



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh pohonu dveří sušící komory v práškové
lakovně**

**Design of door drive of drying chamber in
powder paint shop**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Jindřich DVOŘÁK

Studijní program: B 2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: Ing. Marek Štádler

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dvořák** Jméno: **Jindřich** Osobní číslo: **438325**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh pohonu dveří sušící komory v práškové lakovně

Název bakalářské práce anglicky:

Design of door drive of drying chamber in powder paint shop

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte rešerši typů konstrukčních řešení pohonů používaných průmyslových dveří (krytů). Na základě rešerše navrhnete vlastní konstrukci pohonného mechanismu, splňující zadané parametry. Pro navrženou konstrukci provedte vybrané návrhové a kontrolní výpočty. Práce bude obsahovat 3D model zařízení, výkres sestavy pohonu a výrobní výkres rámu pohonu.

Seznam doporučené literatury:

- [1]Švec, V.: Části a mechanismy strojů - Spoj a spojovací součásti. ČVUT, Praha, 2002
- [2]Švec, V.: Části a mechanismy strojů - Příklady. ČVUT, Praha, 2003

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Marek Štádler, ústav konstruování a částí strojů FS

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


Datum zadání bakalářské práce: **05.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **12.12.2019**


Ing. Marek Štádler
podpis vedoucí(ho) práce

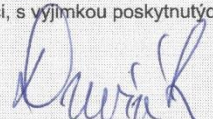

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

26. 04. 2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Návrh pohonu dveří sušící komory v práškové lakovně“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Marka Štádlera, s použitím literatury uvedené na konci bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze:

.....

Jindřich Dvořák

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Marku Štádlrovi za cenné rady, připomínky, vstřícnost a ochotu při zodpovězení mých dotazů.

Dále bych chtěl poděkovat vedení dané společnosti za spolupráci a zázemí, které mi bylo poskytnuto.

Velký dík patří zejména všem mým blízkým, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Anotační list

Jméno autora: Jindřich Dvořák
Název BP: Návrh pohonu dveří sušící komory v práškové lakovně
Anglický název: Design of door drive of drying chamber in powder paint shop
Rok: 2019
Studijní program: B 2341 STROJÍRENSTVÍ
Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem
Ústav: Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP: Ing. Marek Štádler

Bibliografické údaje: počet stran 74
počet obrázků 75
počet tabulek 31
počet příloh 3

Klíčová slova: pohon, dveře, prášková lakovna, rám

Keywords: drive, door, powder paintshop, frame

Anotace: Tato bakalářská práce obsahuje návrh pohonu dveří sušící komory v práškové lakovně. V teoretické části je pojednáno o principu nanášení práškových plastů, o elektrických motorech, pohybových spojení, podobných pohonech z jiných technických aplikací a je vybráno vhodné řešení. Praktická část se zabývá návrhem vybraného řešení a je podložena výpočty.

Abstract: This bachelor theses contains design of door drive of drying chamber in powder paint shop. In the theoretical part it is discussed about principle of powder coating, electric motors, motion connections, similar types of drives from other technical applications and there is selected a suitable solution. The practical part deals with the design of the selected solution based on the calculations.

Obsah

1	Úvod	1
2	Představení společnosti a důvod rekonstrukce	2
3	Princip nanášení práškových plastů	2
3.1	Předběžná úprava povrchu lakovaných dílců.....	3
3.1.1	Mechanická úprava povrchu	3
3.1.2	Chemická úprava povrchu.....	4
3.2	Oplach lakovaných dílců	5
3.3	Sušení lakovaných dílců	5
3.4	Nanášení práškových plastů na povrch lakovaných dílců	5
3.5	Elektrostatické nabíjení (Korona).....	5
3.6	Elektrokinetické nabíjení	6
3.7	Tepelné zpracování práškových plastů - vytvrzování.....	7
4	Elektrické motory	7
4.1	Asynchronní motory	7
4.1.1	Točivé magnetické pole	8
4.1.2	Princip a konstrukce asynchronního motoru	8
4.1.3	Řízení asynchronního motoru	8
4.2	Synchronní motory	9
4.3	Princip a konstrukce synchronních motorů.....	9
4.4	Stejnoseměrné motory.....	10
4.4.1	Princip stejnosměrného motoru.....	10
4.5	Krokové motory.....	11
4.6	Lineární motor.....	11
5	Pohyblivé spojení	12
5.1	Valivé vedení a uložení	12
5.2	Spojení kluzné (Hydrodynamické).....	13
5.3	Spojení hydrostatické	14
5.4	Spojení aerostatické	14
6	Vybrané mechanismy s elektrickým pohonem a jejich části	15
6.1	Automatické posuvné dveře	15
6.2	Posuvná vrata a brány	16
6.3	Dveře tepelné komory	17
7	Výběr vhodného řešení	18
7.1	Demonstrace pracovních podmínek	18
7.2	Výběr motoru a lineárního vedení	19
7.3	Pohybový člen	19
7.3.1	Řešení s ozubeným řemenem	20
7.3.2	Řešení s ozubeným hřebenem a pastorkem	20
7.3.3	Řešení s pohybovým šroubem.....	21
7.4	Shrnutí a konečný návrh řešení.....	22

8	Připojovací a zástavbové rozměry	23
9	Návrh dveří	24
9.1	Výběr izolace a definice jejích vlastností	24
9.2	Výpočet potřebné tloušťky izolační vrstvy	25
10	Předběžný návrh konstrukce dveří	27
11	Návrh pracovního chodu zařízení (kinematika)	28
11.1	Definice požadavků	28
11.2	Výpočet časů a dráhy v různých pracovních stavech, pracovní diagram	29
12	Návrh lineárního vedení	30
13	Dynamika systému a výpočet osově síly šroubu	32
14	Návrh průměru pohybového šroubu	35
14.1	Kinematické poměry na šroubu a jeho krouticí moment	36
14.2	Energetické poměry	38
15	Výběr vhodného asynchronního elektromotoru	39
16	Návrh klínového řemene	40
17	Silové poměry na řemenovém převodu	42
18	Silové poměry na vstupním pohybovém šroubu a výpočet ložisek	45
18.1	Výpočet reakcí ložisek	46
18.2	Výběr a výpočet vhodných ložisek pro trapézový šroub	46
19	Kontrolní výpočty trapézového šroubu, průběh ohybového momentu a ohybového napětí	48
19.1.1	Kontrola na otláčení	49
19.2	Kontrola na kombinované namáhání tah/tlak a krut	50
19.3	Kontrola šroubu na vzpěr	51
20	Návrh hřídelové spojky	53
21	Konstrukční návrhy dílčích částí konstrukce	55
21.1	Konstrukční návrh levé části pohonu	55
21.2	Konstrukční návrh nosného rámu	56
21.3	Uložení dveří do nosného rámu	58
22	Uložení a přichycení konstrukce k sušící komoře	59
23	Sestava hotové konstrukce	60
24	Závěr	62
25	Seznam příloh	64
26	Seznam příloh na CD	64
27	Seznam obrázků	65
28	Seznam tabulek	68
29	Použitá literatura	69

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Popis
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	Objemová hmotnost
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti
T_{in}	$[^{\circ}C]$	Teplota uvnitř sušící komory
T_{out}	$[^{\circ}C]$	Teplota okolí
T_4	$[^{\circ}C]$	Maximální přípustná teplota na vnějším plechu dveří
H1	$[mm]$	Tloušťka vnitřního plechu dveří
H3	$[mm]$	Tloušťka vnějšího plechu dveří
λ_1, λ_3	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti dveří
λ_2	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti izolace
α_1	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla uvnitř komory
α_2	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla uvnitř okolí
\dot{q}	$[W \cdot m^{-2}]$	Vektor plošné hustoty tepelného toku
T_1	$[^{\circ}C]$	Teplota na povrchu vnitřního plechu dveří
T_2	$[^{\circ}C]$	Teplota na povrchu vnitřního plechu dveří, směrem dovnitř
T_3	$[^{\circ}C]$	Teplota plechu uvnitř dveří
H2	$[mm]$	Minimální šířka izolace
z	$[mm]$	Zdvih jednoho křídla dveří
v	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost dveří
a	$[m \cdot s^{-2}]$	Zrychlení dveří
$t_{1,3}$	$[s]$	Čas zrychlení a zpomalení dveří
$s_{1,3}$	$[m]$	Ujetá dráha při zrychlování a zpomalování
t_2	$[s]$	Čas pojezdu ustálenou rychlostí
s_2	$[m]$	Ujetá dráha při ustálené rychlosti
t	$[s]$	Celková doba zdvihu
C_{wr}	$[N]$	Základní radiální dynamická únosnost rolny
C_{wa}	$[N]$	Základní axiální dynamická únosnost rolny
F_{rmax}	$[N]$	Maximální radiální zatížení rolny
p	$[-]$	Exponent závislý na druhu valivého elementu
f_w	$[-]$	Faktor přetížení

f_w	$[-]$	Faktor přetížení
m_2	$[kg]$	Hmotnost jednoho křídla dveří
G	$[N]$	Tíha jednoho křídla dveří
l	$[mm]$	Vzdálenost roln lineárního vedení
l_1	$[mm]$	Vzdálenost rolny A od těžiště dveří
R_A	$[N]$	Reakce v rolně A
P_r	$[N]$	Radiální zatížení rolny
P_e	$[N]$	Ekvivalentní dynamické zatížení rolny
L_{10}	$[km]$	Životnost lineárního vedení
$m_{3,4}$	$[kg]$	Hmotnost rolny
R	$[mm]$	Vnější poloměr rolny
r	$[mm]$	Vnitřní poloměr rolny
r_s	$[mm]$	Střední poloměr rolny
$r_{\check{c}}$	$[mm]$	Poloměr čepu ložiska rolny
α_k	$[^\circ]$	Poloviční úhel kolejnice
s	$[mm]$	Vzdálenost osy šroubu od kolejnice
ξ	$[m]$	Rameno valivého odporu
$\mu_{\check{c}}$	$[-]$	Součinitel čepového tření
R_{AX}	$[N]$	Reakce do směru x v rolně A
R_{AY}	$[N]$	Reakce do směru y v rolně A
R_{BX}	$[N]$	Reakce do směru x v rolně B
R_{BY}	$[N]$	Reakce do směru y v rolně B
N_3	$[N]$	Normálová síla na rolnu A
N_4	$[N]$	Normálová síla na rolnu B
T_{03}	$[N]$	Tečná složka reakce na rolně A
T_{04}	$[N]$	Tečná složka reakce na rolně B
Q	$[N]$	Osová síla pohybového šroubu
$M_{\check{c}}$	$[N \cdot m]$	Moment čepového tření
p_D	$[MPa]$	Dovolený tlak pod závitem ocel-bronz
Ψ_H	$[-]$	Poměr pracovní výšky profilu a stoupání šroubu
Ψ_h	$[-]$	Poměr výšky matice a středního průměru závitu
p	$[MPa]$	Skutečný tlak v závitu
d_2	$[mm]$	Střední průměr závitu šroubu
i	$[-]$	Počet chodů závitu
d_3	$[mm]$	Malý průměr závitu
H_{p1}	$[mm]$	Výška profilu závitu

P	$[mm]$	Stoupání závitu
γ	$[^\circ]$	Úhel stoupání šroubovice
β	$[^\circ]$	Úhel boku profilu v osovému řezu
β_n	$[^\circ]$	Úhel boku profilu zubu
f_n	$[-]$	Součinitel smykového tření ocel – bronz (nemazáno)
φ'	$[^\circ]$	Třecí úhel ocel – bronz (nemazáno)
$M_{kš}$	$[N \cdot m]$	Krouticí moment na středním průměru šroubu
n_{ξ}	$[min^{-1}]$	Otáčky šroubu
$\alpha_{\text{šroub}}$	$[s^{-2}]$	Úhlové zrychlení šroubu
η_z	$[-]$	Účinnost závitové dvojice
$\eta_{\text{LOŽISEK.}}$	$[-]$	Účinnost ložisek
$\eta_{\text{VEDENÍ}}$	$[-]$	Účinnost lineárního vedení
$\eta_{\text{ŘEMENU}}$	$[-]$	Účinnost řemenového převodu
η_c	$[-]$	Celková účinnost mechanismu
P'_{MOTORU}	$[W]$	Potřebný výkon pro jedno křídlo dveří
P_{Min}	$[W]$	Minimální potřebný výkon motoru
$i_{\text{řemen}}$	$[-]$	Převodový poměr řemenového převodu
n_{motor}	$[min^{-1}]$	Jmenovité otáčky motoru
α_{motor}	$[s^{-2}]$	Úhlové zrychlení motoru
W_p	$[mm]$	Výpočtová šířka drážky řemenice
d_1	$[mm]$	Průměr malé řemenice
i_{skut}	$[-]$	Skutečný převodový poměr řemenového převodu
$d_2_{\text{řem}}$	$[mm]$	Průměr velké řemenice
δ	$[\%]$	Odchylka od převodového poměru
a_{skut}	$[mm]$	Skutečná osová vzdálenost řemenic
α	$[^\circ]$	Úhel opásání
N_0	$[kW]$	Jmenovitý výkon převodu jedním řemenem
C_α	$[-]$	Součinitel opásání
C_L	$[-]$	Součinitel vlivu délky řemene
C_p	$[-]$	Součinitel dynamičnosti a pracovního režimu
N	$[kW]$	Maximální přenášený výkon na hnací hřídeli
C_K	$[-]$	Součinitel počtu řemenů
K	$[-]$	Počet řemenů
M_{km}	$[N \cdot m]$	Krouticí moment motoru
F	$[N]$	Celková přenášená tečná síla

v_o	$[m \cdot s^{-1}]$	Obvodová rychlost
β_d	$[^\circ]$	Úhel boku drážky řemenice
$f_{\bar{r}}$	$[-]$	Součinitel smykového tření pro řemen-řemenice
f'	$[-]$	Součinitel tření v klínové drážce
F_0	$[N]$	Předpětí řemene
δ	$[^\circ]$	Rozdíl v úhlu opásání
F_1	$[N]$	Síla v tažné větvi řemene
F_2	$[N]$	Síla v odlehčené větvi řemene
F_V	$[N]$	Výsledná síla zatěžující ložiska hřídelů
l_{nap}	$[mm]$	Vzdálenost ložiska A od napínací síly
$l_{ložiska}$	$[mm]$	Vzdálenost mezi ložisky šroubu
R_{AXL}	$[N]$	Reakce do směru x v ložisku A
F_N	$[N]$	Napínací síla řemene
R_{AYL}	$[N]$	Reakce do směru y v ložisku A
R_{BYL}	$[N]$	Reakce do směru y v ložisku B
M_o	$[N \cdot m]$	Ohybový moment
σ_o	$[N \cdot mm^{-2}]$	Ohybové napětí
W_o	$[mm^3]$	Průřezový modul v ohybu
T	$[N]$	Smyková síla
P	$[N]$	Ekvivalentní dynamické zatížení ložisek
F_R	$[N]$	Radiální síla v ložisku
F_A	$[N]$	Axiální síla v ložisku
L_h	$[hod]$	Životnost ložisek
C	$[kN]$	Základní dynamická únosnost ložisek
h	$[mm]$	Výška matice
$z_{\check{c}}$	$[-]$	Počet činných závitů
$\sigma_{t/d}$	$[N \cdot mm^{-2}]$	Tahové nebo tlakové napětí
S_3	$[mm^2]$	Obsah dřívku šroubu
$\sigma_{celkové\ t/d}$	$[N \cdot mm^{-2}]$	Celkové tahové nebo tlakové namáhání
τ	$[N \cdot mm^{-2}]$	Napětí ve smyku
σ_{red}	$[N \cdot mm^{-2}]$	Redukované napětí
k	$[-]$	Bezpečnost při kombinovaném namáhání
μ	$[-]$	Součinitel vlivu uložení
l_v	$[mm]$	Výpočtová vzpěrná délka
λ_v	$[-]$	Štíhlostní poměr

λ_m	[-]	Mezní štíhlostní poměr
i_x	[mm]	Poloměr setrvačnosti
E	[N · mm ⁻²]	Modul pružnosti v tahu
σ_E	[N · mm ⁻²]	Kritické napětí podle Eulera
k_V	[-]	Bezpečnost na ztrátu stability
M_T	[N · m]	Třecí moment
M_v	[N · m]	Výpočtový moment spojky
S_o	[N]	Předpětí šroubů spojky
d_H	[mm]	Průměr hřídele
h_p	[mm]	Výška pera
b	[mm]	Šířka pera
$l_{\check{c}SN}$	[mm]	Normalizovaná délka pera

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je navržení konstrukce a pohonu dvoukřídlých dveří u oplachové a sušící komory, které jsou jednou z částí linky pro nanášení práškových plastů různých barev. Celkově jde o systém tří obdobných dveří, které se nachází na vstupu, výstupu a mezi komorami. V mé práci je realizován pouze návrh výstupních dveří ze sušící komory. Zbylé dveře jsou pak pouze variací těchto dveří a není zde o nich pojednáno.

Popsané téma bylo zadáno společností SENCO Příbram spol. s r.o., která má na konstrukci několik specifických požadavků: pohon musí být elektrický a měl by být umístěný na střeše komory tak, aby nebránil volnému pohybu osob kolem zmíněné komory, je také nutné zajištěn plynulý chod zařízení a vhodným řešením co nejvíce minimalizovat tepelné ztráty.

V teoretické části je představena již zmíněná společnost, která tuto práci zadala, bližší seznámení s tématem této práce, vysvětlení principu nanášení práškových plastů a popis jednotlivých operací, které jsou v lakovacím procesu nezbytné. Jedna kapitola je věnována typům elektrických motorů a stručnému popisu jejich principů, možnostem pohyblivých spojení členů konstrukce a konkrétním podobným technickým aplikacím z různých průmyslových odvětví. V závěru teoretické části je uvažováno, jaký typ pohonu použít a výběr konkrétního řešení do daných podmínek.

V praktické části bakalářské práce je na úvod přiložen obrázek s důležitými zástavbovými rozměry komory, na jejichž základě, jsou následně voleny rozměry navržené konstrukce. Následuje chronologicky seřazený postup mého návrhu doplněný nezbytnými výpočty pro návrh některých částí konstrukce. Přiloženy jsou také obrázky 3D modelu v programu Autodesk Inventor.

2 Představení společnosti a důvod rekonstrukce

Práškové lakování je jednou ze služeb, které společnost SENCO Příbram spol. s r.o. nabízí zákazníkům. Lakují se zde převážně rozváděčové skříně, ocelové rámy a konstrukce, ocelové trubky, plechové díly i jiné součásti podle přání zákazníka. Lakovací linka je přes deset let v provozu a prochází postupnou modernizací. Konstrukčně jsou v nejhorším stavu výstupní dveře ze sušící komory, kde vlivem agresivního prostředí došlo ke značné degradaci materiálu a vlivem dlouholetého používání zařízení k opotřebování některých částí konstrukce.

Ovládání obou křídel bylo dosud realizováno jediným pneumatickým motorem, který byl pevně přichycen k jednomu křídlu a při vysouvání pístu tlačil na křídlo druhé. Výsledný pohyb byl neplynulý, trhavý, neboť nejprve jedno křídlo narazilo do své krajní polohy a poté se až úplně otevřelo to druhé, navíc kolejničky, po kterých se dveře pohybovaly, byly poměrně opotřebované.

V hale, kde se lakovací linka nachází, má navíc zmíněná společnost problém s tlakovým vzduchem, proto se vedení společnosti rozhodlo, že je potřeba pneumatický pohon nahradit elektrickým.

3 Princip nanášení práškových plastů

Práškové lakování je technologie povrchové úpravy materiálu. Principem je nanesení jediné tenké vrstvy práškového plastu o tloušťce v řádu desítek μm na povrch dílce a následné vytvrzení v peci. Cílem je především ochrana lakovaného materiálu proti korozi a otěru, ale také jistým způsobem vylepšit estetické vnímání součásti. [1]

Technologie práškového lakování je ekologicky i ekonomicky přívětivá a uplatňuje se například ve stavebnictví, elektrotechnice, automobilovém průmyslu a v dalších mnoha oborech. [1]

Na obrázku č. 1 je prášková lakovna v SENCO Příbram spol. s r. o.



Obr. 1: Prášková lakovna v SENCO Příbram spol. s r. o. [1]

3.1 Předběžná úprava povrchu lakovaných dílců

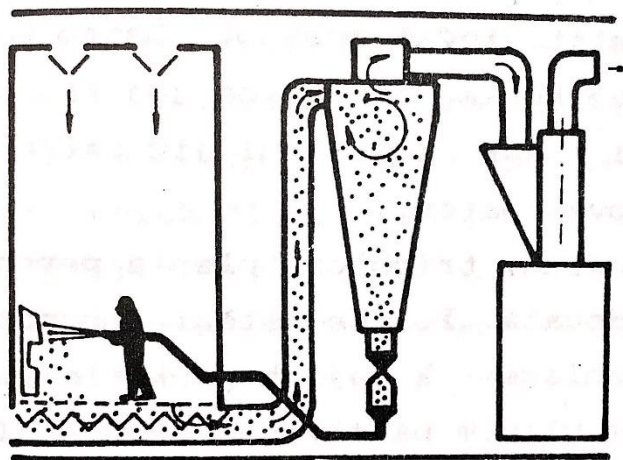
Pro vytvoření kvalitní vrstvy laku na povrchu dílce je nezbytné před nanesením práškového plastu podkladový materiál správně upravit. Nekvalitně připravený povrch snižuje přilnavost prášku a tím i životnost lakové vrstvy. [3] Povrchové úpravy pro práškové lakování lze rozdělit do dvou základních operací:

- Mechanické úpravy povrchu
- Chemické úpravy [3]

3.1.1 Mechanická úprava povrchu

Mechanickou úpravou povrchu se rozumí příprava určité mikrostruktury a kvality povrchu. Účelem je očistit povrch od rzi, okují a dalších nečistot. V mechanické předúpravě před práškovým lakováním se nejčastěji používá technologie otryskávání. Podstatou je vrhání abrazivního materiálu na předmět stlačeným vzduchem, tlakovou vodou, metacím kolem nebo kombinací tlaku vzduchu a vody na předmět. [3]

Zrna abrazivního materiálu mohou být ostrá nebo tupá. Ostrá tvrdá zrna při dopadu vysekávají z povrchu částice kovu a tím zbavují předmět nečistot, rzi, okují a výsledný povrch je příslušně zdrsňen. Při dopadu tupých zrn nedochází k úběru materiálu, ale materiál se očistí otloukáním a dochází k jeho zpevnění. Nejpoužívanější materiály jsou mletý korund, ocelová drť nebo kuličky. [3] Schéma stabilního pracoviště pneumatického otryskávání je na obrázku č. 2.



Obr. 2: Schéma stabilního pracoviště pneumatického otryskávání [3]

3.1.2 Chemická úprava povrchu

Chemická úpravou je prováděna pro zajištění požadované čistoty povrchu. Před nanesením laku se musí, již mechanicky očištěný povrch, zbavit mastnoty, olejů, solí a dalších nečistot. Pro práškové lakování je nejčastěji využívána sdružená operace odmašťování s fosfátováním. Tato metoda se uplatňuje i ve společnosti SENCO Příbram spol. s r. o. a komora sloužící pro tuto operaci je jednou z těch, které se týká zmiňovaná rekonstrukce. [3]

Odmašťování v organických rozpouštědlech

Nejjednodušší způsob odmaštění je použitím organických rozpouštědel. Jejich nevýhodou je, že se nedají použít na vlhké povrchy. Nelze s nimi odstraňovat heteropolární nečistoty například anorganické soli, otisky prstů a pot. Některé z látek jsou hořlavé, jedovaté a neekologické a při práci s nimi se musí zvláště dbát na bezpečnost. Mezi hořlavá organická rozpouštědla patří například petrolej a benzín. Mezi nehořlavé jsou pak převážně řazena rozpouštědla z řady chlorovaných uhlovodíků, perchloretylen a trichloretylen. [3]

Odmašťování alkalickými roztoky

Tyto roztoky působí na mastné látky ulpělé na povrchu kovu dvojitým způsobem. Rostlinné i živočišné tuky a oleje se při odmašťování chemicky mění – zmýdelňují. Mastné látky minerálního původu se pomocí různých přísad v odmašťovací lázni rozptylují do roztoku a tím se odstraní z povrchu. Odmaštění se provádí buď ponorem, nebo postříkem. [3]

Pro alkalické odmaštění se nejčastěji využívá hydroxid sodný nebo uhličitán sodný ve spojení se smáčedly (tenzidy). Koncentrace účinných látek je do 10 %. Odmašťování alkalickými roztoky je výhodné z ekonomického i ekologického hlediska. [4]

Sdružená operace odmaštění a fosfatizace

Jako chemická předúprava povrchu v práškovacích linkách se nejčastěji používá sdružená operace odmaštění a fosfátování. Fosfátováním oceli, zinku a hliníku se na povrchu materiálu vytvoří tenký ochranný povlak (0,5 až 2 μm). K hlavním důvodům použití fosfátování patří kromě protikorozi ochrany i to, že velmi zlepšuje přilnavost nástřiku. [3]

3.2 Oplach lakovaných dílců

Po dokončení chemické úpravy povrchu, se dílec, na který má být nanesen práškový nástřik musí opláchnout teplou demineralizovanou vodou. To je upravená voda, která je z velké části zbavena minerálních a organických látek, které by mohly ovlivnit přilnavost práškové vrstvy. Oplach se provádí, aby se smyly zbytky látek, kterým byl dílec vystaven v předchozích operacích. [5]

3.3 Sušení lakovaných dílců

Závěrečnou operací předúpravy materiálu při práškovém lakování je sušení. Dílec je vystaven horkému vzduchu o teplotě cca 150 °C. Teprve až v momentě, kdy je výrobek dokonale suchý, je možné na něj nanést práškový plast. Proces sušení se provádí v sušících komorách. Rekonstrukce výstupních dveří této komory je předmětem této bakalářské práce. [6]

3.4 Nanášení práškových plastů na povrch lakovaných dílců

Nejvíce rozšířeným způsobem nanášení prášku na povrch dílce je využití elektrostatického nabíjení částic prášku, který je stříkán na předmět pomocí stlačeného vzduchu. Částice prášku a lakovaný předmět mají odlišný elektrický náboj, proto se k sobě přitahují Coulombovými silami. [1]

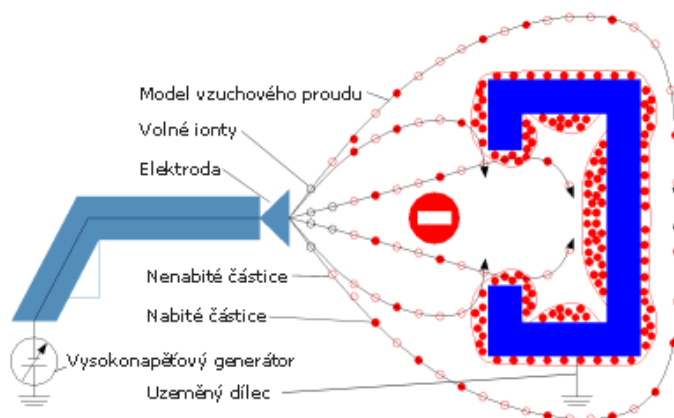
K udělení náboje částicím barevného prášku se nejčastěji využívají dva způsoby. Metody se liší pouze ve způsobu udělení náboje částici prášku. [1]

- Statika (Korona)
- Tribo (Elektrokinetické nabíjení) [1]

3.5 Elektrostatické nabíjení (Korona)

Princip elektrostatického nabíjení je naznačen na obrázku č. 3. Do pistole je pomocí vysokonapětového generátoru přiváděn elektrický proud. V jejím ústí je umístěna elektroda a lakovaný předmět je uzemněn. Mezi elektrodou a předmětem vznikne elektrické pole. Při průchodu prášku tímto polem získají částice záporný náboj a dojde k jejich uchycení na opačně nabitý předmět. [1]

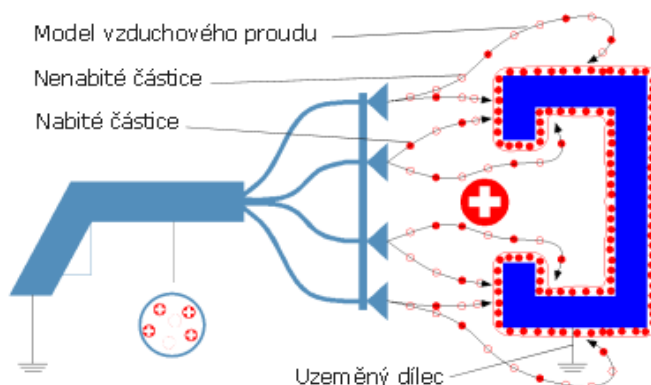
Tento způsob je velice rychlý a účinný, ale není vhodný pro dílce s hlubokými otvory, což je také dobře vidět na níže přiloženém obrázku (Obr. 3). Plastový prášek v těchto místech neulpívá rovnoměrně. [1]



Obr. 3: Elektrostatické nabíjení (Korona) [1]

3.6 Elektrokinetické nabíjení

Elektrokinetické nabíjení, označované také jako „Tribo“ je druhým způsobem, jak je možné udělit částicím prášku elektrický náboj. Princip je opět naznačen na níže přiloženém obrázku (Obr. 4.) Uvnitř stříkací pistole je speciální materiál, o který se při průchodu pistolí otírají částice plastového prášku a odevzdávají mu své elektrony, tím částice získají kladný náboj. Pistole s předmětem, který má být nalakován, je uzemněna, takže záporný náboj přechází do země. Lakování metodou „Tribo“ je vhodnější pro materiály s hlubšími otvory, na rozdíl od Korony, ale není tak efektivní. [1]



Obr. 4: Elektrokinetické nabíjení (Tribo) [1]

3.7 Tepelné zpracování práškových plastů - vytvrzování

Prášková barva je svou podstatou pryskyřice, u níž dochází vlivem tepla k zesíťování a vytvrzení. Kvalita vytvrzení je vysoce závislá na dodržení teplotního režimu výpalu. Teplotu, a především čas tepelného zpracování, je nutno volit s ohledem na tloušťku materiálu, jeho tepelnou vodivost a tvar. Vytvrzování uzavírá celý proces aplikace práškových barev a provádí se ve vytvrzovacích pecích. [6,7]

4 Elektrické motory

V kapitole 3 bylo pojednáno o procesech při nanášení barevných práškových plastů. Tato kapitola je věnovaná elektrickým motorům. Je zde stručně pojednáno o některých vybraných typech, které se v technické praxi vyskytují.

V zadání bakalářské práce je využít pro návrh výstupních dveří u sušící komory elektrický pohon. Zásadní je zvolit vhodný typ. Elektrický motor nebo jen zkráceně elektromotor je obecně elektrický stroj, který slouží k přeměně elektrické energie na mechanickou. Většina elektromotorů jsou rotační stroje, ale existují i lineární motory. V této kapitole je uvedeno několik základních druhů elektromotorů, se kterými se dá často v technické praxi setkat a je zde stručně vysvětlen princip jejich fungování.

4.1 Asynchronní motory

Asynchronní motor je, zejména v průmyslových aplikacích, nejpoužívanějším elektromotorem. Má jednoduchou konstrukci, je spolehlivý a vykazuje dobré provozní vlastnosti. Napájen je střídavým proudem a pracuje na principu elektromagnetické indukce. Na trhu je dostupná široká nabídka těchto motorů o různých výkonech. Příznivá je také jejich pořizovací cena. [8]



Obr. 5: Asynchronní motor [9]

4.1.1 Točivé magnetické pole

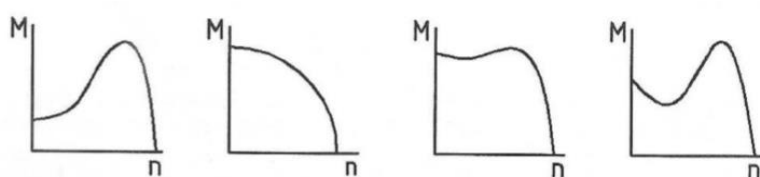
Pro objasnění principu asynchronního motoru je velice důležité pochopit vznik točivého magnetického pole ve statoru. To si lze představit jako pole permanentního magnetu, které se v prostoru otáčí. K vytvoření takového pole dojde pomocí proudů stojícího třífázového statorového vinutí, kde jsou tato vinutí a proudy v nich vůči sobě v prostoru i času posunuta o 120° . Otáčky točivého pole statoru (synchronní otáčky) jsou dány frekvencí napájecího napětí (nejčastěji 50 Hz) a počtem pólů trojfázového motoru. [8]

4.1.2 Princip a konstrukce asynchronního motoru

Ve statoru asynchronního motoru je otočně uložený rotor. Přivedeme-li na statorová vinutí třífázovou soustavu napětí, vytvoří se ve statorové části točivé magnetické pole, které bylo popsáno v předchozí kapitole. Toto proměnné magnetické pole indukuje v rotoru napětí, v jehož důsledku začne v rotorové části procházet proud. Dojde ke vzájemnému silovému působení mezi točivým polem na statoru a rotorovými proudy, a tím k vyvození točivého momentu. Není-li na hřídeli odebírán mechanický výkon, rotor se urychlí až na rychlost velmi blízkou synchronní rychlosti. Této rychlosti ovšem nikdy nedosáhne. Začneme-li rotor mechanicky zatěžovat, dojde k poklesu jeho otáček, a motor tak pracuje v podsynchronních otáčkách a přeměňuje tedy elektrickou energii na mechanickou. [8]

4.1.3 Řízení asynchronního motoru

Asynchronní motor nemá lineární závislost momentu na otáčkách a při zapojení do sítě nedojde k plynulému nárůstu momentu. Příklady možných mechanických charakteristik jsou znázorněny na obrázku č. 6. Z nich je patrné, že při nulových otáčkách není moment nulový. Pro náběh na jmenovité otáčky, podle požadované charakteristiky, je nutné motor řídit. Asynchronní motor se nejčastěji řídí pomocí změny frekvence napájecího napětí. Toho se docílí pomocí frekvenčního měniče. [8]



Obr. 6: Závislost momentu na otáčkách asynchronního motoru [8]

4.2 Synchronní motory

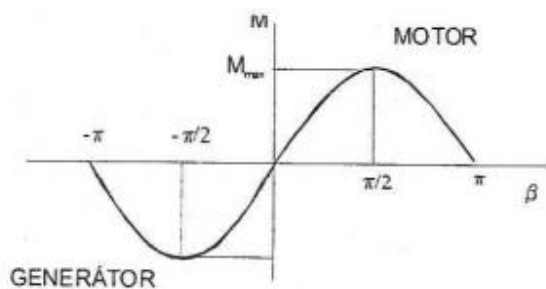
Synchronní motor je elektrický stroj, který je napájen střídavým třífázovým napětím a jehož otáčky rotoru jsou shodné se synchronními otáčkami magnetického pole vzniklým ve statoru. Nejvíce se využívají v trakční technice. [8]

4.3 Princip a konstrukce synchronních motorů

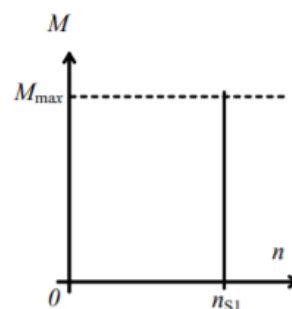
Stator se prakticky neliší od asynchronního stroje, ovšem rotorové vinutí je napájeno stejnosměrným proudem. Stává se elektromagnetem se stejnosměrným magnetickým polem. Pokud je stator napájen třífázovým proudem a rotor je roztočen na synchronní otáčky, pak se nesouhlasné polarity pólů elektromagnetu, vytvořeného z rotoru a točivé magnetické pole na statoru, přitahují a mají vůči sobě neměnnou polohu. Rotor se tedy otáčí stejnou synchronní rychlostí, jako točivé magnetické pole a je možné odebírat mechanický výkon.

Při překročení určité maximální hodnoty momentu nebude motor schopný udržet synchronní otáčky rotoru a stroj přestane pracovat v synchronním režimu a zastaví se. [8, 10]

Velikost momentu, který je motor schopný dodávat je nezávislá na rychlosti otáčení, ale závisí pouze na úhlu vychýlení mezi polem rotoru a točivým magnetickým polem statoru. Maximální moment má stroj, když jsou tyto pole pootočena o -90° . Momentová a statická charakteristika takového motoru může být následující. [8, 10]



Obr. 7: Statická charakteristika synchronního motoru [8]



Obr. 8: Momentová charakteristika synchronního motoru [10]

4.4 Stejnosměrné motory

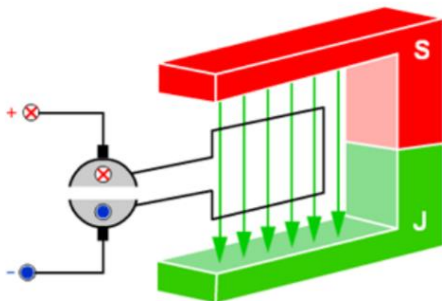
Stejnosměrný motor, se stejně jako asynchronní, skládá ze statoru a rotoru, ale je napájen stejnosměrným napětím a jeho konstrukce i princip jsou složitější než u asynchronního motoru. Jde o nejstarší typ elektrického motoru. [8]



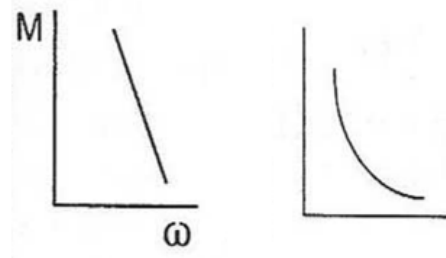
Obr. 9: Stejnosměrný motor [11]

4.4.1 Princip stejnosměrného motoru

Princip stejnosměrného motoru se zakládá na silovém působení magnetického pole na vodič, kterým prochází proud. Uvnitř statoru jsou buď permanentní magnety, nebo póly s budícím vinutím. Přivede-li se na vinutí elektromotoru proud, vzniknou dvě magnetická pole. Vzájemné silové účinky pole uvedou kotvu (ta část, kde se indukují napětí, zde rotor) do pohybu. Výsledný pohyb je nerovnoměrný. Aby byl pohyb plynulý, mívá rotor více cívek, a pak je průběh momentu prakticky konstantní. Na obrázku č. 10 je závit v magnetickém poli, který demonstruje výše popsany fyzikální jev. Na obrázku č. 11 je příklad možné mechanické charakteristiky stejnosměrného motoru. [8, 12]



Obr. 10: Závit v magnetickém poli [12]



Obr. 11: Tvrdá a měkká momentová charakteristika [8]

4.5 Krokové motory

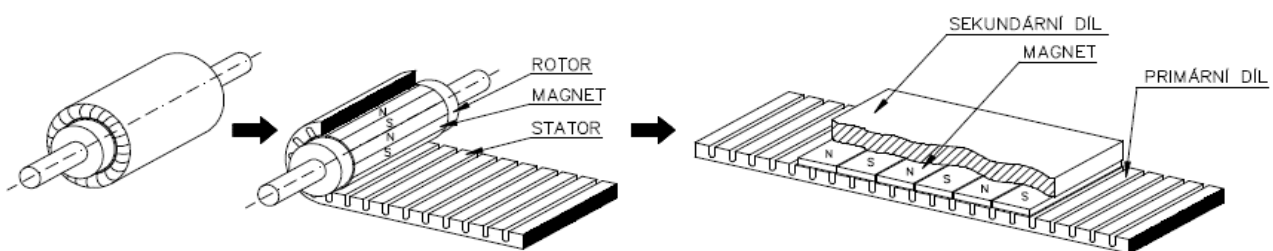
Krokový motor je synchronní točivý stroj, který je napájen napěťovými impulsy stejnosměrného proudu. Pohyb krokového motoru je nespojitý. Pohybuje se po krocích, což je reakce rotoru na jeden puls napájecího obvodu. Frekvence těchto pulsů pak určuje rychlost otáčení. Tyto motory umožňují přesné řízení rychlosti i polohování. Mohou pracovat jako servomotory bez zpětné vazby snímače. Používají se často v robotice jako manipulátory nebo u souřadnicových strojů. Krokový motor je bezúdržbový, snadno ovladatelný a může se otáčet oběma směry. Jeho nevýhodou je citlivost na přetížení. Pak dochází ke ztrátě kroku a motor již nepracuje správně [13,14]



Obr. 12: Krokový motor [15]

4.6 Lineární motor

V některých technických aplikacích, kde je požadován lineární pohyb, může být vhodné použít lineární motor. Pokud bychom totiž chtěli použít některý z výše uvedených motorů, musíme navíc zajistit vhodnou transformaci rotačního pohybu rotoru elektromotoru, na lineární pohyb výstupního členu. V případě lineárního motoru se jedná o přímý pohon, kde není použit pro vyvození přímočarého pohybu žádný mechanický prvek. V principu je lineární motor podobný točivému motoru, pouze statorová část je rozvinuta do roviny. Tyto motory mohou být asynchronní, synchronní nebo krokové. [16]



Obr. 13: Lineární elektromotor princip [16]

5 Pohyblivé spojení

Další důležitou částí je návrh pohyblivých spojení v konstrukci. To lze rozdělit na rotační uložení a lineární vedení. Obě tato spojení musí splňovat 2 základní funkce. [17]

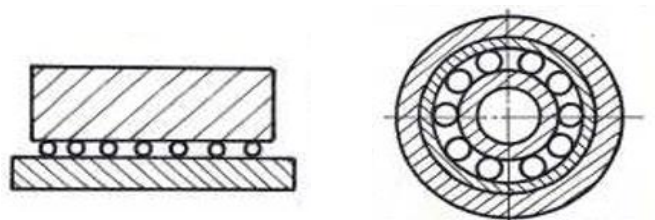
1. Zabezpečit určitou polohu a určitý relativní pohyb.
2. Přenést vnější zatížení vedeného uzlu na další uzel

V této kapitole je uveden stručný přehled typů těchto spojení, které se v technické praxi vyskytují.

5.1 Valivé vedení a uložení

Pohyb je zajištěn odvalováním odvalovacího elementu – například válečku (přímkový styk) nebo kuličky (bodový styk). Tento element se odvaluje v drážce nebo po kolejnici a tím zajišťuje požadovanou polohu a relativní pohyb. Příkladem může být lineární vedení u obráběcích strojů nebo kuličkové ložisko. [18]

Výhodou je malý třecí moment, dobrá mechanická účinnost, rozběhový moment je téměř stejný jako za chodu. Nevýhodou je, že valivé elementy nesnášejí dobře dlouhodobá rázová zatížení a je potřeba větší přesnosti při jejich výrobě. [18]



Obr. 14: Valivé vedení a uložení [17]



Obr. 15: Lineární vedení [20]



Obr. 16 Kuličkové ložisko [19]

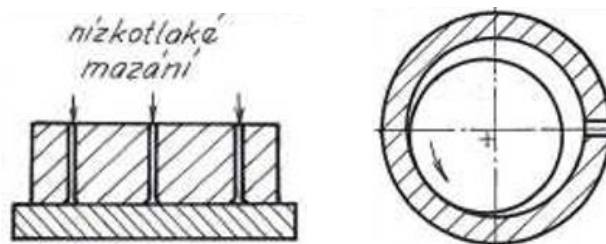
5.2 Spojení kluzné (Hydrodynamické)

Tento druh spojení lze rozdělit do tří základních stavů. Často se využívá například u obráběcích strojů. Na obrázku č. 17 je naznačena realizace tohoto spojení. V levé části zmíněného obrázku je zobrazen lineární pohyb při nízkotlakém dodávání oleje. V pravé části je zobrazeno rotační, uložení, kde je patrné, že pro realizaci je nezbytná vůle. [17]

Suché tření – Mezi třecími povrchy není žádný olejový film a dochází zde k velkému opotřebení.

Smíšené tření – Působí suché tření i kapalinné současně, části zůstávají v mechanickém kontaktu, opotřebení je nižší než u suchého tření.

Kapalinné tření – Mezi částmi je tenká vrstva oleje, opotřebení je minimální. [17,18]

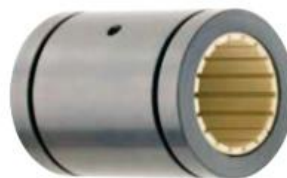


Obr. 17: Kluzné vedení a uložení [17]

Průvodním jevem je opotřebení kluzných ploch. Na výsledný pohyb při kluzném spojení má veliký vliv opracování kluzných ploch a použití mazací vrstvy. Mimořádný význam má viskozita, která závisí na tlaku a teplotě. Výhodou mohou být malé rozměry oproti valivým spojení, na druhé straně nevýhodou je větší opotřebení. [18]



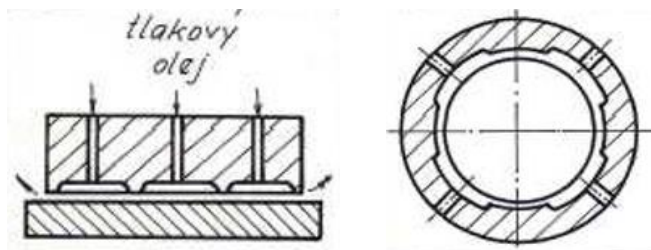
Obr. 18: Kluzné pouzdro [22]



Obr. 19: Kluzná objímka lineárního vedení [21]

5.3 Spojení hydrostatické

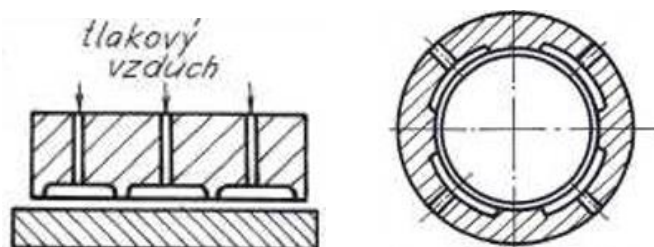
U hydrostatických pohyblivých spojení se mezi vzájemně se pohybujícími povrchy nachází olejový film dodávaný čerpadlem. Mezera mezi pohybujícími se povrchy záleží na tlaku dodávaného oleje. U spojení hydrostatického, na rozdíl od spojení hydrodynamického, nedochází k mechanickému dotyku. [17]



Obr. 20: Hydrostatické vedení uložení [17]

5.4 Spojení aerostatické

Princip je stejný jako u hydrostatického vedení, pouze zde je nosným médiem vzduch. Aerostatické spojení má však oproti hydrostatickému menší tuhost a nižší tlumící schopnosti. Vzduch je odváděn do okolí a není třeba ho zpětně svádět do nádrže. [17]



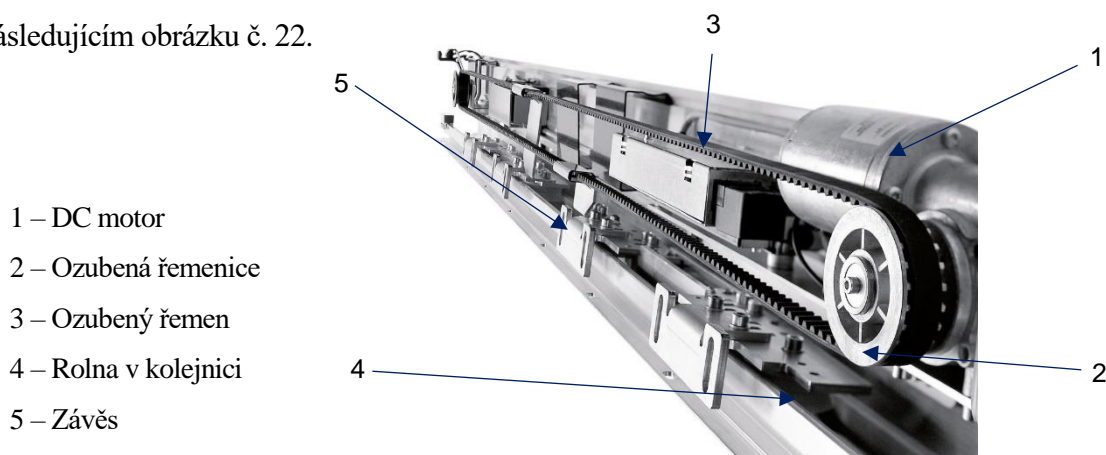
Obr. 21: Aerostatické vedení a uložení [17]

6 Vybrané mechanismy s elektrickým pohonem a jejich části

Pro dlouhodobý provoz a bezzávadnost zařízení je velice důležité zvolit do daných pracovních podmínek správnou kombinaci pohonu a lineárního vedení. V případě návrhu posuvných dvoukřídlých dveří, které podle zadání mají být poháněny elektrickým pohonem, se nabízí celá řada možných řešení. V této kapitole je uvedeno několik konkrétních mechanismů dveří, vrat nebo bran z různých průmyslových odvětví.

6.1 Automatické posuvné dveře

Automatické posuvné dveře jsou ideálním řešením do prostor, které jsou velmi frekventované lidmi, kde je třeba zajistit rychlé otevírání a zavírání. S tímto typem se denně setkáváme například na úřadech, nádražních halách, letištích a podobně. Tento systém dveří obvykle sám zaznamená, že je třeba dveře otevřít nebo zavřít. Provedení mechanismu, které zajišťuje pohyb, je znázorněno na následujícím obrázku č. 22.



Obr. 22: Vnitřek zařízení pro posouvání dveří [23]

Motorem je v tomto mechanismu nejčastěji bezkartáčový stejnosměrný motor BLDC (Brushless DC). Tyto motory nevyužívají pro komutaci kartáčů, ale místo toho je komutace zajištěna elektronikou. Díky tomu vykazují BLDC motory větší spolehlivost a téměř lineární závislosti točivého momentu ve velkém rozsahu otáček. [24]

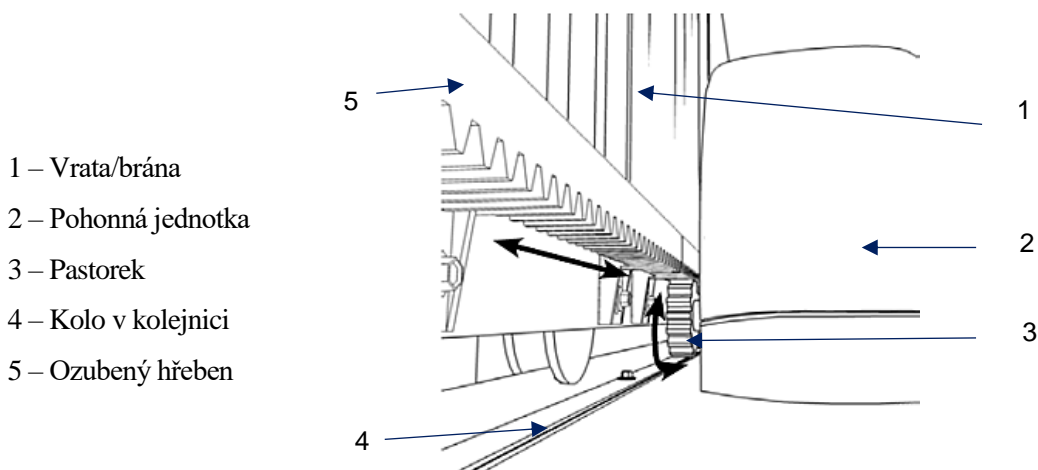
Přímočarý pohyb zajišťuje ozubený řemen. Ozubené řemeny se často využívají spíše jako převodové mechanismy. V tomto případě nevykonávají žádný převod, neboť obě řemenice jsou stejné. Výhodou řemene je pružný záběr, nehluký chod, snadná údržba a levný provoz. Řemeny vykazují nepatrné opotřebení a nevyžadují pečlivou montáž. [18]

Nevýhodou je jejich citlivost na teplotu a potřeba předpětí řemene. To je v tomto případě zajištěno šroubem, jehož utahováním nebo povolováním měníme vzdálenost hnané řemenice. [18]

Rolny, které jsou přišroubovány k závěsům a umístěny v kolejnici zde plní funkci valivého lineárního vedení. Kolejnice povoluje pouze přímočarý pohyb v požadovaném směru a zachycuje síly, které jsou vyvinuty na rolnu. Dveře jsou přichyceny k závěsům a vhodně spojeny s pohonným řemenem.

6.2 Posuvná vrata a brány

Inspirací pro řešení této práce může být mechanismus otevírání posuvných vrat a bran. V tomto případě je rotační pohyb motoru převeden na lineární pomocí pastorku a ozubeného hřebenu. Princip je patrný z následujícího obrázku č. 23.

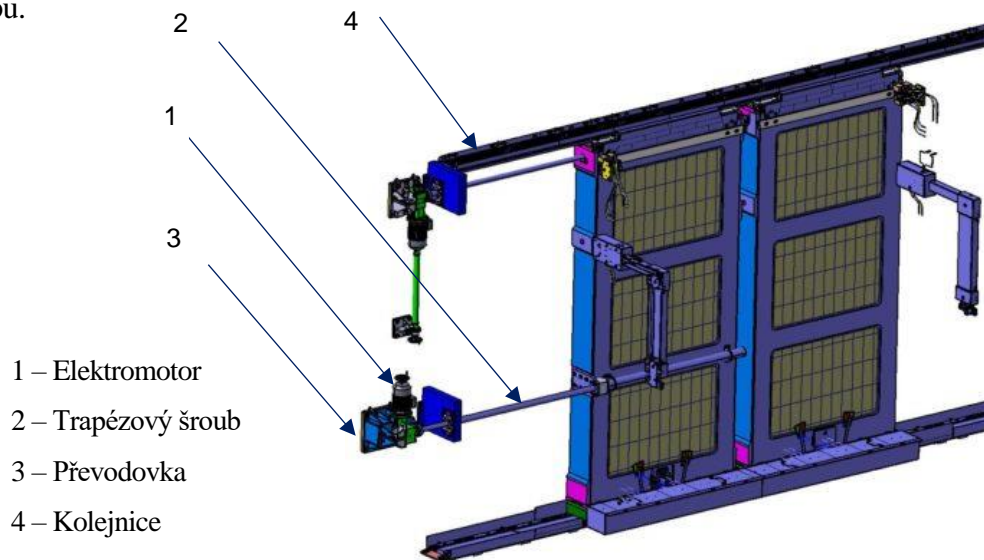


Obr. 23: Princip ovládní dveří [25]

Jako zdroj energie je v takovýchto případech nejčastěji rotační elektromotor, který je, spolu s řídicím systémem a pastorkem, umístěn uvnitř pohonné jednotky. Pastorek je ve stálém záběru s ozubeným hřebem, který je pevně uchycen na spodu rámu posuvné části. Transformace pohybu je naznačena na obrázku č. 23. Pastorek se odvaluje po hřebenu, a tím vzniká posuvný pohyb vrat. Ozubený hřeben je zvláštním provedením ozubeného kola s vnějším ozubením. Je to vlastně část ozubeného válcového kola o nekonečně velkém poloměru. K výhodám ozubených převodových mechanismů patří dobrá mechanická účinnost, dobrá spolehlivost a životnost a přesnost dodržení převodového poměru. K nevýhodám pak například dražší výroba, vysoké nároky na přesnost výroby, tuhost uložení a hluk. [18] Lineární vedení je opět valivé. (kolo v kolejnici)

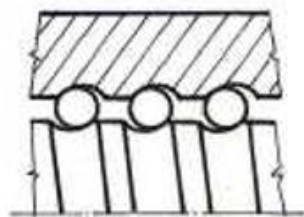
6.3 Dveře tepelné komory

Zajímavé řešení ovládní posuvných izolačních a stínících dveří využívá pro tepelné komory Centrum výzkumu Řež (CVŘ). Kdy je pro transformaci na lineární pohyb využito pohybového šroubu.

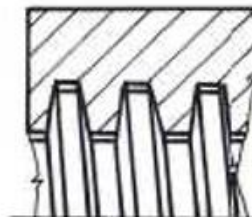


Obr. 24: Izolované dveře tepelné komory [26]

Tyto dveře se pohybují po horní i dolní kolejnici. Hlavní nosný prvek je dolní podvozek. Motorický pohon těchto dveří zajišťuje rotační elektromotor ve spojení s pohybovým šroubem. V současné době jsou rozšířené zejména dva druhy pohybových šroubů, ty jsou naznačeny na obrázku č. 25 a 26.



Obr. 105: Valivé tření [17]



Obr. 26: Kluzné tření [17]

Pohybový šroub s kluzným třením má lichoběžníkový profil závitu. Jsou to závity s označením „Tr“ a „S“. Oba mají lichoběžníkový profil, ale závit „Tr“ má rovnoramenný a závit „S“ nerovnoramenný. Kuličkový šroub, který má valivé tření má oproti trapézovému větší mechanickou účinnost. Kuličky obíhají v závitu šroubu a vracejí se zpětnými kanálky v matici zpět na začátek jejího závitu. [17]

7 Výběr vhodného řešení

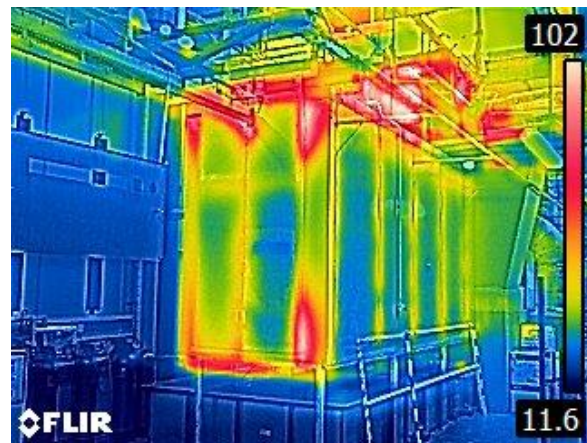
V předchozích kapitolách byly stručně uvedeny typy a princip funkce některých elektrických motorů, druhy lineárního vedení a rotačního uložení, a také některé technické aplikace, které by mohly být inspirací pro daný úkol. Rovněž bylo pojednáno o lakovací lince, takže je známo za jakých podmínek má mechanismus pracovat. Pro potvrzení teorie byly pořízeny snímky termokamerou.

7.1 Demonstrace pracovních podmínek

Pod tímto textem jsou přiloženy dva obrázky. Obrázek č. 27 zobrazuje konkrétní sušící komoru v SENCO Příbram spol. s r.o., kde jsou dveře instalovány. Na obrázku č. 28 je pohled termokamerou na sušící komoru za provozu. Je zjevné, že vlivem špatného utěsnění dochází v oblasti kolem rohů dveří k velkým tepelným ztrátám. Na stupnici v témž obrázku je patrné, že teplota například v pravém horním rohu přesahuje i 100°C .



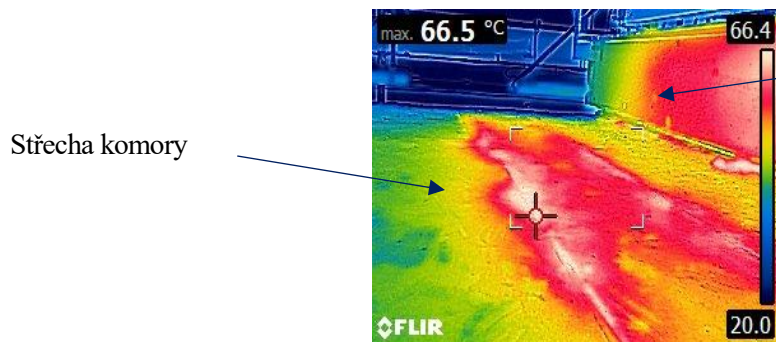
Obr. 27: Sušící komora práškové lakovny



Obr. 28: Sušící komora práškové lakovny, pohled termokamerou

Z hlediska prostoru je nejvhodnější, aby byl pohon umístěn na střeše komory, tím se sice snižuje riziko potenciálního úrazu, ale z termo snímku je vidět, že právě v těchto místech je teplota nejvyšší. To omezuje výběr některých řešení. Velice důležité bude vybrat umístění elektromotoru, aby nedošlo k jeho přehřátí.

V dalším snímku je důležitý pohled na střechu komory. (Obr. 29) Snímek je pořízen z levého boku. Kamera byla nastavena, aby zachytila bod s nejvyšší teplotou v jejím rozsahu. Maximální teplota na snímku je $66,5^{\circ}\text{C}$. Tomuto prostředí je třeba přizpůsobit konstrukci. Je třeba snížit tepelné ztráty na minimum a navrhnout takové řešení, které odolá těmto podmínkám.



Zadní stěna rámu, kde je umístěna kolejnice dveří

Obr. 11: Pohon dveří ozubeným řemenemZadní

Obr. 29: Pohled na střechu komory

7.2 Výběr motoru a lineárního vedení

V kapitole 4 bylo uvedeno, že kromě rotačních motorů existují i motory lineární. Výběrem lineárního motoru by nebylo nutné řešit převod. Přímočaré motory jsou však drahé a je nutné je chladit. [17]

Pro tuto aplikaci je vhodné použít asynchronní točivý motor řízený frekvenčním měničem, který je cenově velmi příznivý a spolehlivý. Následně je tedy dalším úkolem nalézt takové řešení, které vhodně transformuje rotační pohyb motoru na lineární pohyb dveří.

Lineární vedení byla zvolena jako valivá. Konkrétní typy i s výpočty byly vybrány v další části této práce.

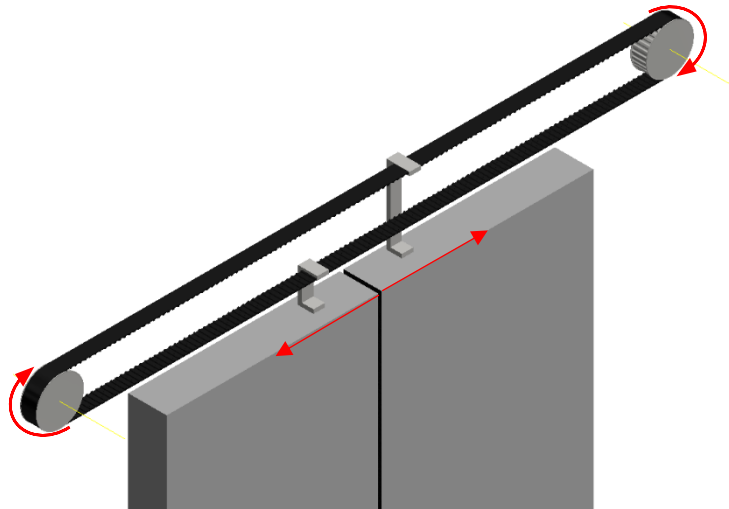
7.3 Pohybový člen

V šesté kapitole byly popsány tři různé pohybové mechanismy, kterými by bylo možné dveře pohánět. Byly to, ozubený řemen, ozubený hřeben a pohybový šroub. Nejedná se o jediná možná řešení této problematiky, ale pro řešení daného problému jsou postačující.

Otázkou je, jestli zvolit konstrukci se dvěma motory nebo navrhnout řešení, kde by stačil pouze jeden motor. Pro ilustraci a názornost byly vytvořeny jednoduché 3D modely, kde je naznačeno, jak by mohlo vypadat řešení s použitím daného typu pohonu a případně varianta s jedním nebo dvěma motory.

7.3.1 Řešení s ozubeným řemenem

V této variantě si lze vystačit pouze s jedním motorem, který bude pohánět jen jednu řemenici. Pak by již stačilo pouze spojit každé křídlo dveří s jednou z větví řemene, a dveře se při otáčení řemenice zvoleným směrem budou pohybovat opačnými směry. Orientace pohybů je naznačena červenými šipkami na obrázku č. 30.

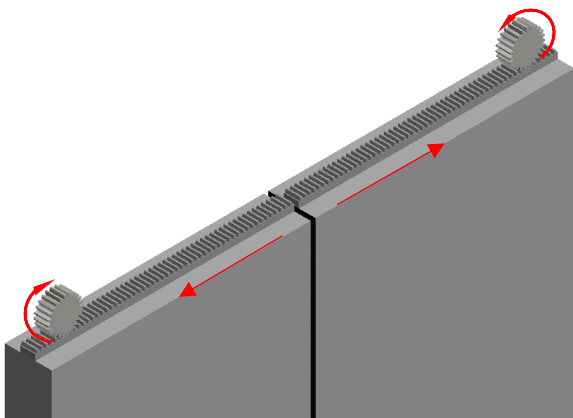


Obr. 30: Pohon dveří ozubeným řemenem

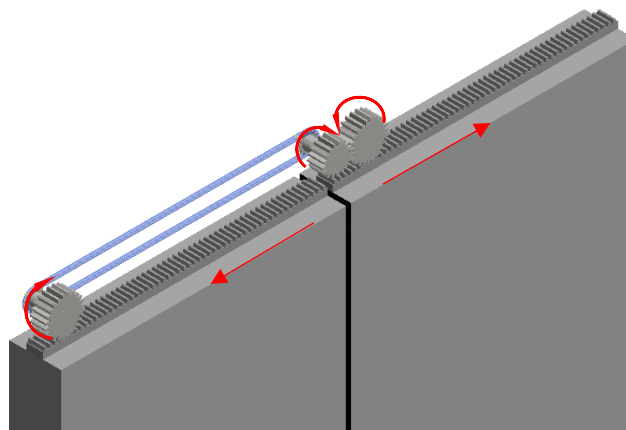
Toto řešení je sice zajímavé a elegantní, ale pro řízení polohy dveří u sušící komory nevhodné. Řemeny by měly být ideálně umístěny nad dveřmi a být co nejbližší lineárnímu vedení. Z tepelných snímků je patrné, že právě v těchto místech dochází k velkým tepelným únikům z komory. V případě otevření dveří a vyjímání dílců z komory se tato teplota ještě zvýší. Gumový řemen je velice náchylný na změnu teploty a nemohla by být zaručena jeho dlouhodobá životnost. Tento způsob by zde mohl být aplikován pouze v případě, že bychom vyměnili gumový ozubený řemen za válečkový kovový řetěz.

7.3.2 Řešení s ozubeným hřebenem a pastorkem

Při použití této aplikace je zapotřebí se rozhodnout, zda zvolit pro každé křídlo samostatný motor nebo sestavu vhodně upravit a použít motor pouze jeden. Na obrázcích č. 31 a 32, je způsob řešení obou variant. Na levém obrázku (Obr. 31) je varianta dvou motorů, kde každý pastorek má svůj vlastní motor. Na obrázku vpravo (Obr. 32) je poháněn pouze levý pastorek a přes řetěz a další pastorek, který mění smysl otáčení pravého pastorku, se posouvá i druhý hřeben. Výsledné orientace pohybů jsou opět naznačeny červenými šipkami.



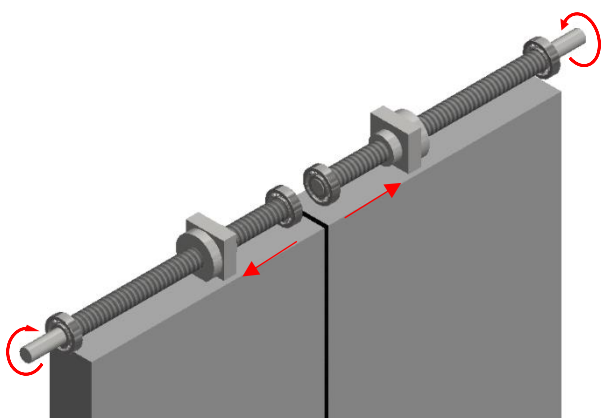
Obr. 31: Pohon dveří s ozubeným hřebenem, 2 pastorky poháněny



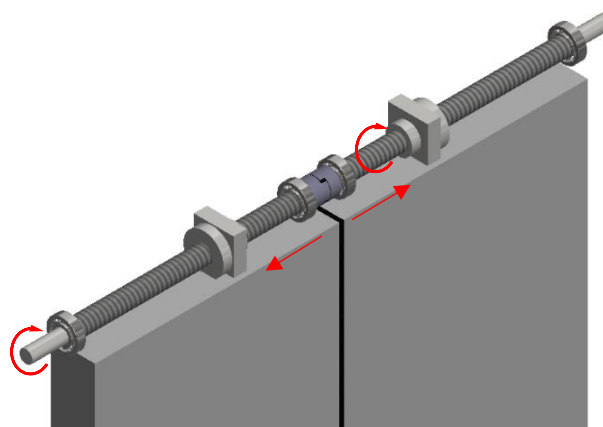
Obr. 32: Pohon ozubeným hřebenem, 1 pastorek poháněn

7.3.3 Řešení s pohybovým šroubem

Poslední ilustrační model je s využitím pohybového šroubu. Nejprve je naznačena varianta pro dva motory. (Obr. 33). Kuličkový nebo trapézový šroub je rotačně uložen v ložiskách. Krouticí moment šroubu je převeden na osovou sílu v matici, která se otáčí podle toho, zda máme na šroubu pravotočivý nebo levotočivý závit a podle orientace otáčení hřídele. Matice pohybového šroubu je spojena s konzolou, která je pevně přichycena ke dveřím. Varianta s jedním motorem je znázorněna na obrázku č. 34. Poháněn je pouze jeden pohybový šroub, jenž je přes spojku spojen s dalším, který má opačný smysl stoupání. Tím se docílí lineárního pohybu dveří, který má směr na opačnou stranu než první dveře.



Obr. 33: Pohon s pohybovým šroubem, oba šrouby poháněny



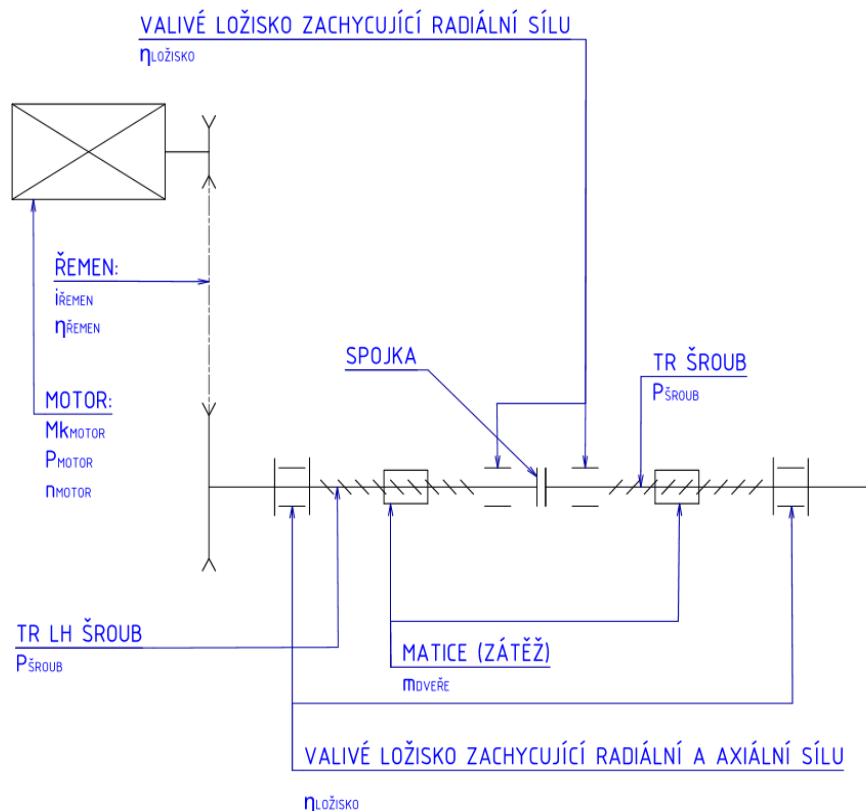
Obr. 34: Pohon s pohybovým šroubem, poháněn pouze jeden šroub

7.4 Shrnutí a konečný návrh řešení

Pro řešení úkolu, který je předmětem bakalářské práce bylo jako konečné řešení zvoleno následující uspořádání. (Obr. 35)

Jako pohybový prvek mechanismu byl vybrán pohybový šroub, konkrétně šroub s rovnoramenným lichoběžníkovým závitem, poháněn jediným asynchronním točivým motorem, který je ovládán frekvenčním měničem. Krouticí moment pak bude z motoru přenášén na pohybový šroub pomocí řemenového převodu. Pohybové šrouby s opačnou orientací stoupání budou spojeny spojkou a uloženy ve valivých ložiscích podle obrázku č. 35. Dveře se budou pohybovat v kolejnicích pomocí valivého lineárního vedení.

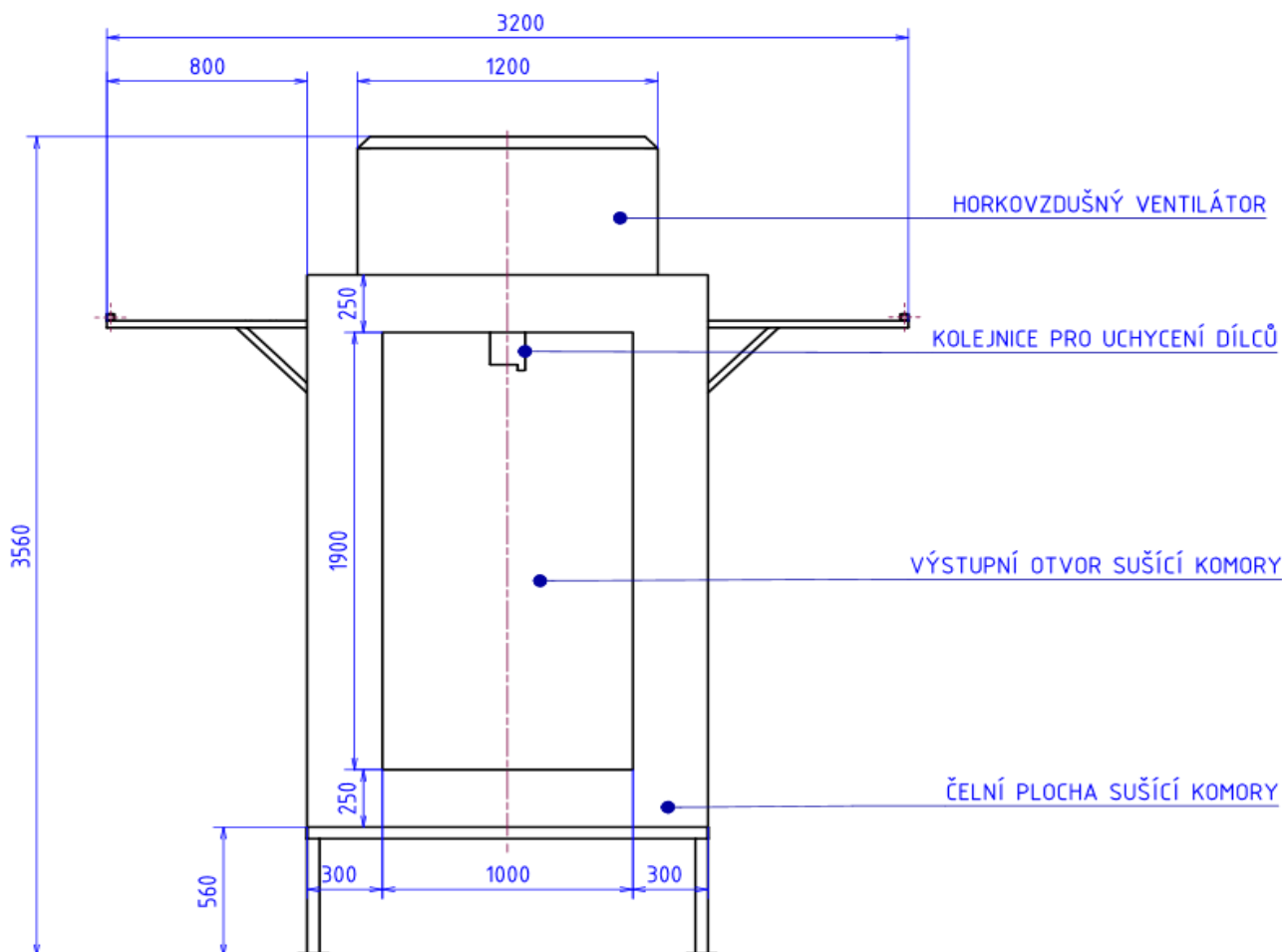
Tímto je ukončena teoretická část.



Obr. 35: Schéma pohonu dveří sušící komory

8 Připojovací a zástavbové rozměry

Na obrázku č. 36 je čelní pohled se zakótovanými některými rozměry sušicí komory. Vstupní rozměr do komory je (1000 x 1900) mm, kde v horní části je ještě kolejnice sloužící k upnutí dílce, který touto komorou projíždí. Detail kolejnice pro uchycení lakovaných dílců je v příloze A.



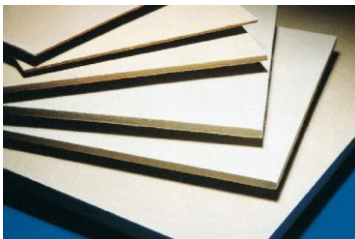
Obr. 36: Zástavbové rozměry sušící komory

9 Návrh dveří

V této kapitole je naznačen návrh konstrukce dvoukřídlých dveří. Jejich úkolem je dostatečně prostor sušící komory utěsnit a omezit co možná nejvíce tepelné ztráty. Proto je třeba vybrat správnou izolaci a provést tepelný výpočet pro minimální šířku izolační vrstvy.

9.1 Výběr izolace a definice jejích vlastností

Byla zvolena izolace PROMAPACK -700, což je tuhý izolační materiál na bázi minerálních vláken. Tyto desky lze snadno upravovat do požadovaných rozměrů. [27]

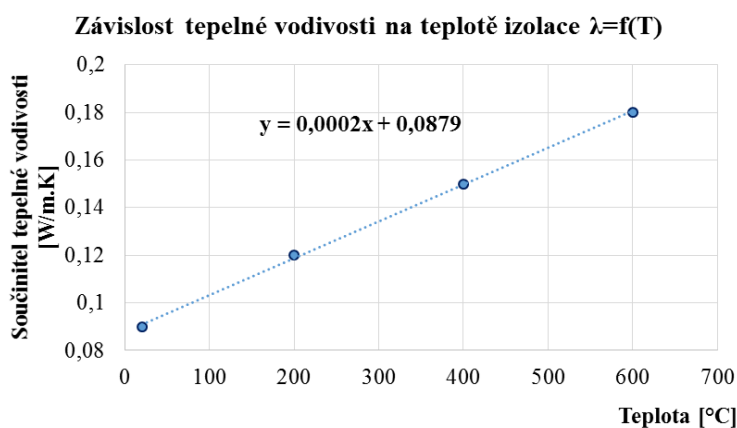


Obr. 37: Izolace PROMAPACK [27]

Tab. 1: Technické parametry izolace [27]

Objemová hmotnost [$kg \cdot m^{-3}$]	1 000
Tepelná vodivost při 20 °C [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	0,09
Tepelná vodivost při 200 °C [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	0,12
Tepelná vodivost při 400 °C [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	0,15
Tepelná vodivost při 600 °C [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	0,18

Pracovní teplota sušící komory je 150 °C, pro tuto teplotu není výrobcem definován součinitel tepelné vodivosti izolace. Proto byl potřebný součinitel pro tuto teplotu určen pomocí programu Excel. V grafu na obrázku č. 38 je zobrazena závislost součinitele tepelné vodivosti izolace na teplotě. Body byly proloženy lineární spojnicí trendu, tím byla zjištěna lineární rovnice pro výpočet tepelné vodivosti pro libovolnou teplotu.



Obr. 38: Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě

$$y = 0,0002 \cdot x + 0,0879 = 0,0002 \cdot 150 + 0,0879 = 0,1179 \quad (1)$$

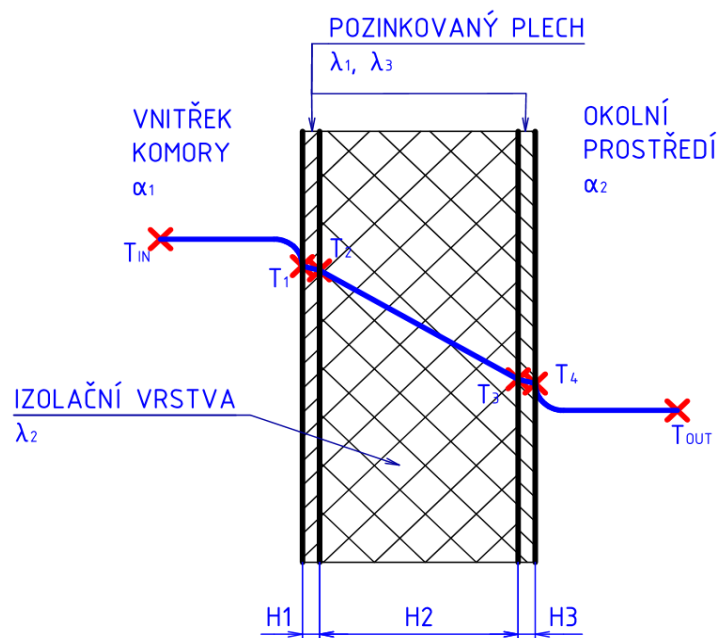
Zjištěný součinitel tepelné vodivosti pro 150 °C je 0,1179 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Tato hodnota je klíčová pro určení potřebné tloušťky dveří.

9.2 Výpočet potřebné tloušťky izolační vrstvy

V případě sušící komory v práškové lakovně převažuje sdílení tepla vedením (kondukcí). Pro výpočet potřebné tloušťky bylo uvažováno i sdílení tepla prouděním (konvekcí). Pro vedení tepla platí Fourierův zákon (Rov. 4, 5, 6) a pro proudění Newtonův ochlazovací zákon (Rov. 2, 3). [28] Tloušťka izolace byla navržena s ohledem na to, aby na vnějším plechu dveří byla maximální teplota 35 °C. Potřebné veličiny pro výpočet jsou uvedeny v tabulce č. 2. V příloženém obrázku č. 39 je pak znázorněn očekávaný průběh teploty v závislosti na tloušťce dveří.

Tab. 2: Technické parametry pro tepelný výpočet [29]

Vnitřní teplota T_{in} [°C]	150
Teplota okolí T_{out} [°C]	24
Maximální přípustná teplota na vnějším plechu T_4 [°C]	35
Tloušťka plechu H1, H3 [mm]	1,5
Součinitel tepelné vodivosti dveří λ_1, λ_3 [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	47
Součinitel tepelné vodivosti izolace λ_2 [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	0,1179
Součinitel přestupu tepla uvnitř α_1 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	50
Součinitel přestupu tepla okolí α_2 [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	15



Obr. 39: Průběh teploty v řezu dveří [28]

$$q_x = \alpha_2 \cdot (T_4 - T_{out}) = 15 \cdot (35 - 24) = 165 [W \cdot m^{-2}] \quad (2)$$

$$q_x = \alpha_1 \cdot (T_{in} - T_1) = 165 [W \cdot m^{-2}] \quad (3)$$

$$q_x = \frac{\lambda_1 \cdot (T_1 - T_2)}{H1} = 165 [W \cdot m^{-2}] \quad (4)$$

$$q_x = \frac{\lambda_2 \cdot (T_2 - T_3)}{H2} = 165 [W \cdot m^{-2}] \quad (5)$$

$$q_x = \frac{\lambda_3 \cdot (T_3 - T_4)}{H3} = 165 [W \cdot m^{-2}] \quad (6)$$

Jedná se o jednorozměrné sdílení tepla. Vektor plošné hustoty tepelného toku \dot{q} [$W \cdot m^{-2}$] je po celé šířce stěny konstantní. Po úpravě Fourierova zákona a Newtonova ochlazovacího zákona dostáváme následující rovnice. [28]

$$T_3 = \frac{H3 \cdot 165}{\lambda_3} + T_4 = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 165}{47} + 35 = 35,005 \text{ °C} \quad (7)$$

$$T_1 = T_{in} - \frac{165}{\alpha_1} = 150 - \frac{165}{50} = 146,7 \text{ °C} \quad (8)$$

$$T_2 = T_1 - \frac{165 \cdot H1}{\lambda_1} = 146,7 - \frac{165 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{47} = 146,695 \text{ °C} \quad (9)$$

$$H2 = \frac{\lambda_2 \cdot (T_2 - T_3)}{195} = \frac{0,1179 \cdot (146,695 - 35,005)}{165} = 79,807 \text{ mm} \quad (10)$$

Z rovnice č. 2 lze přímo vypočítat tepelný tok složenou rovinnou stěnou. Postupnou úpravou a dosazením do rovnic č. 3 až 6, lze dojít k následujícím výsledkům. (Tab. 3)

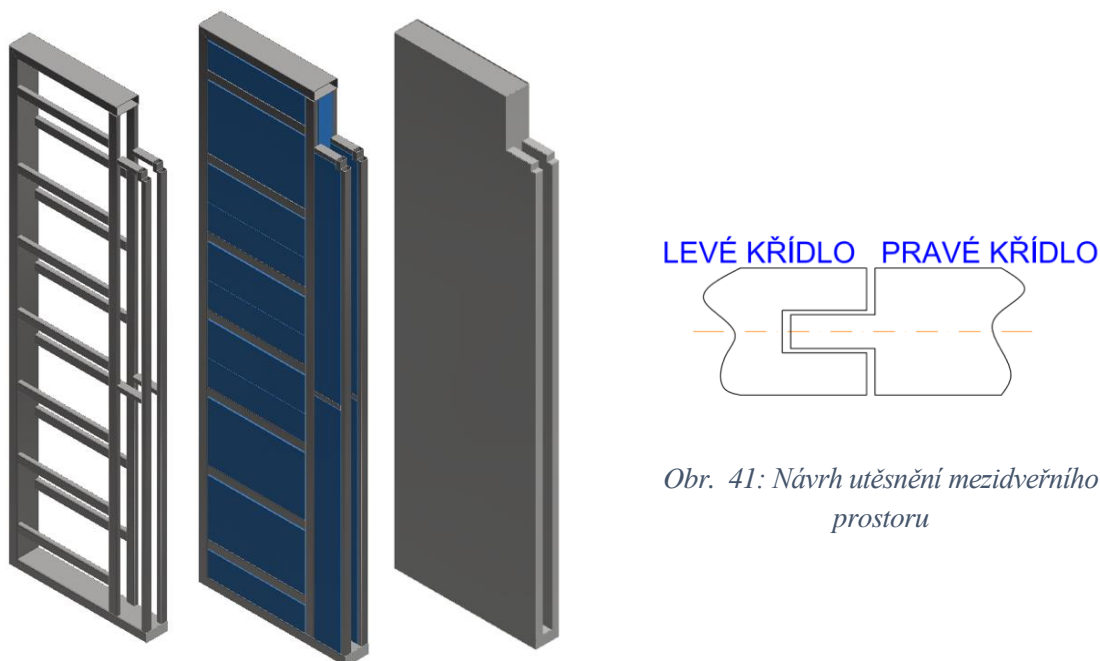
Tab. 3: Výsledky tepelného výpočtu

T_1 [°C]	146,7
T_2 [°C]	146,695
T_3 [°C]	35,005
Minimální šířka izolace H2 [mm]	79,807

Výpočtem byla zjištěna minimální tloušťka izolace. Při tloušťce izolační vrstvy 80 mm by na vnějším plechu, kde může dojít k dotyku osob, měla být maximální teplota 35°C.

10 Předběžný návrh konstrukce dveří

Rám dveří byl zvolen jako svařovaná konstrukce, složená z obdélníkových tenkostěnných uzavřených profilů (jeklů). Jako materiál byla vybrána ocel, označením 11 375 podle ČSN, která je vhodná ke svařování všemi obvyklými způsoby svařování [30]. Povrch konstrukce bude pokryt pozinkovanými plechy o tloušťce 1,5 mm a přichycených k rámu pomocí nýtů. Šířka, s ohledem na tepelný výpočet, který byl proveden v předchozí kapitole, byla zvolena 100 mm. Konstrukce rámu dveří byla navržena tak, aby bylo mezi vnějším a vnitřním plechem, co největší izolační vrstva. Návrh levého křídla je na obrázku č. 40. Pro lepší utěsnění mezidveřního prostoru bylo vybráno následující řešení. (Obr. 41) Obrázek se zvolenými rozměry a obrázek z aplikace Autodesk Inventor s obecnými vlastnostmi prvotního návrhu levého křídla je na konci práce v příloze B.



Obr. 40: Návrh konstrukce izolovaných dveří

Pro návrh dalších částí bakalářské práce je potřeba znát hmotnost každého křídla dveří a polohu těžiště. Obě tyto informace byly zjištěny pomocí programu Autodesk Inventor. Návrh byl proveden tak, aby se těžiště každé části dveří nacházelo co nejbližně podélné rovině symetrie. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tab. 4: Hmotnost a poloha těžiště dveří

	Levé křídlo	Pravé křídlo
Hmotnost [kg]	180	165
Poloha těžiště měřená od vnějšího kraje směrem do středu komory [mm]	302,9	277,3

Ke dveřím ještě budou uchyceny další díly. Pro výpočty byla uvažována hmotnost jednoho křídla dveří 200 kg a poloha těžiště od vnějšího okraje rámu 300 mm, viz výše.

11 Návrh pracovního chodu zařízení (kinematika)

Pro zjištění potřebného výkonu motoru a dalších výpočtů, například dynamiky, je nutné znát pracovní cyklus zařízení. Ty nebyly výše zmíněnou společností nijak specifikovány. Jsou to pracovní zdvih, jmenovitá rychlost a zrychlení. Tyto parametry byly zvoleny v odstavcích níže.

11.1 Definice požadavků

Pracovní zdvih

Šířka otvoru komory je 1000 mm. Dveře, které mají tento prostor uzavírat, jsou dvoukřídlé a při jejich plném otevření by měl být dostupný celý výstupní otvor. Naopak při úplném zavření je třeba mít určitý přesah přes výstupní otvor komory. Délka pracovního zdvihu jednoho křídla byla zvolena 540 mm.

Rychlost

Rychlost otevírání a zavírání výrazně ovlivňuje tepelné ztráty komory. Čím déle jsou dveře otevřené, tím více tepla přechází z komory do okolního prostředí, proto byla zvolena doba zavírání okolo 3 vteřin. Tomu odpovídá přibližně hodnota rychlosti $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Zrychlení a brždění

Zrychlení určuje velikost setrvačných sil, které se budou v mechanismu vyskytovat. Pro rychlý náběh zařízení na jmenovitou rychlost bylo zvoleno zrychlení $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Výsledky jsou zapsané v tabulce č. 5.

Tab. 5: Pracovní veličiny dveří

Zdvih s [m]	0,54
Rychlost v [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	0,2
Zrychlení a [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]	1

11.2 Výpočet časů a dráhy v různých pracovních stavech, pracovní diagram

Výpočet doby pro rovnoměrný zrychlený a rovnoměrně zpomalený pohyb byl proveden podle rovnice č. 12, která vychází z rovnice č. 11.

$$a = \frac{dv}{dt} [m \cdot s^{-2}] \quad (11)$$

$$t_{1,3} = \frac{v}{a} = \frac{0,2}{1} = 0,2 \text{ s} \quad (12)$$

Ujetá dráha při rovnoměrně zrychleném a rovnoměrně zpomaleném pohybu byla vypočítána z rovnice č. 14, která vznikla úpravou rovnice č. 13.

$$v = \frac{ds}{dt} [m \cdot s^{-1}] \quad (13)$$

$$s_{1,3} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_{1,3}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot 0,2^2 = 0,02 \text{ m} \quad (14)$$

Dráha ujetá při rovnoměrném přímočarém pohybu se snadno vypočítala z rovnice č. 15 a doba při ustáleném přímočarém pohybu pak z rovnice č. 16.

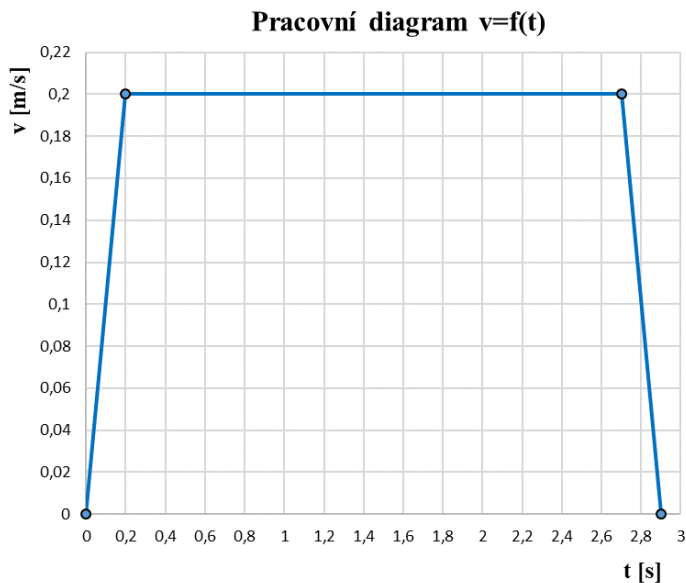
$$s_2 = s - s_1 - s_3 = 0,54 - 0,02 - 0,02 = 0,5 \text{ m} \quad (15)$$

$$t_2 = \frac{s_2}{v} = \frac{0,5}{0,2} = 2,5 \text{ s} \quad (16)$$

Tab. 6: Vypočtené pracovní hodnoty

Doba zrychlování / zpomalování t_1/t_3 [s]	0,2
Doba pojezdu ustálenou rychlostí t_2 [s]	2,5
Celková doba pojezdu t [s]	2,9
Ujetá dráha při zrychlování / zpomalování s_1/s_3 [m]	0,02
Ujetá dráha při ustálené rychlosti s_2 [m]	0,5

Závislost rychlosti na čase je zobrazena v pracovním diagramu zdvihu dveří na obrázku č. 42.



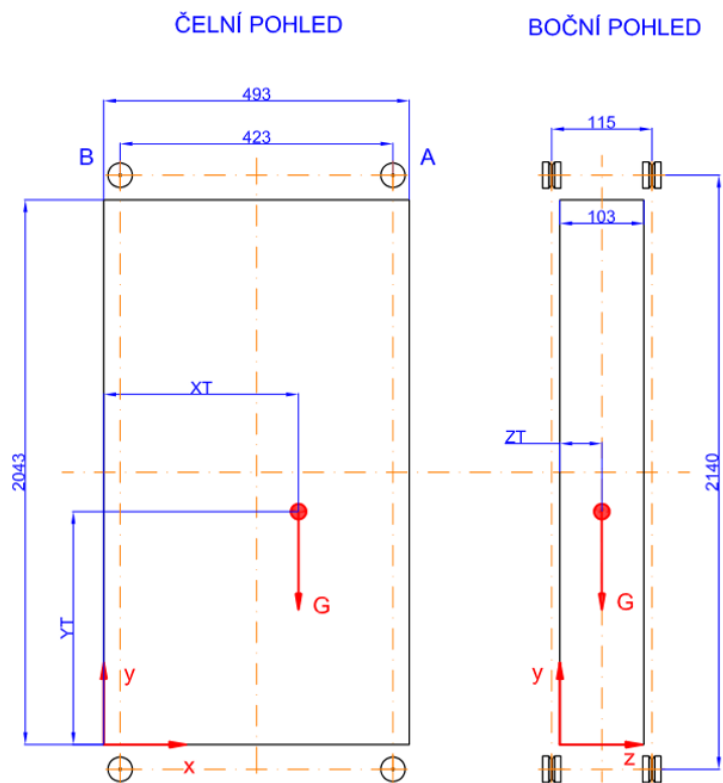
Obr. 42: Pracovní diagram zdvihu dveří

12 Návrh lineárního vedení

Dle pracovních podmínek, definovaných v teoretické části, byl vybrán valivý systém V-line lineárního vedení od společnosti BIBUS s.r.o. Tvary kolejnice a rolny jsou na obrázku č. 44. Křídla dveří jsou opatřeny celkem 8 valivými prvky, v každém rohu je umístěn jeden. (Obr. 43)



Obr. 43: Kolejnice a rolna V-line [31]



Obr. 44: Rozmístění valivých prvků a poloha těžiště jednoho křídla dveří

Typ kolejnic byl vybrán FSH 32 MT, ty mohou být použity až do teploty 150 °C. Jako valivý prvek byla zvolena rolna FRN 32 EI F s jehličkovými valivými elementy, která může být použita až do teploty 120 °C. [32] V příloze I. jsou pak uvedeny veškeré rozměry a mechanické vlastnosti vybrané rolny a také postup výrobce pro návrh velikosti rolen.

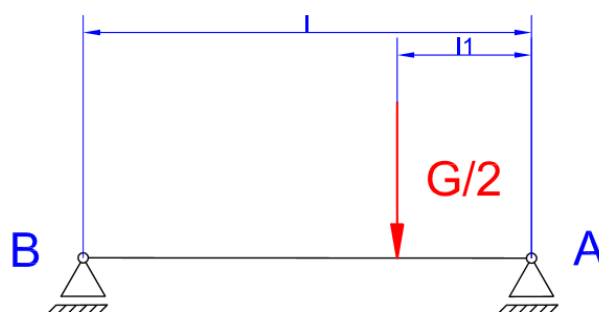
Tab. 7: Základní hodnoty ložiska rolny pro výpočet životnosti vedení. [32]

Základní radiální dynamická únosnost C_{wr} [N]	5 600
Základní axiální dynamická únosnost C_{wa} [N]	2 100
Maximální radiální síla na rolnu $F_{r max}$ [N]	2 030
Exponent p [–]	10/3
Faktor přetížení pro jemné operace f_w [–]	1,5

Pro vybrané komponenty je třeba provést výpočet životnosti rolen lineárního vedení. To je provedeno podle doporučení výrobce, který příklad tohoto výpočtu udává ve svém katalogu. [32] Nejprve je nutné zjistit nejzatíženější rolnu. Uvažujeme-li, že celou konstrukci nesou pouze vrchní rolny, a za předpokladu symetrického zatížení vzhledem ke svislé rovině souměrnosti, lze pro výpočet reakcí použít následující jednoduchý nosník. (Obr. 45) Rolny A a B jsou uspořádány podle obrázku č. 43.

Tab. 8: Hodnoty pro výpočet reakcí v rolnách lineárního vedení

Celková uvažovaná hmotnost jednoho křídla [kg]	200
Poloviční tíha dveří $\frac{G}{2}$ [N]	980
Vzdálenost rolen lineárního vedení l [mm]	423
Vzdálenost rolny A od těžiště l_1 [mm]	158



Obr. 45: Nosník pro výpočet reakcí v rolnách lineárního vedení

Je patrné, že nejvíce zatěžovaná bude rolna A. Reakci, která v ní vzniká, lze získat pomocí momentové rovnováhy k bodu B. (Rov. 17)

$$R_A \cdot l - \frac{G}{2} \cdot (l - l_1) = 0 \quad (17)$$

$$R_A = \frac{G}{2 \cdot l} \cdot (l - l_1) = \frac{980}{423} \cdot 265 = 613,9 \text{ N} = P_r \quad (18)$$

Radiální zatížení $P_r < F_{r \max}$, což znamená, že rolna vyhovuje. Zároveň je zvolená rolna zatěžováno pouze radiální silou, tudíž ekvivalentní zatížení je rovno radiálnímu. Pro výpočet životnosti pak byla použita rovnice č. 20. [32]

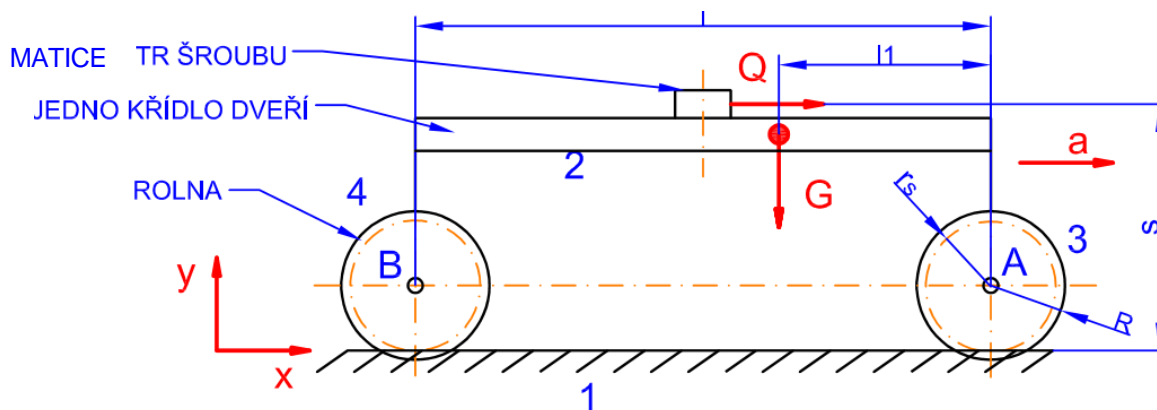
$$P_e = P_r = 613,9 \text{ N} \quad (19)$$

$$L_{10} = 100 \cdot \left(\frac{C_w}{P_{eq} \cdot f_w} \right)^p = 100 \cdot \left(\frac{5600}{613,9 \cdot 1,5} \right)^{\frac{10}{3}} = 41\,040,9 \text{ km} \quad (20)$$

Nominální životnost rolny lineárního vedení byla vypočtena na 41 040,9 km, což je pro tuto aplikaci více než postačující vzhledem ke skutečnosti, že denně nenastane více jak 100 pracovních cyklů, což při zdvihu 0,54 m odpovídá 108 metrů.

13 Dynamika systému a výpočet osová síly šroubu

V této kapitole byla stanovena potřebná osová síla, kterou je třeba vyvinout, aby byly dveře uvedeny do pohybu a bylo jim uděleno požadované zrychlení. Výpočet byl proveden pro jedno křídlo. Za předpokladu symetrického zatížení vzhledem ke svislé rovině souměrnosti si lze soustavu představit podle následujícího jednoduchého rovinného mechanického modelu. (Obr. 46) [33]

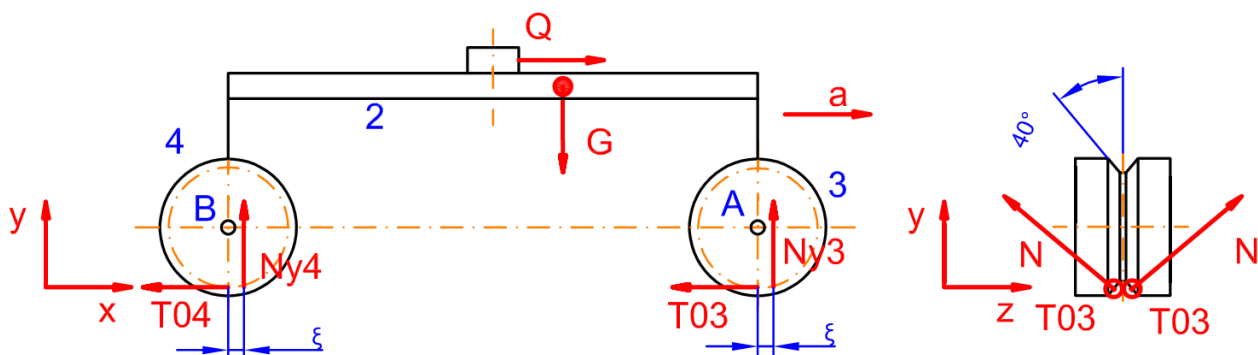


Obr. 46: Mechanický rovinný model soustavy

Tab. 9: Známé hodnoty mechanismu dveří pro dynamický výpočet [29]

Hmotnost dveří m_2 [kg]	200
Hmotnost ložiska $m_{3,4}$ [kg]	0,16
Vzdálenost rolny A a B l [mm]	423
Vzdálenost těžiště v rovině xy od rolny A l_1 [mm]	153
Vnější poloměr rolny R [mm]	16
Vnitřní poloměr rolny r [mm]	12,7
Střední poloměr rolny r_s [mm]	14,35
Poloměr čepu ložiska rolny r_ζ [mm]	10
Poloviční úhel kolejniče α [°]	40
Vzdálenost od osy šroubu s [mm]	200
Rameno valivého odporu pro valivá ložiska ξ [m]	0,0005
Součinitel čepového tření μ_ζ [-]	0,2

Známé hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 9. Tíha rolen je vůči tíze dveří zanedbatelná. Rolny nejsou dokonalé válce, ale mají složitější geometrický tvar. (Obr. 44) Jako výpočtový poloměr byla uvažována střední hodnota mezi vnějším a vnitřním poloměrem drážky pro kolejnici. K vyšetření potřebné osově síly pohybového šroubu byly sestaveny Newton-Eulerovy rovnice. Pasivními odpory v soustavě byly uvažovány moment valivého odporu a čepové tření. Nejprve byla soustava uvolněna jako celek a následovně každá rolna zvlášť. V soustavě se vyskytuje celkem 9 neznámých, proto je potřeba získat 9 lineárně nezávislých rovnic. Pohybové rovnice s výsledky jsou pod tímto textem. K jejich vyřešení byl použit výpočtový program Matlab. Kód, pomocí něhož byla tato soustava rovnic vyřešena, je uveden na konci práce v příloze C. Nejprve byla soustava vypočítána bez uvažování čepového tření.


Obr. 47: Uvolnění mechanické soustavy

Pohybové rovnice pro celou soustavu:

$$x: m_2 \cdot \ddot{x} = S - 2 \cdot T_{03} - 2 \cdot T_{04} \quad (21)$$

$$y: m_2 \cdot \ddot{y} = 2 \cdot N_3 \cdot \sin \alpha + 2 \cdot N_4 \cdot \sin \alpha - G \quad (22)$$

$$M_A: I_{2S2} \cdot \ddot{\varphi} = -2 \cdot N_4 \cdot \sin \alpha \cdot (l - \xi) + G \cdot l_1 + 2 \cdot N_3 \cdot \sin \alpha \cdot \xi - S \cdot (s - r_s) - 2 \cdot (T_{03} + T_{04}) \cdot r_s \quad (23)$$

Pohybové rovnice pro rolnu A

$$x: m_3 \cdot \ddot{x}_3 = R_{AX} - 2 \cdot T_{03} \quad (24)$$

$$y: m_3 \cdot \ddot{y}_3 = 2 \cdot N_3 \cdot \sin \alpha - R_{AY} \quad (25)$$

$$M_A: I_{3S3} \cdot \ddot{\varphi}_3 = 2 \cdot N_3 \cdot \sin \alpha \cdot \xi + M_{\check{C}A} - 2 \cdot T_{03} \cdot r_s \quad (26)$$

Pohybové rovnice pro rolnu B

$$x: m_4 \cdot \ddot{x}_4 = R_{BX} - 2 \cdot T_{04} \quad (27)$$

$$y: m_4 \cdot \ddot{y}_4 = 2 \cdot N_4 \cdot \sin \alpha - R_{BY} \quad (28)$$

$$M_B: I_{4S4} \cdot \ddot{\varphi}_3 = 2 \cdot N_4 \cdot \sin \alpha \cdot \xi + M_{\check{C}B} - 2 \cdot T_{04} \cdot r_s \quad (29)$$

Programem Matlab byly bez uvažování čepového tření vypočítány hodnoty, které jsou zapsány v tabulce č. 10. Kód pro řešení je v příloze II.

Tab. 10: Výsledky bez čepového tření

R_{AX} [N]	R_{AY} [N]	R_{BX} [N]	R_{BY} [N]	N_3 [N]	N_4 [N]	T_{03} [N]	T_{04} [N]	Q [N]
47	1 346,8	21,5	615,2	1 047,7	478,5	23,4	10,7	268,2

Moment čepového tření se vypočítá podle rovnice č. 30. Pokud je ovšem reakce $R_Y > R_X$ lze výpočet linearizovat, a podle rovnice č. 31 se dopustíme chyby asi 4 %, což je vzhledem k nepřesnosti v určení součinitele čepového tření a ramene valivého odporu přijatelné. [33]

$$M_{\check{c}} = r_{\check{c}} \cdot \mu_{\check{c}} \cdot \sqrt{R_X^2 + R_Y^2} \quad (30)$$

$$M_{\check{c}} = r_{\check{c}} \cdot \mu_{\check{c}} \cdot (0,4|R_X| + 0,96|R_Y|) \quad (31)$$

Opět pomocí výpočtového programu Matlab, s využitím Newton-Eulerových rovnic, byly vypočteny neznámé síly v soustavě. Výsledky jsou v tabulce č. 11.

Tab. 11: Výsledky s uvažováním čepového tření

R_{AX} [N]	R_{AY} [N]	R_{BX} [N]	R_{BY} [N]	N_3 [N]	N_4 [N]	T_{03} [N]	T_{04} [N]	Q [N]
264,4	1 480,2	86,1	481,8	1 151,4	374,8	132,1	43	550,2

Vyřešením výše uvedených pohybových rovnic byla zjištěna minimální osová síla Q , která udělí jednomu křídlu dveří žádanou dynamiku.

Výkon, přenášený levým šroubem (Obr. 35) bude oproti šroubu vpravo dvojnásobný, protože přenáší krouticí moment přes spojku na další šroub.

14 Návrh průměru pohybového šroubu

V předchozí kapitole byla vypočítána potřebná osová síla k udělení požadované zrychlení jednomu křídlu dveří. Síla byla stanovena a zaokrouhlena na 600 N.

Vzhledem k agresivnímu prostředí, kterému bude šroub s maticí vystaven, byl navržen nerezový trapézový šroubu ve spojení s bronzovou maticí. Prvotní návrh středního průměru závitu vychází z kontroly normálního tlaku v závitu. Jeho střední hodnota je pak dána rovnicí č. 32. [34]

Tab. 12: Parametry pro návrh středního průměru šroubu [34]

Dovolený tlak pro ocel – bronz p_D [MPa]	8
Osová síla ve šroubu Q [N]	600
Poměr pracovní výšky profilu a stoupání pro Tr šroub Ψ_H [-]	0,5
Poměr výšky matice a středního průměru závitu Ψ_h [-]	1,5

$$p = \frac{Q}{\pi \cdot \Psi_H \cdot \Psi_h \cdot d_2^2} \leq p_D \quad (32)$$

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot \Psi_H \cdot \Psi_h \cdot p_D}} = \sqrt{\frac{600}{\pi \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 8}} = 5,6 \text{ mm} \quad (33)$$

Z rovnice č. 33. byl určen minimální střední průměr trapézového šroubu. S ohledem na další výpočty byl v katalogu od společnosti matis s.r.o. pak bylo vybrán dvouchodý trapézový šroub KRP 25 B v nerezovém provedení a přírubová bronzová matice FMT 25 B. Veškeré technické údaje k těmto komponentům jsou v příloze III. Některé parametry, vybraného trapézového šroubu jsou zaznamenány v tabulce č. 13. [35]

Tab. 13: Vlastnosti vybraného šroubu [35]

Označení závitu	Tr 25 × 10 (P5)
Počet chodů závitu i [-]	2
Střední průměr závitu d_2 [mm]	22,094
Malý průměr závitu d_3 [mm]	19,019
Výška profilu závitu H_1 [mm]	2,5
Materiál šroubu podle ČSN	Nerezová ocel 17 240
Materiál matice podle ČSN	Bronz 42 3123

14.1 Kinematické poměry na šroubu a jeho krouticí moment

Pro návrh vhodného elektromotoru, je třeba zjistit příslušné otáčky šroubu a krouticí moment, který se bude šroubem přenášet. K tomu je nutné znát úhel stoupání šroubovice γ , úhel boku profilu zubu β_n a velikost třecího úhlu φ' . Tyto parametry byly zjištěny z následujících rovnic (34, 35, 36) [34], kam byly dosazeny parametry z tabulky č. 13 a 14.

$$tg(\gamma) = \frac{i \cdot P}{\pi \cdot d_2} \quad (34)$$

$$tg(\beta_n) = tg(\beta) \cdot \cos(\gamma) \quad (35)$$

$$tg(\varphi') = \frac{f}{\cos(\beta_n)} \quad (36)$$

Tab. 14: Součinitel smykového tření a úhel β [29]

Součinitel smykového tření ocel – bronz (nemazáno) f_n [-]	0,2
Úhel v osovém řezu pro Tr závit β [°]	15

$$\gamma = \arctg\left(\frac{i \cdot P}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctg\left(\frac{2 \cdot 10}{\pi \cdot 22,094}\right) = 16,07^\circ \quad (37)$$

$$\beta_n = \arctg(tg(\beta) \cdot \cos(\gamma)) = \arctg(tg(15^\circ) \cdot \cos(16,07^\circ)) = 14,44^\circ \quad (38)$$

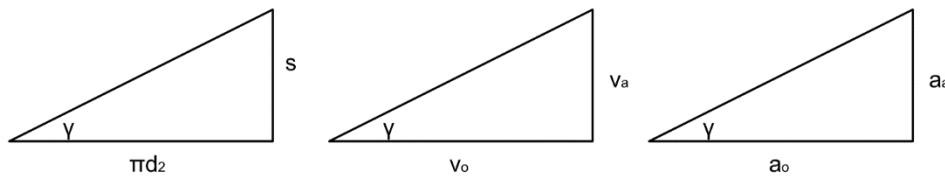
$$\varphi' = \arctg\left(\frac{f}{\cos(\beta_n)}\right) = \arctg\left(\frac{0,2}{\cos(14,44^\circ)}\right) = 11,67^\circ \quad (39)$$

Tab. 15: Výsledné výpočtové úhly trapézového šroubu

Úhel stoupání γ [°]	16,07
Třecí úhel ocel – bronz (nemazáno) φ' [°]	11,67

Krouticí moment na středním průměru šroubu byl vypočten rovnicí č. 40. [34] Tato rovnice udává krouticí moment, jako by bylo poháněno pouze jedno křídlo dveří.

$$M_{kš} = Q \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') = 600 \cdot \frac{22,094}{2} \cdot \operatorname{tg}(16,07^\circ + 11,67^\circ) = 3\,486,2 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (40)$$


Obr. 48: Kinematické poměry na závitu [34]

Výpočet otáček šroubu vychází z rovnice č. 41.

$$\operatorname{tg}(\gamma) = \frac{i \cdot P}{\pi \cdot d_2} = \frac{v_a}{v_o} = \frac{a_a}{a_o} \quad (41)$$

$$n_{\text{š}} = \frac{v_a \cdot 60}{i \cdot P} = \frac{200 \cdot 60}{2 \cdot 10} = 600 \text{ min}^{-1} \quad (42)$$

Pro otáčky trapézového šroubu 600 min^{-1} bude osová rychlost rovna $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro řízení asynchronního motoru frekvenčním měničem je potřeba znát, jaké úhlové zrychlení by měl motor mít.

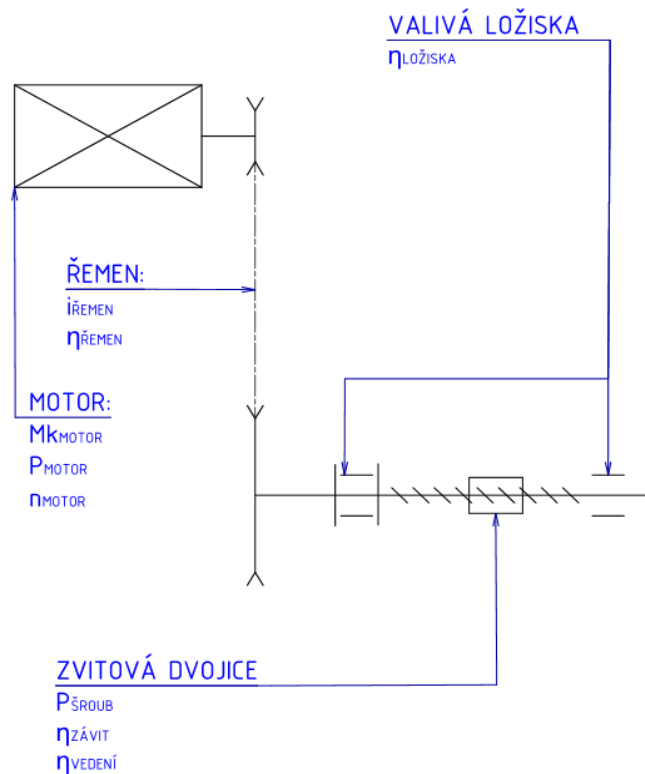
Úhlové zrychlení na šroubu by mělo být $0,31 \text{ s}^{-2}$.

$$a_o = \frac{a_a}{\operatorname{tg}(\gamma)} = \frac{1}{\operatorname{tg}(16,07^\circ)} = 3,47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (43)$$

$$\alpha_{\text{šroub}} = \frac{a_o}{\frac{d_2}{2}} = \frac{3,47}{\frac{22,094}{2}} = 0,31 \text{ s}^{-2} \quad (44)$$

14.2 Energetické poměry

Pro návrh motoru je nezbytné stanovit účinnost všech částí pohonu. Tomu je věnována tato kapitola. Účinnost závitové dvojice byla určena podle rovnice č. 45. [34] Výsledek je pouze pro jedno křídlo dveří. (Obr. 49) Celková účinnost převodového mechanismu je dána součinem dílčích účinností podle rovnice č. 46.



Obr. 49: Schéma pro určení energetických poměrů

$$\eta_z = \frac{P_{ODVEDENÝ}}{P_{PŘIVEDENÝ}} = \frac{Q \cdot v_a}{M_{kš} \cdot \omega_s} = \frac{600 \cdot 0,2}{3,4862 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 600}{60}} = 0,5478 \quad (45)$$

Tab. 16: Účinnosti dílčích prvků mechanismu dveří [36]

$\eta_{LOŽISEK} [-]$	0,98
$\eta_{LIN.VEDENÍ} [-]$	0,98
$\eta_{ZÁVIT.DVOJICE} [-]$	0,5478
$\eta_{ŘEMENU} [-]$	0,92

$$\eta_c = \eta_{LOŽISEK} \cdot \eta_{VEDENÍ} \cdot \eta_{ZÁVITU} \cdot \eta_{ŘEMENU} = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,5478 \cdot 0,92 = 0,484 \quad (46)$$

Celková účinnost mechanismu na obrázku č. 49 je 48,4 %.

15 Výběr vhodného asynchronního elektromotoru

Nejprve byl stanoven potřebný výkon motoru tak, jako by poháněl pouze jedno křídlo, jako je tomu na obrázku č. 49. (Rov. 47)

$$P'_{MOTORU} = \frac{P_{ODVEZENÝ}}{\eta_c} = \frac{Q \cdot v_a}{\eta_c} = \frac{600 \cdot 0,2}{0,484} = 247,9 \text{ W} \quad (47)$$

Pro pohon obou křídel je potřeba dvojnásobného výkonu. (Rov. 48)

$$P_{Min} = P'_{MOTORU} \cdot 2 = 247,9 \cdot 2 = 495,8 \text{ W} \quad (48)$$

Na základě těchto výpočtů byl vybrán 6 - pólový asynchronní elektromotor s parametry uvedených v tabulce č. 17.

Tab. 17: Elektromotor 2AL90S-6 [37]

Typ	2AL90S-6
Osová výška [mm]	90
Výkon [kW]	0,75
Počet pólů	6
Jmenovité otáčky [min^{-1}]	980

Jelikož jsou známy otáčky šroubu a otáčky elektromotoru, lze navrhnout převodový poměr řemenu. To bylo provedeno podle rovnice č. 49.

$$i_{\text{řemen}} = \frac{n_{\text{motor}}}{n_{\text{šroub}}} = \frac{980}{600} = 1,633 \quad (49)$$

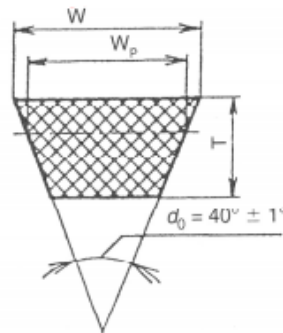
$$\alpha_{\text{motor}} = \alpha_{\text{šroub}} \cdot i_{\text{řemen}} = 0,262 \cdot 1,633 = 0,43 \text{ s}^{-2} \quad (50)$$

Úhlové zrychlení motoru pro zajištění zvolené dynamiky musí být $0,48 \text{ s}^{-2}$. Toto úhlové zrychlení se ještě změní, protože výsledný převodový poměr bude trochu odlišný.

V předchozích kapitolách byl vybrán pracovní chod zařízení. Z něho byla následně určena potřebná osová síla šroubu. V této kapitole byl vybrán elektromotor s vyšším výkonem, než by bylo pro tento návrh chodu potřeba. V dalších návrzích a kontrolách bude brán v úvahu maximální výkon tohoto elektromotoru.

16 Návrh klínového řemene

Pro přenos krouticího momentu z motoru na pohybový šroub byl zvolen klínový řemen klasického průřezu podle ČSN 02 3110. Výpočty pak byly provedeny pomocí strojnických tabulek. Do 2 kW přenášeného výkonu lze sice použít průřez řemenů „Z“, s ohledem na počet řemenů byl ale vybrán průřez „A“. Ten má rozměry uvedené v tabulce č. 18. [29]



Obr. 50: Klínový řemen klasického průřezu [29]

Tab. 18: Klínový řemen klasického průřezu [29]

Označení průřezu	Výpočtová šířka W_p [mm]	Šířka větší základny W [mm]	Výška řemene T [mm]
A	11	13	8

Pro zvolený typ průřezu řemenu byl vybrán průměr malé řemenice (ta, která bude uložena na motoru). (Tab. 19)

Tab. 19: Výběr průměru malé řemenice [29]

d_1 [mm]	i [mm]	otáčky [min^{-1}]
90	1,633	980

Průměr velké řemenice byl vypočten z rovnice č. 51.

$$d_{2_Návrh} = d_1 \cdot i_{řemen} = 90 \cdot 1,633 = 147 \text{ mm} \quad (51)$$

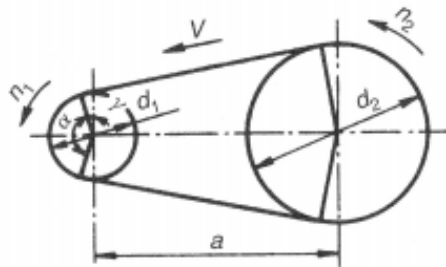
Z tabulek pak byl a vybrán nejbližší výpočtový průměr řemenice $d_2 = 140 \text{ mm}$. Skutečný převodový poměr pak je dán rovnicí č. 52.

$$i_{skut} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{140}{90} = 1,555 \quad (52)$$

Odchylka od původní hodnoty převodového poměru je pak následující: (Rov. 53)

$$\delta = \left| \frac{i_{skut} - i_{řemen}}{i_{řemen}} \right| \cdot 100 = \left| \frac{1,633 - 1,556}{1,633} \right| \cdot 100 = 4,7 \% \quad (53)$$

Dalším krokem je určení geometrie převodu a délky řemene. Výpočtová délka řemene byla navržena podle rovnice č. 54. [29]



Obr. 51: Schéma řemenice [29]

Tab. 20: Předběžná osová vzdálenost řemenic

Předběžná osová vzdálenost $a_{\text{předběžná}}$	400
---	-----

$$\begin{aligned}
 L_{p\text{návrh}} &\approx 2 \cdot a + 1,57 \cdot (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a} \\
 &= 2 \cdot 400 + 1,57 \cdot (90 + 140) + \frac{(140 - 90)^2}{4 \cdot 400} = 1162,7 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{54}$$

K této délce byla vybrána normalizovaná délka řemene. Pro průřez řemene A je tato délka $L_p = 1120 \text{ mm}$. Skutečná osová vzdálenost se pak stanoví podle rovnice č. 55. [29]

$$\begin{aligned}
 a_{\text{skut}} &= 0,25 \cdot \left[\left(L_p - \pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2} \right) + \sqrt{\left(L_p - \pi \cdot \frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{2} \right)^2} \right] = \\
 &0,25 \cdot \left[\left(1120 - \pi \cdot \frac{90 + 140}{2} \right) + \sqrt{\left(1120 - \pi \cdot \frac{90 + 140}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{140 - 90}{2} \right)^2} \right] \\
 &= 378,5 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{55}$$

Úhel opásání řemenem malé řemenice určuje vztah č. 56. [29]

$$\alpha \approx 180^\circ - 57 \cdot \frac{d_2 - d_1}{a} = 180^\circ - 57 \cdot \frac{140 - 90}{378,5} = 172,4^\circ
 \tag{56}$$

Pro výkon přenášený jedním řemenem v pracovním provozu byly v tabulkách odečteny následující parametry a jeho hodnota vypočítána pomocí rovnice č. 57 [29]:

$$N_p = N_0 \cdot \frac{C_\alpha \cdot C_L}{C_p} = 0,8 \cdot \frac{0,98 \cdot 0,93}{1,1} = 0,649 \text{ kW}
 \tag{57}$$

Tab. 21: Parametry pro výpočet výkonu přenášeným jedním řemenem [29]

Jmenovitý výkon převodu s jedním řemenem N_0 [kW]	0,8
Součinitel úhlu opásání C_α [-]	0,98
Součinitel vlivu délky řemene C_L [-]	0,91
Součinitel dynamičnosti a pracovního režimu C_p [-]	1,1

Počet řemenů se stanovil rovnicí č. 58, k jejímu řešení jsou ještě potřeba hodnoty uvedené v tabulce č. 22. [29]

Tab. 22: Parametry pro výpočet počtu řemenů [29]

Maximální přenášený výkon na hnacím hřídeli N [kW]	0,75
Součinitel počtu řemenů v převodu C_K [-]	0,95

$$K = \frac{N}{N_p \cdot C_k} = \frac{0,75}{0,662 \cdot 0,95} = 1,21 \quad (58)$$

Byl stanoven minimální počet řemenů. Hodnotu z výše uvedené rovnice zaokrouhlíme na vyšší celé číslo. Celkově jsou tedy potřeba 2 řemeny klasického průřezu „A“. Tyto řemeny by měly dostatečně zajistit přenos krouticího momentu na pohybový šroub i při plném výkonu motoru.

17 Silové poměry na řemenovém převodu

Řemenový převod je v této úloze zařazen jako převod mezi elektromotorem a pohybovým šroubem. Hnací řemenice se nachází na hřídeli elektromotoru a hnaná řemenice je umístěna na konci pohybového šroubu. Řemenový převod zatěžuje tento pohybový šroub tečnými silami, které vyvolají radiální reakce v ložiskách. [36]

Řemenový převod je nutno předepnout. Tím se vyvolá za provozu třecí síla mezi řemenem a řemenicí, jež je potřebná pro přenos krouticího momentu. Pro výpočet napínací síly byl opět uvažován maximální výkon motoru. Krouticí moment na hřídeli elektromotoru byl stanoven podle rovnice č. 59. [36]

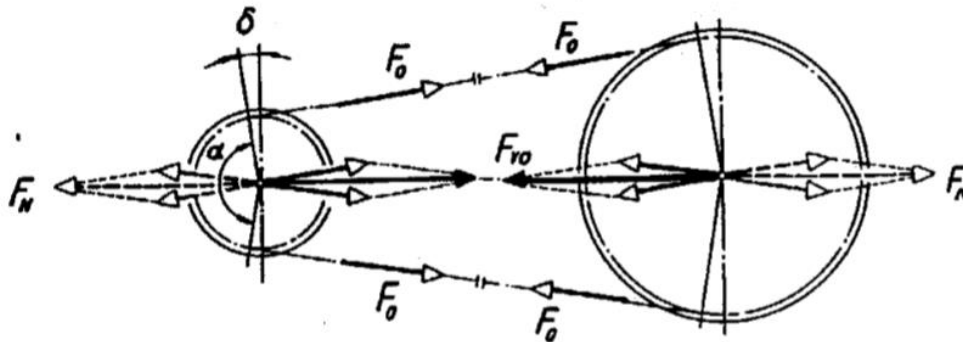
$$M_{km} = \frac{30000}{\pi} \cdot \frac{P_m}{n_m} = \frac{30000}{\pi} \cdot \frac{0,75}{980} = 7,31 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (59)$$

Celková přenášená tečná síla je pak dána rovnicí č. 60 a obvodová rychlost řemene je stanovena rovnicí č. 61. [36]

$$F = \frac{2 \cdot M_{km}}{d_1} = \frac{2 \cdot 7,31}{0,09} = 162,4 \text{ N} \quad (60)$$

$$v_o = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60} = \frac{\pi \cdot 0,09 \cdot 980}{60} = 4,62 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (61)$$

Řemeny se předepnou napínací silou F_N , ta vyvolá za klidu celkové předpětí v řemenech F_0 .



Obr. 52: Silové poměry na řemenicích za klidu [36]

Pro výpočet potřebného předpětí, a tedy i potřebné napínací síly je nejprve nutné vypočítat součinitel tření v klínové drážce. K tomu je třeba znát hodnoty uvedené v tabulce č. 23.

Tab. 23: Parametry pro výpočet f' [29, 36]

Zvolený úhel boků drážky řemenice β_d [°]	34
Součinitel tření pro řemen – řemenice f_f [-]	0,3

$$f' = \frac{f}{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} = \frac{0,3}{\sin\left(\frac{34}{2}\right)} = 1,026 \quad (62)$$

Celkové potřebné předpětí v řemenech bylo stanoveno pomocí rovnice č. 63.

$$F_0 = \frac{F}{2} \cdot \frac{e^{f' \cdot \alpha} + 1}{e^{f' \cdot \alpha} - 1} = \frac{162,4}{2} \cdot \frac{e^{1,026 \cdot \frac{172,4 \cdot \pi}{180}} + 1}{e^{1,026 \cdot \frac{172,4 \cdot \pi}{180}} - 1} = 89 \text{ N} \quad (63)$$

Z obrázku č. 52 je patrné, že předpětí, je rovné vektorovému součtu obou sil F_0 , platí tedy:

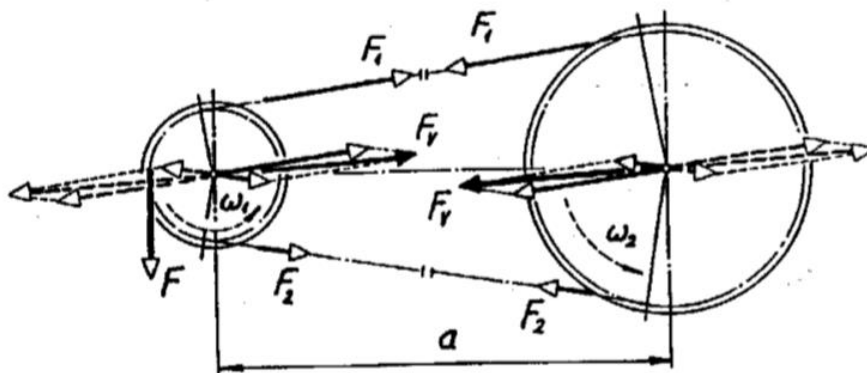
$$F_N = 2 \cdot F_0 \cdot \cos(\delta) = 2 \cdot 89 \cdot \cos\left(\frac{180^\circ - 172,4^\circ}{2}\right) = 177,5 \text{ N} \quad (64)$$

Silové poměry za provozu jsou zobrazeny na obrázku č. 53. Pro tažnou větev platí [36]:

$$F_1 = F_0 + \frac{F}{2} = 89 + \frac{162,4}{2} = 170,2 \text{ N} \quad (65)$$

Pro odlehčenou větev [36]:

$$F_2 = F_0 - \frac{F}{2} = 89 - \frac{173}{2} = 7,8 \text{ N} \quad (66)$$

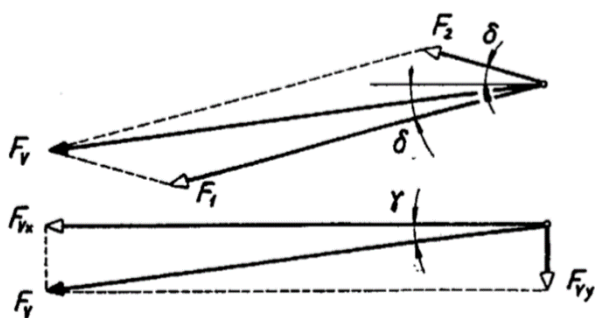


Obr. 53: Silové poměry na řemenicích za provozu [36]

Výsledná síla zatěžující ložiska hřídelů řemenic [36]:

$$F_V = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cdot \cos(2\delta)} \approx F_N = 177,5 \text{ N} \quad (67)$$

Tato výsledná síla je odkloněna od osy převodu o úhel γ , to je vidět na obrázku č. 54.



Obr. 54: Silové poměry na řemenici [36]

$$\cos(\gamma) = \frac{(F_1 + F_2) \cdot \cos(\delta)}{F_V} = \frac{2 \cdot F_0 \cdot \cos(\delta)}{F_V} \quad (68)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{(F_1 + F_2) \cdot \cos(\delta)}{F_V} \right) \approx 0^\circ \quad (69)$$

Pro malé úhly je složka F_{Vy} zanedbatelná, a $F_{Vx} \approx F_V = 177,5 \text{ N}$. [36]

18 Silové poměry na vstupním pohybovém šroubu a výpočet ložisek

V předchozích kapitolách byla vyřešena potřebná napínací síla pro přenos krouticího momentu pomocí klínového řemene. V této kapitole byly určeny maximální síly, které musí být zachyceny v ložiskách šroubu. S ohledem na tyto síly byl proveden výběr a kontrolní výpočet ložisek.

Krouticí moment na levém šroubu (Obr. 35), při plném výkonu elektromotoru je dán následující rovnicí č.70 a je dvojnásobný oproti krouticímu momentu na pravém šroubu.

$$M_{kš} = M_{KM} \cdot i_{skutřemen} \cdot \eta_{ŘEMENU} = 7,3 \cdot 1,556 \cdot 0,92 = 10,46 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (70)$$

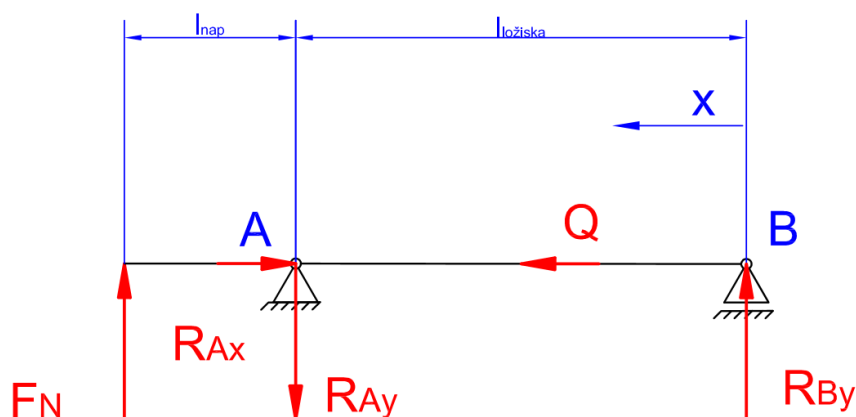
Každá matice pohybového šroubu, ke které jsou dveře uchyceny, pak odebírá poloviční krouticí moment. Přenášená osová síla by pak byla podle rovnice č. 71.

$$Q = \frac{2 \cdot \frac{M_{kš}}{2}}{d_2 \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi')} = \frac{2 \cdot \frac{10,46}{2}}{0,022094 \cdot \text{tg}(16,07^\circ + 11,67^\circ)} = 900 \text{ N} \quad (71)$$

Pro levý šroub byl opět navrhnut jednoduchý nosník, který je zobrazen na obrázku č. 55. Ten je zatížen osovou silou Q a napínací silou F_N .

Tab. 24: Rozložení ložisek pohybového šroubu a poloha napínací síly

Vzdálenost ložiska A od napínací síly l_{nap} [mm]	54
Vzdálenost ložiska A od ložiska B $l_{ložiska}$ [mm]	740



Obr. 55: Silové poměry na šroubu v radiálně-axiální rovině

18.1 Výpočet reakcí ložisek

Reakce vznikající v ložiskách byly získány ze statické rovnováhy uvažovaného nosníku na obrázku č. 55.

$$x: R_{AX_L} = Q = 900 \text{ N} \quad (72)$$

$$y: F_N - R_{AY_L} + R_{BY_L} = 0 \quad (73)$$

$$M_B: R_{AY_L} \cdot l_{\text{ložiska}} - F_N \cdot (l_{\text{ložiska}} + l_{\text{nap}}) = 0 \quad (74)$$

$$R_{AY} = \frac{F_N \cdot (l_{\text{ložiska}} + l_{\text{nap}})}{l_{\text{ložiska}}} = \frac{177,5 \cdot (740 + 54)}{740} = 190,5 \text{ N} \quad (75)$$

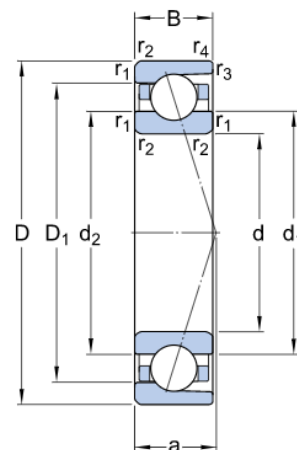
$$R_{BY_L} = R_{AY_L} - F_N = 190,5 - 177,5 = 13 \text{ N} \quad (76)$$

18.2 Výběr a výpočet vhodných ložisek pro trapézový šroub

K zachycení radiální a axiální síly bylo zvoleno pevného uložení FK 20 od společnosti matis s.r.o. Rozměry tohoto uložení jsou v příloze IV. [35] Toto uložení obsahuje dvě jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, montovaná těsně vedle sebe, čely k sobě (do „X“). Parametry tohoto ložiska jsou uvedeny v tabulce č. 25. Jelikož se jedná o zařízení, které pracuje pouze krátkodobě a přerušovaně, byla zvolena minimální trvanlivost ložisek 5 000 h.

Tab. 25: Parametry ložiska 7204 A [38]

2 x Ložisko 7204 A	
Vnitřní průměr ložiska d [mm]	20
Vnější průměr ložiska D [mm]	52
Dynamická únosnost C [kN]	19
Exponent trvanlivosti p	3
Životnost v hodinách L_h	5 000



Obr. 56: Jednořadá kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem 7204 [39]

Jelikož společnost matis s.r.o. neuvádí výpočet životnosti těchto ložisek, byla životnost vypočtena podle doporučení firmy SKF CZ, a.s., která tyto ložiska prodává.

Společnost SKF CZ, a.s. uvádí, že pokud platí vztah č. 77, lze ekvivalentní dynamické zatížení ložisek montované čely k sobě (do „X“) spočítat podle rovnice č. 78. [38] Katalogový výpočet a detailní parametry ložiska s kosoúhlým stykem jsou v příloze V.

$$\frac{F_A}{F_R} = \frac{900}{190,5} > 1,14 \quad (77)$$

$$P = 0,57 \cdot F_R + 0,93 \cdot F_A = 0,57 \cdot 190,5 + 0,93 \cdot 900 = 945,6 \text{ N} \quad (78)$$

Ze vztahu č. 79. byl odvozen vzorec pro výpočet C [kN]. [36]

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p [\text{min}^{-1}] \quad (79)$$

$$L_h = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} [\text{hod}] \quad (80)$$

$$C = P \cdot \sqrt[3]{L_h \cdot 60 \cdot n \cdot 10^{-6}} = 945,6 \cdot \sqrt[3]{5000 \cdot 60 \cdot 600 \cdot 10^{-6}} = 5\,339 \text{ N} \quad (81)$$

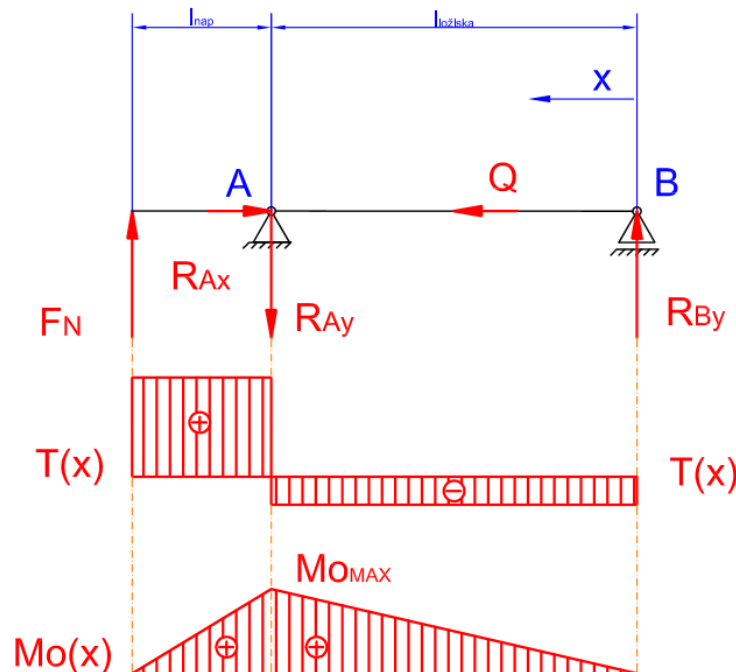
Jsou-li vedle sebe dvě tato ložiska, je jejich výsledná dynamická únosnost podle SKF 1,62 x větší. [38] Tedy celková dynamická únosnost činí 30,8 [kN].

Výsledná hodnota C [kN] je tedy menší než tabulková, takže ložisko vyhovuje. Kontrolovat ložisko na druhém konci hřídele nemá význam, jelikož reakce, která v něm vzniká, je pouhých 13 N. Uložení k uchycení volného konce bylo opět vybráno od firmy matis s.r.o. Konkrétně uložení FF 20 s radiálním kuličkovým ložiskem 6204 ZZ. Detaily jsou specifikovány v příloze IV.

19 Kontrolní výpočty trapézového šroubu, průběh ohybového momentu a ohybového napětí

Pro vybraný typ trapézového šroubu je třeba provést některé kontrolní výpočty. Jsou to kontrola na otláčení, kontrola na kombinaci tahu/tlaku-krutu a na vzpěr. Kontrolován byl pouze levý trapézový šroub, který podle obrázku č. 35 musí přenášet dvojnásobný kruticí moment. Pro některé výpočty je třeba znát i maximální ohybové napětí, které ve šroubu vzniká.

Metodou řezu byl získán průběh posouvající síly a ohybového momentu. Jejich průběh je znázorněn na obrázku č. 57. Maximální hodnota ohybového napětí pak byla vypočtena z rovnice č. 79. [34]



Obr. 57: Průběh ohybového momentu na pohybovém šroubu

$$M_o = R_{BYL} \cdot x \quad (82)$$

$$M_{oMAX} = R_{BYL} \cdot l_{ložiska} = 13 \cdot 0,740 = 9,62 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (83)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = \frac{M_{oMAX}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{32}} = \frac{12\,800}{675,4} = 14,24 \text{ [MPa]} \quad (84)$$

Z obrázku č. 57 je patrné, že maximální hodnota ohybového momentu se nachází právě v místě uložení ložiska A. Hodnota ohybového napětí je v tomto místě 14,24 [MPa] a v dalších částech s ní bude počítáno.

19.1.1 Kontrola na otláčení

Podle rovnice č. 86 byl vyšetřen střední tlak v závitech pro zvolenou kombinaci matice a trapézového šroubu.

Maximální přenášená osová síla, přenášena jedním šroubem byla vypočtena v kapitole č. 18. pomocí rovnice č. 71 a její velikost je 900 N.

Tab. 26: Kontrola na otláčení závitu [35]

Výška matice h [mm]	45
Rozteč matice P [mm]	10
Počet činných závitů z_{ζ} [-]	5

Matice pro kontrolu na otláčení vyhovuje. Skutečný tlak v závitu je 1,15 MPa. Dovolený tlak byl podle tabulky č. 12 až 8 MPa.

$$z_{\zeta} = \frac{h}{P} = \frac{45}{10} = 4,5 \quad (85)$$

$$p = \frac{Q}{z_{\zeta} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} = \frac{900}{4,5 \cdot \pi \cdot 22,094 \cdot 2,5} = 1,15 \text{ MPa} < p_D = 8 \text{ MPa} \quad (86)$$

19.2 Kontrola na kombinované namáhání tah/tlak a krut

Tahové nebo tlakové napětí se vypočte z jednoduché rovnice č. 87, kde je nutné znát průměr jádra šroubu. Maximální osová síla ve šroubu je opět 900 N. [34]

$$\sigma_{t/d} = \frac{Q}{S_3} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{900}{\frac{\pi \cdot 19,019^2}{4}} = 3,17 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (87)$$

Celkové normální napětí bylo uvažováno jako superpozice čistě tahavého napětí a napětí v ohybu, které bylo vypočteno v kapitole výše. [40]

$$\sigma_{\text{celkové } t/d} = \sigma_{t/d} + \sigma_{O(M)} = 3,17 + 14,24 = 17,41 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (88)$$

Napětí v krutu bylo opět zkontrolováno na levém šroubu. (Obr. 35) Ten přenáší dvojnásobný moment oproti šroubu pravému. Tento moment byl již vypočítán v kapitole 18 a jeho hodnota je $M_{kš} = 10,46 \text{ N} \cdot \text{m}$. [40]

$$\tau = \frac{M_{kš}}{W_k} = \frac{M_{kš}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{10\,460}{\frac{\pi \cdot 19,019^3}{16}} = 7,74 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (89)$$

Redukované napětí podle hypotézy τ_{MAX} je tedy určeno rovnicí č. 90. [34]

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{\text{celkové } t/d}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{17,41^2 + 4 \cdot 7,74^2} = 23,3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (90)$$

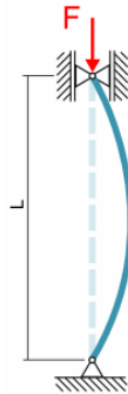
Pro vybraný materiál je minimální hodnota $R_{p0,2}$ při 150 °C 140 $[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$. [41] Výsledná bezpečnost při kombinovaném namáhání je pak:

$$k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{red}} = \frac{140}{23,3} = 6 \quad (91)$$

Šroub pro kontrolu na kombinované namáhání tah/tlak + krut vyhovuje. Výsledná bezpečnost je 6. Minimální bezpečnost, při kombinaci tah/tlak a krut, by u trapézového šroubu měla být větší než 2. [34] Šroub tedy vyhovuje i této kontrole.

19.3 Kontrola šroubu na vzpěr

Pro tuto aplikaci je důležité zkontrolovat šroub na ztrátu stability, ke které může dojít, když je šroub namáhán na tlak. Při kontrole na vzpěr má velkou roli uložení šroubu. V tomto případě je šroub uložen podle obrázku č. 58.



Obr. 58: Uvažované uložení pro kontrolu na ztrátu stability [42]

Podle typu uložení a skutečné vzdálenosti mezi ložisky byla stanovena „výpočtová vzpěrná délka“ šroubu podle rovnice č. 92.

Tab. 27: Hodnoty pro určení výpočtové délky [34]

Součinitel vlivu uložení μ [-]	1
Vzdálenost mezi ložisky L [mm]	740

$$l_v = \mu \cdot L = 1 \cdot 740 = 740 \text{ mm} \quad (92)$$

Pro posouzení štíhlosti šroubu a pro způsob jeho pevnostní kontroly je směrodatný „štíhlostní poměr“ λ_v , který byl vypočten pomocí rovnice č. 93. [34]

$$\lambda_v = \frac{l_v}{i_x} = \frac{l_v}{\frac{d_3}{4}} = \frac{740}{\frac{19,019}{4}} = 155,63 \quad (93)$$

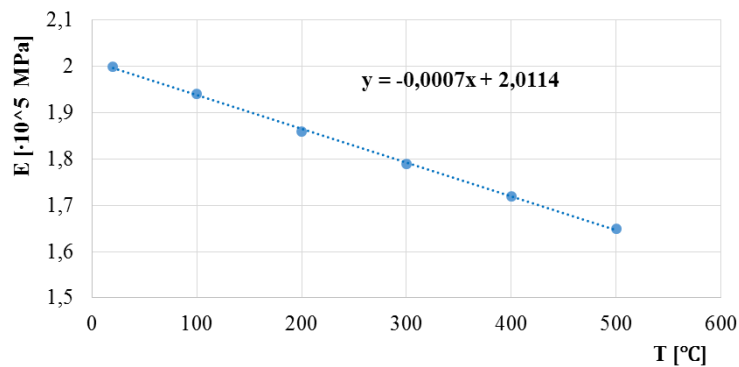
Vypočtený štíhlostní poměr je větší než mezní $\lambda_m = 100$, tudíž se šroub nachází v oblasti elastického vzpěru podle Eulera a kritické napětí je dáno rovnicí č. 95. [34]

Ještě před tím je ale třeba znát modul pružnosti v tahu, který závisí na teplotě. Pomocí programu Excel byla pro jednoduchost hodnotami z tabulky č. 28 proložena lineární spojnice trendu a její rovnice využita pro určení hodnoty modulu pružnosti pro teplotu 150°C. (Rov. 94)

Tab. 28: Modul pružnosti při různých teplotách [43]

Modul pružnosti při 20 °C [$N \cdot mm^{-2}$]	2
Modul pružnosti při 100 °C [$N \cdot mm^{-2}$]	1,94
Modul pružnosti při 200 °C [$N \cdot mm^{-2}$]	1,86
Modul pružnosti při 300 °C [$N \cdot mm^{-2}$]	1,79
Modul pružnosti při 400 °C [$N \cdot mm^{-2}$]	1,72

Závislost modulu pružnosti oceli 17 240 na teplotě
 $E=f(T)$



Obr. 59: Lineární závislost modulu pružnosti na teplotě

$$E = -0,0007 \cdot x + 2,0114 = -0,0007 \cdot 150 + 2,0114 = 1,906 \cdot 10^5 N \cdot mm^{-2} \quad (94)$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 1,906 \cdot 10^5}{155,63^2} = 77,7 N \cdot mm^{-2} \quad (95)$$

Bezpečnost při vzpěru je pak dána rovnicí č. 98. [34]

$$k_V = \frac{\sigma_E}{\sigma_{celkocét/d}} = \frac{77,7}{17,41} = 4,46 \quad (96)$$

Pro oblast elastického vzpěru podle Eulera by měla být výsledná bezpečnost větší jak 3,5. [34] Rovnicí č. 96 bylo prokázáno, že šroub vyhovuje i této, poslední kontrole a může být použit pro zvolenou aplikaci.

20 Návrh hřídelové spojky

V předchozích kapitolách již byly provedeny některé nezbytné výpočty pro návrh pohybového šroubu, elektromotoru a klínového řemenového převodu. Nyní je třeba vybrat hřídelovou spojku, která přenese krouticí moment na další pohybový šroub. V průmyslu se objevuje celá řada hřídelových spojek. Pro tuto aplikaci byla vybrána spojka vlnovcová. (Obr. 60)



Obr. 60: Vlnovcová hřídelová spojka [44]

Jedná se o pružnou spojku, kde pružnou částí je tzv. vlnovec, což je například kovový válec se značně zvlněným povrchem, který spojuje obě části spojky. Tyto spojky jsou bezvůlové a vyrovnávají nesouosost obou hřídelů. [44]

Velikost spojky je charakterizována výpočtovým momentem spojky, ten je dán rovnicí č. 97, kde velikost součinitele byla zvolena 1,5. [36]

$$M_v = k \cdot M_{kšroubu} = 1,5 \cdot 10,46 = 15,69 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (97)$$

V katalogu od společnosti T.E.A. TECHNIK s.r.o. byla vybrána spojka s označením K B4/30, která přenáší krouticí moment jako svěrný spoj, pomocí dotažení šroubů, které jsou vidět na obr. č. 60. Tyto spojky bývají často ještě vybavené drážkou pro pero. Pero zde pak plní pojistnou funkci, kdyby nestačil svěrný spoj a hřídel by chtěl v drážce proklouznout. Vybrané parametry této spojky jsou zaznamenány v tabulce č. 29. Ostatní parametry jsou pak přiloženy v příloze VI, která je na přiloženém CD. [45]

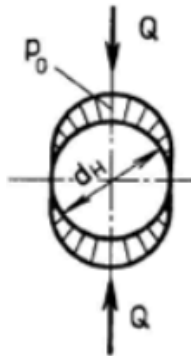
Tab. 29: Vybrané parametry vlnovkové spojky [45]

Maximální moment spojky [$N \cdot m$]	30
Délka spojky [mm]	65
Vnější průměr spojky [mm]	56
Minimální průměr hřídele [mm]	10
Maximální průměr hřídele [mm]	30
Utahovací šrouby	M6

Jak již bylo zmíněno výše, spojka přenáší moment primárně jako svěrný spoj. Pera jsou pouze pojistná. Pro správný přenos krouticího momentu pak musí platit rovnice č. 98., kde M_T je třecí moment vyvozený předpětím šroubů. [34]

$$k \cdot M_k \leq M_T \quad (98)$$

Při uvažování kosinového rozložení tlaku podle obrázku č. 61 lze minimální předpětí S [N] stanovit podle rovnice č. 100. [34]



Obr. 61: Kosinové rozložení tlaku na hřídeli [34]

Tab. 30: Parametry pro výpočet předpětí šroubu spojky [34]

Součinitel tření ocel-ocel pro svěrné spoje f [-]	0,15
Součinitel bezpečnosti k [-]	1,5
Průměr konce hřídele pohybového šroubu [mm]	18
Maximální krouticí moment šroubu [$N \cdot m$]	10,46

$$k \cdot M_k \leq \frac{4}{\pi} \cdot f \cdot S \cdot d_h \quad (99)$$

$$S_{min} \geq \frac{\pi \cdot k \cdot M_k}{4 \cdot f \cdot d_H} = \frac{\pi \cdot 1,5 \cdot 10,46}{4 \cdot 0,15 \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = 380 \text{ N} \quad (100)$$

Potřebné předpětí v jednom šroubu, je pak pro dva šrouby na každé hřídeli, dáno následující rovnicí č. 101.

$$S_o = \frac{N_{min}}{2} = 190 \text{ N} \quad (101)$$

Nyní byly provedeny potřebné výpočty pro návrh zařízení. V dalších částech je konstrukční řešení dílčích částí s obrázky 3D modelu.

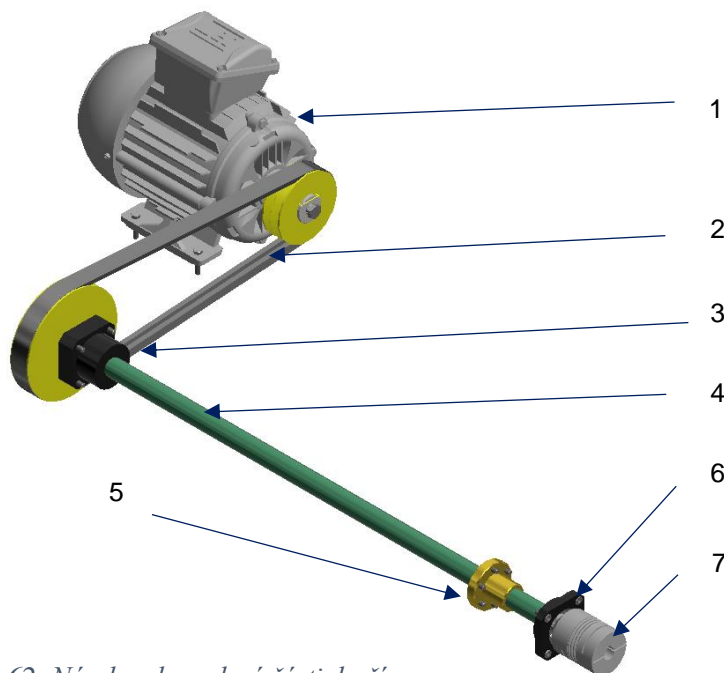
21 Konstrukční návrhy dílčích částí konstrukce

V této kapitole jsou veškeré konstrukční návrhy zadané bakalářské práce.

21.1 Konstrukční návrh levé části pohonu

Na obrázku č. 62 je zobrazena levá část pohonu, tedy pouze ta část, která pohání levé křídlo. Řemenice přenáší krouticí moment na pohybový šroub pomocí pera. To je ještě třeba zkontrolovat. [34]

- 1 – Elektromotor 0,75 kW
- 2 – Klínový řemen
- 3 – Pevné uložení FK 20
- 4 – Trapézový šroub KRP 25 B
- 5 – Matice FMT 25 B
- 6 – Volné uložení FF 20
- 7 – Vlnovcová spojka K B4/30



Obr. 62: Návrh pohonu levé části dveří

Tab. 31: Parametry pro kontrolu pera [34]

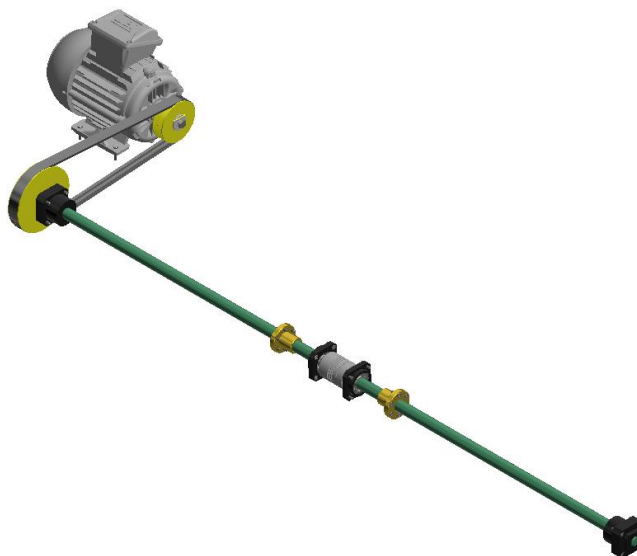
Pero 5 x 5 x 20 ČSN 02 2562	
Dovolený tlak na bocích pera [MPa]	80
Dovolené smykové napětí [MPa]	40
Průměr hřídele [mm]	14

$$p = \frac{4 \cdot M_k}{d_H \cdot h_p \cdot l_a} = \frac{4 \cdot M_k}{d_H \cdot h_p \cdot (l_{\text{ČSN}} - l_a)} = \frac{4 \cdot 10\,460}{14 \cdot 5 \cdot (20 - 5)} = 39,8 \text{ MPa} \quad (102)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot M_k}{d_H \cdot b \cdot l_a} = \frac{2 \cdot 10\,460}{14 \cdot 5 \cdot 15} = 19,9 \text{ MPa} \quad (103)$$

Zvolené pero vyhovuje jak kontrole na otláčení, tak kontrole na smyk.

Konstrukční návrh celého pohonného ústrojí je na obrázku č. 63.



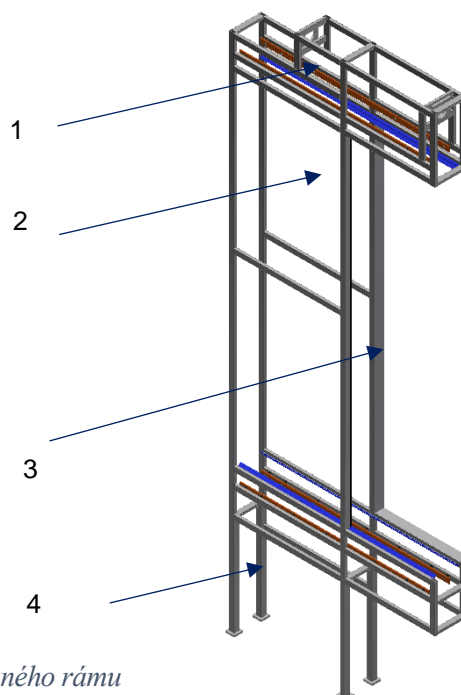
Obr. 63: Návrh pohonu dvoukřídlových dveří

21.2 Konstrukční návrh nosného rámu

Aby se ještě více zamezilo tepelným ztrátám, byl navržen vnější rám, v němž se budou dveře pohybovat a který ponese celou konstrukci těchto dveří a pohonu kromě elektromotoru. Skládá se ze dvou symetrických částí, které k sobě budou uchyceny až na místě pomocí šroubů. Středem sušící komory totiž prochází kolejnice pro lakované dílce a nebylo by jinak možné rám ke komoře přidělat.

Svařovaná konstrukce bude zhotovena z nerezových obdélníkových tenkostěnných uzavřených profilů (jeklů). Materiál 17 240, podle ČSN. [46]

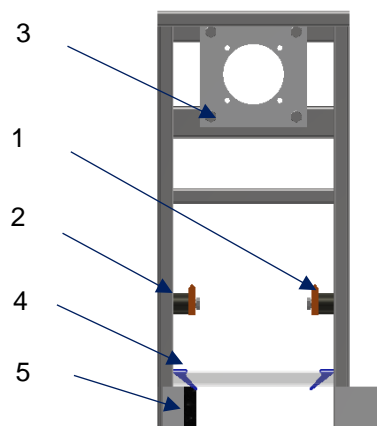
- 1 – Prostor pro uložení pohonu
- 2 – Prostor pro pohyb dveří
- 3 – Plechy sloužící k vymezení polohy rámu ke komoře (ohnuté směrem do komory)
- 4 – Nosné jekly



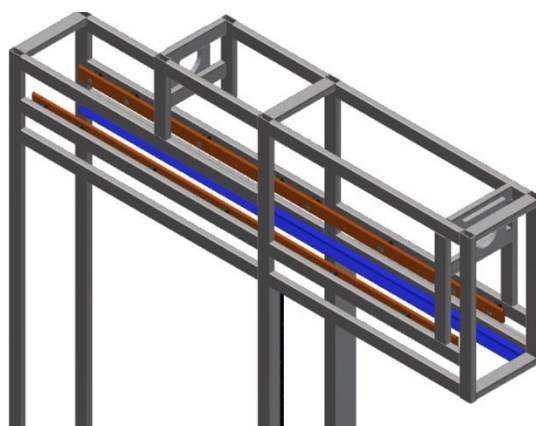
Obr. 64: Návrh levé části nosného rámu

Detaily horní části nosného rámu jsou na obrázku č. 65 a 66.

- 1 – Kolejnice
- 2 – Distanční trubka
- 3 – Část k uchycení uložení ložisek
- 4 – Silikonové těsnění
- 5 – Izolační kartáč (na straně ven z komory)

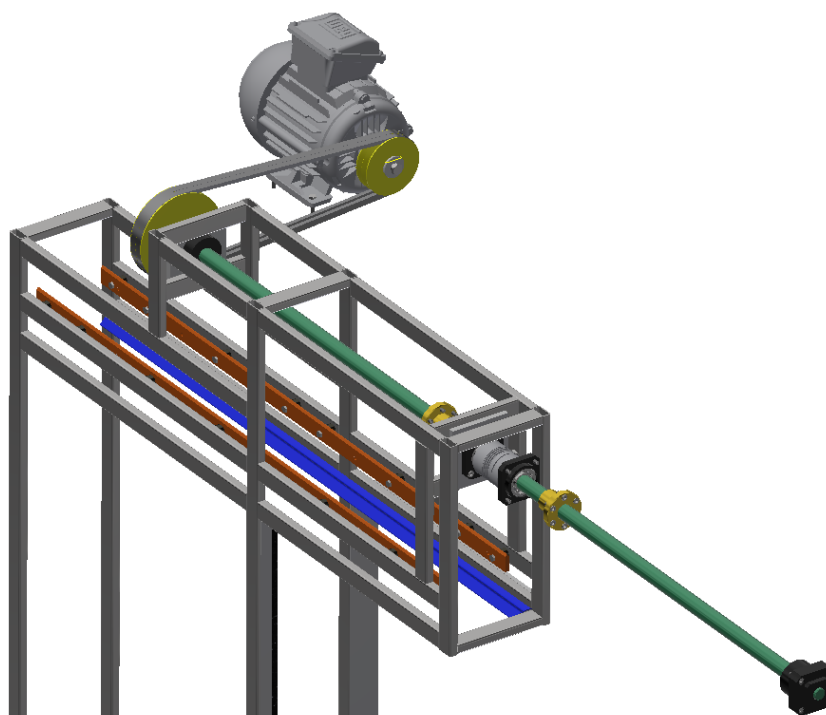


Obr. 65: Detail horní části nosného rámu, pohled z boku



Obr. 66: Detail horní části nosného rámu

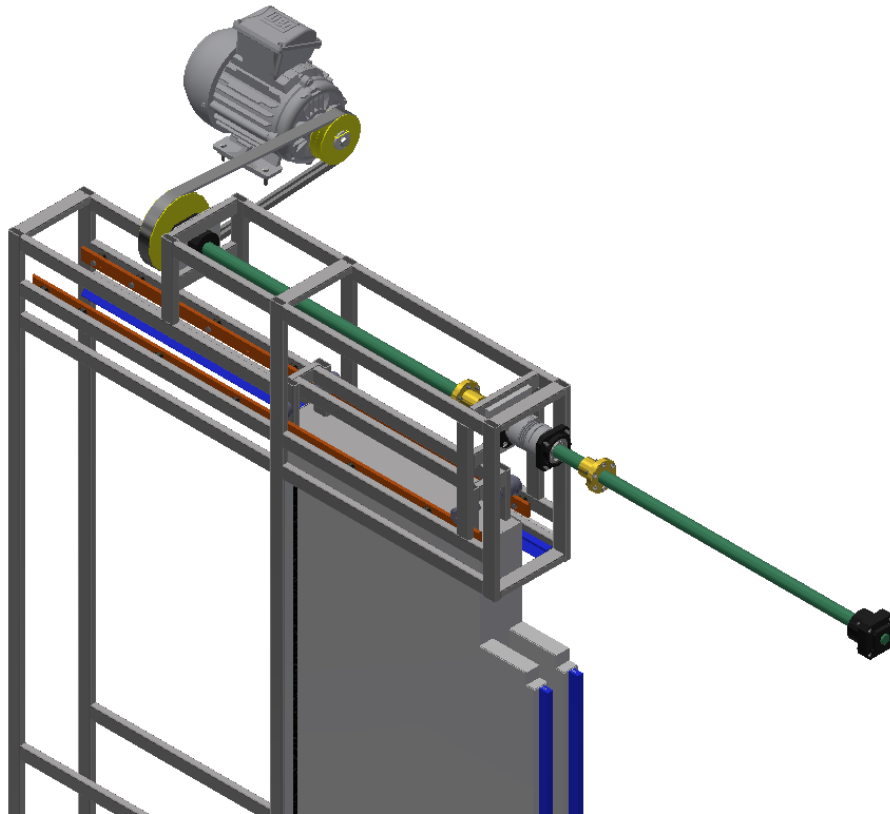
Uložení pohonu v levé části rámu je na obrázku č. 67.



Obr. 67: Uložení pohonu v levé části nosného rámu

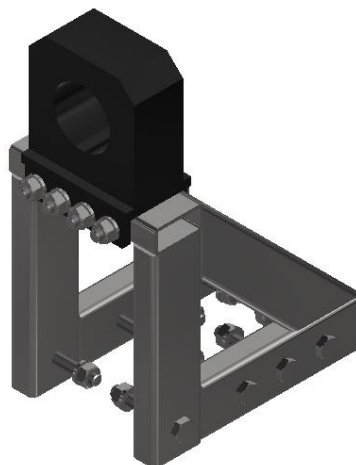
21.3 Uložení dveří do nosného rámu

Uložení levé části dveří do rámu se provede zasunutím dveří z levého boku rámu. Uložení dveří v konstrukci je znázorněno na obrázku č. 68., kde modrou barvou je opět znázorněn model silikonového těsnění.

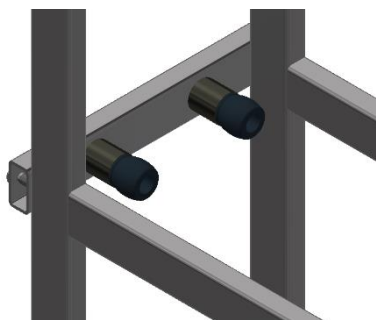


Obr. 68: Uložení dveří do nosného rámu

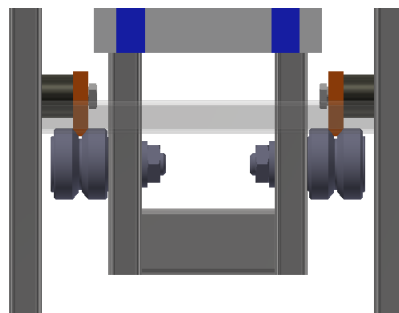
Spojení dveří s maticí šroubu je realizováno pomocí svařence, který se přišroubuje k obrobenej konzoli, která se zase přišroubuje k této matici. Druhá část svařence se přišroubuje k rámu dveří.



Obr. 69: Svařenec s obrobenej konzolí



Obr. 70: Zábрана s tlumičími prvky

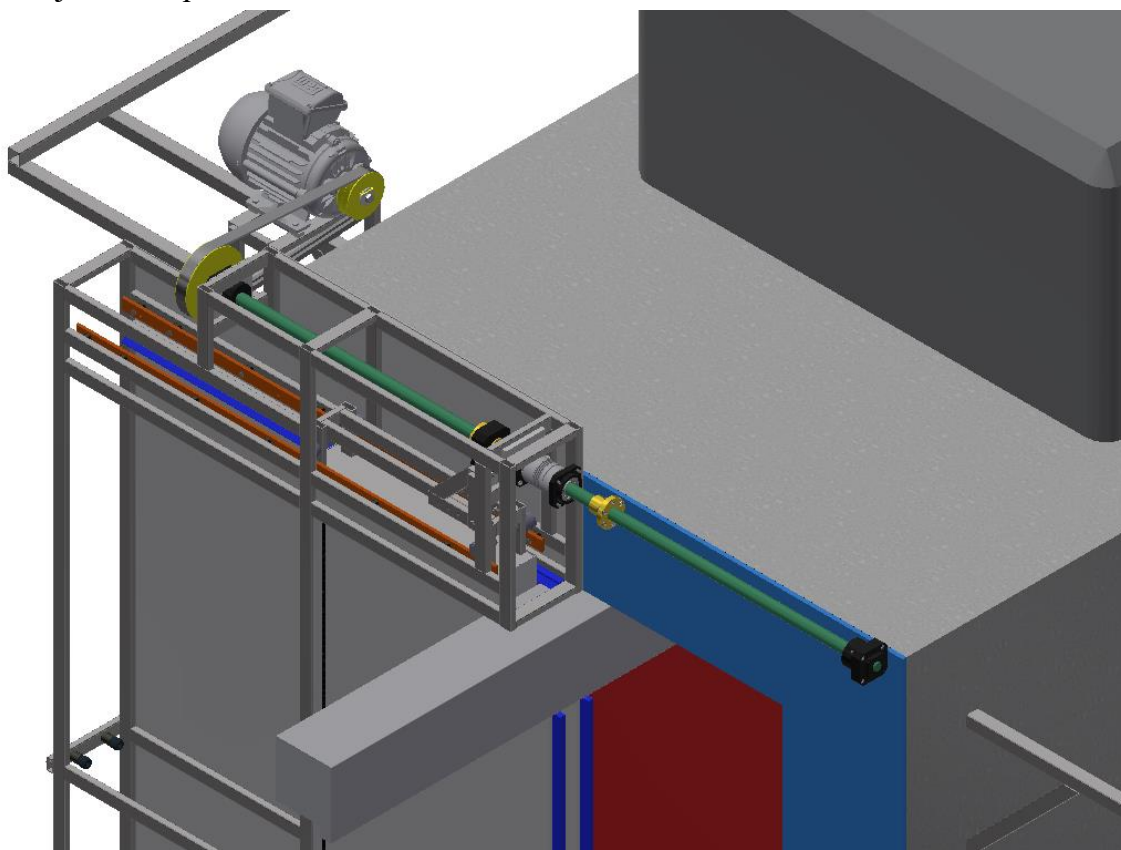


Obr. 71: Uložení dolní části dveří v kolejnici

Po zasunutí dveří do rámu a přimontování k pohybovému šroubu se zašroubuje pojistná zábrana, která zaručí, že dveře nemohou nikdy vypadnout z kolejnice. K této zábraně jsou přichyceny tlumiče nárazu. (Obr. 70)

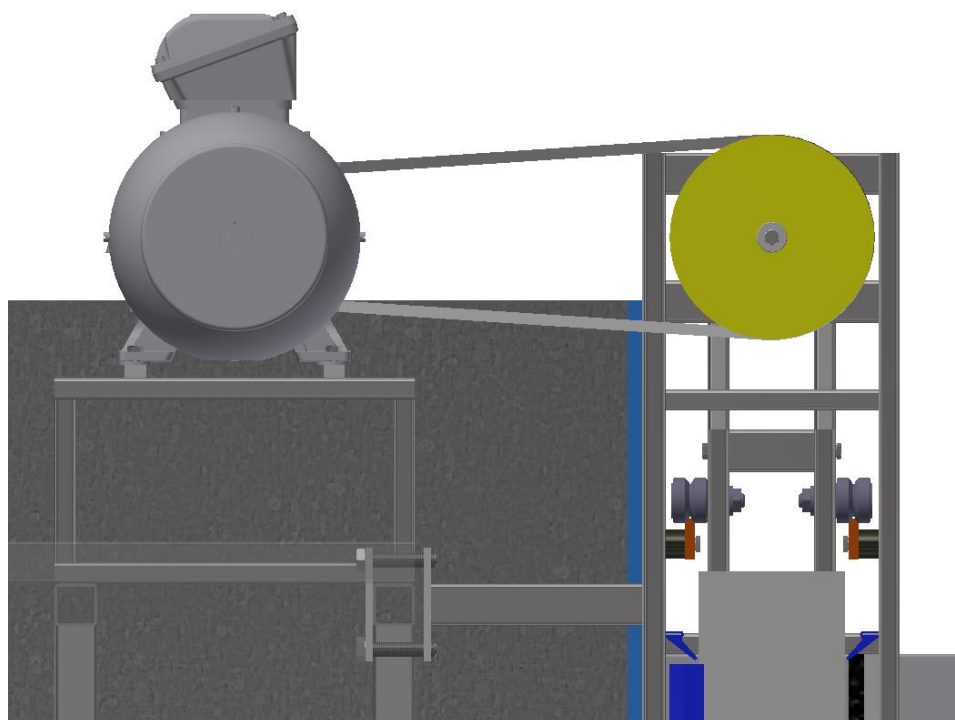
22 Uložení a přichycení konstrukce k sušící komoře

Rám dosedne na čelní plochu sušící komory a do prostoru mezi ně se vloží izolace, která je v obrázku č. 72 vymodelována světlemodrou barvou. Kolejnice je zde naznačena pouze ilustrativně a pokračuje dále do prostoru.



Obr. 72: Levý rám s pohonem a levým křídlem dveří dosednutý na čelní stranu komory

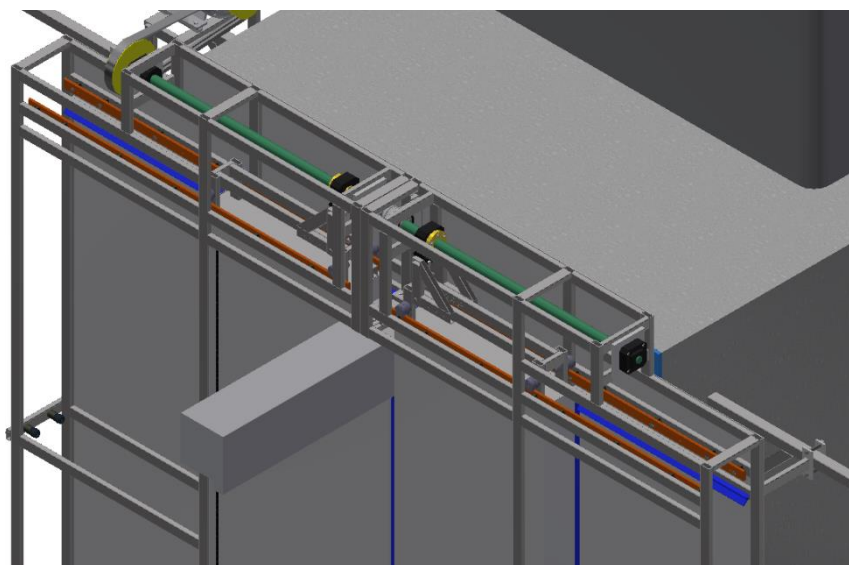
Rám se pomocí šroubů a přivařeného profilu stáhne na hoře i dole způsobem, jak je zobrazeno v obrázku č. 73. Motor bude posazen na svařovaný rám, který bude přichycen ke konstrukci komory.



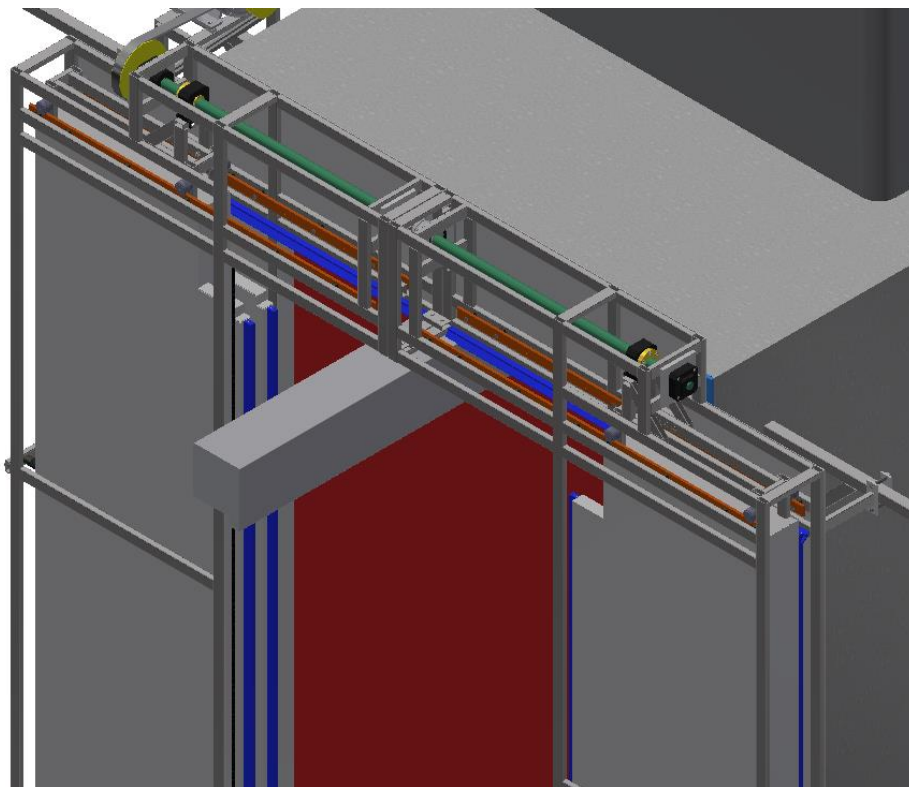
Obr. 73: Dosednutí rámu na čelní plochu komory

23 Sestava hotové konstrukce

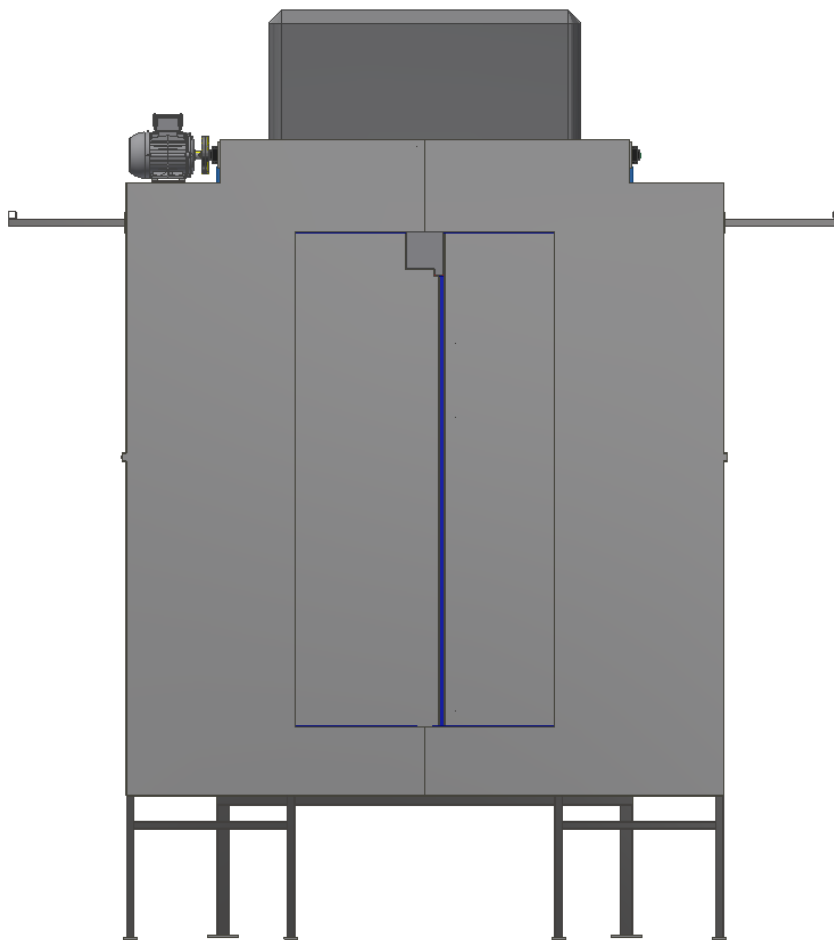
Po přidání i přišroubování druhého rámu do konstrukce zbývá přidat krycí plechy. Dveře v uzavřené poloze jsou zobrazeny na obrázku č. 74 a dveře v otevřené poloze na obrázku č. 75. Konečný návrh i s krycími plechy je na obrázku č. 76.



Obr. 74: Hotová konstrukce – dveře uzavřeny



Obr. 75: Hotová konstrukce – dveře otevřeny



Obr. 76: Konečný model konstrukce, čelní pohled

24 Závěr

V úvodu této bakalářské práce byla zpracována rešerše na téma práškové lakování, elektrické motory a pohyblivá spojení a na konkrétních případech z technické praxe byly demonstrovány možné způsoby řešení dané problematiky.

Jako nejvhodnější řešení do definovaných pracovních podmínek se jeví využití pro pohon dveří asynchronní motor, který pohání pohybový šroub rotačně uložený v ložiskách přes řemenový převod. Matice pohybového šroubu je pak vhodně spojena s jedním křídlem dveří, které se posouvají pomocí valivého lineárního vedení.

Aby bylo možné zajistit otevírání a zavírání jediným motorem, bylo zvoleno řešení, kde jsou za sebou uloženy v ložiskách tyto dva pohybové šrouby, jež jsou spojeny vlnovcovou spojkou. Konkrétně byl vybrán šroub s lichoběžníkovým profilem závitu. Šrouby mají opačný smysl stoupání, jeden šroub má závit pravý a druhý závit levý, tím se docílí toho, že i když budou mít oba šrouby stejný smysl otáčení, jejich matice se budou pohybovat opačnými směry.

Pro popsání řešení byl nejprve proveden tepelný výpočet, ze kterého byla určena minimální tloušťka dveří. Po definování minimální šířky izolační vrstvy bylo možné orientačně vypočítat, jaká bude hmotnost jednoho křídla dveří.

Následně po určení hmotnosti těchto dveří následovaly další důležité výpočty. Jednalo se o návrh lineárního vedení a po definování pracovních podmínek, jako je rychlost a zrychlení, byla pomocí programu Matlab určena minimální potřebná osová síla, kterou musí šroub generovat, aby byl zaručen požadovaný chod.

Ze známé síly a účinnosti dílčích částí mechanismu byl vybrán 6 - pólový asynchronní motor o výkonu 0,75 kW. Pro tento jmenovitý výkon elektromotoru byl navržen klínový řemenový převod o celkovém počtu 2 řemenů a byly provedeny základní kontroly trapézového šroubu, jako je kontrola na kombinaci tahu s krutem nebo kontrola na ztrátu stability. Všem kontrolám zvolený šroub vyhověl. Zkontrolována byla též životnost ložisek.

Na závěr výpočtů byla navržena vlnovcová spojka, jež je připojena ke šroubu pomocí svěrného spoje. Proto bylo vypočteno minimální přepětí jejich šroubů, které je potřeba k bezpečnému přenesení krouticího momentu z jednoho šroubu na druhý.

V závěru praktické části této práce byl vytvořen 3D model všech dílčích částí a bylo navrženo konkrétní konstrukční řešení. Izolované dveře se budou, pro minimalizaci tepelných ztrát, pohybovat uvnitř nosného rámu, jenž se skládá ze dvou symetrických částí, a který dosedá na čelní plochu komory, přičemž je k ní dotlačován pomocí šroubů. Dveře se do rámu nasunou z boku a následně se přichytí k matici pohybového šroubu pomocí svařence s konzolí. Poté, co jsou dveře v kolejnici a jsou pevně přichyceny k matici, přišroubuje se zábrana z boku s tlumiči nárazu, aby dveře nikdy nevypadly z kolejnic.

Bylo zjištěno, že všechny výpočty vyhovují a na modelu je patrné konstrukční řešení všech těchto částí. Lze tedy konstatovat, že cíl této práce byl splněn. Byl navržen vhodný pohon do prostředí linky pro nanášení práškových plastů a jeho řešení bude představeno společnosti SENCO Příbram spol. s r. o., kde se sušící komora nachází.

25 Seznam příloh

- [A] Detail kolejnice pro uchycení lakovaných dílců
- [B] Prvotní návrh konstrukce levých dveří
- [C] Výpočet dynamiky jednoho křídla v programu Matlab

26 Seznam příloh na CD

- [I] Lineární vedení
- [II] Kód programu Matlab pro výpočet dynamiky
- [III] Trapézový šroub
- [IV] Pevné a volné uložení trapézového šroubu
- [V] Ložiska s kosoúhlým stykem SKF
- [VI] Vlnovcové spojky

27 Seznam obrázků

Obr. 1: Prášková lakovna v Senco Příbram spol. s r. o. [1]	2
Obr. 2: Schéma stabilního pracoviště pneumatického otryskávání [3]	3
Obr. 3: Elektrostatické nabíjení (Korona) [1]	6
Obr. 4: Elektrokinetické nabíjení (Tribo) [1]	6
Obr. 5: Asynchronní motor [9]	7
Obr. 6: Závislost momentu na otáčkách asynchronního motoru [8]	8
Obr. 7: Statická charakteristika synchronního motoru [8]	9
Obr. 8: Momentová charakteristika synchronního motoru [10]	9
Obr. 9: Stejnoseměrný motor [11]	10
Obr. 10: Tvrdá a měkká momentová charakteristika [8]	10
Obr. 11: Závít v magnetickém poli [12]	10
Obr. 12: Krokový motor [15]	11
Obr. 13: Lineární elektromotor princip [16]	11
Obr. 14: Valivé vedení a uložení [17]	12
Obr. 15: Kuličkové ložisko [19]	12
Obr. 16: Lineární vedení [20]	12
Obr. 17: Kluzné vedení a uložení [17]	13
Obr. 18: Kluzná objímka lineárního vedení [21]	13
Obr. 19: Kluzné pouzdro [22]	13
Obr. 20: Hydrostatické vedení uložení [17]	14
Obr. 21: Aerostatické vedení a uložení [17]	14
Obr. 22: Vnitřek zařízení pro posouvání dveří [23]	15
Obr. 23: Princip ovládání dveří [25]	16
Obr. 24: Izolované dveře tepelné komory [26]	17
Obr. 25: Kluzné tření [17]	17
Obr. 26: Valivé tření [17]	17
Obr. 27: Sušící komora práškové lakovny	18
Obr. 28: Sušící komora práškové lakovny, pohled termokamerou	18
Obr. 29: Pohled na střechu komory	19
Obr. 30: Pohon dveří ozubeným řemenem	20
Obr. 31: Pohon dveří s ozubeným hřebenem, 2 pastorky poháněny	21
Obr. 32: Pohon ozubeným hřebenem, 1 pastorek poháněn	21
Obr. 33: Pohon s pohybovým šroubem, oba šrouby poháněny	21
Obr. 34: Pohon s pohybovým šroubem, poháněn pouze jeden šroub	21

Obr. 35: Schéma pohonu dveří sušící komory	22
Obr. 36: Zástavbové rozměry sušící komory	23
Obr. 37: Izolace PROMAPACK [27].....	24
Obr. 38: Závislost součinitele tepelné vodivosti na teplotě	24
Obr. 39: Průběh teploty v řezu dveří [28].....	25
Obr. 40: Návrh konstrukce izolovaných dveří	27
Obr. 41: Návrh utěsnění mezidveřního prostoru.....	27
Obr. 42: Pracovní diagram zdvihu dveří.....	30
Obr. 43: Rozmístění valivých prvků a poloha těžiště jednoho křídla dveří	30
Obr. 44: Kolejnice a rolna V-line [31].....	30
Obr. 45: Nosník pro výpočet reakcí v rolkách lineárního vedení.....	31
Obr. 46: Mechanický rovinný model soustavy	32
Obr. 47: Uvolnění mechanické soustavy.....	33
Obr. 48: Kinematické poměry na závitu [34].....	37
Obr. 49: Schéma pro určení energetických poměrů.....	38
Obr. 50: Klínový řemen klasického průřezu [29].....	40
Obr. 51: Schéma řemenice [29]	41
Obr. 52: Sílové poměry na řemenicích za klidu [36].....	43
Obr. 53: Sílové poměry na řemenicích za provozu [36].....	44
Obr. 54: Sílové poměry na řemenici [36].....	44
Obr. 55: Sílové poměry na šroubu v radiálně-axiální rovině.....	45
Obr. 56: Průběh ohybového momentu na pohybovém šroubu.....	48
Obr. 57: Jednořadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem 7204 [39]	46
Obr. 58: Uvažované uložení pro kontrolu na ztrátu stability [42].....	51
Obr. 59: Lineární závislost modulu pružnosti na teplotě	52
Obr. 60: Vlnovcová hřídelová spojka [44]	53
Obr. 61: Kosinové rozložení tlaku na hřídeli [34].....	54
Obr. 62: Návrh pohonu levé části dveří.....	55
Obr. 63: Návrh pohonu dvoukřídlých dveří	56
Obr. 64: Návrh levé části nosného rámu.....	56
Obr. 65: Detail horní části nosného rámu	57
Obr. 66: Detail horní části nosného rámu, pohled z boku.....	57
Obr. 67: Uložení pohonu v levé části nosného rámu	57
Obr. 68: Uložení dveří do nosného rámu.....	58
Obr. 69: Svařenec s obrobenou konzolí.....	58
Obr. 70: Uložení dolní části dveří v kolejnici,.....	59
Obr. 71: Zábřana s tlumícími prvky.....	59



Obr. 72: Levý rám s pohonem a levým křídlem dveří dosednutý na čelní stranu komory	59
Obr. 73: Dosednutí rámu na čelní plochu komory	60
Obr. 74: Hotová konstrukce – dveře uzavřeny	60
Obr. 75: Hotová konstrukce – dveře otevřeny.....	61
Obr. 76: Konečný model konstrukce, čelní pohled.....	61

28 Seznam tabulek

Tab. 1: Technické parametry izolace [27]	24
Tab. 2: Technické parametry pro tepelný výpočet [29]	25
Tab. 3: Výsledky tepelného výpočtu	26
Tab. 4: Hmotnost a poloha těžiště dveří	27
Tab. 5: Pracovní veličiny dveří	28
Tab. 6: Vypočtené pracovní hodnoty.....	29
Tab. 7: Základní hodnoty ložiska rolny pro výpočet životnosti vedení. [32]	31
Tab. 8: Hodnoty pro výpočet reakcí v rolnách lineárního vedení	31
Tab. 9: Známé hodnoty mechanismu dveří pro dynamický výpočet [29]	33
Tab. 10: Výsledky bez čepového tření.....	34
Tab. 11: Výsledky s uvažováním čepového tření	35
Tab. 12: Parametry pro návrh středního průměru šroubu [34]	35
Tab. 13: Vlastnosti vybraného šroubu [35]	36
Tab. 14: Součinitel smykového tření a úhel β [29]	36
Tab. 15: Výsledné výpočtové úhly trapézového šroubu.....	37
Tab. 16: Účinnosti dílčích prvků mechanismu dveří [36]	38
Tab. 17: Elektromotor 2AL90S-6 [37]	39
Tab. 18: Klínový řemen klasického průřezu [29].....	40
Tab. 19: Výběr průměru malé řemenice [29]	40
Tab. 20: Předběžná osová vzdálenost řemenic.....	41
Tab. 21: Parametry pro výpočet výkonu přenášeným jedním řemenem [29]	42
Tab. 22: Parametry pro výpočet počtu řemenů [29]	42
Tab. 23: Parametry pro výpočet f' [29, 36]	43
Tab. 24: Rozložení ložisek pohybového šroubu a poloha napínací síly	45
Tab. 25: Parametry ložiska 7204 A [38].....	46
Tab. 26: Kontrola na otláčení závitu [35]	49
Tab. 27: Hodnoty pro určení výpočtové délky [34]	51
Tab. 28: Modul pružnosti při různých teplotách [43]	52
Tab. 29: Vybrané parametry vlnkové spojky [45]	53
Tab. 30: Parametry pro výpočet předpětí šroubu spojky [34]	54
Tab. 31: Parametry pro kontrolu pera [34]	55

29 Použitá literatura

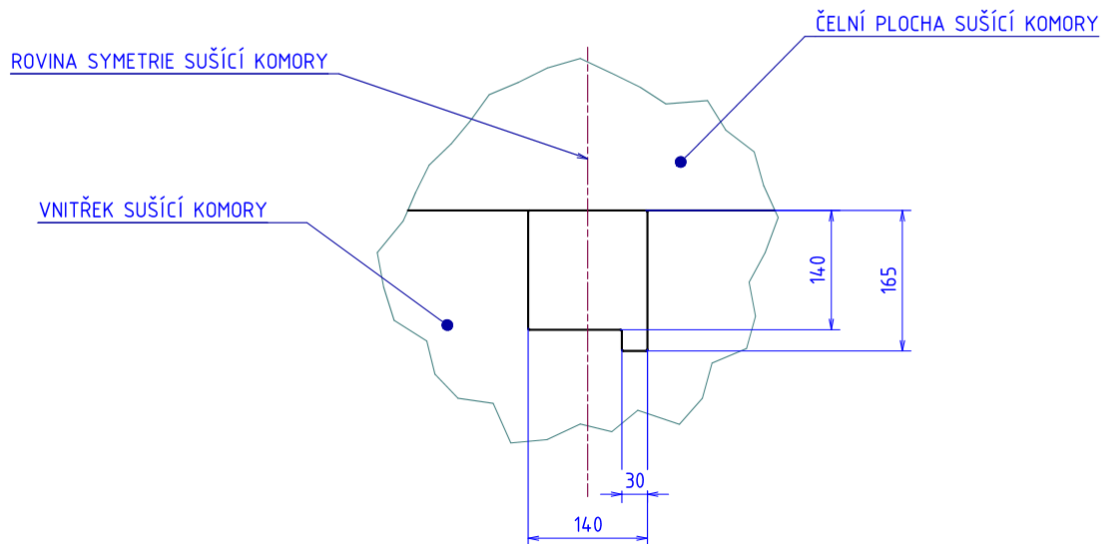
- [1] Princip práškového lakování. *Technolak* [online]. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <http://technolak.bbbart.cz/technologie/>
- [2] Prášková lakovna. *Sencopb* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.sencopb.eu/cs/sluzby/praskove-lakovani>
- [3] NOVOTNÝ, Jiljí, Jan ŠANOVEC, Bohumír BEDNÁŘ a Viktor KREIBICH. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2351-6.
- [4] Alkalické odmaštění. *Cerindust* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.cerindust.cz/povrchove-upravy/povrchove-upravy/alkalicke-odmasteni>
- [5] Demineralizovaná voda. *Destilovana-voda* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.destilovana-voda.cz/o-destilovane-vode/>
- [6] MAZUREK, Pavel. Práškové barvy a jejich odlupování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/praskove-barvy-a-jejich-odlupovani.html>
- [7] KREIBICH, Viktor. Povlaky z práškových plastů bezchybně. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-z-praskovych-plastu-bezchybne.html>
- [8] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [9] Elektromotory. *Vybo Electric a. s. Česká republika* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.elektro-motor.cz/obchod/elektromotor-5-5-kw-2930-ot-min-1/>
- [10] KOČMAN, Stanislav a Václav VRÁNA. *Synchronní stroje* [online]. 2005 [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_synchronni_stroje_bc.pdf
- [11] Kartáčové stejnosměrné motory - EC. *Raveo world of motion* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/stejnospemny-motor-EC>
- [12] VALA, Zdeněk. *Stejnospemné elektromotory* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: http://www.sossoukyjov.cz/data/File/VY_32_INOVACE_6a13.pdf
- [13] FORMÁNEK, Josef. *Tvorba grafické vizualizace principu krokového motoru a jeho řízení* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~formanek/mmvvyuka-arvt/Data/ivk-arvt-soubory/09-F.pdf>
- [14] RYDLO, Pavel. *KROKOVÉ MOTORY A JEJICH ŘÍZENÍ* [online]. Liberec, 2000 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://cis.wz.cz/elz/krok2.pdf>
- [15] *Robostore: Krokový motor* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://robotstore.cz/obchod/motory/nema17-krovovy-motor-cnc-1-8-1-68a-42x42/>
- [16] Lineární motory. *ELUC* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/806>

- [17] ONDRÁČEK, Miroslav. *Modelování a simulace: Pohyblivá spojení* [PDF]. v Praze, Ústav výrobních strojů a zařízení: ČVUT, 2013 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://www.rcmt.cvut.cz/>
- [18] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. Vyd. 5., přeprac. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Technický průvodce. ISBN 80-030-0046-7.
- [19] Kuličkové ložisko. In: *ATS Trutnov* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://atstrutnov.cz/prestashop/kulickova-loziska/7110-kulickove-lozisko-jednorade-zvl-6006-p5.html>
- [20] Lineární vedení. In: *Betz* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.betz.cz/franke/linearni-vedeni.html>
- [21] *Lineární vodící systémy: Drylin* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: https://www.hennlich.cz/fileadmin/_migrated/DryLin_%C3%9Avod.pdf
- [22] Kluzné pouzdro: Drylin. *Arkov* [online]. [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: [https://www.arkov.cz/p/gfm-2528-21-\(hennlich\)-lozisko-kluzne-pouzdro-hennlich-153773](https://www.arkov.cz/p/gfm-2528-21-(hennlich)-lozisko-kluzne-pouzdro-hennlich-153773)
- [23] Sliding door operators. *Dormakaba* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.dormakaba.com/gb-en/solutions/products/entrance-systems/sliding-door-operators>
- [24] Bezkartáčové stejnosměrné motory. *Raveo* [online]. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/BLDC-motory>
- [25] How to install a sliding gate motor. *Grant's Automation* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <http://www.grantsautomation.com.au/index.php?page=61>
- [26] Dveře. *Centrum výzkumu Řež s.r.o* [online]. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://jhr.cvrez.cz/technicke-vybaveni/dvere/>
- [27] Izolační a těsnící desky. *Promat* [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: http://web.promatpraha.cz/admin/files_upl/1306.pdf
- [28] NOŽIČKA, Jiří. *Základy termomechaniky*. Vyd. 2. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-800-1040-225.
- [29] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [30] Ocel S235JR. *Bolzano* [online]. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>
- [31] Nadella V-line. *Tecnelab* [online]. [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <https://www.tecnelab.it/approfondimenti/cover/componenti--dritti-al-cuore-della-movimentazione>
- [32] NADELLA linear guide system. *BIBUS s r. o.* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://www.bibus.cz/fileadmin/editors/countries/bisro/Produkty/Nadella/PDF/Guide_Systems.pdf
- [33] VALÁŠEK, Michael a Jiří BŘEZINA. *Mechanika A*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 978-80-01-02890-2.
- [34] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké

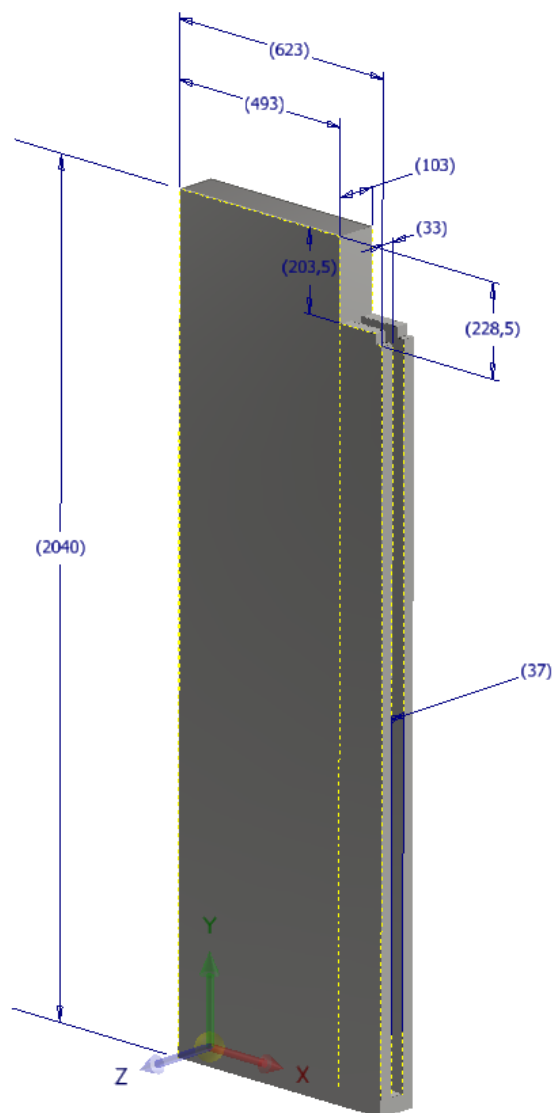
- učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04138-3.
- [35] Pohybové šrouby. *Matis* [online]. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: http://www.matis.cz/data/pdf-katalogy/Katalog_pohybove_srouby/matis_katalog_kulickove_srouby.pdf
- [36] KUGL, Otmar. *Projekt - III. ročník*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3205-1.
- [37] *Elektromotor 0.75 kW 2AL90S-6: VYBO* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.elektro-motor.cz/obchod/elektromotor-0-75-kw-2al90s-6/>
- [38] Ložiska s kosoúhlým stykem. *SKF* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://www.exvalos.cz/soubory/File/Hlavni_katalog_SKF/6000_CS_02_Kulickova%20loziska%20s%20kosouhlým%20stykem.pdf?fbclid=IwAR0YU3LIkOn06nYYNCJjuPrkn0HOxOjCWsCMff1hda9T_Zq5Vfy2mXYGbV0
- [39] 7204. *SKF* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/single-row/index.html?designation=7204%20BEP>
- [40] MICHALEC, Jiří. *Pružnost a pevnost I*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04224-3.
- [41] X5CrNi18-10: Austenitická korozi vzdorná ocel. *Bolzano* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozi vzdornych-a-zaru vzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozi vzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>
- [42] ŠOPÍK, Michal a David MIKOLÁŠEK. *MSDK: NOSNÉ KONSTRUKCE ZE DŘEVA A JEJICH STATIKA* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://drevostavebniportal-profesnivzdelavani.msdk.cz/files/Nosne-konstrukce-ze-dreva-a-jejich-statika.pdf>
- [43] Cr-Ni austenitická ocel odolná korozi: 17 240. *Techportal* [online]. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzI00RA9x7p75N8MGgz73w
- [44] *Vlnové spojky: T.E.A. TECHNIK s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/typ-kb/?fbclid=IwAR0AVwliuJ646cF-nhqL1vystfm2qBwa2qya-NfTstWjWtI3SuQptZAnO7I>
- [45] *Vlnové spojky: T.E.A. TECHNIK s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/typ-kb/>
- [46] *Ocel 17 240* [online]. [cit. 2019-05-30]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>

Příloha A – detail kolejnice pro uchycení lakovaných dílců

DETAIL PROFILU KOLEJNICE PRO UCHYCENÍ LAKOVANÝCH DÍLCŮ



Příloha B – prvotní návrh konstrukce levých dveří



Obecné vlastnosti

Zahrnout kosmetické svary

Zahrnout přepsání KS

Těžiště

Hmotnost 179,544 kg (Relativ)  X 302,965 mm (Relati

Povrch 15638258,341 mm² Y 1000,964 mm (Rela

Objem 103607283,173 mm³  Z 51,643 mm (Relativ

Příloha C – Výpočet dynamiky jednoho křídla dveří v programu Matlab

```

%%% výpočet osově síly pohybového šroubu, s uvažování čepového tření

%%%parametry
g=9.81; %[m/s2]
m2=200; %[kg]
m3=0.16; %[kg]
m4=m3; %[kg]
l=0.423; %[m]
l1=0.158; %[m]
R=0.016; %[m]
r=0.0127; %[m]
alfa_stupen=40; %[deg]
s=0.2; %[m]
povrchu
ksi=0.0005; %[m]
kolejnici
nyc=0.2; %[m]
a=1; %[m/s2]
rc=0.01; %[m]

tíhové zrychlení
hmotnost dveří
hmotnost ložiska 3
hmotnost ložiska 4
vzdálenost ložisek
vzdálenost těžiště od ložiska A
vnější poloměr ložisek
vnitřní poloměr ložisek
plovičnický úhel kolejnice ve stupních
vzdálenost osově síly od odvalovacího
rameno valivého odporu pro kolo na
součinitel čepového tření
zrychlení soustavy
poloměr čepu

%pomocné vypočítané parametry
alfa=(alfa_stupen/180)*pi; %[rad]
rs=(R+r)/2; %[m]
Q=m2*g; %[N]
I3S3=0.5*m3*R^2; %[kg*m2]
I4S4=0.5*m4*R^2; %[kg*m2]

polovicni uhel kolejnice v radianech
ekvivalentní poloměr
tíha dveří
moment setrvačnosti ložiska A
moment setrvačnosti ložiska B

%rovnice zapsane formou matic

% X=(RAX, RAY, RBX, RBY, N3, N4, T03, T04, Q) [N] vektor neznamych

A=[0 0 0 0 0 0 -2 -2 1;
0 0 0 0 2*sin(alfa) 2*sin(alfa) 0 0 0;
0 0 0 0 2*(sin(alfa))*ksi -2*sin(alfa)*(1-ksi) -2*rs -2*rs -(s-rs);
1 0 0 0 0 0 -2 0 0;
0 -1 0 0 2*sin(alfa) 0 0 0 0;
rc*nyc*0.4 rc*nyc*0.96 0 0 2*sin(alfa)*ksi 0 -2*rs 0 0;
0 0 1 0 0 0 0 -2 0
0 0 0 -1 0 2*sin(alfa) 0 0 0;
0 0 rc*nyc*0.4 rc*nyc*0.96 0 2*sin(alfa)*ksi 0 -2*rs 0
];

b=[m2*a Q (-Q*l1) m3*a 0 I3S3*(a/rs) m4*a 0 I4S4*(a/rs)
]';

x = A\b

```