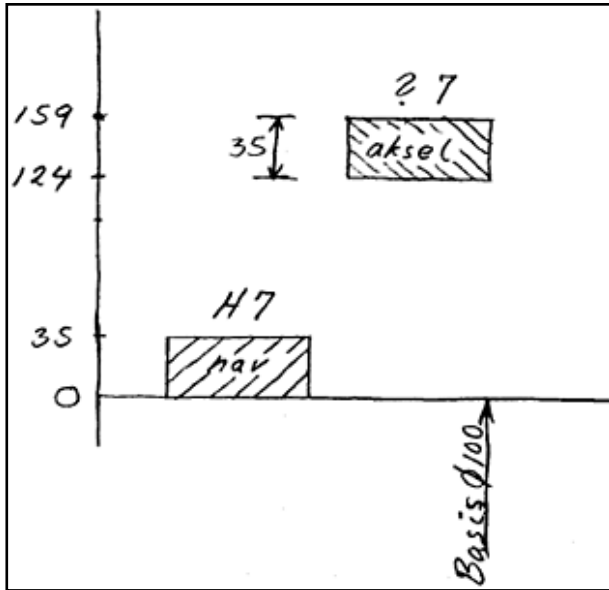


OPPGAVE 1

Et nav med boring 100mm H7 skal krympes på en aksel som er bearbeidet til toleransegrad IT7. Krympeforbindelsen skal tilsvare en presspasning med største teoretisk mulige pressmonn lik 159 μ m.

- a) Bestem akselens toleranse og toleranseområdets beliggenhet.
Skriv opp pasningen angitt med basismål og toleransesymboler.



Ø100 basis:

- nav $H7_0^{+35}$
- aksel IT7 \rightarrow toleranse = 35 μ m

Aksel $u7_{+124}^{+159}$

Pasning Ø100 H7/u7

Ved påkrympingen varmes navet opp så mye at det blir en klaring på 50 μ m mellom aksel og nav når det forutsettes største grensemål for akselen og minste grensemål for boringen.

Materialets lengdeutvidelseskoeffisient er $12 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$.

- b) Hvor mange $^\circ\text{C}$ må navet varmes opp?

$$\underline{\Delta d} = 159 + 50 = \underline{209 \mu\text{m}}$$

$$\underline{\Delta d} = \alpha \cdot d \cdot \Delta \vartheta$$

$$\underline{\underline{\Delta \vartheta}} = \frac{\Delta d}{\alpha \cdot d} = \frac{209 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 100} = \underline{\underline{174^\circ\text{C}}}$$

OPPGAVE 2

Figuren viser en flenskopling som presses mot akselen av en konisk ring B, som dras til ved hjelp av skruene C.

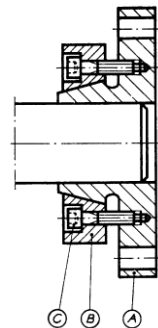
Akseldiameteren er 40mm, effektiv navlengde 35mm og friksjonskoeffisienten mellom aksel og nav er 0,16.

Skrueene trekkes til slik at det blir et flatetrykk på 30N/mm² mellom aksel og nav.

- a) Beregn hvor stort vrimoment koplingen kan overføre uten at det inntreffer glidning.

$$M_v = \mu_1 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot l = 0,16 \cdot 30 \cdot \frac{\pi \cdot 40^2}{2} \cdot 35$$

$$\underline{\underline{M_v}} = 422 \cdot 10^3 \text{ Nmm} = \underline{\underline{422 \text{ Nm}}}$$



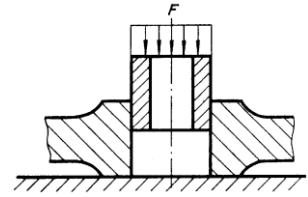
OPPGAVE 3

Figuren viser en lagerforing som skal presses inn i et nav. Lagerforingen har en utvendig diameter på 45mm og lengde 40mm. Flatetrykket mellom delene er beregnet til 5N/mm^2 og friksjonskoeffisienten settes til 0,15.

a) Beregn nødvendig kraft ved innpressingen.

$$F = \mu \cdot p \cdot \pi \cdot d \cdot l = 0,15 \cdot 5 \cdot \pi \cdot 45 \cdot 40$$

$$\underline{\underline{F = 4.240\text{N}}}$$



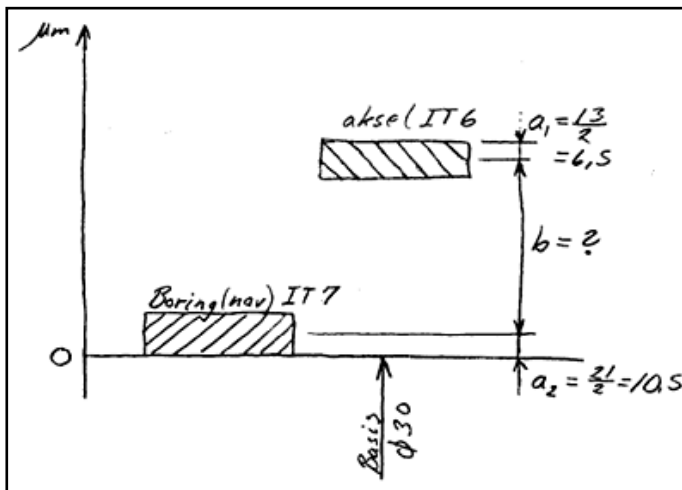
OPPGAVE 4

På en aksel med nominell diameter 30mm skal det krympes et stålnav. Ved montering vil vi være sikker på å få et effektivt pressmonn på $20\mu\text{m}$. Toleranseområdets vidde for akselen er IT6 og for navet IT7. Ved tilvirkningen regnes $H_a = H_r = 2,4\mu\text{m}$.

a) Toleransesett akseldiameter og navhulldiameter med nærmeste passende ISO-toleranse. Foreta valget på boringsbasis.

$$G = G_0 - 2(H_a + H_r) = 20$$

$$\rightarrow \underline{\underline{G_0 = 20 + 2(2,4 + 2,4) = 29,6\mu\text{m}}}$$



Ø30 basis

nav: IT7 → toleranse $21\mu\text{m}$

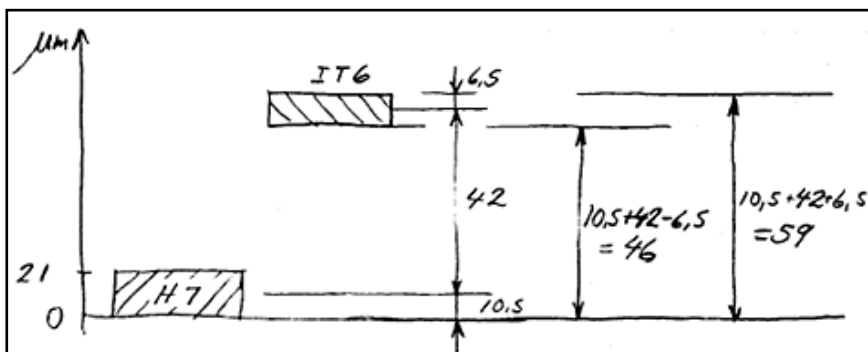
aksel: IT6 → toleranse $13\mu\text{m}$

$$G_0 = b - \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$$

$$\rightarrow b = G_0 + \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$$

$$\underline{\underline{b = 29,6 + \sqrt{6,5^2 + 10,5^2} = 42\mu\text{m}}}$$

Velger boring (nav) $H7_0^{+21}$



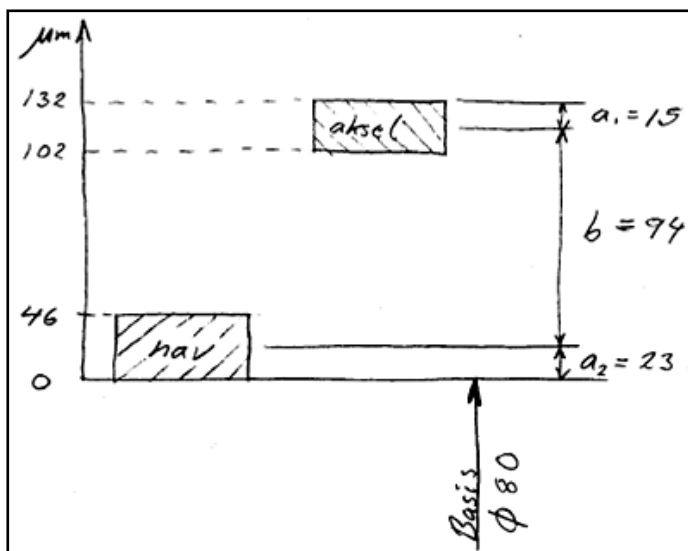
Velger aksel $u6_{+48}^{+61}$

→ Pasning $\underline{\underline{\text{Ø}30\text{ H}7/\text{u}6}}$

OPPGAVE 5

Ved en krympeforbindelse tilvirkes akselen $\varnothing 80u7$ og navhullet $\varnothing 80H8$. Det er ønskelig å oppnå en monteringsklaring på $80\mu\text{m}$ ved montering. Lengdeutvidelseskoeffisienten for navmaterialet er $11,5 \cdot 10^{-6} \text{mm/mm}^\circ\text{C}$.

a) Beregn nødvendig temperaturdifferanse mellom nav og aksel ved montering.



Største sannsynlige pressmonn:

$$G_0 = b + \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$$

$$\underline{G_0} = 94 + \sqrt{15^2 + 23^2} = \underline{121,5\mu\text{m}}$$

Lengdeendring ved montering:

$$\Delta d = G_0 + \text{klaring}$$

$$\underline{\Delta d} = 121,5 + 80 = \underline{201,5\mu\text{m}}$$

$$\Delta d = \alpha \cdot d \cdot \Delta\vartheta$$

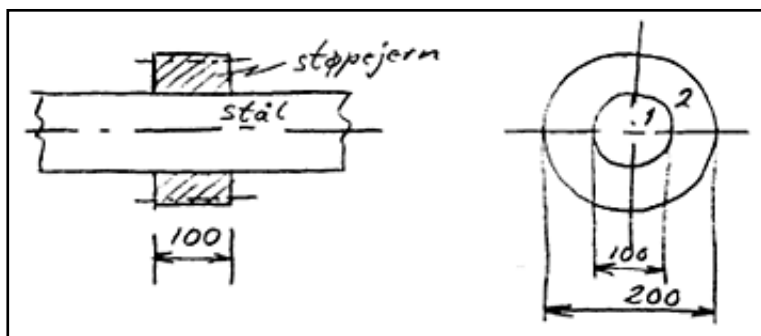
$$\rightarrow \Delta\vartheta = \frac{\Delta d}{\alpha \cdot d}$$

$$\underline{\underline{\Delta\vartheta}} = \frac{201,5 \cdot 10^{-3}}{11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 80} = \underline{\underline{219^\circ\text{C}}}$$

OPPGAVE 6

Et tannhjul av støpejern skal overføre en effekt på 50kW ved et turtall på 200r/min . Tannhjulet skal krympes på en 100mm massiv stålaksel. Navets ytterdiameter er 200mm og navlengden er 100mm . Sikkerheten mot at navet skal slure på akselen settes lik 2. Friksjonskoeffisienten er lik 0,2.

a) Beregn nødvendig diameterforskjell mellom nav og aksel i μm .



$$\underline{x_1} = \frac{d_{i1}}{d_{y1}} = \frac{0}{100} = \underline{0}$$

$$\underline{x_2} = \frac{d_{i2}}{d_{y2}} = \frac{100}{200} = \underline{0,5}$$

Effekt:

$$P = M_v \cdot \omega = M_v \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

→ Overført vrimoment:

$$\underline{M_v} = \frac{P \cdot 60}{2\pi n} = \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 60}{2\pi \cdot 200} = \underline{2.387 \cdot 10^3 \text{Nmm}}$$

$$M_v = \mu_1 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot l$$

→ Nødvendig flatetrykk:

$$\underline{p} = \frac{2M_v}{\mu_1 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l} = \frac{2 \cdot 2.387 \cdot 10^3}{0,2 \cdot \pi \cdot 100^2 \cdot 100} = \underline{7,6 \text{N/mm}^2}$$

OPPGAVE 6, forts.

Flatetrykk med sikkerhet mot sluring lik 2:

$$\underline{p} = 2 \cdot 7,6 = \underline{15,2 N/mm^2}$$

Fra nomogram:

$$\frac{\varepsilon}{p} = 0,021 \frac{\mu m/mm}{N/mm^2}$$

$$\rightarrow \underline{\varepsilon} = 0,021 \cdot p = 0,021 \cdot 15,2 = \underline{0,319}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d}$$

→ Diameterforskjell nav og aksel:

$$\underline{\underline{\Delta d}} = \varepsilon \cdot d = 0,39 \cdot 100 \approx \underline{\underline{32 \mu m}}$$

Alternativt:

$$\Delta d = 1000 \cdot d \cdot p \left[\frac{1}{E_2} \left(\frac{1 + x_2^2}{1 - x_2^2} + \nu_2 \right) + \frac{1}{E_1} \left(\frac{1 + x_1^2}{1 - x_1^2} - \nu_1 \right) \right]$$

$$\Delta d = 1000 \cdot 100 \cdot 15,2 \left[\frac{1}{110 \cdot 10^3} \left(\frac{1 + 0,5^2}{1 - 0,5^2} + 0,3 \right) + \frac{1}{210 \cdot 10^3} \left(\frac{1 + 0^2}{1 - 0^2} - 0,3 \right) \right]$$

$$\underline{\underline{\Delta d = 32,2 \mu m}}$$

- b) Beregn resulterende spenning i navet ved denne diameterforskjellen.
Kommenter resultatet.

Resulterende spenning i navet (ved minimum pressmonn):

$$\sigma_{res} = \frac{p}{1 - x_2^2} \sqrt{3 + x_2^4}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{res} = \frac{15,2}{1 - 0,5^2} \sqrt{3 + 0,5^4} = \underline{\underline{35,5 N/mm^2}}}}$$

Lav spenning. OK!

OPPGAVE 6, forts.

- c) Bestem akselens toleranse og toleranseområdets beliggenhet når vi har boring $\text{Ø}100\text{H}7$ og akselen skal bearbeides til IT6. Sett $H_a = H_r = 3,6\mu\text{m}$.

Minste effektive pressmonn:

$$G_{\min} = b - \sqrt{a_1^2 + a_2^2} - 2(H_a + H_r) = \Delta d$$

$$\rightarrow b = \Delta d + \sqrt{a_1^2 + a_2^2} + 2(H_a + H_r)$$

$$\underline{b} = 32 + \sqrt{11^2 + 17,5^2} + 2(3,6 + 3,6) = \underline{67,1\mu\text{m}}$$

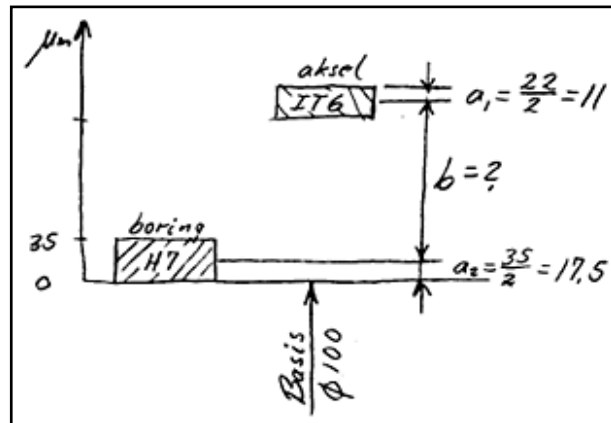
Aksel:

Minste grensemål

$$= a_2 + b - a_1$$

$$= 17,5 + 67,1 - 11 = \underline{73,6\mu\text{m}}$$

$$\rightarrow \underline{t6_{+91}^{+113}}$$

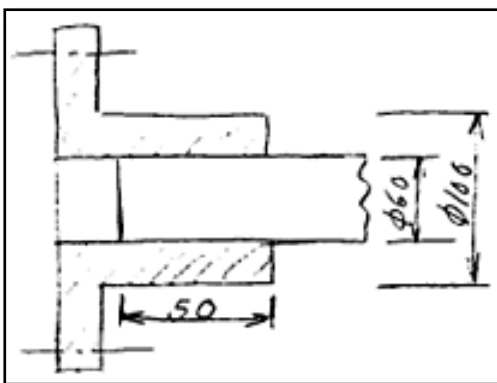
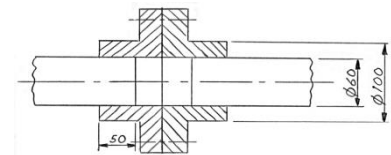


OPPGAVE 7

En flenskopling som vist i figuren skal overføre et vrimoment på 500Nm. Flensene er påkrympet akselen i lengden 50mm. Materiale i aksel og flens er stål. Sikkerhet mot glidning i krympeforbindelsen settes lik 2,0 og friksjonskoeffisienten lik 0,2. Fra bearbeidingen antas

$$H_a = H_r = 2,0\mu\text{m}.$$

- a) Bestem flatetrykket og det pressmonnet i μm som kreves for å gi dette flatetrykket.



$$\underline{x_1} = \frac{d_{i1}}{d_{y1}} = \frac{0}{60} = 0$$

$$\underline{x_2} = \frac{d_{i2}}{d_{y2}} = \frac{60}{100} = 0,6$$

Dimensjonerende moment med sikkerhet mot sluring lik 2:

$$\underline{M_v} = 2 \cdot 500 = \underline{1000\text{Nm}}$$

OPPGAVE 7a), forts.

$$M_v = \mu_1 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot l$$

→ Flatetrykk:

$$\underline{\underline{p}} = \frac{2M_v}{\mu_1 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 10^3}{0,2 \cdot \pi \cdot 60^2 \cdot 50} = \underline{\underline{17,7 \text{ N/mm}^2}}$$

Fra nomogram:

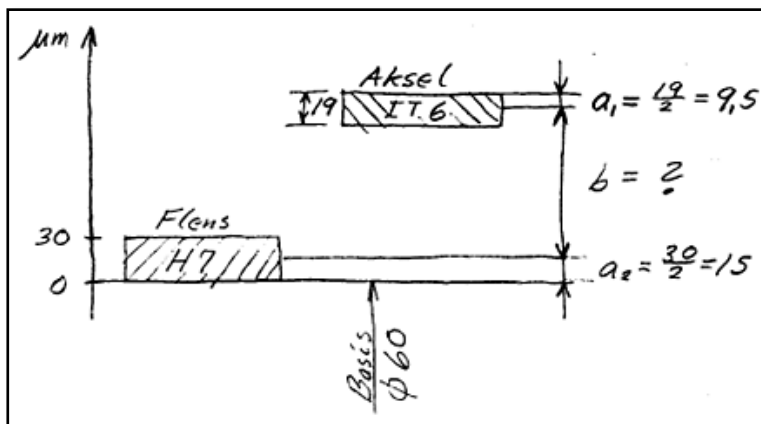
$$\frac{\varepsilon}{p} = 0,015 \frac{\mu\text{m/mm}}{\text{N/mm}^2}$$

$$\frac{\varepsilon}{p} = \frac{\Delta d}{d \cdot p} = \frac{\Delta d}{d \cdot p}$$

Pressmonnet:

$$\underline{\underline{\Delta d}} = \frac{\varepsilon}{p} \cdot d \cdot p = 0,015 \cdot 60 \cdot 17,7 = \underline{\underline{16 \mu\text{m}}}$$

- b) Hvis bearbejdningspressmonnet minimum skal være 0,055mm, bestem da toleransens beliggenhet for akselen (IT6) når hullet i flensen skal ha toleranse H7.



Minimum sannsynlig effektivt pressmonnet:

$$G_{min} = b - \sqrt{a_1^2 + a_2^2} - 2(H_a + H_r) = 0,055 \text{ mm} = 55 \mu\text{m}$$

$$\underline{\underline{b}} = 55 + \sqrt{9,5^2 + 15^2} + 2(2 + 2) = 80,8 \approx \underline{\underline{81 \mu\text{m}}}$$

$$\text{Aksel: } \underline{\underline{\text{Minste grensemål}}} = a_2 + b - a_1 = 15 + 81 - 9,5 = \underline{\underline{86,5 \mu\text{m}}}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{u6_{+87}^{+106}}}$$

OPPGAVE 7, forts.

c) Hvor stort blir flatetrykket nå, og hvor stort vrilmoment kan overføres?

Fra nomogram:

$$\frac{\varepsilon}{p} = 0,015 \frac{\mu\text{m}/\text{mm}}{\text{N}/\text{mm}^2}$$

$$p = \frac{\varepsilon}{0,015} = \frac{\frac{\Delta d}{d}}{0,015} = \frac{\frac{G_{min}}{d}}{0,015} = \frac{G_{min}}{0,015 \cdot d}$$

Ny minimum sannsynlig effektivt pressmonn:

$$G_{min} = b - \sqrt{a_1^2 + a_2^2} - 2(H_a + H_r)$$

$$\underline{G_{min}} = (106 - 9,5 - 15) - \sqrt{9,5^2 + 15^2} - 2(2 + 2) \approx \underline{56\mu\text{m}}$$

Flatetrykk:

$$\underline{p} = \frac{G_{min}}{0,015 \cdot d} = \frac{56}{0,015 \cdot 60} = \underline{\underline{62,2\text{N}/\text{mm}^2}}$$

Overført vrilmoment:

$$M_v = \mu_1 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot l = 0,2 \cdot 62,2 \cdot \frac{\pi \cdot 60^2}{2} \cdot 50 = \underline{\underline{3,517 \cdot 10^3 \text{Nmm} = 3.517 \text{Nm}}}$$

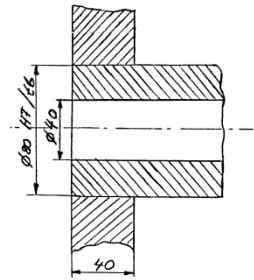
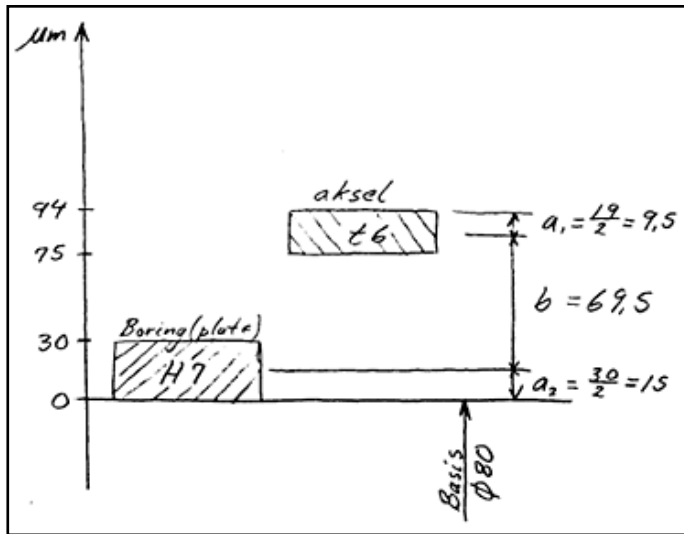
Med sikkerhet mot sluring lik 2:

$$\underline{\underline{M_v}} = \frac{3.517}{2} \cdot 50 = \underline{\underline{1.760 \text{Nm}}}$$

OPPGAVE 8

En hul ståaksel er krympet inn i en plate av materiale S355. Dimensjonene fremgår av figuren. Platens radielle utstrekning kan betraktes som uendelig. Akselen skal belastes med et rent vrimoment. Friksjonskoeffisienten mellom aksel og plate kan regnes lik 0,2. Fra bearbeidingen kan du regne $H_a = H_r = 3,0\mu\text{m}$.

a) Beregn overførbart vrimoment for forbindelsen.



Minste sannsynlig effektivt pressmonn:

$$G_{min} = b - \sqrt{a_1^2 + a_2^2} - 2(H_a + H_r)$$

$$\underline{G_{min}} = 69,5 - \sqrt{9,5^2 + 15^2} - 2(3 + 3) \approx \underline{40\mu\text{m}} = \Delta d$$

$$\underline{x_1} = \frac{d_{i1}}{d_{y1}} = \frac{40}{80} = 0,5 \quad \underline{x_2} = \frac{d_{i2}}{d_{y2}} = \frac{80}{\infty} = 0$$

Fra nomogram:

$$\frac{\varepsilon}{p} = 0,0127 \frac{\mu\text{m}/\text{mm}}{\text{N}/\text{mm}^2}$$

Flatetrykk:

$$\underline{p} = \frac{\varepsilon}{0,0127} = \frac{\Delta d}{0,0127} = \frac{\Delta d}{d \cdot 0,0127} = \frac{40}{80 \cdot 0,0127} = \underline{39,4\text{N}/\text{mm}^2}$$

Alternativt:

$$\frac{\varepsilon}{p} = \frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta d}{d \cdot p} = \frac{1000}{E} \left[\left(\frac{1 + x_2^2}{1 - x_2^2} + \nu_2 \right) + \left(\frac{1 + x_1^2}{1 - x_1^2} - \nu_1 \right) \right] \quad (E_1 = E_2)$$

$$\underline{\underline{\underline{p}}} = \frac{1000}{210 \cdot 10^3} \left[\left(\frac{1 + 0^2}{1 - 0^2} + 0,3 \right) + \left(\frac{1 + 0,5^2}{1 - 0,5^2} - 0,3 \right) \right] = \underline{0,0127 \frac{\mu\text{m}/\text{mm}}{\text{N}/\text{mm}^2}}$$

Overført vrimoment:

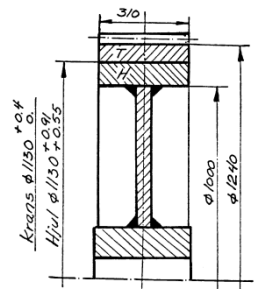
$$M_v = \mu_1 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot l$$

$$\underline{\underline{\underline{M_v}}} = 0,2 \cdot 39,4 \cdot \frac{\pi \cdot 80^2}{2} \cdot 40 = \underline{3,169 \cdot 10^6 \text{Nmm}} \approx \underline{3,17\text{kNm}}$$

OPPGAVE 9

Et tannhjul med dimensjoner som vist i figuren skal overføre en konstant effekt på 410kW ved et turtall på 115r/min. Tannkransen, T, er utført av stål og krympet på en hjulring, H, av stål. Forbindelsen bearbeides ved findreining med høy hastighet.

- a) Bestem nødvendig flatetrykk mellom tannkrans og hjulring for overføring av den angitte effekt når sikkerheten mot sluring settes lik 5, og friksjonskoeffisienten lik 0,2.



Effekt:

$$P = M_v \cdot \omega = M_v \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

→ Overført vrilmoment:

$$M_v = \frac{60 \cdot P}{2\pi n} = \frac{30 \cdot 410}{\pi \cdot 115} = 34 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_v = \mu_1 \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot l$$

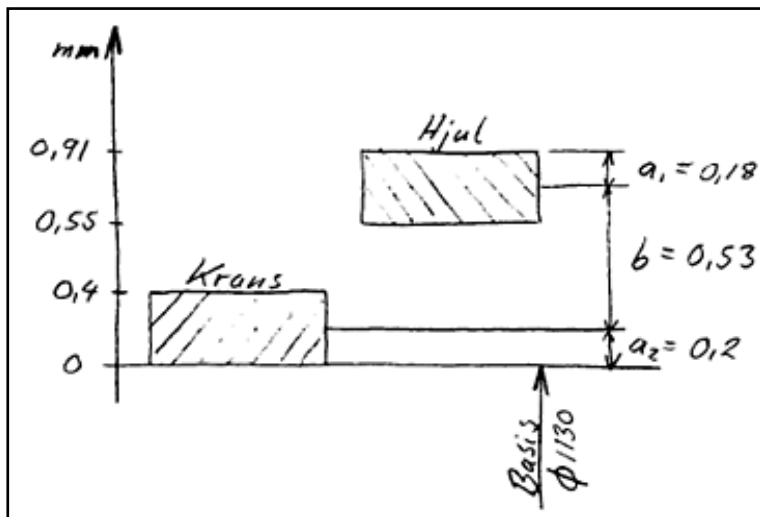
→ Nødvendig flatetrykk:

$$p = \frac{2M_v}{\mu_1 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l} = \frac{2 \cdot 34 \cdot 10^6}{0,2 \cdot \pi \cdot 1130^2 \cdot 310} = 0,27 \text{ N/mm}^2$$

Dimensjonerende flatetrykk med sikkerhet mot sluring lik 5:

$$\underline{p} = 5 \cdot 0,27 = \underline{1,35 \text{ N/mm}^2}$$

- b) Hva er minste flatetrykk som kan fås ved de angitte toleranser?



$$\underline{x}_1 = \frac{d_{i1}}{d_{y1}} = \frac{1000}{1130} = \underline{0,88}$$

$$\underline{x}_2 = \frac{d_{i2}}{d_{y2}} = \frac{1130}{1240} = \underline{0,91}$$

Findreining ved høy hastighet:

$$H_a = H_r = 5\mu\text{m}$$

Minimum sannsynlig effektivt pressmonn:

$$G_{min} = b - \sqrt{a_1^2 + a_2^2} - 2(H_a + H_r)$$

$$\underline{G_{min}} = 530 - \sqrt{180^2 + 200^2} - 2(5 + 5) = \underline{24,1\mu\text{m}} = \underline{\Delta d}$$

OPPGAVE 9b), forts.

Nomogrammet kan ikke benyttes da skala ikke lang nok for x_1 og x_2

$$\frac{\varepsilon}{p} = \frac{\frac{\Delta d}{d}}{p} = \frac{\Delta d}{d \cdot p} = \frac{1000}{E} \left[\left(\frac{1 + x_2^2}{1 - x_2^2} + \nu_2 \right) + \left(\frac{1 + x_1^2}{1 - x_1^2} - \nu_1 \right) \right] \quad (E_1 = E_2)$$

$$\frac{\varepsilon}{p} = \frac{1000}{210 \cdot 10^3} \left[\left(\frac{1 + 0,91^2}{1 - 0,91^2} + 0,3 \right) + \left(\frac{1 + 0,88^2}{1 - 0,88^2} - 0,3 \right) \right] = \underline{\underline{0,088 \frac{\mu m}{mm} \frac{N}{mm^2}}}$$

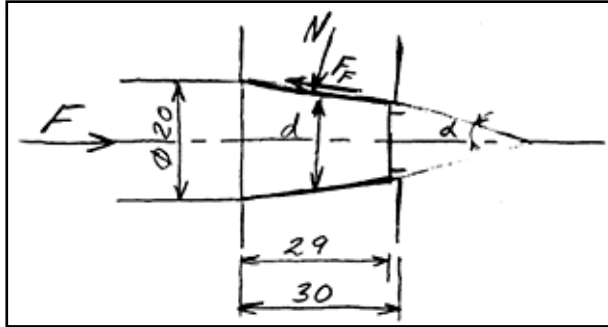
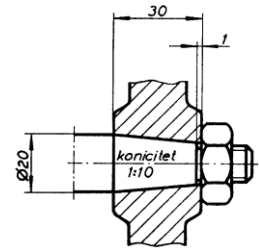
Minste flatetrykk ved gitte toleranser:

$$\underline{\underline{p}} = \frac{\varepsilon}{0,088} = \frac{\frac{\Delta d}{d}}{0,088} = \frac{\Delta d}{d \cdot 0,088} = \frac{241}{1130 \cdot 0,088} = \underline{\underline{2,42 N/mm^2}} (> \text{dimensjonerende})$$

OPPGAVE 10

En aksel $\varnothing 20\text{mm}$ med konisk ende skal utstyres med et nav som presses opp på konen med en mutter, se figuren. Glidefriksjonskoeffisienten (dynamisk) er lik 0,09 og hvilefriksjonskoeffisienten (statisk) er 0,10. Konisiteten er 1:10, og navlengden er 30mm. Forbindelsen skal overføre et vrimoment på 50Nm med en sikkerhet mot glidning lik 2.

a) Hvor stor blir aksialkraften ved mutteren?



Konisitet 1 : 10

$$\tan \alpha = \frac{1/10}{2} = \frac{1}{20}$$

$$\rightarrow \alpha = 2,86^\circ$$

$$\mu = 0,09$$

$$\mu_1 = 0,10$$

$$F = N \cdot \sin \alpha + F_F \cdot \cos \alpha$$

$$F = N \cdot \sin \alpha + \mu \cdot N \cdot \cos \alpha$$

$$F = N(\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)$$

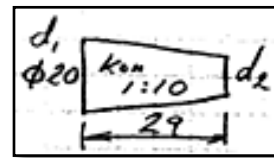
$$M_v = F_F \cdot \frac{d}{2} = \mu_1 \cdot N \cdot \frac{d}{2}$$

$$M_v = \mu_1 \cdot p \cdot \pi d l \cdot \frac{d}{2}$$

Flatetrykket:

$$p = \frac{2M_v}{\mu_1 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l}$$

$$p = \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{0,10 \cdot \pi \cdot 18,55^2 \cdot 29} = 31,9 \text{ N/mm}^2$$



d = midlere diameter

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$d = \frac{20 + \left(20 - 29 \cdot \frac{1}{10}\right)}{2} = 18,55 \text{ mm}$$

Med sikkerhet mot sluring lik 2:

$$p = 2 \cdot 31,9 = 63,8 \text{ N/mm}^2$$

Normalkraft:

$$N = p \cdot \pi d l = 63,8 \cdot \pi \cdot 18,55 \cdot 29 = 107.817 \text{ N}$$

Aksialkraft i mutter:

$$F = N(\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)$$

$$\underline{\underline{F = 107.817(\sin 2,86^\circ + 0,09 \cdot \cos 2,86^\circ) = 15.070 \text{ N}}}$$