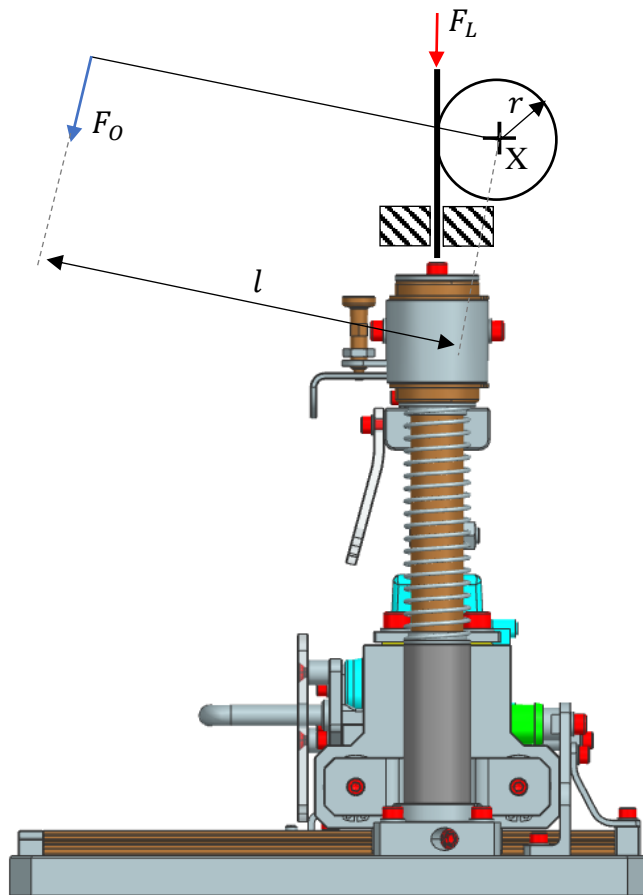


## **PŘÍLOHA č. 1**

**Zjednodušený silový rozklad na horizontální vedení podstavce,  
zjednodušený silový rozklad na lineární vedení výsuvu podstavce,  
pevnostní ověření a výpočet utahovacího momentu pro zvolenou  
předepínací sílu vybraných šroubů použitých v navrženém  
zařízení**

## Zjednodušený silový rozklad na horizontální vedení podstavce

Prvním vstupem jsou základní parametry ručního lisu a dovolená síla obsluhy na ruční páku lisu plynoucí z předpisů zadavatele této kvalifikační práce.



Dovolená síla obsluhy na ruční páku:

$$F_O = 216 \text{ N}$$

Délka ruční páky:

$$l = 400 \text{ mm}$$

Poloměr pastorku ručního lisu:

$$r = 25 \text{ mm}$$

Moment k bodu X:

$$F_O * l + F_{L-1} * r = 0$$

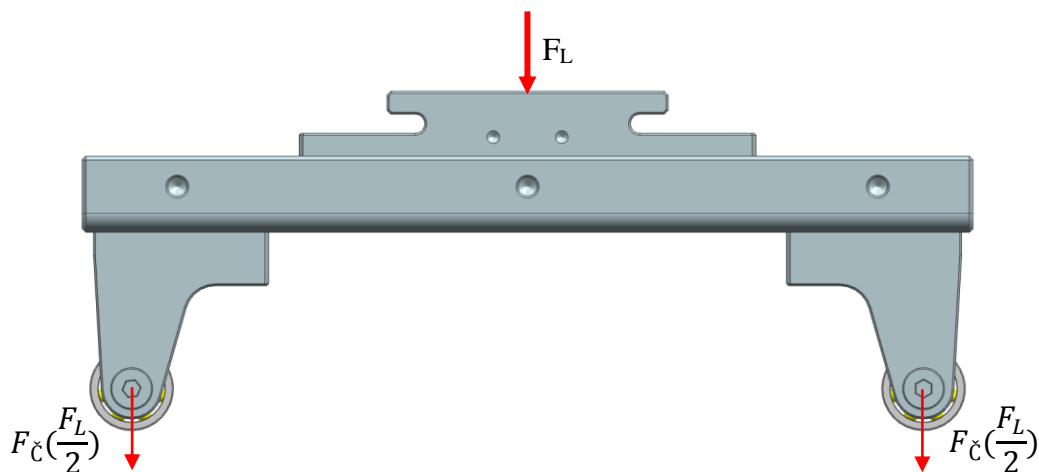
pozn.  $F_{L-1}$  je síla zachycující moment od síly  $F_O$  na stejné nositelce jako  $F_L$ , pro kterou platí  $F_{L-1} = -F_L$

Po úpravě - výstupní síla lisu:

$$F_L = \frac{F_O * l}{r} = 3456 \text{ N}$$

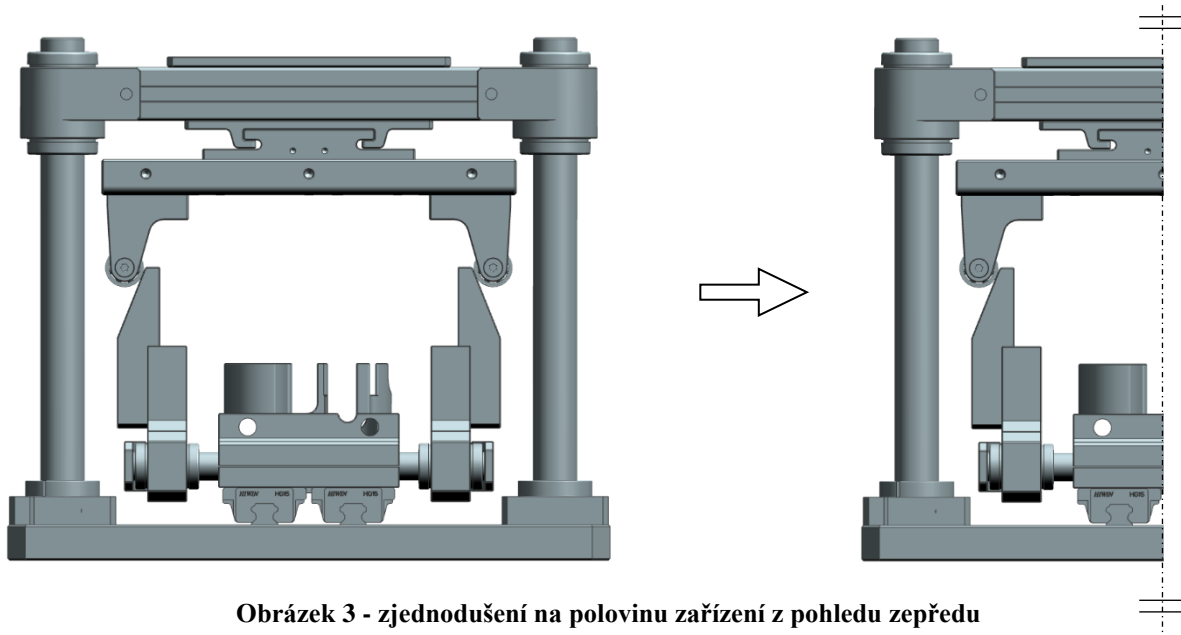
Obrázek 1 – silové působení obsluhy a výstupu z lisu

Při uvažování dokonale pevné horní části dělicího nástroje se rozdělí vstupní síla lisu přesně na polovinu na každý z čepů ložisek ve stejném směru původní síly.



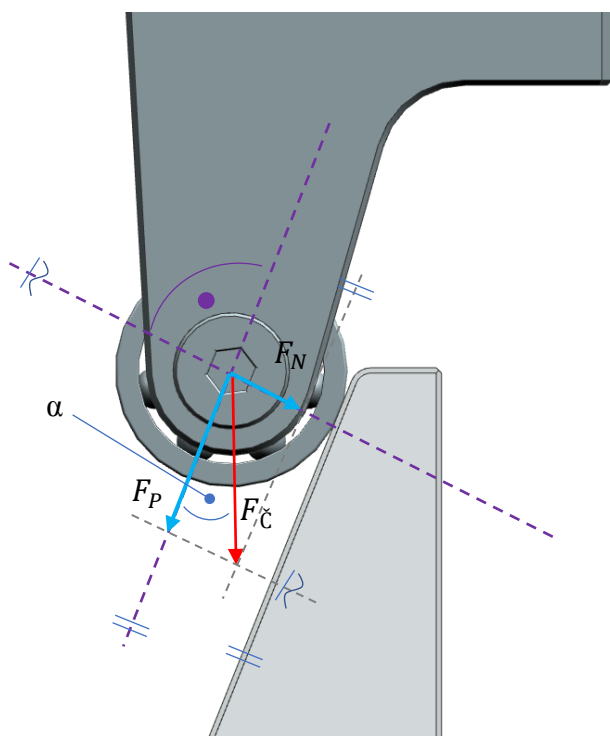
Obrázek 2 - rozdělení síly na uvažované tuhé desce dělicího nástroje

Dále je celé zařízení zjednodušeno na polovinu díky jeho symetrii a symetrickému zatížení v případě dělicího nástavce.



Obrázek 3 - zjednodušení na polovinu zařízení z pohledu zepředu

Silový rozklad na čepu ložiska a komponentě s nakloněnou rovinou bude vypadat poté následovně:



Výstupní síla lisu:

$$F_L = 3456 \text{ N}$$

Úhel nakloněné roviny:

$$\alpha \doteq 21,8^\circ$$

Svislá síla na čepu:

$$F_{\check{c}} = \frac{F_L}{2} = 1728 \text{ N}$$

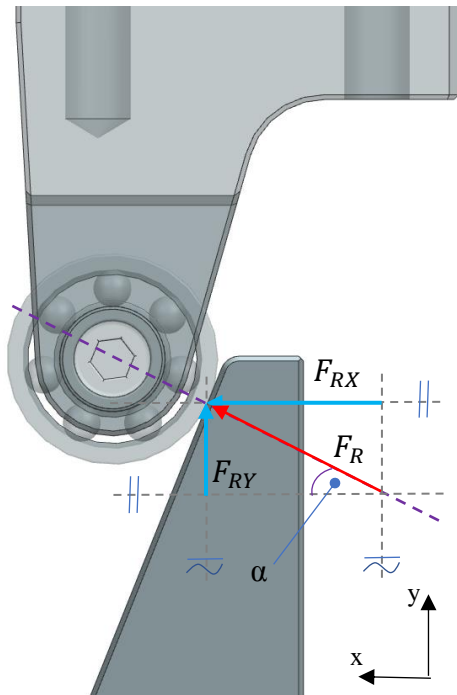
Normálová složka (svislé síly působící kolmo na nakloněnou rovinu):

$$F_N = F_L * \sin(\alpha) \doteq 642 \text{ N}$$

Složka síly rovnoběžné (s nakloněnou rovinou):

$$F_P = F_L * \cos(\alpha) \doteq 1604 \text{ N}$$

Obrázek 4 - silový rozklad na čepu ložiska



Reakční síla nakloněné desky na sílu  $F_N$ :

$$F_R = F_N = 642 \text{ N}$$

Složka reakční složky ve směru x:

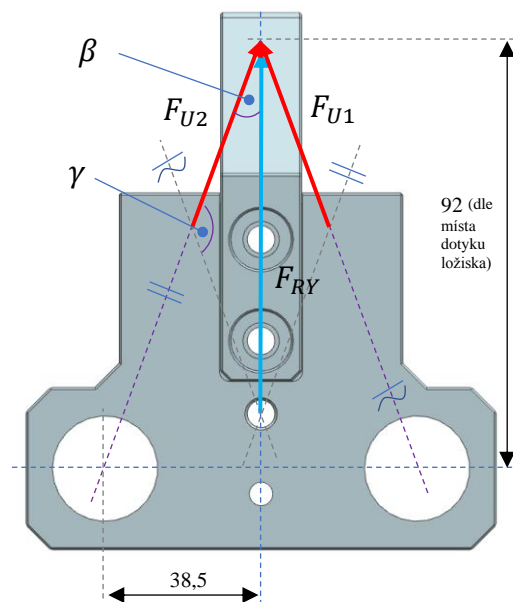
$$F_{RX} = F_R * \cos(\alpha) \doteq 596 \text{ N}$$

Složka reakční složky ve směru y:

$$F_{RY} = F_R * \sin(\alpha) \doteq 238 \text{ N}$$

Obrázek 5 - silový rozklad na komponentě nakloněné roviny

A rozklad na samotné sestavě jezdce s nakloněnou rovinou (po zjednodušení na rovinou úlohu a zanedbání klopného momentu – dále ověřeno pomocí MKP):



Proměnný úhel  $\beta$  (závislý na místě dotyku ložiska):

$$\arctg(\beta) = \frac{38,5}{92} \doteq 22,7^\circ$$

Proměnný úhel  $\gamma$  (závislý na místě dotyku ložiska):

$$\gamma = 180^\circ - 2 * \beta \doteq 134,6^\circ$$

Orientační reakční síla vedení:

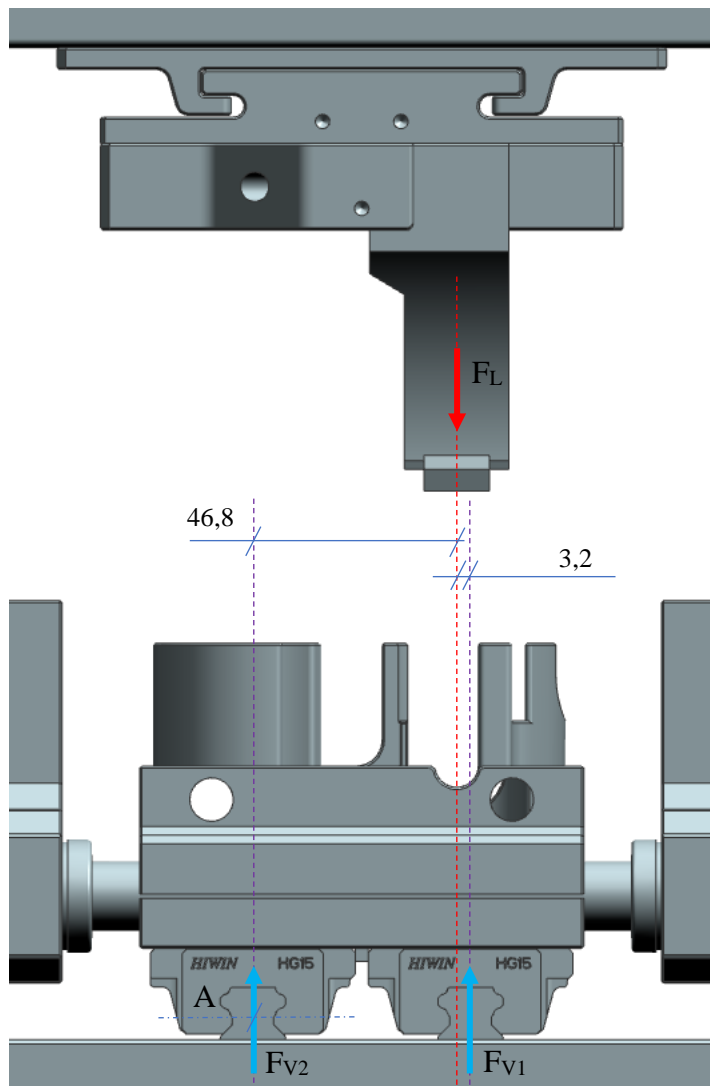
$$F_{U1}, F_{U2} = \sin(\beta) * \left( \frac{F_{RY}}{\sin(\gamma)} \right) \doteq 129 \text{ N}$$

Obrázek 6 - zjednodušený rovinný silový rozklad na jezdci a nakloněné desce

Dle uvedených vypočtených hodnot vzniká požadavek na únosnost každé z horizontálních vedení (vodících pouzder a tyčí) alespoň 129 N.

## Zjednodušený silový rozklad na lineární vedení výsuvu podstavce

Silový rozklad lineárního vedení výsuvu je uveden pouze pro doplnění požadavků na nakupované komponenty.



Rovnováha sil ve směru y:

$$F_L - F_{V1} - F_{V2} = 0$$

Moment k bodu A:

$$F_L * 46,8 - F_{V1} * (46,8 + 3,2) = 0$$

Po úpravě:

$$F_{V1} = \frac{F_L * 46,8}{(46,8 + 3,2)} \doteq 3235 \text{ N}$$

$$F_{V2} = F_L - F_{V1} = 221 \text{ N}$$

Z uvedených výpočtů vyplývá, že vzhledem k použitým stejným lineárním vedením (se stejnými specifikacemi) vzniká požadavek statické únosnosti alespoň 3235 N na nakupovanou komponentu lineárního vedení.

Obrázek 7 - silový rozklad na lineární vedení vylisovacího nástroje

## Pevnostní ověření a výpočet utahovacího momentu pro zvolenou předepínací sílu vybraných šroubů použitých v navrženém zařízení

Uvedení příkladu výpočtu pro jeden z vybraných šroubů – zkrácený šroub spojující nakloněnou desku a jezdc v programu Mathcad (zeleně jsou označeny zadávané parametry, žlutě výsledné hodnoty):

### Ověření pevnosti šroubů a jejich spojení

$$d := 8 \text{ mm}$$

$$d_2 := 7.188 \text{ mm}$$

$$d_1 := 6.647 \text{ mm}$$

$$d_3 := 6.466 \text{ mm}$$

$$d_d := 9 \text{ mm}$$

$$s := 13 \text{ mm}$$

$$l_z := 9.3 \text{ mm}$$

$$p_h := 1.25 \text{ mm}$$

$$k_z := 0.8$$

$$f_Z := 0.2$$

$$f_H := 0.2$$

$$Re := 590 \text{ MPa}$$

$$F := 2500 \text{ N}$$

$$p_{zD} := 0.2 \cdot Re = 118 \text{ MPa}$$

.. dovolený tlak v závitech

$$n_z := \left( \frac{l_z}{p_h} \right) \cdot k_z = 5.952$$

.. počet nosných závitů

$$S_z := \frac{\pi \cdot (d^2 - d_1^2)}{4} = 15.565 \text{ mm}^2$$

.. plocha závitu

$$p_z := \frac{F}{n_z \cdot S_z} = 26.986 \text{ MPa}$$

.. měrný tlak v závitu

$$s_{pz} := \frac{p_{zD}}{p_z} = 4.373$$

.. součinitel bezpečnosti tlaku v závitu vůči mezi kluzu materiálu

$$S_{min} := \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = 32.837 \text{ mm}^2$$

.. minimální průřez díčku šroubu

$$\sigma_{\dot{S}} := \frac{F}{S_{min}} = 76.134 \text{ MPa}$$

.. napětí v tahu

$$M_Z := F \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \left( \frac{p_h}{\pi \cdot d_2} + \frac{f_Z}{\cos(30)} \right) = 12.147 \text{ N} \cdot \text{m}$$

.. moment v závitu

$$d_s := \frac{d_d + s}{2} = 11 \text{ mm}$$

.. průměr působení třecí síly hlavy šroubu

$$M_H := F \cdot \frac{d_s}{2} \cdot f_H = 2.75 \text{ N} \cdot \text{m}$$

.. moment tření hlavy šroubu

$$M_u := M_H + M_Z = 14.897 \text{ N} \cdot \text{m}$$

.. celkový utahovací moment šroubu

$$W_k := \pi \cdot \frac{d_3^3}{16} = 53.081 \text{ mm}^3$$

.. modul průřezu v krutu

$$\tau_{\dot{S}} := \frac{M_Z}{W_k} = 228.843 \text{ MPa}$$

.. napětí v krutu od utahovacího momentu v závitu

$$\sigma_{Red,HMH} := \sqrt{\sigma_{\dot{S}}^2 + 3 \cdot \tau_{\dot{S}}^2} = 403.614 \text{ MPa}$$

.. redukované napětí šroubu dle pevnostní hypotézy HMH (von Mises)

Obrázek 8 - příklad výpočtu utahovacího momentu a ověření pevnosti šroubu / závitové díry pro volenou předepínací sílu v software Mathcad

Parametry šroubu pevnostní třídy 12.9

$Rm_{12.9} := 1200 \text{ MPa}$  .. mez pevnosti materiálu šroubu

$Re_{12.9} := Rm_{12.9} \cdot 0.9 = (1.08 \cdot 10^3) \text{ MPa}$  .. mez kluzu materiálu šroubu

$s_{12.9} := \frac{Re_{12.9}}{\sigma_{Red.HMH}} = 2.676$  .. součinitel bezpečnosti šroubu vůči mezi kluzu

Obrázek 9 - příklad výpočtu utahovacího momentu a ověření pevnosti šroubu / závitové díry pro volenou předepínací sílu v software Mathcad

Analogicky byly výpočetně ověřeny další šrouby nacházející se na jezdcích, dělicím nástroji a vylisovacím nástroji. Jejich definované parametry a výsledné hodnoty uvádějí následující tabulky.

Tabulka 1 - vypočtené hodnoty a ostatní parametry šroubů navržených v jezdcích posuvného podstavce

Šroub 1,2- spojení nakloněné desky a jezdce 3,4- spojení příložky nožů a jezdce		Šroub DIN 912			Jednotka
		1	2	3,4	
Parametr	Označení	M8x18,5 - 12.9	M8x30- 12.9	M8x40- 12.9	
Velký průměr závitu	$\varnothing d$	8			[mm]
Střední průměr závitu	$\varnothing d_2$	7,188			
Malý průměr závitu díry	$\varnothing d_1$	6,647			
Malý průměr závitu šroubu	$\varnothing d_3$	6,466			
Průměr díry (opěra hlavy šroubu)	$\varnothing d_d$	9	8,4		
Velikost klíče / vnější průměr hlavy šroubu	$\varnothing d_s$	13			
Délka závitu (styk šroubu a díry)	$l_z$	9,3	20,8	29,4	
Stoupání závitu	$p_h$	1,25			[-]
Koeficient rozložení tlaku v závitech (vlivem nepřesnosti závitu)	$k_z$	0,8			
Koeficient tření v závitech	$f_z$	0,2			
Koeficient tření mezi hlavou šroubu a materiálem	$f_H$	0,2			[MPa]
Mez kluzu materiálu šroubu	$Re_{sroub}$	1080			
Mez kluzu materiálu závitové díry (ČSN 14 220)	$Re_{mat}$	590			
Osová síla	$F_\xi$	2500	3500		[N]
Měrný tlak v závitech	$p_z$	26,97	16,89	11,95	[MPa]
Dovolený tlak v závitech	$p_{zD}$	118			
Napětí v tahu	$\sigma_\xi$	76,13	106,59	106,59	
Napětí v krutu	$\tau_\xi$	228,84	320,38	320,38	
Redukované napětí	$\sigma_{RedHMH}$	403,61	565,06	565,06	
Bezpečnost vůči mezi kluzu (měrný tlak v závitech)	$s_z$	4,37	6,99	9,87	[-]
Bezpečnost vůči mezi kluzu (redukované napětí)	$s_{Red}$	2,68	1,91	1,91	
Utahovací moment šroubu	$M_U$	14,9	20,86	20,75	[N*m]

**Tabulka 2 - vypočtené hodnoty a ostatní parametry šroubů navržených v dělicím nástroji**

Šroub 1,2,6,7 - spojení držáku ložiska a nosné desky 3,4,5 - spojení spojovací komponenty nástroje a nosné desky		Šroub DIN 912			Jednotka
		1,2,6,7	3,5	4	
Parametr	Označení	M8x35 - 12,9	M6x25 12,9	M6x30 - 12,9	
Velký průměr závitu	$\varnothing d$	8	6		[mm]
Střední průměr závitu	$\varnothing d_2$	7,188	5,35		
Malý průměr závitu díry	$\varnothing d_1$	6,647	4,917		
Malý průměr závitu šroubu	$\varnothing d_3$	6,466	4,773		
Průměr díry (opěra hlavy šroubu)	$\varnothing d_d$	8,4	6,4	6,6	
Velikost klíče / vnější průměr hlavy šroubu	$\varnothing d_s$	13	10		
Délka závitu (styk šroubu a díry)	$l_z$	15	17,4	19,8	
Stoupání závitu	$\rho_h$	1,25	1		
Koeficient rozložení tlaku v závitech (vlivem nepřesnosti závitu)	$k_z$	0,8			[-]
Koeficient tření v závitu	$f_z$	0,2			
Koeficient tření mezi hlavou šroubu a materiálem	$f_H$	0,2			
Mez kluzu materiálu šroubu	$Re_{sroub}$	1080			[MPa]
Mez kluzu materiálu závitové díry (ČSN 14 220, UNIDAL)	$Re_{mat}$	590	350		
Osová síla	$F_s$	3000	1500		[N]
Měrný tlak v závitech	$p_z$	20,08	11,61	10,2	[MPa]
Dovolený tlak v závitech	$p_{zD}$	118	70		
Napětí v tahu	$\sigma_s$	91,36	83,83	83,83	
Napětí v krutu	$\tau_s$	274,61	254,86	254,86	
Redukované napětí	$\sigma_{RedHM}$	484,34	449,32	449,32	
Bezpečnost vůči mezi kluzu (měrný tlak v závitech)	$s_z$	5,88	6,03	6,86	[-]
Bezpečnost vůči mezi kluzu (redukované napětí)	$s_{Red}$	2,23	2,40	2,4	
Utahovací moment šroubu	$M_U$	17,79	6,67	6,86	[N*m]

**Tabulka 3 - vypočtené hodnoty a ostatní parametry šroubů navržených ve vylišovácím nástroji**

Šroub 1,2 - spojení vylišovacího nože a nosné desky 3,4,5 - spojení spojovací komponenty nástroje a nosné desky		Šroub DIN 912			Jednotka
		1,2	3,5	4	
Parametr	Označení	M8x50 - 12,9	M6x25 12,9	M6x30 - 12,9	
Velký průměr závitu	$\varnothing d$	8	6		[mm]
Střední průměr závitu	$\varnothing d_2$	7,188	5,35		
Malý průměr závitu díry	$\varnothing d_1$	6,647	4,917		
Malý průměr závitu šroubu	$\varnothing d_3$	6,466	4,773		
Průměr díry (opěra hlavy šroubu)	$\varnothing d_d$	8,4	6,4	6,6	
Velikost klíče / vnější průměr hlavy šroubu	$\varnothing d_s$	13	10		
Délka závitu (styk šroubu a díry)	$l_z$	24	17,4	19,8	
Stoupání závitu	$\rho_h$	1,25	1		
Koeficient rozložení tlaku v závitech (vlivem nepřesnosti závitu)	$k_z$	0,8			[-]
Koeficient tření v závitu	$f_z$	0,2			
Koeficient tření mezi hlavou šroubu a materiálem	$f_H$	0,2			
Mez kluzu materiálu šroubu	$Re_{sroub}$	1080			[MPa]
Mez kluzu materiálu závitové díry (ČSN 14 220)	$Re_{mat}$	590			
Osová síla	$F_s$	3500	1500		[N]
Měrný tlak v závitech	$p_z$	14,64	11,61	10,2	[MPa]
Dovolený tlak v závitech	$p_{zD}$	118			
Napětí v tahu	$\sigma_s$	106,59	83,83	83,83	
Napětí v krutu	$\tau_s$	320,38	254,86	254,86	
Redukované napětí	$\sigma_{RedHM}$	565,06	449,32	449,32	
Bezpečnost vůči mezi kluzu (měrný tlak v závitech)	$s_z$	8,06	10,17	11,57	[-]
Bezpečnost vůči mezi kluzu (redukované napětí)	$s_{Red}$	1,91	2,40	2,40	
Utahovací moment šroubu	$M_U$	20,75	6,67	6,69	[N*m]