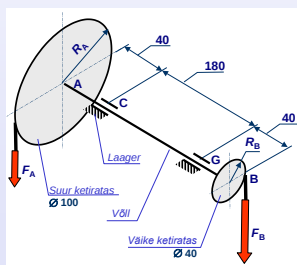


TUGEVUSÕPETUS

VÄSIMUS: Kettülekande võll



Priit Põdra

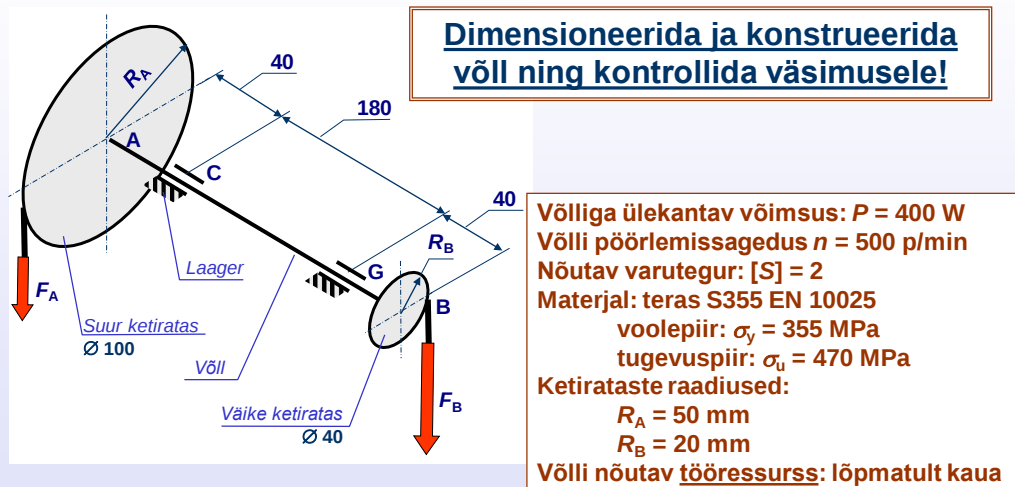
VÄSIMUS: Kettülekande võll

1

1. Ülesande püstitus ja algandmed

Priit Põdra

Kettülekande võll



Priit Põdra

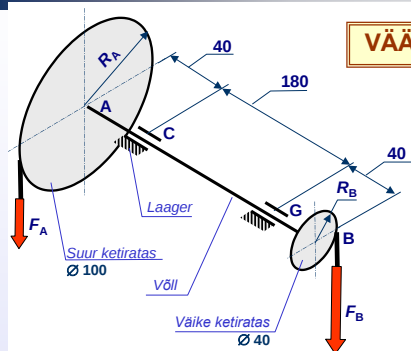
VÄSIMUS: Kettülekande võll

3

2. Võlli dimensioneerimine staatikas

Priit Põdra

2.1. Võlli aktiivsed koormused



VÄÄNAV koormus = ülekantav (kasulik) pöördemoment

Võlliga ülekantav pöördemoment

$$\mathcal{M} = \frac{P}{\omega} = \frac{60P}{2\pi n} = \frac{60 \cdot 400}{2 \cdot \pi \cdot 500} = 7,63 \approx 7,7 \text{ Nm}$$

Võlliga ülekantav võimsus [W]
Võlli pöörlemissagedus [p/min]
Võlli pöörlemise nurkkiirus [rad/s]

Pöördemoment kantakse võllile ketirataste kaudu

PAINUTAVAD koormused = kettide tõmbejõud F_A ja F_B

Suure ketiratta keti jõud

$$F_A = \frac{\mathcal{M}}{R_A} = \frac{7,7}{0,05} = 154 \text{ N}$$

Väikese ketiratta keti jõud

$$F_B = \frac{\mathcal{M}}{R_B} = \frac{7,7}{0,02} = 385 \text{ N}$$

2.2. Võlli sisejõudude analüüs (1)

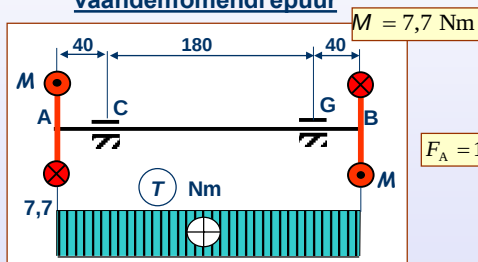
Kettide jõud F_A ja F_B mõjuvad mõlemad vertikaalselt

Võll on vertikaaltasandis (ühes tasandis) painutatud

Kettide jõud F_A ja F_B mõjuvad võlli teljest eemal

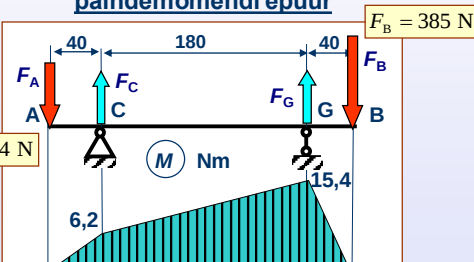
Võll on väänatud

Väände arvutuskeem ja väändemomendi epüür



$$T_{AB} = \mathcal{M} = 7,7 \text{ Nm}$$

Painde arvutuskeem ja paindemomendi epüür



$$M_C = F_A \cdot CA = 154 \cdot 0,04 = 6,16 \approx 6,2 \text{ Nm}$$

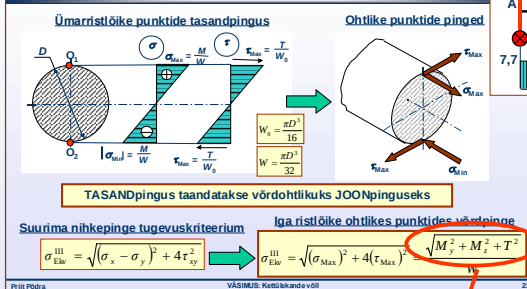
$$M_G = F_B \cdot GB = 385 \cdot 0,04 = 15,4 \text{ Nm}$$

$$M_A = 0$$

$$M_B = 0$$

2.2. Võlli sisejõudude analüüs (2)

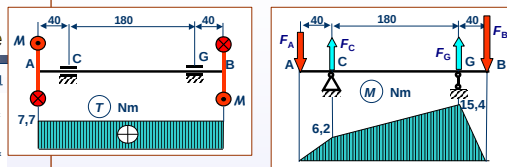
4.4. ÜMARistlõike ohtlike punktide võrdpinge



Ekvivalentne paindemoment

$$M_{Ekr}^{III} = \sqrt{M^2 + T^2}$$

ÜMARistlõike ekvivalentne paindemoment suurima nihkepinge (ehk III) tugevuskriteeriumi järgi



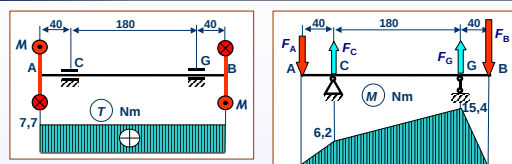
$$M_{Ekr,A}^{III} = \sqrt{M_A^2 + T_A^2} = \sqrt{0^2 + 7,7^2} = 7,7 \text{ Nm}$$

$$M_{Ekr,C}^{III} = \sqrt{M_C^2 + T_C^2} = \sqrt{6,2^2 + 7,7^2} = 9,88 \approx 9,9 \text{ Nm}$$

$$M_{Ekr,G}^{III} = \sqrt{M_G^2 + T_G^2} = \sqrt{15,4^2 + 7,7^2} = 17,21 \approx 17,2 \text{ Nm}$$

$$M_{Ekr,B}^{III} = \sqrt{M_B^2 + T_B^2} = \sqrt{0^2 + 7,7^2} = 7,7 \text{ Nm}$$

2.3 Võlli läbimõõdud ohtlikes kohtades



Enimkoormatud (ohtlikemad) ristlõiked on C ja G

Üldine tugevustingimus

$$\sigma_{Ekr} = \frac{M_{Ekr}}{W} = \frac{32M_{Ekr}}{\pi D^3} \leq \sigma_y [S]$$

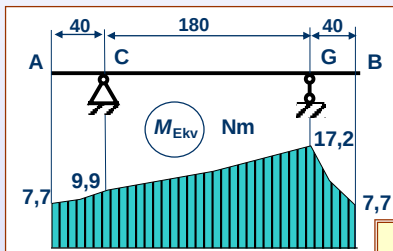
Ristlõike C vajalik läbimõõt

$$D_C \geq \sqrt[3]{\frac{32M_{Ekr,C} [S]}{\pi \sigma_y}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 9,9 \cdot 2}{\pi \cdot 355 \cdot 10^6}} = 0,0082 \text{ m} \approx 9 \text{ mm}$$

Ristlõike G vajalik läbimõõt

$$D_G \geq \sqrt[3]{\frac{32M_{Ekr,G} [S]}{\pi \sigma_y}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 17,2 \cdot 2}{\pi \cdot 355 \cdot 10^6}} = 0,0099 \text{ m} \approx 10 \text{ mm}$$

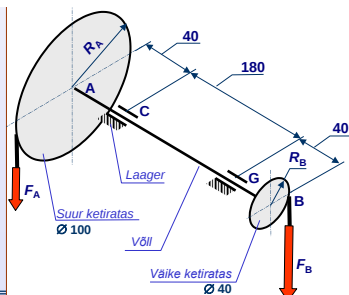
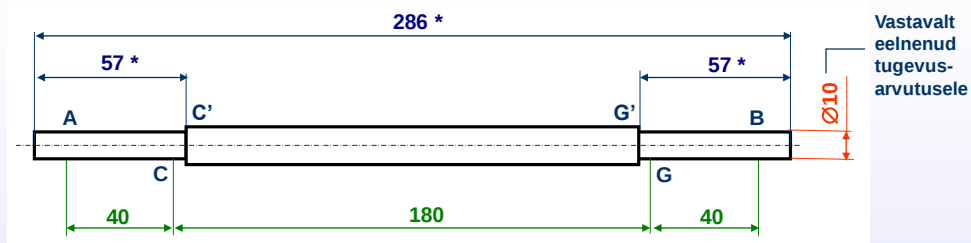
Ekvivalentse paindemomendi epüür



3. Võlli esmane konstruktsioon

Priit Põdra

3.1. Kahe identse astmega ümarvõll



Kõik mõõtmed on esialgu ligikaudsed ja võivad hiljem konkreetsete laagrite ja muude komponentide valikul muutuda

Astmete parameetrite valikul tuleb lähtuda veerelaagrite mõõtmetest ning võib hinnanguliselt prognoosida pingekontsentratsiooni

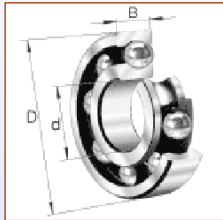
Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettülekande võll

10

3.2. Astmete konstruktsioon (1)

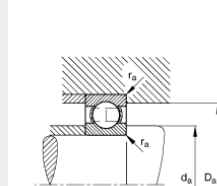
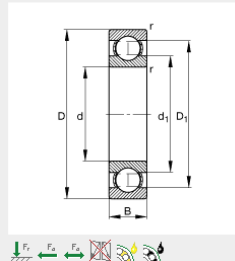
Võlli toestamiseks kasutatakse FAG 6000 seeria radiaal-kuullagreid



Võib kasutada igat tüüpi laagreid

Võlli vähim läbimõõt on valitud $d = 10 \text{ mm}$

FAG Deep groove ball bearings 6000
main dimensions to DIN 625-1



Veerelaagri
nimiläbimõõt

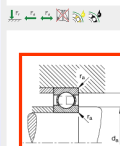
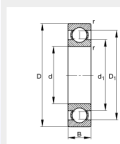
d	10 mm
D	26 mm
B	8 mm
D ₁	21,4 mm
D _{a max}	24 mm
d ₁	14,7 mm
d _{a min}	12 mm
r _{a max}	0,3 mm
r _{min}	0,3 mm
m	0,018 kg Mass
C _r	4550 N Basic dynamic load rating, radial
C _{0r}	1960 N Basic static load rating, radial
n _G	34000 1/min Limiting speed
n _B	27500 1/min Reference speed
C _{ur}	93 N Fatigue limit load, radial

Priit Põdra

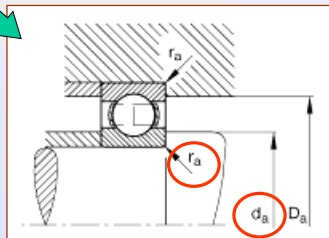
11

3.2. Astmete konstruktsioon (2)

FAG Deep groove ball bearings 6000
main dimensions to DIN 625-1



d	10 mm
D	26 mm
B	8 mm
D ₁	21,4 mm
D _{a max}	24 mm
d ₁	14,7 mm
d _{a min}	12 mm
r _{a max}	0,3 mm
r _{min}	0,3 mm
m	0,018 kg Mass
C _r	4550 N Basic dynamic load rating, radial
C _{0r}	1960 N Basic static load rating, radial
n _G	34000 1/min Limiting speed
n _B	27500 1/min Reference speed
C _{ur}	93 N Fatigue limit load, radial

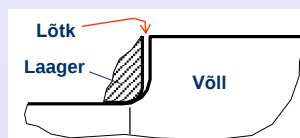


Võlli astme üleminekuraadius tuleks teha võimalikult suur

Siis on pingekontsentratsioon minimaalne

Liiga suure üleminekuraadiuse korral ei saa laagrit korrektselt paigaldada

Võlli liiga suur üleminekuraadius



Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettülekanne võlli

12

3.2. Astmete konstruktsioon (3)

Laagrikataloogi andmetest lähtuv valik

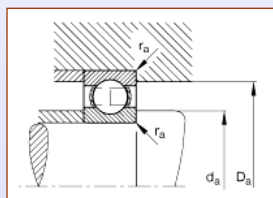
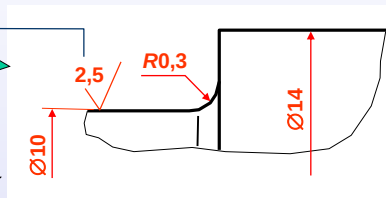
D_1	21,4 mm
$D_{a \max}$	24 mm
d_1	14,7 mm
$d_{a \min}$	12 mm
$r_{a \max}$	0,3 mm
$r_{\min}$	0,3 mm

$$d_a = 14 \text{ mm}$$

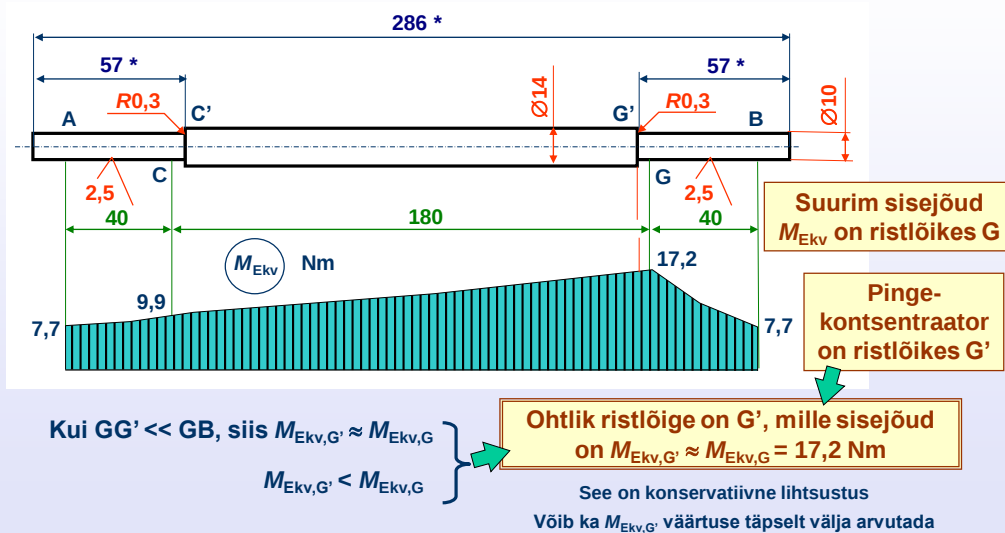
$$r_a = 0,3 \text{ mm}$$

Peenlihvitud

Astme konstruktsioon



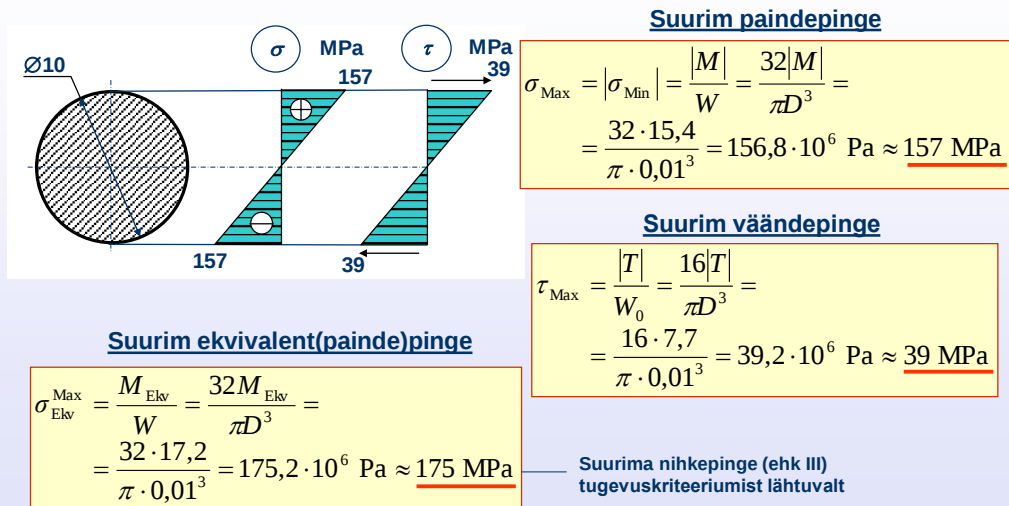
3.3. Völli ohtlik ristlõige



4. Ohtliku ristlõike Ø10 kontroll väsimusele

Priit Põdra

4.1. Ohtliku ristlõike G' (astme) nimipinged

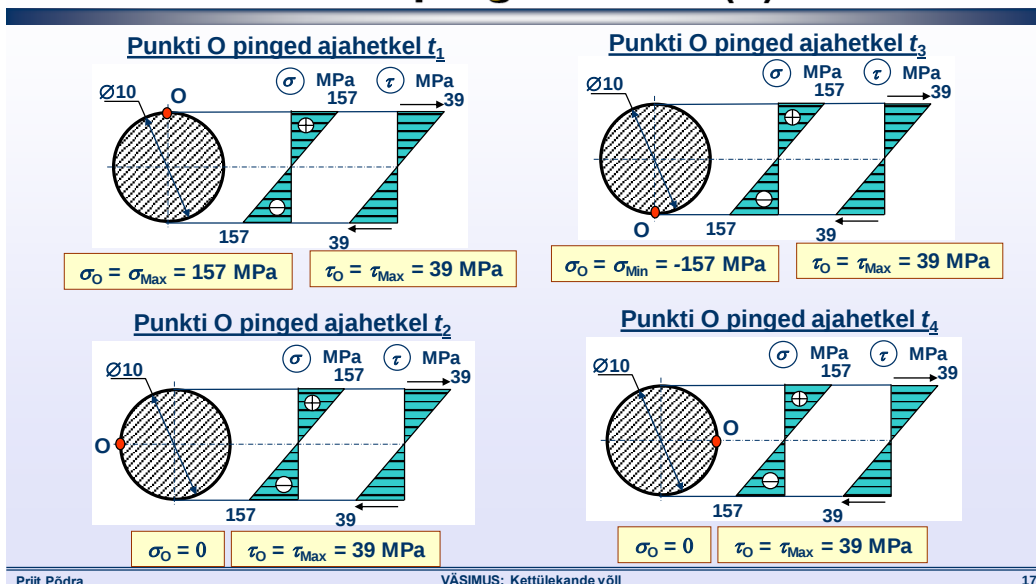


Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettülekande völli

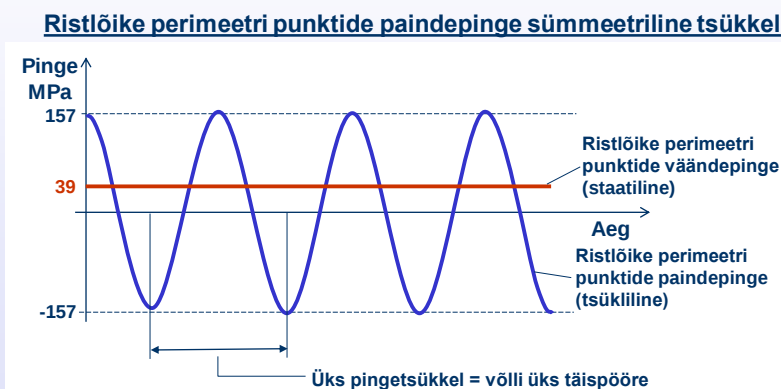
16

4.2. Ristlõike G' pingetsükkel (1)



4.2. Ristlõike G' pingetsükkel (2)

Völli pöörlemise tõttu tekib staatiline paindemoment völli materjalis sümmeetrilise tsükliliga paindepinge



Pingetsükli sümmeetriategur

$$R = \frac{\sigma_{\text{Min}}}{\sigma_{\text{Max}}} = -1$$

Pingetsükli amplituudväärtus

$$\sigma_a = 157 \text{ MPa}$$

Pingetsükli keskvaartus

$$\sigma_m = 0$$

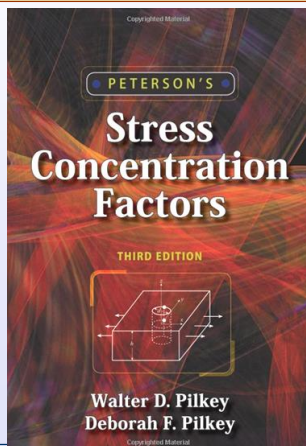
4.3. Astme pingekontsentratsioon

Pingekontsentratsioonitegurite
väärtused saadakse käsiraamatutest

Antud detaili kuju jaoks

Antud pingekontsetraatori kuju jaoks

Antud tööseisundi jaoks



Title:	Peterson's Stress Concentration Factors (3rd Edition)
Publisher:	John Wiley & Sons
Copyright / Pub. Date:	© 2008
ISBN:	978-0-470-04824-5
Electronic ISBN:	978-1-60119-834-1
No. Pages:	541
Author/Editor:	By: Pilkey, Walter D.; Pilkey, Deborah F.
Knovel Release Date:	Jun 17, 2009
Knovel Subject Area(s):	Mechanics & Mechanical Engineering
Description:	Peterson's Stress Concentration Factors establishes and maintains a system of data classification for all of the applications of stress and strain analysis and expedites their synthesis into CAD applications. Substantially revised and completely updated, this book presents stress concentration factors both graphically and with formulas. 251 stress concentration and other important graphs in this title have been made interactive using Graph Digitizer.

Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettulekande völli

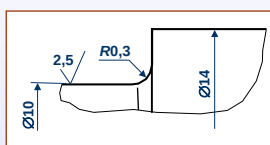
19

4.3.1. Pingekontsentratsioon paindel (1)

Detaili kuju = SILINDER

Pingekontsentratori kuju = ASTE

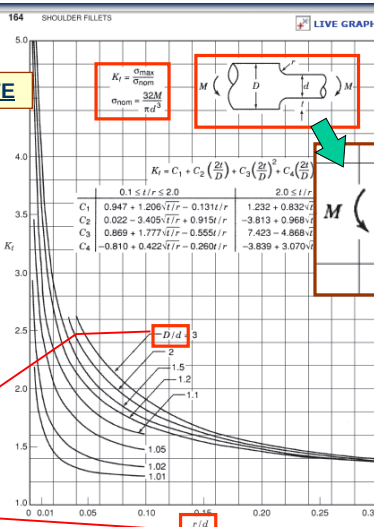
Tööseisund = PAINE



Olulised muutujad

D/d

r/d



Astmega ümarvarda
STAATILINE paine

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{nom}}}$$

$$\sigma_{\text{nom}} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

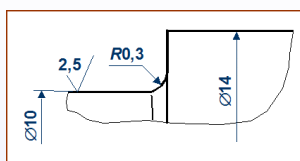
Kontsentratsiooniteguri
kasutamise viis

Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettulekande völli

20

4.3.1. Pingekontsentratsioon paindel (2)



Olulised muutujad

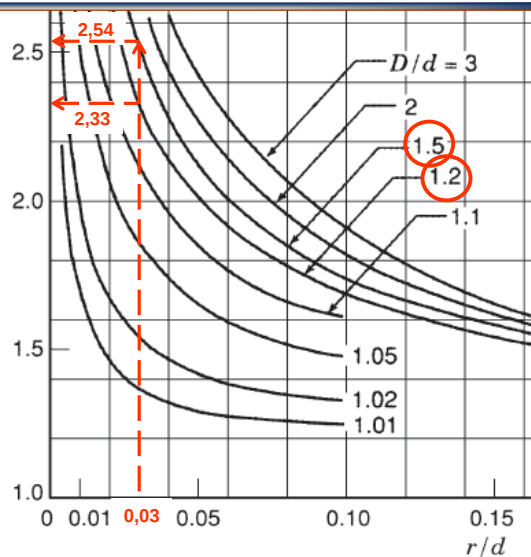
$$\frac{D}{d} = \frac{14}{10} = 1,4 \quad \frac{r}{d} = \frac{0,3}{10} = 0,03$$

Siin tuleb kasutada interpoleerimist

Pingekontsentratsioonitegurid

Kui $\frac{D}{d} = 1,2$, siis $K = 2,33$

Kui $\frac{D}{d} = 1,5$, siis $K = 2,54$



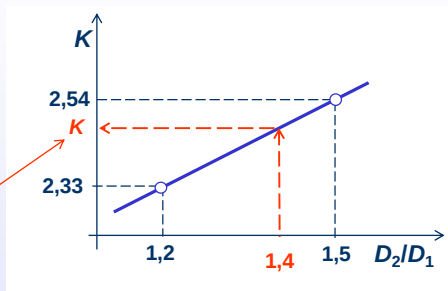
Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettulekande vööl

21

4.3.1. Pingekontsentratsioon paindel (3)

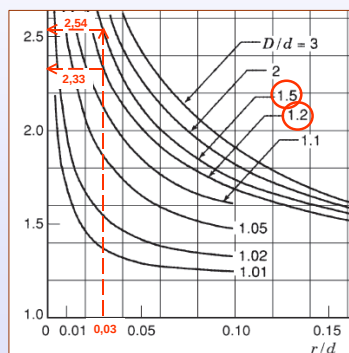
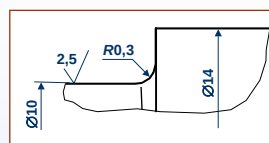
Lineaarse interpoleerimise skeem



Pingekontsentratsioonitegur STAATIKAS

$$K = 2,33 + \frac{1,4 - 1,2}{1,5 - 1,2} \cdot (2,54 - 2,33) = 2,47$$

Silindrilisele astmele STAATILISEL paindel



Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettulekande vööl

22

4.3.1. Pingekontsentratsioon paindel (4)

Pingekontsentratsioonitegur TSÜKLILISEL koormusel on väärtuselt väiksem, kui pingekontsentratsioonitegur STAATILISEL koormusel

Pingekontsentratsioonitegur TSÜKLILISEL koormusel

$$K_{-1} = 1 + q(K - 1)$$

Pingekontsentratsioonitegur STAATILISEL koormusel
Kontsentratsioonitundlikkuse tegur

Kontsentratsioonitundlikkuse tegur

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

Neuber'i konstant
Pingekontsentratsiooni kõverusraadius

Neuber'i konstandi väärtusi terastele

Terased	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
Terase tugevuspiir, MPa	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
$\sqrt{a}, \text{mm}^{0,5}$	0,57	0,36	0,26	0,19	0,13	0,09	0,05	0,02

Neuber'i konstantide väärtusi saab käsiraamatutest

4.3.1. Pingekontsentratsioon paindel (5)

Terased	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
Terase tugevuspiir, MPa	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
$\sqrt{a}, \text{mm}^{0,5}$	0,57	0,36	0,26	0,19	0,13	0,09	0,05	0,02

Materjali tugevuspiir

$$\sigma_u = 470 \text{ MPa}$$

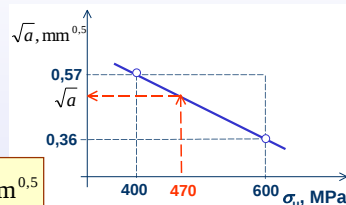
Neuber'i konstandid

Kui $\sigma_u = 400 \text{ MPa}$, siis $\sqrt{a} = 0,57 \text{ mm}^{0,5}$

Kui $\sigma_u = 600 \text{ MPa}$, siis $\sqrt{a} = 0,36 \text{ mm}^{0,5}$

$$\sqrt{a} = 0,36 + \frac{600 - 470}{600 - 400} \cdot (0,57 - 0,36) = 0,496 \approx 0,50 \text{ mm}^{0,5}$$

Siin tuleb kasutada interpoleerimist



Kontsentratsioonitundlikkuse tegur

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} = \frac{1}{1 + \frac{0,5}{\sqrt{0,3}}} = 0,522 \approx 0,52$$

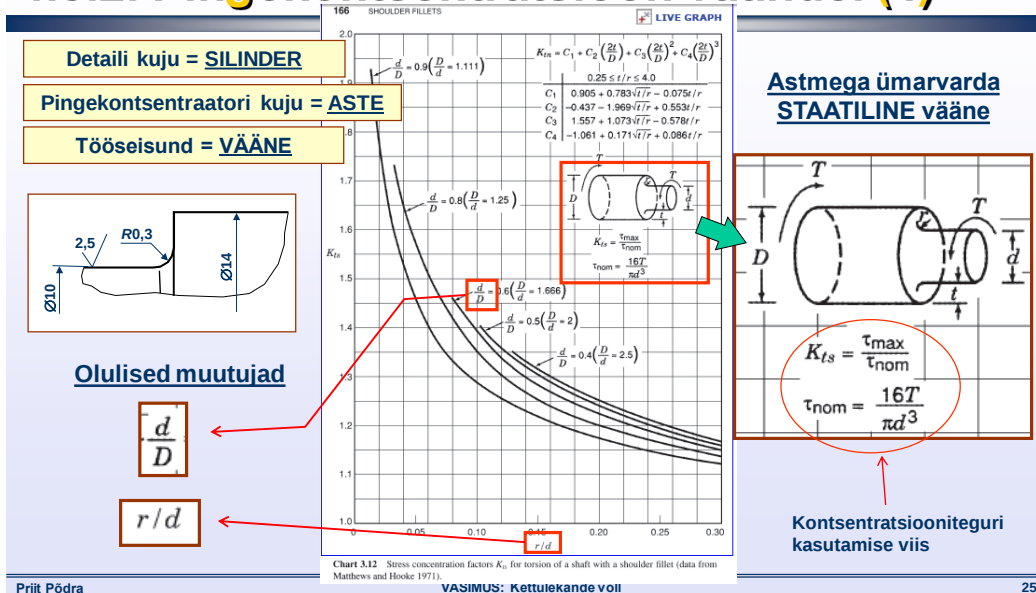
$r = 0,3 \text{ mm}$

Võib kasutada ka seost: $K_{-1} = (0,6 \dots 0,9)K$

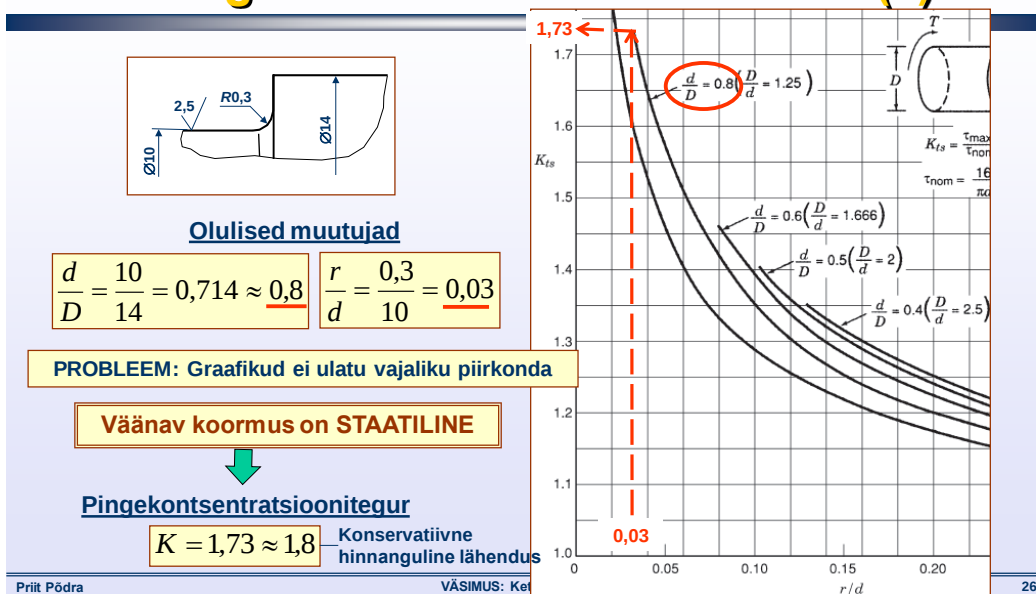
Pingekontsentratsioonitegur TSÜKLILISEL koormusel

$$K_{-1} = 1 + q(K - 1) = 1 + 0,52 \cdot (2,47 - 1) = 1,764 \approx 1,76$$

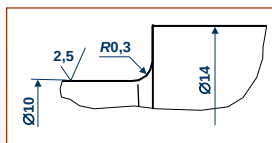
4.3.2. Pingekontsentratsioon väändel (1)



4.3.2. Pingekontsentratsioon väändel (2)



4.4. Astme kohalikud pinged



Kohalik paindepinge amplituudväärtus

$$\sigma_a^{\text{Max}} = K_{-1} \sigma_a = 1,76 \cdot 157 = 276,3 \approx 276 \text{ MPa}$$

Kohalik väändepinge amplituudväärtus

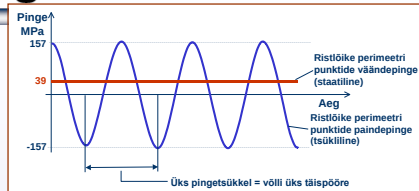
$$\tau_a^{\text{Max}} = 0$$

Kohalik pinge ekvivalent-AMPLITUUDväärtus

$$\sigma_{\text{Ekv}, a}^{\text{IV}} = \sqrt{(\sigma_a^{\text{Max}})^2 + 3(\tau_a^{\text{Max}})^2} = \sqrt{276^2 + 3 \cdot 0^2} = \underline{276 \text{ MPa}}$$

Kohalik pinge ekvivalent-KESKväärtus

$$\sigma_{\text{Ekv}, m}^{\text{IV}} = \sqrt{(\sigma_m^{\text{Max}})^2 + 3(\tau_m^{\text{Max}})^2} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot 70^2} = 121,2 \approx \underline{121 \text{ MPa}}$$



Kohalik paindepinge keskvaartus

$$\sigma_m^{\text{Max}} = K_{-1} \sigma_m = 1,76 \cdot 0 = 0$$

Kohalik väändepinge keskvaartus

$$\tau_m^{\text{Max}} = K \tau_m = 1,8 \cdot 39 = 70,2 \approx 70 \text{ MPa}$$

Energeetilise (ehk IV) tugevuskriteeriumi järgi

4.5. Astme kohalik väsimuspiir

Terased väsimuspiir paindel

$$\sigma_{-1} = 0,5 \sigma_u = 0,5 \cdot 470 = 235 \text{ MPa}$$

Kui materjali tugevuspiir $\sigma_u < 1400 \text{ MPa}$

Materjali tugevuspiir

Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida sellest materjalist katsekeha talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Astme kohalik väsimuspiir paindel

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} < \sigma_{-1}$$

Sest detaili antud kohas on väsimuspragude tekke tõenäosus eeldatavalt suurem, kui väsimusteimi katsekehas

Väsimuspiiri alanemise tegur (antud astmele)

Väsimuspiiri alanemise tegur

$$K^{(D)} = K_k K_m K_p$$

Koormusliigitegur

Mastaabitegur

Pinnakaredustegur

Kirjandusest võib leida ka teistsuguse kujuga valemeid

4.5.1. Koormusliigiteguri väärtus

Koormusliigitegur näitab koormuse liigi (pike, paine või vääne) ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Koormusliigitegurid terastele

Tööseisund	K_k	Märkus
Pike	0,7	
Puhas paine	1	kui on teada pöördpaine σ_1
Puhas vääne	1	1) kui on teada väände τ_1 või 2) kui on teada pöördpaine (paine) σ_1 ja vääne on taandatud ekvivalentseks paindeks

Paine ja väände koosmõju on taandatud võrdohtlikuks pöördpaindeks

Astme koormusliigitegur

$$K_k = 1$$

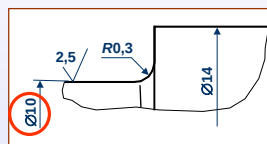
4.5.2. Mastaabiteguri väärtus

Mastaabitegur näitab detaili kohalike mõõtmete ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Paine ja väände koosmõju on taandatud võrdohtlikuks pöördpaindeks

Mastaabitegurid terasest detailidele pöördpaindel

Läbimõõt d , mm	K_m (kui d on mm-s)
< 8	1
8 ... 50	$1,25d^{0,11}$
50 ... 250	$0,859-0,000837d$
> 250	0,6



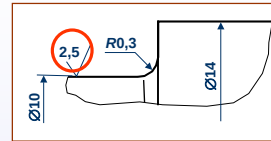
Mastaabiteguri väärtuste arvutamise erinevad meetodikad on toodud käsiraamatutes

Astme mastaabitegur

$$K_m = 1,25d^{-0,11} = 1,25 \cdot 10^{-0,11} = 0,970 \approx 0,97$$

4.5.3. Pinnakaredusteguri väärtus

Pinnakaredustegur näitab detaili pinnakareduse ohtlikkust tsüklilisel koormusel



Pinnakaredustegurid terasest detailidele

$$K_p = \begin{cases} A \sigma_u^B \\ 1, \text{ kui } A \sigma_u^B > 1 \end{cases}$$

Tugevuspiir [MPa]

Pinnaviimistlus		A	B
Töötlemisviis	Pinnakaredus R_a , μm		
Lihvimine	0,1 ... 1,6	1,58	-0,085
Lõiketöödus ja külmavaltsimine	0,8 ... 6,3	4,51	-0,265
Kuumvaltsimine	12,5 ... 25	57,7	-0,718
Sepistamine	25 ... 50	272	-0,995

Astme pinnakaredustegur

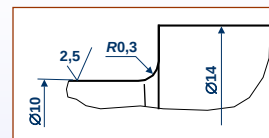
$$K_t = A \sigma_u^B = 4,51 \cdot 470^{-0,265} = 0,883 \approx 0,88$$

Pinnakaredusteguri väärtuste arvutamise erinevad meetodid on toodud käsiraamatutes

4.5.4. Astme väsimuspiiri alanemine

Väsimuspiiri alanemise tegur

$$K^{(D)} = K_k K_m K_p = 1 \cdot 0,97 \cdot 0,88 = 0,853 \approx 0,85$$



Astme kohalik väsimuspiir

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} = 0,85 \cdot 235 = 199,7 \approx 200 \text{ MPa}$$

Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida antud terasest ja antud konstruktsiooniga aste talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Ühe ja sama detaili erineva konstruktsiooniga kohtades võivad väsimuspiiride väärtused olla erinevad



4.6. Astme väsimusvarutegur (1)

Astme asümmeetrilise pingetsükli parameetrid

$$\sigma_a = \sigma_{\text{Elv}, a}^{\text{IV}} = 276 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \sigma_{\text{Elv}, m}^{\text{IV}} = 121 \text{ MPa}$$

Amplituudpinge

Keskpinge

Väärtused arvestavad pinge-kontsentratsiooni

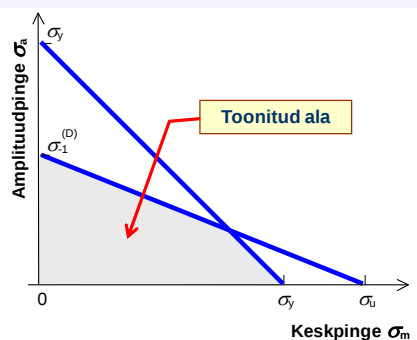
Astme kohalik väsimuspiir

$$\sigma_{-1}^{(D)} = 200 \text{ MPa}$$

Goodman'i täiendatud piiramplituudi-diagramm

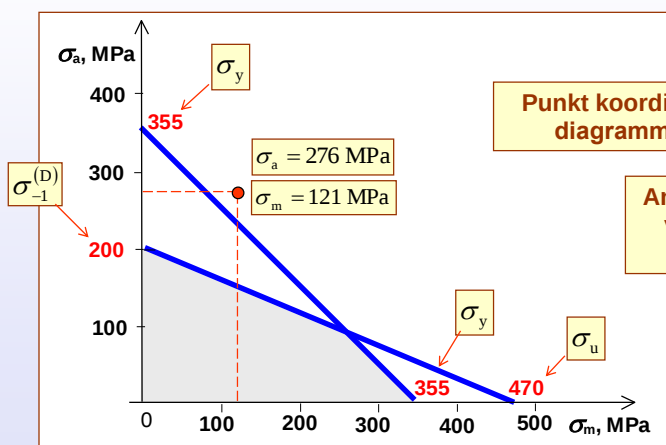
Väsimusvarutegur $S > 1$, kui punkt koordinaatidega σ_a ja σ_m paikneb diagrammi "toonitud" ala sees

Kui punkt koordinaatidega σ_a ja σ_m paikneb diagrammi "toonitud" alast väljas, siis $S < 1$ ja antud konstruktsioonilahendust tuleb korrigeerida



4.6. Astme väsimusvarutegur (2)

Goodman'i täiendatud kohalikpiiramplituudi-diagramm

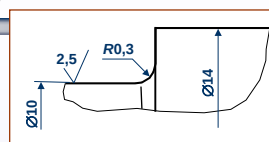


Punkt koordinaatidega σ_a ja σ_m paikneb diagrammi "toonitud" alast väljas

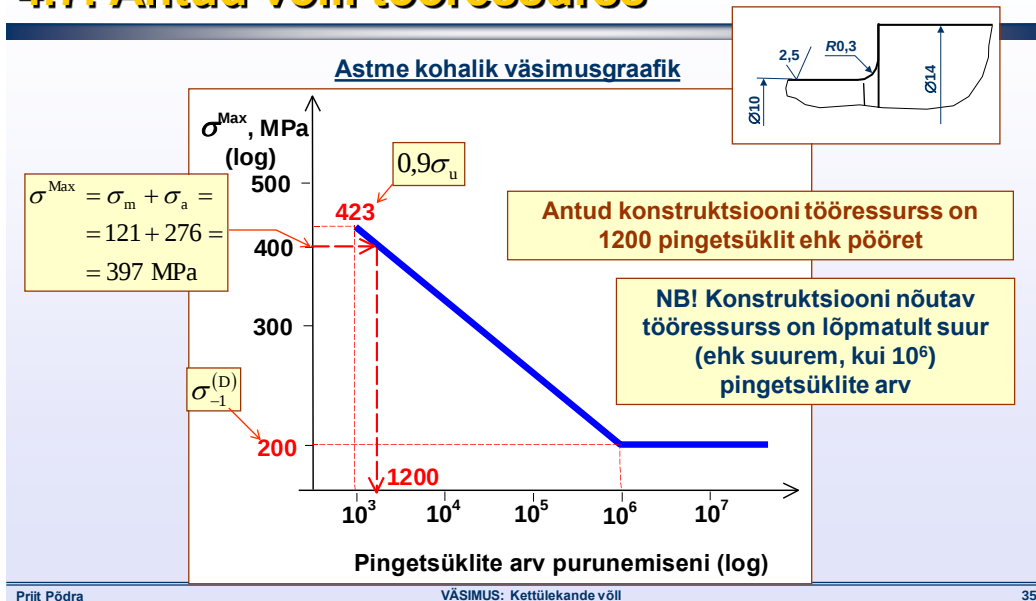
Antud konstruktsiooni väsimusvaruteguri väärtus $S < 1$

Konstruktsiooni tugevus ei ole piisav

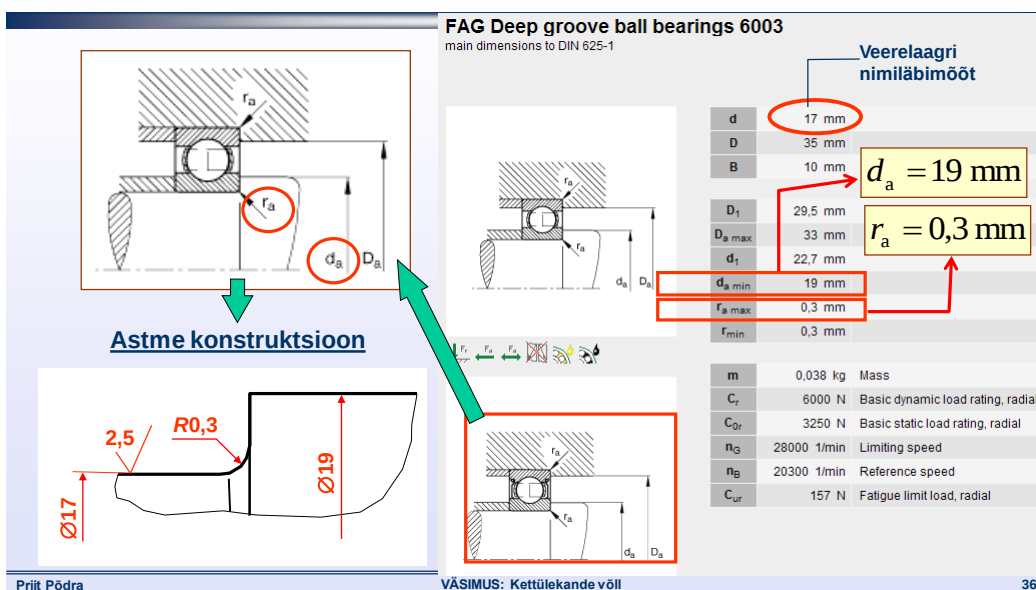
Tuleb luua tugevam lahendus



4.7. Antud völli tööressurss



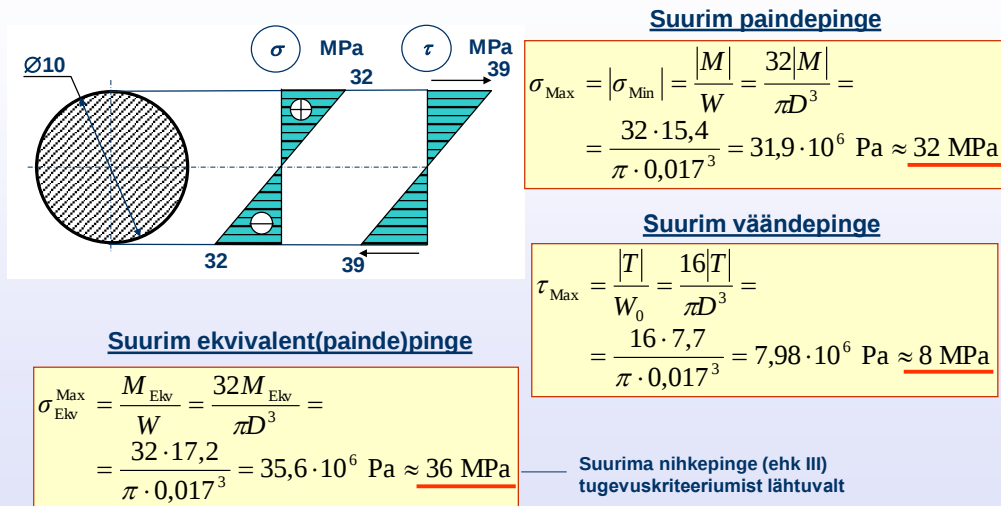
4.8. Astmete uus konstruktsioon



5. Ohtliku ristlõike Ø17 kontroll väsimusele

Priit Põdra

5.1. Ohtliku ristlõike G' (astme) nimipinged



Priit Põdra

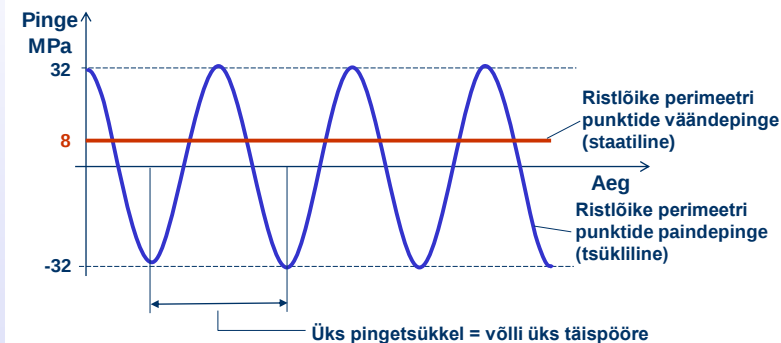
VÄSIMUS: Kettülekande völli

38

5.2. Ristlõike G' pingetsükkel

Võlli pöörlemise tõttu tekitab staatiline paindemoment võlli materjalis sümmeetrilise tsükliga paindepinge

Ristlõike perimeetri punktide paindepinge sümmeetriline tsükkel



Pingetsükli sümmeetriategur

$$R = \frac{\sigma_{\text{Min}}}{\sigma_{\text{Max}}} = -1$$

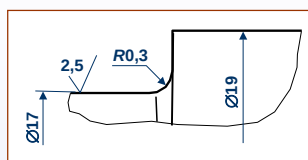
Pingetsükli amplituudväärtus

$$\sigma_a = 32 \text{ MPa}$$

Pingetsükli keskvaartus

$$\sigma_m = 0$$

5.3. Pinge kontsentratsioonipaindel (1)



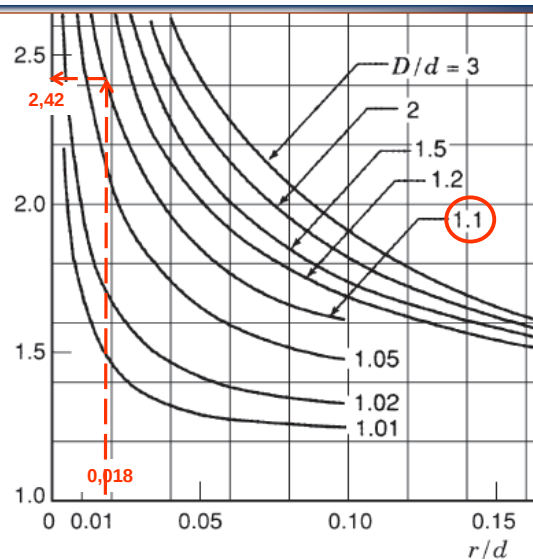
Olulised muutujad

$$\frac{D}{d} = \frac{19}{17} = 1,11 \approx \underline{1,1}$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,3}{17} = 0,0176 \approx \underline{0,018}$$

Pinge kontsentratsioonitegur
STAATIKAS

$$K = 2,42$$



5.3. Pinge kontsentratsioon paindel (2)

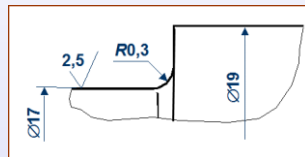
Neuber'i konstant

$$\sqrt{a} = 0,50 \text{ mm}^{0,5}$$

Terastele tugevuspiiriga
 $\sigma_u = 470 \text{ MPa}$

Astme raadius

$$r = 0,3 \text{ mm}$$



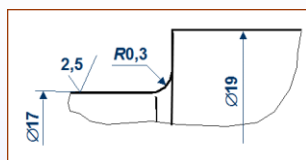
Kontsentratsioonitundlikkuse tegur

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} = \frac{1}{1 + \frac{0,5}{\sqrt{0,3}}} = 0,522 \approx 0,52$$

Pinge kontsentratsioonitegur TSÜKLILSEL koormusel

$$K_{-1} = 1 + q(K - 1) = 1 + 0,52 \cdot (2,42 - 1) = 1,738 \approx 1,74$$

5.4. Pinge kontsentratsioon väändel



Olulised muutujad

$$\frac{d}{D} = \frac{17}{19} = 0,894 \approx \underline{0,9}$$

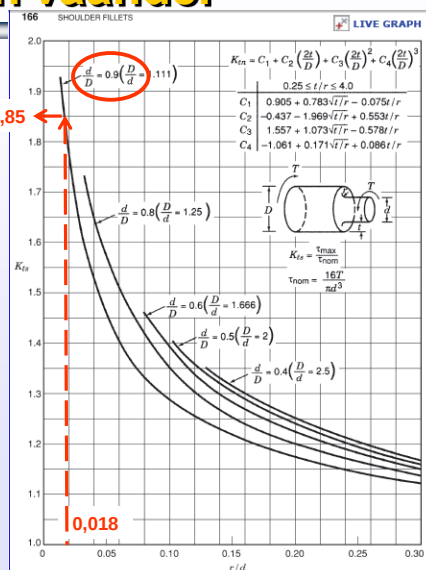
$$\frac{r}{d} = \frac{0,3}{17} = 0,0176 \approx \underline{0,018}$$

Väänav koormus on STAATILINE

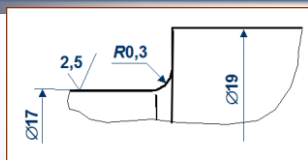


Pinge kontsentratsioonitegur

$$K = 1,85$$



5.5. Astme kohalikud pinged



Kohalik paindepinge amplituudväärtus

$$\sigma_a^{\text{Max}} = K_{-1} \sigma_a = 1,74 \cdot 32 = 55,6 \approx 56 \text{ MPa}$$

Kohalik väändepinge amplituudväärtus

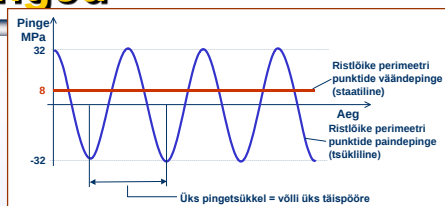
$$\tau_a^{\text{Max}} = 0$$

Kohalik pinge ekvivalent-AMPLITUUDväärtus

$$\sigma_{\text{Ekv}, a}^{\text{IV}} = \sqrt{(\sigma_a^{\text{Max}})^2 + 3(\tau_a^{\text{Max}})^2} = \sqrt{56^2 + 3 \cdot 0^2} = 56 \text{ MPa}$$

Kohalik pinge ekvivalent-KESKVäärtus

$$\sigma_{\text{Ekv}, m}^{\text{IV}} = \sqrt{(\sigma_m^{\text{Max}})^2 + 3(\tau_m^{\text{Max}})^2} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot 15^2} = 25,9 \approx 26 \text{ MPa}$$



Kohalik paindepinge keskvaartus

$$\sigma_m^{\text{Max}} = K_{-1} \sigma_m = 1,74 \cdot 0 = 0$$

Kohalik väändepinge keskvaartus

$$\tau_m^{\text{Max}} = K \tau_m = 1,85 \cdot 8 = 14,8 \approx 15 \text{ MPa}$$

Energeetilise (ehk IV) tugevuskriteeriumi järgi

5.6.1. Koormusliigiteguri väärtus

Koormusliigitegur näitab koormuse liigi (pike, paine või vääne) ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Koormusliigitegurid terastele

Töõseisund	K_k	Märkus
Pike	0,7	
Puhas paine	1	kui on teada pöördpaine σ_1
Puhas vääne	1	1) kui on teada väände τ_1 või 2) kui on teada pöördpaine (paine) σ_1 ja vääne on taandatud ekvivalentseks paindeks

Paine ja väände koosmõju on taandatud võrdohtlikuks pöördpaindeks

Astme koormusliigitegur

$$K_k = 1$$

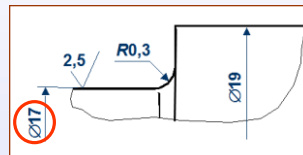
5.6.2. Mastaabiteguri väärtus

Mastaabitegur näitab detaili kohalike mõõtmete ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Paine ja väände koosmõju on taandatud võrdohtlikuks pöördpaindeks

Mastaabitegurid terasest detailidele pöördpaindel

Läbimõõt d , mm	K_m (kui d on mm-s)
< 8	1
8 ... 50	$1,25d^{0,11}$
50 ... 250	$0,859-0,000837d$
> 250	0,6



Mastaabiteguri väärtuste arvutamise erinevad meetodikad on toodud käsiraamatutes

Astme mastaabitegur

$$K_m = 1,25d^{-0,11} = 1,25 \cdot 17^{-0,11} = 0,915 \approx \underline{0,92}$$

5.5.6. Pinnakaredusteguri väärtus

Pinnakaredustegur näitab detaili pinnakareduse ohtlikkust tsüklilisel koormusel

Pinnakaredustegurid terasest detailidele

$$K_p = \begin{cases} A\sigma_u^B \\ 1, \text{ kui } A\sigma_u^B > 1 \end{cases}$$

Tugevuspiir [MPa]

Pinnaviimistlus		A	B
Töötlemisviis	Pinnakaredus R_a , μm		
Lihvimine	0,1 ... 1,6	1,58	-0,085
Lõiketöödus ja külmavaltsimine	0,8 ... 6,3	4,51	-0,265
Kuumvaltsimine	12,5 ... 25	57,7	-0,718
Sepistamine	25 ... 50	272	-0,995

Astme pinnakaredustegur

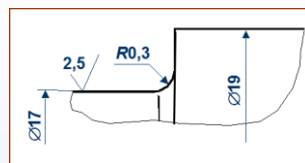
$$K_t = A\sigma_u^B = 4,51 \cdot 470^{-0,265} = 0,883 \approx \underline{0,88}$$

Pinnakaredusteguri väärtuste arvutamise erinevad meetodikad on toodud käsiraamatutes

5.6.4. Astme väsimuspiiri alanemine

Väsimuspiiri alanemise tegur

$$K^{(D)} = K_k K_m K_p = 1 \cdot 0,92 \cdot 0,88 = 0,809 \approx \underline{0,81}$$

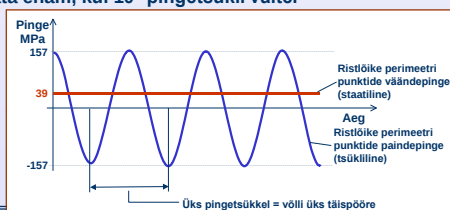


Astme kohalik väsimuspiir

$$\sigma_{-1}^{(D)} = K^{(D)} \sigma_{-1} = 0,81 \cdot 235 = 190,3 \approx \underline{190 \text{ MPa}}$$

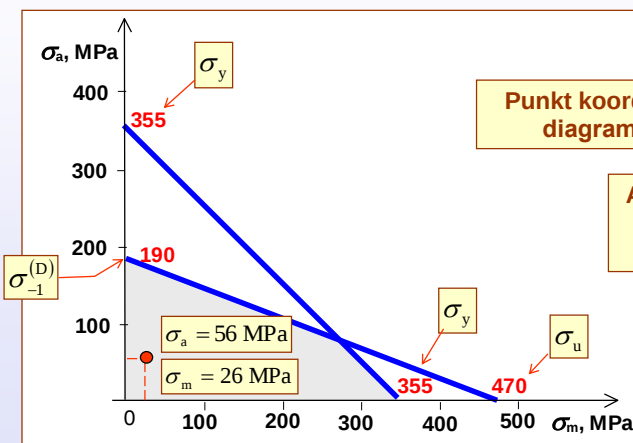
Suurim sümmeetrilise pingetsükli amplituudpinge, mida antud terasest ja antud konstruktsiooniga aste talub purunemata enam, kui 10^6 pingetsükli vältel

Ühe ja sama detaili erineva konstruktsiooniga kohtades võivad väsimuspiiride väärtused olla erinevad



5.7. Astme väsimusvarutegur (1)

Goodman'i täiendatud kohalik piiramplituudi-diagramm

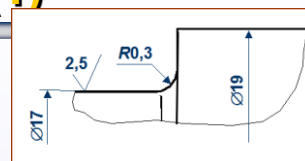


Punkt koordinaatidega σ_a ja σ_m paikneb diagrammi "toonitud" ALA SEES

Antud konstruktsiooni väsimusvaruteguri väärtus $S > 1$

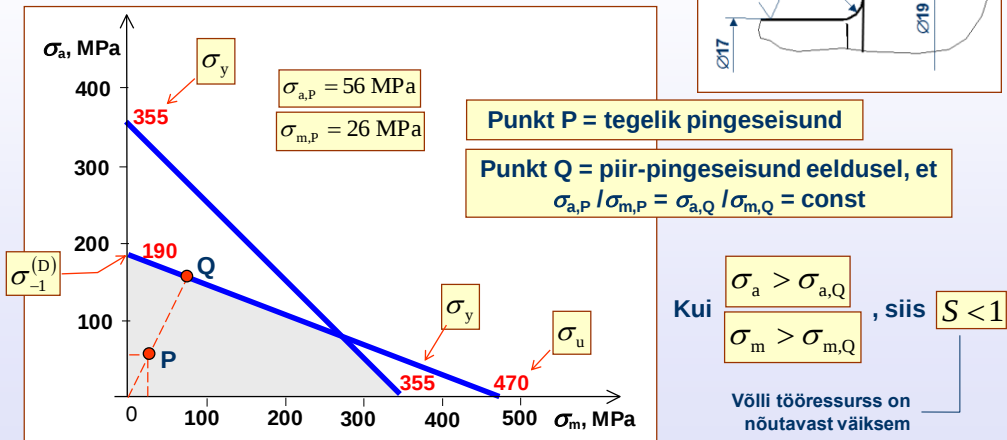
Tuleb arvutada väsimusvaruteguri väärtus

Eeldus: $\sigma_a / \sigma_m = \text{const}$



5.7. Astme väsimusvarutegur (2)

Goodman'i täiendatud kohalikpiiramplituudi-diagramm

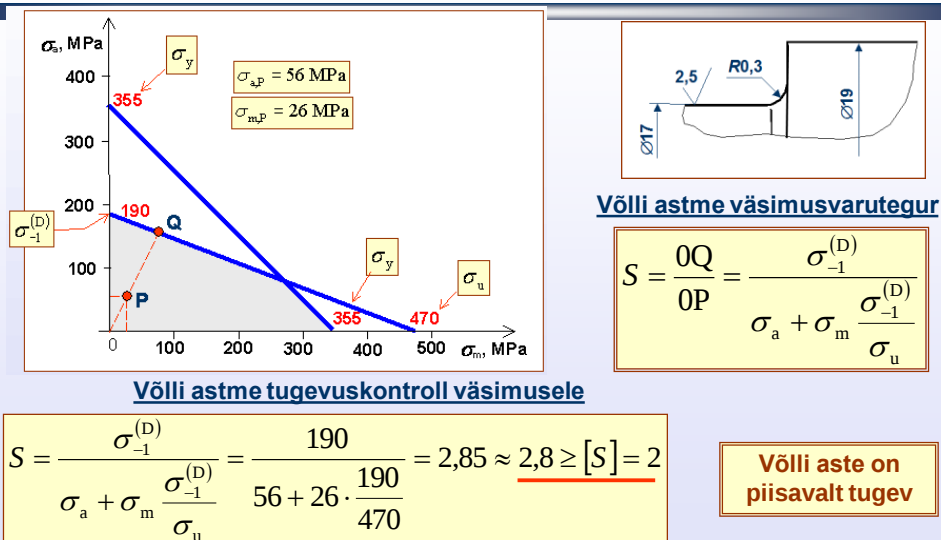


Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettülekanne völli

49

5.7. Astme väsimusvarutegur (3)



Priit Põdra

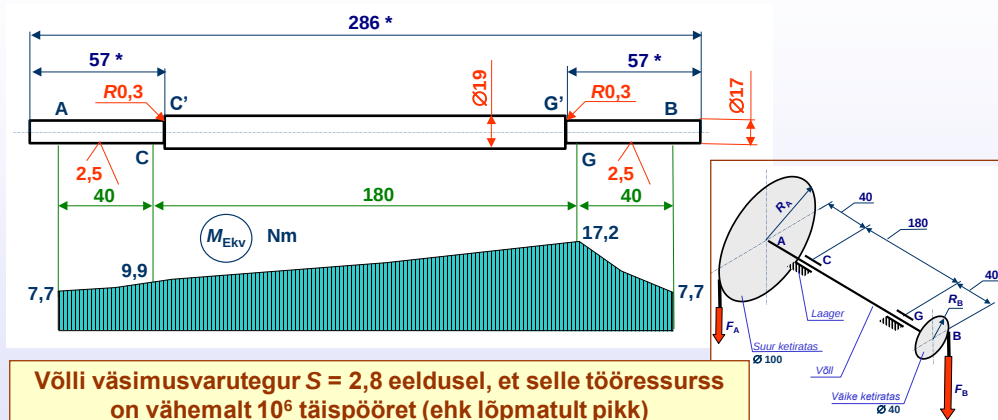
VÄSIMUS: Kettülekanne völli

50

6. Tulemus ja järeldused

Priit Põdra

Kahe astmega kettülekanne völli



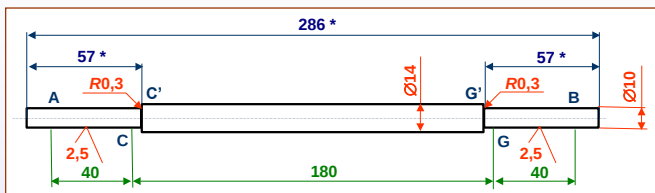
Priit Põdra

VÄSIMUS: Kettülekanne völli

52

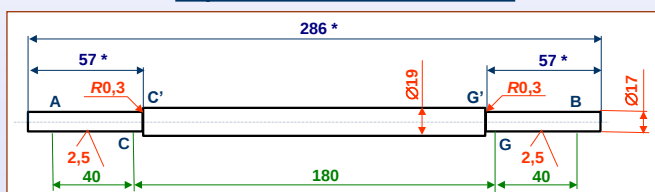
Järeldus

Esisalgne "staatika" lahendus



$$\sigma_{\text{Max}} = 397 \text{ MPa}$$

Lõplik "dünaamika" lahendus



$$\sigma_{\text{Max}} = 82 \text{ MPa}$$

Suurimate pingete erinevus

$$\frac{397}{82} = 4,84 \approx 4,9$$

Väsimusarvutest oleks saanud loobuda võttes varuteguri 4,9 korda suuremaks