

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra textilních a jednoúčelových strojů



Obor

2302 R022 Stroje a zařízení

Zaměření

Stavba strojů

**Inovace pracovních a manipulačních pomůcek pro montážní
operace**

Autor:

Pavel Jandura

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Ivan Mašín

Konzultant bakalářské práce:

David Strnad, Škoda Auto a.s., Mladá Boleslav

Liberec 2011

Zde vložte zadání

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

Katedra textilních a jed nouúčelových strojů

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Obor: 2302 R022 Stroje a zařízení
Zaměření: Stavba strojů
Bakalář: Pavel Jandura
Téma práce: Inovace pracovních a manipulačních pomůcek pro montážní operace
Theme of work: Innovation of working and handling aids for assembly operations
Rok obhajoby BP: 2011
Vedoucí BP: doc. Dr. Ing. Ivan Mašín
Konzultant BP: David Strnad, Škoda Auto a.s., Mladá Boleslav

Anotace:

Cílem této bakalářské práce je inovace pracovních a manipulačních pomůcek pro montážní operace. Tato práce obsahuje identifikaci inovačních příležitostí při montážních operacích. Hlavním obsahem práce je návrh konceptů a následné konstrukční řešení pracovních a manipulačních pomůcek, které mají za cíl snížit ergonomickou zátěž a zvýšit produktivitu na dvou vybraných montážních operacích.

Annotation:

The result of this thesis is an innovation of the working and manipulation tools in the process of the assembling. The document explains a new possibilities during the assembling procedure. The main chapter describes the detailed proposals of some possible concepts and the following design solutions. The task is to improve the ergonomy and increase the efficiency of two selected assembling procedures.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Doc. Dr. Ing. Ivanu Mašínovi, mému vedoucímu bakalářské práce za cenné podněty a připomínky, které mně ochotně a trpělivě poskytoval při tvorbě bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat firmě Institut průmyslového inženýrství s.r.o za poskytnuté informace, které mi pomohly při realizaci této práce.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Rešerše zdrojů v oblasti modulárních systémů pro práci a manipulaci na montážních pracovištích.	10
2. 1 Creform	11
2. 1. 2 Základní rozměry sestav.....	15
2. 2 Logiform.....	17
2. 3 TrilogiQ.....	18
3. Identifikace inovačních příležitostí	19
4. Návrhy konceptů vybraných pomůcek.....	23
4. 1 Návrh konceptů pro řešení situace č. 1	23
4. 2 Návrh konceptů pro řešení situace č. 8	27
5. Konstrukční řešení vybraných pomůcek pro konkrétní montážní operace	30
5. 1 Konstrukční řešení situace č. 1	30
5. 1. 1 Vychystávací vozík	30
5. 1. 2 Dráha	31
5. 1. 3 Západka a doraz	32
5. 2 Konstrukční řešení 8B.....	33
5. 2. 1 Lineární vedení.....	33
5. 2. 2 Pneumatický okruh.....	34
6. Kontrolní výpočty navržených konstrukčních řešení	36
6. 1 Návrh a kontrola pružiny ØD 23,6 mm pro případ 2A	36
6. 2 Průhyb a sklon trubky při zatížení v případě 2A.....	37
6. 3 Pneumatický válec 8B.....	39
7. Zhodnocení návrhů.....	40
Seznam literatury a zdrojů.....	43
Přílohy na CD.....	44

Seznam symbolů

Popis	Symbol	Jednotky
Délka volné pružiny	L_0	mm
Průměr drátu	d	mm
Stoupání volné pružiny	t	mm
Vnější průměr pružiny	D_1	mm
Střední průměr pružiny	D	mm
Vnitřní průměr pružiny	D_2	mm
Vůle mezi závity volné pružiny	a	mm
Součinitel koncentrace napětí	K_w	ul
Tuhost pružiny	k	N/mm
Deformace pružiny při minimálním zatížení	s_1	mm
Deformace v plně zatíženém stavu	s_8	mm
Deformace pružiny při mezním zatížení	s_9	mm
Mezní zkušební délka pružiny	L_{minf}	mm
Teoretická mezní délka pružiny	L_9	mm
Napětí při minimálním zatížení	τ_1	MPa
Napětí při maximálním zatížení	τ_8	MPa
Dosedací napětí	τ_9	MPa
Deformační energie	W_8	J
Délka drátu	l	mm
Hmotnost pružiny	m_p	kg
Mez pevnosti v tahu	σ_{ult}	MPa
Dovolené napětí v krutu	τ_A	MPa
Modul pružnosti ve smyku	G	MPa
Hustota	ρ	kg/m ³
Hmotnost	m	kg
Průměr	$\varnothing D, \varnothing d$	mm
Zdvih	L	mm
Tlak	p	bar, Pa
Modul pružnosti v tahu	E	MPa

Síla	F	N
Délka	a	mm
Moment setrvačnosti průřezu k ose ohybu	J_y	mm ⁴
Síla reakce	R	N
Posouvající síla	$T(x)$	N
Ohybový moment	$M(x)$	Nm
Sklon v bodě A	$\Psi(A)$	-
Průhyb v bodě C	$w(C)$	m
Reakce ve fiktivním nosníku	$\bar{T}$	N
Moment ve fiktivním nosníku	$\bar{M}$	Nm
Gravitační síla	F_g	N
Tlaková síla	F_p	N
Gravitační zrychlení	g	ms ⁻²
Plocha	S	m ²

1. Úvod

Počet montážních operací v celosvětovém měřítku obecně neustále roste díky tomu, že kontinuálně roste jak komplexita strojírenských výrobků, tak i jejich sortiment. Progresivní výrobní postupy zajišťující výrobu strojírenských dílů pomocí jedné technologie, konstrukční řešení založené na tzv. platformách a využívání finální montáže pro diverzifikaci hotových strojírenských výrobků rovněž podporují zvýšení podílu montážních operací v rámci celého životního cyklu strojírenského výrobku.

Z výše uvedeného důvodu vyplývá, že je nutné neustále provádět kritický rozbor postupů automatizované resp. manuální montáže a inovovat je v souladu s požadavky jak podnikatelského prostředí, permanentního tlaku na snižování procesních nákladů, tak i z ohledu snižování ergonomické zátěže pracovníků zejména při manuální montáži.

Význam posledně zmíněného aspektu se v posledních dvou dekadách výrazně zvýšil. Je nutné si uvědomit, že během posledních deseti let se zásadně změnily podmínky na pracovním trhu. Generace pracovníků, kteří pracují na montážních pracovištích a linkách od roku 2000, bude vystavena ergonomické zátěži zhruba o deset let déle než generace předcházející. Z pohledu produktivní části lidského života se tak jedná o prodloužení doby exploatace člověka v pracovním procesu o cca 15 - 20%. Z tohoto důvodu je nutné se intenzivně zabývat inovací pracovních postupů manuální montáže, kterou vzhledem k vysokým nárokům na flexibilitu a nízké náklady nebude možné komplexně transformovat na montáž automatizovanou.

Následující bakalářská práce je proto na základě výše uvedených argumentů zaměřená na inovaci vybraných pracovních a manipulačních pomůcek. Cílem předmětné inovace však není pouze snížení ergonomické zátěže, ale i snížení nákladů spojených s jednicovou prací na vybraných montážních operacích. Ve vazbě na současné modulární systémy, které jsou standardem při plánování montážních pracovišť.

2. Rešerše zdrojů v oblasti modulárních systémů pro práci a manipulaci na montážních pracovištích

Současné průmyslové společnosti podnikají na velmi náročných a citlivých trzích. Flexibilita a kreativita jsou nutností i podmínkou k úspěchu. Náklady musí být neustále snižovány a podnikové procesy musí být neustále optimalizovány ať už ve formě inovací vyššího řádu nebo drobným inkrementálním zlepšováním (např. pomocí filozofie *kaizen*). V průmyslové výrobě proto v posledních deseti letech výrazně vzrostl význam flexibility, která je podmínkou včasné reakce na potřeby proměnlivého trhu.

Podmínkou pro dosažení vysoké flexibility výrobního procesu je vysoká flexibilita výrobních prostředků a pracovních pomůcek. Tento trend vyústil v masivní využívání tzv. modulárních stavebnicových systémů pro vytváření pracovišť, logistických prvků a manipulačních pomůcek.

Základem těchto systémů jsou speciální trubky a kovové i plastové spojky, pomocí kterých mohou být ve velmi krátké době sestaveny regály, vozíky, pracovní stoly, manipulační pomůcky apod. Tyto prvky materiálového a pracovního systému mohou být kdykoliv přestaveny podle momentálních požadavků, přičemž zpětné využití jednotlivých stavebních prvků je okolo 85 – 90 %.

Tyto pozitivní efekty bylo možné dosáhnout díky využití myšlenky modulové a stavebnicové konstrukce. Modulární konstrukce (*modular design*) představuje rozčlenění sestavy na menší části (moduly), které jsou snadno zaměnitelné. Modulární konstrukce je jedním z pokusů získat jak výhody standardizace (vysoký objem výroby znamená většinou nižší náklady), tak i zároveň výhody customizace. Modulové a stavebnicové řešení konstrukce je charakterizováno:

- funkčním rozdělením konstrukce na diskrétní, odstupňované a opakovatelně využitelné moduly skládající se z izolovaných a celistvých funkčních prvků
- důsledným využíváním jasně a jednoznačně definovaných modulových interface
- snadnou změnou modulů
- využití průmyslových standardů (normovaných řešení) pro klíčové interface

Modulární stavebnicové systémy nám navíc v případě vytváření pracovišť, pomůcek i logistických prvků dávají možnost rychlé implementace návrhů do praxe.

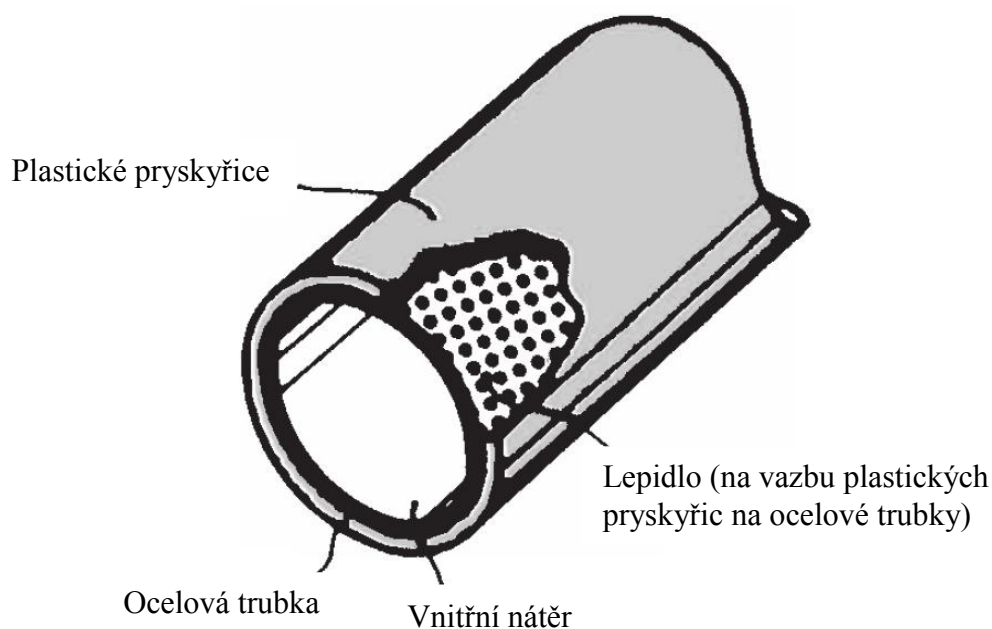
Je tedy zřejmé, že z hlediska zajištění optimálních pracovních podmínek poskytují tyto systémy dobrou možnost pro vytvoření pracovišť charakterizovaných dobrou pohybovou ekonomikou, správnými ergonomickými podmínkami, vysokou efektivností procesu i redukováním plýtváním.

Další část práce je zaměřena na popis třech nejrozšířenějších systémů:

- Creform
- Logiform
- TrilogiQ

2.1 Creform

Trubkový modulární systém Creform byl vyvinutý ve společnosti Yazaki Industrial Chemical Corporation v Japonsku před více jak 35 lety. Princip tohoto systému spočívá ve využití mechanických vlastností tenkostěnné ocelové trubky potažené plastem.

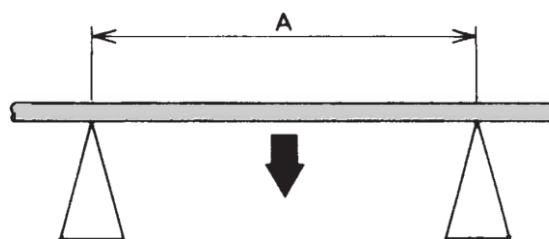


Obr. 2.1.: Trubka Creform

Specifikace trubek Creform	
Materiál	Ocelová trubka - 0,7 mm pro Ø 28 mm - 0,9 mm pro Ø 32 mm
Vnější průměr	- Ø 28 mm - Ø 32 mm
Hmotnost	- Ø 28 mm – 520 g/m - Ø 32 mm – 740 g/m
Délka	2,5 m, 3 m, 4 m

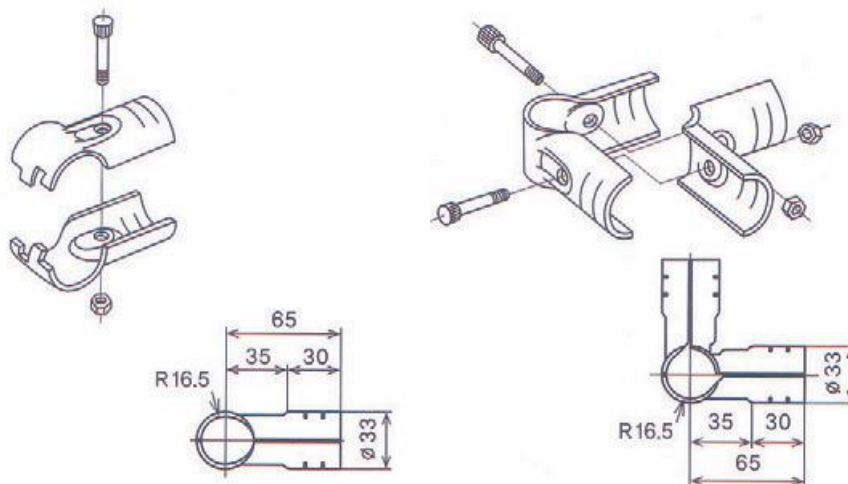
Tab. 2.1: Specifikace trubek Creform

Vzdálenost A	Dovolené zatížení
450mm	140kg
900mm	70kg
1,000mm	58kg
1,100mm	52kg
1,300mm	46kg
1,500mm	38kg
1,800mm	32kg

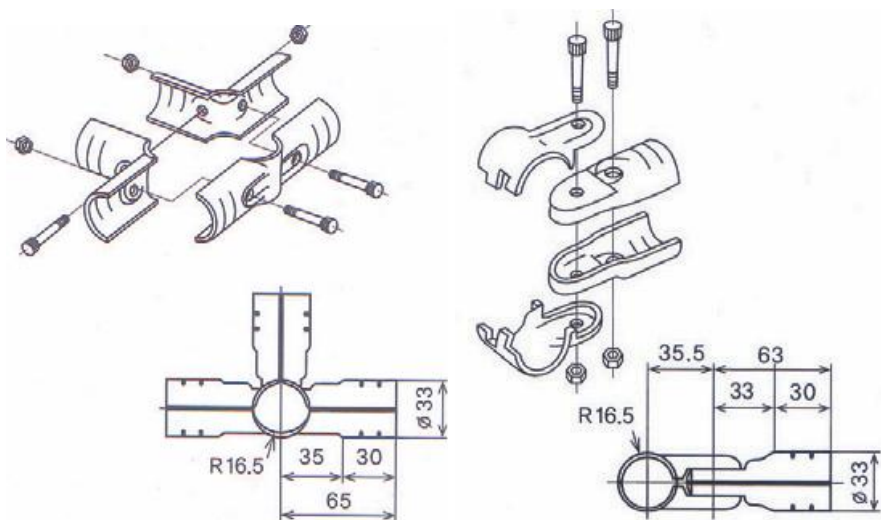


Obr. 2. 2: Dovolené zatížení vzhledem k vzdálenosti podpěr

Dalšími stavebními prvky tohoto modulárního systému jsou kovové nebo plastové spojky. Plastové spojky jsou doporučovány pro méně namáhané a nepohyblivé konstrukce. Jejich výhodou je velice rychlá montáž, jelikož není potřeba žádný spojovací materiál. Kovové spojky se musí spojovat pomocí šroubového spoje, ale hodí se pro každý typ konstrukce a vyznačují se větší pevností spoje než spojky plastové.

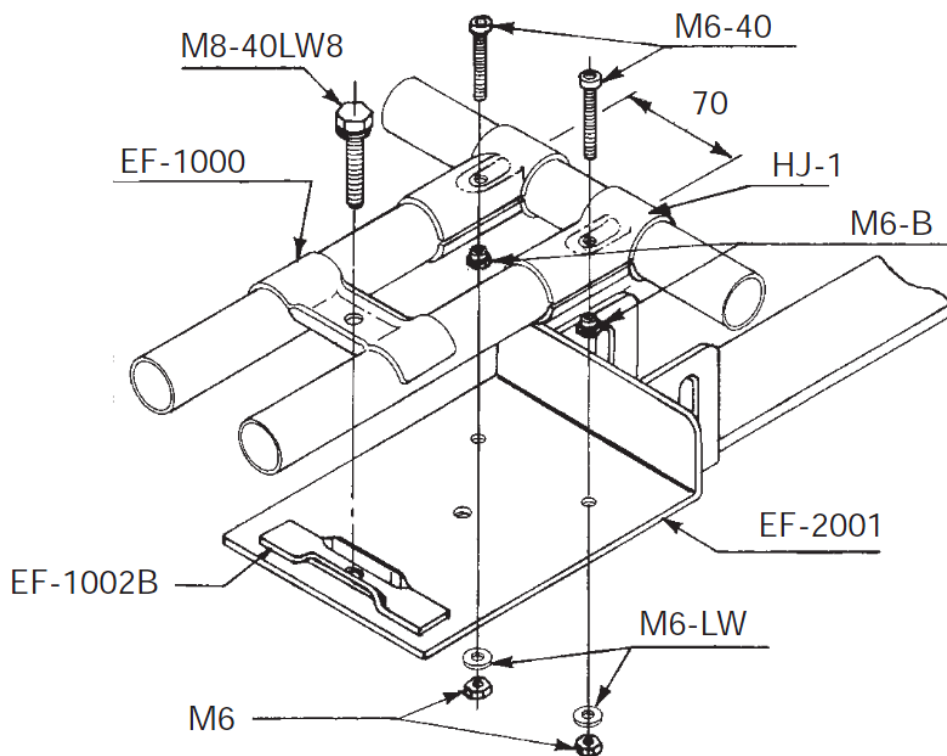


Obr. 2.3: Příklady spojek Creform



Obr. 2.4: Příklady spojek Creform

Pomocí trubek, spojek a dalšího příslušenství je možné vytvářet nekonečný počet rozebíratelných prvků pracovišť a logistických systémů.



Obr. 2.5: Ukázka spoje modulárního systému Creform

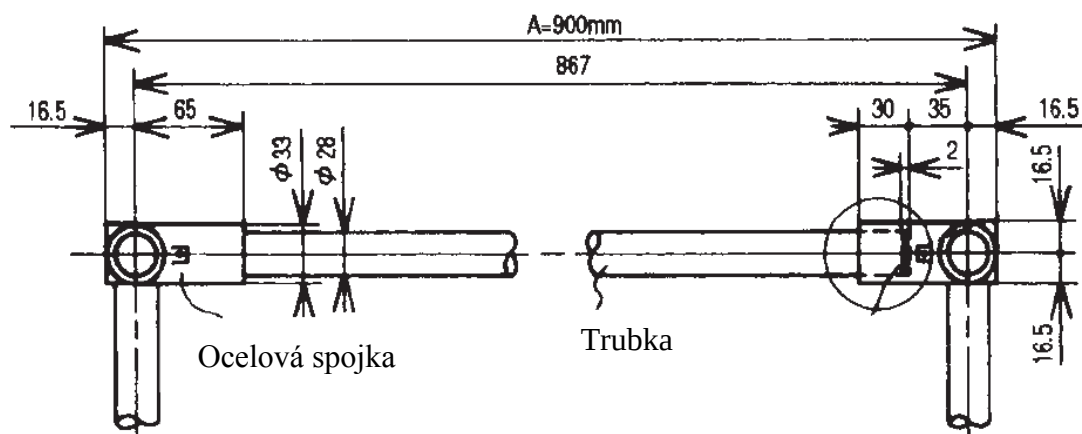


Obr. 2.6: Příklady využití systému Creform

2. 1. 2 Základní rozměry sestav

Trubka Ø 28 mm – ocelové spojky	
900 mm	Základní rozměr A
-33 mm	Rádus spojky
-70 mm	Délka trubky uvnitř spojky
797 mm	Délka trubky

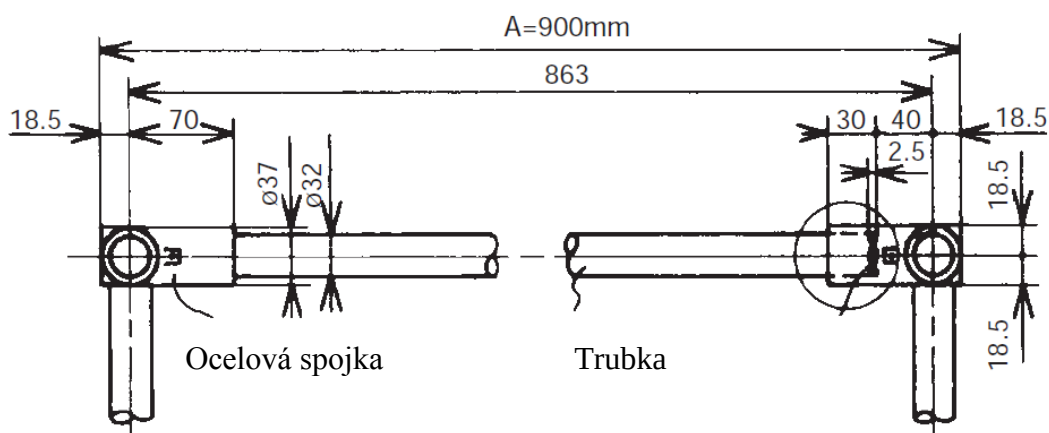
Tab. 2.1: Výpočet délky trubky Ø 28 mm – ocelové spojky



Obr. 2.7: Ocelové spojky - trubka Ø 28 mm

Trubka Ø 32 mm – ocelové spojky	
900 mm	Základní rozměr A
-37 mm	Rádus spojky
-80 mm	Délka trubky uvnitř spojky
783 mm	Délka trubky

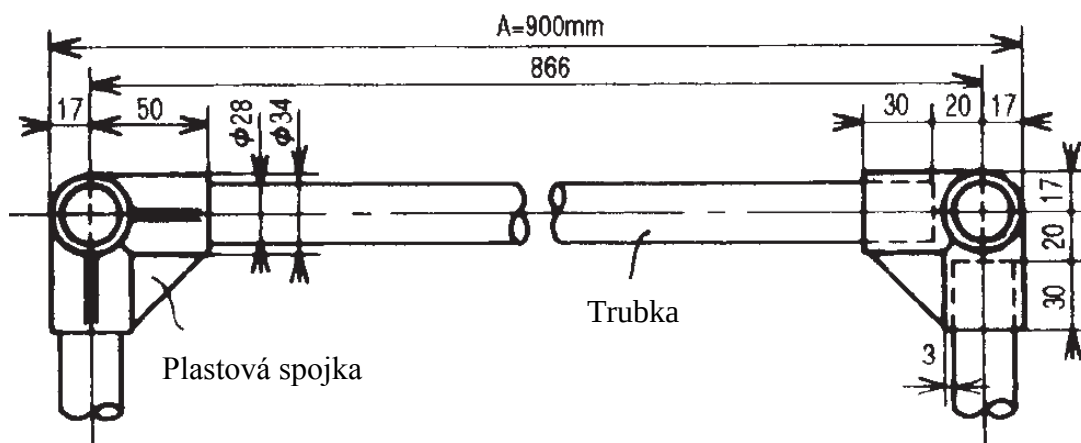
Tab. 2.2: Výpočet délky trubky Ø 32 mm – ocelové spojky



Obr. 2.8: Ocelové spojky - trubka Ø 32 mm

Trubka Ø 28 mm – plastové spojky	
900 mm	Základní rozměr A
-34 mm	Rádus spojky
-40 mm	Délka trubky uvnitř spojky
826 mm	Délka trubky

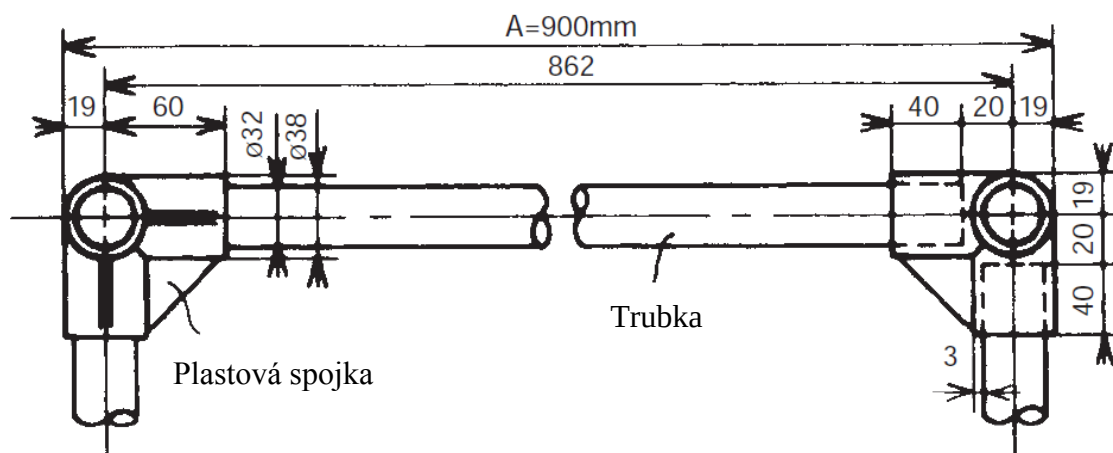
Tab. 2.3: Výpočet délky trubky Ø 28 mm – plastové spojky



Obr. 2.9: Plastové spojky - trubka Ø 28 mm

Trubka Ø 32 mm – plastové spojky	
900 mm	Základní rozměr A
-38 mm	Rádus spojky
-40 mm	Délka trubky uvnitř spojky
822 mm	Délka trubky

Tab. 2.4: Výpočet délky trubky Ø 28 mm – plastové spojky



Obr. 2.10: Plastové spojky - trubka Ø 32 mm

Princip popsaného systému Creform se postupem let rozšířil jako určitý standard po celém světě. Ostatní výrobci aplikovali popsany základní princip „trubka-spojka“, ale z různých důvodů (např. patentová ochrana) ve svém modulárním systému využívají jiné rozměry resp. rozměrové řady. V další části práce se proto zaměřím pouze na stručnou charakteristiku dalších dvou rozšířených modulárních stavebnicových systémů.

2. 2 Logiform

Logiform systém vyvinula společnost HBL INC., která byla založena v roce 1997. Tento systém si ale nechala zapsat po obchodní značku Logiform až v roce 2005. Tento modulárního systém má základní rozměr trubky totožný se systémem Creform ($\varnothing$ 28 mm). Z vlastní zkušenosti mohu konstatovat, že většina částí systému Creform a Logiform jsou navzájem kompatibilní.



Obr. 2.11: Příklady využití systému Logiform

2. 3 TrilogiQ

TrilogiQ modulární systém vznikl v roce 1992 a poté se rozšířil, především v Severní Americe a Evropě. TrilogiQ má velkou podobnost se systémem Creform, ale základní rozměr vnějšího průměru trubky je $\varnothing 28,6$. Ostatní komponenty jsou odvozeny od tohoto základního rozměru.



Obr. 2.12: Příklady využití systému TrilogiQ

3. Identifikace inovačních příležitostí

Při montážních operacích lze identifikovat široké spektrum typů plýtvání, jehož negativní důsledky závisí na kvalitě řešení konkrétního montážního pracoviště.

Obecně můžeme při montážních operacích identifikovat tyto základní druhy plýtvání spojené s pohybem resp. postojem pracovníků:

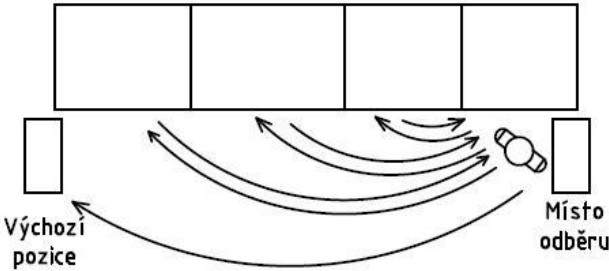
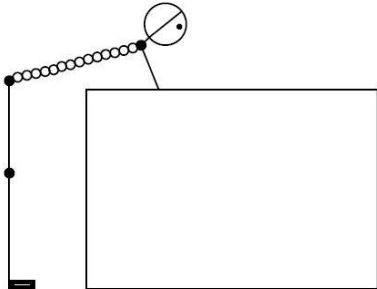
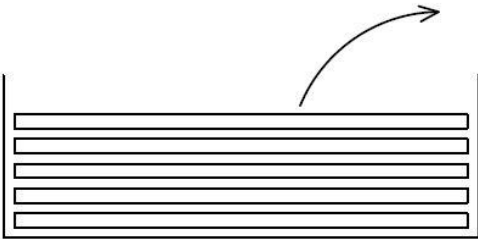
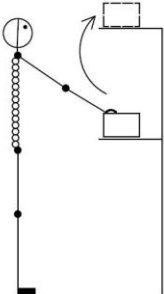
- přecházení mezi dvěma a více body
- nahýbání – mimo optimální pracovní zónu
- přenášení předmětů mezi dvěma a více body
- nesprávná ergonomická poloha při montáži

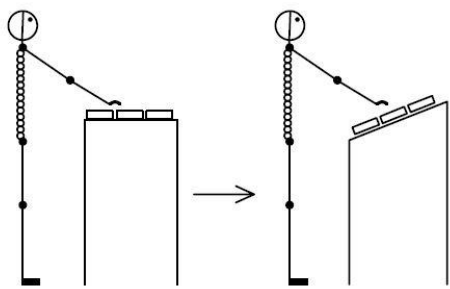
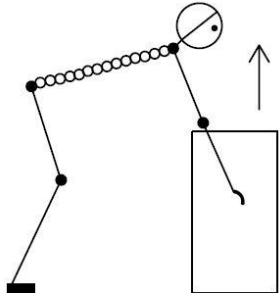
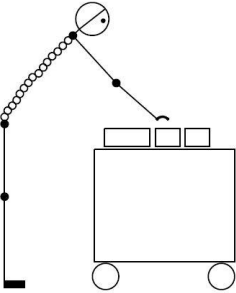
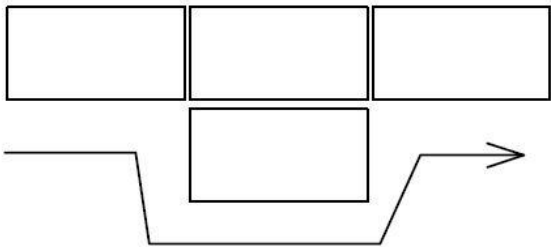
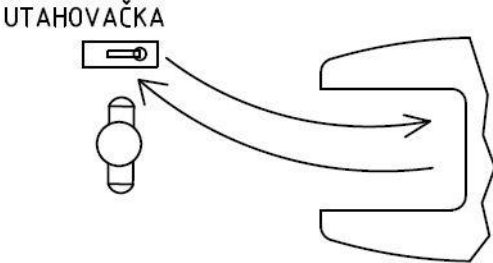
Pro potřeby inovace pracovních a manipulačních pomůcek jsem provedl přímou i nepřímou analýzu typických situací při montážních operacích. Přímá analýza vycházela z pozorování pracovních operací na montážní lince u tuzemského výrobce automobilů, nepřímá analýza vycházela z rozboru vybraných projektů a videozáznamů montážních operací poskytnutých Institutem průmyslového inženýrství s.r.o.

Touto analýzou jsem identifikoval deset typických situací při montážních operacích, které je možné řešit pomocí inovace pracovních nebo manipulačních pomůcek:

1. přechody při vychystávání kontejnerů z regálu s materiálem
2. ohýbání pracovníků – hluboký předklon – do boxu
3. horizontálně uložené dlouhé a štíhlé díly
4. rovnocenné umístění dílů s různou frekvencí odběru v regálech
5. zatěžování pouze horních končetin při manipulaci s materiálem
6. nevyužívání naklopení pro vychystání materiálu resp. dílů
7. přenášení těžkých dílů
8. ohyb nad vozíkem resp. mobilním prvkem montážního pracoviště
9. chůze okolo palet a boxů
10. chůze – přenášení nástrojů

Tyto situace jsou podrobněji specifikovány v Tab. 3.1

Číslo	Schéma situace	Specifikace	Důsledky
1		Přechody při vychystávání kontejneru z regálu a přechod zpět do výchozí pozice	• zatížení pracovníka • snížení produktivity
2		Ohýbání pracovníka – hluboký předklon do boxu	• nevhodná fyziologická pracovní poloha
3		Horizontálně uložené dlouhé a štíhlé díly	• nutnost přetáčení dílů při odběru • nutnost větší plochy pro skladování
4		Rovnocenné umístění dílů s různou frekvencí odběru v regálech	• permanentní obsazení pozic málo odebíraných dílů
5		Zatěžování pouze horních končetin při manipulaci s materiálem	• zátěž horních končetin • snížení produktivity

6		Nevyužívání naklopení pro vychystání materiálu resp. dílů	• nutnost se předklánět • nevhodná fyziologická pracovní poloha
7		Přenášení těžkých dílů	• namáhání zad a horních končetin • velká zátěž pracovníka • snížení produktivity
8		Ohyb nad vozíkem resp. mobilním prvkem montážního pracoviště	• snížení produktivity • nevhodná fyziologická pracovní poloha
9		Chůze okolo palet a boxů	• prodloužení chůze pracovníka • snížení produktivity
10		Chůze – přenášení nástrojů	• prodloužení pracovního úkonu • snížení produktivity

Tab. 3.1: Příklady montážních operací

Z výše uvedených inovačních příležitostí jsem pro další rozpracování (inovaci) vybral tyto situace:

- situace č. 1: přechody (zbytečná chůze) při vychystávání materiálu z regálu
- situace č. 8: nevyhovující ergonomická poloha díky konstantní výšce montážního vozíku,

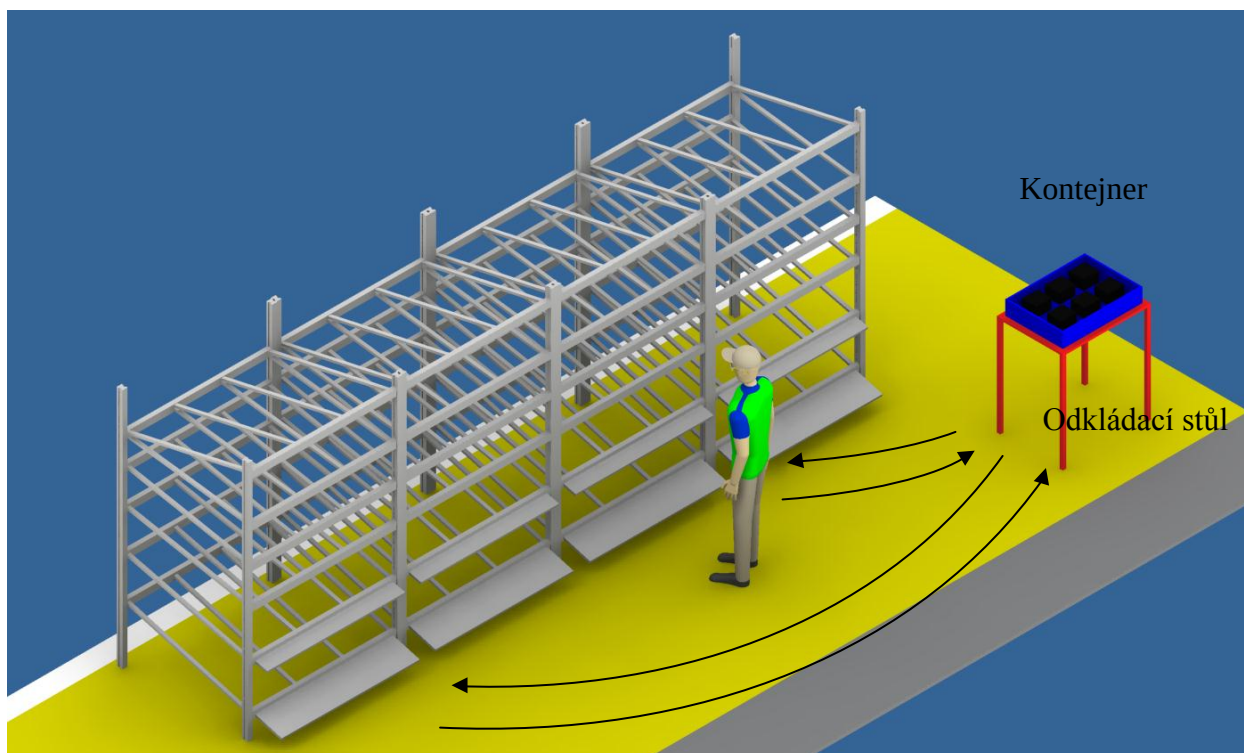
kde je dle mého názoru při inovaci pracovních a manipulačních pomůcek největší příležitost aplikovat jak metody strojního inženýrství, tak i pomocí dílčí inovace rozšířit možnosti modulárních systémů (protože v sortimentu výrobců tato řešení chybí).

4. Návrhy konceptů vybraných pomůcek

Koncept je přibližný popis technologie, tvarů a funkčních principů inovovaného výrobku. Je popisem toho, jak výrobek uspokojí potřeby a požadavky zákazníků. Zpravidla má formu skici nebo hrubého modelu včetně stručného slovního popisu.

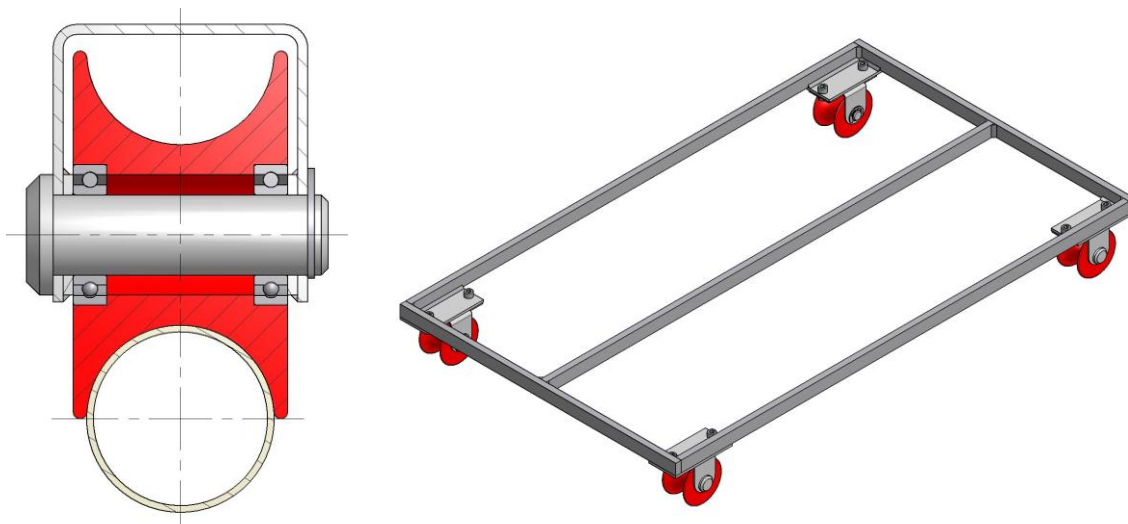
4.1 Návrh konceptů pro řešení situace č. 1

Pro řešení situace č. 1 formou inovace pracovní a manipulační pomůcky jsem navrhl princip tzv. vychystávacího vozíku s autonomním transferem z místa odběru kontejneru, do výchozí pozice pro vychystávání. Tento princip by eliminoval pohyb pracovníka při vychystávání materiálu, kdy opakovaně přechází mezi regálem a stacionárně uloženým kontejnerem (např. na odkládacím stole)- obr. 4.1.



Obr. 4.1: Příklad situace na montážní lince (vychystávání z regálu)

Základní inovační princip pro řešení této negativní situace spočívá ve využití speciálního vychystávacího vozíku, který pojíždí po standardních trubkách modulárního systému díky aplikaci speciálních spojek (např. v systému Logiform) a nově navrženého podvozku s pojezdovými kolečky s vnitřním poloměrem zaoblení (rádiusem) $R=14\text{ mm}$



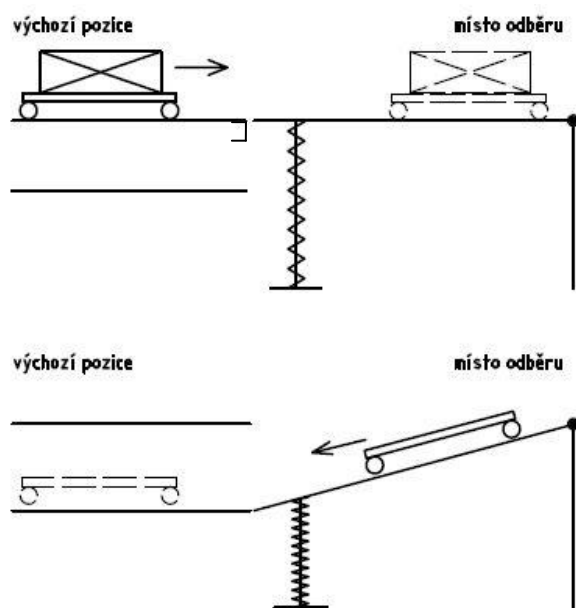
Obr. 4.2: Konstrukční řešení podvozku vychystávacího vozíku

Další dílčí inovací, která redukuje zatížení pracovníka vychystávajícího materiál, je návrh tzv. autonomního transferu vychystávacího vozíku z místa odběru kontejneru do výchozí pozice pomocí sklopného ramene.

Pro řešení této funkce jsem navrhl tři koncepty:

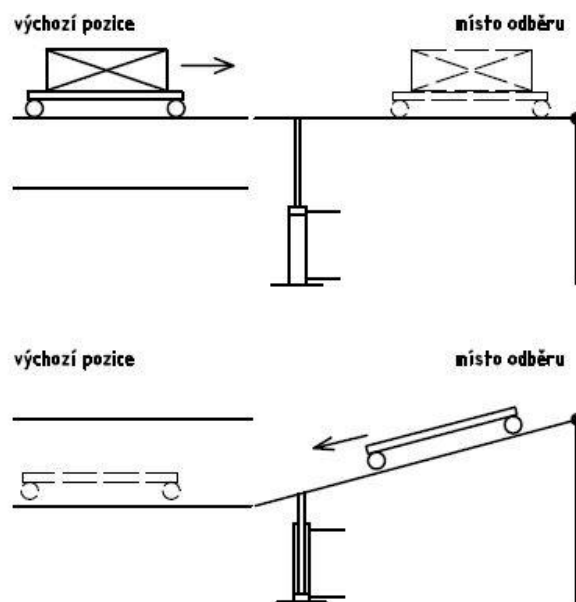
- 1A: sklopení dráhy vlastní hmotnosti vozíku – návrat ramene do původní pozice pružinou
- 1B: sklopení dráhy i návrat ramene do původní pozice pomocí pneumatického válce
- 1C: sklopení dráhy i návrat ramene do původní pozice pomocí elektromotoru přes pohybový šroub

Sklopení ramene pomocí hmotnosti vozíku a návratu do původní pozice pomocí pružiny. Podmínkou aplikace tohoto konceptu je použití dorazu a mechanismu západky, které je sice složitější, ale cena toho řešení je relativně stále nízká. Tento návrh konceptu nevyžaduje energii na vlastní zpětný pohyb ramene do výchozí polohy.



Obr. 4.3: Koncept 1A

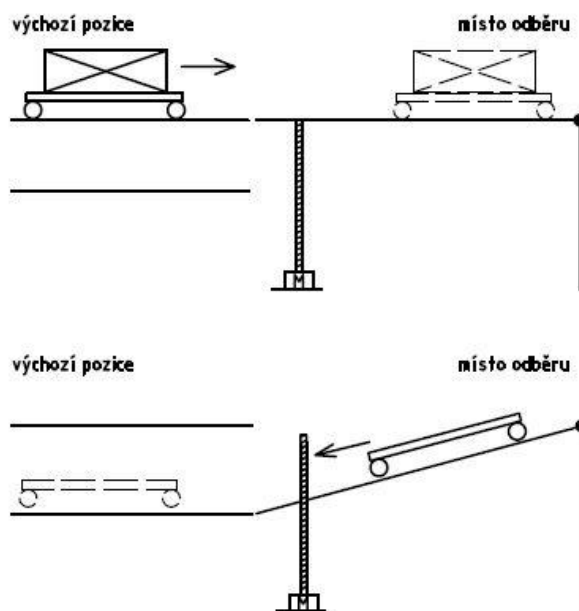
Zajištění funkce sklápění ramene pomocí pneumatického válce lze pokládat za technicky jednoduché řešení (obr. 4.4). V tomto případě není nutné aplikovat žádnou západku resp. Využít jiný způsob fixace polohy sklopného ramene. Nevýhodou tohoto řešení systému je vyšší cena a nutnost zajistit přívod stlačeného vzduchu místu umístění dráhy (k regálu apod.).



Obr. 4.4: Koncept 1B

Řešení funkce sklápění dráhy pomocí pohybového šroubu a elektromotoru (obr. 4.5) je velice podobné pneumatickému řešení. V tomto případě potřebujeme při implementaci zajistit

přívod elektrické energie a cena za modul „pohybový šroub – elektromotor“ je opět relativně vyšší proti návrhu 1A.



Obr. 4.5: Koncept 1C

Pro zhodnocení konceptů řešení funkce sklopení ramene pojezdové dráhy jsem použil hodnotící tabulku se čtyřmi kritérii (tab. 4.1)

Kritérium	váha	Koncepty řešení sklopení dráhy					
		1A		1B		1C	
		hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota
Náročnost na ovládání	40%	4	1,60	4	1,60	4	1,60
Pořizovací cena	30%	4	1,20	3	0,60	1	0,30
Energetická náročnost	20%	5	1,00	2	0,40	3	0,60
Spolehlivost – nároky na údržbu	10%	3	0,30	5	0,50	4	0,40
Součet		4,10		3,10		2,90	
Pořadí		1.		2.		3.	
Další postup		ano		ne		ne	

Tab. 4.1: Rozhodovací tabulka pro výběr konceptu řešení sklopení dráhy

Z uvedené tabulky vyplývá, že za vhodný koncept je možné považovat sklopení ramene 1A, který jsem spolu s návrhem vozíku rozpracoval v kapitole zaměřené na vlastní konstrukční řešení.

4. 2 Návrh konceptů pro řešení situace č. 8

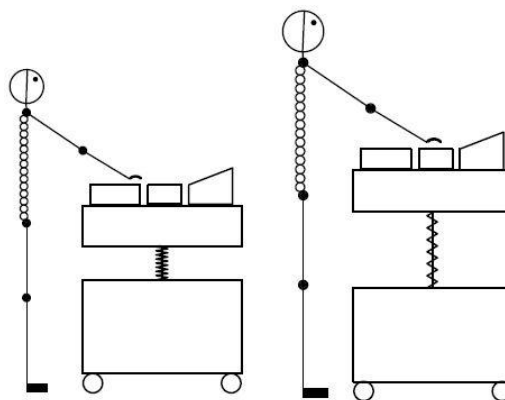
Pro řešení situace č. 8 formou inovace pracovní a manipulační pomůcky jsem navrhl princip výškově nastavitelného vozíku pro montážní operace. Možnost nastavení manipulační roviny pro různé pracovníky (různé antropometrické hodnoty) snižuje ergonomickou zátěž generovanou ohýbáním pracovníků nad vozíkem a zvyšuje efektivitu montážních operací.

Základním a logickým principem řešení je montážní vozík se zvedacím mechanismem pro nastavení optimální výšky manipulační roviny. Prostor pro inovaci tohoto typického prvku montážních pracovišť spočívá ve způsobu řešení funkce zvedání manipulační roviny.

Pro řešení této funkce jsem navrhl tři koncepty:

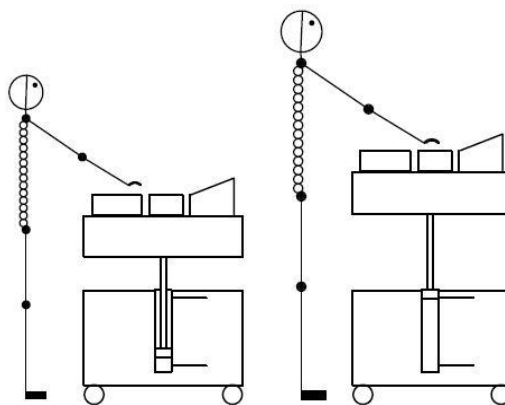
- 8A: nastavení manipulační roviny pomocí aretace a pružiny
- 8B: nastavení manipulační roviny pomocí pneumatického válce
- 8C: nastavení manipulační roviny pomocí elektromotoru přes pohybový šroub

Nastavení výšky manipulační roviny pomocí mechanické aretace (obr. 4.6) a pružiny je z hlediska technického řešení nejjednodušší. Tento koncept však nevyhovuje zcela požadavkům pracovní ergonomie (využívají se předem definované a diskrétní hodnoty výšky roviny) a zároveň vyžaduje sice minimální, ale přece jen určitou pracnost, která je často překážkou pro využívání vhodnějších ergonomických pozic.



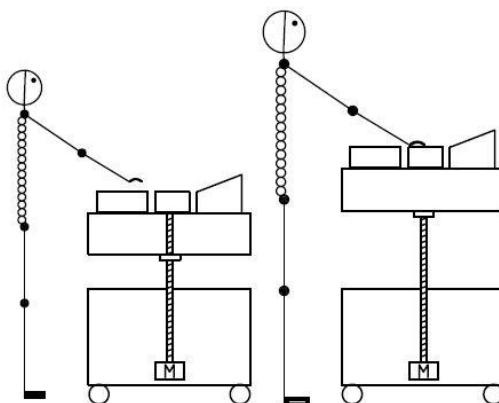
Obr. 4.6: Koncept 8A

Nastavení výšky manipulační roviny pomocí pneumatického válce s uzavřeným oběhem stlačeného vzduchu (obr. 4.7) má oproti předchozímu mechanickému řešení plynulou změnu nastavení a velice jednoduché ovládání. Cena toho řešení je vzhledem k pozitivním efektům přijatelná.



Obr. 4.7: Koncept 8B

Nastavení výšky manipulační roviny pomocí pohybového šroubu a elektromotoru (obr. 4.8) má taktéž plynulou změnu výšky vozíku, ale cena tohoto řešení by patřila k největším. Také hmotnost vozíku by byla vyšší díky hmotnosti použitého akumulátoru, který by navíc vyžadoval vyšší stupeň údržby včetně dobíjení.



Obr. 4.8: Koncept 8C

Pro zhodnocení uvedených konceptů řešení funkce nastavení vhodné výšky manipulační roviny vozíku jsem použil hodnotící tabulku se čtyřmi kritérii (tab. 4.2).

Kritérium	váha	Koncepty řešení nastavení výšky manipulační roviny					
		8A		8B		8C	
		hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota	hodnota	vážená hodnota
Náročnost na ovládání	40%	2	0,80	4	1,60	5	2,00
Pořizovací cena	20%	4	0,80	3	0,60	1	0,20
Přesnost výškového nastavení	20%	1	0,20	4	0,80	4	0,80
Hmotnost	20%	4	0,80	3	0,60	1	0,20
Součet		2,60		3,60		3,20	
Pořadí		3		1		2	
Další postup		ne		ano		ne	

Tab. 4.2: Rozhodovací tabulka pro výběr konceptu řešení nastavení výšky manipulační roviny

Z uvedené tabulky vyplývá, že za vhodný koncept je možné považovat nastavení výšky manipulační roviny 8B pomocí pneumatického válce s uzavřeným oběhem stlačeného vzduchu, který jsem rozpracoval v kapitole zaměřené na vlastní konstrukční řešení.

5. Konstrukční řešení vybraných pomůcek pro konkrétní montážní operace

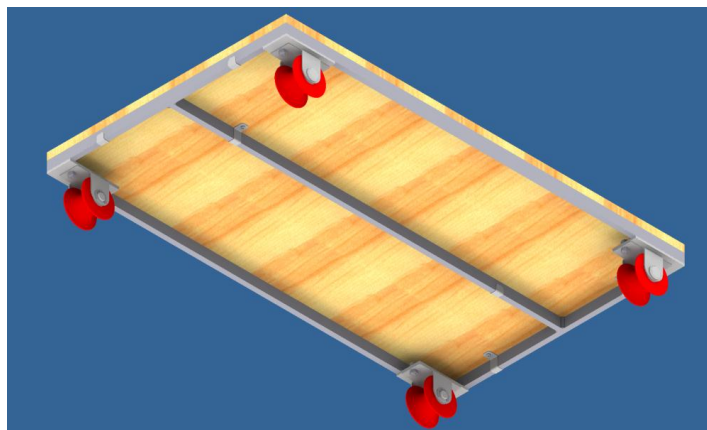
Tato kapitola obsahuje konkrétní konstrukční řešení prvků sestav vybraných konceptů inovace pracovních a manipulačních pomůcek. V kapitole jsou uvedeny obrázky ilustrující konstrukční řešení, obrázky významných detailů a schémata zapojení. Konstrukční dokumentace pro navržené řešení je uvedena v příloze této práce.

5. 1 Konstrukční řešení situace č. 1

Pro řešení situace č. 1 (obr. 4.1) jsem navrhl vychystávací vozík (obr. 5.1), na který se umístí kontejner pro vychystávání dílu. Vozík se pohybuje po navržené dráze (obr. 5.2, obr. 5.3) z trubkového systému. Sklopení ramene dráhy je navrženo tak, aby po uvolnění západky (obr. 5.6, 5.7), ve výchozí poloze, dojde ke sklopení ramene pod vahou vychystávacího vozíku. Po odjetí vychystávacího vozíku, pružina vrátí rameno do původní pozice.

5. 1. 1 Vychystávací vozík

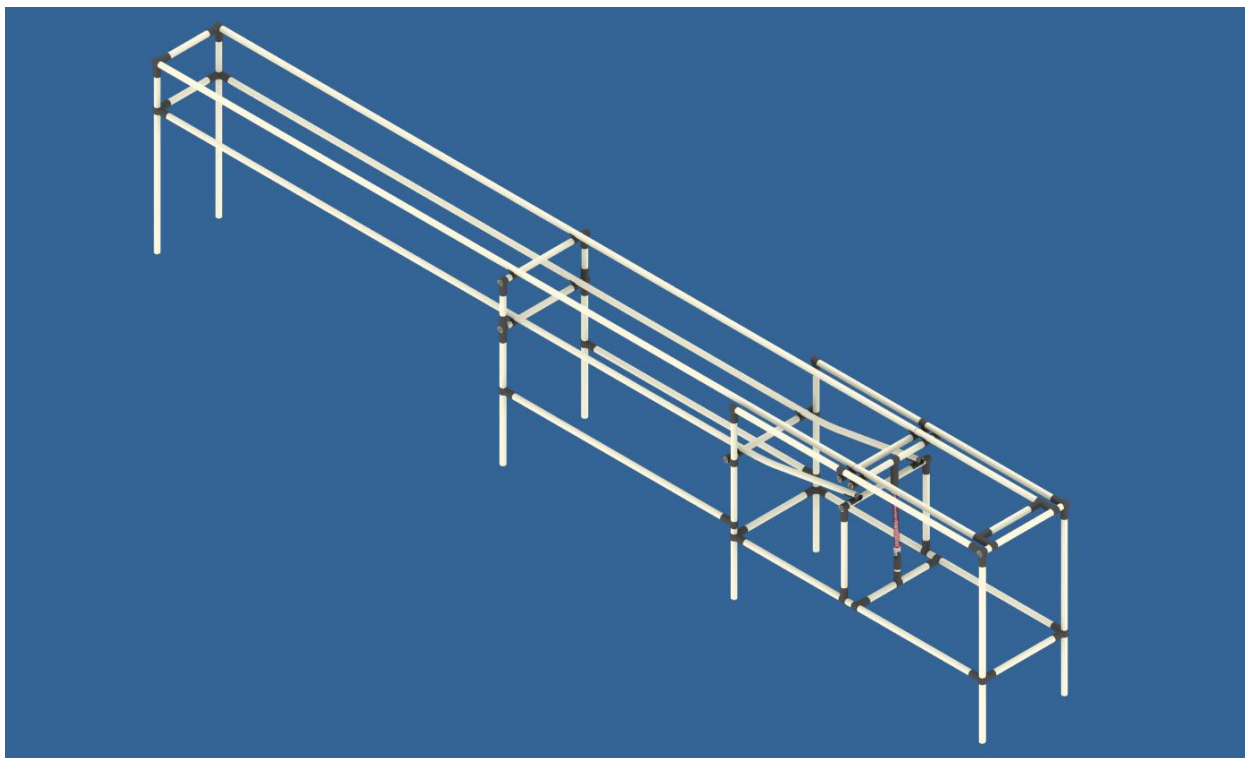
Vychystávací vozík se skládá ze svařeného rámu, na kterém jsou upevněny konzoly s kolečky, zajišťující pohyb po trubkové dráze. Konzola se skládá z kolečka, ve kterém jsou nalisována dvě ložiska, plechu a spojovacího čepu. Na tento vozík je připevněna deska.



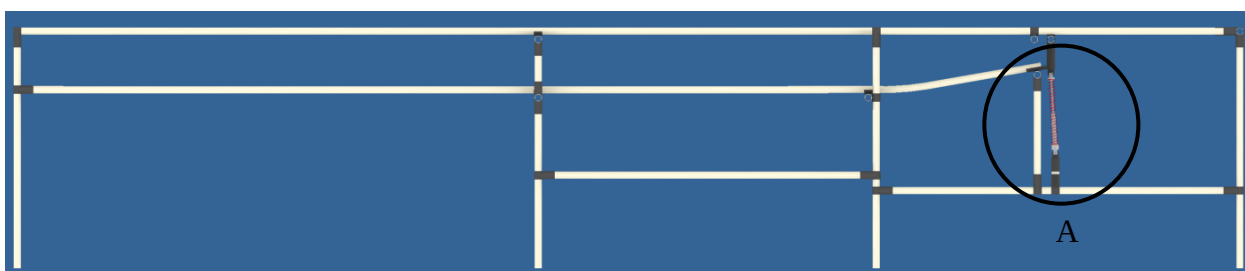
Obr. 5.1: Vychystávací vozík

5. 1. 2 Dráha

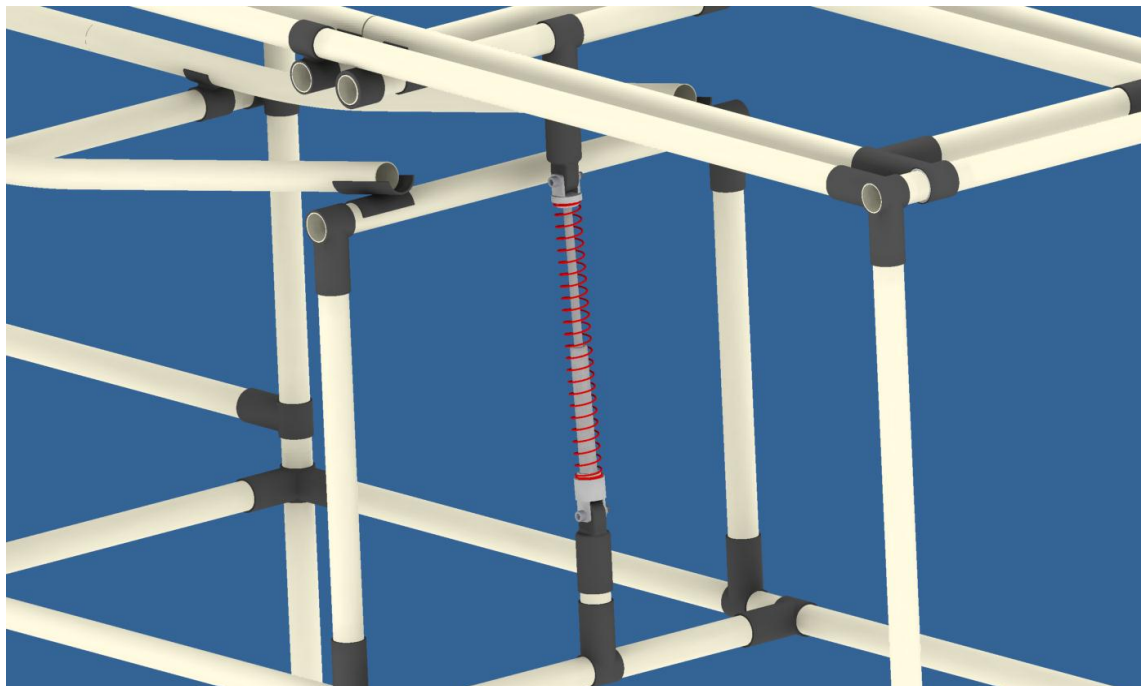
Dráha je sestavena pomocí trubek a spojek systému Logiform (spojky standartní: GA-1S, GA-2S, GA-4S, GA-6S, GA-6BS - spojky speciální: GA-12S, G-7BS, PS-B). Komponenty, které jsem musel navrhnout: pružný prvek, doraz a mechanismus západky.



Obr. 5.2: Dráha pro vychystávací vozík



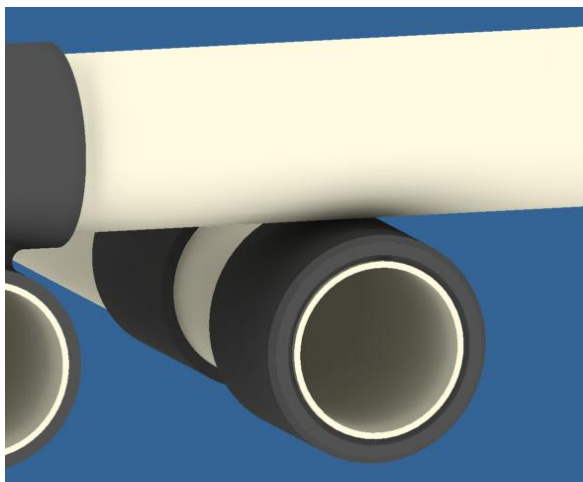
Obr. 5.3: Dráha pro vychystávací vozík – boční pohled



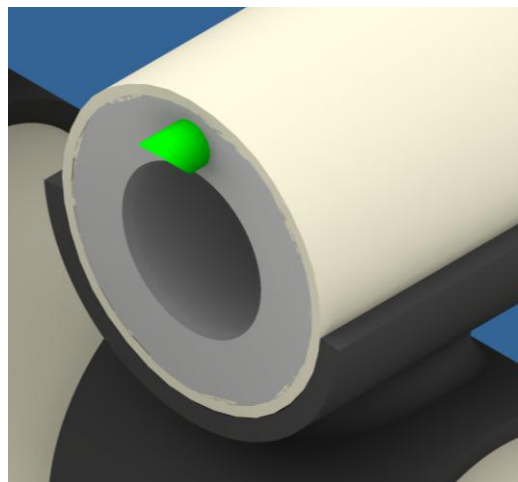
Obr. 5.4: Dráha pro vychystávací vozík – detail A

5. 1. 3 Západka a doraz

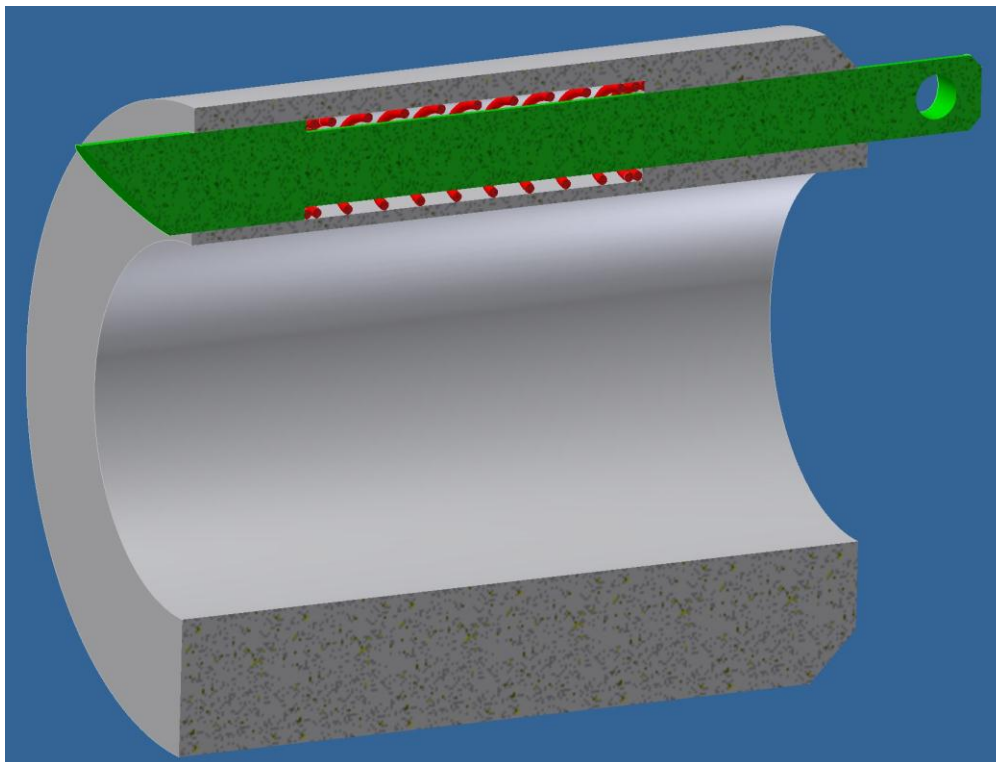
Zajištění polohy ve výchozí pozici ramene je realizováno dorazovými kroužky, které jsou nalisovány na trubce. Západka, která je umístěna v místě přerušení dráhy v trubce, slouží k tomu, aby se po najetí vychystávacího vozíku rameno okamžitě nesklopilo. Umístění a natažení bowdenu (lanka) a výběr ovládacího prvku (ruční, nožní) se provede dle požadavků výroby (není součástí tohoto řešení).



Obr. 5.5: Dorazový kroužek



Obr. 5.6: Západka



Obr. 5.7: Západka v řezu

5. 2 Konstrukční řešení 8B

Pro řešení situace č. 8 jsem navrhl manipulační vozík s lineárním teleskopickým vedením a pneumatickým válcem pro nastavení výšky manipulační roviny. Toto řešení je postaveno na uzavřeném okruhu oběhu stlačeného vzduchu. Tato soustava se musí před prvním použitím „natlakovat“. Doporučený minimální tlak je 4 bary.

5. 2. 1 Lineární vedení

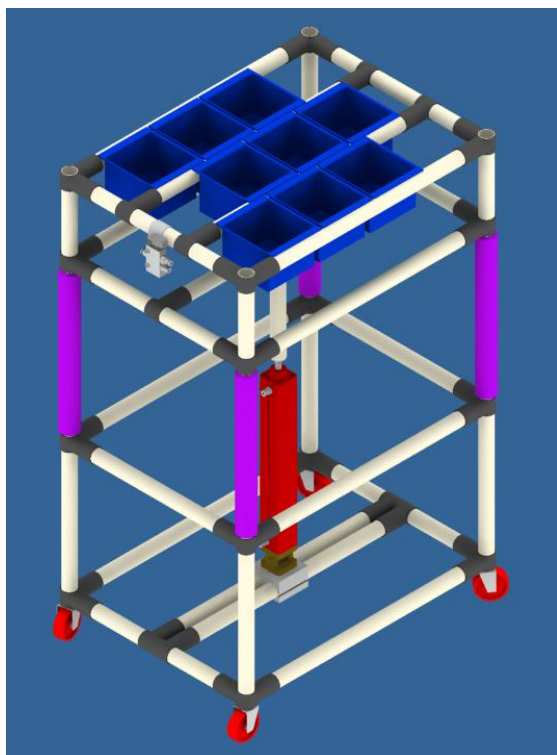
Lineární teleskopické vedení se skládá z vodící trubky, dvou kluzných pouzder (které jsou nalisovány na trubce) a z trubky trubkového systému Logiform. Pro způsob vedení se nabízejí dvě možnosti:

- vedení pomocí čtyř vodících elementů (obr. 5.8)
- vedení pomocí dvou vodících elementů (obr. 5.9)

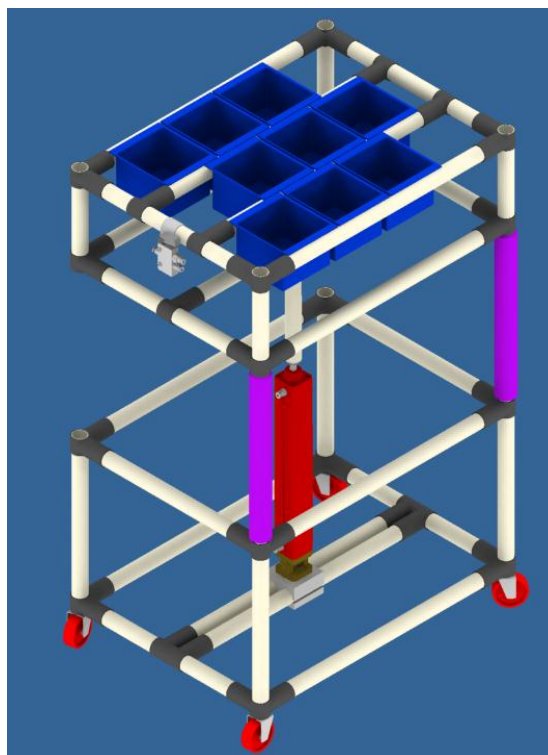
Vedení pomocí čtyř vodících elementů zaručuje větší stabilitu konstrukce. Nevýhoda toho řešení je cena a nutnost dosáhnout vysokou přesností při montáži.

Vedení pomocí dvou vodících elementů je levnější a není potřeba docílit takové přesnosti při montáži. Nevýhoda je menší stabilita a nebezpečí vzpříčení při velkém zatížení manipulační vozík v horní mezní poloze.

Já jsem se rozhodl pro variantu vedení pomocí čtyř vodících elementů.



Obr. 5.8: Lineární vedení var.1

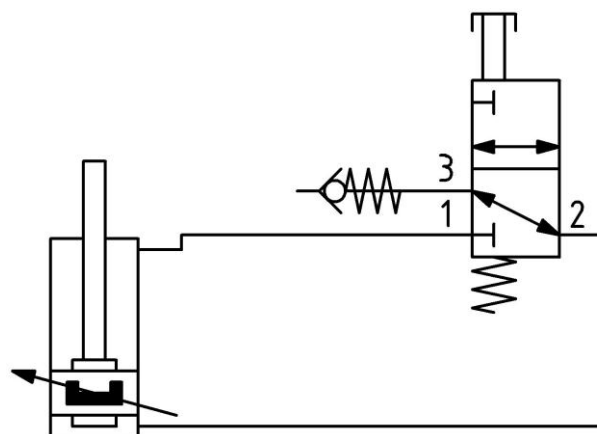


Obr. 5.9: Lineární vedení var.2

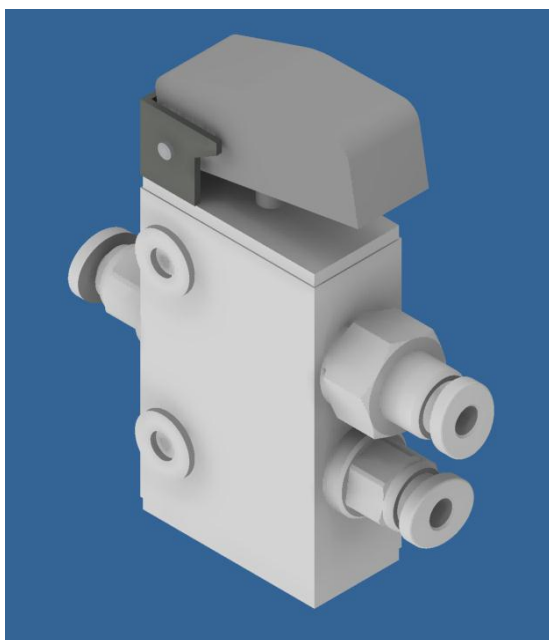
5. 2. 2 Pneumatický okruh

Pro pneumatický okruh jsem použil komponenty značky Bosch Rexroth. Pneumatický okruh obsahuje:

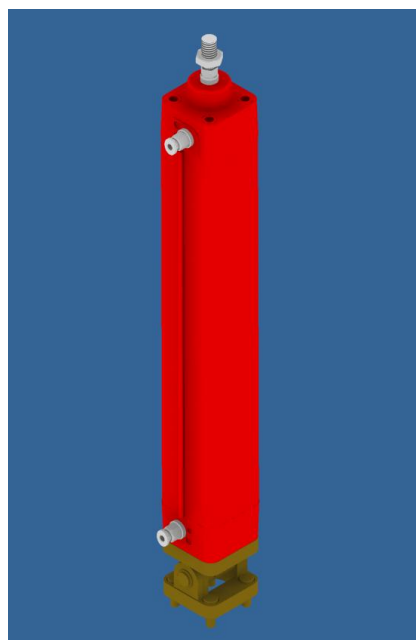
- 3/2-cestný ventil, série ST (č. 0820402004)
- zpětný ventil, série QR1-ANR (č. R412005565)
- profilový válec, ISO 15552, série ICL (č. R480060010)
- nástrčné šroubení, série QR1-S standard (č. 2121004180)
- hadice, série TU1 (č. R412004956)



Obr. 5.10: Schéma zapojení pneumatické soustavy



Obr. 5.11: 3/2-cestný ventil



Obr. 5.12: profilový válec

6. Kontrolní výpočty navržených konstrukčních řešení

Pro verifikaci konstrukčního řešení jsem provedl kontrolní výpočty významných konstrukčních prvků, které jsou obsahem této kapitoly.

6. 1 Návrh a kontrola pružiny ØD 23,6 mm pro případ 2A

Pro návrh a kontrolu pružiny jsem použil program Inventor Desing Accelator. Výsledné hodnoty jsou v tabulce (tab. 6.1) a technickém výkresu pružiny. Parametry zvoleného materiálu (tab. 6.2).

Délka volné pružiny	L_0	360,000 mm
Průměr drátu	d	1,600 mm
Stoupání volné pružiny	t	15,000 mm
Vnější průměr pružiny	D_1	25,200 mm
Střední průměr pružiny	D	23,600 mm
Vnitřní průměr pružiny	D_2	22,000 mm
Vůle mezi závity volné pružiny	a	13,400 mm
Stoupání volné pružiny	t	15,000 mm
Součinitel koncentrace napětí	K_w	1,087 ul
Tuhost pružiny	k	0,211 N/mm
Deformace pružiny při minimálním zatížení	s_1	101,000 mm
Deformace v plně zatíženém stavu	s_8	291,000 mm
Deformace pružiny při mezním zatížení	s_9	318,384 mm
Mezní zkušební délka pružiny	L_{minf}	54,912 mm
Teoretická mezní délka pružiny	L_9	41,616 mm
Napětí při minimálním zatížení	τ_1	340,217 MPa
Napětí při maximálním zatížení	τ_8	980,228 MPa
Dosedací napětí	τ_9	1072,470 MPa
Deformační energie	W_8	8,940 J
Délka drátu	l	1983,155 mm
Hmotnost pružiny	m_p	0,031 kg

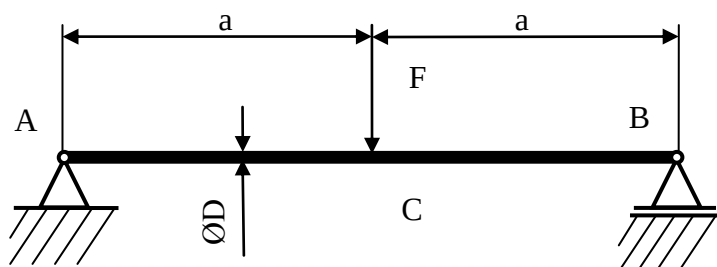
Tab. 6.1: Výsledné hodnoty pružiny ØD 23,6 mm

Mez pevnosti v tahu	σ_{ult}	2500,000 MPa
Dovolené napětí v krutu	τ_A	1250,000 MPa
Modul pružnosti ve smyku	G	80500,000 MPa
Hustota	ρ	7850 kg/m ³

Tab. 6.2: Parametry materiálu pružiny ØD 23,6 mm

6. 2 Průhyb a sklon trubky při zatížení v případě 2A

Pro kontrolu byl proveden výpočet průhybu a sklon trubky v nejvíce namáhaném místě konstrukčního řešení 2A.



Obr. 6.1: Schéma zatížení

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$F = 250 \text{ N}$$

$$a = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Ø} D = 28 \text{ mm}$$

$$\text{Ø} d = 26 \text{ mm}$$

Výpočet reakce v bodě A

$$R_A + R_B - F = 0 \Rightarrow R_A = -R_B + F = -125 + 250 = 125 \text{ N} \quad (6.1)$$

Výpočet reakce v bodě B

$$-F \cdot a + R_B \cdot 2a = 0 \Rightarrow R_B = \frac{F}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ N} \quad (6.2)$$

Moment setrvačnosti průřezu trubky k ose y

$$J_y = \frac{\pi}{64} * (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} * (28^4 - 26^4) = 7740 \text{ mm}^4 \quad (6.3)$$

Výpočet posouvající síly a momentu

$$\langle 0, a \rangle$$

$$T(x) = R_A = 125 \text{ N}$$

$$M(x) = R_A * x \quad (6.4)$$

$$M(0) = 125 * 0 = 0 \text{ Nm}$$

$$M(a) = 125 * 1 = 125 \text{ Nm}$$

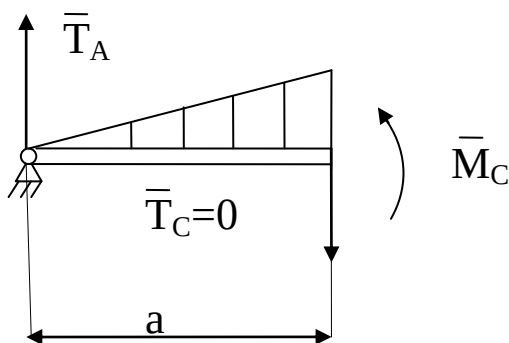
Výpočet sklonu trubky v bodě A

$$\Psi(A) = \frac{1}{E * J_y} * (\bar{T}_A) = \frac{1}{E * J_y} * \frac{1}{2} * a * M(a) = \frac{125}{2 * 2,1 * 10^3 * 0,7740} = 0,03 \quad (6.5)$$

Výpočet průhybu trubky v bodě C

$$w(C) = \frac{1}{E * J_y} * (\bar{M}_C) = \frac{1}{E * J_y} * \left(\bar{T}_A * a - \frac{1}{3} * a * M(a) * a * \frac{1}{2} \right) = \quad (6.6)$$

$$= \frac{1}{2,1 * 10^3 * 0,7740} \left(\frac{125}{2} - \frac{1}{6} * 125 \right) = 0,025 \text{ m}$$



Obr. 6.2: Schéma zatížení fiktivního nosníku

6. 3 Pneumatický válec 8B

Pro kontrolu pneumatického válce jsem zvolil zátěž 12 kg materiálu na vozíku a 3 kg váha samotné konstrukce.

Hmotnost zatěžující píst	m	15 kg
Průměr pístu	Ød	32 mm
Zdvih	L	250 mm
Tlak v pístu	p	4 bar

Tab. 6.3: Parametry pneumatického válce

Převod tlaku

$$p = 4\text{bar} = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (6.7)$$

Výpočet gravitační síly

$$F_g = m \cdot g = 15 \cdot 9,81 = 147 \text{ N} \quad (6.8)$$

Výpočet tlakové síly

$$F_p = S \cdot p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p = \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} \cdot 4 \cdot 10^5 = 321 \text{ N} \quad (6.9)$$

$$F_g \Leftarrow F_p \text{ Vyhovuje}$$

7. Zhodnocení návrhů

Pro zhodnocení návrhů jsem využil procesního ekonomického pohledu, vycházejícího z výpočtu pracnosti resp. ergonomické zátěže před a po využití inovovaných pracovních resp. manipulačních pomůcek. Pro stanovení času jsem použil datovou tabulku BasicMOST.

V případě návrhu 2A je možné vypočítat přínos následovně:

2A- před:

Regál-šířka: 1.2 m

Počet regálů: 4

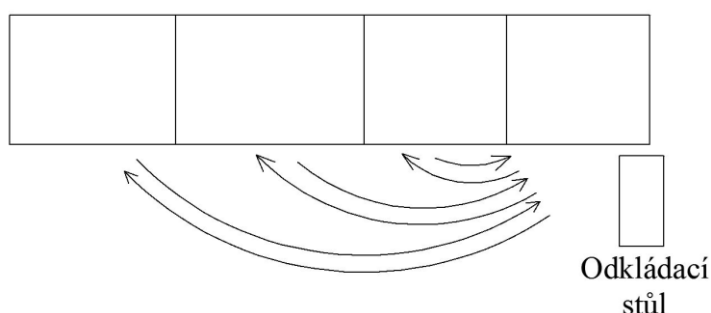
Počet vychystávaných dílů: 9

Počet přechodů: 8

Celková dráha přechodů: 19,5 m

Spotřeba času – přechodů: 17,28 s/set

Spotřeba času – 3 směny – 450 setů: 216 min



2A- po:

Regál-šířka: 1.2 m

Počet regálů: 4

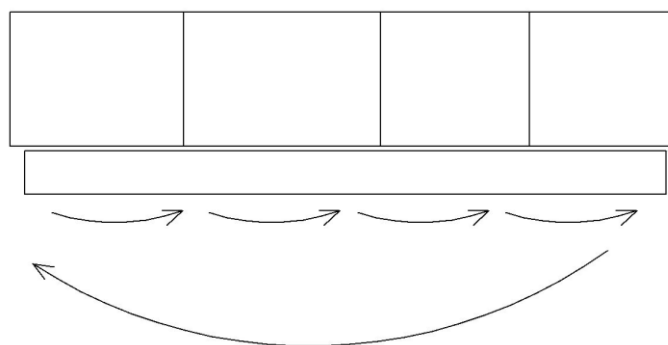
Počet vychystávaných dílů: 9

Počet přechodů: 5

Celková dráha: 9,6 m

Spotřeba času – přechodů: 7,92 s/set

Spotřeba času – 3 směny – 450 setů: 59,4min



Z výsledků vidíme, že návrh 2A- po má výraznou úsporu. Tato úspora je 156,6 minut za jeden pracovní den v třísměnném provozu, ale tato hodnota byla vypočítána na základě tabulkových hodnot. V reálné situaci by nejspíše uspořený čas byl o něco nižší.

Cena sestavy 2A:

Spojky:	1900 Kč
Trubky:	3500 Kč
Vychystávací vozík:	5500 Kč
Pružný prvek, doraz, západka:	4000 Kč
Práce sestavení:	8000 Kč
<u>Ostatní:</u>	<u>500 Kč</u>
Celková cena:	23400Kč

Předpokládána cena sestavy je 23400 Kč. Tato cena je pouze orientační a návratnost této investice, za předpokladu 350 Kč/h (hodnoty práce personálních nákladů), se investice vrátí přibližně za 26 pracovních dnů v třísměnném provozu.

V případě návrhu 8B jsem použil antropometrické hodnoty pro muže 175 cm a ženy 162 cm. Rozdíl těchto antropometrických hodnot pro tuto operaci je 5,5 cm.

8B- rozdíl:

Rozdíl pro uchopení dílu: 5,5 cm

Počet odebíraných dílů: 12

Rozdíl celková vzdálenosti pro uchopení dílů: 66 cm

Rozdíl spotřeby času – odebíraných dílů: 0,561 s/set

Rozdíl spotřeby času – 3 směny – 450 setů: 4,21 min

Z výsledků vidíme, že pro návrh 8B je hodnota uspořeného času velice nízká. Tato hodnota je pouze orientačně vypočítaná, jelikož ergonomická zátěž pracovníka se velice špatně vypočítává.

Cena sestavy 8B:

Spojky:	1200 Kč
Trubky:	1300 Kč
Pneumatika:	4800 Kč
Lineární vedení:	4000 Kč
Práce sestavení:	3000 Kč
<u>Ostatní:</u>	<u>2000 Kč</u>
Celková cena:	16300Kč

Předpokládána cena sestavy je 16300 Kč. Návratnost této investice za stejného předpokladu nakladu na pracovníka jako u návrhu 2A je 664 pracovních dnů v třísměnném provozu, ale v tomto případě cena není jediným kritériem pro použití tohoto návrhu, protože snížení ergonomické zátěže se obtížně stanovuje.

Seznam literatury a zdrojů

- [1] <http://www.creform.com>
- [2] <http://www.hbjoint.com>
- [3] <http://www.regaz.eu/trubkovy-regalovy-system>
- [4] <http://trilogiq.cz>
- [5] <http://www.wois-innovation.de/index.php?lang=en>
- [6] Fořt, P. - Kletečka, J.: *Autodesk Inventor*.
Computer Press, 2007
- [7] Mašín, I. - Ševčík, L.: *Metody inovačního inženýrství*.
Institut technologií a managementu s.r.o., Liberec 2006.
- [8] Barnes, R.M.: *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*.
John Wiley & Sons, New York, 1980
- [9] Höschl, C. *Pružnost a pevnost I*.
Skripta VŠST, Liberec 1992

Přílohy na CD

PŘÍLOHA 1: Katalogy trubkových systémů Creform, Logiform, TrilogiQ

PŘÍLOHA 2: Modelová a výkresová dokumentace