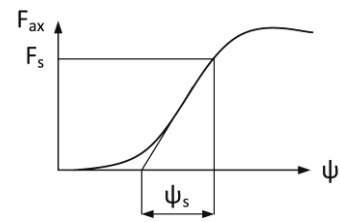


# Korrekt skruvförspänning

## Teori

Traditionellt drar man en skruv eller mutter för att axialkraften  $F_{ax}$  i skruvstammen skall uppnå 85-90% av plasticeringskraften  $F_s$ . I moderna skruvförband drar man ofta till fullplasticering, så kallad flytlastdragning. För en 8.8 skruv innebär det en töjning

$$\epsilon_s = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma_s}{E} = \frac{640}{210} \cdot 10^{-3} = 0,00305$$



Experiment har visat att  $F_{ax}(\psi)$  ser ut som i vidstående figur.

Först sker en elastisk deformation varvid alla spel i fogen sluts. Först därefter växer  $F_{ax}$  linjärt till  $F_s$ .

Med stelt underlag underskattas vridningsvinkeln  $\psi$  eftersom underlaget i ett verkligt förband är elastiskt och komprimeras när skruven sträcks. Vidare deformeras skruvskalle, gängor och mutter.

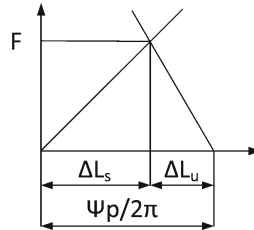
Skruven förlängs  $\Delta L_s$  och underlaget komprimeras  $\Delta L_u$ . Dessa förskjutningar åstadkoms av stigningen  $p$  och av att skruven och muttern vrids vinkeln  $\psi$ . Vi får

$$\psi \frac{p}{2\pi} = \Delta L_s + \Delta L_u$$

Från figuren

$$F = k_s \Delta L_s = k_u \Delta L_u$$

$$\Delta L_u = \frac{k_s}{k_u} \Delta L_s$$



som ger

$$\psi \frac{p}{2\pi} = \Delta L_s + \frac{k_s}{k_u} \Delta L_s = \left(1 + \frac{k_s}{k_u}\right) \Delta L_s, \quad \Delta L = \epsilon L$$

$$\psi_s = \frac{2\pi}{p} \left(1 + \frac{k_s}{k_u}\right) L \epsilon_s$$

**Skruven.** Det gäller nu att bestämma  $k_s$  och  $k_u$ . För att få med elasticiteten i skruvskallen, gängade delen i gods eller mutter så väljs  $L_s > L$ . Tilläggs storlek varierar omvänt progressivt mot  $L/d$  och  $R/d$ . Ett riktvärde ges i tabellen.

| Typ av skalle/mutter:  | Sexkant | Insex | Fläns |           |
|------------------------|---------|-------|-------|-----------|
| Underlag               | stål    | stål  | stål  | aluminium |
| Skalle                 | 0,74d   | 0,78d | 0,82d | 1,11d     |
| Gänga (skruv & mutter) | 0,67d   | 0,67d | 0,78d | 0,78d     |
| Mutter                 | 0,54d   | 0,54d | 0,49d | 0,65d     |
| Summa                  | 1,95d   | 1,99d | 2,09d | 2,54d     |

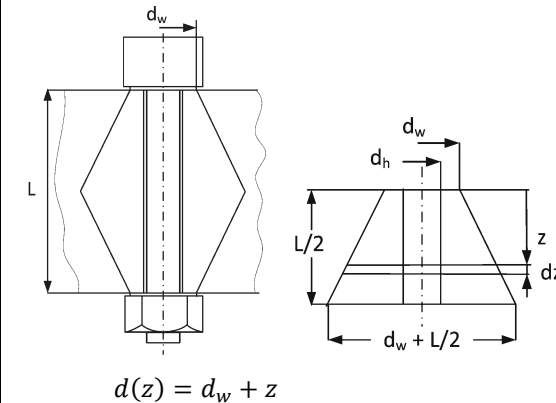
Skruvlängden kan skrivas som den klämda längden  $L$  + tillägg för skalle, etc.

$$L_s = L + 1,95d, \text{ för en sexkantskruv med mutter.}$$

$$k_s = \frac{E_s A}{L_s} = \frac{E_s \pi d^2}{4 L_s}$$

Om skruven har olika tvärsnitt över sin längd, så bör man beräkna styvheten  $k_i$  för varje längd för sig. Den totala fjäderkonstanten blir  $k_s = (\sum k_i^{-1})^{-1}$ .

**Underlaget** kan approximeras med en stympad dubbelkon med ett genomgående hål. Konvinkeln  $\varphi$  är sådan att  $\tan \varphi = 0,5$  (Birger-kona). Approximationen ger mycket bra överensstämmelse med FEM-analyser av skruvförband.



$$\text{Skivans area } A(z) = \frac{\pi}{4} (d_w + z)^2$$

$$\text{Styvheten hos en skiva } k_i = \frac{EA_i}{dz}$$

Styvheterna summeras

$$\frac{1}{k'} = \int_0^{L/2} \frac{dz}{EA(z)} = \frac{4}{\pi E} \int_0^{L/2} \frac{dz}{(d_w + z)^2} = \frac{4}{\pi E} \left[ \frac{-1}{d_w + z} \right]_0^{L/2} = \frac{4}{\pi E d_w (d_w + L/2)}$$

$$\text{som ger för en stympad kon } k' = \frac{\pi E}{2L} d_w \left( d_w + \frac{L}{2} \right)$$

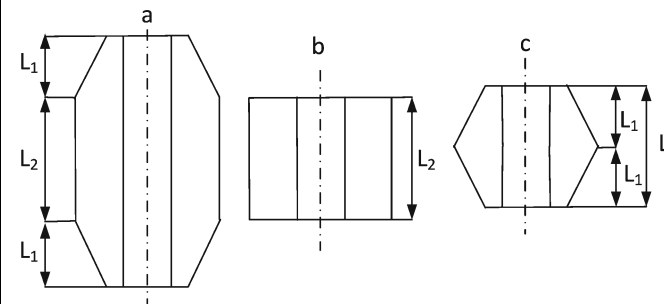
För en dubbelkon fås halva styvheten (seriekopplade styvheter)

$$k = \frac{1}{2} k' = \frac{\pi E}{4L} d_w \left( d_w + \frac{L}{2} \right)$$

Och med avdrag för hålcylindern (parallella styvheter)

$$k_u = \frac{\pi E}{4L} \left[ d_w \left( d_w + \frac{L}{2} \right) - d_h^2 \right]$$

Om det inte finns tillräckligt med gods (mindre än  $d_w + \frac{L}{2}$ ) runt skruven, så blir den påkända volymen två stympade koner + en cylinder. Båda med genomgående hål.



$$\text{Här är } k_b = \frac{\pi E}{4L_2} (D_a^2 - d_h^2)$$

$$k_c = \frac{\pi E}{4L} \left( d_w \left( d_w + \frac{L}{2} \right) - d_h^2 \right)$$

Summering ger fjäderkonstanten

$$k_a = \left( \frac{1}{k_b} + \frac{1}{k_c} \right)^{-1}$$

## Metod

**Anmärkning:** Flänsskruvar  $d_w = 1,9d$ , flänsmuttrar  $d_w = 2d$ . Sexkanskallar & muttrar  $d_w = 1,45$  och  $1,6d$  för invändig sexkant.

1. Notera data  $p, d_w, L_s, E_s, d, d_h, L, E_u$
2. Är  $d_w + \frac{L}{2}$  större än förbandets bredd? Det vill säga, ryms den stympade dubbelkonen inom godsets gränser?
3. Beräkna  $k_s$  och  $k_u$

Alternativ till punkt 2 & 3: läs av  $\frac{k_s}{k_u}$  i diagrammen 1 eller 2.

4. Beräkna  $\psi_s = \frac{2\pi}{p} \left(1 + \frac{k_s}{k_u}\right) L \epsilon_s$  ( $\epsilon_s = 0,003$ )
5. Vinkeln fås i radianer. Omräkning till sexkanter
6. Drag skruven/muttern för att få bort alla spel
7. Lossa skruven/muttern
8. Drag tills alla spel är borta ("finger tight")
9. Drag "antal sexkanter",  $m$ .

$$m = \frac{\psi_s \cdot 180}{60\pi} = \psi_s \frac{3}{\pi}$$

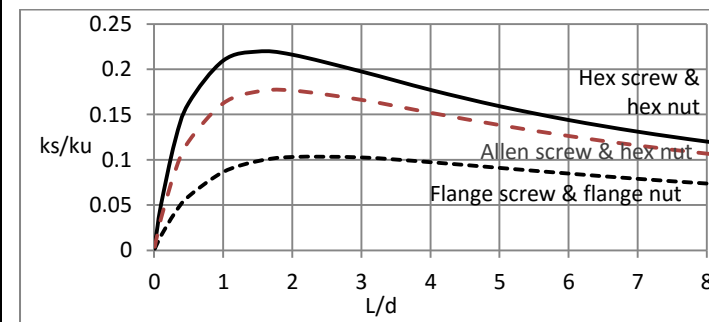
## Anmärkning

Vi ser av formeln  $\psi_s = \frac{2\pi}{p} \left(1 + \frac{k_s}{k_u}\right) L \epsilon_s$  att den extra vridningen pga underlagets elasticitet, beror av  $\frac{k_s}{k_u}$ .

Med  $d_h = d$ ,  $d_w = \theta d$ ,  $L = nd$ ,  $L_s = L + \xi d$ ,  $d_h = \zeta d$ ,  $E_s = E_u$  fås

$$\frac{k_s}{k_u} = \left[ \left(1 + \frac{\xi}{n}\right) \left[ \theta \left( \theta + \frac{n}{2} \right) - \zeta^2 \right] \right]^{-1}$$

Faktorn  $\frac{k_s}{k_u}$  framgår av nedanstående diagram.



## FEM-beräkning

Nedanstående diagram visar FEM-beräkningar av skruvförband för olika  $L/d$  och  $R/d$ , där  $R$  är radien från skruvcentrum till klämda materialets slut. Samma material i alla delar och skruvhålet är  $1,1d$ . Förhållandena i gängan är mycket komplicerade och har därför förenklats kraftigt.

Diagram 1

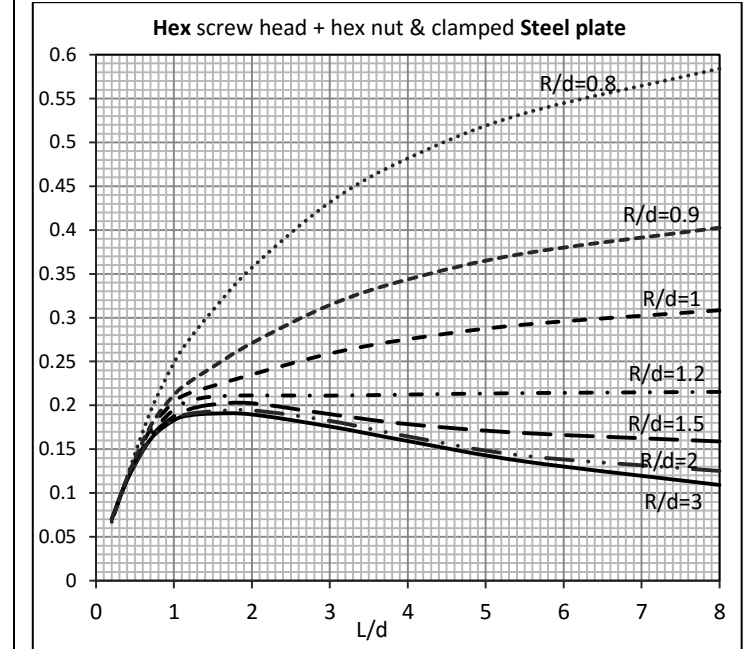
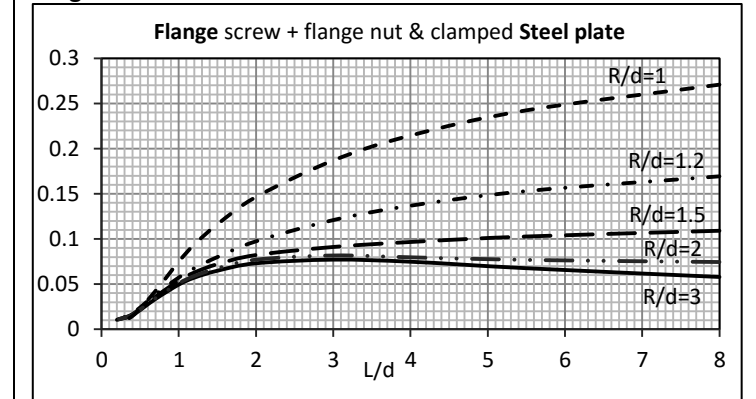


Diagram 2



## Kommentarer

Skruv i gods skiljer sig obetydligt från skruv i mutter om  $L$  väljs från skalle till första gängan i ingrepp.

Skallen deformeras förvånansvärt mycket. (Om underlagets  $E$ -modul minskas, tex Al istället för stål (70 mot 210 GPa), så ökar underlagets deformation kraftigt,  $k_s/k_u$  växer, och skallens deformation ökar.)

Skruvstammens diameter kan vara från 3-5% (M6) till 1,7-2,6% (M20) mindre än nominell diameter, beroende på produktionsklass.

Skruvgängan skall vara väl smord vid åtdragning. Helst med fast smörjmedel.