

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



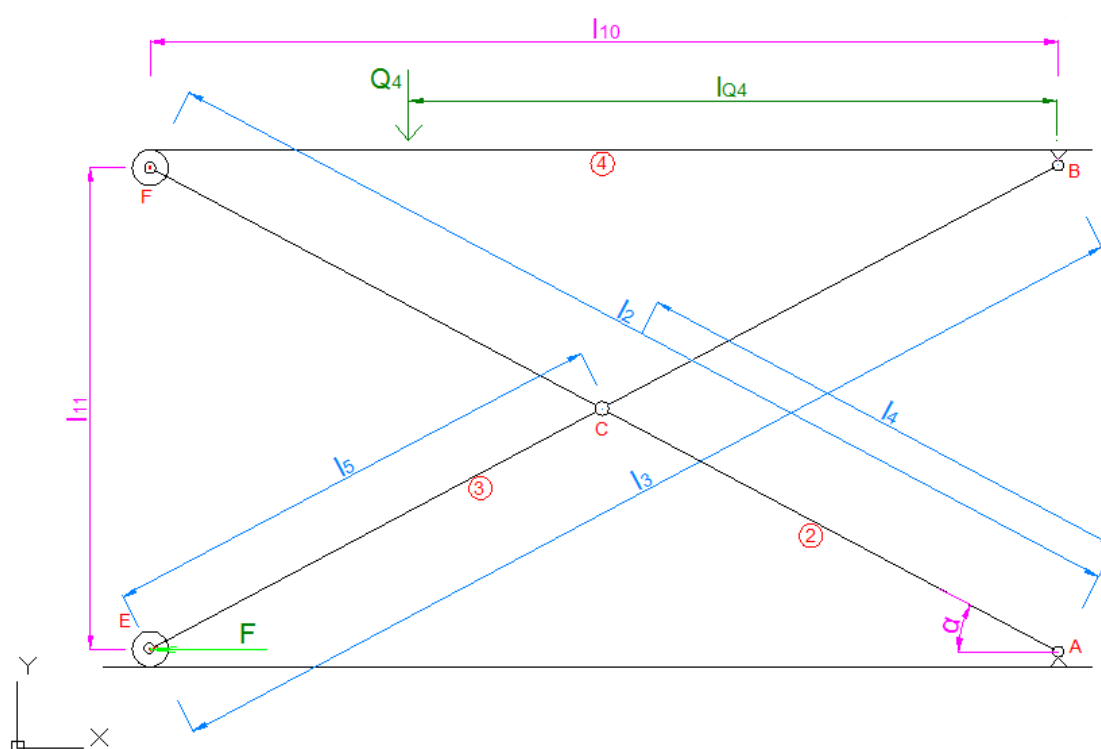
# Diplomová práce

**Optimalizace a návrh elektrického pohonu zdvihacího mechanismu  
nůžkového stolu**

## **Textové přílohy**

## 1. Příloha - Výpočet varianty s trapézovými šrouby

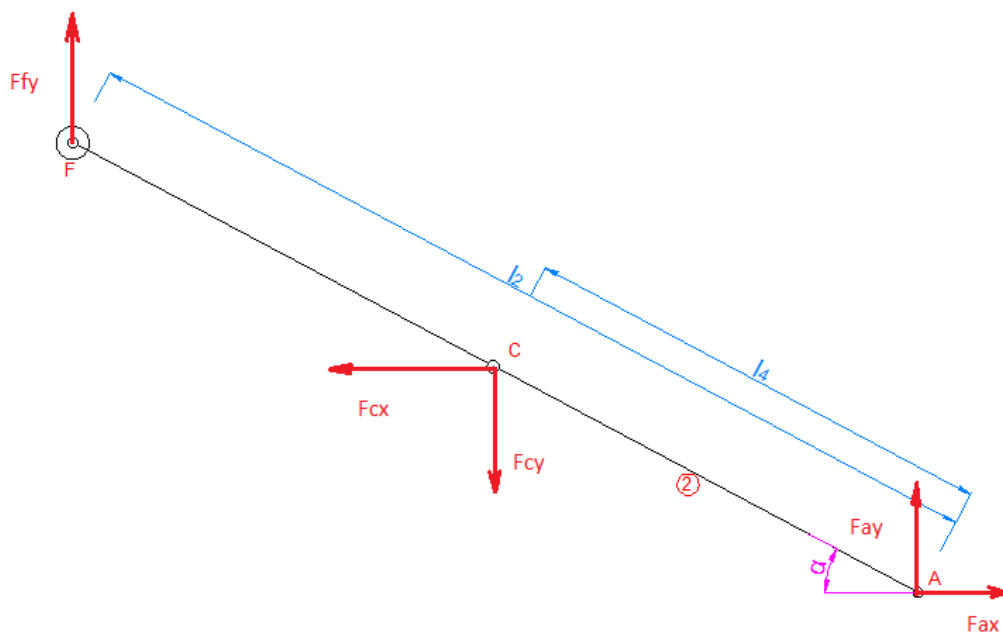
Pro výpočet varianty pohonu poháněný dvojicí šroubů bylo nutné nejdříve určit statické řešení soustavy, z které byla určena velikost maximální síly působící na dvojici šroubů v nejnepříznivější poloze. Způsob zatěžování a hlavní rozměry jsou shodné s výpočtem původní varianty. Není uvažována hmotnost rámu, která není známá. Modifikované schéma původní varianty viz. Obr.1.1., kde v bodě E je místo připojení dvojice šroubů, které odebírají stupeň volnosti ve vodorovném směru.



OBR. 1.1 SCHÉMA VARIANTY S POHONEM POMOCÍ DVOU ŠROUBŮ

### 1.1. Těleso 2

Uvolnění tělesa 2 a nahrazení vazeb silami viz. Obr. 1.2 Uvolnění tělesa 2. Na základě tohoto schématu byly sestaveny rovnice rovnováhy pro těleso 2. viz. rovnice ( 1-1 ), ( 1-2 ), ( 1-3 ).



OBR. 1.2 UVOLNĚNÍ TĚLESA 2

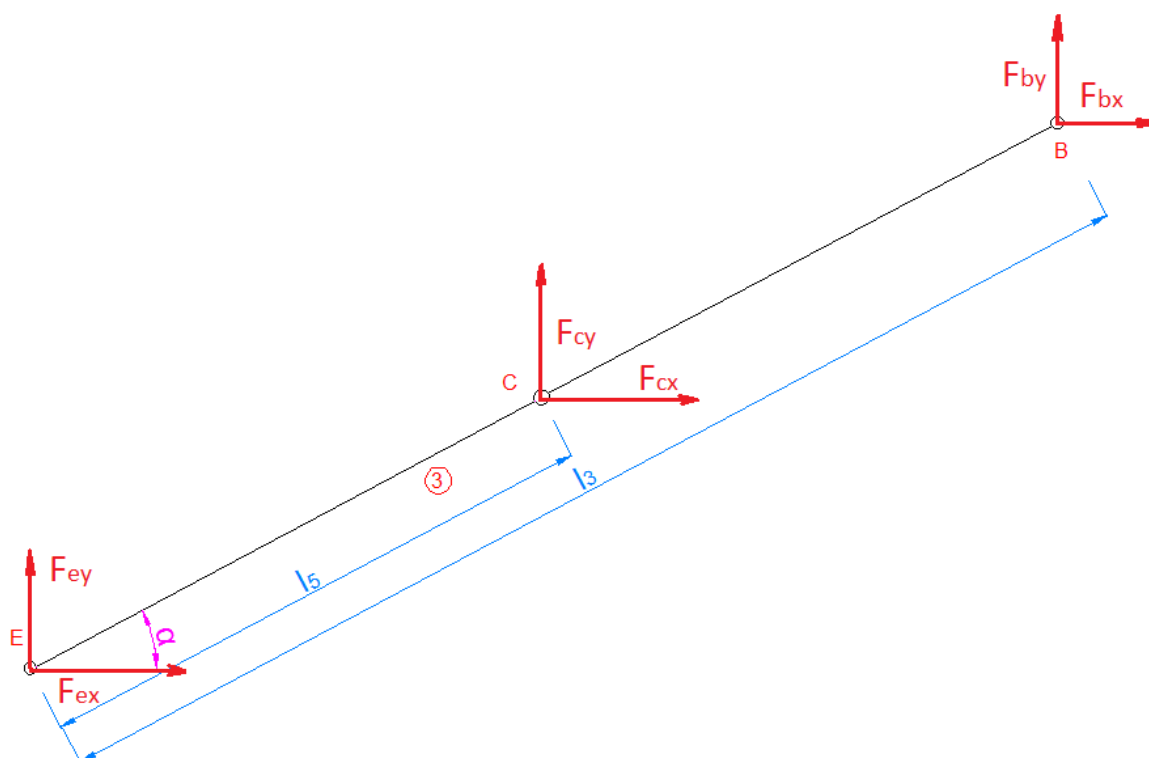
$$F_{ax} - F_{cx} = 0 \quad (1-1)$$

$$F_{ay} - F_{cy} + F_{fy} = 0 \quad (1-2)$$

$$M_a: -F_{cx} \cdot l_4 \cdot \sin\alpha - F_{cy} \cdot l_4 \cdot \cos\alpha + F_{fy} \cdot l_2 \cdot \cos\alpha = 0 \quad (1-3)$$

## 1.2. Těleso 3

Uvolnění tělesa 3 a nahrazení vazeb silami viz. Obr. 1.3. Na základě tohoto schématu byly sestaveny rovnice rovnováhy pro těleso 2. viz. rovnice ( 1-4 ),( 1-5 ), ( 1-6 ).



OBR. 1.3 UVOLNĚNÍ TĚLESA 3

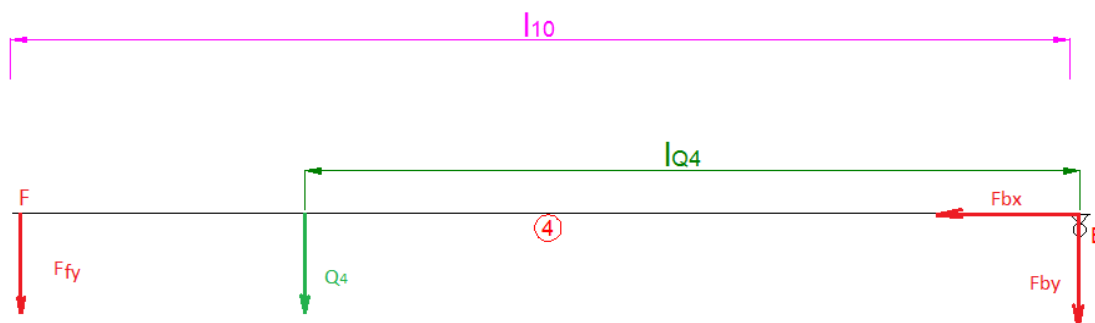
$$F_{bx} + F_{cx} + F_{ex} = 0 \quad (1-4)$$

$$F_{by} + F_{cy} + F_{ey} = 0 \quad (1-5)$$

$$M_e: F_{bx} \cdot l_3 \cdot \sin\alpha - F_{by} \cdot l_3 \cdot \cos\alpha + F_{cx} \cdot l_5 \cdot \sin\alpha - F_{cy} \cdot l_5 \cdot \cos\alpha = 0 \quad (1-6)$$

### 1.3. Těleso 4

Uvolnění tělesa 4 a nahrazení vazeb silami viz. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** 1.4.. Na základě tohoto schématu byly sestaveny rovnice rovnováhy pro těleso 4. viz. rovnice ( 1-7 ), ( 1-8 ), ( 1-9 ).



OBR. 1.4 UVOLNĚNÍ TĚLESA 4

$$x: -F_{bx} = 0 \quad (1-7)$$

$$y: -F_{fy} - F_{by} - Q_4 = 0 \quad (1-8)$$

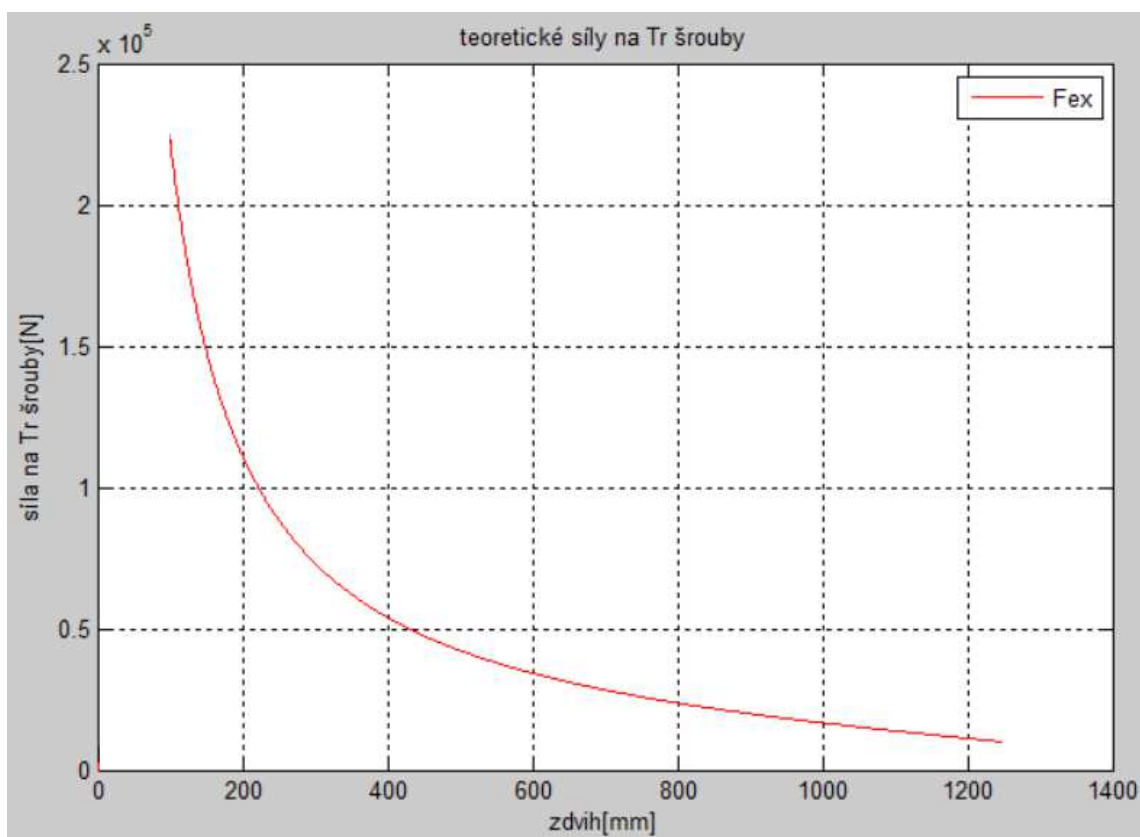
$$M_b: -F_{fy} \cdot l_{10} - Q_4 \cdot l_{q4} = 0 \quad (1-9)$$

#### 1.4. Výpočet a výsledky

Z rovnic byl sestaven vektor vnějších sil a vektor reakcí. Zbylé členy obsahuje matice A viz. rovnice (1-10).

$$A \cdot F = Q \quad (1-10)$$

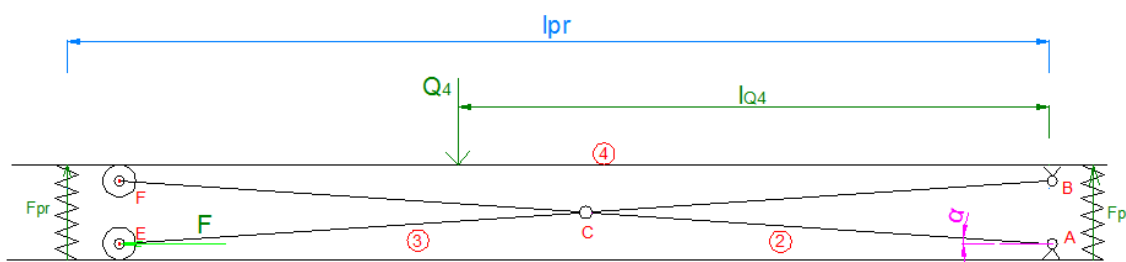
Z této rovnice byl vypočten vektor F pomocí programu MATLAB. Program pro výpočet je v příloze 1.6. Tento vektor F byl získán pro délky l11 v rozmezí od 100 do 1200 mm, aby byla získána síla působící na motor v celém průběhu zdvihu. Velikost síly působící na trapézové šrouby odpovídá reakci Fex (viz. Obr. 1.5).



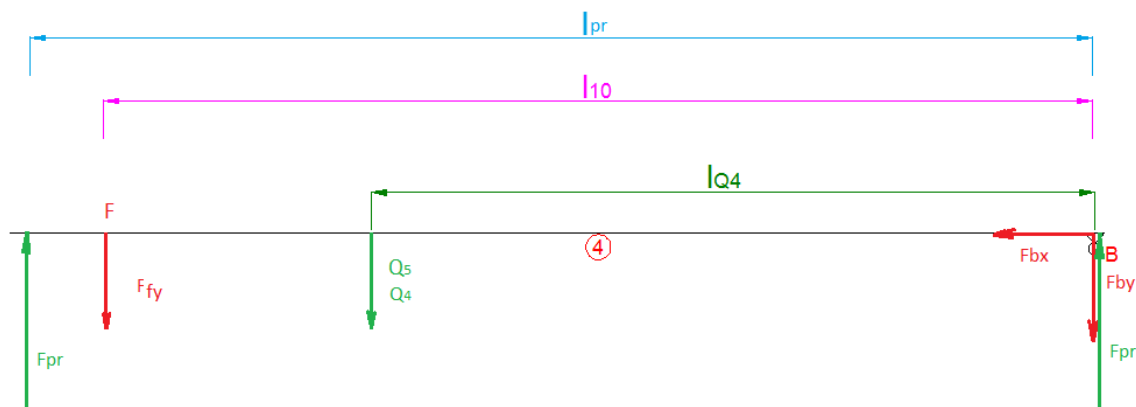
OBR. 1.5 SÍLA PŮSOBÍCÍ NA ŠROUBY.

### 1.5. Snížení síly pomocí pružin

Na grafu (Obr. 1.5) je patrné, že síla působící na šroub v rozsahu zdvihu 100-200 milimetrů se více jak zdvojnásobila. Jako možné řešení bylo uvažováno vyvážení plošiny pomocí čtyř pružin umístěných na rámu stojanu se zdvihem přibližně 100 milimetrů (viz. Obr. 1.6).



OBR. 1.6 VYVAŽOVÁNÍ POMOCÍ PRUŽIN



OBR. 1.7 UVOLNĚNÍ TĚLESA 4

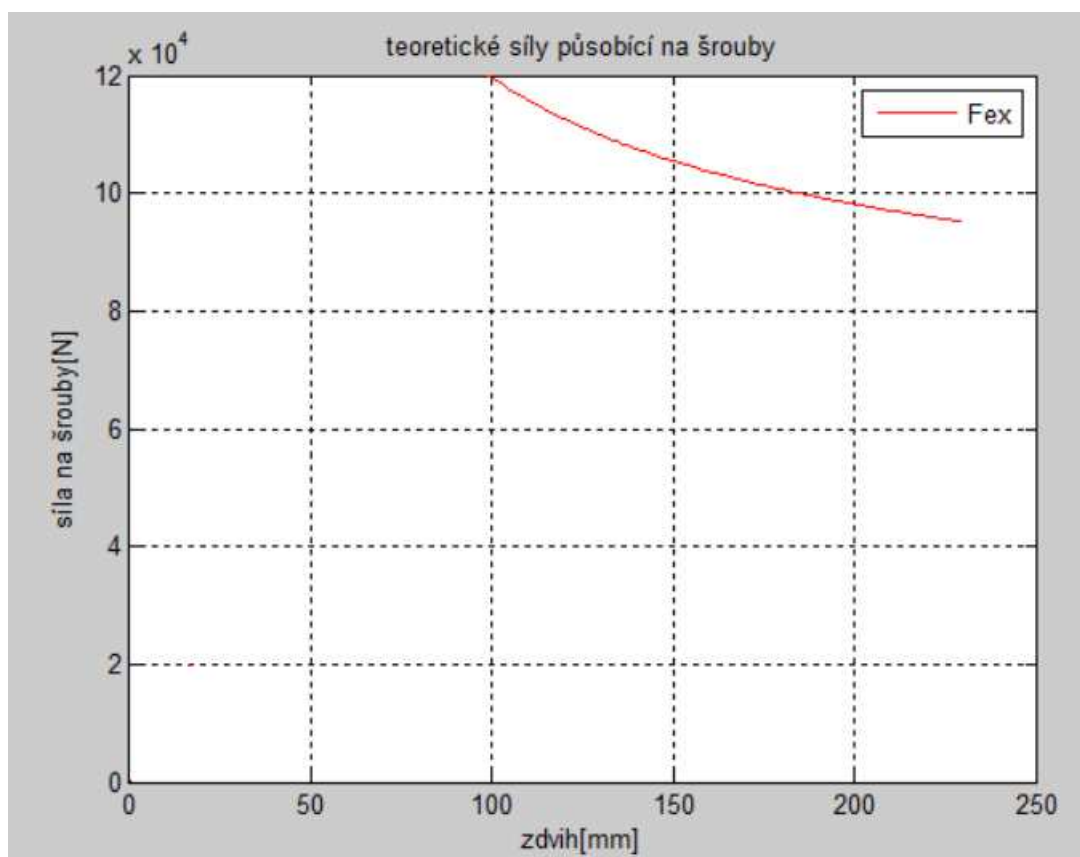
$$F_{pr} = F_n - k \cdot (l_{11} - l_n) \quad (1-11)$$

$$x: -F_{bx} = 0 \quad (1-12)$$

$$y: -F_{fy} - F_{by} - Q_4 + 4 \cdot F_{pr} = 0 \quad (1-13)$$

$$M_b: -F_{fy} \cdot l_{10} - Q_4 \cdot l_{q4} + 2 \cdot F_{pr} \cdot l_{pr} = 0 \quad (1-14)$$

Pro výpočet byly vybrány pružiny z katalogu firmy Hennlich [www.hennlich.cz]. Konkrétně Tlačná pružina 82/2/5 – 1.1200 d=6,3 De=46, l<sub>0</sub>=280. Pro kterou je F<sub>n</sub>=1876,5 N. Tato pružina vyhovovala vzhledem k velikosti zdvihu. V grafu (Obr. 1.8) jsou hodnoty velikosti síly působící na trapézové šrouby v rozmezí zdvihu pružiny. Při porovnání s grafem (XX). Je patrné dosažení výrazného snížení síly.

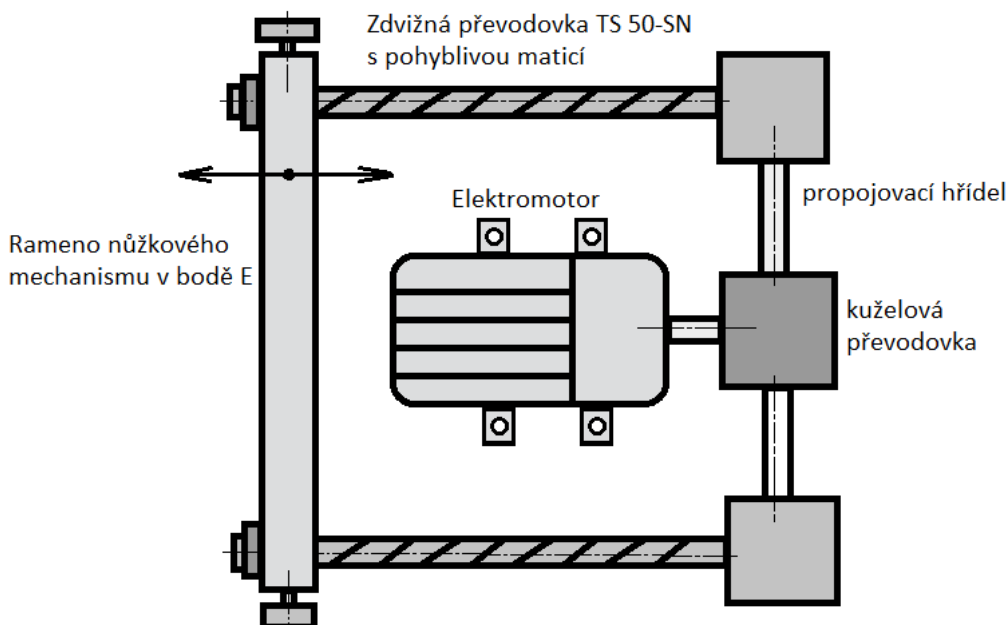


OBR. 1.8 GRAF SÍLY PŮSOBÍCÍ NA TRAPÉZOVÉ ŠROUBY PŘI VYVÁŽENÍ PRUŽINAMI

### 1.5.1. Výpočet převodu

Na základě získaných výsledků byl proveden výpočet převodu k získání výsledného výkonu motoru dle katalogu firmy T.E.A. Technik s.r.o. včetně výběru typu zdvižné převodovky [<http://www.teatechnik.cz/>] a propojovacích členů. Zamýšlené uspořádání viz. Obr. 1.9.





OBR. 1.9 SCHÉMA USPOŘÁDÁNÍ POHONU POMOCÍ TRAPÉZOVÝCH ŠROUBŮ

$$M_{Ge} = \frac{F \cdot P_{sp}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{Ge} \cdot \eta_{Sp} \cdot i} \quad (1-15)$$

$$P_{Ge} = n_{TSE} \cdot \frac{M_1 \cdot n}{9550} \quad (1-16)$$

$$P_1 = \frac{P_{Ge}}{(\eta_{Ku})^{nKu} \cdot (\eta_{Ke})^{nKe} \cdot (\eta_V)^{nv}} \quad (1-17)$$

Jako zdvižnou převodovku byl vybrán typ TSE 50. Pro maximální zdvižnou sílu 50 kN bylo předpokládáno, že vhodnou volbou vyvažovacích pružin bude tato hodnota dostatečná pro dvojici těchto převodovek.

TAB. 1 ZADANÉ HODNOTY PRO VÝPOČET MOTORU POHÁNĚJÍCÍ ŠROUB

zkratka	název	hodnota	jednotka
F	zdvihové zatížení dyn	50	kN
hge	účinnost zdvižné převodovky	0,87	
hsp	účinnost šroubu	0,4	
psp	stoupání šroubu	7	[mm]
i	převod zdvižné převodovky	7	
nke	počet kuželových převodovek	1	
hke	účinnost kuželové převodovky	0,97	
nku	počet spojek	4	
hku	účinnost spojky	0,99	
n	otáčky	1400	min-1
ntse	počet zdvižných převodovek	2	
nv	počet spojovacích hřídelí	2	
hv	účinnost spojovacího hřídele	0,98	

TAB. 2 VÝSLEDNÉ HODNOTY

vstupní kroutící moment	Mge	54,375	Nm
hnací výkon	Pge	15,94241	kW
efektivní hnací výkon	P1	17,81514	kW

### 1.5.2. Zhodnocení varianty trapézového šroubu

Silnou stránkou této varianty je to, že v horní poloze, ve které by měla být plošina nejčastěji používána, je na pohon kladena relativně malá síla. Bohužel kvůli silovému rozkladu ve spodní poloze zdvihu plošiny je naopak potřeba enormně velká síla, která proti původní variantě s hydromotory vyžaduje zdroj 5x výkonnější.

Motor od firmy siemens o výkonu 18 kW váží 140 kg [<http://www.elektromotory.net/>]. A se svými rozměry, kdy samotná osová délka činí 669 mm a průměr 363 mm, by byl obtížně zastavitelný do nůžkového stolu.

Z výše uvedených důvodů nebyla tato varianta vybrána jako optimální pro realizaci

## 1.6. Výpis programu pro výpočet statických sil pohybového šroubu

```
%výpočet statinematiky

clear all;
clc

%délky
l2=1500
l3=1500
l4=750
l5=750
l6=860
l7=32.5
l8=63.25
l9=215
R=26
ksi=0.03
ls=100

%vzdálenosti těžišť hmotností
lq2=580
lq3=730
lq4=950
%umístění hmotnosti na plošině
lq5=950
```

```

%úhly
epsilon=4.2/180*3,14 %matlab počítá v radiánech
gama=8.6/180*3,14

%konstantní síly
Q2=0 %110,84 kg je hmotnost z modelu bez drobných dílů.
Q3=0 %106,49 kg
Q4=15000 % Q4=15000 %28,87 kg
%Q5=14000 %500 kg plošina + 900

for l11=100:1250
% l11=100 %ladiení výšky
    alfa=asin(l11/13)
    l10=cos(alfa)*13

% matice A viz excel
A=[0 0 1 0 1 0 1 0 0
    0 0 0 1 0 1 0 1 0
    0 0 sin(alfa)*13 -cos(alfa)*13 sin(alfa)*15 -cos(alfa)*15 0
    0 0
    1 0 0 0 -1 0 0 0 0
    0 1 0 0 0 -1 0 0 1
    0 0 0 0 -sin(alfa)*14 -cos(alfa)*14 0 0 cos(alfa)*12
    0 0 -1 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 -1 0 0 0 0 -1
    0 0 0 0 0 0 0 0 -l10]

% vektor vnějších sil

Q=[0
    Q3
    -Q3*cos(alfa)*lq3
    0
    Q2
    Q2*cos(alfa)*lq2
    0
    Q4
    Q4*lq4] %c

%výpočet vektoru reakcí

F=A\Q

kontrola=Q4-F(2)-F(8)

mat(l11,:) = F;

```

```
Fex(111)=F(7)

end
save('tmp.txt','mat','-ascii');
type('tmp.txt')

for i=99:1249
    x(i+1)=i;
end

plot(x,Fex,'r')%,x,Fd,'b:',x,Fdy,'b-.',x,Fdx,'b--'
title('teoretické síly na Tr šrouby')
legend('Fex')
grid on
xlabel('zdvih[mm]')
ylabel('síla na Tr šrouby[N]')
```

## 1.7. Výpis programu pro výpočet statických sil pohybového šroubu pro vyvážení pružinami

```
%výpočet statické síly
%konstanty rozměrové mechanismu
%výpočet s odlehčením pružin
clear all;
clc

%délky
l2=1500
l3=1500
l4=750
l5=750
l6=860
l7=32.5
l8=63.25
l9=215
R=26
ksi=0.03
ls=100
%zvdálenosti těžišť hmotností
lq2=580
lq3=730
lq4=950
%umístění hmotnosti na plošině
lq5=950
% pruziny
```

```

lpr=1500
k=13,3 %katalog hannlich označení R
% lk0=      %nulová délka pružiny
% lkn=      %délka při plném zatížení při délce ln

Fn=1876,5 %síla vyvinutá pružinou při plném zatížení

%úhly
epsilon=4.2/180*3,14 %matlab počítá v radiánech
gama=8.6/180*3,14

%konstantní síly
Q2=0 %110,84 kg je hmotnost z modelu bez drobných dílů.
Q3=0 %106,49 kg
Q4=15000 % Q4=15000 %28,87 kg
%Q5=14000 %500 kg plošina + 900

for l11=100:231
% l11=231 %ladieni vysky
    alfa=asin(l11/l3)
    l10=cos(alfa)*l3
    %prizina
    Fpr=Fn-k*(l11-90)

% matice A viz excel
A=[0 0 1 0 1 0 1 0 0
    0 0 0 1 0 1 0 1 0
    0 0 sin(alfa)*l3 -cos(alfa)*l3 sin(alfa)*l5 -cos(alfa)*l5 0
    0 0
    1 0 0 0 -1 0 0 0 0
    0 1 0 0 0 -1 0 0 1
    0 0 0 0 -sin(alfa)*l4 -cos(alfa)*l4 0 0 cos(alfa)*l2
    0 0 -1 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 -1 0 0 0 0 -1
    0 0 0 0 0 0 0 0 -l10]

% vektor vnějších sil

Q=[0
    Q3
    -Q3*cos(alfa)*lq3
    0
    Q2
    Q2*cos(alfa)*lq2
    0
    Q4-4*Fpr
    Q4*lq4-2*Fpr*lpr] %c

%výpočet vektoru reakcí

```

```
F=A\Q

kontrola=Q4-F(2)-F(8)

mat(111,:) = F;
Fex(111)=F(7)

end
save('tmp.txt','mat','-ascii');
type('tmp.txt')

for i=99:230
    x(i+1)=i;
end

plot(x,Fex,'r')%,x,Fd,'b:',x,Fdy,'b-.',x,Fdx,'b--'
title('teoretické síly působící na šrouby')
legend('Fex')
grid on
xlabel('zdvih[mm]')
ylabel('síla na šrouby[N]')
```

## 2. Příloha- Výpočet pohonu s řetězem LL 30

Výpočet byl proveden dle katalogu [<http://www.serapid.com/>] Výrobce uvádí pro typ LL30 statickou nosnost 20 kN do 1,9 m zdvihu (dynamické zatížení 10 kN).

TAB. 3 PARAMETRY ŘETĚZU LL30

parametr řetězu LL30	zkratka	velikost	jednotka
jmenovitá rychlost zdvihu	$V \cdot 1000/60$	200	mm/s
účinnost mechanismu	$\eta$	80	%
vzdálenost čepů	$p$	30	mm
poloměr řetězky		30	mm
minimální výška		190	mm
hmotnost řetězu		15	kg/m
hmotnost krytu řetězu		8	kg

Zdvihová rychlost  $V$  byla snížena na 120 mm/s a zatížení na jeden řetěz bylo zvoleno 750 kg. To znamená, že  $F_s$  byla zvolena 7500 N. Na základě rovnice ( 2-1 ) byly vypočteny otáčky na vstupním hřídeli řetěz.

$$N = \frac{V}{2\pi \cdot p \cdot 10^{-3}} [\text{ot}/\text{min}] \quad (2-1)$$

Dle rovnice ( 2-2 ) byl vypočten potřebný kroutící moment na jeden řetěz. Následně pomocí rovnice ( 2-3 ) byl vypočten potřebný výkon na jeden řetěz.

$$M = \frac{(\max(F_s) + P_c) \cdot p \cdot 10^{-3}}{\eta} [\text{kW}] \quad (2-2)$$

$$P = \frac{M \cdot N \cdot \pi \cdot 10^{-3}}{30} [\text{kW}] \quad (2-3)$$

Vypočtené hodnoty pomocí programu excel viz.Tab. 4 výsledné požadované vstupní hodnoty na jeden řetěz LL30. Hodnoty požadovaného vstupního výkonu a momentu byly pro volbu motoru zdvojnásobeny, protože oba řetězy budou poháněny pouze jedním motorem.

TAB. 4 VÝSLEDNÉ POŽADOVANÉ VSTUPNÍ HODNOTY NA JEDEN ŘETĚZ LL30

název	zkratka	hodnota	jednotka
vstupní otáčky	N	38,2	ot/min
vstupní moment	M	281,3	Nm
vstupní výkon	P	1,1	kW

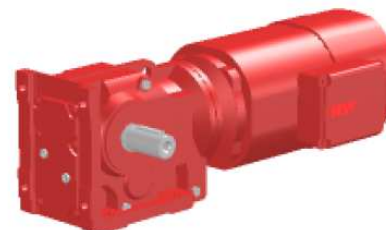
K výběru motoru a převodovky byl použit on-line generátor firmy SEW, která patří k tradičním výrobcům. Pomocí něho byl vybrán čtyřpólový asynchronní motor opatřený brzdou a doplněný o kuželočelní převodovku. Motor byl vybrán o výkonu 2,2 kW, kdy výstupní kroutící moment je 565 Nm při 37 otáčkách za minutu. Kompletní parametry pohonu viz. Obr. 2.1. Model varianty Obr. 2.2.



## Product information



AC gearmotor

**K57DRE100M4BE5**

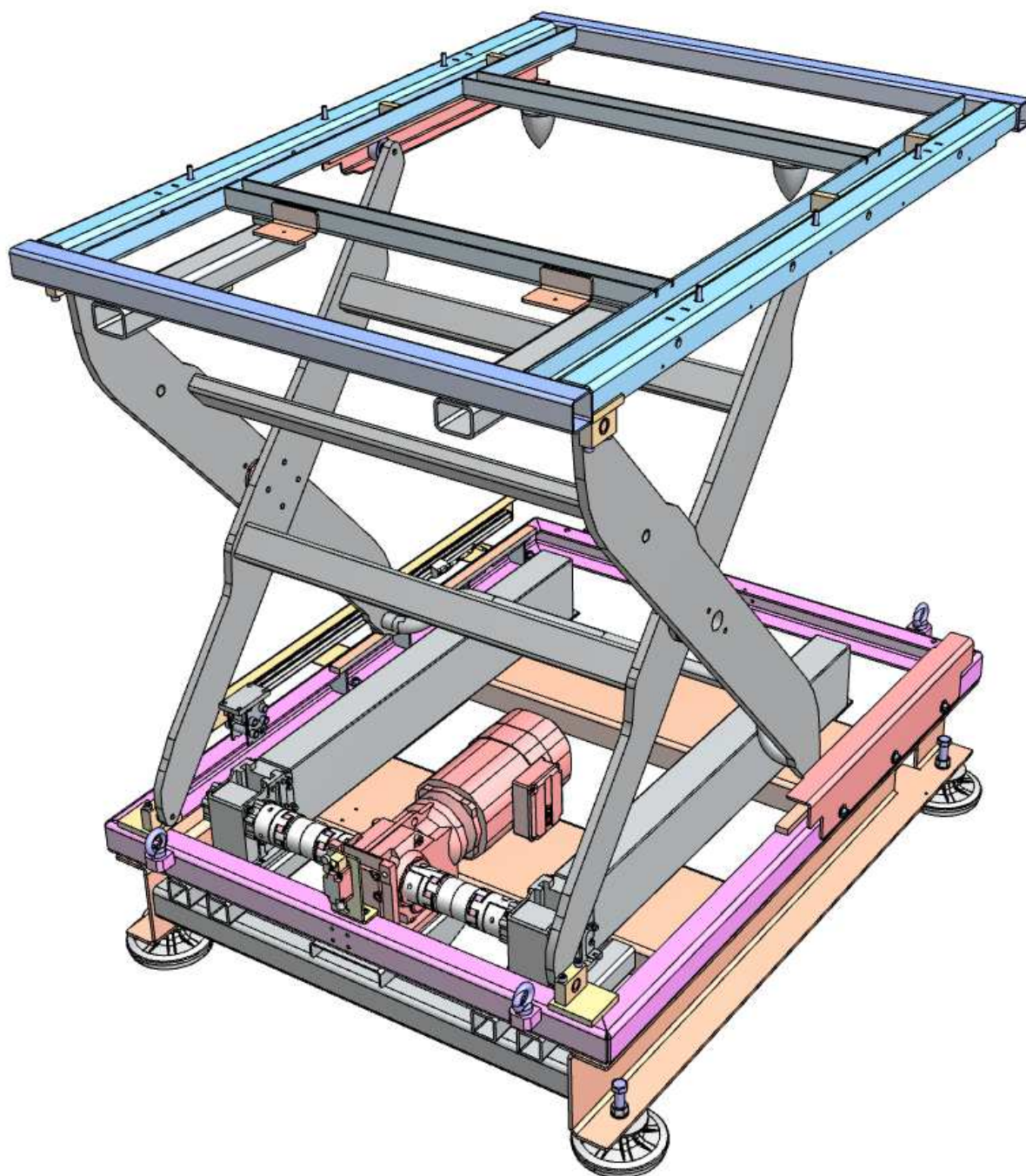
Rated motor speed	[1/min] : 1425
Output speed	[1/min] : 37
Overall gear ratio	: 38,49
Output torque	[Nm] : 565
Service factor SEW-FB	: 1,05
input mounting position/IM	: M1A
Prime / top coat	: 7031 Blue Grey (20070310)
Position of connector/terminal box	[°] : 0
Cable entry/connector position	: X
Output shaft	[mm] : 35x70
Permitted output overhung load with n=1400	[N] : 7900
Lubricant quantity 1st gear unit	[Liter] : 1,5
Motor power	[kW] : 2,2
Duration factor	: S1-100%
Efficiency class	: IE2
Efficiency (50/75/100% P <sub>n</sub> )	[%] : 86,3 / 86,7 / 85,4
CE mark	: Yes
Motor voltage	[V] : 230/400
Wiring diagram	: R13
Frequency	[Hz] : 50
Rated current	[A] : 8 / 4,6
Cos Phi	: 0,80
Thermal class	: 130(B)
Motor protection type	: IP54
Design requirement	: IEC
Net weight	[Kg] : 55
Braking torque	[Nm] : 55
Brake voltage	[V] : 230

**Additional feature and Options:**

BE5- SEW - disk brake

BGE- Electronic brake actuation 230 V or 400 V

OBR. 2.1 KATALOGOVÝ LIST K57DRE100M4BE5



*OBR. 2.2 KONCEPT SE DVĚMA ŘETĚZY LL30*

### 3. Příloha – Měření tlaku - hodnoty

Měření 1 zatíženo			
výška od země [cm]	naměřený tlak [bar]	výška mezi čepy [mm]	zátěžová síla na hydromotory [N]
198	176	1278	109671
171,5	146	1013	90977
143,7	136	735	84746
116	145	458	90354
88,5	172	183	107179
81,8	11	116	6854

Měření 2 zatíženo			
výška od země [cm]	naměřený tlak [bar]	výška mezi čepy [mm]	zátěžová síla na hydromotory [N]
198	182	1278	113410
170,6	143,4	1004	89357
143	136,8	728	85245
116,7	144	465	89731
87	175	168	109048
82	24	118	14955

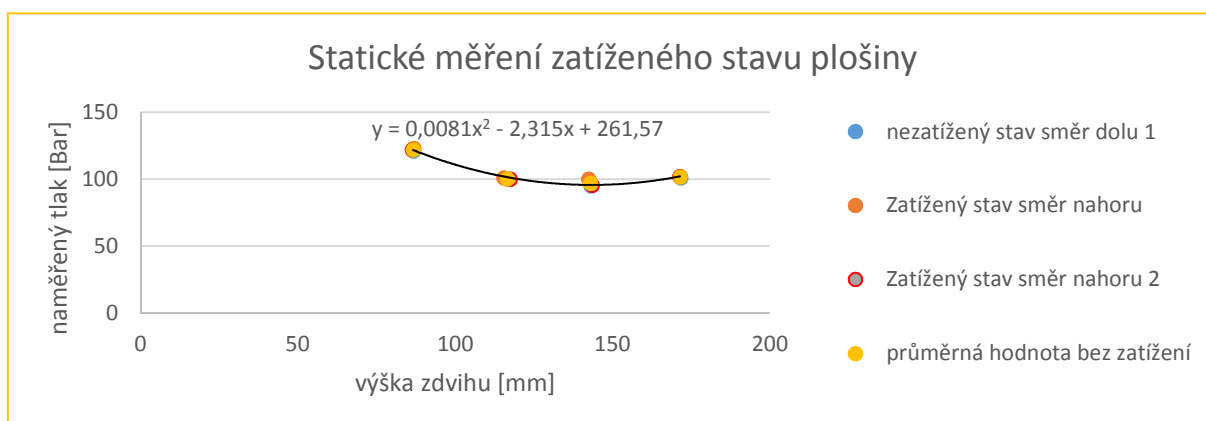
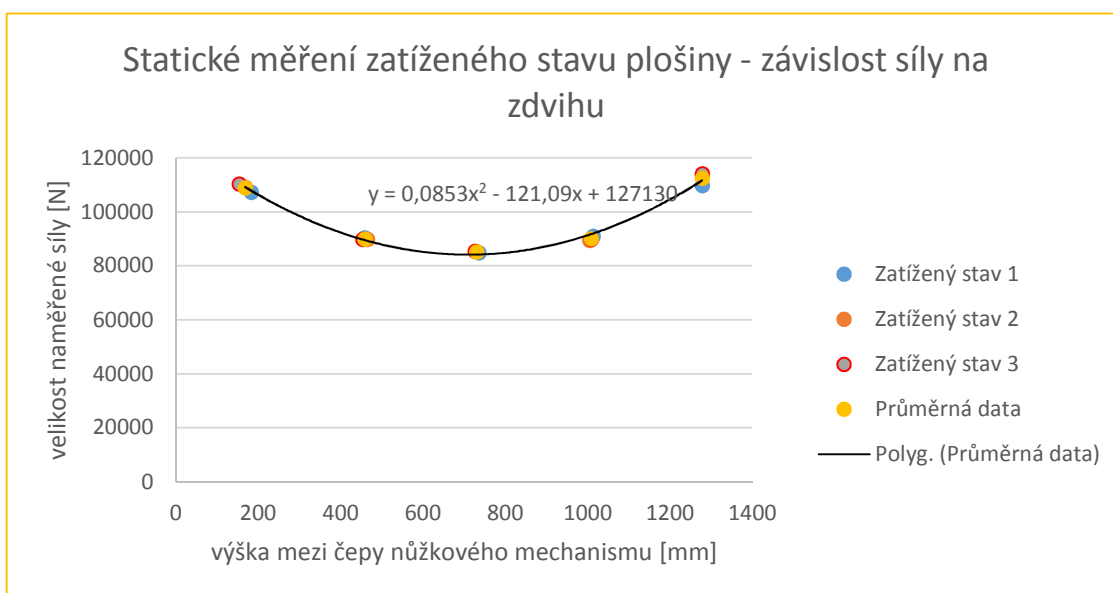
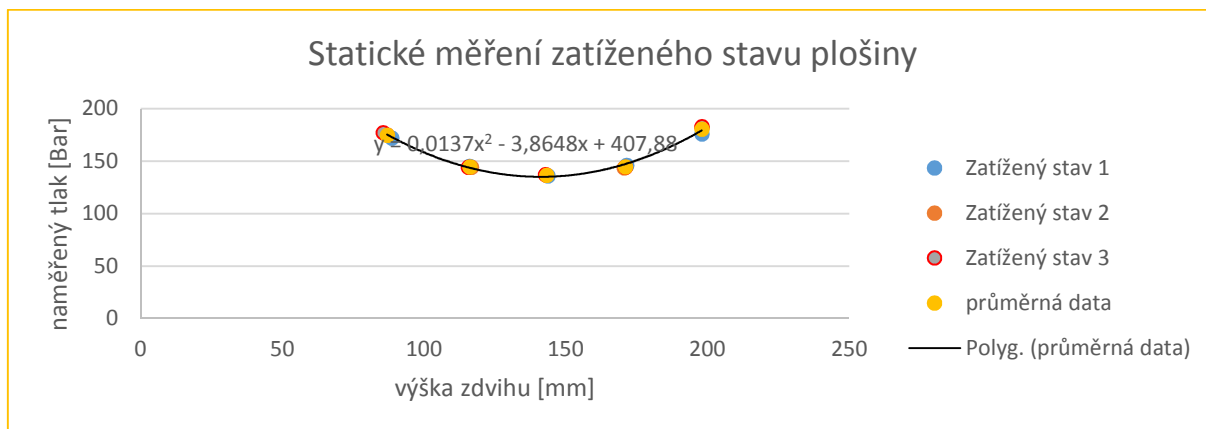
vyprůměrované hodnoty měření zatíženo			
výška od země [cm]	naměřený tlak [bar]	výška mezi čepy [mm]	Vypočtená průměrná síla zátěžová síla na hydromotory [N]
198	180	1278	112372
171	144	1008	90022
143	137	730	85120
116	144	459	89939
87	175	168	108841
82	19	117	11632

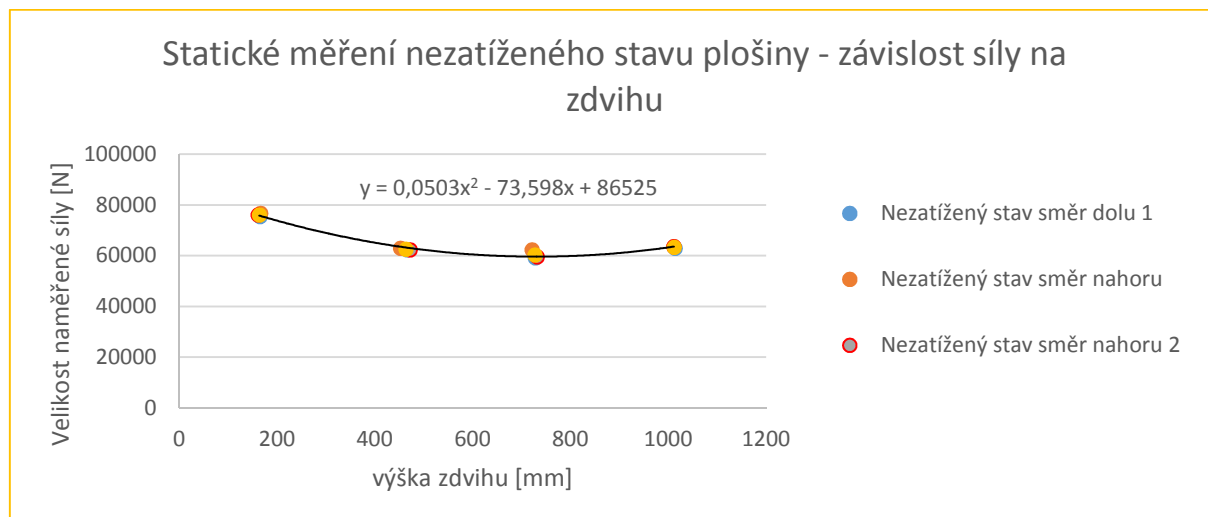
Měření 1 bez zatížení - dolu			
výška od země [cm]	naměřený tlak [bar]	výška mezi čepy [mm]	zátěžová síla na hydromotory [N]
199	153	1288	95339
171,6	101	1014	62936
143	95	728	59198
116,8	100	466	62313
86,7	121	165	75399
82,3	13	121	8101

Měření 2 bez zatížení - nahoru			
výška od země [cm]	naměřený tlak [bar]	výška mezi čepy [mm]	zátěžová síla na hydromotory [N]
199	158	1288	98455
171,3	102	1011	63560
142,3	100	721	62313
115,4	101	452	62936
86,8	123	166	76645
			0

Měření 3 bez zatížení - dolu			
výška od země [cm]	naměřený tlak [bar]	výška mezi čepy [mm]	zátěžová síla na hydromotory [N]
			0
171,3	102	1011	63560
143,4	95,5	732	59509
117,4	100	472	62313
86,3	122	161	76022
82,3	13	121	8101

vyprůměrované hodnoty měření nezatíženo			
výška od země [cm]	naměřený tlak [bar]	výška mezi čepy [mm]	Vypočtená průměrná síla zátěžová síla na hydromotory [N]
199	156	1288	48 449
171,4	102	1012	63 352
142,9	97	727	60 340
116,5	100	463,3	62 521
86,6	122	164	76 022
82,3	13	121	4 050





## 4. Příhloha – Katalogový list motoru a převodovky K67DRE132S4BE5

### Product information



AC gearmotor

**K67DRE132S4BE5**



Rated motor speed	[1/min] : 1460
Output speed	[1/min] : 48
Overall gear ratio	: 30,22
Output torque	[Nm] : 790
Service factor SEW-FB	: 1,05
input mounting position/IM	: M1A
Prime / top coat	: 7031 Blue Grey (20070310)
Position of connector/terminal box	[°] : 0
Cable entry/connector position	: 3
Output shaft	[mm] : 40x80
Permitted output overhung load with n=1400	[N] : 10600
Lubricant quantity 1st gear unit	[Liter] : 1,5
Motor power	[kW] : 4
Duration factor	: S1-100%
Efficiency class	: IE2
Efficiency (50/75/100% Pn)	[%] : 87,6 / 88,2 / 87,4
CE mark	: Yes
Motor voltage	[V] : 230/400
Wiring diagram	: R13
Frequency	[Hz] : 50
Rated current	[A] : 13,9 / 8
Cos Phi	: 0,82
Thermal class	: 130(B)
Motor protection type	: IP54
Design requirement	: IEC
Net weight	[Kg] : 82,9
Braking torque	[Nm] : 55
Brake voltage	[V] : 230

#### Additional feature and Options:

BE5- SEW - disk brake

BGE- Electronic brake actuation 230 V or 400 V

## 5. Příloha – Program výpočtu statiky a kinematiky pohonu dvojicí hydromotorů

```
%výpočet kinematiky
%konstanty rozměrové mechanismu

clear all;
clc

%délky
l2=1500
l3=1500
l4=750
l5=750
l6=860
l7=32.5
l8=63.25
l9=215
R=26
ksi=0.03

%vzdálenosti těžišť hmotností
lq2=580
lq3=730
lq4=750
lqp=250 %těžiště motoru
%umístění hmotnosti na plošině
lq5=750

%úhly
epsilon=4.2/180*pi %matlab počítá v radiánech
gama=8.6/180*pi

%konstantní síly
Q2=1108.4 %110,84 kg je hmotnost z modelu bez drobných dílů.
Q3=1064.9 %106,49 kg
Q4=288.7 %28,87 kg
Q5=4100 + 3000 +1000 %500 kg plošina + 900
Qp=280

%výpočet úhlů beta a délky lp

% konstanty pro výpočet bety vektorovou metorou
v1=15
v2=859.35-750 % odmereno z modelu
v3=18

v5=17
```



```

v6=19
for l11=1:1278
% l11=1200 %ladeni vysky
    alfa=asin(l11/13)
    l10=cos(alfa)*13

    alfa1=alfa
    alfa2=(pi-alfa)
    alfa3=(pi/2-alfa)
    alfa5=alfa+pi/2
    alfa6=pi+alfa

%určení beta a Lp.

alfa4=acot((v1*cos(alfa1)+v2*cos(alfa2)+v3*cos(alfa3)+v5*cos(alfa5)+v6*cos(alfa6))/(v1*sin(alfa1)+v2*sin(alfa2)+v3*sin(alfa3)+v5*sin(alfa5)+v6*sin(alfa6)))
    v4=-
(v1*sin(alfa1)+v2*sin(alfa2)+v3*sin(alfa3)+v5*sin(alfa5)+v6*sin(alfa6))/sin(alfa4)
    beta=alfa4
    lp=abs(v4)

%matice A
    A=[0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 0
        0 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1
        0 0 sin(alfa)*13 -cos(alfa)*13 sin(alfa)*15 -
cos(alfa)*15 0 0 0 0 sin(alfa-gama)/cos(gama)*19 -cos(alfa-gama)/cos(gama)*19
        1 0 0 0 -1 0 1 0 0 0 0 0
        0 1 0 0 0 -1 0 1 0 1 0 0
        0 0 0 0 -sin(alfa)*14 -cos(alfa)*14
sin(alfa+epsilon)/cos(epsilon)*16
cos(alfa+epsilon)/cos(epsilon)*16 0 cos(alfa)*12 0 0
        0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
        0 0 0 -1 0 0 0 0 0 -1 0 0
        0 0 0 0 0 0 0 0 0 -110 0 0
        0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 -1 0
        0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 -1
        0 0 0 0 0 0 -sin(beta)*lp cos(beta)*lp 0 0 0 0]

% vektor vnějších sil

Q=[0
    Q3
    -Q3*cos(alfa)*lq3
    0
    Q2
    Q2*cos(alfa)*lq2

```

```

0
Q4+Q5
Q4*lq4+Q5*lq5
0
Qp %na tomto řádku bude Qp - hmotnost pohonu.
-Qp*lp*cos(beta)] %c

%výpočet vektoru reakcí

F=A\Q

kontrola=Q4+Qp+Q3+Q2+Q5-F(2)-F(9)
%   vezmu poslední dvě reakcí Fk, které jsou pro mě silou
působící na motor a
%   Fm=sqrt(F(11)*F(11)+F(12)*F(12))

kontrola=v1*sin(alfa1)+v2*sin(alfa2)+v3*sin(alfa3)+v4*sin(alfa
4)+v5*sin(alfa5)+v6*sin(alfa6)

mat(l11,:) = F;
Fky(l11)=F(12)
Fkx(l11)=F(11)
Fk(l11)=sqrt(F(11)*F(11)+F(12)*F(12))
Fdy(l11)=F(7)
Fdx(l11)=F(8)
Fd(l11)=sqrt(F(7)*F(7)+F(8)*F(8))
p(l11)=Fk(l11)/623.133 %plocha 2 pistu * 10 pro prevedeni na
bary

end
save('tmp.txt','mat','-ascii');
type('tmp.txt')

for i=0:1277
    x(i+1)=i;
end
% plot(x,p,'r')
% title('teoretický tlak v obvodě')
% legend('P')
% grid on
% xlabel('zdvih[mm]')
% ylabel('tlak [Bar]')

plot(x,Fk,'r',x,Fky,'r-.',x,Fkx,'r--',x,Fd,'b:',x,Fdy,'b-
.',x,Fdx,'b--')% ,x,Fd,'b:',x,Fdy,'b-.',x,Fdx,'b--'
title('teoretické síly na motor')
legend('Fk','Fky','Fkx','Fd','Fdy','Fdx')
grid on
xlabel('zdvih[mm]')
ylabel('síla na motor[N]')

```

## 6. Příloha - Program výpočtu reakčních sil u pohonu tlačným řetězem

```
%výpočet statiky
clear all;
clc

%délky
ls=300 %ls=1500/2
l2=1500
l3=1500
l4=750
l5=750
l6=860
l7=32.5
l8=63.25
l9=215
R=26
ksi=0.03
lr=1500-150 %umístění tlačného řetězu

%vzdálenosti těžišť hmotností
lq2=580
lq3=730
lq4=750
%umístění hmotnosti na plošině
lq5=750

%úhly
epsilon=4.2/180*pi %matlab počítá v radiánech
gama=8.6/180*pi

%konstantní síly
Q2=0 %110,84 kg je hmotnost z modelu bez drobných dílů.
Q3=0 %106,49 kg
Q4=15000 % Q4=15000 %28,87 kg
%Q5=14000 %500 kg plošina + 900

for l11=100:1250
%l11=100 %ladeni vysky
    alfa=asin(l11/l3)
    l10=cos(alfa)*l3
% matice A
A=[0 0 1 0 1 0 0 0 0
    0 0 0 1 0 1 0 1 0
    0 0 sin(alfa)*l3 -cos(alfa)*l3 sin(alfa)*l5 -cos(alfa)*l5 0
    0 0
    1 0 0 0 -1 0 0 0 0
    0 1 0 0 0 -1 0 0 1
    0 0 0 0 -sin(alfa)*l4 -cos(alfa)*l4 0 0 cos(alfa)*l2
```

```

0 0 -1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 -1 0 0 1 0 -1
0 0 0 0 0 0 lr 0 -l10]

% vektor vnějších sil
Q=[0
  Q3
  -Q3*cos(alfa)*lq3
  0
  Q2
  Q2*cos(alfa)*lq2
  0
  Q4
  Q4*lq4] %c

%výpočet vektoru reakcí
F=A\Q
kontrola=Q4-F(2)-F(8)-F(7)

mat(l11,:) = F;
Fax(l11)=F(1)
Fay(l11)=F(2)
Fbx(l11)=F(3)
Fby(l11)=F(4)
Fcx(l11)=F(5)
Fcy(l11)=F(6)
Fr(l11)=F(7)
Fey(l11)=F(8)
Ffy(l11)=F(9)
end
save('tmp.txt','mat','-ascii');
type('tmp.txt')

for i=99:1249
  x(i+1)=i;
end

plot(x,Fr,'g',x,Fax,'b:',x,Fay,'b-.',x,Fbx,'b--',x,Fby,'b',x,Fcx,'r:',x,Fcy,'r-.',x,Fey,'r--',x,Ffy,'r')
title('teoretické síly na řetěz')
legend('Fr','Fax','Fay','Fbx','Fby','Fcx','Fcy','Fey','Ffy')
grid on
xlabel('zdvih[mm]')
ylabel('síla na řetěz[N]')

% plot(x,Fex,'r')%x,Fd,'b:',x,Fdy,'b-.',x,Fdx,'b--'
% title('teoretické síly na řetezy')
% legend('Fr')
% grid on
% xlabel('zdvih[mm]')
% ylabel('síla na řetězy[N]')

```

## 7. Příloha – výpočet pohybového šroubu

%výpočet statiky

```
clear all;
clc

%délky
l2=1500
l3=1500
l4=750
l5=750
l6=860
l7=32.5
l8=63.25
l9=215
R=26
ksi=0.03
ls=100
%vzdálenosti těžišť hmotností
lq2=580
lq3=730
lq4=950
%umístění hmotnosti na plošině
lq5=950

%úhly
epsilon=4.2/180*3,14 %matlab počítá v radiánech
gama=8.6/180*3,14

%konstantní síly
Q2=0 %110,84 kg je hmotnost z modelu bez drobných dílů.
Q3=0 %106,49 kg
Q4=15000 % Q4=15000 %28,87 kg
%Q5=14000 %500 kg plošina + 900

for l11=100:1250
% l11=100 %ladiení vysky
    alfa=asin(l11/l3)
    l10=cos(alfa)*l3

% matice A viz excel
A=[0 0 1 0 1 0 1 0 0
    0 0 0 1 0 1 0 1 0
    0 0 sin(alfa)*l3 -cos(alfa)*l3 sin(alfa)*l5 -cos(alfa)*l5 0
    0 0
    1 0 0 0 -1 0 0 0 0
```

```
0 1 0 0 0 -1 0 0 1
0 0 0 0 -sin(alfa)*l4 -cos(alfa)*l4 0 0 cos(alfa)*l2
0 0 -1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 -1 0 0 0 0 -1
0 0 0 0 0 0 0 0 -l10]

% vektor vnějších sil

Q=[0
    Q3
    -Q3*cos(alfa)*lq3
    0
    Q2
    Q2*cos(alfa)*lq2
    0
    Q4
    Q4*lq4] %c

%výpočet vektoru reakcí

F=A\Q

kontrola=Q4-F(2)-F(8)

mat(l11,:) = F;
Fex(l11)=F(7)

end
save('tmp.txt','mat','-ascii');
type('tmp.txt')

for i=99:1249
    x(i+1)=i;
end

plot(x,Fex,'r')%,x,Fd,'b:',x,Fdy,'b-.',x,Fdx,'b--'
title('teoretické síly na Tr šrouby')
legend('Fex')
grid on
xlabel('zdvih[mm]')
ylabel('síla na Tr šrouby[N]')
```

## 8. Příloha – výpočet pohybového šroubu s vyvážením

```
%výpočet kinematiky
clear all;
clc

%délky
l2=1500
l3=1500
l4=750
l5=750
l6=860
l7=32.5
l8=63.25
l9=215
R=26
ksi=0.03
ls=100
%vzdálenosti těžišť hmotností
lq2=580
lq3=730
lq4=950
%umístění hmotnosti na plošině
lq5=950
% pružiny
lpr=1500
k=13,3 %katalog hannlich označení R
% lk0=      %nulová délka pružiny
% lkn=      %délka při plném zatížení při délce ln

Fn=1876,5 %síla vyvinutá pružinou při plném zatížení

%úhly
epsilon=4.2/180*3,14 %matlab počítá v radiánech
gama=8.6/180*3,14

%konstantní síly
Q2=0 %110,84 kg je hmotnost z modelu bez drobných dílů.
Q3=0 %106,49 kg
Q4=15000 % Q4=15000 %28,87 kg
%Q5=14000 %500 kg plošina + 900

for l11=100:231
% l11=231 %ladiení vysky
    alfa=asin(l11/l3)
    l10=cos(alfa)*l3
    %prizina
    Fpr=Fn-k*(l11-90)
```

```

% matice A viz excel
A=[0 0 1 0 1 0 1 0 0
    0 0 0 1 0 1 0 1 0
    0 0 sin(alfa)*l3 -cos(alfa)*l3 sin(alfa)*l5 -cos(alfa)*l5 0
0 0
    1 0 0 0 -1 0 0 0 0
    0 1 0 0 0 -1 0 0 1
    0 0 0 0 -sin(alfa)*l4 -cos(alfa)*l4 0 0 cos(alfa)*l2
    0 0 -1 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 -1 0 0 0 0 -1
    0 0 0 0 0 0 0 0 -l10]

% vektor vnějších sil

Q=[0
    Q3
    -Q3*cos(alfa)*lq3
    0
    Q2
    Q2*cos(alfa)*lq2
    0
    Q4-4*Fpr
    Q4*lq4-2*Fpr*lpr] %c

%výpočet vektoru reakcí

F=A\Q

kontrola=Q4-F(2)-F(8)

mat(l11,:) = F;
Fex(l11)=F(7)

end
save('tmp.txt','mat','-ascii');
type('tmp.txt')

for i=99:230
    x(i+1)=i;
end

plot(x,Fex,'r')%,x,Fd,'b:',x,Fdy,'b-.',x,Fdx,'b--'
title('teoretické síly působící na šrouby')
legend('Fex')
grid on
xlabel('zdvih[mm]')
ylabel('síla na šrouby[N]')

```