



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

NÁVRH PŘÍČNÍKU TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

PROPOSAL CROSSHEAD TEST EQUIPMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Šilar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jan Brandejs, CSc.

BRNO 2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Tomáš Šilar**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jan Brandejs, CSc.**
Akademický rok: 20015/2016

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh příčnicku testovacího zařízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh příčnicku testovacího zařízení pro ověření funkčnosti a životnosti otvírání dveří chladicích zařízení s těmito parametry:

- návrh uchycení pro 3 typy madel,
- zdvih 0 až 800 mm, síla 1 až 1000 N, rychlost 1 - 500 mm/s.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Koncepční řešení
5. Konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení

Typ práce: konstrukční

Účel práce: výzkum a vývoj

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2016.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G.: Konstruování strojních součástí. Překlad 7. vydání, VUTIUM, Brno 2010, 1186 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/2016.

V Brně, dne 23.11.2015

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá konstrukčním řešením testovacího stroje pro pohybová ústrojí chladících zařízení. A to včetně návrhu pohonu, mechanické pojistky proti přetížení a připojení tří typů madel. První část je věnována vhodnému zvolení pohonu. Následující část se zabývá výpočty životnosti kuličkového šroubu a mechanické pojistce. Závěr je věnovaný samotnému konstrukčnímu řešení a výkresové dokumentaci, dle které se stroj vyráběl.

KLÍČOVÁ SLOVA

Testovací zařízení, pohonná jednotka, kuličkový šroub, tenzometr

ABSTRACT

This thesis deals with structural design of testing device for moving parts of refrigerating devices, including functional design of drives, mechanical protection against overload and 3 design types of handles are included as well. First part describes appropriate selection of drive. Following part deals with calculations of spheroidal screw durability and calculations of mechanical protection. Final part consists of the design itself and technical drawings, according to which was the machine produced.

KEY WORDS

Testing device, drive unit, spheroidal screw, tensiometer

Bibliografická citace:

ŠILAR, T. *Návrh příčnicku testovacího zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 38 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Brandejs, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Návrh testovacího zařízení vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jana Brandejse, CSc. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne:

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Janu Brandejsovi, CSc. za rady a připomínky k vypracování bakalářské práce a Ing. Michalu Jarošovi, ze společnosti JCEE s.r.o. Lanškroun, za konstrukční připomínky a poskytnuté informace.

OBSAH

ÚVOD	11
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	12
1.1 Obecné poznatky testovacích zařízení	12
1.2 Srovnání s předchozím testovacím zařízením	12
2 Analýza problému a cíl práce	14
2.1 Technická specifikace zadavatele	14
2.2 Stanovení cílů bakalářské práce	14
2.3 Analýza problému	14
2.4 Návrh řešení cíle bakalářské práce	15
3 Návrh koncepčních řešení	16
3.1 Popis testovacího stroje	16
3.2 Návrh pohonu	17
3.2.1 Pneumatický pohon	17
3.2.2 Lineární servomotor	19
3.2.3 Servomotor s kuličkovým šroubem	20
3.3 Výběr vhodného tenzometrického snímače	21
3.3.1 Přesný snímač tahové a tlakové síly	22
3.3.2 Přesný snímač tlakové síly	22
4 Konstrukční řešení	23
4.1 Kuličkový šroub	23
4.1.1 Parametry pro navrhovaný kuličkový šroub	23
4.1.2. Výpočty kuličkového šroubu	24
4.2 Mechanická pojistka	27
4.3 Ložiska	28
4.4 Připojení jednotlivých madel	28
4.4.1 Madlo LINDE	29
4.4.2 Madlo HANDLE	30
4.4.3 Košík WARENKORB	31
5 Diskuse	32
6 Závěr	33
7 Seznam použitých zdrojů	34
8 Seznam použitých zkratk, symbolů	35
8.1 Seznam zkratk	35
8.2 Seznam symbolů	35
9 Seznam obrázků a grafů	36
10 Seznam příloh	37

ÚVOD

V současné době se můžeme čím dál více setkávat s testovacími stroji nebo zařízeními, která jsou určena jak pro laboratorní, tak i pro výrobní účely. Testuje se celá škála výrobků včetně elektroniky. Dnešní trendy vyžadují otestování výrobků z hlediska životnosti, před jejich uvedením na trh. K zákazníkovi se pak tím pádem nedostane něco, co se po krátké době porouchá. Tento systém je vhodný i pro výrobce, kteří si tím ověří, zda je jejich výrobek dostatečně kvalitní. Předejdou tím tak řešení případných reklamací.

Tato bakalářská práce je věnována řešení stroje, sloužícího právě k takovýmto testovacím účelům. Konkrétně se bude věnovat testovacímu zařízení pro dveře chladniček a košů mrazniček. Ověřovat se bude funkčnost a životnost dveří u lednic a výsuvných košíků u mrazáku. Pohonem zařízení bude servomotor řízený indukčními a tenzometrickými snímači, zaručující plnou automatizaci výsledného řešení.

Cílem této bakalářské práce bude návrh testovacího příčnicku, který bude schopen manipulovat se třemi typy madel, počítat cykly, měřit sílu v tahu. V případě přetížení se zamezí zničení jak madel a dveří, tak tenzometru na testovacím zařízení, díky navržené mechanické pojistce. Ta se rozepne v případě, kdy je síla tahu vyšší než 1000 N.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Obecné poznatky testovacích zařízení

Zkušební zařízení jsou velice rozšířená ve všech odvětvích průmyslu, proto většina věcí pro domácnost je testována. Takovéto stroje lze vidět přímo i v některých obchodech, kde kupující může sledovat, jak je produkt testován. Tuto podívanou nabízí například obchodní řetězec Ikea, kde je k vidění testování matrací nebo sedacích souprav. Konkrétní informace o stroji nejsou veřejná, neboť se jedná o součást firemního know-how, které je utajované před konkurencí.

Princip testovacího stroje je však povětšinou stejný nebo hodně podobný. To znamená, že se pokouší v co nejkratší době nasimulovat co nejvíce pohybů, které jsou co nejvíce podobné pohybům při běžném používání. Jako pohon je převážně používán servomotor nebo pneumatický válec. Na obrázku je vidět testování sedací soupravy pomocí pneumatických válců, které nahrazují polohu sedícího člověka na pohovce.

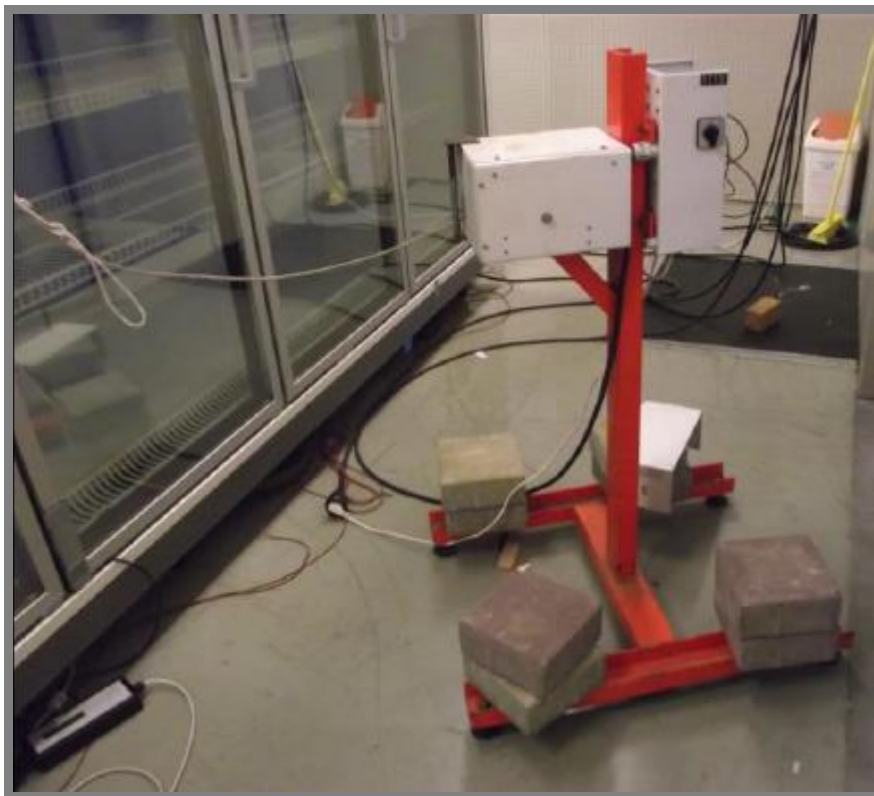


Obr. 1-1 Testovací stroj Ikea [1]

1.2 Srovnání s předchozím testovacím zařízením

Testovací zařízení, které zákaznická firma využívala a v některých případech ještě uplatňuje na testování je značně jednodušší, jak lze vidět na obrázku 1-2. Testovací stroj se skládá pouze z elektromotoru, který pohání naviják, jenž pomocí lana otevírá testovanou lednici. Do zavřené polohy se dveře vrací samy a to díky speciálním pantům, které v sobě mají zabudovanou pružinu. To je výhoda v obchodech, protože ne vždy zákazník zavře dveře chladničky.

Toto zařízení ale není schopné měřit síly, což není úplně vhodné, z hlediska určení doby změny mechanických vlastností testovaného zařízení. Z tohoto důvodu byl vyslán požadavek na modernizaci stroje, který již bude tyto požadavky splňovat. Další nevýhodou byla i absence vypínacího systému, který by testovací stroj vypnul v případě destrukce dveří. Takovéto stavy se v praxi již také vyskytnuly.



Obr. 1-2 Původní testovací stroj německé firmy

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

2.1 Technická specifikace zadavatele

Požadovaný pohon je servomotor s řídicím systémem. Napájení bude umístěno na stojanu. Příčnick, respektive nosič, musí mít mechanicky nastavitelnou výšku a umožňovat natáčení kolem vlastní osy.

Teplota okolního vzduchu:	0 - 40 °C
Relativní vlhkost:	0 - 80 %
Minimální zdvih:	0 - 800 mm
Přesnost umístění:	± 0,1 mm
Nastavitelná síla zdvihu:	1 - 1000 N
Nastavitelná rychlost zdvihu:	1 - 500 mm/s
Cyklů za 24 hodin:	20 000 cyklů
Max. rozměry (výška x délka x šířka):	2200 x 1300 x 1000 mm

2.2 Stanovení cílů bakalářské práce

Cílem práce je navrhnout a vyrobit testovací stroj, který bude optimálně dimenzován a nebude tedy hrozit to, že se při samotném testování výrobku zničí. V tom případě by se muselo celé testování opakovat znovu, což je časově velice náročné. Obzvláště vezmeme-li v úvahu to, že testování probíhá třeba i měsíc v kuse bez jediné přestávky.

Zde jsou 3 zásadní požadavky zákazníka, které se musí splnit:

- 1) pracovní pohyb ramene pomocí servopohonu a kuličkového šroubu,
- 2) síla (tlačná a tažná) bude měřena tenzometry, které budou schopny vykreslovat grafy v závislosti na poloze,
- 3) stroj bude vybaven mechanickou pojistkou, která v případě překročení tažné síly, tj. 1000 N, odpojí vozík.

2.3 Analýza problému

Jako dodavatele vhodného řešení servopohonu byla uvažována rakouská firma B&R, se kterou mají pracovníci společnosti JCEE dlouhodobé dobré zkušenosti. Po mechanické stránce a stránce spolehlivosti jsou velmi kvalitní, tudíž výběr byl jasný a omezen hned v začátcích projektu.

U tenzometrických snímačů jsem se zaměřil na produkty od firmy Burster, se kterou má naše firma též kladné zkušenosti z předchozích projektů.

Stroj bude také vybaven mechanickou pojistkou, která je umístěna mezi dvěma vozíky, pohybujícími se po lineárním vedení. Spojeny budou přes odpružený čep, který v případě přetížení odskočí a vozíky se rozpojí.

2.4 Návrh řešení cíle bakalářské práce

2.4

Konstrukční 3D řešení testovacího stroje je zpracováno v programu SolidWorks 2014, který je nyní ve firmě JCEE s.r.o. používán.

Výkresová dokumentace je taktéž vyhotovena v tomto programu a stylově uzpůsobena pravidlům stylu kótování firmy JCEE s.r.o., proto je zde pár odlišností od norem ČSN.

- Drsnost povrchu se značí staršími značkami
- Písmo neodpovídá stylu ČSN ISO 3098
- Je povoleno kótování skrytých hran
- Popisové pole je přizpůsobeno požadavkům firmy JCEE s.r.o.
- Na výkrese sestavy se neurčují pozice normalizovaných šroubů, matic, podložek a kolíků

Seznam položek je zpracován ve stejném programu jako 3D model a výkresová dokumentace, pomocí funkce „Kusovník“, který je dále zpracováván v tabulkové softwaru Microsoft Excel.

3 NÁVRH KONCEPČNÍCH ŘEŠENÍ

3.1 Popis testovacího stroje

Testovací rameno je poháněno servomotorem s převodovkou. Spojení mezi ním a kuličkovým šroubem zajišťuje ozubený řemen ULMER (500-5MGT-15), jenž je volen kvůli synchronizaci, tj. k zamezení prokluzu řemene. Ten je nasazen na řemenicích HABERKORN (48-5MR-15), jak hnaná, tak hnací mají stejný počet zubů. To znamená, že na tomto převodu je převodový poměr zachován. Hnaná řemenice je navíc osazena bočnicemi, aby nedocházelo k vyjetí řemene z řemenice.

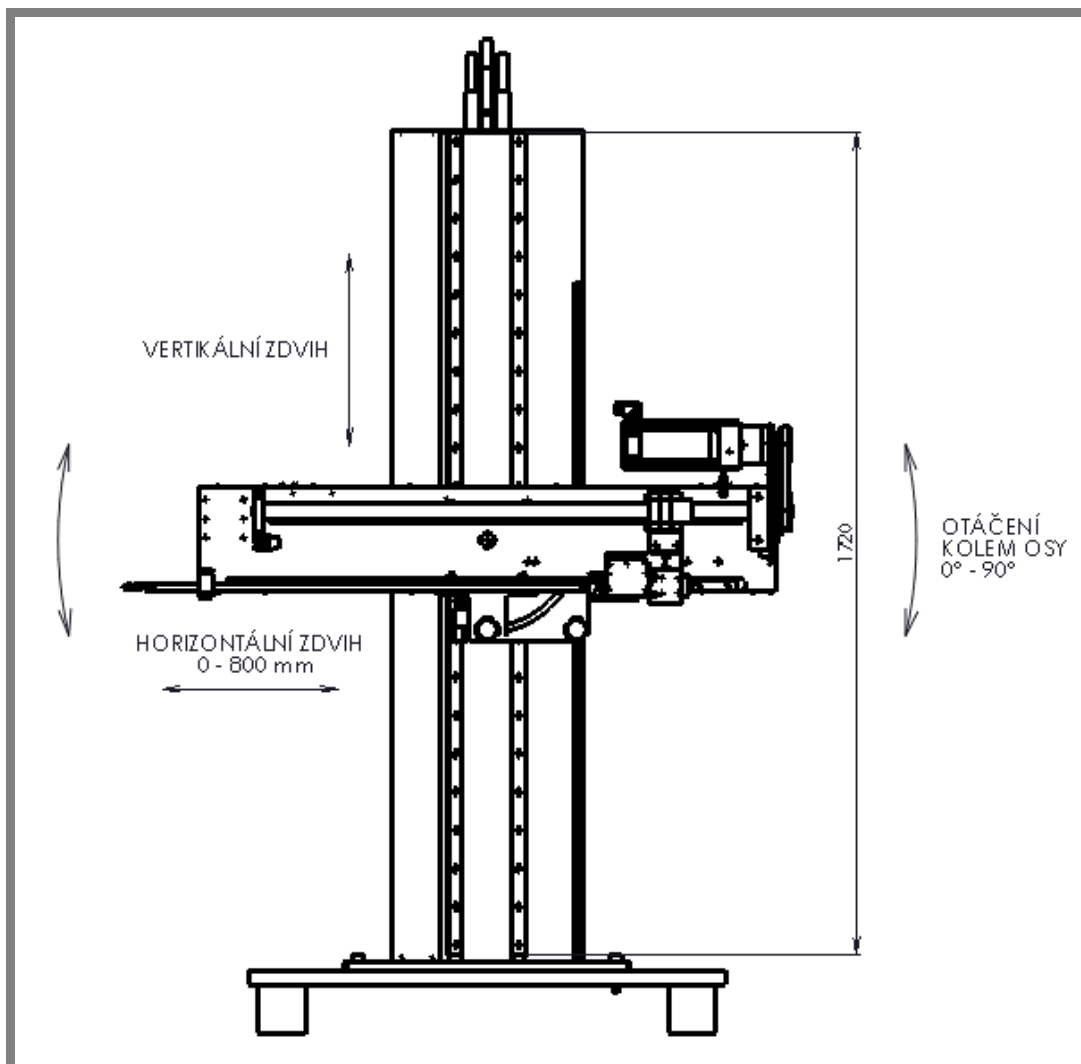
Matice kuličkového šroubu pohání vodorovně jezdící vozík, který je umístěn na lineárním vedení HIWIN HGH20 o délce 1000 mm. Tento vozík dále přenáší svůj lineární pohyb na unášec s táhlem, na kterém se dají vyměňovat úchyty pro 3 typy madel. Vozík s unáščem, který jezdí rovněž po lineárním vedení HIWIN HGH20 délky 1060 mm. Je spojen pomocí trnu, jenž je odpružen tlačnou pružinou.

Měření sil odporu pracovních pohybů je měřeno pomocí dvou přesných tenzometrických snímačů tlakové síly.



Obr. 3-1 Reálný pohled na příčnik

Tento mechanismus je usazen na svařovaném rámu, kde je možnost rameno manuálně natáčet kolem osy nebo pohybovat směrem dolů a nahoru. Pro svislý pohyb tomu pomáhá protizávaží, které je umístěno na zadní straně a je taženo řetězem přes kladku v horní části, viz obr. 3-2. Maximální rozměry stroje jsou - výška 2050 mm x šířka 1260 mm x hloubka 850 mm.



Obr. 3-2 Schéma pohybů stroje

3.2 Návrh pohonu

3.2

Generátorů přímočarého pohybu existuje více variant. Zde se však zaměřím pouze na tři typy pohonů (pneumatický válec, lineární servomotor, klasický rotační servomotor), které by teoreticky připadaly v úvahu. Cílem je porovnat tyto typy a potvrdit, že zákazník požaduje správný typ. Požadované vlastnosti pohonu by měly splňovat regulaci rychlosti pohybu a nastavitelné zdvihy, protože stroj bude používán na více typů testovacích pohybů.

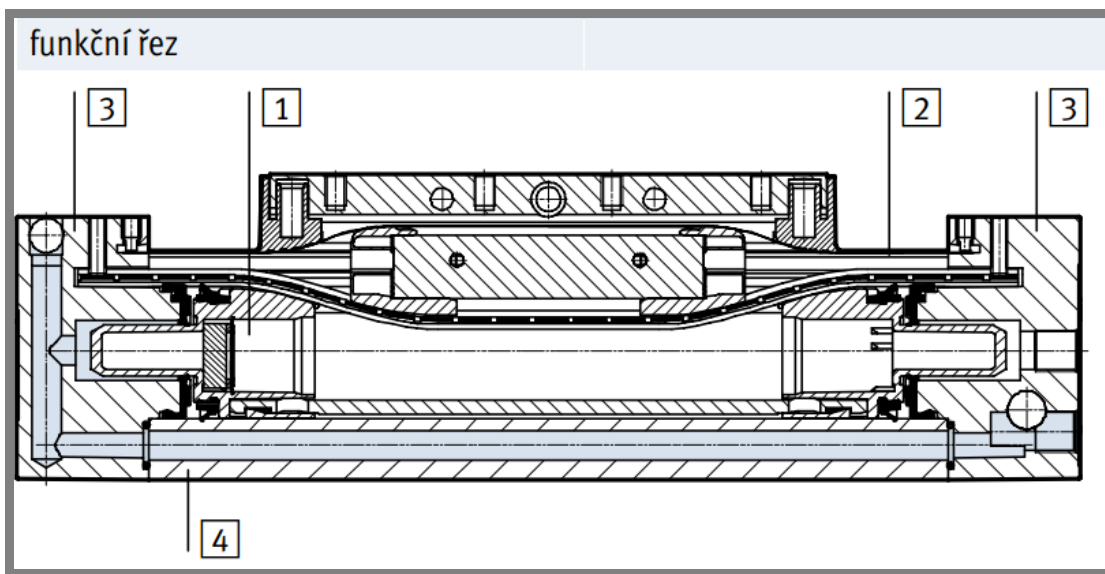
3.2.1 Pneumatický pohon

3.2.1

Pneumatické pohony jsou hodně využívaným zdrojem pohybu, především však u jednoúčelových strojů. Jejich výhodou je jejich rozmanitost (přímočaré pohyby, chapače, otočné stoly...), přijatelná velikost a jednoduchá instalace. Nevýhodou pneumatických válců je však to, že pístnice jezdí až do svých koncových poloh. Pro omezení pohybu v jiné pozici musíme instalovat externí dorazy.

Navíc u veškerých pneumatických pohonů je nutno použít ještě úpravnou jednotku vzduchu a příslušný pneumatický ventil, který pouští vzduch do válce a je elektricky ovládaný.

Válců s přímočarým pohybem jsou různé druhy, pístnicové, s průchozí pístnicí a bezpístnicové. Tyto druhy se pak dále dělí na spoustu dalších skupin. Pro tuto aplikaci by se však nejvíce hodil bezpístnicový válec, ze kterého nevyjíždí pístnice, ale po válci jezdí pouze vozík, viz. obr. 3-3 (1-jezdec, 2-těsnicí páska, 3-víko, 4-trubka válce).



Obr. 3-3 Řez pneumatickým válcem Festo DGC-K [2]

Specifikace navrhovaného válce FESTO DKC-K-50-1000

Teoretická síla při 6 barech	F	1178	N
Zdvih	-	1000	mm
Průměr pístu	-	50	mm



Obr. 3-4 Bezpístnicový pneumatický válec Festo DGC-K [2]

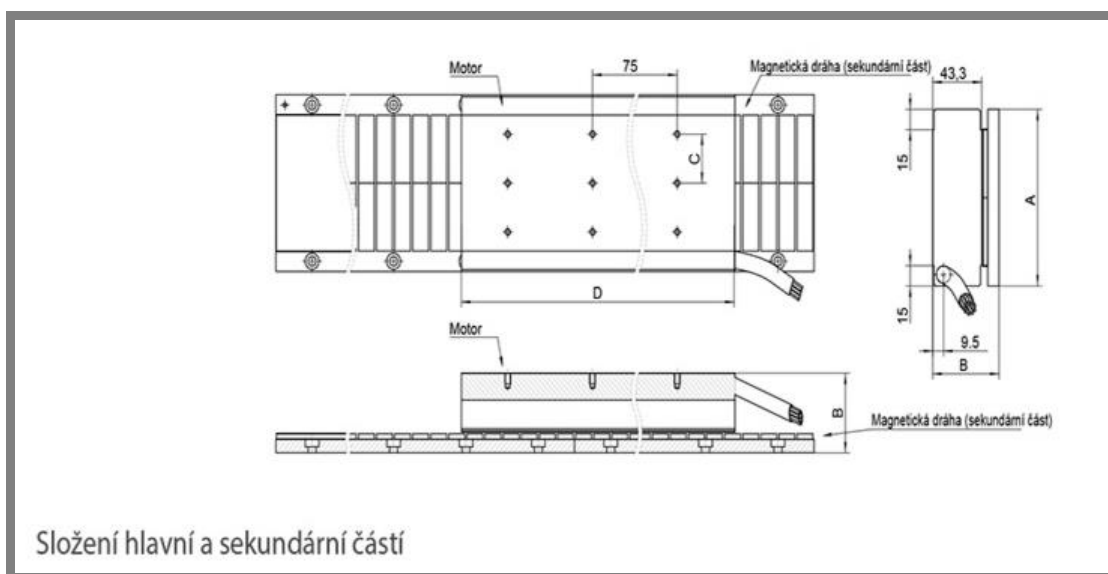
Pneumatický válec splňuje naše požadavky na sílu i zdvih, avšak pro tento účel není ideální variantou, neboť potřebujeme plynulou regulaci pohybu a omezování zdvihu bez externích dorazů.

3.2.2 Lineární servomotor

3.2.2

Lineární synchronní motory mají dvě části - paket s třífázovým vinutím (primární díl) a magnetická dráha (sekundární díl). Lineární motory vytváří přímou a plynulou lineární sílu. Tyto motory lze využít v aplikacích vyžadujících vysokou tuhost, rychlost, dynamiku a téměř nulovou vůli.

Pro lepší vizualizaci si ho můžeme představit jako klasický rotační motor, který je rozvinutý do roviny a umožňuje přímočarý pohyb bez převodu.



Obr. 3-5 Nákres lineárního motoru [3]

Primární díly (vinutí) jsou v uzavřeném provedení a mají krytí vhodné pro použití v průmyslových podmínkách. Montáž primárního dílu se provádí pomocí nastavitelných T-profilů, které zajistí pevné spojení s konstrukcí zařízení. Pro větší přesnost lze použít Hallovy sondy [4].

Specifikace navrhovaného lineárního servomotoru KOLLMORGEN ICH 33-100

Posuvná síla (trvalá)	F	1575	N
Posuvná síla (maximální)	F	3818	N
Zdvih	-	1000	mm

Tato řada motorů vyniká svoji nenáročností na údržbu, železným jádrem s vysokým výkonem a především velmi tichým chodem.



Obr. 3-6 Lineární motor Kollmorgen - řada ICH [3]

Lineární motor by byl lepší variantou pohonu než pneumatický válec. Dokonce dle vlastností tohoto motoru by se dalo říci, že to je ideální varianta. Do současné doby však s tímto pohonem nemáme ve firmě žádné praktické zkušenosti. Další nevýhodou je příliš vysoká cena a především trvajícím požadavek zákazníka na variantu se servomotorem.

3.2.3 Servomotor s kuličkovým šroubem

Servomotory jsou používány především pro polohovací aplikace. U servomotorů se dá velmi dobře řídit přesná poloha natočení výstupní hřídele, moment či rychlost. Jsou tedy nejčastěji využívány pro všechny stroje a CNC aplikace. Servomotory mají velmi plochou křivku výkonu v závislosti na otáčkách [5].

Servomotor je pro tento případ tedy asi optimální variantou pohonu. A to z důvodů nastavitelnosti zdvihů, rychlostí a zrychlení. Díky encoderům lze také přesně pozicovat vozíky.

Specifikace navrhovaného servomotoru B&R 8LSA44-EA060D200-0

Maximální otáčky	n_{\max}	12000	[ot/min]
Jmenovitý moment	M_n	3	[Nm]
Jmenovitý výkon	P_N	1885	[W]
Jmenovitý proud	I_N	3,68	[A]
Maximální točivý moment	M_{\max}	22,8	[Nm]
Moment setrvačnosti	J	2,73	[kg*cm ²]
Hmotnost bez brzdy	m	5,4	[kg]



Obr. 3-7 Obrázek servomotoru B&R řady 8LS [6]

Převodovky slouží k optimalizaci otáček motoru a točivého momentu. Nachází se mezi motorem a výstupní hřídelí. K tomuto servomotoru je dodávána planetová převodovka, která patří v současné době k nejpoužívanějším pro elektromotory. Hlavní výhodou jsou její rozměry, vysoká přesnost a účinnost.

Převodová skříň, jenž je využita v projektu, je rovněž od společnosti B&R. Její převodový poměr je 1:3, tudíž snížíme otáčky a zvýšíme točivý moment.



Obr. 3-8 Převodovka B&R 8GP40 [6]

3.3 Výběr vhodného tenzometrického snímače

3.3

Tyto snímače jsou založeny na snímání změny mechanického napětí v nosníku nebo membráně. Snímání je provedeno nalepením tenzometru (**kovového** - nižší citlivost, vyšší linearita a stabilita nebo **polovodičového** - vyšší citlivost, nižší stabilita a linearita). Změna mechanického napětí se následně projeví jako změna odporu snímacího tenzometru. Pro docílení vyšší citlivosti se typicky využívá zapojení do plného mostu, kde jsou všechny členy mostu tvořeny měřicími tenzometry. Většinou tenzometrické snímače mají v můstku zapojeny také kompenzační tenzometry, které kompenzují vliv teploty, ale nepodílejí se na měření mechanického napětí [7].

3.3.1 Přesný snímač tahové a tlakové síly

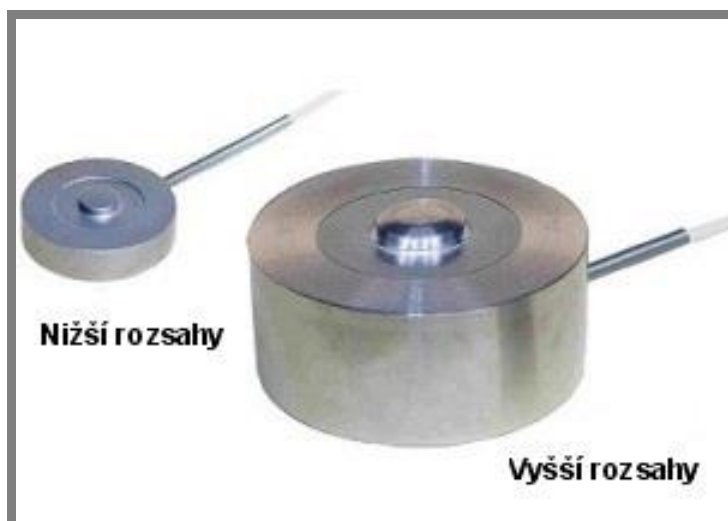
Tento typ snímače lze využít jak na tah, tak na tlak. Jsou také vybavené pojistkou proti přetížení, maximálně však do 150% jejich únosnosti, proto jsou hojně využívány i díky jejich snadnému uchycení pomocí šroubového závitu, jak lze vidět na obrázku. Měřicí rozsahy těchto senzorů 0 - 2,5 N nebo až 0 - 100 kN a kombinovaná nepřesnost 0.20 %. Což by silově i přesnostmi odpovídalo našim požadavkům, ale nevyhovuje našemu požadavku na usazení do stroje.



Obr. 3-9 Ukázka tenzometrického snímače pro tah i tlak [8]

3.3.2 Přesný snímač tlakové síly

Snímač síly Burster typu 8526 je určen pro nasazení v průmyslu i v laboratoři. Kompaktní provedení z nerezové oceli usnadňuje zabudování do stávajících konstrukcí. Snímač je vhodný pro měření statické, kvazistatické i dynamické síly. Použití nalezne při měření síly lisování, stříhu, řezu, snímání síly pružin apod. Síla je snímána zabudovaným tenzometrickým můstkem. Výstupní napětí můstku je přímo úměrné síle působící na průchozí středový otvor, vybavený závitem [9].



Obr. 3-10 Tenzometrický snímač tlakové síly Burster 8526 [9]

4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

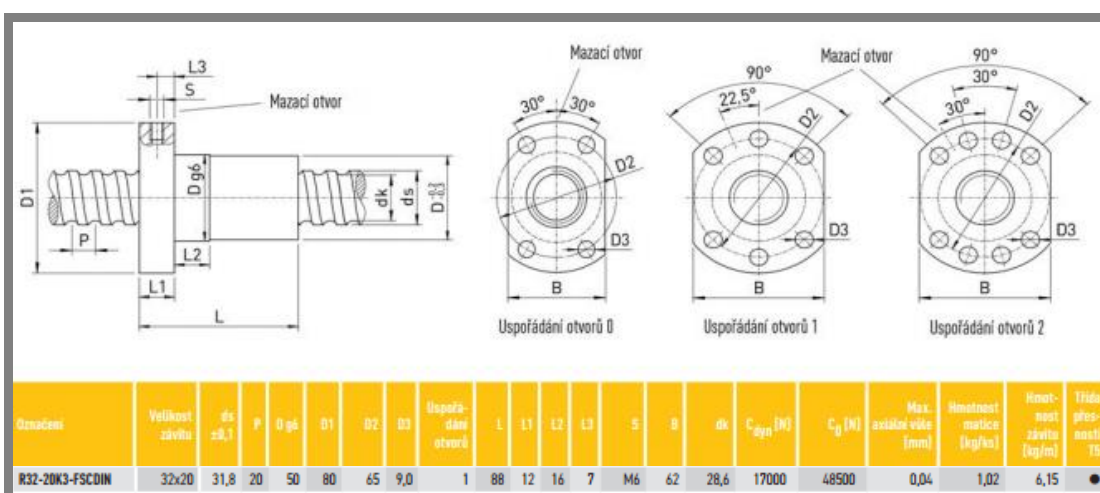
4.1 Kuličkový šroub

Kuličkové šrouby můžeme rozdělit na dvě základní části - šroubovou hřídel a kuličkovou matici. U těchto šroubů se odvalují kuličky mezi hřídelí a kuličkovou maticí a zabezpečují pohyb s vysokým stupněm účinnosti. Oproti obvyklým trapézovým šroubům umožňují zmenšit hnací moment o 2/3. Umí nejen přeměnit rotační pohyb na lineární, nýbrž také lineární na rotační [10].

4.1.1 Parametry pro navrhovaný kuličkový šroub

4.1.1

Navrhovaný je kuličkový šroub válcovaný **HIWIN R32-20K3-FSCDIN**



Obr. 4-1 Tabulka parametrů použitého kuličkového šroubu [11]

Parametry potřebné k výpočtům kuličkového šroubu:

Hmotnost vozíku	m	15	kg
Působící síla na vozík	F	1000	N
Celková dráha vozíku	l	900	mm
Dráha zatížení vozíku	L _F	900	mm
Vzdálenost mezi ložisky	L _k	1016	mm
Celkový čas	t	2	s
Čas zrychlení	t ₁	0,5	s
Čas konstantní rychlosti	t ₂	1	s
Čas zpomalení	t ₃	0,5	s
Malý průměr kuličkového šroubu	dk	28,6	mm
Maximální otáčky motoru*	n _m	4000	min ⁻¹
Stoupání šroubu	P	20	mm
Dynamická únosnost	C _{dyn}	17000	N
Celkový moment setrvačnosti	J _M	4,7	kg*cm ²

*uvedené hodnoty motoru jsou vždy výsledkem servomotoru a převodovky

4.1.2. Výpočty kuličkového šroubu

Zdrojem vzorců, pro výpočet životnosti kul. šroubu, byl katalog Hiwin.

Maximální teoretická axiální síla, která může působit na kul. šroub:

$$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_k^2} \cdot 10^5 \cdot 4,072 = 0,25 \cdot \frac{28,6^4 \cdot \text{mm}}{1016^2 \cdot \text{mm}} \cdot 10^5 \cdot 4,072 = 6598185N$$

kde

k_k	[-]	- koeficient uložení (radiální ložisko - radiální ložisko = 0,25)
d_k	[mm]	- malý průměr kul. šroubu
l_k	[mm]	- vzdálenost mezi uloženími v ložiscích

Maximální dovolená axiální síla, která může působit na kul. šroub:

$$F_p = k_k \cdot \frac{F_k}{2} = 0,25 \cdot \frac{6598185 \cdot N}{2} = 8247,73N$$

Maximální rychlost vozíku:

$$v_{\max} = \frac{2 \cdot l}{(t_1 + 2 \cdot t_2 + t_3)} = \frac{2 \cdot 0,9 \text{ m}}{(0,5 + 2 \cdot 1 + 0,5) \text{ s}} = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

kde

l	[mm]	- celková dráha vozíku
t_1	[s]	- čas zrychlení vozíku
t_2	[s]	- čas konstantní rychlosti vozíku
t_3	[s]	- čas zpomalení vozíku

Maximální síla na kul. šroubu (působí při zrychlení):

$$F_{\max} = \frac{m \cdot v_{\max}}{t_1} + m \cdot f \cdot g + F$$

$$F_{\max} = \frac{15 \cdot \text{kg} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{0,5 \cdot \text{s}} + 15 \cdot \text{kg} \cdot 0,02 \cdot 9,81 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} + 1000 \cdot N = 1020,94N$$

kde

m	[kg]	- hmotnost vozíku
f	[-]	- koeficient tření
g	[m/s ²]	- gravitační zrychlení

Skutečné maximální otáčky kul. šroubu:

$$n = \frac{v_{\max} \cdot 60}{P} = \frac{0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 60}{0,02 \text{ m}} = 1800 \text{ min}^{-1}$$

kde

P [mm] - stoupání kul. šroubu

Moment na motoru, potřebný k roztočení kul. šroubu a motoru:

$$M_1 = \frac{J_M \cdot 2\pi \cdot n_1}{t_1 \cdot 60} = \frac{0,0047 \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1800 \cdot \text{min}^{-1}}{0,5 \text{s} \cdot 60} = 1,78 \text{N} \cdot \text{m}$$

Moment na kul. šroubu potřebný k pohybu vozíku:

$$M_2 = \frac{F_{\max} \cdot P}{2\pi \cdot 0,88} = \frac{1020,94 \text{N} \cdot 0,02 \text{m}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,88} = 3,69 \text{N} \cdot \text{m}$$

Moment na motoru potřebný k rozpočívání celého mechanismu:

$$M_C = M_1 + M_2 = 1,78 \text{N} \cdot \text{m} + 3,69 \text{N} \cdot \text{m} = 5,48 \text{N} \cdot \text{m}$$

Potřebný výkon motoru potřebný k rozpočívání celého mechanismu:

$$P_a = \frac{M_C \cdot n_1}{9550} = \frac{5,48 \text{N} \cdot \text{m} \cdot 1800 \text{ot} \cdot \text{min}^{-1}}{9550} = 1,03 \text{kW}$$

Střední otáčky:

$$n_m = \frac{\left(n_2 \cdot \frac{t_1}{2}\right) + \left(n_2 \cdot t_2\right) + \left(n_2 \cdot \frac{t_3}{2}\right)}{t}$$

$$n_m = \frac{\left(1800 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \frac{0,5 \cdot \text{s}}{2}\right) + \left(1800 \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1 \cdot \text{s}\right) + \left(1800 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \frac{0,5 \cdot \text{s}}{2}\right)}{2 \cdot \text{s}} = 1350 \cdot \text{min}^{-1}$$

Energie k pohybu konstantní rychlostí:

$$F_2 = m \cdot f \cdot g + F = 15 \cdot \text{kg} \cdot 0,02 \cdot 9,81 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} + 1000 \cdot \text{N} = 1002,94 \text{N}$$

Energie potřebná ke zpomalování:

$$F_3 = -\left(\frac{m \cdot v_{\max}}{t_1}\right) + m \cdot f \cdot g + F$$

$$F_3 = -\left(\frac{15 \cdot \text{kg} \cdot 0,6 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{0,5 \cdot \text{s}}\right) + 15 \cdot \text{kg} \cdot 0,02 \cdot 9,81 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} + 1000 \cdot \text{N} = 984,94 \text{N}$$

Střední síla potřebná k pohybu:

$$F_M = \sqrt[3]{\frac{F_{\max}^3 \cdot v_{\max} \cdot t_1 + F_2^3 \cdot v_{\max} \cdot (t_2 + t_3 - t) + \frac{F_3^3 \cdot v_{\max} \cdot (t - t_3)}{2}}{\frac{v_{\max} \cdot t_1}{2} + v_{\max} \cdot (t_2 + t_3 - t) + \frac{v_{\max} \cdot (t - t_3)}{2}}}$$

$$F_M = \sqrt[3]{\frac{1020,9^3 \cdot 0,6 \cdot 0,5 + 1002,9^3 \cdot 0,6 \cdot (1 + 0,5 - 2) + \frac{984,9^3 \cdot 0,6 \cdot (2 - 0,5)}{2}}{\frac{0,6 \cdot 0,5}{2} + 0,6 \cdot (1 + 0,5 - 2) + \frac{0,6 \cdot (2 - 0,5)}{2}}} = 1012N$$

kde

t [s] - celkový čas

Životnost kul. šroubu v otáčkách:

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{17000N}{1012N}\right)^3 \cdot 10^6 = 4740 \cdot 10^6 \text{ ot.}$$

Životnost kul. šroubu v hodinách:

$$L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m \cdot 60} = \left(\frac{17000N}{1012N}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{2879 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 60} = 5851814 \text{ hodin}$$

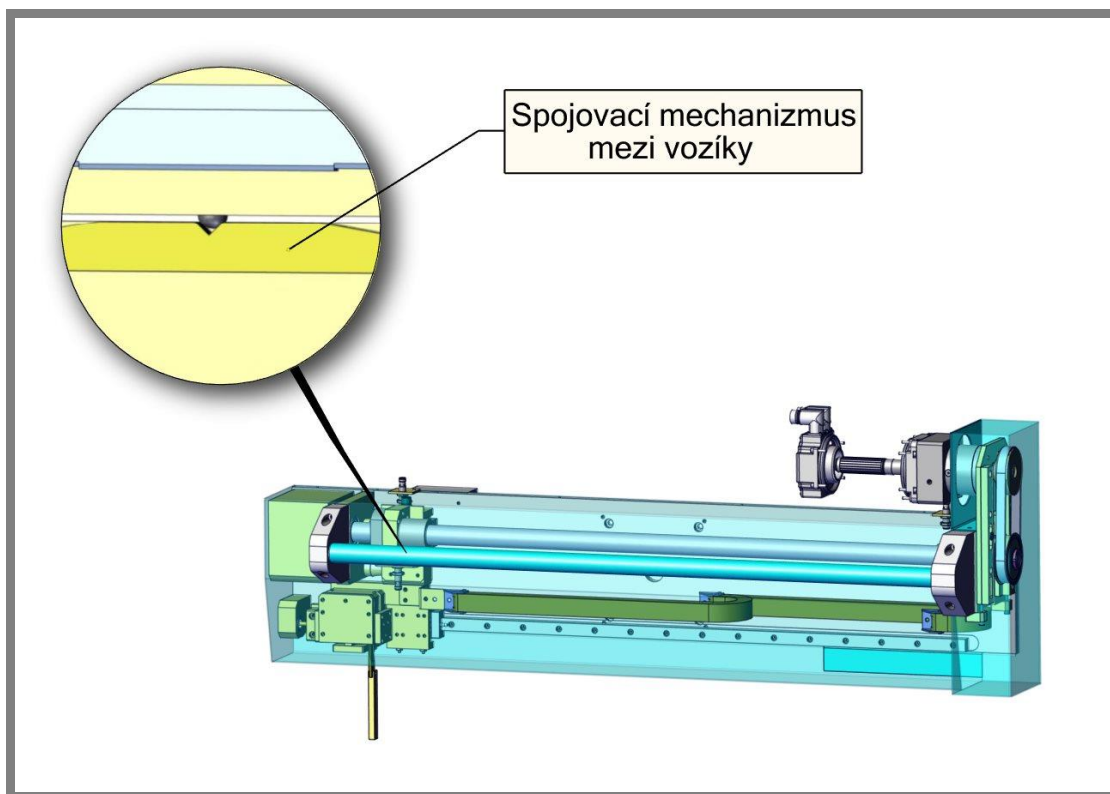
Životnost kul. šroubu převedená na roky:

$$L_r = \frac{L_h}{(24 \cdot 365)} = \frac{5851814 \cdot h}{(24 \cdot 365)} = 6,6 \text{ roků}$$

Dle provedených výpočtů můžeme říci, že kuličkový šroub je dostatečně dimenzován a v průběhu testování nedojde k jeho porušení či jiné deformaci. Při maximálním zatížení a bez zastavení by měl vydržet pracovat přibližně 6,5 roku. Navržený motor o výkonu 1,8 kW je dostatečně výkonný, jelikož na pohyb soustavy stačí 1,03 kW.

4.2 Mechanická pojistka

Mechanická pojistka je navržena tak, aby ochránila tenzometr před mechanickým zničením, především v kritických místech. Tam dochází k většímu zatížení. Tato místa se nachází v bodech zvratu pohybu. Vozíky jsou umístěny na dvou lineárních vedeních a jsou spojeny přes čep s pružinu silou 1000 N, které vytváří zmíněnou mechanickou pojistku. Po přetížení dochází k rozpojení mechanismu.



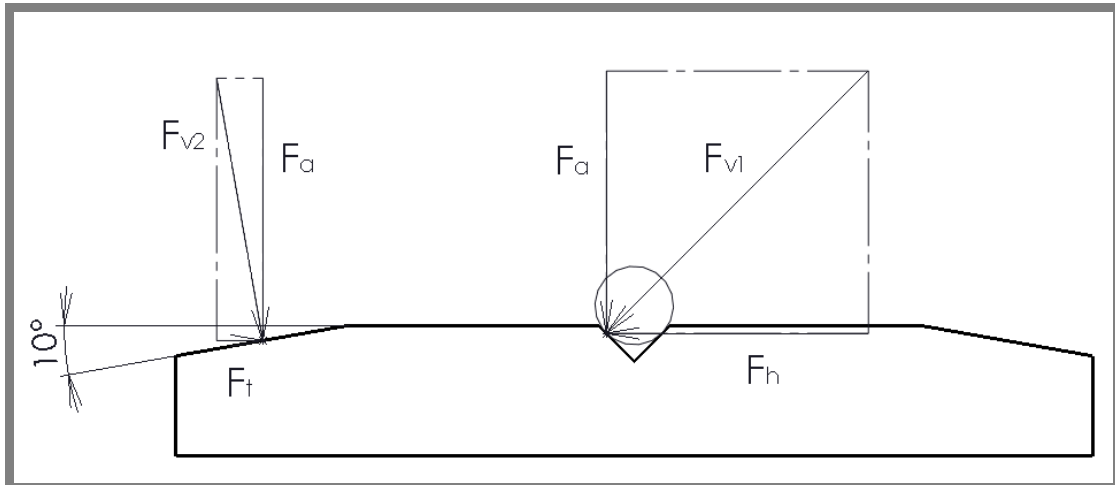
Obr. 4-2 Mechanická pojistka

Výpočet mechanické spojky:

Jelikož úhel působících sil je od výslednice 45° , vertikální i horizontální síly se budou rovnat. Proto $F_a = F_h = 1000 \text{ N}$.

$$F_t = \tan(\alpha) \cdot F_a = \tan(10^\circ) \cdot 1000 = 176,3 \text{ N}$$

Kvůli snadnějšímu nasunutí vozíků (po případném přetížení a odskočení) do správné pozice, je úhel zmenšený na 10° . Díky tomu nemusíme tlačit silou 1000 N, ale pouze 176,3 N, což podstatně ulehčí situaci po odskočení.



Obr. 4-3 Silové schéma mechanické pojistky

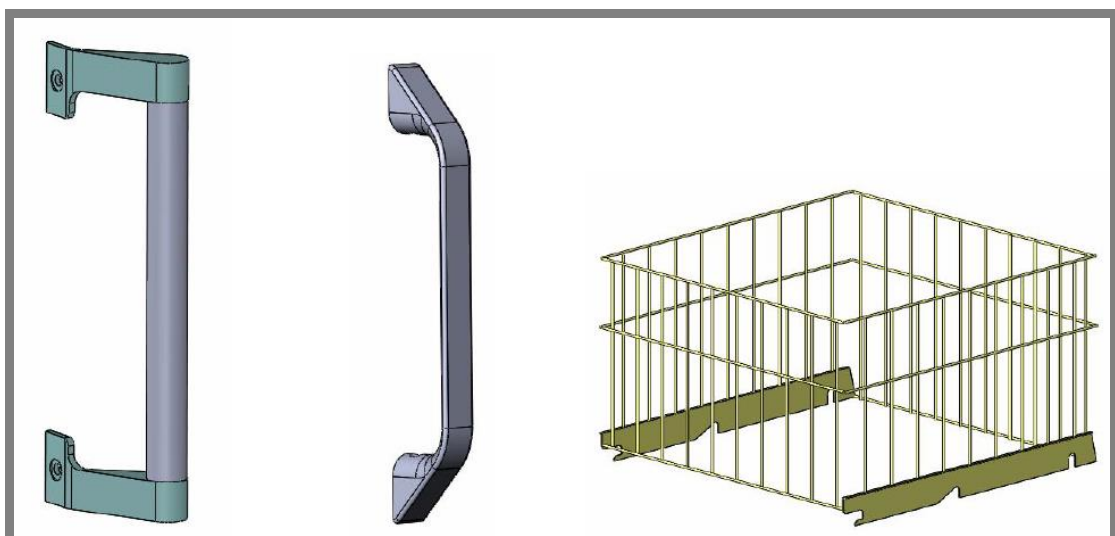
4.3 Ložiska

Uložení kuličkového šroubu v „domku“ je zajištěno pomocí ložisek od firmy SKF. Je zde použito na jedné straně jedno dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, které umožňuje přenášet jak radiální zatížení, tak i oboustranné axiální zatížení, což je v našem případě potřebné. Díky tomuto ložisku (3205 A-2Z) už stačí na druhém konci kuličkového šroubu použít klasické jednořadé ložisko (6205-2Z), které přenáší především radiální síly a v sestavě je v axiálním směru uvolněné.

4.4 Připojení jednotlivých madel

Jak už bylo zmíněno, dané zařízení musí být schopno manipulovat se dvěma typy madel a jedním zásuvkovým košíkem do mrazniček. Na obrázku 4-4 jsou vidět tyto varianty, ke kterým se musí navrhnout vhodné připojení k madlům a snadný přípojný mechanismus k testovacímu stroji.

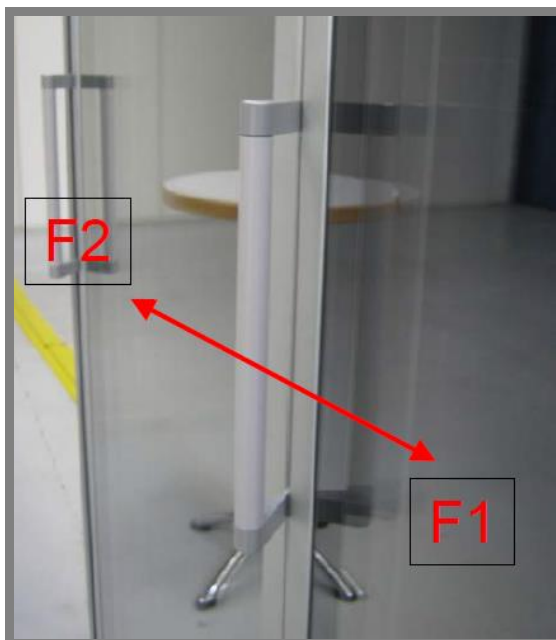
- 1) LINDE
- 2) HANDLE
- 3) WARENKORB



Obr. 4-4 Madlo LINDE, Madlo HANDLE, Košík WARENKORB

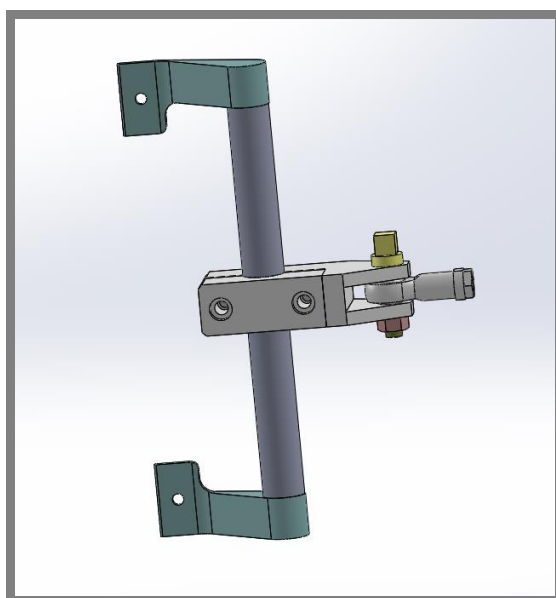
4.4.1 Madlo LINDE

Madla Linde jsou využívána pro otevírání dveří, která jsou použita u lednic v nákupních střediscích. Je umístěno ve vertikální poloze a připevněno k rámu dveří. Potřebný zdvih u tohoto testování je 300 mm. Testuje se výdrž pantů, pevnost madel a životnost izolačních gum kolem dveří.



Obr. 4-5 Madlo LINDE v reálu

Uchycení madla je sestaveno pomocí dvou dílů a sešroubováno dvěma šrouby. Pohybuje se na jednokloubovém mechanismu viz. obrázek 4-6.



Obr. 4-6 Připojení madla LINDE

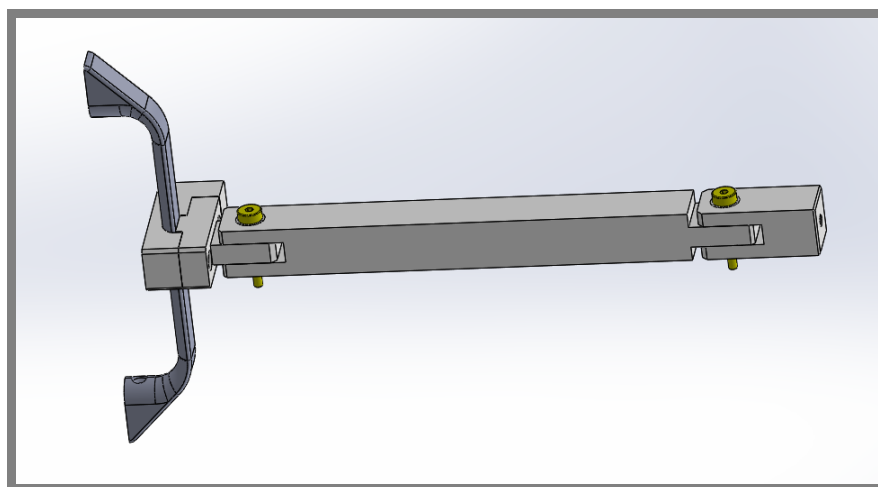
4.4.2 Madlo HANDLE

Madla Handle jsou použita taktéž u lednic, která jsou rovněž využívána v obchodech. Tento typ madel se šroubuje přímo ke sklu a ne do rámu dveří. Zdvih u této operace je 500 mm.



Obr. 4-7 Madlo HANDLE v reálu

Zde je připojení madla na dvoukloubovém mechanismu. Samotné uchycení madla je provedeno svěrným spojem mezi dvěma kostkami, které jsou sešroubované dvěma šrouby.



Obr. 4-8 Připojení madla HANDLE

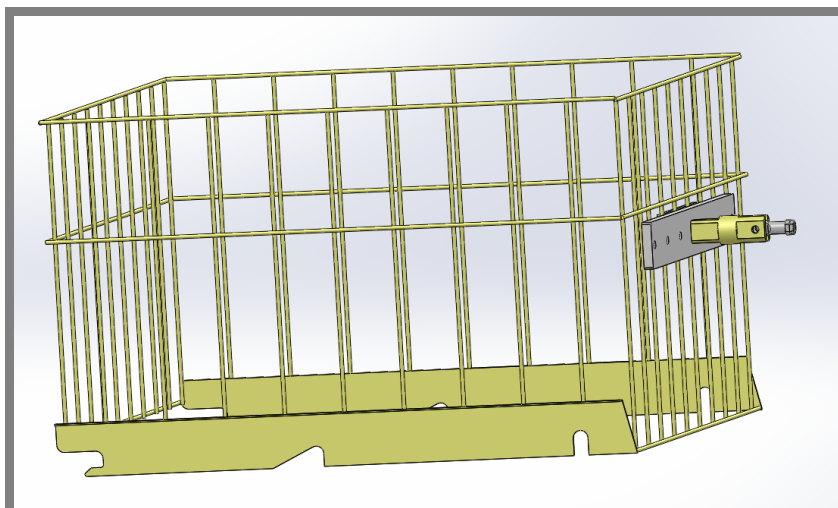
4.4.3 Košík WARENKORB

Košík Warenkorb, jenž se používá u zásuvkových mrazáků. Zde se testuje výdrž a tuhost výsuvných kolejnic. Potřebný zdvih stroje je zde 400 mm.



Obr. 4-9 Košík WARENKORB v reálu

U košíku je rovněž jednoduché připojení a to svěrným spojem mezi dvě destičky s jednokloubovým mechanismem pro vyrovnání výškových nerovností.



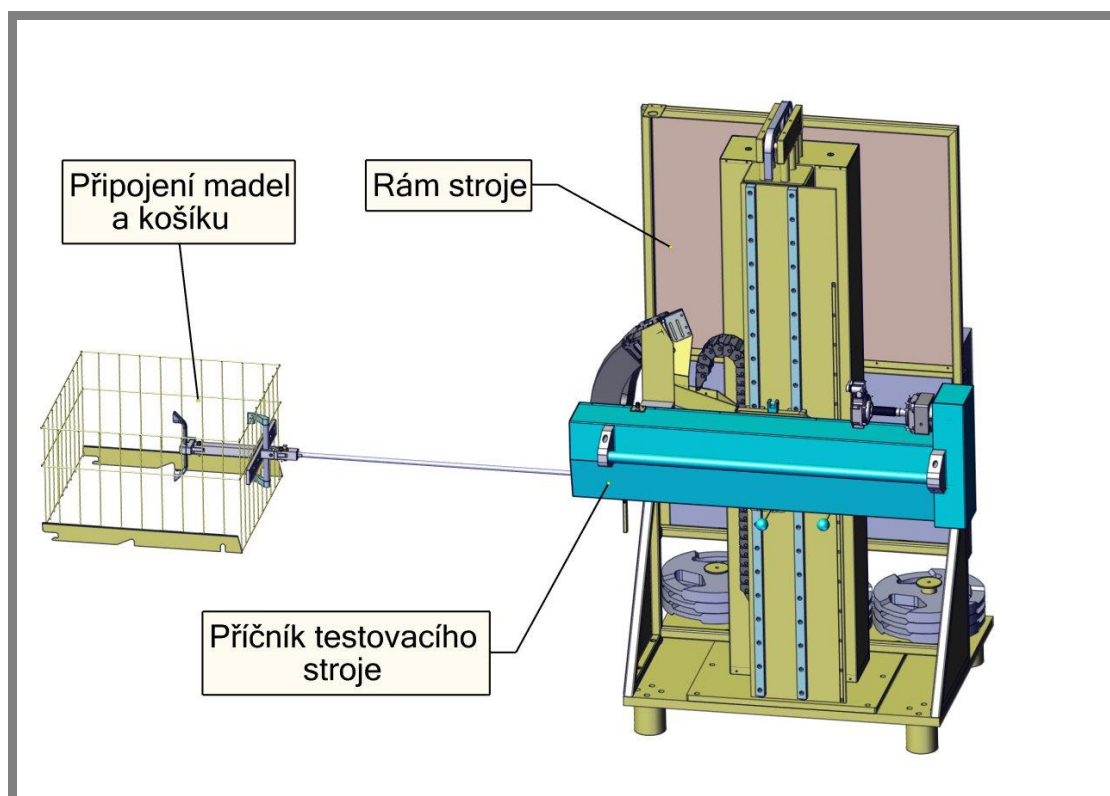
Obr. 4-10 Připojení košíku WARENKORB

5 DISKUSE

Tento projekt se zabýval řešením testovacího zařízení na funkčnost dveří a zásuvkového košíku pro chladicí zařízení. Dle technické specifikace a požadavků zákazníka, které byly všechny splněny, byl zkonstruován a následně vyroben stroj. Ten je plně schopen provozu a splňuje veškeré požadavky kladené zákazníkem. Spokojenost zákazníka dokládá jeho další objednávka tohoto stroje.

I přes bezproblémový chod, bych se při konstrukci dalšího takovéhoho zařízení zaměřil na rám celého stroje, který by mohl mít větší tuhost a stabilitu. Z toho důvodu bych navrhoval větší průřez profilu svařovaného rámu a těžší základnu, aby stroj v každé pracovní poloze pracoval s dostatečnou tuhostí a bezpečností.

Jako další možnost vylepšení se jeví úvahy o alternativním typu pohonu, který by se však nejdříve musel prodiskutovat se zákazníkem. Za zvážení by stálo zejména použití lineárního motoru, který by nahrazoval servomotor s převodovkou, řemen a řemenice, ale také kuličkový šroub, čímž by se podstatně zjednodušila i mechanická část konstrukce.



Obr. 5-1 Celkový pohled na testovací stroj

Cílem této bakalářské práce bylo sestrojít testovací stroj pro dveře a zásuvkový košík chladicích systémů. Daný úkol se podařilo splnit dle veškerých požadavků zákazníka.

Stroj byl navržen tak, aby byl schopen manipulovat se třemi typy možných uchycení. S výše zmíněnými madly se můžeme setkat například v obchodních řetězcích dostupných jak zahraničí, tak i v České republice.

Jedním z požadavků zákazníka bylo měřit síly dopředného a zpětného chodu zařízení pomocí siloměrů, jenž měří střídavě. Ty jsou navrženy tak, že jsou dva a při každém chodu je aktivní pouze jeden. Druhý se automaticky vynuluje, aby při dlouhodobějším používání tenzometrů nedocházelo k odchýlkám od skutečnosti při měření síly.

Dalším požadavkem na stroj bylo ochránit jednotlivé části stroje, proti případnému zaseknutí či nějakého jiného nenadálého zablokování pohybu. Z tohoto důvodu byla navržena i mechanická pojistka, která spojuje vozík poháněný kuličkovým šroubem a unašeč, na kterém je umístěno táhlo madel.

V současné době je stroj v provozu u zákaznické společnosti v Německu, kde slouží svým účelům. Zákazník má zájem o další stroj stejného provedení, jelikož starší verze těchto strojů už nevyhovují všem současným požadovaným kritériím na testovací zařízení.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Ikea: Test lab* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=tbIsfeiUquI>
- [2] *Festo: Přímočaré pohony DGC-K* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DGC-K_CZ.PDF
- [3] *Raveo: Lineární motory s železným jádrem - řada ICH* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: http://www.raveo.cz/linearni-motory-rada-ICH?qt-detail_produkту=1#qt-detail_produkту
- [4] *Raveo: Lineární motory Kollmorgen* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/linearni-motory-KOLLMORGEN>
- [5] *Raveo: Servomotory* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: http://www.raveo.cz/servo_motor
- [6] *B&R* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.br-automation.com/cs/produkty/undefined/8lsa44ea060d200-0/#techdata>
- [7] *Meatest: Snímače síly, tlaku, momentu, dráhy, polohy* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/produkty-snimace-sily-tlaku-momentu-drahy-polohy-32>
- [8] *Meatest: Přesný snímač tahové a tlakové síly* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/produkty-8431-32-presny-snimac-tahove-a-tlakove-sily-detail-71>
- [9] *Meatest: Snímač tlakové síly* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://www.meatest.cz/produkty-8526-snimac-tlakove-sily-detail-55>
- [10] *Hennlich: Kuličkové šrouby* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: <http://lin-tech.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-a-kulickove-srouby-kulickove-srouby-28.html?gclid=CNn8tezPk8sCFSEFwwodj9YJLA>
- [11] *Hiwin: Kuličkové šrouby* [online]. [cit. 2016-04-11]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/valcovane-srouby/53_jednoducha-matice-prirubova-dle-din-69051

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ**8****8.1 Seznam zkratek**

8.1

Obr.	- obrázek
s.r.o.	- společnost s ručením omezeným
kul. šroub	- kuličkový šroub

8.2 Seznam symbolů

8.2

F_k [N]	- max. teoretická axiální síla, která může působit na kul. šroub
F_P [N]	- max. dovolená axiální síla, která může působit na kul. šroub
k_k [-]	- koeficient uložení
l_k [mm]	- vzdálenost mezi uloženími v ložiscích
v_{max} [$m \cdot s^{-1}$]	- maximální rychlost posuvu vozíku
l [mm]	- celková dráha vozíku
t [s]	- celkový čas dopředného pohybu
t_1 [s]	- čas zrychlení vozíku
t_2 [s]	- čas konstantní rychlosti vozíku
t_3 [s]	- čas zpomalení vozíku
n [$rad \cdot s^{-1}$]	- maximální otáčky kul. šroubu
n_n [$rad \cdot s^{-1}$]	- střední otáčky
P [mm]	- stoupání kul. šroubu
F [N]	- síla působící na vozík
F_{max} [N]	- maximální síla na kul. šroub
F_2 [N]	- energie potřebná k pohybu při konst. rychlosti
F_3 [N]	- energie potřebná k pohybu při zpomalování
F_m [N]	- střední síla potřebná k pohybu
m [kg]	- hmotnost vozíku
f [-]	- koeficient tření
g [$m \cdot s^{-2}$]	- gravitační zrychlení
M_1 [$rad \cdot s^{-1}$]	- moment potřebný k roztočení kul. šroubu a motoru
M_2 [$rad \cdot s^{-1}$]	- moment na kul. šroubu potřebný k pohybu vozíku
M_C [$rad \cdot s^{-1}$]	- moment potřebný k rozpoohybování celého mechanismu
J_M [$kg \cdot cm^2$]	- celkový moment setrvačnosti
P_a [kW]	- výkon potřebný k rozpoohybování celého mechanismu
L [ot]	- životnost kul. šroubu v otáčkách
L_h [hod]	- životnost kul. šroubu v hodinách
L_r [hod]	- životnost kul. šroubu na roky
C_{dyn} [N]	- dynamická únosnost
F_a [N]	- síla působící axiálně na kostku
F_h [N]	- síla působící horizontálně na kostku
F_t [N]	- síla potřebná na nasunutí vozíku

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1-1 Testovací stroj Ikea [1]	12
Obr. 1-2 Původní testovací stroj německé firmy	13
Obr. 3-1 Reálný pohled na příčnick	16
Obr. 3-2 Schéma pohybů stroje	17
Obr. 3-3 Řez pneumatickým válcem Festo DGC-K [2]	18
Obr. 3-4 Bezpístnicový pneumatický válec Festo DGC-K [2]	18
Obr. 3-5 Nákres lineárního motoru [3]	19
Obr. 3-6 Lineární motor Kollmorgen - řada ICH [3]	20
Obr. 3-7 Obrázek servomotoru B&R řady 8LS [6]	21
Obr. 3-8 Převodovka B&R 8GP40 [6]	21
Obr. 3-9 Ukázka tenzometrického snímače pro tah i tlak [8]	22
Obr. 3-10 Tenzometrický snímač tlakové síly Burster 8526 [9]	22
Obr. 4-1 Tabulka parametrů použitého kuličkového šroubu [11]	23
Obr. 4-2 Mechanická pojistka	27
Obr. 4-3 Silové schéma mechanické pojistky	28
Obr. 4-4 Madlo LINDE, Madlo HANDLE, Košík WARENKORB	28
Obr. 4-5 Madlo LINDE v reálu	29
Obr. 4-6 Připojení madla LINDE	29
Obr. 4-7 Madlo HANDLE v reálu	30
Obr. 4-8 Připojení madla HANDLE	30
Obr. 4-9 Košík WARENKORB v reálu	31
Obr. 4-10 Připojení košíku WARENKORB	31
Obr. 5-1 Celkový pohled na testovací stroj	32

10 SEZNAM PŘÍLOH

Jl069-010
Jl069-010-001
Jl069-010-002
Jl069-010-003
Jl069-010-004
Jl069-010-005
Jl069-010-006
Jl069-010-007
Jl069-010-008
Jl069-010-009
Jl069-010-010
Jl069-010-011
Jl069-010-012
Jl069-010-013
Jl069-010-014
Jl069-010-015
Jl069-010-016
Jl069-010-017
Jl069-010-018
Jl069-010-019
Jl069-010-020
Jl069-010-021
Jl069-010-022
Jl069-010-023
Jl069-010-024
Jl069-010-025
Jl069-010-026
Jl069-010-027
Jl069-010-028
Jl069-010-029
Jl069-010-030
Jl069-010-031
Jl069-010-032
Jl069-010-033
Jl069-010-034
Jl069-010-035
Jl069-010-036
Jl069-010-037
Jl069-010-038
Jl069-010-039
Jl069-010-040
Jl069-010-041
Jl069-010-042
Jl069-010-043
Jl069-030
Jl069-030-001

Jl069-030-002
Jl069-030-003
Jl069-040
Jl069-040-001
Jl069-040-002
Jl069-040-003
Jl069-040-004
Jl069-050
Jl069-050-001
Jl069-050-002
Jl069-050-003