

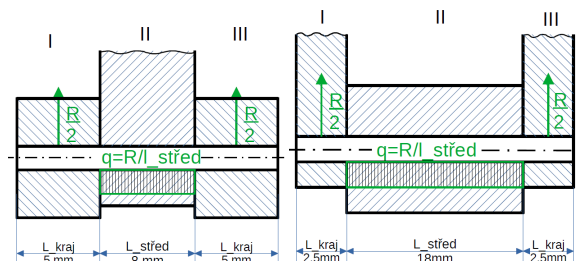
Příloha 3: Kontrolní výpočty

1 Kontrolní výpočty

Pro každý kontrolovaný prvek je znázorněno působení sil a zanalyzován průběh kontrolované veličiny početně a případně i graficky. Samotný výpočet bezpečnosti je součástí hlavního textu práce.

1.1 Kontrola lícovaných šroubů

Na obrázku 1.1 jsou patrné působící síly. Na levém schématu je vidět zatížení šroubu A a D, na pravém zatížení ostatních šroubů.



Obrázek 1.1: Zatížení lícovaných šroubů.

Šrouby jsou namáhány třemi způsoby - kontaktním tlakem, ohybem a stříhem. Stříh je zda zanedbatelný, a proto se další kontrola zabývá kontaktním tlakem a ohybovým napětím.

1.1.1 Kontaktní tlak

Pro kontrolu kontaktního tlaku je třeba znát působící síly, rozměry a dovolené dotykové napětí použitých materiálů. Kontaktní tlak se určí podle následujícího vzorce:

$$p = \frac{F}{S} \quad (1.1)$$

Síla F je nahrazena vhodnou reakcí ze schématu 1.1.

1.1.2 Ohybové napětí

Pro výpočet ohybových momentů a napětí jsou využity stejné maximální reakční síly, jako pro kontrolu kontaktních tlaků. Pro určení průběhu momentu platí pro všechny šrouby následující univerzální rovnice.

$$M_I = \frac{R}{2} \cdot x \quad (1.2)$$

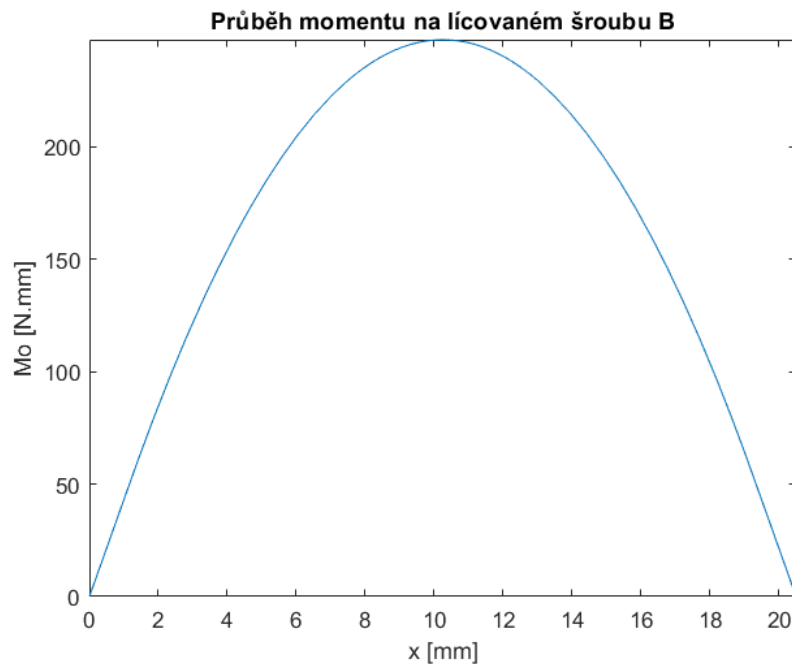
$$M_{II} = \frac{R}{2} \cdot x - q \cdot \left(x - \frac{l_{kraj}}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \quad (1.3)$$

$$M_{III} = \frac{R}{2} \cdot x - R \cdot \left(x - \frac{l_{kraj}}{2} - \frac{l_{stred}}{2}\right) \quad (1.4)$$

Z rovnic průběhu momentu a z charakteru namáhání je patrné, že největší moment je ve středu šroubu a lze tedy určit podle následujícího vztahu:

$$M_{max} = \frac{R}{2} \cdot \left(\frac{l_{kraj} + l_{stred}}{2}\right) - q \cdot \left(\left(\frac{l_{kraj} + l_{stred}}{2}\right) - \frac{l_{kraj}}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \quad (1.5)$$

Na obrázku 1.2 je zobrazen průběh ohybového momentu pro šroub B.

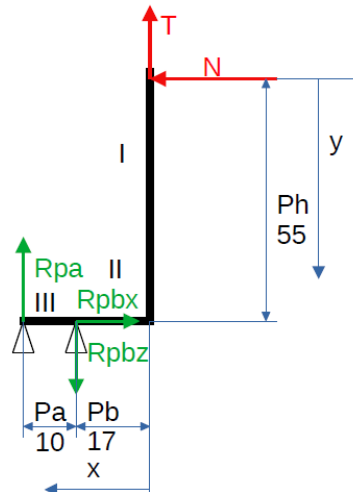


Obrázek 1.2: Průběh ohybového momentu na šroubu B

1.2 Kontrola ohybových napětí vyráběných součástí

1.2.1 Uchopovací prst

Síly, které působí na uchopovací prst jsou znázorněny na obrázku 1.3.



Obrázek 1.3: Schéma sil působících na prst

Síly R_{pa} , R_{pbx} a R_{pby} vychází ze statických rovnic. Síla R_{pbx} vzniká třením mezi prstem a těhlicí, a z její rovnosti se silou N vychází podmínka pro minimální třecí koeficient mezi těhlicí a prstem a případné předpnutí šroubů. Pro tento případ lze využít model lomeného nosníku. Ohybový moment v jednotlivých částech je definován následujícími rovnicemi:

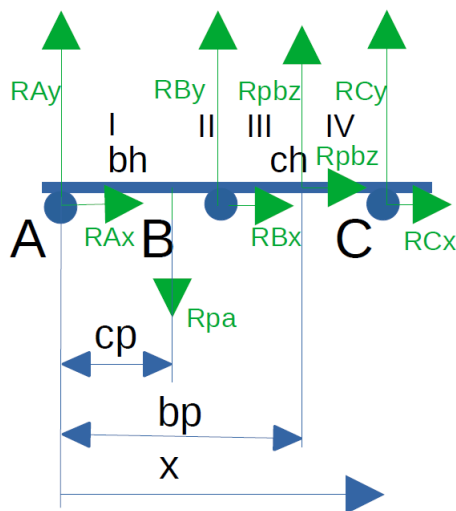
$$M_I = N \cdot y \quad (1.6)$$

$$M_{II} = N \cdot h_p + T \cdot x \quad (1.7)$$

$$M_{III} = N \cdot h_p + T \cdot x - R_{pbz} \cdot (x - p_b) + R_{pbx} \cdot \left(\frac{t_p}{2}\right) \quad (1.8)$$

1.2.2 Těhlice

Na těhlici působí reakční síly podle statické analýzy a reakce k silám určeným pro uchopovací prst. Schéma sil je na obrázku 1.4.



Obrázek 1.4: Schéma sil působících na těhlici

Pro moment pak platí následující rovnice:

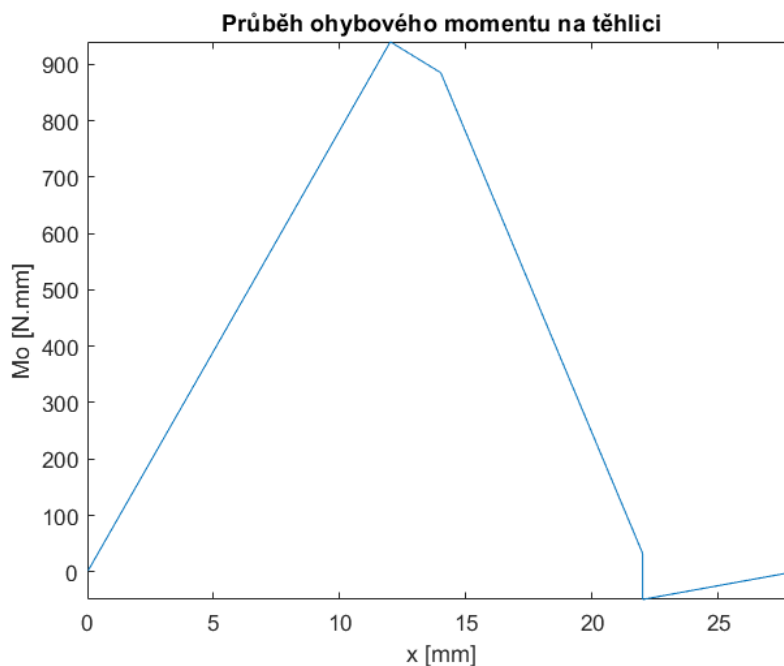
$$M_I = R_{Ay} \cdot x \quad (1.9)$$

$$M_{II} = R_{Ay} \cdot x - R_{pa} \cdot (x - c_p) \quad (1.10)$$

$$M_{III} = R_{Ay} \cdot x - R_{pa} \cdot (x - c_p) + R_{By} \cdot (x - b_h) \quad (1.11)$$

$$M_{III} = R_{Ay} \cdot x - R_{pa} \cdot (x - c_p) + R_{By} \cdot (x - b_h) + R_{pbz} \cdot (x - c_{prst}) + R_{pbx} \cdot \left(\frac{t_p}{2}\right) \quad (1.12)$$

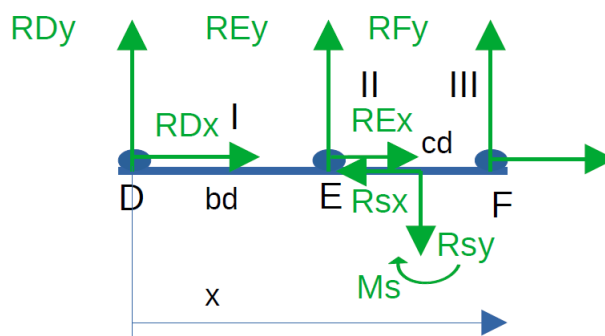
Průběh momentu je pak graficky znázorněn na obrázku 1.5.



Obrázek 1.5: Průběh ohybového momentu na těhlici

1.2.3 Spodní základna

Spodní základna je namáhána reakcemi podle silového rozboru a dále silami a momenty, které vznikly v důsledku oddělení spodní základny a osy. Tyto síly a momenty byly určeny ze statických rovnic a jsou spolu s původními reakcemi zobrazeny na schématu 1.6.



Obrázek 1.6: Schéma sil a momentů působících na spodní základnu

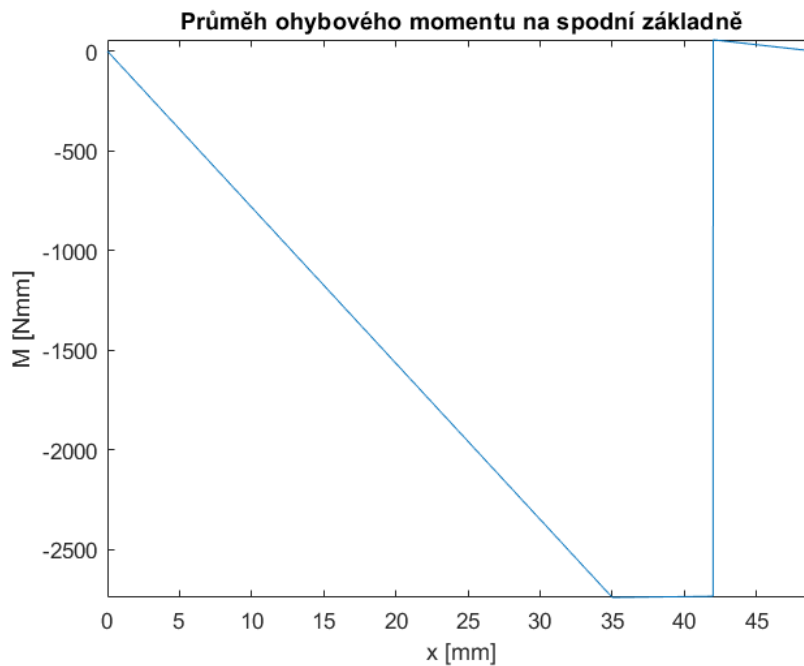
Průběh ohybového momentu je vyjádřen následujícími rovnicemi:

$$M_I = R_{Dy} \cdot x \quad (1.13)$$

$$M_{II} = R_{Dy} \cdot x + R_{Ey} \cdot (x - bd) \quad (1.14)$$

$$M_{III} = R_{Dy} \cdot x + R_{Ey} \cdot (x - bd) - R_{Sy} \cdot \left(x - b_h - \frac{c_h}{2}\right) + M_S \quad (1.15)$$

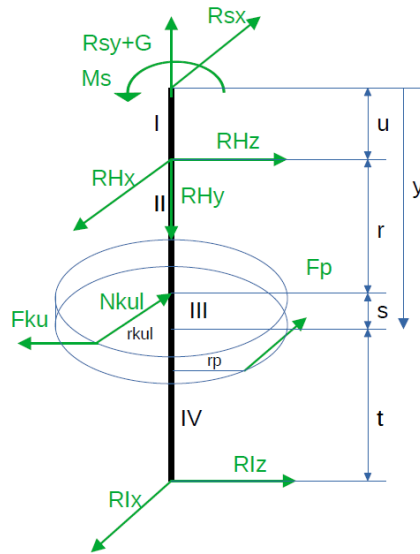
Z těchto rovnic byl určen průběh momentu, který je graficky znázorněn na obrázku 1.7.



Obrázek 1.7: Průběh ohybového momentu spodní základny

1.2.4 Osa

Osa je namáhaná ohybovým momentem ve dvou směrech. Navíc je namáhaná kroučícím momentem a také tahem. Síly, které na osu působí jsou schematicky zobrazeny na obrázku 1.8. Kromě reakčních sil určených statickou analýzou zde působí reakce na spojení osy a základny, tíha koncové sestavy a síly od převstavovacího pneumotoru a kuličkové západky. Reakce v ložiscích pak byly určeny na základě statických rovnic soustavy.



Obrázek 1.8: Schéma zatížení osy

Ve směru x je průběh ohybového momentu charakterizován následujícími rovnicemi:

$$M_{Ix} = M_S - R_S \cdot y \quad (1.16)$$

$$M_{IIx} = M_S - R_S \cdot y + R_{Hx} \cdot (y - u) \quad (1.17)$$

$$M_{IIIx} = M_S - R_S \cdot y + R_{Hx} \cdot (y - u) + N_{kul} \cdot (y - u - r) \quad (1.18)$$

$$M_{IVx} = M_S - R_S \cdot y + R_{Hx} \cdot (y - u) + N_{kul} \cdot (y - u - r) - F_p \cdot (y - u - r - s) \quad (1.19)$$

Ve směru y je moment v části I nulový. V dalších částech je následovný:

$$M_{IIy} = R_{Hz} \cdot (y - u) \quad (1.20)$$

$$M_{IIIy} = M_{IVy} = R_{Hz} \cdot (y - u) - F_{kul} \cdot (y - u - r) \quad (1.21)$$

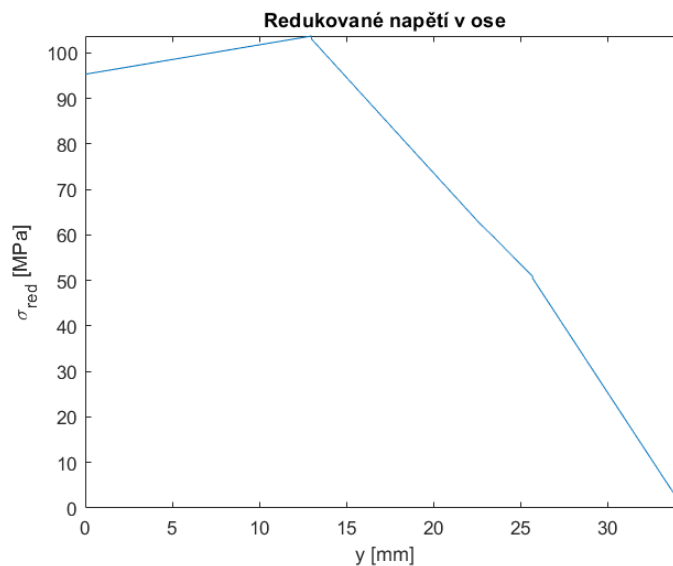
Kroutící moment se projevuje pouze v části III a je roven následujícímu výrazu:

$$M_k = F_{kul} \cdot r_{kul} \quad (1.22)$$

Tah je pouze v části I a je charakterizován následovně:

$$N_t = R_{Sy} + G \quad (1.23)$$

Z momentů a sil byla spočtena jednotlivá napětí a na základě toho i napětí redukované podle metody tau max. Pro výpočet byla osa nahrazena profilem kruhového průřezu o průměru, který odpovídá nejmenšímu průměru osy. Průběh redukovaného napětí je znázorněn na grafu 1.9.



Obrázek 1.9: Průběh redukovaného napětí na ose

1.2.5 Statická kontrola ložisek

Ložiska jsou kontrolována staticky, protože se otáčejí pouze při přestavbě a ložisko se většinu času neotáčí. V radiálním směru je více namáháno ložisko v bodě I. Axiálně mohou být namáhána ložiska stejně, záleží pouze na tom, jestli je hlavice namířena nahoru, nebo dolů. Kontrola je provedena na základě výpočtů uvedených v katalogu výrobce. Je určeno ekvivalentní radiální zatížení:

$$P_o = 0.6F_r + 0,5F_a, P_o \geq Fr \implies P_o = F_r = \sqrt{R_{Ix}^2 + R_{Iz}^2} = 202.4N \quad (1.24)$$