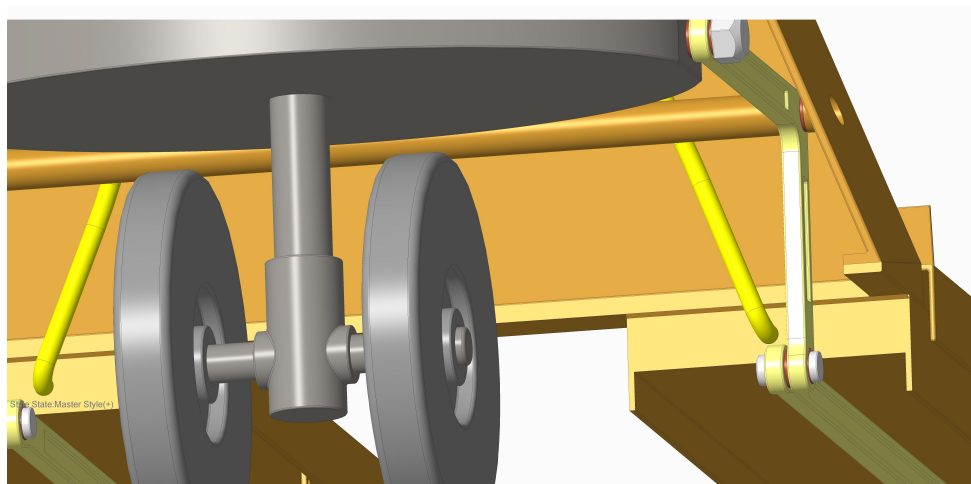
Obrázek 6.11: Kably svedené do bužírky



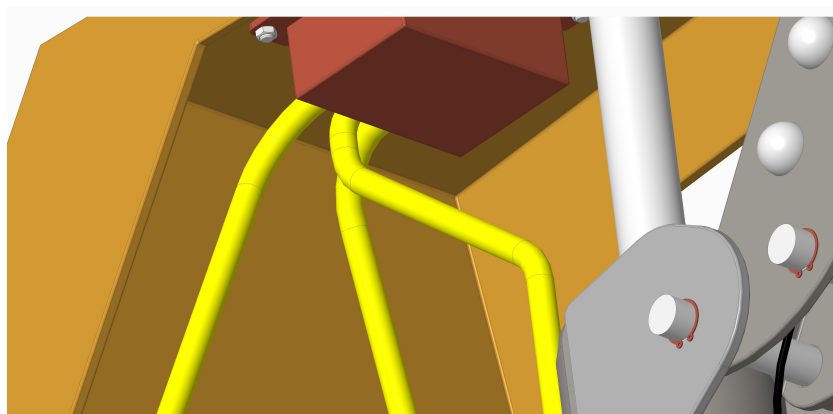
Obrázek 6.12: Nadzvednutý horní díl ližiny



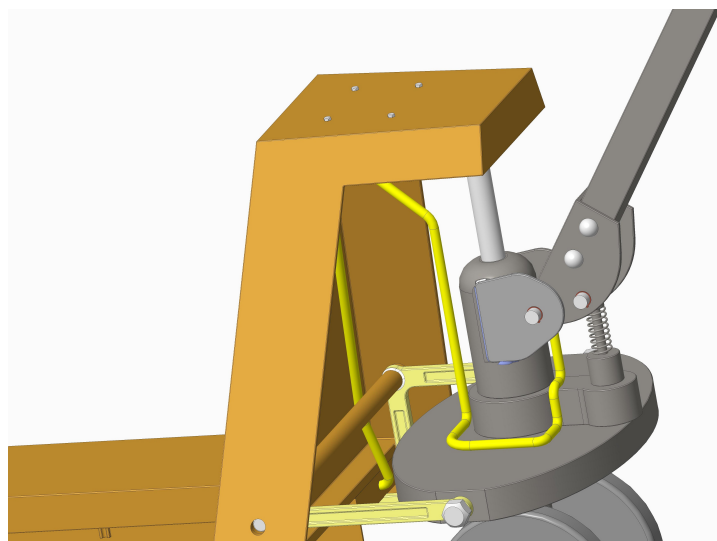
Obrázek 6.13: Zadní kabeláž



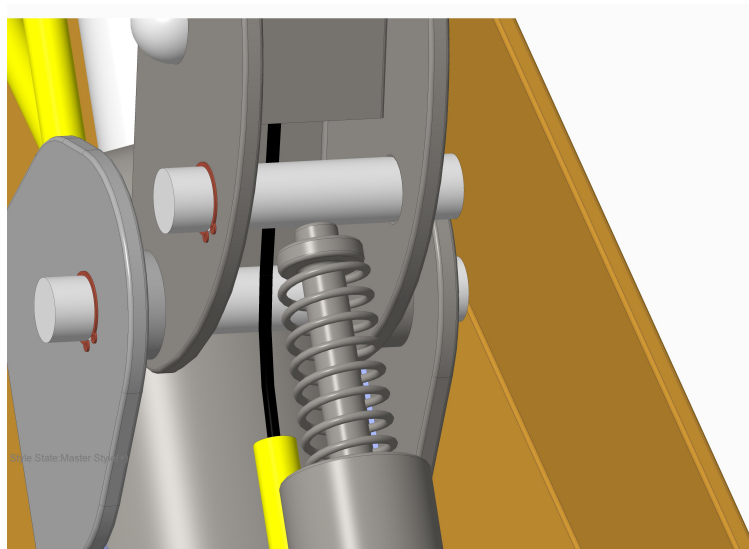
Obrázek 6.14: Kabeláž v ližině svedena do ochranných trubiček



Obrázek 6.15: Kabeláž vedená ochrannými trubičkami do převodníku



Obrázek 6.16: Vedení kabeláže z převodníku do displeje



Obrázek 6.17: Vývod kabelu z ochranné trubičky do tažné oje

7 Závěr

V této bakalářské práci byla provedena rešerše současného stavu paletových vozíků s váhovými systémy ve světě. Dále byl popsán princip funkce nejpoužívanějších senzorů. Následně byly navrženy čtyři koncepční varianty paletového vozíku s váhovým systémem využívající některé z popsaných senzorů. Tyto čtyři varianty byly zhodnoceny SWOT analýzou podle transformačního, technického, ekonomického a ergonomického hlediska. Na základě SWOT analýzy byla varianta s nejlepším hodnocením rozpracována do podrobnějšího koncepčního návrhu. Zde bylo uvedeno několik variant umístění jednotlivých prvků váhového systému a stručně popsány výhody a nevýhody jednotlivých umístění. U každého prvku bylo uvedeno doporučené umístění s krátkým odůvodněním. Toto umístění bylo následně zobrazeno i v 3D modelu. Následoval výběr jednotlivých prvků, jež by bylo možné použít se stručným popisem jejich parametrů a vlastností. Nakonec byl proveden kontrolní výpočet maximálního napětí a průhybu ližiny.

Vzhledem k tomu, že se jedná o koncepční návrh, bylo rozpracování vybrané koncepční varianty provedeno zjednodušeně a celá práce pojata teoreticky. V případě konstrukčního návrhu by bylo nutno všechny podkapitoly v kapitole 4 rozpracovat důkladněji. Zároveň by bylo nutno provést důkladnější výpočty včetně určení správných rozestupů mezi senzory a další.

Téma této bakalářské práce bylo vybráno z důvodu možného urychlení pracovního procesu, kdy odpadá nutnost náklad naložit, převézt k váze, složit na váhu, zvážit, následně opět naložit na paletový vozík a odvézt do cílové destinace. Tím lze ušetřit jak čas vážení, exportu a importu, tak i finance spojené s nutností externího vážení. Aby se však tento systém z ekonomického hlediska plně vyplatil, je nutno minimalizovat jeho cenu. Toho lze dosáhnout správným návrhem. K ekonomickému hledisku bylo přihlíženo při navrhování jednotlivých variant. Lze konstatovat, že výsledná varianta z tohoto hlediska vyhovuje. Všechny součásti uvedené v kapitole 5.6 byly vybírány tak, aby jejich cena byla co nejnižší, ale zároveň vyhovovaly i z ostatních hledisek, jakými jsou například životnost a vhodnost do různých prostředí.

Literatura

- [1] AMW 22/22p [online]. Jungheinrich s.r.o., 1992. [cit. 2018/10/16]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich.cz/produkty/paletovy-vozik/amw-22-22p/>.
- [2] Tenzometrický snímač DINI ARGEO CPX/2500kg C3 [online]. VÁHY ROBIN s.r.o., 2013. [cit. 2019/02/01]. Dostupné z: <https://www.tenzometricke-snimace.cz/Tenzometricky-snimac-DINI-ARGEO-CPX-2500kg-C3-d967.htm>.
- [3] Direct Industry [online]. Direct Industry, 2018. [cit. 2018/10/16]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/scale-pallet-truck-61717.html>.
- [4] BT Lifter s vážním indikátorem [online]. Toyota Material Handling CZ s.r.o., 2017. [cit. 2018/10/18]. Dostupné z: <https://shop.toyota-forklifts.cz/webshop/cz/runi-paletove-voziky/bt-lifter-s-vanim-indikátorem>.
- [5] KPZ 502E-2 [online]. KPZ-Váhy, s.r.o., 2001. [cit. 2018/10/23]. Dostupné z: <http://www.kpz-vahy.cz/produkty/vazici-system/kpz-502e-2/>.
- [6] TDS - LED displej 10 mm, 4 místa, RS485 [online]. Papouch s.r.o., 2005. [cit. 2019/01/18]. Dostupné z: <https://www.papouch.com/cz/shop/product/tds-segmentovy-displej-pro-rs485/>.
- [7] Paletový vozík RHP2000 2T [online]. tor industries s.r.o, 2020. [cit. 2020/06/30].
- [8] Hand Pallet Truck M25 Scale + Capacity 2500 kg [online]. Linde Material Handling, 2012. [cit. 2018/10/18]. Dostupné z: https://www.linde-mh.cz/media/Datasheets/ds_m25_scale_en_052013.pdf.
- [9] Piezoelektrický snímač [online]. Railsformers s.r.o., 2014. [cit. 2018/11/12]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1590>.
- [10] Ravas-2100L [online]. RAVAS International, 2015. [cit. 2018/10/19]. Dostupné z: <https://www.ravas.com/sites/default/files/bestanden/downloads/ts-ravas-ravas-21001-eu-20171009.pdf>.
- [11] Ruční paletový vozík Ameise [online]. Jungheinrich s.r.o., 1992. [cit. 2020/04/27]. Dostupné z: <https://www.jungheinrich-profishop.cz/Rucni-paletovy-vozik-Ameise-nosnost-2000kg-delka-vidli-1150mm-42046-197375/?jumpTo=images>.
- [12] Me 7-segmentový sériový displej [online]. HW Kitchen, 2015. [cit. 2019/03/30]. Dostupné z: https://www.hwkitchen.cz/me-7-segmentovy-seriovy-displej-cerveny/?gclid=EAIaIQobChMI-e_lpoan4QIVhZ3VCh2e0A3IEAkYAyABEgI04_D_BwE.
- [13] Snímače tlaku [online]. edumat.cz, 2008. [cit. 2018/11/28]. Dostupné z: <http://www.edumat.cz/texty/tlak.pdf>.

- [14] Snímače tlaku [online]. Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o, 2016. [cit. 2019/01/15]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/42719.pdf.
- [15] Snímače tlaku [online]. automa.cz, 2011. [cit. 2018/11/28]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/42719.pdf.
- [16] TE485 - převodník pro tenzometr [online]. Papouch s.r.o., 2005. [cit. 2019/01/15]. Dostupné z: <https://www.papouch.com/cz/shop/product/te485-prevodnik-pro-tenzometr/>.
- [17] Vibrating wire [online]. Campbell Scientific, 1974. [cit. 2018/12/05]. Dostupné z: <https://www.campbellsci.eu/vibrating-wire>.
- [18] Wheatstoneův můstek [online]. Encyklopedie fyziky, 2006. [cit. 2018/10/23]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1631-wheatstoneuv-mustek>.
- [19] A/D převodník [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2019/02/01]. Wikipedia: the free encyclopedia. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk.
- [20] Displej [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2019/03/29]. Wikipedia: the free encyclopedia. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Segmentov%C3%BD_displej.
- [21] SWOT [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2019/03/29]. Wikipedia: the free encyclopedia. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/SWOT>.
- [22] Tenzometr [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2018/10/23]. Wikipedia: the free encyclopedia. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tenzometr>.
- [23] Váhy [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2018/10/16]. Wikipedia: the free encyclopedia. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%ADzkozdv%C5%BE%C3%BD_voz%C3%ADk.
- [24] Nízkozdvížený vozík [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2001. [cit. 2018/10/16]. Wikipedia: the free encyclopedia. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%ADzkozdv%C5%BE%C3%BD_voz%C3%ADk.
- [25] How does a hydraulic load cell work [online]. Quora.com, 2015. [cit. 2018/11/12]. Dostupné z: <https://www.quora.com/How-does-a-hydraulic-load-cell-work>.

Přílohy

Přílohy součástí této práce

A Kontrola průhybu ližiny

B SWOT analýza

Volně vložené přílohy

C Výkresová dokumentace

Všechny uvedené přílohy včetně samotné bakalářské práce jsou nahrány na CD, které přiloženo k této práci

A Kontrola průhybu ližiny

Při kontrole ližiny je nutno vycházet z několika základních hledisek. Jedná se především o hledisko cenové a pevnostní. Tyto hlediska jsou na sobě velmi závislá. Pokud bude vyhovující cena a pevnost nikoliv, nelze předpokládat velký odbyt produktů. To stejné bude platit v opačném případě, tedy, když bude součástí z pevnostního hlediska vyhovující, ale cenově již ne, lze předpokládat nízký zájem o daný technický produkt. Z toho důvodu musí dojít ke kompromisu, kdy bude snaha vyhovět oběma hlediskům.

Obě hlediska spojuje jeden základní činitel a tím je materiál. V tomto případě se bude jednat o ocel *S235JR*, tedy dle ČSN o ocel třídy 11, přesněji o ocel 11373.

Zadání

Jak již název této přílohy napovídá, tato příloha se bude zabývat pevnostní kontrolou ližiny z hlediska průhybu.

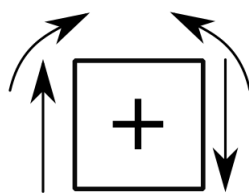
Schéma ližiny je uvedeno na obrázku A.2, kde je znázorněno v zjednodušené podobě jednoduchého nosníku, který je z jedné strany uložen na posuvné podpoře *B* (pomocná kolečka) a z druhé strany je vetknutý *A* (upevnění k tělu vozíku).

Vzhledem k tomu, že paletový vozík má dvě ližiny, tak lze předpokládat, že maximální dovolená hmotnost $m = 2000 \text{ kg}$ se rozloží mezi tyto dvě ližiny, tudíž na jednu ližinu připadne $m = 1000 \text{ kg}$.

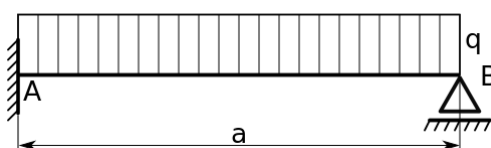
Dáno: $a = 2 \text{ [m]}$, $m = 1000 \text{ [kg]} \rightarrow Q = 10000 \text{ [N]}$,

Je zadána hmotnost nákladu m , která odpovídá osamělé zátěžné síle Q . Nejprve je nutno určit hodnotu spojitého zatížení q potřebnou pro další výpočet.

$$Q = q \cdot a \rightarrow q = \frac{Q}{a} = \frac{10000}{2} = 5000 \text{ [N/m]} \quad (\text{A.1})$$

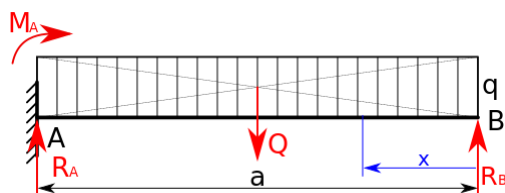


Obrázek A.1: Konvekce kladných směrů sil a momentů



Obrázek A.2: Schéma ližiny

Na obrázku A.3 jsou zobrazeny reakce v jednotlivých uloženích. V uložení *A* jsou to reakce M_A a R_A , v uložení *B* je to reakce R_B . Schéma uložení odpovídá staticky neurčitému



Obrázek A.3: Uvolněné reakce

nosníku. Tuto statickou neurčitost si lze ověřit jednoduchým výpočtem. Lze složit dvě rovnice statické rovnováhy, a to složkovou podmínku ve vertikálním směru a momentovou podmínku k bodu A nebo k bodu B . Jsou tedy známy 2 rovnice, avšak neznámé v nich figurují tři a sice R_A , R_B , M_A . Rovnice statické rovnováhy bude mít zřejmě tvar

$$S_u = r - n = 2 - 3 = -1 \quad (\text{A.2})$$

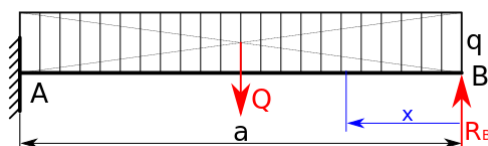
kde

S_u ... statická určitost

r ... počet rovnic

n ... počet neznámých

Z rovnice A.2 vyplývá, že úloha je jedenkrát staticky neurčitá. Úlohu lze převést na staticky určitou za využití Castiglianovy věty při předpokladu, že průhyb W v bodě B bude vlivem podpory nulový. Výpočtové schéma této úlohy je zobrazeno na obrázku A.4, kdy bude uvolněna pouze podpora B , vetknutí A zůstane neuvolněné, není tedy počítáno s momentem M_A , ani s reakcí R_A .



Obrázek A.4: Výpočtové schéma

Výpočet reakce R_B

Obecný předpis Castiglianovy věty

$$W_B = \frac{\partial W}{\partial R_B} = \int_0^a \frac{M(x)}{E \cdot J_{X_s}} \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial R_B} dx = 0 \quad (\text{A.3})$$

Aby mohla být rovnice A.3 vyřešena, musí být znám předpis pro průběh ohybového momentu po délce nosníku.

Průběh posouvající síly a ohybového momentu

Průběh posouvajících sil a ohybových momentů je řešen zprava, je tedy použita znaménková konvekce pro pravou stranu nosníku dle obrázku A.1.

Posouvající síla

$x \in \langle 0; a \rangle$

$$T(x) = -R_B + q \cdot x \quad (\text{A.4})$$

$$T(0) = -R_B + q \cdot 0 = -R_B = -3750 \text{ N}$$

$$T(a) = -R_B + q \cdot a = 6250 \text{ N}$$

Ohybový moment

$x \in \langle 0; a \rangle$

$$M(x) = R_B \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = R_B \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} \quad (\text{A.5})$$

$$M(0) = R_B \cdot 0 - q \cdot \frac{0^2}{2} = 0 \text{ Nm}$$

$$M(a) = R_B \cdot a - q \cdot \frac{a^2}{2} = -2500 \text{ Nm}$$

Výpočet reakce R_B

Nyní, když je znám předpis ohybového momentu podél nosníku, lze přistoupit k výpočtu reakce R_B . Vzhledem k tomu, že obecný předpis Castiglianovy věty je uveden již v podkapitole A, tak zde již znovu uváděn nebude, ale dojde rovnou k samotnému řešení.

$$W_B = \int_0^a \frac{R_B \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2}}{E \cdot J_{X_s}} \cdot \frac{\partial (R_B \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2})}{\partial R_B} dx = 0 \quad (\text{A.6})$$

Po provedení parciální derivace

$$W_B = \frac{1}{E \cdot J_{X_s}} \int_0^a \left(R_B \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} \right) \cdot x \, dx = 0 \quad (\text{A.7})$$

a po roznásobení

$$W_B = \frac{1}{E \cdot J_{X_s}} \int_0^a R_B \cdot x^2 - q \cdot \frac{x^3}{2} \, dx = 0 \quad (\text{A.8})$$

po integraci

$$W_B = \frac{1}{E \cdot J_{X_s}} \cdot \left(R_B \cdot \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^a - q \cdot \left[\frac{x^4}{8} \right]_0^a \right) = 0 \quad (\text{A.9})$$

po dosazení integračních mezí

$$\frac{1}{E \cdot J_{X_s}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot R_B \cdot a^3 - q \cdot \frac{1}{8} \cdot a^4 \right) = 0 \quad (\text{A.10})$$

celou rovnicí lze vynásobit výrazem $E \cdot J_{X_s}$ a upravit, tedy

$$R_B = \frac{3}{8} \cdot q \cdot a \quad (\text{A.11})$$

kontrola jednotek

$$[N] = \left[\frac{N}{m} \right] \cdot [m] \rightarrow [N] = [N]$$

po dosazení do rovnice A.11 byla získána hodnota $R_B = 3750 \, N$.

Tím došlo k odstranění jedné neznámé, čímž byla staticky neurčitá úloha převedena na úlohu staticky určitou. Dále již bude řešena staticky určitá úloha.

Výpočet R_A a M_A

V předchozí kapitole došlo k odstranění jedné neznámé reakce ve vazbě B , zbývá tedy určit ještě dvě reakce a to ve vazbě A . Opět bude použita znaménková konvence pro pravou stranu dle obrázku A.1

Výpočet R_A

Z podmínek statické rovnováhy a dle obrázku A.3

$$\sum_i F_i = 0 : -R_A + Q - R_B = 0 \quad (\text{A.12})$$

$$R_A = Q - R_B$$

$$R_A = 10000 - 3750$$

$$R_A = 6250 \text{ N}$$

Výpočet M_A

Z podmínek statické rovnováhy a dle obrázku A.3

$$\sum_i M_{A_i} = 0 : -M_A - q \cdot \frac{x^2}{2} + R_B \cdot x = 0 \quad (\text{A.13})$$

$$M_A = R_b \cdot a - q \cdot \frac{a^2}{2}$$

$$M_A = 3750 \cdot 2 - 5000 \cdot \frac{2^2}{2}$$

$$M_A = -2500 \text{ Nm}$$

Výpočet lokálního maximálního momentu M_{max}

Aby bylo možno moment M_{max} určit, musí být známa poloha místa, ve kterém je posuvová síla rovna nule.

Výpočet x_{max}

Pro výpočet vzdálenosti s maximálním ohybovým momentem lze využít vztah A.4 pro výpočet $T(x)$. Aby bylo možno x_{max} vyjádřit, je zapotřebí $T(x)$ položit rovno nule, tedy

$$T(x_{max}) = -R_B + q \cdot x_{max} = 0 \quad (\text{A.14})$$

$$x_{max} = \frac{R_B}{q} = \frac{3750}{5000} = 0,75 \text{ m} \quad (\text{A.15})$$

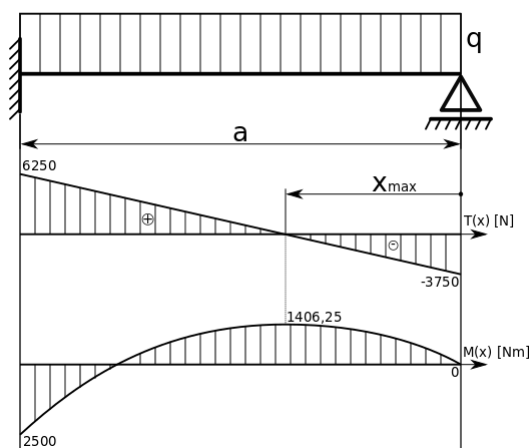
Výpočet M_{max}

Hodnotu maximálního momentu lze vyjádřit z rovnice A.5 pro $M(x)$, kde za x bude dosazena hodnota x_{max}

$$M_{max} = M_{x_{max}} = R_B \cdot x_{max} - q \cdot \frac{x_{max}^2}{2} \quad (\text{A.16})$$

$$M_{max} = 3750 \cdot 0,75 - 5000 \cdot \frac{0,75^2}{2}$$

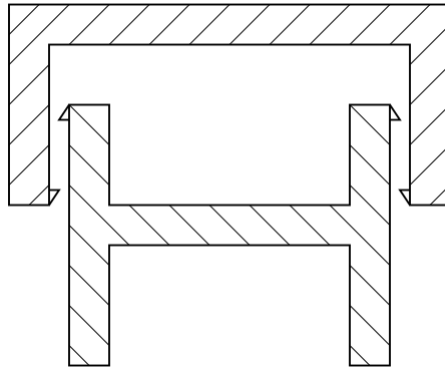
$$M_{max} = 1406,25 \text{ Nm}$$



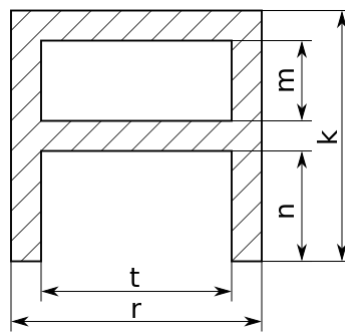
Obrázek A.5: Průběh posuvové síly a ohybového momentu podél ližiny

Výpočet maximálního napětí

Na obrázku A.6 je zobrazen skutečný průřez ližiny, který byl však z důvodu zjednodušení výpočtu nahrazen zjednodušeným tvarem, viz obrázek A.7.

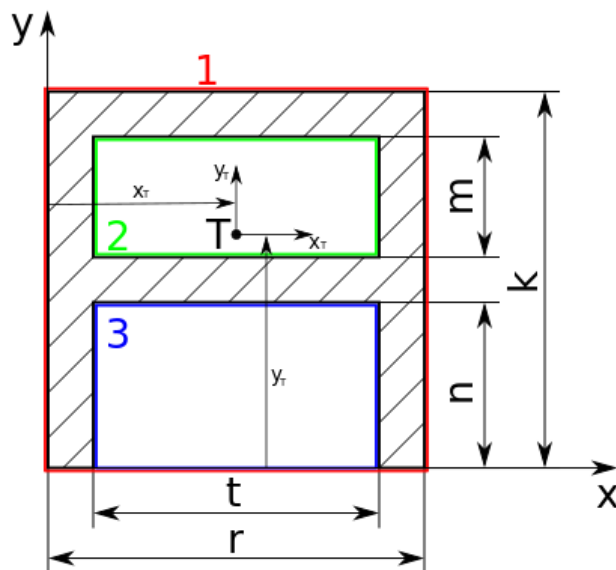


Obrázek A.6: Skutečný průřez ližiny



Obrázek A.7: Zjednodušený průřez ližiny

Na obrázku A.8 je znázorněné výpočtové schéma, potřebné pro výpočet souřadnic těžiště a kvadratických charakteristik průřezu k těžištním osám X_T a Y_T .



Obrázek A.8: Schéma pro výpočet

Dáno: $r = 0,160 [m]$, $t = 0,154 [m]$, $m = 0,0435 [m]$, $k = 0,0915 [m]$, $n = 0,040 [m]$

Souřadnice těžiště

Ve směru x

$$x_T = \frac{r \cdot k \cdot \frac{r}{2} + \frac{r}{2} (t \cdot n + t \cdot m)}{k \cdot r + t \cdot n + t \cdot m} \quad (\text{A.17})$$

po úpravě

$$x_T = \frac{\frac{r}{2} (r \cdot k + t(n + m))}{k \cdot r + t(n + m)}$$

po dosazení a vyčíslení

$$x_T = \frac{\frac{0,160}{2} (0,160 \cdot 0,0915 + 0,154(0,040 + 0,0435))}{0,0915 \cdot 0,160 + 0,154(0,040 + 0,0435)} = 0,08 \text{ m}$$

Ve směru y

$$y_T = \frac{k \cdot r \cdot \frac{k}{2} + t \cdot m \left[n + \frac{k-(n+m)}{2} + \frac{m}{2} \right] + n \cdot t \cdot \frac{n}{2}}{k \cdot r + t(n + m)} \quad (\text{A.18})$$

po úpravě

$$y_T = \frac{r \cdot \frac{k^2}{2} + t \cdot m \left[n + \frac{k-(n+m)}{2} + \frac{m}{2} \right] + t \cdot \frac{n^2}{2}}{k \cdot r + t(n + m)}$$

po dosazení a vyčíslení

$$y_T = \frac{0,160 \cdot \frac{0,0915^2}{2} + 0,154 \cdot 0,0435 \left[0,040 + \frac{0,0915 - (0,040 + 0,0435)}{2} + \frac{0,0435}{2} \right] + 0,154 \cdot \frac{0,040^2}{2}}{0,0915 \cdot 0,160 + 0,154(0,040 + 0,0435)}$$

$$y_T = 0,0448 \text{ m}$$

Kvadratický modul průřezu k ose X_T

V kapitole Souřadnice těžiště byla určena poloha os X_T a Y_T . Tato kapitola se bude zabývat určením kvadratického modulu průřezu, a to právě k ose X_T .

$$J_{X_T} = 1 - 2 - 3$$

tedy

$$J_{X_T} = \frac{r \cdot k^3}{12} + \left(\frac{k}{2}\right)^2 \cdot k \cdot r - \frac{t \cdot m^3}{12} + \left(n + \frac{k - (n+m)}{2} + \frac{m}{2}\right)^2 \cdot t \cdot m - \frac{t \cdot n^3}{12} + \left(\frac{n}{2}\right)^2 \cdot t \cdot n \quad (\text{A.19})$$

po dosazení a vyčíslení

$$J_{X_T} = 7,040237 \cdot 10^{-5} [m^4]$$

Modul průřezu v ohybu

$$W_o = \frac{J_{X_T}}{f} \quad (\text{A.20})$$

kde

$$f = k - y_T$$

tedy

$$W_o = \frac{J_{X_T}}{k - y_T} \quad (\text{A.21})$$

a po dosazení a vyčíslení

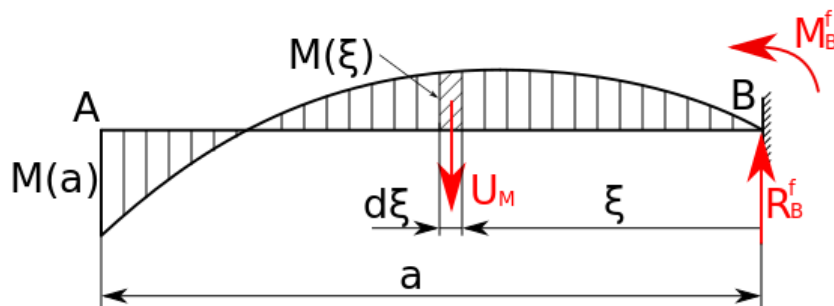
$$W_o = \frac{7,040237 \cdot 10^{-5}}{0,0915 - 0,0448} = 1,5075 \cdot 10^{-3} m^3$$

Maximální napětí

$$\sigma_{max} = \frac{M(a)}{W_o} = \frac{2500}{1,5075 \cdot 10^{-3}} = 1,65 MPa$$

Fiktivní nosník

Na výpočet průhybu ližiny bude použita metoda Momentových ploch. Nejprve musí být nosník převeden na tzv. fiktivní nosník. Zatížení tohoto nosníku je rovno momentové ploše viz obrázek A.5. Na obrázku A.9 je fiktivní nosník znázorněn.



Obrázek A.9: Fiktivní nosník

Výpočet reakce U_M

$$U_M = \int_0^a M(\xi) d\xi \quad (\text{A.22})$$

$$U_M = \int_0^a R_B \cdot \xi - q \cdot \frac{\xi^2}{2} d\xi \quad (\text{A.23})$$

$$U_M = R_B \cdot \left[\frac{\xi^2}{2} \right]_0^a - q \cdot \left[\frac{\xi^3}{6} \right]_0^a$$

$$U_M = \frac{1}{2} \cdot R_B \cdot a^2 - \frac{1}{6} \cdot q \cdot a^3$$

$$U_M = \frac{1}{2} \cdot 3750 \cdot 2^2 - \frac{1}{6} \cdot 5000 \cdot 2^3$$

$$U_M = 833,333 \text{ Nm}^2$$

Výpočet fiktivní reakce R_B^f

$$\sum_i F_i^f = 0 : U_M - R_B^f = 0 \quad (\text{A.24})$$

$$U_M = R_B^f = 833,333 \text{ Nm}^2$$

Výpočet fiktivního momentu M_B^f

Pro výpočet momentu M_B^f k bodu A je vhodno využít znaménkovou konvekci pro levou stranu nosníku dle obrázku A.1

$$\sum_i M_{iA}^f = 0 : -M_B^f - R_B^f \cdot a + U_M \cdot (a - \xi) \quad (\text{A.25})$$

$$M_B^f = U_M \cdot (a - \xi) - R_B^f \cdot a \quad (\text{A.26})$$

$$M_B^f = \int_0^a M(\xi) d\xi \cdot (a - \xi) - R_B^f \cdot a \quad (\text{A.27})$$

$$M_B^f = \int_0^a \left(R_B \cdot \xi - q \cdot \frac{\xi^2}{2} d\xi \right) \cdot (a - \xi) - R_B^f \cdot a$$

po roznásobení

$$M_B^f = \int_0^a R_B \cdot \xi \cdot a - R_B \cdot \xi^2 - q \cdot \frac{\xi^2}{2} \cdot a + q \cdot \frac{\xi^3}{2} \cdot d\xi - R_B^f \cdot a \quad (\text{A.28})$$

po integraci

$$M_B^f = R_B \cdot a \cdot \left[\frac{\xi^2}{2} \right]_0^a - R_B \cdot \left[\frac{\xi^3}{3} \right]_0^a - q \cdot a \cdot \left[\frac{\xi^3}{6} \right]_0^a + q \cdot \left[\frac{\xi^4}{8} \right]_0^a$$

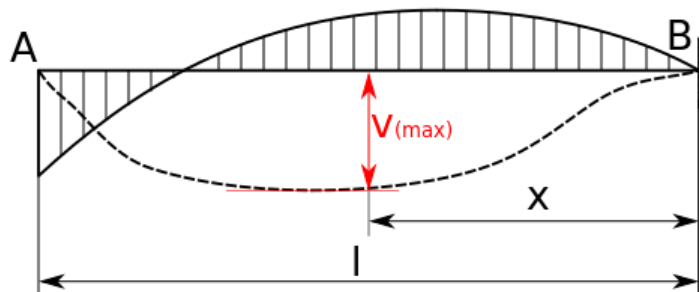
po dosazení mezí a úpravě

$$M_B^f = \frac{1}{6} \cdot R_B \cdot a^3 - \frac{1}{24} \cdot q \cdot a^4$$

$$M_B^f = \frac{1}{6} \cdot 3750 \cdot 2^3 - \frac{1}{24} \cdot 5000 \cdot 2^4 = 1666,667 \text{ Nm}^3$$

Výpočet průhybu

Dáno: $R_B = 3750 [N]$, $q = 5000 [\frac{N}{m}]$, $a = 2 [m]$, $J_{X_T} = 7,040237 \cdot 10^{-5} [m^4]$, $E = 2,1 \cdot 10^5 [MPa]$



Obrázek A.10: Znázornění průhybu ližiny

Výpočet průhybu v obecném místě

Velikost průhybu se určí podle vztahu pro výpočet průhybu u vetknutých nosníků.

$$v(x) = \frac{1}{E \cdot J_{X_T}} \int_0^x |M(x)| x \cdot dx \quad (\text{A.29})$$

$$v(x) = \frac{1}{E \cdot J_{X_T}} \int_0^x \left(R_B \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} \right) x \cdot dx \quad (\text{A.30})$$

po roznásobení a vyřešení integrálu

$$v(x) = \frac{1}{E \cdot J_{X_T}} \left(\frac{1}{3} \cdot R_B \cdot x^3 - \frac{1}{8} \cdot q \cdot x^4 \right) \quad (\text{A.31})$$

Jak je znázorněno na obrázku A.10, hodnota průhybu v bodech A a B by měla být nulová. Pro kontrolu lze do rovnice pro průhyb dosadit hodnoty pro $x = 0$ a $x = l$, tedy

$$v(0) = \frac{1}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,040237 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{3} \cdot 3750 \cdot 0^3 - \frac{1}{8} \cdot 5000 \cdot 0^4 \right) = 0 \text{ m}$$

$$v(l) = \frac{1}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,040237 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{3} \cdot 3750 \cdot 2^3 - \frac{1}{8} \cdot 5000 \cdot 2^4 \right) = 0 \text{ m}$$

Výpočet místa maximálního průhybu x_v

$$\frac{d}{dx} v(x) = 0 \quad (\text{A.32})$$

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{1}{E \cdot J_{X_T}} \left(\frac{1}{3} \cdot R_B \cdot x^3 - \frac{1}{8} \cdot q \cdot x^4 \right) \right] = 0 \quad (\text{A.33})$$

po derivaci a vyjádření vzdálenosti x

$$x_v = \frac{2 \cdot R_B}{q} = \frac{2 \cdot 3750}{5000} = 1,5 \text{ m}$$

po dosazení vypočítané hodnoty x do rovnice průhybu

$$v(x_v) = \frac{1}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7,040237 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{3} \cdot 3750 \cdot 1,5^3 - \frac{1}{8} \cdot 5000 \cdot 1,5^4 \right)$$

$$v(x_v) = 7,13 \cdot 10^{-5} \text{ m} \doteq 0,0713 \text{ mm}$$

Průhyb při daných rozměrech a zatížení vyšel přibližně 0,07 mm.

Mezní stav použitelnosti

Maximální průhyb by neměl přesáhnout hodnotu:

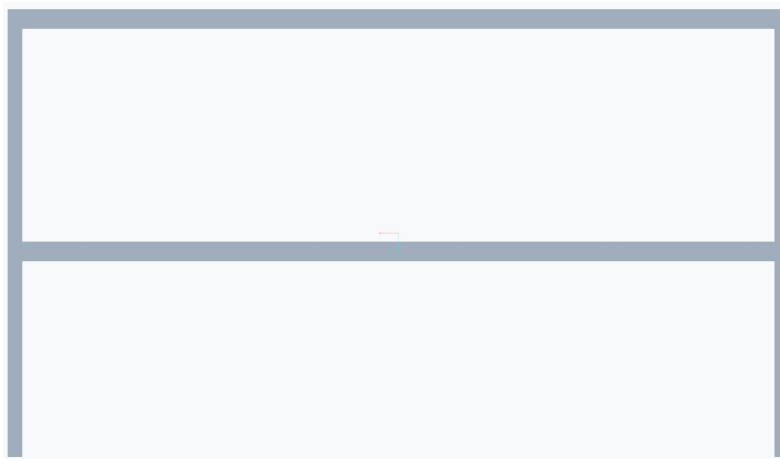
$$v(x_{300}) = \frac{L}{300} = \frac{2000}{300} \doteq 6,6 \text{ mm}$$

Výpočet průhybu metodou konečných prvků (MKP)

Metoda konečných prvků byla použita pro zpřesnění výsledků předchozího výpočtu. Výpočet byl proveden v programu PTC Creo 5.0

Profil ližiny

Pro MKP analýzu byl brán v potaz zjednodušený profil ližiny použitý při předchozím výpočtu. Tento profil je zobrazen na obrázku A.11.



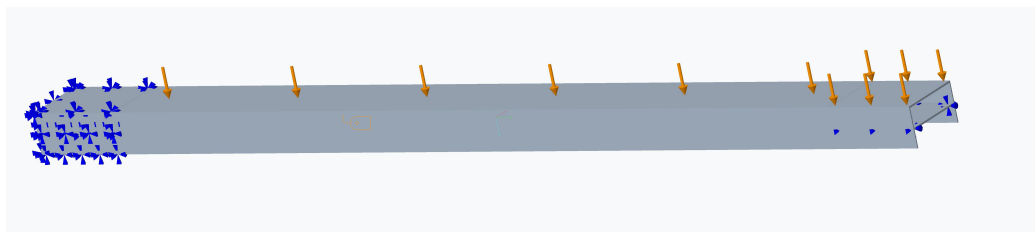
Obrázek A.11: Profil ližiny

Počáteční podmínky

Materiál - ocel S235

Zatížení - 1000 kg

Ližina byla prodloužena o délku vetknutí (200 mm), celková délka ližiny je tedy 2200 mm, přičemž deformaci bude podléhat pouze 2000 mm tak, jak tomu bylo v předchozím případě. Délka podepření byla zvolena taktéž 200 mm, z důvodu, že na tomto konci jsou umístěna kolečka.



Obrázek A.12: Počáteční podmínky

Výsledek analýzy

Jak je patrné z obrázku A.13 maximální průhyb profilu je 0,606 mm.



Obrázek A.13: Výsledek analýzy

Porovnání výpočtů a vyhodnocení

Z výsledků je patrné, že průhyby se značně liší. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.5.2, tak je to dáno především dvěma hlavními problémy. Prvním z nich je zanedbání deformace průřezu ližiny. Při ručním výpočtu byl uvažován pouze její průhyb.

Druhým z nich může být rozložení sil. V ručním výpočtu se počítalo s náhradou spojitého zatížení osamělou silou působící v jednom bodě. V případě MKP analýzy, jak vyplývá z obrázku A.12 bylo spojitě zatížení nahrazeno osamělou silou rozloženou po celé délce nosníku.

Lze tedy říci, že výsledek MKP analýzy je více podobný skutečnosti a bylo by na zkušeném výpočtáři rozhodnout o pravdivosti tohoto tvrzení. V tomto případě bude toto tvrzení ověřeno další MKP analýzou provedenou v jiném softwaru.

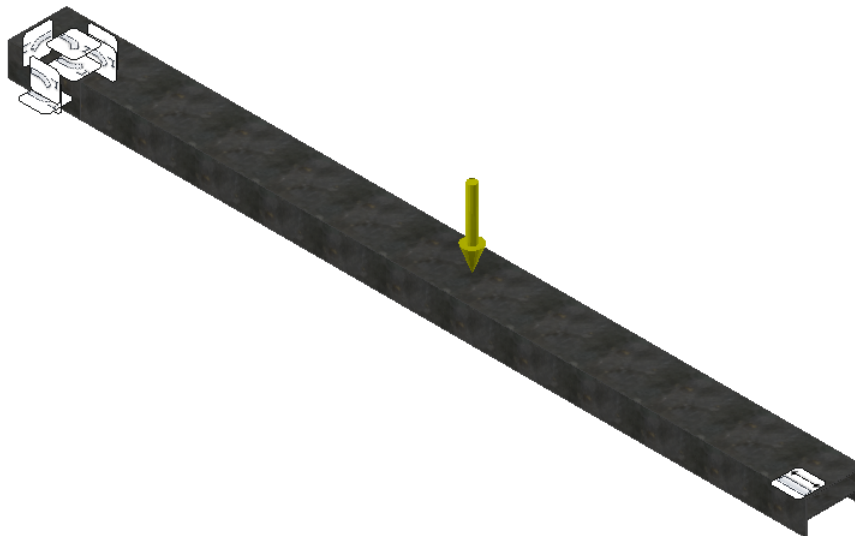
Ověření MKP analýzy

Z důvodu velmi rozdílných výsledků průhybu bude MKP analýza provedená v systému PTC Creo 5.0 ověřena v systému Autodesk Inventor 2019. Ačkoliv se jedná o software, jež není na akademické půdě příliš uznáván, pro tento účel bude zcela dostačující.

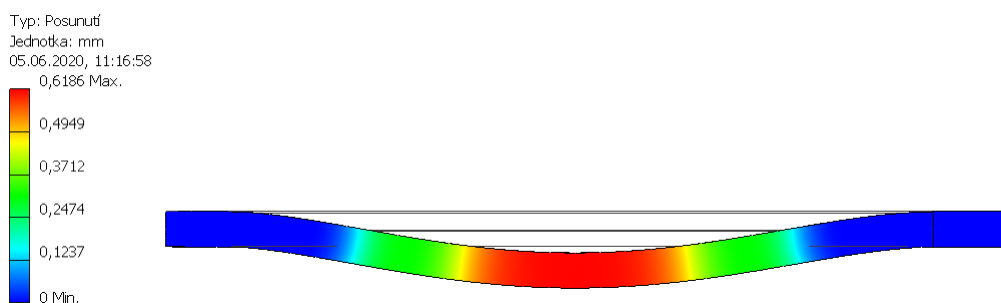
Profil i počáteční podmínky včetně materiálu budou stejné jako v případě předchozí MKP analýzy viz obrázky A.14, A.15 a A.16. Na obrázcích A.12 a A.15 si lze povšimnout rozdílného znázornění působícího zatížení. V obou případech se jedná o osamělou sílu rozloženou po celé délce nosníku, avšak v obou softwarech je znázorněna jinak. V systému PTC Creo 5.0 je toto znázornění zřetelnější.



Obrázek A.14: Zjednodušený profil ližiny



Obrázek A.15: Počáteční podmínky



Obrázek A.16: Průhyb ližiny

Z výsledků analýzy viz obrázek A.16 vyplývá, že průhyb v systému Inventor vyšel 0,618 mm. Jedná se o velmi podobný výsledek, jaký vyšel v systému PTC Creo 5.0. Proto lze konstatovat, že provedená MKP analýza je skutečnému průhybu mnohem bližší než ruční výpočet.

Je zřejmé, že uvažovaný profil je velmi zjednodušený a následně by bylo zapotřebí použít výpočet pro skutečný profil ližiny. Zde by se již nejednalo o triviální úlohu, jelikož se jedná o profil složený z několika kusů. Řešení takovéto úlohy vyžaduje značné znalosti a zkušenosti převyšující požadavky této práce. Po výpočtu by přišly na řadu praktické zkoušky spočívající ve výrobě zkušebního kusu, jeho zatížení a měření skutečné deformace.

B SWOT analýza

Tato příloha je nezbytnou součástí práce z důvodu nutného rozhodnutí o jedné z navržených variant. Výhodou SWOT analýzy je přehlednost a jednoduchost. Značná nevýhoda však spočívá v tom, že vždy dochází k zanesení subjektivního názoru, čímž analýza přestává být zcela objektivní. Na následujících stranách je uvedena celá analýza, včetně Rozhodovací tabulky zařazující jednotlivá kritéria do kladných či záporných stránek.

Kritéria SWOT analýzy

Kritérii pro vyhodnocení SWOT analýzy jsou Váha a Hodnocení, přičemž tyto parametry se spolu násobí, tj. $Celkem = Váha \cdot Hodnocení$.

Rozsahy hodnot

Váha = 0,1-0,5

Hodnocení = 1-5

Nejvyšší dosažitelná hodnota je tedy 2,5, nejnižší 0,1. Po vyhodnocení všech hledisek dojde k součtu všech násobků váhy a hodnocení pro dané hledisko, tj. $Součet = \sum_i Celkem_i$

Interní oblast		
Transformační hledisko		
Vlastnost	Rozhodnutí	Hodnocení
Nosnost vozíku	Vyšší hmotnost = větší rozsah použití	+
Hmotnost vozíku	Vyšší hmotnost = zhoršená manipulace	-
Snadná manipulace	Minimální námaha	+
Jednoduchý zdvih	Minimální námaha	+
Protiskluzový povrch	Čím nižší, tím větší riziko skluzu nákladu a zvýšení rizika úrazu	-
Spolehlivost	Spolehlivý produkt = spokojený zákazník	+
Výška ližin	Při určité výšce nelze najet pod europaletu nebo gitterbox	-
Normalizované rozměry	Rozměry obdélníku opsaného ližinám odpovídají normám	+
Vysoká přesnost vážení	Minimalizace chyb vzniklých vážením	+
Životnost	Ovlivněna životností senzorů, kabelů, frekvencí použití	-
Umístění ovládacích prvků	Jednoduchá obsluha a minimalizace námahy	+
Škála vhodných prostředí	V některých prostředích může dojít k poškození určitých komponentů	-
Frekvence použití	Při častém použití dochází k opotřebení komponentů vozíku	-
Technické hledisko		
Vlastnost	Rozhodnutí	Hodnocení
Návrh výroby	Návrh vozíku pro co nejjednodušší výrobu	+
Výzkum a vývoj	Vyvinutí nového váhového systému	+
Speciální konstrukční prvky	Delší a komplikovanější výroba	-
Výroba a montáž	Proces přeměny návrhu ve výrobek	+
Speciální nářadí a nástroje	Ztrátový čas při návrhu a výrobě nástrojů	-
Prostory pro skladování	Nutno vystavět sklad pro díly i hotové vozíky	-
Nutnost vysoké kvalifikace	Nutnost vyškolení pracovníků, vyšší výdaje na platy	-
Automatizace výroby	Urychlení výroby	+
Rozšíření a modernizace výroby	Větší počet kusů za stejný čas	+
Moderní materiály	Levné a ekologické materiály s požadovanými vlastnostmi	+
Laboratorní zkoušky	Možnost spolupráce s jinými firmami	+

Manipulační zařízení pro distribuci	Nutná výroba, případně nákup manipulačního zařízení	-
Ekonomické hledisko		
Vlastnost	Rozhodnutí	Hodnocení
Platy zaměstnanců	Nutné výdaje	-
Levný návrh	Rychlý návrh vlivem jednoduché konstrukce	+
Cena na vývoj prototypu	Nutné výdaje pro vyzkoušení správné funkce	-
Cena výroby a montáže	Finance vydané na materiál, stroje, energie...	-
Levnější výroba při sériovosti	Souvisí s automatizací a rozšířením výroby	+
Levné díly při hromadném nákupu	Sleva na nákup velkého množství kusů	+
Náklady na expedici a servis	Výdaje spojené s dodáním a opravami výrobku	-
Náklady na likvidaci	Výdaje spojené s ekologickou likvidací již dosloužilých výrobků	-
Prodejní cena	Hlavní zisk	+
Nedostatečný kapitál	Riziko spojené s mnoha faktory	-
Ergonomické a BOZP hledisko		
Vlastnost	Rozhodnutí	Hodnocení
Bezpečnost proti poškození	Odolnost proti nešetrnému zacházení nebo neočekávané kolizi	+
Přístupnost k ovládání	Vlivem vhodně umístěného ovládacího prvku dochází k eliminaci rizika úrazu	+
Čistitelnost a omyvatelnost	Při zhoršené čistitelnosti nutnost používat syntetická čisticí prostředky	-
Krytí rotujících částí (kolečka)	Zamezení úrazu, zhoršená manipulace vedoucí k namáhání	-
Ochrana proti pohybu zátěže	Eliminace rizika zranění osob či poškození nákladu vlivem skluzu	+
Uvedení do pohybu	Nutnost zvýšeného úsilí vedoucí k namáhání pohybového aparátu	-
Zastavení vozíku	Nutnost zvýšeného úsilí vedoucí k namáhání pohybového aparátu	-
Protiskluzové madlo	Bezpečnostní prvek	+
Námaha při zdvihu	Nutnost zvýšeného úsilí vedoucí k namáhání pohybového aparátu	-
Neexistence ostrých hran	Snížení rizika úrazu při běžném používání	+
Externí oblast		
Transformační hledisko		
Vlastnost	Rozhodnutí	Hodnocení
Modernější produkty na trhu	Dokonalejší konkurenční produkt	-

Snažší použití	Jednodušší obsluha než u konkurenčních vozíků	+
Efektivnější váhový systém na trhu	Dokonalejší váhový systém konkurenčních firem	-
Podrobné návody	Vytvoření podrobných návodů včetně videonávodů pro co největší pohodlí při používání	+
Požadavky pro nevhodné prostř.	Snížená životnost vozíku vlivem používání v nevhodných prostředích	-
Nižší ližiny u konkurence	U vyšších ližin snížený rozsah použití	-
Vyšší životnost	Vyšší životnost než konkurenční produkty	+
Stanovení nových standardů	Taková koncepce, která nastaví nový standard pro daný produkt na trhu	+
Technické hledisko		
Vlastnost	Rozhodnutí	Hodnocení
Spolupráce s jinými firmami	Otevírá nové možnosti na trhu	+
Nové výrobní postupy	Nové řešení váhového systému umožňující efektivnější výrobní postup	+
Nezájem o dané řešení	Minimální poptávka po vozíku s daným váhovým systémem	-
Nedostatek výrobních prostor	Hrozí u velké poptávky	-
Získání nových zákazníků	Dobré jméno vlivem kvalitního produktu	+
Ztráta zákazníků vlivem poruch	Při častých poruchách daného váhového systému hrozí přechod zákazníků ke konkurenci	-
Výzkum a vývoj nových technolog.	Možnost získání patentů na nové druhy váhových systémů	+
Malá konkurenceschopnost	Dokonalejší a levnější produkty na trhu	-
Nekvalifikovaní pracovníci	Nekvalitní produkty s častými poruchami způsobenými nekvalifikovanými pracovníky	-
Ekonomické hledisko		
Vlastnost	Rozhodnutí	Hodnocení
Drahá pracovní síla	Kvalifikované pracovníky nutno vhodně finančně ohodnotit	-
Zvýšení nákladů	Vyšší inflace, dražší výroba, zvýšení ceny nakupovaných částí	-
Finance od spokojených zákazníků	Pro získání stálých a spokojených zákazníků je nutno vyrábět kvalitní vozíky s přesnými váhovými systémy	+
Dlouhodobé kontrakty	Souvisí se spokojeností zákazníků	+

Získání dotací	Rozšíření výroby, vyšší počet výrobků	+
Pokles poptávky	Souvisí s nekvalitním a drahým vozíkem s neefektivním váhovým systémem (nepřesné, dlouhotrvající vážení)	-
Nejlevnější produkt na trhu	Levný návrh, nakupované součásti, výroba	+
Ergonomické a BOZP hledisko		
Vlastnost	Rozhodnutí	Hodnocení
Vyšší bezpečnost než konkurence	Více bezpečnostních prvků	+
Nové BOZP předpisy	Směrnice vyžadující novější a kvalitnější bezpečnostní prvky	-
Poškození zdraví zákazníka	Nekvalitní či chybějící bezpečnostní prvky	-
Zlepšení BOZP prvky u konkurence	Ztráta zákazníků a zisků	-
Vyšší ergonomie než konkurence	Získání zákazníků vlivem příjemnějšího produktu	+
Požadavky na lepší ergonomičnost	Směrnice vyžadující novější a vhodnější umístění a tvary důležitých prvků	-
Stanovení nových BOZP standardů	Vytvoření bezpečnostních prvků, které nastaví nový standard u daného typu výrobku	+
Získání potřebných certifikátů	Získání nových zákazníků z důvodů dobrého jména	+

Tenzometrická váhová buňka			
Transformační hledisko			
Silné stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Nosnost vozíku	0,1	4	0,4
2. Snadná manipulace	0,1	4	0,4
3. Jednoduchý zdvih	0,1	4	0,4
4. Normalizované rozměry	0,1	5	0,5
5. Spolehlivost	0,2	4	0,8
6. Umístění ovládacích prvků	0,1	3	0,3
7. Vysoká přesnost vážení	0,3	4	1,2
Součet silných stránek	1	28	4
Slabé stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Hmotnost vozíku	0,1	2	0,2
2. Výška ližin	0,3	3	0,9
3. Škála vhodných prostředí	0,2	4	0,8
4. Protiskluzový povrch	0,1	2	0,2
5. Frekvence použití	0,2	2	0,4
6. Životnost	0,1	1	0,1
Součet slabých stránek	1	14	2,6
Příležitosti	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Stanovení nových standardů	0,1	3	0,3
2. Vyšší životnost než konkurence	0,3	4	1,2
3. Podrobné návody	0,2	4	0,8
4. Jednodušší použití	0,4	5	2
Součet příležitostí	1	16	4,3
Hrozby	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Modernější produkty na trhu	0,4	3	1,2
2. Efektivnější vážení	0,2	3	0,6
3. Požadavky pro nevhodné prostředí	0,3	4	1,2
4. Nižší ližiny u konkurence	0,1	2	0,2
Součet hrozeb	1	12	3,2
Součet transformačního hlediska	4	70	14,1
Technické hledisko			
Silné stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Výzkum a vývoj	0,2	3	0,6
2. Návrh výroby	0,2	4	0,8
3. Výroba a montáž	0,3	4	1,2
4. Rozšíření a modernizace výroby	0,1	5	0,5
5. Automatizace výroby	0,1	3	0,3
6. Moderní materiály	0,1	4	0,4
7. Laboratorní zkoušky	0,2	3	0,6
Součet silných stránek	1,2	26	4,4
Slabé stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Prostory pro skladování	0,2	2	0,4
2. Nutnost vysoké kvalifikace	0,3	1	0,3
3. Speciální nářadí a nástroje	0,1	3	0,3
4. Manipulační zařízení pro distribuci	0,1	2	0,2
5. Speciální konstrukční prvky	0,1	2	0,2
Součet slabých stránek	0,8	10	1,4
Příležitosti	Váha	Hodnocení	Celkem

1.	Spolupráce s jinými firmami	0,3	4	1,2
2.	Nové výrobní postupy	0,2	3	0,6
3.	Získání nových zákazníků	0,3	5	1,5
4.	Výzkum a vývoj nových technologií	0,2	4	0,8
Součet příležitostí		1	16	4,1
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Nezájem o dané řešení	0,2	2	0,4
2.	Malá konkurenceschopnost	0,3	4	1,2
3.	Nedostatek výrobních prostor	0,2	3	0,6
4.	Nekvalifikovaní pracovníci	0,1	2	0,2
5.	Ztráta zákazníků vlivem poruchovosti	0,2	2	0,4
Součet hrozeb		1	13	2,8
Součet technického hlediska		4	65	12,7
Ekonomické hledisko				
Silné stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Levný návrh	0,3	4	1,2
2.	Levnější výroba při sériovosti	0,2	3	0,6
3.	Levné díly při hromadném nákupu	0,1	3	0,3
4.	Prodejní cena	0,4	4	1,6
Součet silných stránek		1	14	3,7
Slabé stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Platy zaměstnanců	0,2	4	0,8
2.	Cena na vývoj prototypu	0,2	3	0,6
3.	Cena výroby a montáže	0,3	5	1,5
4.	Náklady na expedici a servis	0,1	2	0,2
5.	Náklady na likvidaci	0,1	1	0,1
6.	Nedostatečný kapitál	0,1	1	0,1
Součet slabých stránek		1	16	3,3
Příležitosti		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Nejlevnější produkt na trhu	0,2	3	0,6
2.	Získání dotací	0,3	4	1,2
3.	Finance od spokojených zákazníků	0,2	4	0,8
4.	Dlouhodobé kontrakty	0,3	5	1,5
Součet příležitostí		1	16	4,1
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Drahá pracovní síla	0,3	4	1,2
2.	Pokles poptávky	0,3	3	0,9
3.	Zvýšení nákladů	0,3	1	0,3
Součet hrozeb		0,9	8	2,4
Součet ekonomického hlediska		3,9	54	13,5
Ergonomické a BOZP hledisko				
Silné stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Bezpečnost proti poškození	0,3	4	1,2
2.	Přístupnost k ovládání	0,2	5	1
3.	Ochrana proti pohybu zátěže	0,1	3	0,3
4.	Neexistence ostrých hran	0,2	4	0,8
5.	Protiskluzové madlo	0,2	3	0,6
Součet silných stránek		1	19	3,9
Slabé stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Čistitelnost a omyvatelnost	0,1	1	0,1
2.	Krytí rotujících částí (kolečka)	0,3	5	1,5

3.	Námaha při zdvihu	0,2	4	0,8
4.	Uvedení do pohybu	0,2	4	0,8
5.	Zastavení vozíku	0,2	3	0,6
Součet slabých stránek		1	17	3,8
Příležitosti		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Vyšší bezpečnost než konkurence	0,3	4	1,2
2.	Vyšší ergonomie než konkurence	0,2	4	0,8
3.	Získání potřebných certifikátů	0,4	5	2
4.	Stanovení nových BOZP standardů	0,1	2	0,2
Součet příležitostí		1	15	4,2
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Zlepšené BOZP prvky u konkurence	0,1	2	0,2
2.	Nové BOZP předpisy	0,3	4	1,2
3.	Požadavky na lepší ergonomičnost	0,2	3	0,6
4.	Poškození zdraví zákazníka	0,4	4	1,6
Součet hrozeb		1	13	3,6
Součet ergonomického hlediska		4	64	15,5
Celkový součet silných stránek		4,2	87	16
Celkový součet slabých stránek		3,8	57	11,1
Celkový součet příležitostí		4	63	16,7
Celkový součet hrozeb		3,9	46	12
Celkový součet hledisek		15,9	253	55,8

Tenzometr			
Transformační hledisko			
Silné stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Nosnost vozíku	0,1	4	0,4
2. Snadná manipulace	0,1	4	0,4
3. Jednoduchý zdvih	0,1	3	0,3
4. Normalizované rozměry	0,1	4	0,4
5. Spolehlivost	0,2	4	0,8
7. Umístění ovládacích prvků	0,1	3	0,3
8. Vysoká přesnost vážení	0,3	4	1,2
Součet silných stránek	1	26	3,8
Slabé stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Hmotnost vozíku	0,1	2	0,2
2. Výška ližin	0,3	2	0,6
3. Škála vhodných prostředí	0,2	4	0,8
4. Protiskluzový povrch	0,1	3	0,3
5. Frekvence použití	0,2	3	0,6
6. Životnost	0,1	2	0,2
Součet slabých stránek	1	16	2,7
Příležitosti	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Stanovení nových standardů	0,2	3	0,6
2. Vyšší životnost než konkurence	0,3	5	1,5
3. Podrobné návody	0,2	4	0,8
4. Jednodušší použití	0,5	4	2
Součet příležitostí	1,2	16	4,9
Hrozby	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Modernější produkty na trhu	0,4	4	1,6
2. Efektivnější vážení na trhu	0,2	3	0,6
3. Požadavky pro nevhodné prostředí	0,3	2	0,6
4. Nižší ližiny u konkurence	0,1	3	0,3
Součet hrozeb	1	12	3,1
Součet transformačního hlediska	4,2	70	14,5
Technické hledisko			
Silné stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Výzkum a vývoj	0,2	4	0,8
2. Návrh výroby	0,2	4	0,8
3. Výroba a montáž	0,3	5	1,5
4. Rozšíření a modernizace výroby	0,1	3	0,3
5. Automatizace výroby	0,1	2	0,2
6. Moderní materiály	0,1	3	0,3
7. Laboratorní zkoušky	0,2	1	0,2
Součet silných stránek	1,2	22	4,1
Slabé stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Prostory pro skladování	0,2	4	0,8
2. Nutnost vysoké kvalifikace	0,3	2	0,6
3. Speciální nářadí a nástroje	0,1	2	0,2
4. Manipulační zařízení pro distribuci	0,1	2	0,2
5. Speciální konstrukční prvky	0,1	1	0,1
Součet slabých stránek	0,8	11	1,9
Příležitosti	Váha	Hodnocení	Celkem

1.	Spolupráce s jinými firmami	0,3	4	1,2
2.	Nové výrobní postupy	0,2	2	0,4
3.	Získání nových zákazníků	0,3	4	1,2
4.	Výzkum a vývoj nových technologií	0,2	1	0,2
Součet příležitostí		1	11	3
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Nezájem o dané řešení	0,2	4	0,8
2.	Malá konkurenceschopnost	0,3	2	0,6
3.	Nedostatek výrobních prostor	0,2	3	0,6
4.	Nekvalifikovaní pracovníci	0,1	2	0,2
5.	Ztráta zákazníků vlivem poruchovosti	0,2	2	0,4
Součet hrozeb		1	13	2,6
Součet technického hlediska		4	57	11,6
Ekonomické hledisko				
Silné stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Levný návrh	0,3	4	1,2
2.	Levnější výroba při sériovosti	0,2	4	0,8
3.	Levné díly při hromadném nákupu	0,1	4	0,4
4.	Prodejní cena	0,4	4	1,6
Součet silných stránek		1	16	4
Slabé stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Platy zaměstnanců	0,2	3	0,6
2.	Cena na vývoj prototypu	0,2	4	0,8
3.	Cena výroby a montáže	0,3	3	0,9
4.	Náklady na expedici a servis	0,1	3	0,3
5.	Náklady na likvidaci	0,1	1	0,1
6.	Nedostatečný kapitál	0,1	2	0,2
Součet slabých stránek		1	16	2,9
Příležitosti		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Nejlevnější produkt na trhu	0,2	3	0,6
2.	Získání dotací	0,3	3	0,9
3.	Finance od spokojených zákazníků	0,2	4	0,8
4.	Dlouhodobé kontrakty	0,3	4	1,2
Součet příležitostí		1	14	3,5
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Drahá pracovní síla	0,3	3	0,9
2.	Pokles poptávky	0,3	2	0,6
3.	Zvýšení nákladů	0,3	3	0,9
Součet hrozeb		0,9	8	2,4
Součet ekonomického hlediska		3,9	54	12,8
Ergonomické a BOZP hledisko				
Silné stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Bezpečnost proti poškození	0,3	4	1,2
2.	Přístupnost k ovládání	0,2	4	0,8
3.	Ochrana proti pohybu zátěže	0,1	3	0,3
4.	Neexistence ostrých hran	0,2	3	0,6
5.	Protiskluzové madlo	0,2	4	0,8
Součet silných stránek		1	18	3,7
Slabé stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Čistitelnost a omyvatelnost	0,1	1	0,1
2.	Krytí rotujících částí (kolečka)	0,3	5	1,5

3.	Námaha při zdvihu	0,2	4	0,8
4.	Uvedení do pohybu	0,2	4	0,8
5.	Zastavení vozíku	0,2	3	0,6
Součet slabých stránek		1	17	3,8
Příležitosti		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Vyšší bezpečnost než konkurence	0,3	4	1,2
2.	Vyšší ergonomie než konkurence	0,2	4	0,8
3.	Získání potřebných certifikátů	0,4	5	2
4.	Stanovení nových BOZP standardů	0,1	2	0,2
Součet příležitostí		1	15	4,2
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Zlepšené BOZP prvky u konkurence	0,1	2	0,2
2.	Nové BOZP předpisy	0,3	4	1,2
3.	Požadavky na lepší ergonomičnost	0,2	3	0,6
4.	Poškození zdraví zákazníka	0,4	4	1,6
Součet hrozeb		1	13	3,6
Součet ergonomického hlediska		4	63	15,3
Celkový součet silných stránek		4,2	82	15,6
Celkový součet slabých stránek		3,8	60	11,3
Celkový součet příležitostí		4,2	56	15,6
Celkový součet hrozeb		3,9	46	11,7
Celkový součet hledisek		16,1	244	54,2

Tlakový snímač pro hydraulickou kapalinu			
Transformační hledisko			
Silné stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Nosnost vozíku	0,1	4	0,4
2. Snadná manipulace	0,1	4	0,4
3. Jednoduchý zdvih	0,1	4	0,4
4. Normalizované rozměry	0,1	4	0,4
5. Spolehlivost	0,2	4	0,8
7. Umístění ovládacích prvků	0,1	3	0,3
8. Vysoká přesnost vážení	0,3	3	0,9
Součet silných stránek	1	26	3,6
Slabé stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Hmotnost vozíku	0,1	1	0,1
2. Výška ližin	0,3	2	0,6
3. Škála vhodných prostředí	0,2	3	0,6
4. Protiskluzový povrch	0,1	2	0,2
5. Frekvence použití	0,2	2	0,4
6. Životnost	0,1	1	0,1
Součet slabých stránek	1	11	2
Příležitosti	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Stanovení nových standardů	0,2	4	0,8
2. Vyšší životnost než konkurence	0,3	5	1,5
3. Podrobné návody	0,2	4	0,8
3. Jednodušší použití	0,5	3	1,5
Součet příležitostí	1,2	16	4,6
Hrozby	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Modernější produkty na trhu	0,4	3	1,2
2. Efektivnější vážení na trhu	0,2	4	0,8
3. Požadavky pro nevhodné prostředí	0,3	2	0,6
4. Nižší ližiny u konkurence	0,1	1	0,1
Součet hrozeb	1	10	2,7
Součet transformačního hlediska	4,2	63	12,9
Technické hledisko			
Silné stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Výzkum a vývoj	0,2	3	0,6
2. Návrh výroby	0,2	4	0,8
3. Výroba a montáž	0,3	3	0,9
4. Rozšíření a modernizace výroby	0,1	4	0,4
5. Automatizace výroby	0,1	3	0,3
6. Moderní materiály	0,1	2	0,2
7. Laboratorní zkoušky	0,2	2	0,4
Součet silných stránek	1,2	21	3,6
Slabé stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Prostory pro skladování	0,2	2	0,4
2. Nutnost vysoké kvalifikace	0,3	4	1,2
3. Speciální nářadí a nástroje	0,1	2	0,2
4. Manipulační zařízení pro distribuci	0,1	1	0,1
5. Speciální konstrukční prvky	0,1	3	0,3
Součet slabých stránek	0,8	12	2,2
Příležitosti	Váha	Hodnocení	Celkem

1.	Spolupráce s jinými firmami	0,3	4	1,2
2.	Nové výrobní postupy	0,2	4	0,8
3.	Získání nových zákazníků	0,3	4	1,2
4.	Výzkum a vývoj nových technologií	0,2	2	0,4
Součet příležitostí		1	14	3,6
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Nezájem o dané řešení	0,2	2	0,4
2.	Malá konkurenceschopnost	0,3	2	0,6
3.	Nedostatek výrobních prostor	0,2	3	0,6
4.	Nekvalifikovaní pracovníci	0,1	3	0,3
5.	Ztráta zákazníků vlivem poruch	0,2	1	0,2
Součet hrozeb		1	11	2,1
Součet technického hlediska		4	58	11,5
Ekonomické hledisko				
Silné stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Levný návrh	0,3	4	1,2
2.	Levnější výroba při sériovosti	0,2	4	0,8
3.	Levné díly při hromadném nákupu	0,1	5	0,5
4.	Prodejní cena	0,4	4	1,6
Součet silných stránek		1	17	4,1
Slabé stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Platy zaměstnanců	0,2	3	0,6
2.	Cena na vývoj prototypu	0,2	3	0,6
3.	Cena výroby a montáže	0,3	2	0,6
4.	Náklady na expedici a servis	0,1	2	0,2
5.	Náklady na likvidaci	0,1	1	0,1
6.	Nedostatečný kapitál	0,1	1	0,1
Součet slabých stránek		1	12	2,2
Příležitosti		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Nejlevnější produkt na trhu	0,2	4	0,8
2.	Získání dotací	0,3	3	0,9
3.	Finance od spokojených zákazníků	0,2	4	0,8
4.	Dlouhodobé kontrakty	0,3	5	1,5
Součet příležitostí		1	16	4
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Drahá pracovní síla	0,3	3	0,9
2.	Pokles poptávky	0,3	3	0,9
3.	Zvýšení nákladů	0,3	4	1,2
Součet hrozeb		0,9	10	3
Součet ekonomického hlediska		3,9	55	13,3
Ergonomické a BOZP hledisko				
Silné stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Bezpečnost proti poškození	0,3	4	1,2
2.	Přístupnost k ovládání	0,2	3	0,6
3.	Ochrana proti pohybu zátěže	0,1	3	0,3
4.	Neexistence ostrých hran	0,2	3	0,6
5.	Protiskluzové madlo	0,2	3	0,6
Součet silných stránek		1	16	3,3
Slabé stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Čistitelnost a omyvatelnost	0,1	1	0,1
2.	Krytí rotujících částí (kolečka)	0,3	5	1,5

3.	Námaha při zdvihu	0,2	4	0,8
4.	Uvedení do pohybu	0,2	4	0,8
5.	Zastavení vozíku	0,2	3	0,6
Součet slabých stránek		1	17	3,8
Příležitosti		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Vyšší bezpečnost než konkurence	0,3	4	1,2
2.	Vyšší ergonomie než konkurence	0,2	4	0,8
3.	Získání potřebných certifikátů	0,4	5	2
4.	Stanovení nových BOZP standardů	0,1	2	0,2
Součet příležitostí		1	15	4,2
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Zlepšené BOZP prvky u konkurence	0,1	2	0,2
2.	Nové BOZP předpisy	0,3	4	1,2
3.	Požadavky na lepší ergonomičnost	0,2	3	0,6
4.	Poškození zdraví zákazníka	0,4	4	1,6
Součet hrozeb		1	13	3,6
Součet ergonomického hlediska		4	61	14,9
Celkový součet silných stránek		4,2	80	14,6
Celkový součet slabých stránek		3,8	52	10,2
Celkový součet příležitostí		4,2	61	16,4
Celkový součet hrozeb		3,9	44	11,4
Celkový součet hledisek		16,1	237	52,6

Optický senzor na principu volného svazku fotonů			
Transformační hledisko			
Silné stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Nosnost vozíku	0,1	4	0,4
2. Snadná manipulace	0,1	5	0,5
3. Jednoduchý zdvih	0,1	4	0,4
4. Normalizované rozměry	0,1	2	0,2
5. Spolehlivost	0,2	4	0,8
7. Umístění ovládacích prvků	0,1	3	0,3
8. Vysoká přesnost vážení	0,3	3	0,9
Součet silných stránek	1	25	3,5
Slabé stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Hmotnost vozíku	0,1	2	0,2
2. Výška ližin	0,3	4	1,2
3. Škála vhodných prostředí	0,2	4	0,8
4. Protiskluzový povrch	0,1	2	0,2
5. Frekvence použití	0,2	4	0,8
6. Životnost	0,1	4	0,4
Součet slabých stránek	1	20	3,6
Příležitosti	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Stanovení nových standardů	0,2	4	0,8
2. Vyšší životnost než konkurence	0,3	2	0,6
3. Podrobné návody	0,2	4	0,8
4. Jednodušší použití	0,5	3	1,5
Součet příležitostí	1,2	13	3,7
Hrozby	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Modernější produkty na trhu	0,4	2	0,8
2. Efektivnější vážení na trhu	0,2	3	0,6
3. Požadavky pro nevhodné prostředí	0,3	3	0,9
4. Nižší ližiny u konkurence	0,1	2	0,2
Součet hrozeb	1	10	2,5
Součet transformačního hlediska	4,2	68	13,3
Technické hledisko			
Silné stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Výzkum a vývoj	0,2	4	0,8
2. Návrh výroby	0,2	4	0,8
3. Výroba a montáž	0,3	3	0,9
4. Rozšíření a modernizace výroby	0,1	5	0,5
5. Automatizace výroby	0,1	4	0,4
6. Moderní materiály	0,1	2	0,2
7. Laboratorní zkoušky	0,2	2	0,4
Součet silných stránek	1,2	24	4
Slabé stránky	Váha	Hodnocení	Celkem
1. Prostory pro skladování	0,2	4	0,8
2. Nutnost vysoké kvalifikace	0,3	3	0,9
3. Speciální nářadí a nástroje	0,1	4	0,4
4. Manipulační zařízení pro distribuci	0,1	1	0,1
5. Speciální konstrukční prvky	0,1	4	0,4
Součet slabých stránek	0,8	16	2,6
Příležitosti	Váha	Hodnocení	Celkem

1.	Spolupráce s jinými firmami	0,3	5	1,5
2.	Nové výrobní postupy	0,2	4	0,8
3.	Získání nových zákazníků	0,3	3	0,9
4.	Výzkum a vývoj nových technologií	0,2	4	0,8
Součet příležitostí		1	16	4
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Nezájem o dané řešení	0,2	4	0,8
2.	Malá konkurenceschopnost	0,3	2	0,6
3.	Nedostatek výrobních prostor	0,2	3	0,6
4.	Nekvalifikovaní pracovníci	0,1	2	0,2
5.	Ztráta zákazníků vlivem poruchovosti	0,2	3	0,6
Součet hrozeb		1	14	2,8
Součet technického hlediska		4	70	13,4
Ekonomické hledisko				
Silné stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Levný návrh	0,3	2	0,6
2.	Levnější výroba při sériovosti	0,2	4	0,8
3.	Levné díly při hromadném nákupu	0,1	5	0,5
4.	Prodejní cena	0,4	2	0,8
Součet silných stránek		1	13	2,7
Slabé stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Platy zaměstnanců	0,2	3	0,6
2.	Cena na vývoj prototypu	0,2	4	0,8
3.	Cena výroby a montáže	0,3	4	1,2
4.	Náklady na expedici a servis	0,1	2	0,2
5.	Náklady na likvidaci	0,1	1	0,1
6.	Nedostatečný kapitál	0,1	1	0,1
Součet slabých stránek		1	15	3
Příležitosti		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Nejlevnější produkt na trhu	0,2	2	0,4
2.	Získání dotací	0,3	4	1,2
3.	Finance od spokojených zákazníků	0,2	3	0,6
4.	Dlouhodobé kontrakty	0,3	5	1,5
Součet příležitostí		1	14	3,7
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Drahá pracovní síla	0,3	3	0,9
2.	Pokles poptávky	0,3	4	1,2
3.	Zvýšení nákladů	0,3	3	0,9
Součet hrozeb		0,9	10	3
Součet ekonomického hlediska		3,9	52	12,4
Ergonomické a BOZP hledisko				
Silné stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Bezpečnost proti poškození	0,3	4	1,2
2.	Přístupnost k ovládání	0,2	5	1
3.	Ochrana proti pohybu zátěže	0,1	3	0,3
4.	Neexistence ostrých hran	0,2	4	0,8
5.	Protiskluzové madlo	0,2	3	0,6
Součet silných stránek		1	19	3,9
Slabé stránky		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Čistitelnost a omyvatelnost	0,1	1	0,1
2.	Krytí rotujících částí (kolečka)	0,3	5	1,5

3.	Námaha při zdvihu	0,2	4	0,8
4.	Uvedení do pohybu	0,2	4	0,8
5.	Zastavení vozíku	0,2	3	0,6
Součet slabých stránek		1	17	3,8
Příležitosti		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Vyšší bezpečnost než konkurence	0,3	4	1,2
2.	Vyšší ergonomie než konkurence	0,2	4	0,8
3.	Získání potřebných certifikátů	0,4	5	2
4.	Stanovení nových BOZP standardů	0,1	2	0,2
Součet příležitostí		1	15	4,2
Hrozby		Váha	Hodnocení	Celkem
1.	Zlepšené BOZP prvky u konkurence	0,1	2	0,2
2.	Nové BOZP předpisy	0,3	4	1,2
3.	Požadavky na lepší ergonomičnost	0,2	3	0,6
4.	Poškození zdraví zákazníka	0,4	4	1,6
Součet hrozeb		1	13	3,6
Součet ergonomického hlediska		4	64	15,5
Celkový součet silných stránek		4,2	81	14,1
Celkový součet slabých stránek		3,8	68	13
Celkový součet příležitostí		4,2	58	15,6
Celkový součet hrozeb		3,9	47	11,9
Celkový součet hledisek		16,1	254	54,6