

Kompendium / Høgskolen i Gjøvik, 2012 nr. 4

Styrkeberegning: press- og krympeforbindelser

Henning Johansen

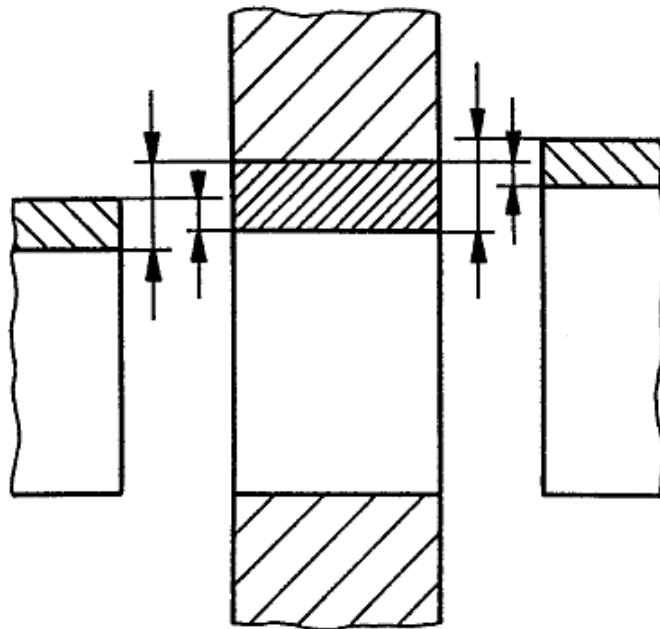


Gjøvik 2012

ISSN: 1503-3708

Styrkeberegning

Press- og krympeforbindelser



	side:	
0	INNHOLD	2
1	INNLEDNING	3
2	PRESSFORBINDELSER	4
3	KRYMPEFORBINDELSER	4
4	PÅPRESSINGSKRAFT F	5
5	OVERFØRT VRIMOMENT M_v	5
6.	ISO-SYSTEM FOR TOLERANSER OG PASNINGER	6
7	BEREGNING AV PRESSMONN (KRYMPEMONN) Δd OG FLATETRYKKET p	9
8	BEREGNING AV PASSENDE TOLERANSE	10
9	BEREGNING AV SPENNINGER	14
10	FORMFORANDRINGER. DEFORMASJONER	15
11	TEMPERATUR VED KRYMPING	15
12	REFERANSER	16
13	VEDLEGG	16
	13.1 Øvingsoppgaver	17
	13.2 Fasit til øvingsoppgaver	21
	13.3 Utdrag fra NS-ISO 286-1. System for toleranser og pasninger. Toleransegrader	22
	13.4 Utdrag fra NS-ISO 286-2. System for toleranser og pasninger. Grenseavvik for boring og aksler	23

1 INNLEDNING

Dette kompendium er beregnet på personer som er fortrolig med grunnleggende mekanikk og som ønsker å få en grunnleggende innføring i beregning av sammenføyning ved bruk av press- og krympeforbindelser. Det er skrevet ut i fra en serie med forelesninger, og hovedvekten er lagt på gode illustrasjoner. En mer omfattende skriftlig dokumentasjon på deler av fagstoffet finnes i lærebøker som omtaler dette temaet.

Press- og krympeforbindelser er en metode som kan brukes for å feste en hylse, en ring eller et nav på en aksel. Dette kan også gjøres ved å bruke kileforbindelse eller sporforbindelse. Forbindelser hvor en eller flere deler presses eller krympes på en annen gir sterke forbindelser. De brukes mest for større deler som blir utsatt for kraftig og støtvis påkjenning, som for eksempel tannhjul og kulelager på en aksel.

Innledningsvis i dette kompendiet forklares hva som er forskjellen på press- og krympeforbindelser. Vi ser på hvordan beregne påpressingskraft i pressforbindelser og hvor stort vrilmoment en press- og krympeforbindelse kan overføre.

For å kunne benytte denne tye sammenføyning må vi ha kunnskap om toleranser og pasninger. Vi tar for oss ISO-system for toleranser og pasninger som gjelder for aksler og borer, nav og hull.

For at en forbindelsen ikke skal løsne, må presset mellom delene være stort nok. Vi ser derfor på hvordan beregne for eksempel nødvendig press- eller krympemonn mellom delene og hvilke flatetrykk dette gir. Ut i fra nødvendig press- eller krympemonn kan vi beregne passende toleranse.

Flatetrykket som oppstår mellom delene vil føre til tangentielle - og radielle spenninger i nav/ring og aksel. Vi ser på hvordan beregne disse spenningene og de formforandringene og deformasjonene som oppstår.

Til slutt setter vi opp et uttrykk for hvordan beregne temperaturen vi må varme opp nav/ring til eller avkjøle aksel til ved påkrymping.

Til slutt finnes et sett med oppgaver som kan gi leseren forståelse og øvelse av teorien presentert.

2 PRESSFORBINDELSER

Ved pressforbindelser sammenføres delene uten temperaturforskjell. Navet eller ringen presses på akselen med et mekanisk trykk, for eksempel ved hjelp av en hydraulisk presse. Dette er mulig på grunn av materialets elastisitet.

Sylindriske pressforbindelser er vanskelige å demontere, mens koniske er lettere å demontere. Pressforbindelser er godt egnet for mindre konstruksjonsdetaljer

3 KRYMPEFORBINDELSER

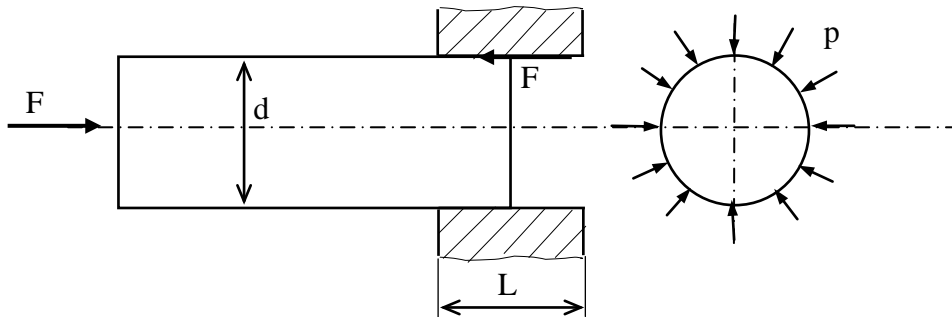
Navet eller ringen blir krympet direkte på akselen. Nav og aksel lages med pressmonn pasning hvor diameter aksel er litt større enn boringen i nav/ring. Navet varmes opp, eller aksel avkjøles, så det oppstår en klaring så delene kan skyves sammen. Etter utjening av temperaturen oppstår det en presskraft. Styrken i denne forbindelsen er bedre enn i noen kileforbindelse.

Utførelsen av en krympeforbindelse er mer omstendelig enn en pressforbindelse. Nav og aksling utføres med pressmonn pasning.

Forsøk viser at med samme pressmonn kan en krympeforbindelse overføre to til tre ganger så stort vrilmoment som en pressforbindelse ved samme pressmonn. Ved påpressing vil ujevnheter på den røe overflaten utjevnes noe. Vi oppnår en lavere friksjonskoeffisient mellom aksel og nav ved påpressing enn ved påkrymping.

4 PÅPRESSINGSKRAFT, F

Under påpressing av nav/ring blir det et stort flatetrykk p som vi forutsetter fordeler seg jevnt på overflaten.



Figur 4.1

Påpressing av nav/ring på aksel.

Påpressingskraft $F =$ friksjonskraft

$$F = \mu N$$

$$F = \mu p A$$

$$F = \mu p \pi d L$$

hvor:

μ = glidefriksjonskoeffisient (dynamisk friksjon) = 0,08 – 0,10

N = normalkraft

p = flatetrykk mellom aksel og nav/hylse/ring

A = innvendig areal nav/ring ($\pi d L$)

d = felles diameter nav/ring, basisdiameter

L = lengde nav/ring

5 OVERFØRT VRIMOMENT, M_v

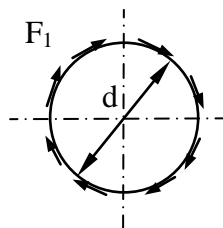
Vrimomentet M_v som kan overføres i forbindelsen:

$$M_v = \Sigma F_1 \cdot \frac{d}{2}$$

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

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

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



Figur 5.1

Friksjonskraft mellom aksel og nav.

hvor:

ΣF_1 = samlet friksjonskraft

μ_1 = hvilefriksjonskoeffisient (statisk friksjon)

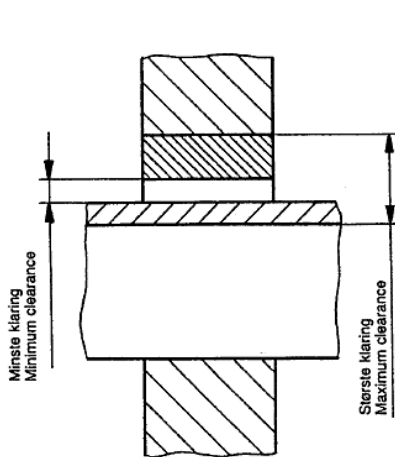
- ved pressforbindelser : $\mu_1 = 0,10$

- ved krympeforbindelser : $\mu_1 = 0,15 - 0,20$

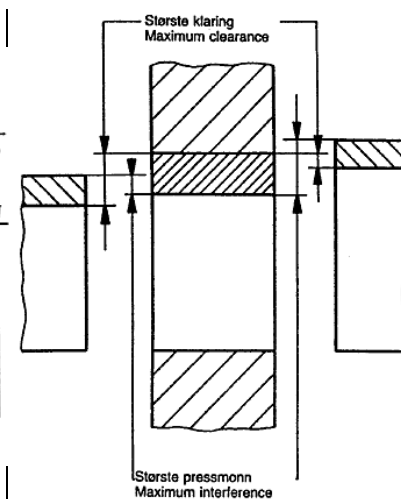
6. ISO-SYSTEM FOR TOLERANSER OG PASNINGER

Figurene under viser forskjellige typer pasninger, klarings-, mellom- og presspasning. Noen definisjoner fra Norsk standard (ISO-standard):

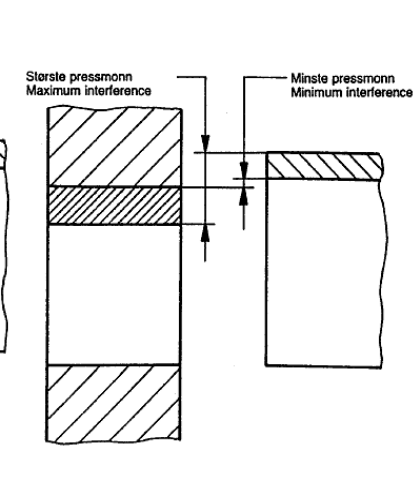
Pasning	Det forholdet som før sammenstilling fås av forskjellen mellom målene for to elementer som skal sammenstilles. Merknad - De to delene som hører sammen i en pasning har en felles verdi for basismålet.
Minste klaring	Differansen mellom det øvre grensemålet for akselen og det nedre grensemålet for boringen i en klaringspasning (se Figur 6.1).
Største klaring	Differansen mellom det nedre grensemål for akselen og det øvre grensemål for boringen i en klaringspasning eller mellompasning (se Figur 6.1 og 6.2).
Minste pressmonn	Differansen før sammenstilling mellom det nedre grensemålet for akselen og det øvre grensemålet for boringen i en presspasning (se Figur 6.3).
Største pressmonn	Differansen før sammenstilling mellom det øvre grensemålet for akselen og det nedre grensemålet for boringen i en presspasning eller mellompasning (se Figur 6.2 og 6.3).



Figur 6.1
Klaringspasning



Figur 6.2
Mellompasning

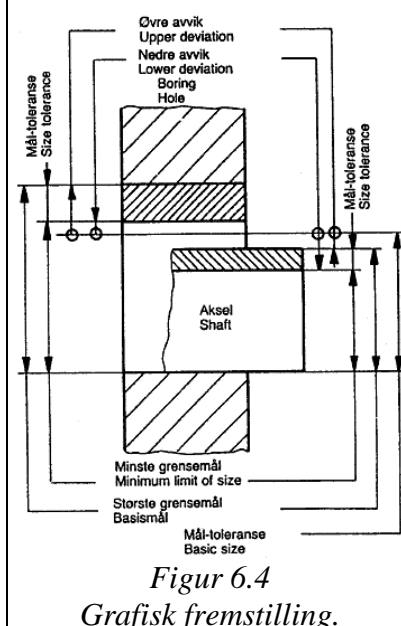


Figur 6.3
Presspasning

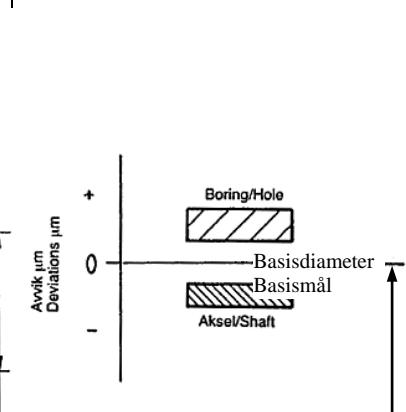
Grafisk fremstilling.

De viktigste uttrykkene og definisjonene i figurene over er illustrert i Figur 6.4.

I praksis brukes et forenklet diagram som vist i Figur 6.5. I dette diagrammet ligger arbeidsstykkets akse, som ikke er vist i figuren, vanligvis alltid under diagrammet. I det viste eksemplet er de to avvikene for boring positive og avvikene for aksel er negative.



Figur 6.4
Grafisk fremstilling.



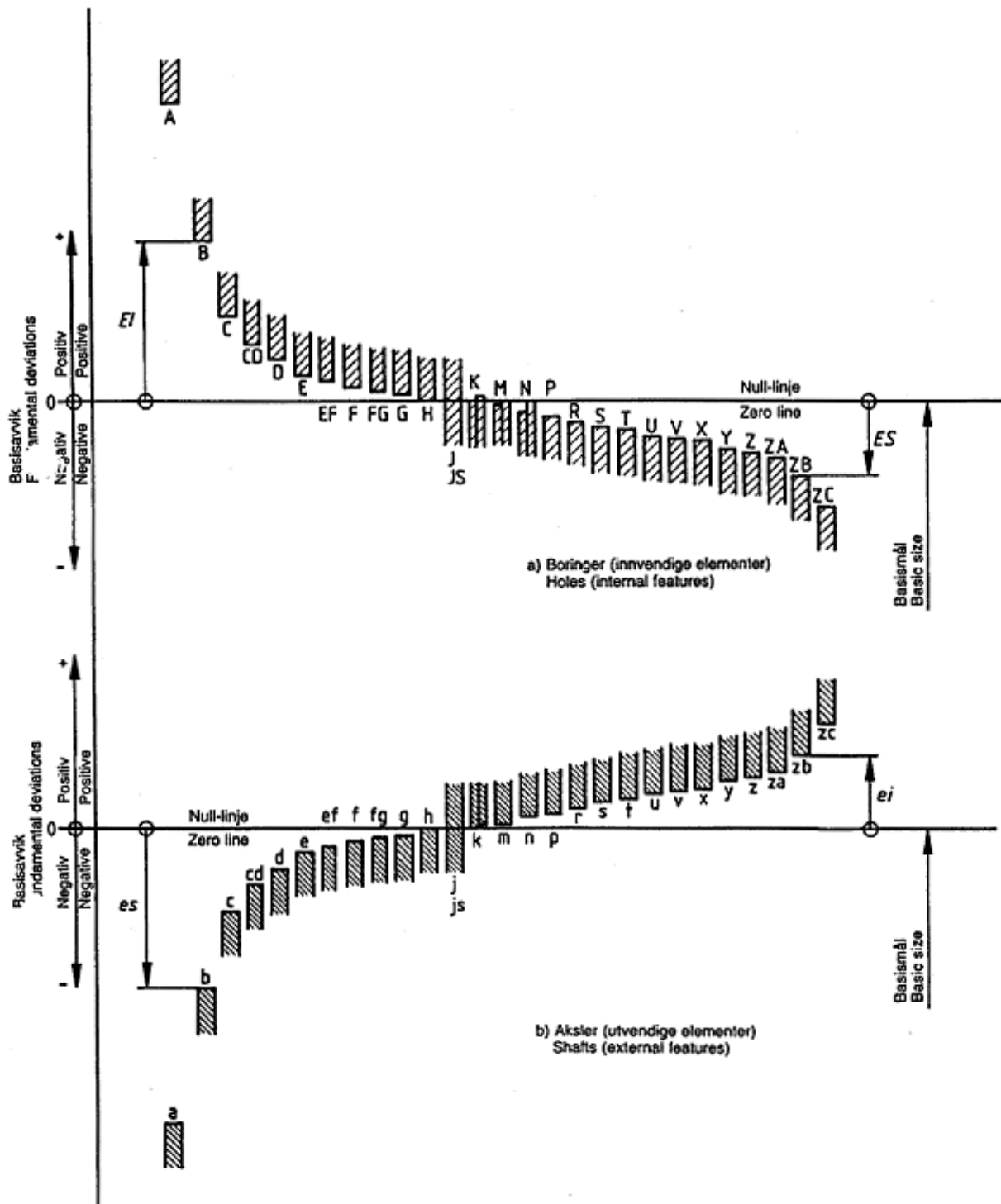
Figur 6.5
Forenklet skjematisk diagram.

Toleransenes beliggenhet i forhold til basismålet betegnes med bokstaver.

Store bokstaver for borer/hull og små for aksler.

Bokstavene H og h angir toleranser med den ene grenseverdien lik 0. Bokstavene forteller ikke noe om størrelsen på toleransen, bare beliggenheten.

Figuren under viser skjematisk fremstilling av basisavvikenes (toleransenes) beliggenhet med borer/hull øverst og aksler under.



Figur 6.6
 Skjematisk fremstilling av basisavvikenes beliggenhet.

Toleransens størrelse, forskjell mellom øvre og nedre grensemål, betegnes med en toleransegrad, for eksempel IT6. Basismålene er sortert i grupper, og innenfor hver gruppe er det flere standardiserte toleransegrader å velge imellom, IT1, IT2, IT3, ... IT18.

For et gitt basismål og toleransegrad, er toleransen den samme uavhengig av plassering (h, r, s etc. for aksler og H, R, S etc. for borer). Toleransene angis som for eksempel h6 for aksler og H6 for nav/ring.

Basismål Basic size mm		Standard toleransegrader/Standard tolerance grades																	
Over Above	T.o.m. Up to and including	IT1 ²⁾	IT2 ²⁾	IT3 ²⁾	IT4 ²⁾	IT5 ²⁾	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ³⁾	IT15 ³⁾	IT16 ³⁾	IT17 ³⁾	IT18 ³⁾
		µm												mm					
—	3 ³⁾	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	16	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2

Tabell 6.1

Numeriske verdier for standard toleransegrader IT for forskjellige basismål, utdrag.

I Norsk Standard, NS-ISO 286-2 er det angitt tabeller for grenseavvik for borer og aksler.

Basismål Basic size mm		S							
Over Above	T.o.m. Up to and including	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	-14 -16	-14 -17	-14 -18	-14 -20	-14 -24	-14 -28	-14 -39	-14 -54
3	6	-18 -20,5	-17,5 -21,5	-18 -23	-16 -24	-15 -27	-19 -37	-19 -49	-19 -67
6	10	-22 -24,5	-21,5 -25,5	-21 -27	-20 -29	-17 -32	-23 -45	-23 -59	-23 -81
10	18	-27 -30	-26 -31	-25 -33	-25 -36	-21 -39	-28 -55	-28 -71	-28 -98
18	30	-33,5 -37,5	-33 -39	-32 -41	-31 -44	-27 -48	-35 -68	-35 -87	-35 -119
30	50	-41,5 -45,5	-40 -47	-39 -50	-38 -54	-34 -59	-43 -82	-43 -105	-43 -143
50	65			-48	-47	-42	-53	-53	

Tabell 6.2

Grenseavvik for borer S, utdrag.

Eksempel: Boring med basismål Ø15 og toleranse S7 har øvre toleranse-grense 15mm – 21µm og nedre toleransegrense 15mm – 39µm.

Toleranse for IT7 = 39 – 21 = 18µm (Se Tabell 6.1 over)

Basismål Basic size mm		r							
Over Above	T.o.m. Up to and including	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+12 +10	+13 +10	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+24 +10	+35 +10	+50 +10
3	6	+17,5 +15	+19 +15	+20 +15	+23 +15	+27 +15	+33 +15	+45 +15	+63 +15
6	10	+21,5 +19	+23 +19	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+41 +19	+55 +19	+77 +19
10	18	+26 +23	+28 +23	+31 +23	+34 +23	+41 +23	+50 +23	+66 +23	+93 +23
18	30	+32	+34	+37	+41	+49	+61	+80	+112

Tabell 6.3

Grenseavvik for aksler r, utdrag.

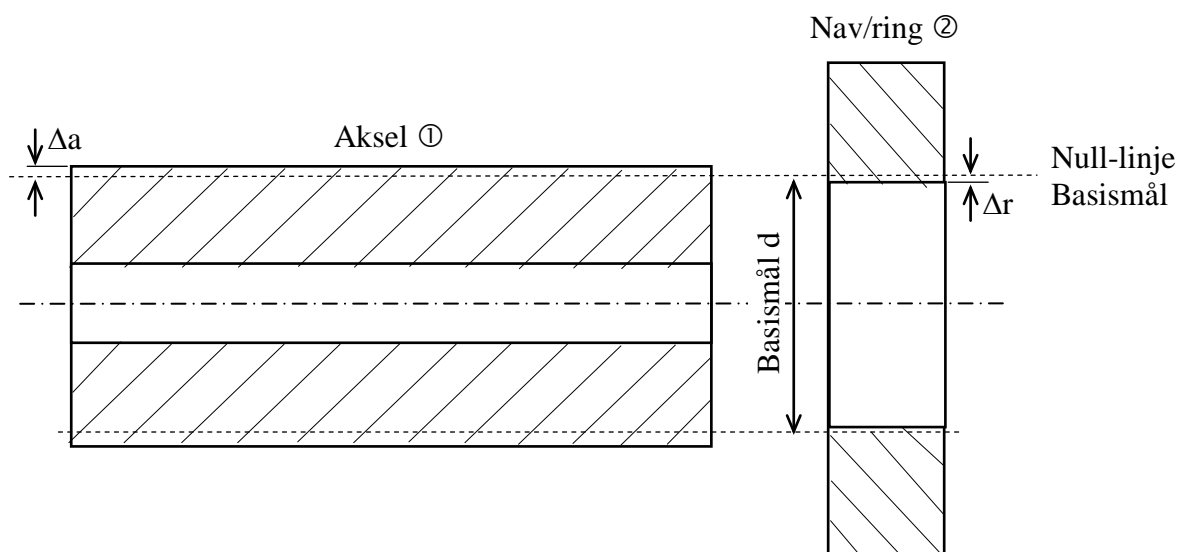
Eksempel: Aksel med basismål Ø15 og toleranse r7 har øvre toleranse-grense 15mm + 41µm og nedre toleransegrense 15mm + 23µm.

Toleranse for IT7 = 41 – 23 = 18µm (Se Tabell 6.1 over)

Presspasninger, pressmonn, kan velges på boringsbasis eller akselbasis etter Norsk Standard. Toleranser basert på boringsbasis kan vi få ved å kombinere hull med toleransene H7 eller H8 med aksler i nærmeste lavere grad toleranseområdene p, r og s (for H7) eller u (for H8). Det samme pressmonn kan oppnås ved å velge akselens toleranse først (akselbasis). Du kan ta utgangspunkt i h6 og kombinere med for eksempel P7 for presspasning. For krympeforbindelser foreligger det ingen standard.

7 BEREGNING AV PRESSMONN (KRYMPEMONN) Δd OG FLATETRYKKET p

Navet/ringen i figuren under skal presses/krympes på den hule akselen. Basismålet d er felles. Akselen har diameter $d+2\Delta a$ og nav/ring har diameter $d-2\Delta r$.



Figur 7.1
Radielle deformasjoner Δ i aksel og nav/ring.

I figuren ser vi at pressmonnet $\Delta d = 2(|\Delta a| + |\Delta r|)$

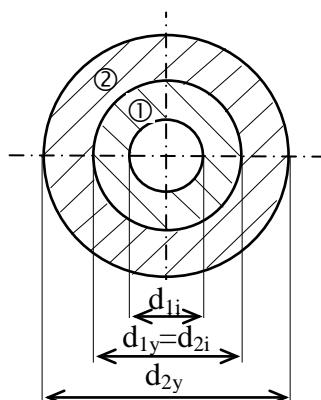
Vi kan definere forholdet mellom indre og ytre diameter, x :

$$\text{Aksel: } x_1 = \frac{d_{1i}}{d_{1y}}$$

$$\text{Nav/Ring: } x_2 = \frac{d_{2i}}{d_{2y}}$$

hvor:

d_i = indre diameter
 d_y = ytre diameter



Figur 7.2
Forhold mellom indre og ytre diameter.

Vi kan skrive radiell deformasjon som:

$$\text{Nav/Ring: } \Delta r = \frac{pd}{2E_2} \left(\frac{1+x_2^2}{1-x_2^2} + \nu_2 \right)$$

$$\text{Aksel: } \Delta a = \frac{pd}{2E_1} \left(\frac{1+x_1^2}{1-x_1^2} - \nu_1 \right)$$

hvor:

$$\left. \begin{array}{l} \nu = \text{Poissons tall (tverrkontraksjonskoeffisient)} \\ \nu = 0,27 - 0,33 \text{ for stål} \\ \nu = 0,25 - 0,29 \text{ for støpejern} \\ \nu = 0,33 \text{ for aluminium, Al og Al-legeringer} \\ \nu = 0,35 \text{ for kobber og messing} \end{array} \right\} \nu \approx 0,3 \text{ (benyttes generelt)}$$

$$\text{Innsatt i } \Delta d = 2(|\Delta a| + |\Delta r|)$$

gir:

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

Vi setter $\frac{\Delta d}{d} = \varepsilon$ og løser ligningen med hensyn på $\frac{\varepsilon}{p}$.

Ligningen kan da skrives på formen:

$$\frac{\varepsilon}{p} = \frac{1000}{E_2} \left(\frac{1+x_2^2}{1-x_2^2} + \nu_2 \right) + \frac{1000}{E_1} \left(\frac{1+x_1^2}{1-x_1^2} - \nu_1 \right) \left[\frac{\mu\text{m}/\text{mm}}{\text{N}/\text{mm}^2} \right]$$

Ved å regne ut diameterforholdene x_1 og x_2 kan vi bestemme forholdet ε/p fra nomogrammet på neste side avhengig av materialkombinasjoner mellom stål og støpejern for aksel – nav/ring.

Søylene gjelder for:

- 1: aksel av stål og nav/ring av støpejern
- 2: aksel av stål og nav av stål
- 3: aksel av støpejern og nav av stål

I nomogrammet er

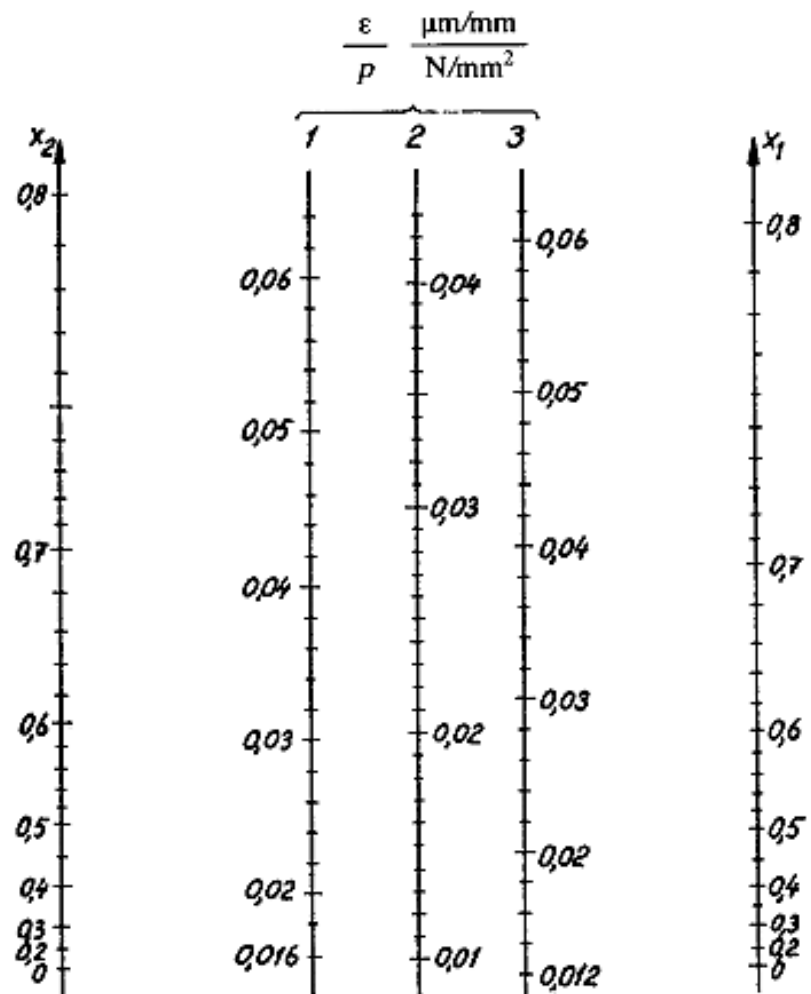
elastisitetsmodulene

$$E_{\text{stål}} = 210000 \text{ N/mm}^2,$$

$$E_{\text{støpejern}} = 110000 \text{ N/mm}^2$$

og Poisson tall $\nu = 0,3$

Nomogrammet kan også benyttes for kobber, messing og bronse, da disse materialene har tilnærmet samme E og ν som støpejern.



Figur 7.3

Nomogram for bestemmelse av forholdet ε/p .

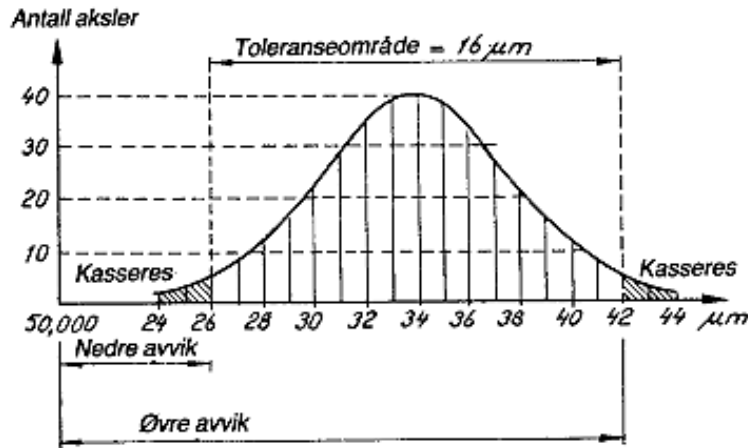
Slik bruker du nomogrammet:

- regn ut x_1 og x_2
- legg en lineal mellom verdiene for x_1 og x_2
- les av forholdet ε/p på søyle 1, 2 eller 3 avhengig av materialkombinasjon mellom aksel og nav/ring

8 BEREGNING AV PASSENDE TOLERANSE

Hvis vi for eksempel måler diameteren på et stort antall aksler som har angitt toleransen til $50^{+42\mu\text{m}}_{+26\mu\text{m}}$, vil vi få en stor spredning av målene som vist i figuren under.

Kurven viser at fem aksler har diameter 50,026, åtte har 50,027, tolv har 50,028, osv. Arealet under kurven mellom to vilkårlig valgte abscisser, her øvre og nedre avvik, representerer sannsynligheten for at en enkelt måling skal falle innenfor disse grensene.



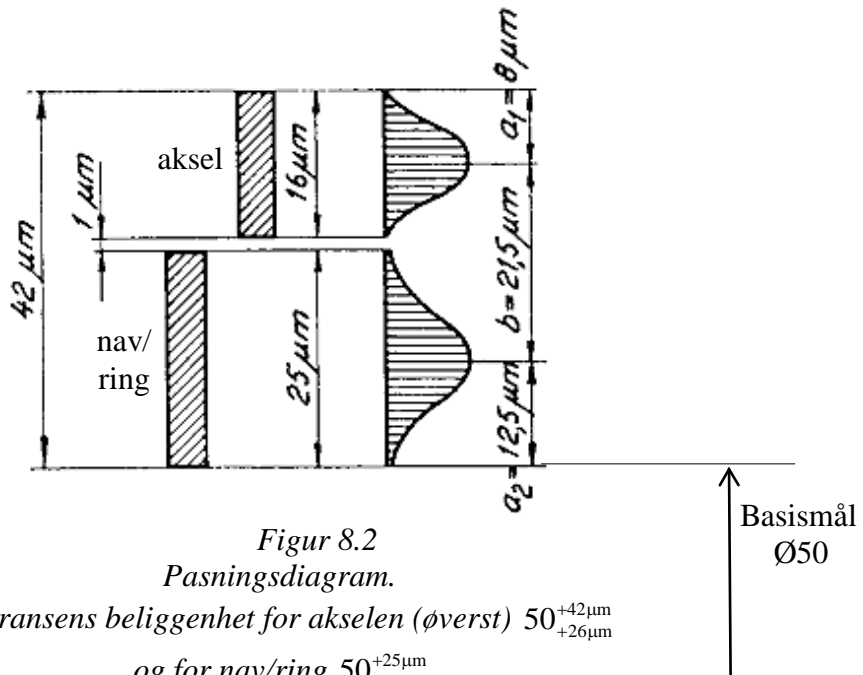
Figur 8.1

Fordelingskurve for et stort antall aksler med angitt toleransen til $50^{+42\mu\text{m}}_{+26\mu\text{m}}$

Hvis vi måler et tilsvarende antall nav/ringer med for eksempel toleransen $50^{+25\mu\text{m}}_{+0\mu\text{m}}$, vil få en tilsvarende kurve for fordelingen av diametre.

Hvis vi parer akslene tilfeldig med disse nav/ringene i en krympeforbindelse, er det teoretisk mulig at en aksel med nedre grensemål settes sammen med en ring med øvre grensemål. Vi får da et pressmonn på $1\mu\text{m}$, se figur 8.2. Det er også teoretisk mulig å få et pressmonn på $42\mu\text{m}$.

I praksis er sannsynligheten for å få disse tilfellene veldig liten, så vi kan se bort fra det.



Figur 8.2

Pasningsdiagram.

Toleransens beliggenhet for akselen (øverst) $50^{+42\mu\text{m}}_{+26\mu\text{m}}$

og for nav/ring $50^{+25\mu\text{m}}_{+0\mu\text{m}}$

Største pressmonn = $42\mu\text{m}$ og minste pressmonn = $1\mu\text{m}$

Basismål
Ø50

Sannsynligheten for å få største pressmonn = 42µm og minste pressmonn = 1µm er veldig liten, så vi innfører:

DET SANNSYNLIGE PRESSMONN (nominelt pressmonn):

$$\underline{G_0 = b \pm \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = \Delta d}$$

hvor:

a_1 = halve toleranseområdet til aksel (= 16/2 = 8µm i Figur 8.2)

a_2 = halve toleranseområdet til nav/ring (= 25/2 = 12,5µm)

b = avstanden mellom toleranseområdenes midtpunkter
(= 42 - a_1 - a_2 = 42 - 8 - 12,5 = 42 - 20,5 = 21,5µm)

I eksemplet blir da:

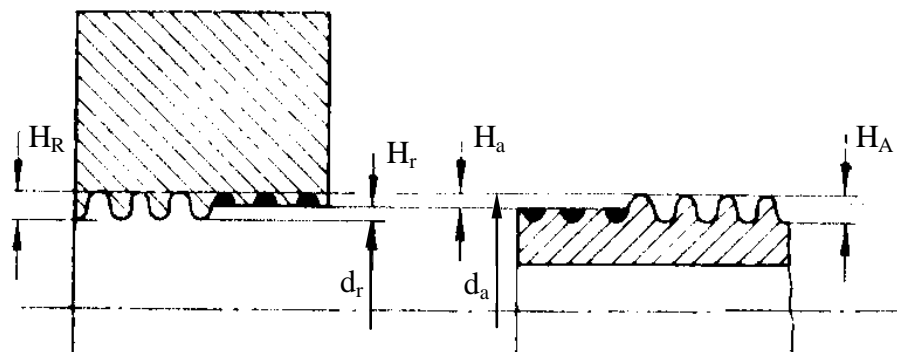
$$\underline{G_0 = 21,5 \pm \sqrt{8^2 + 12,5^2} = 21,5 \pm 14,9\mu\text{m}}$$

→ største pressmonn: $G_{0\text{maks}} = 21,5 + 14,9 = 36,4\mu\text{m}$
avgjørende for styrkeberegning
→ **gir størst flatetrykk p_{maks}**

→ minste pressmonn: $G_{0\text{min}} = 21,5 - 14,9 = 6,6\mu\text{m}$
avgjørende for beregning av vrimoment
→ **gir minste vrimoment $M_{V\text{min}}$**

Ved påpressing vil toppene på overflaten trykkes noe sammen, dels brytes av og fordypningene fylles.

Overflateruhet kan uttrykkes ved profildybden H som er avhengig av bearbeidingsmåte.



Figur 8.3

Forstørret snittbilde av overflatene til aksel og ring/nav sterkt overdrevet.

Vi regner med at overflaten gattes ca. 60% fra H_A/H_R til H_a/H_r .

Akselens virkelige diameter blir $d_a - 2H_a$ og virkelig diameter ring/nav blir $d_r + 2H_r$.

Vi innfører:

DET EFFEKTIVE PRESSMONN:

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

$$\underline{G = b \pm \sqrt{a_1^2 + a_2^2} - 2(H_a + H_r) = \Delta d}$$

bearbeidingsmåte	H_a og H_r
finsliping	1 - 2,5
to gangers brotsjing	1,5 - 3
maskinbrotsjing	5 - 12
findreining ved høy hastighet	3 - 7
findreining ved lav hastighet	12 - 24

Tabell 8.1

Verdier for H_a og H_r .

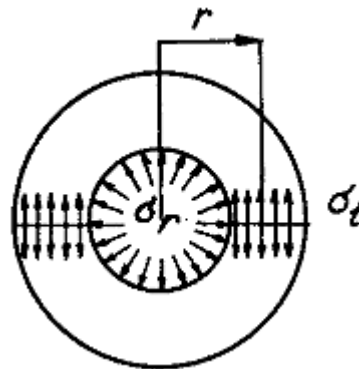
9 BEREGNING AV SPENNINGER

Navet/ringen kan betraktes som et tykkvegget rør med innvendig overtrykk og blir utsatt for tangentielle spenninger σ_t og radielle spenninger σ_r .

Vi kan sette spenningene σ_r og σ_t sammen til en jevnførende eller resulterende spenning etter ligningen for deviasjonshypotesen:

$$\sigma_j = \sigma_{res} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_j = \sigma_{res} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_a^2 - \sigma_r \cdot \sigma_a}$$



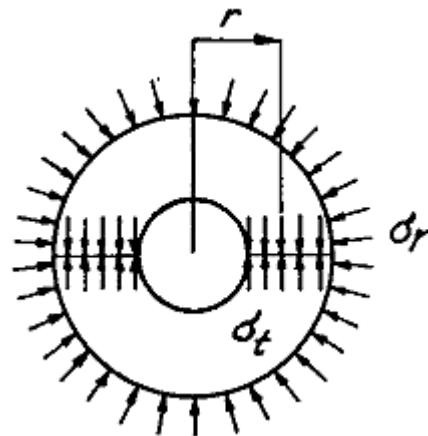
Figur 9.1
Spenninger i nav/ring.

Vi får da:

Maksimal resulterende spenning i ytre nav/ring:

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

Flatetrykket mot akselen blir så kraftig at vi må regne med radiell sammentrykning og derfor radielle spenninger σ_r .



Figur 9.2
Spenninger i aksel.

I aksiell retning blir spenningene lik null.

Maksimal resulterende spenning i indre nav/ring, aksel:

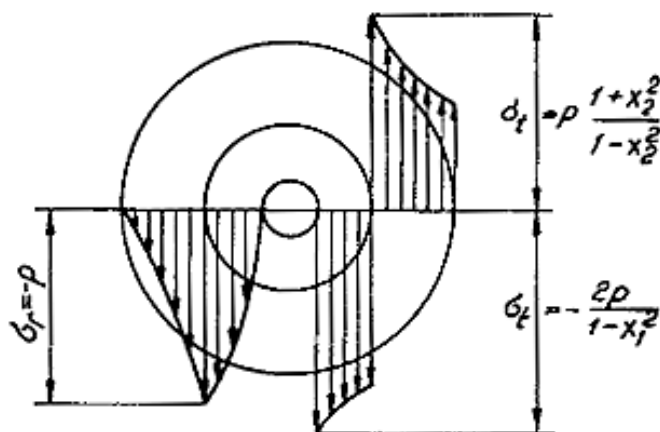
$$\sigma_{res} = -\frac{2p}{1-x_1^2}$$

For aksler med veldig små hull ($x_1 \approx 0$) blir $\sigma_{res} = -2p$

Resulterende spenning for MASSIV AKSEL:

$$\sigma_{res} = -p$$

Tangentiell spenning $\sigma_t = -p$ og radiell spenning $\sigma_r = -p$ opptrer over hele tverrsnittet.



Figur 9.3
Spenningsfordelingen i en krympeforbindelse.

Fordelingen av tangentielle spenninger σ_t og radielle spenninger σ_r igjennom nav/ring og aksel er vist i figur 9.3.

10 FORMFORANDRINGER. DEFORMASJONER

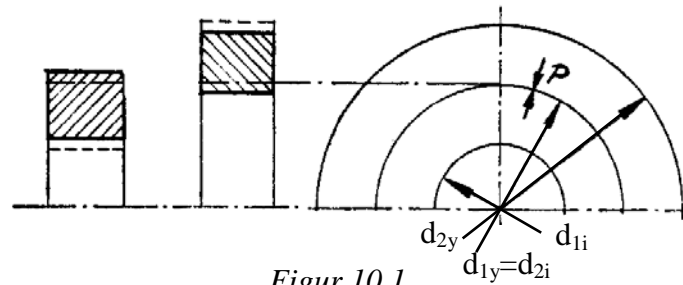
I press- og krympeforbindelser er deformasjonene som opptrer ofte små og har liten betydning. I enkelte tilfeller må vi ta hensyn til de som for eksempel ved påpressing eller påkrymping av en ring med lagermetall på en aksel eller i et lagerhus. Lagerklaringen påvirkes da av lagerringens endrede dimensjoner. Det viser seg at:

Ytre diameter nav/ring øker med:

$$\Delta d_{2y} = \frac{d_{2y} \cdot p}{E_y} \left(\frac{2 \cdot x_2^2}{1 - x_2^2} - \nu_y \right)$$

Indre diameter aksel minsker med:

$$\Delta d_{1i} = -\frac{d_{1i} \cdot p}{E_i} \left(\frac{2}{1 - x_1^2} - \nu_i \right)$$



Figur 10.1
Radielle deformasjoner i aksel og nav/ring.

For tilfellet massiv aksel:

$$\Delta d = -\frac{d \cdot p}{E} (1 - \nu)$$

11 TEMPERATUR VED KRYMPING

Ved oppvarming eller avkjøling av aksel eller nav/ring vil diameteren endre seg med:

$$\Delta d = \alpha \cdot d \cdot \Delta \vartheta = \alpha \cdot d \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

hvor:

- d = nominell diameter
- $\Delta \vartheta$ = temperaturendringen [$^{\circ}\text{C}$]
- ϑ_1 = temperatur i aksel [$^{\circ}\text{C}$]
- ϑ_2 = temperatur i ring [$^{\circ}\text{C}$]

α = lengdeutvidelseskoeffisient [$\text{mm}/(\text{mm}^{\circ}\text{C})$]

materiale	$\alpha \cdot 10^{-6}$ [$\text{mm}/(\text{mm}^{\circ}\text{C})$]
stål	11,5
støpejern	11,0
bronse	17 – 18
Kobber	17
messing	18 – 19

Ved oppvarming/nedkjøling av både aksel og nav/ring vil diameteren endre seg med:

$$\Delta d = \alpha_2 \cdot d \cdot \Delta \vartheta_2 - \alpha_1 \cdot d \cdot \Delta \vartheta_1$$

hvor:

- $\Delta \vartheta_1$ = temperaturendring i aksel [$^{\circ}\text{C}$]
- $\Delta \vartheta_2$ = temperaturendring i ring [$^{\circ}\text{C}$]

12 REFERANSER

- 1 Dahlvig, Christensen, Strømsnes (1991). *Konstruksjonselementer*. Yrkesopplæring ans. ISBN 82-585-0700-1
- 2 Johan S. Aspen (1970). *Maskindeler 1*. Universitetsforlaget.
- 3 H. Hartvigsen, R. Lorentsen, K. Michelsen, S. Seljevoll (2002). *Verksted håndboka, mekaniske fag*. Yrkesopplæring ans. ISBN 82-05-303 19-3
- 4 Standard Norge. *NS-ISO 286-1:1988 ISO-system for toleranser og pasninger - Del 1: Grunnsystem for toleranser, avvik og pasninger*.
- 5 Standard Norge. *NS-ISO 286-2:1988 ISO-system for toleranser og pasninger - Del 2: Tabeller over standard toleransegrader og grenseavvik for boring og aksler*.

13 VEDLEGG

13.1 Øvingsoppgaver

OPPGAVE 1

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

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

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?

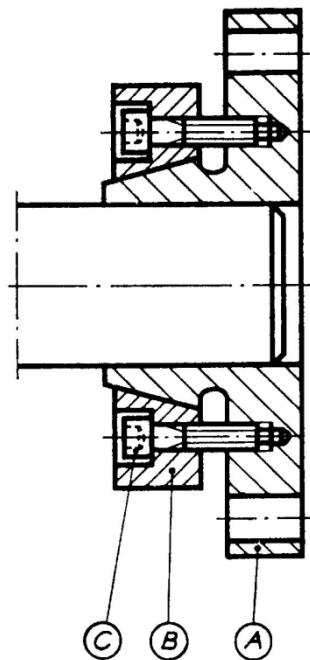
OPPGAVE 2

Figuren under 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.

Skruene trekkes til slik at det blir et flatetrykk på 30 N/mm^2 mellom aksel og nav.

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

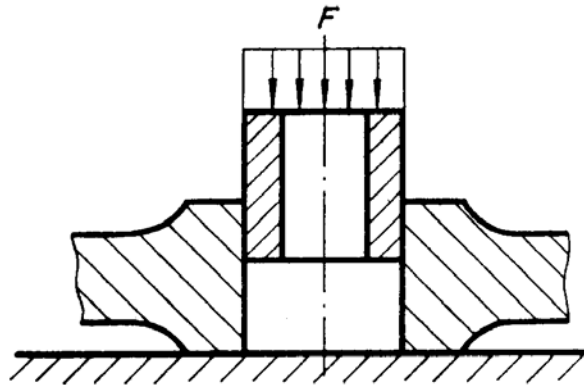


Figur O2
Flenskopling.

OPPGAVE 3

Figuren under 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.



Figur O3
Lagerforing.

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 $20\mu\text{m}$. Toleranseområdet 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.

OPPGAVE 5

Ved en krympeforbindelse tilvirkes akselen $\text{Ø}80\text{u}7$ og navhullet $\text{Ø}80\text{H}8$. Det er ønskelig å oppnå en monteringsklaring på $80\mu\text{m}$ ved montering. Lengdeutvidelseskoeffisienten for navmaterialet er $11,5 \times 10^{-6} \text{mm/mm}^{\circ}\text{C}$.

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

OPPGAVE 6

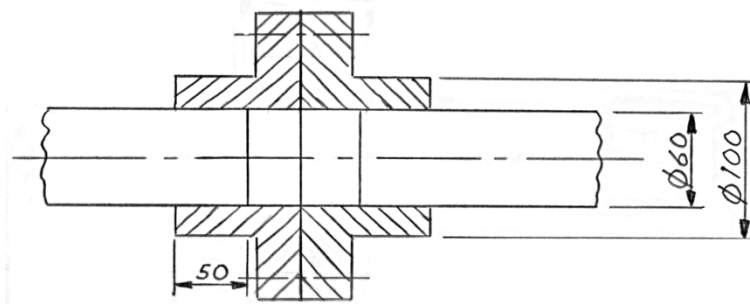
Et tannhjul av støpejern skal overføre en effekt på 50kW ved et turtall på 200r/min. Tannhjulet skal krympes på en 100mm massiv stålaksel. Navets ytterdiameter er 200mm og navlengden er 100mm. Sikkerheten mot at navet skal slure på akselen settes lik 2. Friksjonskoeffisienten er lik 02.

- a) Beregn nødvendig diameterforskjell mellom nav og aksel i μm .
 b) Beregn resulterende spenning i navet ved denne diameterforskjellen. Kommenter resultatet.
 c) Bestem akselens toleranse og toleranseområdets beliggenhet når vi har boring $\text{Ø}100\text{H}7$ og akselen skal bearbeides til IT6. Sett $H_a = H_r = 3,6\mu\text{m}$.

OPPGAVE 7

En flenskopling som vist i figuren under skal overføre et vrilmoment 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 $H_a = H_r = 2,0\mu\text{m}$.

- Bestem flatetrykket og det pressmonnet i μm som kreves for å gi dette flatetrykket.
- Hvis bearbeidingspressmonnet minimum skal være 0,055mm, bestem da toleransens beliggenhet for akselen (IT6) når hullet i flensen skal ha toleranse H7.
- Hvor stort blir flatetrykket nå, og hvor stort vrilmoment kan overføres?

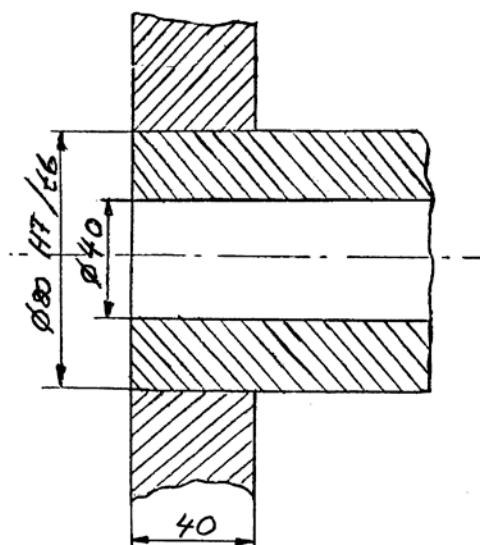


Figur 07
Flenskopling.

OPPGAVE 8

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

- Beregn overførbart vrilmoment for forbindelsen.

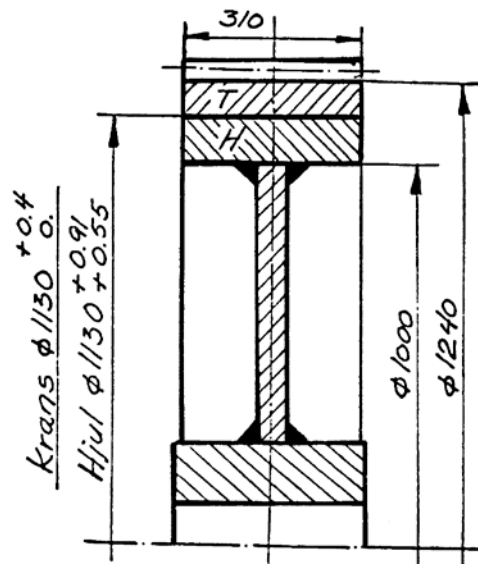


Figur 08
Hul aksel krympet inn i plate.

OPPGAVE 9

Et tannhjul med dimensjoner som vist i figuren under 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.

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

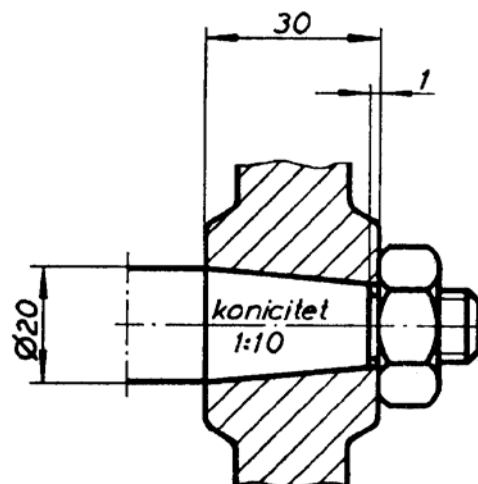


Figur 09
Tannhjul.

OPPGAVE 10

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

- Hvor stor blir aksialkraften ved mutteren?



Figur 010
Aksel med konisk ende utstyrt med nav.

13.2 Fasit til øvingsoppgaver

OPPGAVE 1

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

$$\underline{\underline{\text{Aksel } u7^{+159}_{+124}}} \quad \text{Pasning } \underline{\underline{\text{Ø100 H7/u7}}}$$

- b) Hvor mange °C må navet varmes opp?

$$\underline{\underline{\Delta\vartheta = 174^{\circ}\text{C}}}$$

OPPGAVE 2

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

$$\underline{\underline{M_v = 422\text{Nm}}}$$

OPPGAVE 3

- a) Beregn nødvendig kraft ved innpressingen.

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

OPPGAVE 4

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

$$\text{Pasning } \underline{\underline{\text{Ø30 H7/u6}}}$$

OPPGAVE 5

- a) Beregn nødvendig temperaturredifferanse mellom nav og aksel ved montering.

$$\underline{\underline{\Delta\vartheta = 219^{\circ}\text{C}}}$$

OPPGAVE 6

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

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

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

Kommenter resultatet.

$$\underline{\underline{\sigma_{res} = 35,5\text{N/mm}^2}}$$

- c) Bestem akselens toleranse og toleranseområdets beliggenhet når vi har boring Ø100H7 og akselen skal bearbeides til IT6. Sett $H_a = H_r = 3,6\mu\text{m}$.

$$\underline{\underline{t6^{+113}_{+91}}}$$

OPPGAVE 7

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

$$\underline{\underline{p = 17,7\text{N/mm}^2}} \quad \underline{\underline{\Delta d = 16\mu\text{m}}}$$

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

$$\underline{\underline{u6^{+106}_{+87}}}$$

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

$$\underline{\underline{p = 62,2\text{N/mm}^2}} \quad \underline{\underline{M_v = 1.760\text{Nm}}}$$

OPPGAVE 8

a) Beregn overførbart vrilmoment for forbindelsen.

$$\underline{\underline{M_v \approx 3,17 \text{ kNm}}}$$

OPPGAVE 9

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.

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

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

$$\underline{\underline{p = 2,42 \text{ N/mm}^2}}$$

OPPGAVE 10

a) Hvor stor blir aksialkraften ved mutteren?

$$\underline{\underline{F = 15.070 \text{ N}}}$$

13.3 Utdrag fra NS-ISO 286-1. System for toleranser og pasninger. Toleransegrader

Vedlegg 1

Utdrag fra NORSK STANDARD

Tabell 1—Numeriske verdier for standard toleransegrader IT for basismål til og med 3150 mm¹⁾
Numerical values of standard tolerance grades IT for basic sizes up to and including 3150 mm¹⁾

Basismål Basic size mm		Standard toleransegrader/Standard tolerance grades																	
Over Above	T.o.m. Up to and including	IT1 ²⁾	IT2 ²⁾	IT3 ²⁾	IT4 ²⁾	IT5 ²⁾	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ³⁾	IT15 ³⁾	IT16 ³⁾	IT17 ³⁾	IT18 ³⁾
		Toleranser/Tolerances																	
		µm										mm							
—	3 ³⁾	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630 ²⁾	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800 ²⁾	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000 ²⁾	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250 ²⁾	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600 ²⁾	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000 ²⁾	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500 ²⁾	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150 ²⁾	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

¹⁾ Verdier for standard toleransegrader IT01 og IT0 for basismål lik eller mindre enn 500 mm er gitt i tillegg A, tabell 5.

²⁾ Verdier for standard toleransegrader IT1 til IT5 for basismål over 500 mm er tatt med som forsøk.

³⁾ Standard toleransegrader IT14 til IT18 skal ikke brukes for basismål mindre enn eller lik 1 mm.

¹⁾ Values for standard tolerance grades IT01 and IT0 for basic sizes less than or equal to 500 mm are given in annex A, table 5.

²⁾ Values for standard tolerance grades IT1 to IT5 (incl.) for basic sizes over 500 mm are included for experimental use.

³⁾ Standard tolerance grades IT14 to IT18 (incl.) shall not be used for basic sizes less than or equal to 1 mm.

13.4 Utdrag fra NS-ISO 286-2. System for toleranser og pasninger. Grenseavvik for boring og aksler

Tabell 6 Grenseavvik for borer H

Table 6 Limit deviations for holes H

Øvre grenseavvik = *ES*
Nedre grenseavvik = *EI*

Upper limit deviation = *ES*
Lower limit deviation = *EI*

Avvik i µm og mm
Deviations in µm and mm

Basismål Basic size mm		H																	
Over Above	T.o.m. Up to and including	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14 ¹⁾	15 ¹⁾	16 ¹⁾	17 ¹⁾	18 ¹⁾
		Avvik/Deviations																	
		µm									mm								
—	3 ¹⁾	+0,8 0	+1,2 0	+2 0	+3 0	+4 0	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+0,1 0	+0,14 0	+0,25 0	+0,4 0	+0,6 0		
3	6	+1 0	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+0,12 0	+0,18 0	+0,3 0	+0,48 0	+0,75 0	+1,2 0	+1,8 0
6	10	+1 0	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+0,15 0	+0,22 0	+0,36 0	+0,58 0	+0,9 0	+1,5 0	+2,2 0
10	18	+1,2 0	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+11 0	+18 0	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+0,18 0	+0,27 0	+0,43 0	+0,7 0	+1,1 0	+1,8 0	+2,7 0
18	30	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+0,21 0	+0,33 0	+0,52 0	+0,84 0	+1,3 0	+2,1 0	+3,3 0
30	50	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+7 0	+11 0	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+0,25 0	+0,39 0	+0,62 0	+1 0	+1,6 0	+2,5 0	+3,9 0
50	80	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+13 0	+19 0	+30 0	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+0,3 0	+0,46 0	+0,74 0	+1,2 0	+1,9 0	+3 0	+4,6 0
80	120	+2,5 0	+4 0	+6 0	+10 0	+15 0	+22 0	+35 0	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+0,35 0	+0,54 0	+0,87 0	+1,4 0	+2,2 0	+3,5 0	+5,4 0
120	180	+3,5 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+25 0	+40 0	+63 0	+100 0	+160 0	+250 0	+0,4 0	+0,63 0	+1 0	+1,6 0	+2,5 0	+4 0	+6,3 0
180	250	+4,5 0	+7 0	+10 0	+14 0	+20 0	+29 0	+46 0	+72 0	+115 0	+185 0	+290 0	+0,46 0	+0,72 0	+1,15 0	+1,85 0	+2,9 0	+4,6 0	+7,2 0
250	315	+6 0	+8 0	+12 0	+16 0	+23 0	+32 0	+52 0	+81 0	+130 0	+210 0	+320 0	+0,52 0	+0,81 0	+1,3 0	+2,1 0	+3,2 0	+5,2 0	+8,1 0
315	400	+7 0	+9 0	+13 0	+18 0	+25 0	+36 0	+57 0	+89 0	+140 0	+230 0	+360 0	+0,57 0	+0,89 0	+1,4 0	+2,3 0	+3,6 0	+5,7 0	+8,9 0
400	500	+8 0	+10 0	+15 0	+20 0	+27 0	+40 0	+63 0	+97 0	+155 0	+250 0	+400 0	+0,63 0	+0,97 0	+1,55 0	+2,5 0	+4 0	+6,3 0	+9,7 0
2)																			
100	630	+9 0	+11 0	+16 0	+22 0	+32 0	+44 0	+70 0	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+0,7 0	+1,1 0	+1,75 0	+2,8 0	+4,4 0	+7 0	+11 0
630	800	+10 0	+13 0	+18 0	+25 0	+36 0	+50 0	+80 0	+125 0	+200 0	+320 0	+500 0	+0,8 0	+1,25 0	+2 0	+3,2 0	+5 0	+8 0	+12,5 0
800	1 000	+11 0	+15 0	+21 0	+28 0	+40 0	+56 0	+90 0	+140 0	+230 0	+360 0	+560 0	+0,9 0	+1,4 0	+2,3 0	+3,6 0	+5,6 0	+9 0	+14 0
1 000	1 250	+13 0	+18 0	+24 0	+33 0	+47 0	+66 0	+105 0	+165 0	+260 0	+420 0	+660 0	+1,05 0	+1,65 0	+2,6 0	+4,2 0	+6,6 0	+10,5 0	+16,5 0
1 250	1 600	+15 0	+21 0	+29 0	+39 0	+55 0	+78 0	+125 0	+195 0	+310 0	+500 0	+780 0	+1,25 0	+1,95 0	+3,1 0	+5 0	+7,8 0	+12,5 0	+19,5 0
1 600	2 000	+18 0	+25 0	+35 0	+46 0	+65 0	+92 0	+150 0	+230 0	+370 0	+600 0	+920 0	+1,5 0	+2,3 0	+3,7 0	+6 0	+9,2 0	+15 0	+23 0
2 000	2 500	+22 0	+30 0	+41 0	+55 0	+78 0	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0	+1 100 0	+1,75 0	+2,8 0	+4,4 0	+7 0	+11 0	+17,5 0	+28 0
2 500	3 150	+26 0	+36 0	+50 0	+68 0	+96 0	+135 0	+210 0	+330 0	+540 0	+860 0	+1 350 0	+2,1 0	+3,3 0	+5,4 0	+8,6 0	+13,5 0	+21 0	+33 0

¹⁾ Toleransegrader IT14 t.o.m. IT18 skal ikke brukes for basismål mindre enn eller lik 1 mm.

²⁾ De innrammede verdier, for toleransegrader IT1 t.o.m. IT5, for basismål større enn 500 mm og mindre enn eller lik 3150 mm, er tatt med som forsøk.

¹⁾ Tolerance grades IT14 to IT18 (incl.) shall not be used for basic sizes less than or equal to 1 mm.

²⁾ The values given in the frame, for tolerance grades IT1 to IT5 (incl.), for basic sizes greater than 500 mm and less than or equal to 3150 mm, are included for experimental use.

Tabell 9 Grenseavvik for borer M og N

Table 9 Limit deviations for holes M and N

Øvre grenseavvik = ES
Nedre grenseavvik = EI

Upper limit deviation = ES
Lower limit deviation = EI

Avvik i µm
Deviations in micrometres

Basismål Basic size mm		M								N										
Over Above	T.o.m. Up to and including	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9 ¹⁾	10 ¹⁾	11 ¹⁾		
—	3 ¹⁾	-2 -4	-2 -5	-2 -6	-2 -8	-2 -12	-2 -16	-2 -27	-2 -42	-4 -6	-4 -7	-4 -8	-4 -10	-4 -14	-4 -18	-4 -29	-4 -44	-4 -64		
3	6	-3 -5,5	-2,5 -6,5	-3 -8	-1 -9	0 -12	+2 -16	-4 -34	-4 -52	-7 -9,5	-6,5 -10,5	-7 -12	-5 -13	-4 -16	-2 -20	0 -30	0 -48	0 -75		
6	10	-5 -7,5	-4,5 -8,5	-4 -10	-3 -12	0 -15	+1 -21	-6 -42	-6 -64	-9 -11,5	-8,5 -12,5	-8 -14	-7 -16	-4 -19	-3 -25	0 -36	0 -58	0 -90		
10	18	-6 -9	-5 -10	-4 -12	-4 -15	0 -18	+2 -25	-7 -50	-7 -77	-11 -14	-10 -15	-9 -17	-9 -20	-5 -23	-3 -30	0 -43	0 -70	0 -110		
18	30	-6,5 -10,5	-6 -12	-5 -14	-4 -17	0 -21	+4 -29	-8 -60	-8 -92	-13,5 -17,5	-13 -19	-12 -21	-11 -24	-7 -28	-3 -36	0 -52	0 -84	0 -130		
30	50	-7,5 -11,5	-6 -13	-5 -16	-4 -20	0 -25	+5 -34	-9 -71	-9 -109	-15,5 -19,5	-14 -21	-13 -24	-12 -28	-8 -33	-3 -42	0 -62	0 -100	0 -160		
50	80			-6 -19	-5 -24	0 -30	+5 -41					-15 -28	-14 -33	-9 -39	-4 -50	0 -74	0 -120	0 -190		
80	120			-8 -23	-6 -28	0 -35	+6 -48					-18 -33	-16 -38	-10 -45	-4 -58	0 -87	0 -140	0 -220		
120	180			-9 -27	-8 -33	0 -40	+8 -55					-21 -39	-20 -45	-12 -52	-4 -67	0 -100	0 -160	0 -250		
180	250			-11 -31	-8 -37	0 -46	+9 -63					-25 -45	-22 -51	-14 -60	-5 -77	0 -115	0 -185	0 -290		
250	315			-13 -36	-9 -41	0 -52	+9 -72					-27 -50	-25 -57	-14 -66	-5 -86	0 -130	0 -210	0 -320		
315	400			-14 -39	-10 -46	0 -57	+11 -78					-30 -55	-26 -62	-16 -73	-5 -94	0 -140	0 -230	0 -360		
400	500			-16 -43	-10 -50	0 -63	+11 -86					-33 -60	-27 -67	-17 -80	-6 -103	0 -155	0 -250	0 -400		
500	630					-26 -70	-26 -96	-26 -136								-44 -88	-44 -114	-44 -154	-44 -219	
630	800					-30 -80	-30 -110	-30 -155								-50 -100	-50 -130	-50 -175	-50 -250	
800	1 000					-34 -90	-34 -124	-34 -174								-56 -112	-56 -146	-56 -196	-56 -286	
1 000	1 250					-40 -106	-40 -145	-40 -205								-66 -132	-66 -171	-66 -231	-66 -326	
1 250	1 600					-48 -126	-48 -173	-48 -243								-78 -156	-78 -203	-78 -273	-78 -388	
1 600	2 000					-58 -150	-58 -208	-58 -288								-92 -184	-92 -242	-92 -322	-92 -462	
2 000	2 500					-68 -178	-68 -243	-68 -348								-110 -220	-110 -285	-110 -390	-110 -550	
2 500	3 150					-76 -211	-76 -286	-76 -406								-135 -270	-135 -345	-135 -465	-135 -675	

¹⁾ Toleranseklasser N9, N10 og N11 skal ikke brukes for basismål mindre enn eller lik 1 mm.

¹⁾ Tolerance classes N9, N10 and N11 shall not be used for basic sizes less than or equal to 1 mm.

Tabell 12 Grenseavvik for borer S

Table 12 Limit deviations for holes S

Øvre grenseavvik = *ES*
Nedre grenseavvik = *EI*

Upper limit deviation = *ES*
Lower limit deviation = *EI*

Avvik i µm
Deviations in micrometres

Basismål Basic size mm		S							
Over Above	T.o.m. Up to and including	3	4	5	6	7	8	9	10
-	3	-14 -16	-14 -17	-14 -18	-14 -20	-14 -24	-14 -28	-14 -39	-14 -54
3	6	-18 -20,5	-17,5 -21,5	-18 -23	-16 -24	-15 -27	-19 -37	-19 -49	-19 -67
6	10	-22 -24,5	-21,5 -25,5	-21 -27	-20 -29	-17 -32	-23 -45	-23 -59	-23 -81
10	18	-27 -30	-26 -31	-25 -33	-25 -36	-21 -39	-28 -55	-28 -71	-28 -98
18	30	-33,5 -37,5	-33 -39	-32 -41	-31 -44	-27 -48	-35 -68	-35 -87	-35 -119
30	50	-41,5 -45,5	-40 -47	-39 -50	-38 -54	-34 -59	-43 -82	-43 -105	-43 -143
50	65			-48 -61	-47 -66	-42 -72	-53 -99	-53 -127	
65	80			-54 -67	-53 -72	-48 -78	-59 -105	-59 -133	
80	100			-66 -81	-64 -86	-58 -93	-71 -125	-71 -158	
100	120			-74 -89	-72 -94	-66 -101	-79 -133	-79 -166	
120	140			-86 -104	-85 -110	-77 -117	-92 -155	-92 -192	
140	160			-94 -112	-93 -118	-85 -125	-100 -163	-100 -200	
160	180			-102 -120	-101 -126	-93 -133	-108 -171	-108 -208	
180	200			-116 -136	-113 -142	-105 -151	-122 -194	-122 -237	
200	225			-124 -144	-121 -150	-113 -159	-130 -202	-130 -245	
225	250			-134 -154	-131 -160	-123 -169	-140 -212	-140 -255	
250	280			-151 -174	-149 -181	-138 -190	-158 -239	-158 -288	
280	315			-163 -186	-161 -193	-150 -202	-170 -251	-170 -300	
315	355			-183 -206	-179 -215	-169 -226	-190 -279	-190 -330	
355	400			-201 -226	-197 -233	-187 -244	-208 -297	-208 -348	
400	450			-225 -252	-219 -259	-209 -272	-232 -329	-232 -387	
450	500			-245 -272	-239 -279	-229 -292	-252 -349	-252 -407	

Basismål Basic size mm		S		
Over Above	T.o.m. Up to and including	6	7	8
500	560	-280 -324	-280 -350	-280 -390
560	630	-310 -354	-310 -380	-310 -420
630	710	-340 -390	-340 -420	-340 -465
710	800	-380 -430	-380 -460	-380 -505
800	900	-430 -486	-430 -520	-430 -570
900	1 000	-470 -526	-470 -560	-470 -610
1 000	1 120	-520 -586	-520 -625	-520 -685
1 120	1 250	-580 -646	-580 -685	-580 -745
1 250	1 400	-640 -718	-640 -765	-640 -835
1 400	1 600	-720 -798	-720 -845	-720 -915
1 600	1 800	-820 -912	-820 -970	-820 -1 050
1 800	2 000	-920 -1 012	-920 -1 070	-920 -1 150
2 000	2 240	-1 000 -1 110	-1 000 -1 175	-1 000 -1 280
2 240	2 500	-1 100 -1 210	-1 100 -1 275	-1 100 -1 380
2 500	2 800	-1 250 -1 385	-1 250 -1 460	-1 250 -1 580
2 800	3 150	-1 400 -1 535	-1 400 -1 610	-1 400 -1 730

Tabell 13 Grenseavvik for borer T og U

Table 13 Limit deviations for holes T and U

Øvre grenseavvik = ES
Nedre grenseavvik = EI

Upper limit deviation = ES
Lower limit deviation = EI

Avvik i µm
Deviations in micrometres

Basismål Basic size mm		T ¹⁾				U					
Over Above	T.o.m. Up to and including	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10
-	3					-18	-18	-18	-18	-18	-18
						-22	-24	-28	-32	-43	-58
3	6					-22	-20	-19	-23	-23	-23
						-27	-28	-31	-41	-53	-71
6	10					-26	-25	-22	-28	-28	-28
						-32	-34	-37	-50	-64	-86
10	18					-30	-30	-26	-33	-33	-33
						-38	-41	-44	-60	-76	-103
18	24					-38	-37	-33	-41	-41	-41
						-47	-50	-54	-74	-93	-125
24	30	-38	-37	-33	-41	-45	-44	-40	-48	-48	-48
		-47	-50	-54	-74	-54	-57	-61	-81	-100	-132
30	40	-44	-43	-39	-48	-56	-55	-51	-60	-60	-60
		-55	-59	-64	-87	-67	-71	-76	-99	-122	-160
40	50	-50	-49	-45	-54	-66	-65	-61	-70	-70	-70
		-61	-65	-70	-93	-77	-81	-86	-109	-132	-170
50	65		-60	-55	-66		-81	-76	-87	-87	-87
			-79	-85	-112		-100	-106	-133	-161	-207
65	80		-69	-64	-75		-96	-91	-102	-102	-102
			-88	-94	-121		-115	-121	-148	-176	-222
80	100		-84	-78	-91		-117	-111	-124	-124	-124
			-106	-113	-145		-139	-146	-178	-211	-264
100	120		-97	-91	-104		-137	-131	-144	-144	-144
			-119	-126	-158		-159	-166	-198	-231	-284
120	140		-115	-107	-122		-163	-155	-170	-170	-170
			-140	-147	-185		-188	-195	-233	-270	-330
140	160		-127	-119	-134		-183	-175	-190	-190	-190
			-152	-159	-197		-208	-215	-253	-290	-350
160	180		-139	-131	-146		-203	-195	-210	-210	-210
			-164	-171	-209		-228	-235	-273	-310	-370
180	200		-157	-149	-166		-227	-219	-236	-236	-236
			-186	-195	-238		-256	-265	-308	-351	-421
200	225		-171	-163	-180		-249	-241	-258	-258	-258
			-200	-209	-252		-278	-287	-330	-373	-443
225	250		-187	-179	-196		-275	-267	-284	-284	-284
			-216	-225	-268		-304	-313	-356	-399	-469
250	280		-209	-198	-218		-306	-295	-315	-315	-315
			-241	-250	-299		-338	-347	-396	-445	-525
280	315		-231	-220	-240		-341	-330	-350	-350	-350
			-263	-272	-321		-373	-382	-431	-480	-560
315	355		-257	-247	-268		-379	-369	-390	-390	-390
			-293	-304	-357		-415	-426	-479	-530	-620
355	400		-283	-273	-294		-424	-414	-435	-435	-435
			-319	-330	-383		-460	-471	-524	-575	-665
400	450		-317	-307	-330		-477	-467	-490	-490	-490
			-357	-370	-427		-517	-530	-587	-645	-740
450	500		-347	-337	-360		-527	-517	-540	-540	-540
			-387	-400	-457		-567	-580	-637	-695	-790

Basismål Basic size mm		T			U		
Over Above	T.o.m. Up to and including	6	7	8	6	7	8
500	560	-400	-400	-400	-600	-600	-600
		-444	-470	-510	-644	-670	-710
560	630	-450	-450	-450	-660	-660	-660
		-494	-520	-560	-704	-730	-770
630	710	-500	-500	-500	-740	-740	-740
		-550	-580	-625	-790	-820	-865
710	800	-560	-560	-560	-840	-840	-840
		-610	-640	-685	-890	-920	-965
800	900	-620	-620	-620	-940	-940	-940
		-676	-710	-760	-996	-1 030	-1 080
900	1 000	-680	-680	-680	-1 050	-1 050	-1 050
		-736	-770	-820	-1 106	-1 140	-1 190
1 000	1 120	-780	-780	-780	-1 150	-1 150	-1 150
		-846	-885	-945	-1 216	-1 255	-1 315
1 120	1 250	-840	-840	-840	-1 300	-1 300	-1 300
		-906	-945	-1 005	-1 405	-1 405	-1 465
1 250	1 400	-960	-960	-960	-1 450	-1 450	-1 450
		-1 038	-1 085	-1 155	-1 528	-1 575	-1 645
1 400	1 600	-1 050	-1 050	-1 050	-1 600	-1 600	-1 600
		-1 128	-1 175	-1 245	-1 678	-1 725	-1 795
1 600	1 800	-1 200	-1 200	-1 200	-1 850	-1 850	-1 850
		-1 292	-1 350	-1 430	-1 942	-2 000	-2 080
1 800	2 000	-1 350	-1 350	-1 350	-2 000	-2 000	-2 000
		-1 442	-1 500	-1 580	-2 092	-2 150	-2 230
2 000	2 240	-1 500	-1 500	-1 500	-2 300	-2 300	-2 300
		-1 610	-1 675	-1 780	-2 410	-2 475	-2 580
2 240	2 500	-1 650	-1 650	-1 650	-2 500	-2 500	-2 500
		-1 760	-1 825	-1 930	-2 610	-2 675	-2 780
2 500	2 800	-1 900	-1 900	-1 900	-2 900	-2 900	-2 900
		-2 035	-2 110	-2 230	-3 035	-3 110	-3 230
2 800	3 150	-2 100	-2 100	-2 100	-3 200	-3 200	-3 200
		-2 235	-2 310	-2 430	-3 335	-3 410	-3 530

¹⁾ Toleranseklasser T5 t.o.m. T8 er ikke tatt med i tabellen for basismål mindre enn eller lik 24 mm. Det anbefales at toleranseklasser U5 t.o.m. U8 benyttes i stedet. Hvis imidlertid toleranseklasser T5 t.o.m. T8 forlanges spesielt, kan de beregnes fra det grunnlag som er gitt i NS-ISO 286-1.

¹⁾ Tolerance classes T5 to T8 (incl.) have not been tabulated for basic sizes less than or equal to 24 mm. It is recommended that tolerance classes U5 to U8 (incl.) be used instead. However, if tolerance classes T5 to T8 (incl.) are especially required, they may be calculated from the bases given in ISO 286-1.

Tabell 22 Grenseavvik for aksler h

Table 22 Limit deviations for shafts h

Øvre grenseavvik = *es*
Nedre grenseavvik = *ei*

Upper limit deviation = *es*
Lower limit deviation = *ei*

Avvik i µm og mm
Deviations in µm and mm

Basismål Basic size mm		h																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14 ¹⁾	15 ¹⁾	16 ¹⁾	17	18
Over Above	T.o.m. Up to and including	Avvik/Deviations																	
		µm									mm								
—	3 ¹⁾	0 -0,8	0 -1,2	0 -2	0 -3	0 -4	0 -6	0 -10	0 -14	0 -25	0 -40	0 -60	0 -0,1	0 -0,14	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,6		
3	6	0 -1	0 -1,5	0 -2,5	0 -4	0 -5	0 -8	0 -12	0 -18	0 -30	0 -48	0 -75	0 -0,12	0 -0,18	0 -0,3	0 -0,48	0 -0,75	0 -1,2	0 -1,8
6	10	0 -1	0 -1,5	0 -2,5	0 -4	0 -6	0 -9	0 -15	0 -22	0 -36	0 -58	0 -90	0 -0,15	0 -0,22	0 -0,36	0 -0,58	0 -0,9	0 -1,5	0 -2,2
10	18	0 -1,2	0 -2	0 -3	0 -5	0 -8	0 -11	0 -18	0 -27	0 -43	0 -70	0 -110	0 -0,18	0 -0,27	0 -0,43	0 -0,7	0 -1,1	0 -1,8	0 -2,7
18	30	0 -1,5	0 -2,5	0 -4	0 -6	0 -9	0 -13	0 -21	0 -33	0 -52	0 -84	0 -130	0 -0,21	0 -0,33	0 -0,52	0 -0,84	0 -1,3	0 -2,1	0 -3,3
30	50	0 -1,5	0 -2,5	0 -4	0 -7	0 -11	0 -16	0 -25	0 -39	0 -62	0 -100	0 -160	0 -0,25	0 -0,39	0 -0,62	0 -1	0 -1,6	0 -2,5	0 -3,9
50	80	0 -2	0 -3	0 -5	0 -8	0 -13	0 -19	0 -30	0 -46	0 -74	0 -120	0 -190	0 -0,3	0 -0,46	0 -0,74	0 -1,2	0 -1,9	0 -3	0 -4,6
80	120	0 -2,5	0 -4	0 -6	0 -10	0 -15	0 -22	0 -35	0 -54	0 -87	0 -140	0 -220	0 -0,35	0 -0,54	0 -0,87	0 -1,4	0 -2,2	0 -3,5	0 -5,4
120	180	0 -3,5	0 -5	0 -8	0 -12	0 -18	0 -25	0 -40	0 -63	0 -100	0 -160	0 -250	0 -0,4	0 -0,63	0 -1	0 -1,6	0 -2,5	0 -4	0 -6,3
180	250	0 -4,5	0 -7	0 -10	0 -14	0 -20	0 -29	0 -46	0 -72	0 -115	0 -185	0 -290	0 -0,46	0 -0,72	0 -1,15	0 -1,85	0 -2,9	0 -4,6	0 -7,2
250	315	0 -6	0 -8	0 -12	0 -16	0 -23	0 -32	0 -52	0 -81	0 -130	0 -210	0 -320	0 -0,52	0 -0,81	0 -1,3	0 -2,1	0 -3,2	0 -5,2	0 -8,1
315	400	0 -7	0 -9	0 -13	0 -18	0 -25	0 -36	0 -57	0 -89	0 -140	0 -230	0 -360	0 -0,57	0 -0,89	0 -1,4	0 -2,3	0 -3,6	0 -5,7	0 -8,9
400	500	0 -8	0 -10	0 -15	0 -20	0 -27	0 -40	0 -63	0 -97	0 -155	0 -250	0 -400	0 -0,63	0 -0,97	0 -1,55	0 -2,5	0 -4	0 -6,3	0 -9,7
		2)																	
500	630	0 -9	0 -11	0 -16	0 -22	0 -32	0 -44	0 -70	0 -110	0 -175	0 -280	0 -440	0 -0,7	0 -1,1	0 -1,75	0 -2,8	0 -4,4	0 -7	0 -11
630	800	0 -10	0 -13	0 -18	0 -25	0 -36	0 -50	0 -80	0 -125	0 -200	0 -320	0 -500	0 -0,8	0 -1,25	0 -2	0 -3,2	0 -5	0 -8	0 -12,5
800	1 000	0 -11	0 -15	0 -21	0 -28	0 -40	0 -56	0 -90	0 -140	0 -230	0 -360	0 -560	0 -0,9	0 -1,4	0 -2,3	0 -3,6	0 -5,6	0 -9	0 -14
1 000	1 250	0 -13	0 -18	0 -24	0 -33	0 -47	0 -66	0 -105	0 -165	0 -260	0 -420	0 -660	0 -1,05	0 -1,65	0 -2,6	0 -4,2	0 -6,6	0 -10,5	0 -16,5
1 250	1 600	0 -15	0 -21	0 -29	0 -39	0 -55	0 -78	0 -125	0 -195	0 -310	0 -500	0 -780	0 -1,25	0 -1,95	0 -3,1	0 -5	0 -7,8	0 -12,5	0 -19,5
1 600	2 000	0 -18	0 -25	0 -35	0 -46	0 -65	0 -92	0 -150	0 -230	0 -370	0 -600	0 -920	0 -1,5	0 -2,3	0 -3,7	0 -6	0 -9,2	0 -15	0 -23
2 000	2 500	0 -22	0 -30	0 -41	0 -55	0 -78	0 -110	0 -175	0 -280	0 -440	0 -700	0 -1 100	0 -1,75	0 -2,8	0 -4,4	0 -7	0 -11	0 -17,5	0 -28
2 500	3 150	0 -26	0 -36	0 -50	0 -68	0 -96	0 -135	0 -210	0 -330	0 -540	0 -860	0 -1 350	0 -2,1	0 -3,3	0 -5,4	0 -8,6	0 -13,5	0 -21	0 -33

¹⁾ Toleransegrader IT14 t.o.m. IT16 skal ikke brukes for basismål mindre enn eller lik 1 mm.

²⁾ De innrammede verdier for toleransegrader IT1 t.o.m. IT5 for basismål større enn 500 mm og mindre enn eller lik 3150 mm, er tatt med som forsøk.

¹⁾ Tolerance grades IT14 to IT16 (incl.) shall not be used for basic sizes less than or equal to 1 mm.

²⁾ The values given in the frame, for tolerance grades IT1 to IT5 (incl.) for basic sizes greater than 500 mm and less than or equal to 3150 mm, are included for experimental use.

Tabell 27 Grenseavvik for aksler r

Table 27 Limit deviations for shafts r

Øvre grenseavvik = es
 Nedre grenseavvik = ei

Upper limit deviation = es
 Lower limit deviation = ei

Avvik i μm
 Deviations in micrometres

Basismål Basic size mm		r							
Over Above	T.o.m. Up to and including	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+12 +10	+13 +10	+14 +10	+16 +10	+20 +10	+24 +10	+35 +10	+50 +10
3	6	+17,5 +15	+19 +15	+20 +15	+23 +15	+27 +15	+33 +15	+45 +15	+63 +15
6	10	+21,5 +19	+23 +19	+25 +19	+28 +19	+34 +19	+41 +19	+55 +19	+77 +19
10	18	+26 +23	+28 +23	+31 +23	+34 +23	+41 +23	+50 +23	+66 +23	+93 +23
18	30	+32 +28	+34 +28	+37 +28	+41 +28	+49 +28	+61 +28	+80 +28	+112 +28
30	50	+38 +34	+41 +34	+45 +34	+50 +34	+59 +34	+73 +34	+96 +34	+134 +34
50	65		+49 +41	+54 +41	+60 +41	+71 +41	+87 +41		
65	80		+51 +43	+56 +43	+62 +43	+73 +43	+89 +43		
80	100		+61 +51	+66 +51	+73 +51	+86 +51	+105 +51		
100	120		+64 +54	+69 +54	+76 +54	+89 +54	+108 +54		
120	140		+75 +63	+81 +63	+88 +63	+103 +63	+126 +63		
140	160		+77 +65	+83 +65	+90 +65	+105 +65	+128 +65		
160	180		+80 +68	+86 +68	+93 +68	+108 +68	+131 +68		
180	200		+91 +77	+97 +77	+106 +77	+123 +77	+149 +77		
200	225		+94 +80	+100 +80	+109 +80	+126 +80	+152 +80		
225	250		+98 +84	+104 +84	+113 +84	+130 +84	+156 +84		
250	280		+110 +94	+117 +94	+126 +94	+146 +94	+175 +94		
280	315		+114 +98	+121 +98	+130 +98	+150 +98	+179 +98		
315	355		+126 +108	+133 +108	+144 +108	+165 +108	+197 +108		
355	400		+132 +114	+139 +114	+150 +114	+171 +114	+203 +114		
400	450		+146 +126	+153 +126	+166 +126	+189 +126	+223 +126		
450	500		+152 +132	+159 +132	+172 +132	+195 +132	+229 +132		

Basismål Basic size mm		r		
Over Above	T.o.m. Up to and including	6	7	8
500	560	+194 +150	+220 +150	+260 +150
560	630	+199 +156	+225 +156	+265 +156
630	710	+225 +175	+255 +175	+300 +175
710	800	+235 +185	+265 +185	+310 +185
800	900	+266 +210	+300 +210	+350 +210
900	1 000	+276 +220	+310 +220	+360 +220
1 000	1 120	+316 +250	+355 +250	+415 +250
1 120	1 250	+326 +260	+365 +260	+425 +260
1 250	1 400	+378 +300	+425 +300	+495 +300
1 400	1 600	+408 +330	+455 +330	+525 +330
1 600	1 800	+462 +370	+520 +370	+600 +370
1 800	2 000	+492 +400	+550 +400	+630 +400
2 000	2 240	+550 +440	+615 +440	+720 +440
2 240	2 500	+570 +460	+635 +460	+740 +460
2 500	2 800	+685 +550	+760 +550	+880 +550
2 800	3 150	+715 +580	+790 +580	+910 +580

Tabell 28 Grenseavvik for aksler s

Table 28 Limit deviations for shafts s

Øvre grenseavvik = es
 Nedre grenseavvik = ei

Upper limit deviation = es
 Lower limit deviation = ei

Avvik i μm
 Deviations in micrometres

Basismål Basic size mm		s							
Over Above	T.o.m. Up to and including	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+16 +14	+17 +14	+18 +14	+20 +14	+24 +14	+28 +14	+39 +14	+54 +14
3	6	+21,5 +19	+23 +19	+24 +19	+27 +19	+31 +19	+37 +19	+49 +19	+67 +19
6	10	+25,5 +23	+27 +23	+29 +23	+32 +23	+38 +23	+45 +23	+59 +23	+81 +23
10	18	+31 +28	+33 +28	+36 +28	+39 +28	+46 +28	+55 +28	+71 +28	+98 +28
18	30	+39 +35	+41 +35	+44 +35	+48 +35	+56 +35	+68 +35	+87 +35	+119 +35
30	50	+47 +43	+50 +43	+54 +43	+59 +43	+68 +43	+82 +43	+105 +43	+143 +43
50	65		+61 +53	+66 +53	+72 +53	+83 +53	+99 +53	+127 +53	
65	80		+67 +59	+72 +59	+78 +59	+89 +59	+105 +59	+133 +59	
80	100		+81 +71	+86 +71	+93 +71	+106 +71	+125 +71	+158 +71	
100	120		+89 +79	+94 +79	+101 +79	+114 +79	+133 +79	+166 +79	
120	140		+104 +92	+110 +92	+117 +92	+132 +92	+155 +92	+192 +92	
140	160		+112 +100	+118 +100	+125 +100	+140 +100	+163 +100	+200 +100	
160	180		+120 +108	+126 +108	+133 +108	+148 +108	+171 +108	+208 +108	
180	200		+136 +122	+142 +122	+151 +122	+168 +122	+194 +122	+237 +122	
200	225		+144 +130	+150 +130	+159 +130	+176 +130	+202 +130	+245 +130	
225	250		+154 +140	+160 +140	+169 +140	+186 +140	+212 +140	+255 +140	
250	280		+174 +158	+181 +158	+190 +158	+210 +158	+239 +158	+288 +158	
280	315		+186 +170	+193 +170	+202 +170	+222 +170	+251 +170	+300 +170	
315	355		+208 +190	+215 +190	+226 +190	+247 +190	+279 +190	+330 +190	
355	400		+226 +208	+233 +208	+244 +208	+265 +208	+297 +208	+348 +208	
400	450		+252 +232	+259 +232	+272 +232	+295 +232	+329 +232	+387 +232	
450	500		+272 +252	+279 +252	+292 +252	+315 +252	+349 +252	+407 +252	

Basismål Basic size mm		s		
Over Above	T.o.m. Up to and including	6	7	8
500	560	+324 +290	+350 +290	+390 +290
560	630	+354 +310	+380 +310	+420 +310
630	710	+390 +340	+420 +340	+465 +340
710	800	+430 +380	+460 +380	+505 +390
800	900	+486 +430	+520 +430	+570 +430
900	1 000	+526 +470	+560 +470	+610 +470
1 000	1 120	+586 +520	+625 +520	+685 +520
1 120	1 250	+646 +580	+685 +580	+745 +580
1 250	1 400	+718 +640	+765 +640	+835 +640
1 400	1 600	+798 +720	+845 +720	+915 +720
1 600	1 800	+912 +820	+970 +820	+1 050 +820
1 800	2 000	+1 012 +920	+1 070 +920	+1 150 +920
2 000	2 240	+1 110 +1 000	+1 175 +1 000	+1 280 +1 000
2 240	2 500	+1 210 +1 100	+1 275 +1 100	+1 380 +1 100
2 500	2 800	+1 385 +1 250	+1 460 +1 250	+1 580 +1 250
2 800	3 150	+1 535 +1 400	+1 610 +1 400	+1 730 +1 400

Tabell 29 Grenseavvik for aksler t og u

Table 29 Limit deviations for shafts t and u

Øvre grenseavvik = es
Nedre grenseavvik = ei

Upper limit deviation = es
Lower limit deviation = ei

Avvik i μm
Deviations in micrometres

Basismål Basic size mm		t ¹⁾				u				
Over Above	T.o.m. Up to and including	5	6	7	8	5	6	7	8	9
—	3					+ 22 + 18	+ 24 + 18	+ 28 + 18	+ 32 + 18	+ 43 + 18
3	6					+ 28 + 23	+ 31 + 23	+ 35 + 23	+ 41 + 23	+ 53 + 23
6	10					+ 34 + 28	+ 37 + 28	+ 43 + 28	+ 50 + 28	+ 64 + 28
10	18					+ 41 + 33	+ 44 + 33	+ 51 + 33	+ 60 + 33	+ 76 + 33
18	24					+ 50 + 41	+ 54 + 41	+ 62 + 41	+ 74 + 41	+ 93 + 41
24	30	+ 50 + 41	+ 54 + 41	+ 62 + 41	+ 74 + 41	+ 57 + 41	+ 61 + 48	+ 69 + 48	+ 81 + 48	+100 + 48
30	40	+ 59 + 48	+ 64 + 48	+ 73 + 48	+ 87 + 48	+ 71 + 60	+ 76 + 60	+ 85 + 60	+ 99 + 60	+122 + 60
40	50	+ 65 + 54	+ 70 + 54	+ 79 + 54	+ 93 + 54	+ 81 + 70	+ 86 + 70	+ 95 + 70	+109 + 70	+132 + 70
50	65	+ 79 + 66	+ 85 + 66	+ 96 + 66	+112 + 66	+100 + 87	+106 + 87	+117 + 87	+133 + 87	+161 + 87
65	80	+ 88 + 75	+ 94 + 75	+105 + 75	+121 + 75	+115 +102	+121 +102	+132 +102	+148 +102	+176 +102
80	100	+106 + 91	+113 + 91	+126 + 91	+145 + 91	+139 +124	+146 +124	+159 +124	+178 +124	+211 +124
100	120	+119 +104	+126 +104	+139 +104	+158 +104	+159 +144	+166 +144	+179 +144	+198 +144	+231 +144
120	140	+140 +122	+147 +122	+162 +122	+185 +122	+188 +170	+195 +170	+210 +170	+233 +170	+270 +170
140	160	+152 +134	+159 +134	+174 +134	+197 +134	+208 +190	+215 +190	+230 +190	+253 +190	+290 +190
160	180	+164 +146	+171 +146	+186 +146	+209 +146	+228 +210	+235 +210	+250 +210	+273 +210	+310 +210
180	200	+186 +166	+195 +166	+212 +166	+238 +166	+256 +236	+265 +236	+282 +236	+308 +236	+351 +236
200	225	+200 +180	+209 +180	+226 +180	+252 +180	+278 +258	+287 +258	+304 +258	+330 +258	+373 +258
225	250	+216 +196	+225 +196	+242 +196	+268 +196	+304 +284	+313 +284	+330 +284	+356 +284	+399 +284
250	280	+241 +218	+250 +218	+270 +218	+299 +218	+338 +315	+347 +315	+367 +315	+396 +315	+445 +315
280	315	+263 +240	+272 +240	+292 +240	+321 +240	+373 +350	+382 +350	+402 +350	+431 +350	+480 +350
315	355	+293 +268	+304 +268	+325 +268	+357 +268	+415 +390	+426 +390	+447 +390	+479 +390	+530 +390
355	400	+319 +294	+330 +294	+351 +294	+383 +294	+460 +435	+471 +435	+492 +435	+524 +435	+575 +435
400	450	+357 +330	+370 +330	+393 +330	+427 +330	+517 +490	+530 +490	+553 +490	+587 +490	+645 +490
450	500	+387 +360	+400 +360	+423 +360	+457 +360	+567 +540	+580 +540	+603 +540	+637 +540	+695 +540

Basismål Basic size mm		t		u		
Over Above	T.o.m. Up to and including	6	7	6	7	8
500	560	+ 444 + 400	+ 470 + 400	+ 644 + 600	+ 670 + 600	+ 710 + 600
560	630	+ 494 + 450	+ 520 + 450	+ 704 + 660	+ 730 + 660	+ 770 + 660
630	710	+ 550 + 500	+ 580 + 500	+ 790 + 740	+ 820 + 740	+ 865 + 740
710	800	+ 610 + 560	+ 640 + 560	+ 890 + 840	+ 920 + 840	+ 965 + 840
800	900	+ 676 + 620	+ 710 + 620	+ 996 + 940	+1 030 + 940	+1 080 + 940
900	1 000	+ 736 + 680	+ 770 + 680	+1 106 +1 050	+1 140 +1 050	+1 190 +1 050
1 000	1 120	+ 846 + 780	+ 885 + 780	+1 216 +1 150	+1 255 +1 150	+1 315 +1 150
1 120	1 250	+ 906 + 840	+ 945 + 840	+1 366 +1 300	+1 405 +1 300	+1 465 +1 300
1 250	1 400	+1 038 + 960	+1 085 + 960	+1 528 +1 450	+1 575 +1 450	+1 645 +1 450
1 400	1 600	+1 128 +1 050	+1 175 +1 050	+1 678 +1 600	+1 725 +1 600	+1 795 +1 600
1 600	1 800	+1 292 +1 200	+1 350 +1 200	+1 942 +1 850	+2 000 +1 850	+2 080 +1 850
1 800	2 000	+1 442 +1 350	+1 500 +1 350	+2 092 +2 000	+2 150 +2 000	+2 230 +2 000
2 000	2 240	+1 610 +1 500	+1 675 +1 500	+2 410 +2 300	+2 475 +2 300	+2 580 +2 300
2 240	2 500	+1 760 +1 650	+1 825 +1 650	+2 610 +2 500	+2 675 +2 500	+2 780 +2 500
2 500	2 800	+2 035 +1 900	+2 110 +1 900	+3 035 +2 900	+3 110 +2 900	+3 230 +2 900
2 800	3 150	+2 235 +2 100	+2 310 +2 100	+3 335 +3 200	+3 410 +3 200	+3 530 +3 200

¹⁾ Toleranseklassene t5 t.o.m. t8 er ikke tatt med i tabellen for basismål mindre enn eller lik 24 mm. Det anbefales at toleranseklassene u5 t.o.m. u8 brukes i stedet. Hvis imidlertid toleranseklasser t5 t.o.m. t8 forlanges spesielt, kan disse beregnes fra det grunnlag som er gitt i NS-ISO 286-1.

¹⁾ Tolerance classes t5 to t8 (incl.) have not been tabulated for basic sizes less than or equal to 24 mm. It is recommended that tolerance classes u5 to u8 (incl.) be used instead. However, if tolerance classes t5 to t8 (incl.) are especially required, they may be calculated from the bases given in ISO 286-1.