

7. Liittöõseisundid

Tugevusõpetus MES0240

2018

Priit Põdra

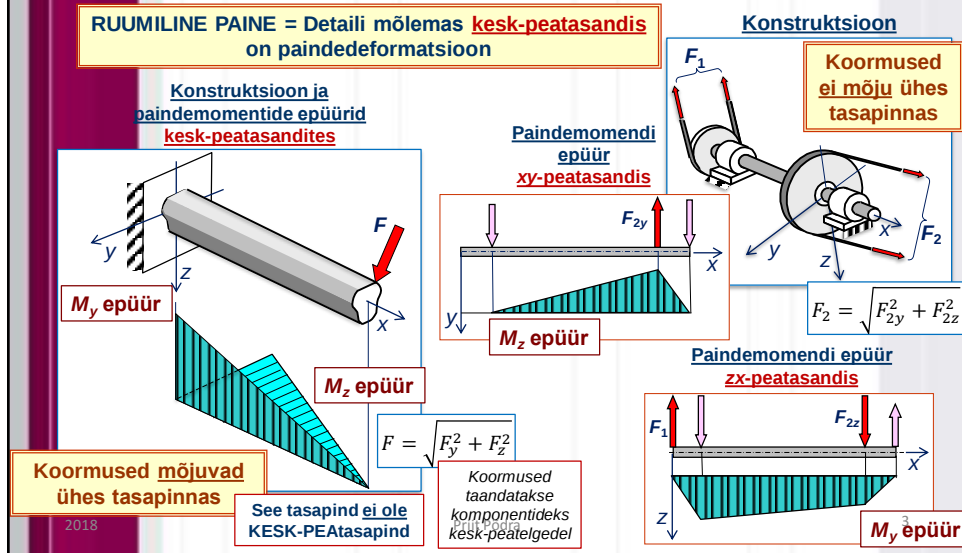
1



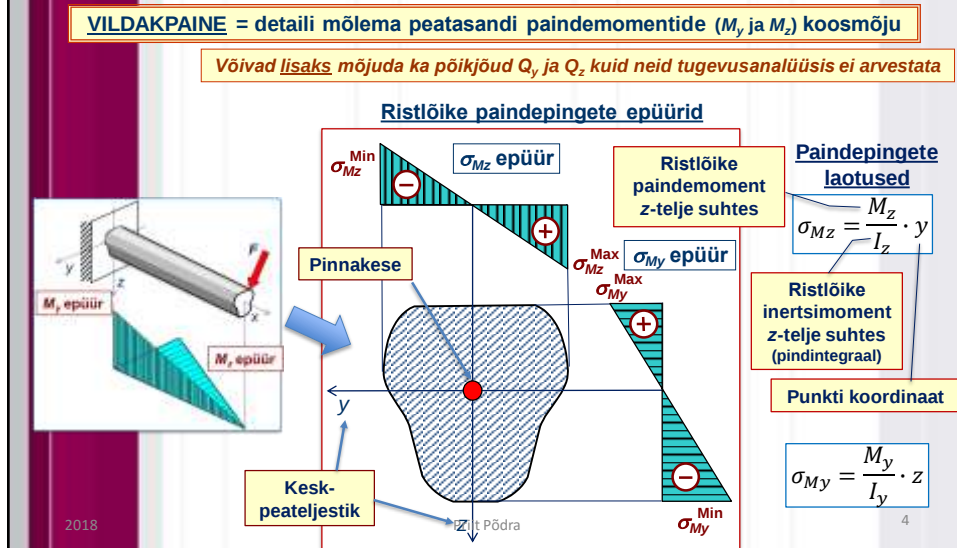
7.1 Detaili tugevus VILDAKPAINDEL

7. Liittöõseisundid

Ruumilised paindeülesanded

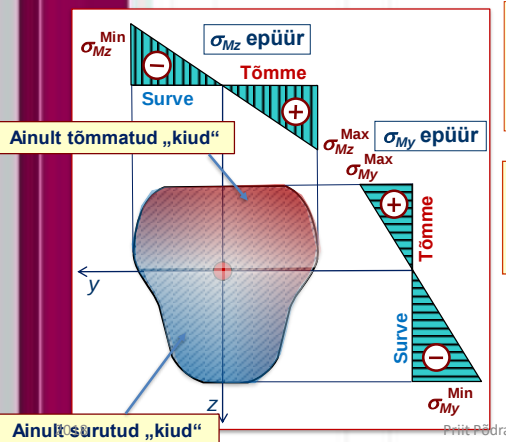


Vildakpaine ristlõike pinged



Ristlõike paindepingete koosmõju

Igas ristlõike punktis on kahe normaaldeformatsiooni summa (tõmme + tõmme, surve + surve või tõmme + surve) $\Rightarrow$ igas ristlõike punktis on **JOONPINGUS**



Ristlõike iga punkti pinge tuleneb selle punkti suhtelistest deformatsioonidest Hooke'i seaduse järgi

$$\sigma_{Mz} = E \cdot \varepsilon_{Mz}$$

$$\sigma_{My} = E \cdot \varepsilon_{My}$$

Samasihiliste deformatsioonide resultant mingis punktis võrdub nende algebralise summaga (arvestades liidetavate märki +/-)

$$\varepsilon = \varepsilon_{Mz} + \varepsilon_{My}$$

Kahe normaalpinge resultant ristlõike punktis (y; z) võrdub nende summaga:

$$\sigma = \sigma_{Mz} + \sigma_{My} = \frac{M_z}{I_z} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot z$$

Ristlõike ohtlikud punktid

Ristlõike **NULLJOON** = varda neutraalkihi kujutis ristlõikepinnal
= joon ristlõikepinnal, mille punktides normaalpingel väärtus puudub ($\sigma = 0$)

Ühel pool nulljoont on tõmme, teisel pool nulljoont on surve

NULLJOONE võrrand

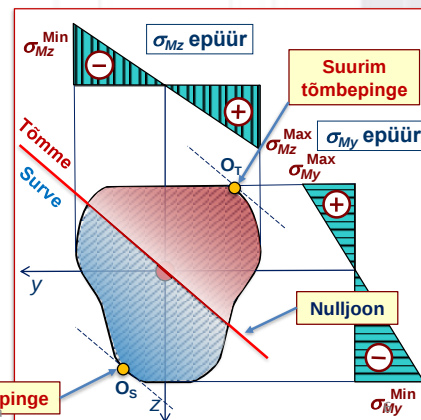
VILDAKPAINDEL

$$\sigma = \frac{M_z}{I_z} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot z = 0$$

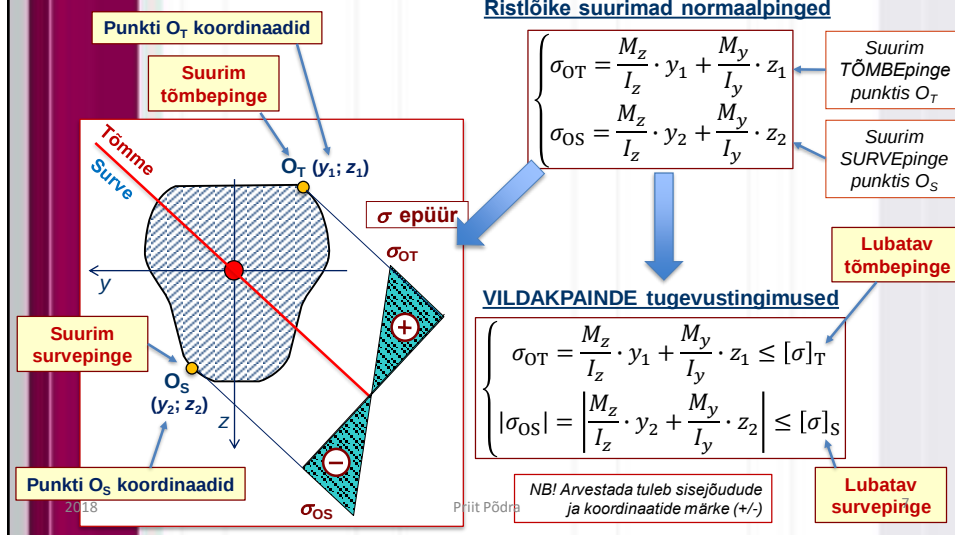
Vildakpaine $\Rightarrow$ • nulljoon on sirge
• nulljoon läbib pinnakeset

Bernoulli' hüpotees = ristlõige jääb tasapinnaliseks

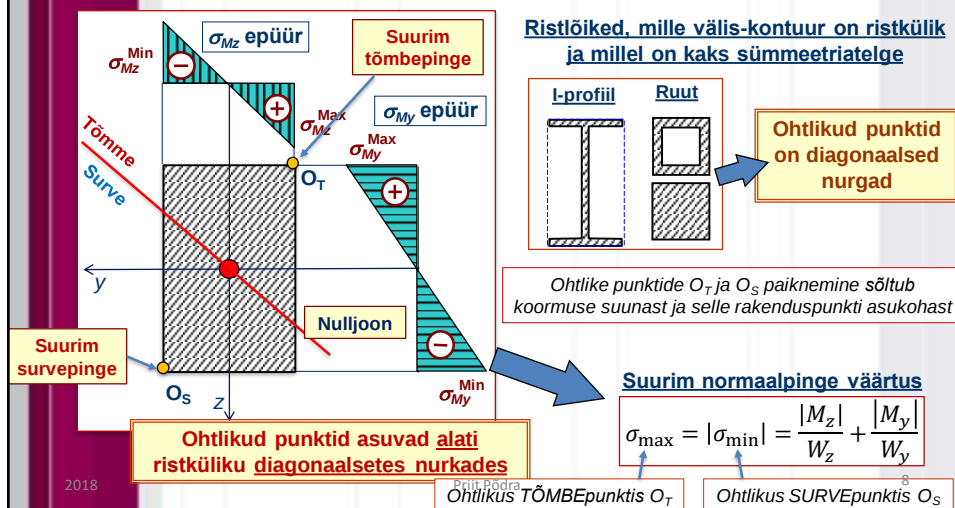
Ristlõike ohtlikud punktid on need, mis asuvad nulljoonest kõige kaugemal



Vildakpaine tugevustingimused

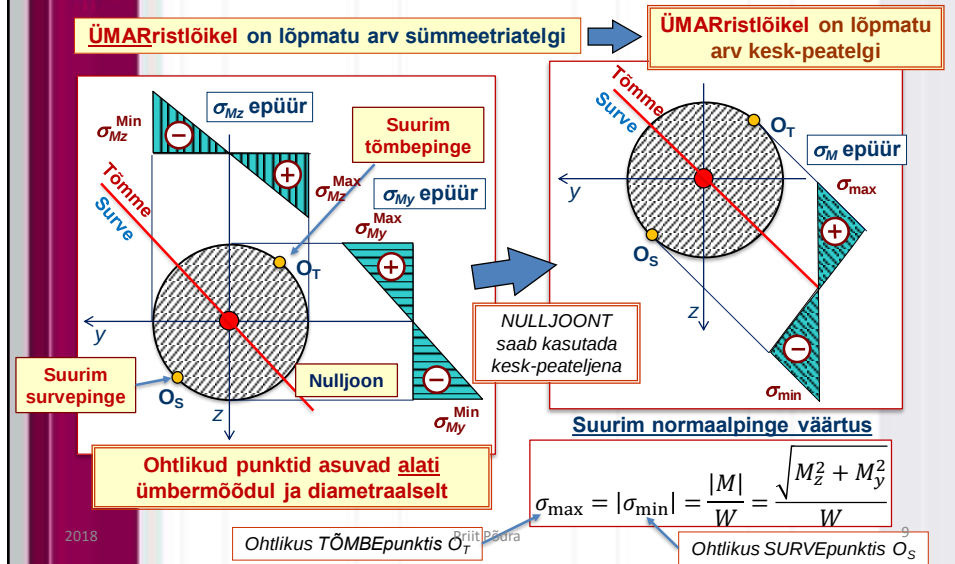


Ristkülik-ristlõike suurimad pinged





Ümar-ristlõike suurimad pinged



7.2 Detaili tugevus EKSTSENTRILISEL TÕMBEL/SURVEL

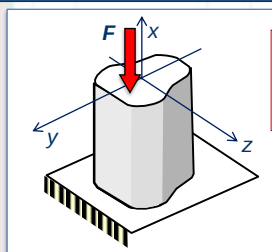
7. Liitööseisundid

Ekstsentriline tõmme/surve

EKSTSENTRILINE TÕMME/SURVE =

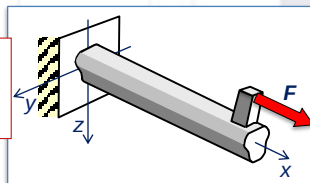
- koormus mõjub detaili teljega **paralleelselt**
- koormuse mõjusirge **ei ühti** detaili teljega

Ekstsentriliselt surutud detail



Koormuse eks-
tsentrilisus võib olla
suurem detaili
ristlõike mõõtmetest

Ekstsentriliselt tõmmatud detail



Koormuse asukoht detaili telje suhtes

Ristlõike kesk-
peateljestik

Varda telg

Ristlõik
pinnakese

LÜHIKE varras = tüse varras = ristlõike
mõõdud ja pikkus on samas suurusjärgus

Pika ehk saleda varda surumisega kaasneb **NÕTKE** oht

2018

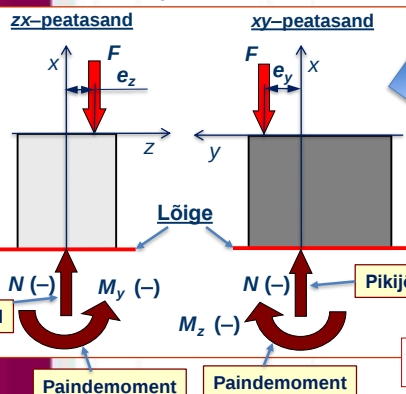
Nõtket käsitletakse hiljem

Priit Põdra

11

Ekstsentrilise tõmbe/surve sisejõud

Sisejõud detaili kesk-peatasandites



Pikijõud

Paindemoment

Paindemoment

Ristlõike sisejõud

$$\begin{cases} N = F (-) \\ M_y = F \cdot e_z (-) \\ M_z = F \cdot e_y (-) \end{cases}$$

PIKE võib olla
nii tõmme (+)
kui ka surve (-)

PAINDE võib olla
nii ruumiline
($M_y \neq 0$ ja $M_z \neq 0$)
kui ka
tasapinnaline
($M_y = 0$ või $M_z = 0$)

Paindemomentide M_y ja M_z märgid
sõltuvad telgede y ja z suundadest

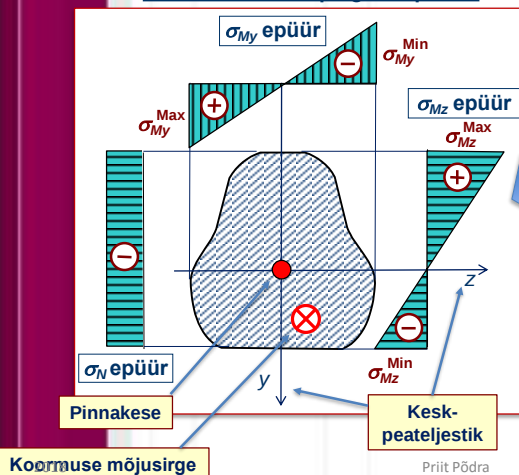
EKSTSENTRILINE TÕMME/SURVE = PIKKE ja PAINDE koosmõju

2018

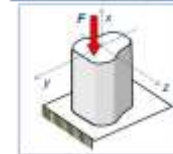
12

Ekstsentrilise tõmbe/surve ristlõike pinged

Ristlõike normaalpingete epüürid



Ekstsentrilise tõmbe/surve ristlõike detail



Ristlõike stressid

$$\begin{cases} N = F \\ M_y = F \cdot e_y \\ M_z = F \cdot e_z \end{cases}$$

Normaalpingete laotused

$$\sigma_N = \frac{N}{A}$$

Ristlõike pikijõud

Ristlõike pindala

$$\sigma_{Mz} = \frac{M_z}{I_z} \cdot y$$

Ristlõike paindemoment z-telje suhtes

$$\sigma_{My} = \frac{M_y}{I_y} \cdot z$$

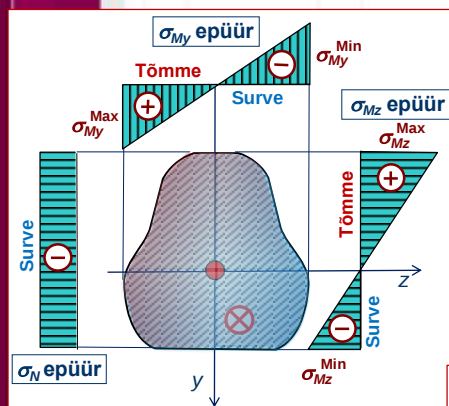
Ristlõike inertsimoment z-telje suhtes (pindintegraal)

Priit Põdra

13

Ristlõike normaalpingete koosmõju

Igas ristlõike punktis on kolme normaaldeformatsiooni summa $\Rightarrow$ igas ristlõike punktis on JOONPINGUS



Ristlõike iga punkti pinge tuleneb selle punkti suhtelistest deformatsioonidest Hooke'i seaduse järgi

$$\sigma_N = E \cdot \varepsilon_N \quad \sigma_{Mz} = E \cdot \varepsilon_{Mz} \quad \sigma_{My} = E \cdot \varepsilon_{My}$$

Samasihiliste deformatsioonide resultant mingis punktis võrdub nende algebralise summaga (arvestades liidetavate märki +/-)

$$\varepsilon = \varepsilon_N + \varepsilon_{Mz} + \varepsilon_{My}$$

Kolme normaalpinge resultant ristlõike punktis (y; z) võrdub nende summaga:

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_{Mz} + \sigma_{My} = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot z$$

2018

Priit Põdra

Ristlõike ohtlikud punktid

Ristlõike NULLJOON = varda neutraalkihi kujutis ristlõikepinnal

= joon ristlõikepinnal, mille punktides normaalpingel väärtus puudub ($\sigma = 0$)

Ühel pool nulljoont on tõmme, teisel pool nulljoont on surve

NULLJOONE võrrand

**EKSTSENTRILISEL
TÕMBEL/SURVEL**

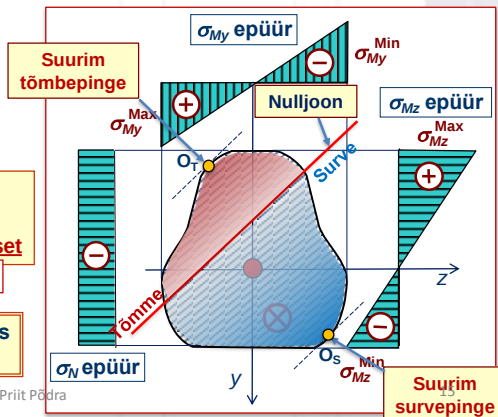
$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} \cdot y + \frac{M_y}{I_y} \cdot z = 0$$

Ekstsentriline tõmme/surve $\Rightarrow$

- nulljoon on sirge
- nulljoon **ei läbi pinnakeset**

Bernoulli' hüpotees = ristlõige jääb tasapinnaliseks

Ristlõike ohtlikud punktid on need, mis asuvad nulljoonest kõige kaugemal



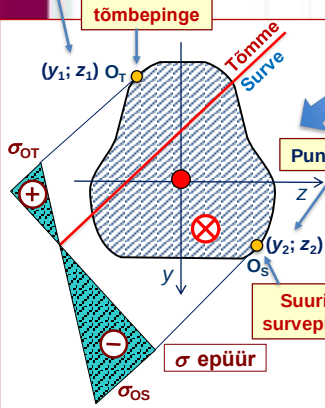
2018

Priit Põdra

Ekstsentrilise tõmbe/surve tugevustingimused

Punkti O_T koordinaadid

Suurim tõmbepinge



Ristlõike suurimad normaalpinged

$$\begin{cases} \sigma_{OT} = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} \cdot y_1 + \frac{M_y}{I_y} \cdot z_1 \\ \sigma_{OS} = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} \cdot y_2 + \frac{M_y}{I_y} \cdot z_2 \end{cases}$$

Suurim
TÕMBEpinge
punktis O_T

Suurim
SURVEpinge
punktis O_S

Punkti O_S koordinaadid

Lubatud tõmbepinge

**EKSTSENTRILISE TÕMBE/SURVE
tugevustingimused**

$$\begin{cases} \sigma_{OT} = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} \cdot y_1 + \frac{M_y}{I_y} \cdot z_1 \leq [\sigma]_T \\ |\sigma_{OS}| = \left| \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I_z} \cdot y_2 + \frac{M_y}{I_y} \cdot z_2 \right| \leq [\sigma]_S \end{cases}$$

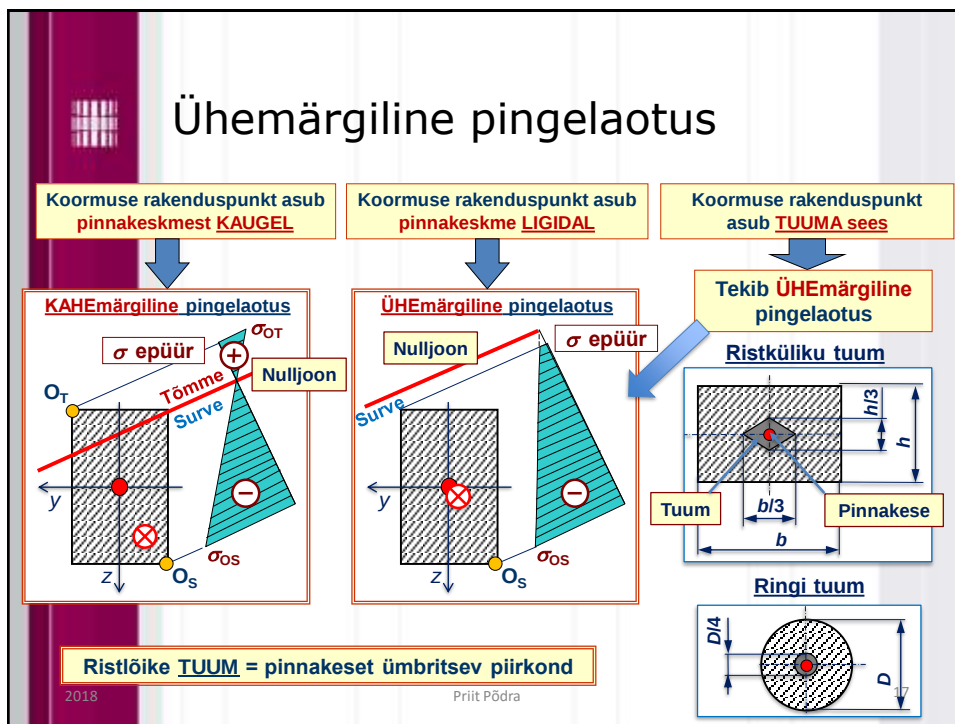
NB! Arvestada tuleb sisejõudude
ja koordinaatide märke (+/-)

Lubatud
survepinge

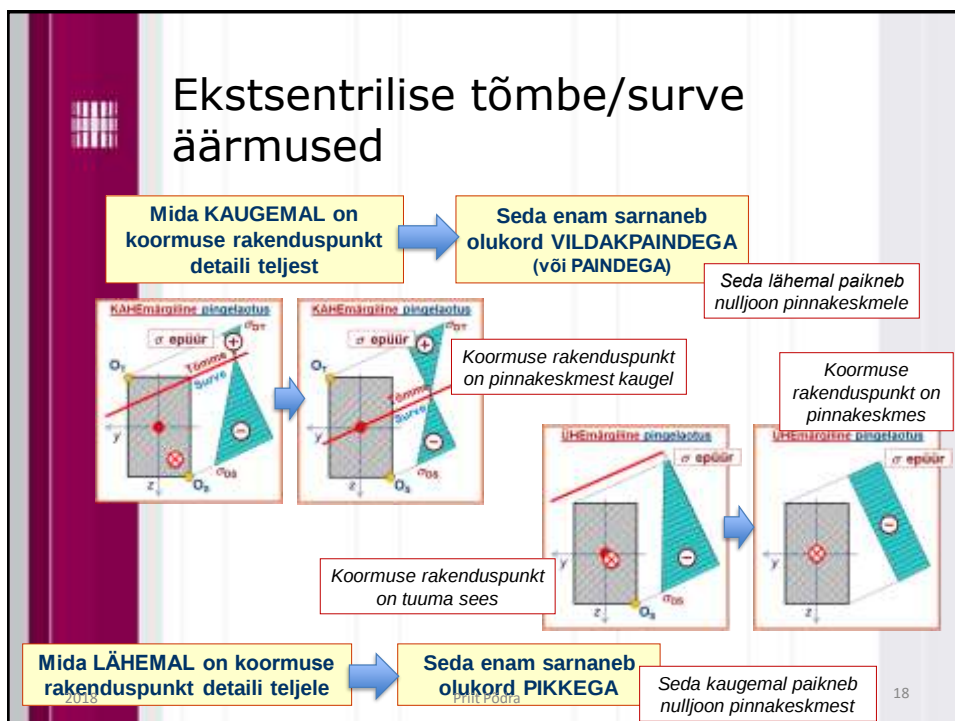
2018

Priit Põdra

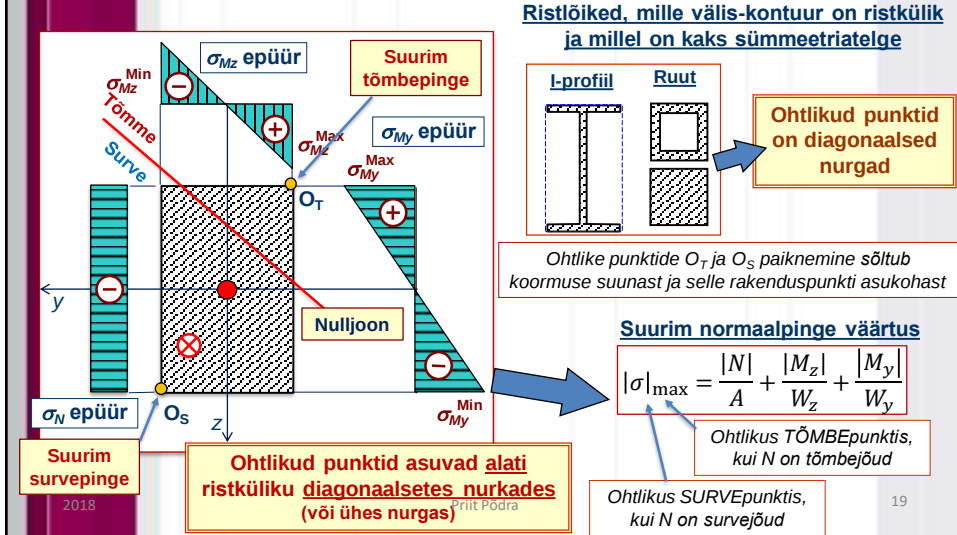
Ühemärgiline pingelaotus



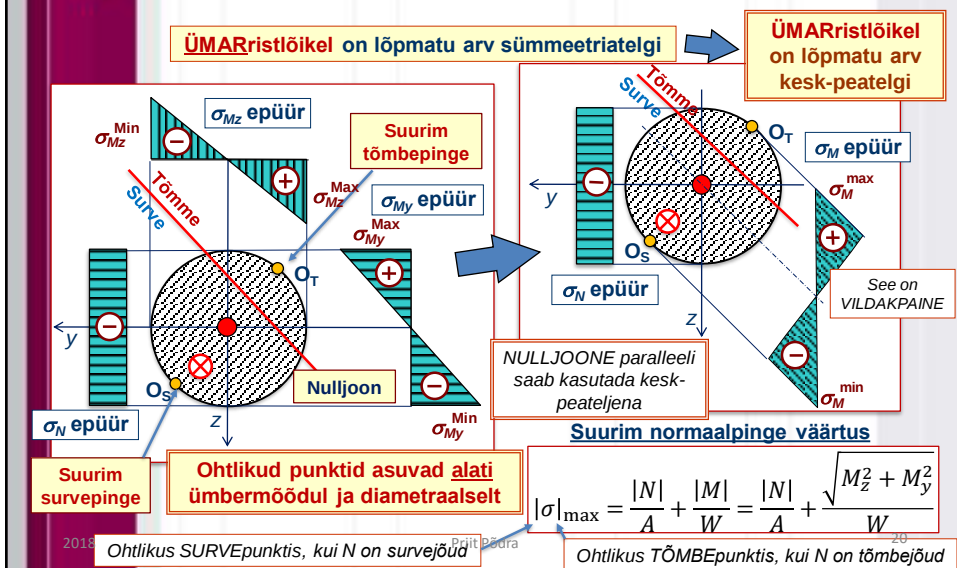
Ekstsentrilise tõmbe/surve äärmused



Ristkülik-ristlõike suurimad pinged



Ümar-ristlõike suurimad pinged



7.3 Liitpinguse tugevusanalüüs

7. Liitööseisundid

Liitpinguse tugevusanalüüsi probleem

TUGEVUSTINGIMUS võrdleb tegelikku pinget väärtust lubatava pinget väärtusega

Klassikaline
tugevustingimus

RUUMPingust EI SAA
võrrelda **JOONpingusega**

TASANDpingust EI SAA
võrrelda **JOONpingusega**

TEGELIK PINGE ≤ **LUBATAV PINGE**

JOONpingust SAAB võrrelda **JOONpingusega**

TEGELIK PINGE

LUBATAV PINGE

Tuleneb detaili
geomeetriast ja
koormustest

Tuleneb materjali
PIIRPINGE
väärtusest

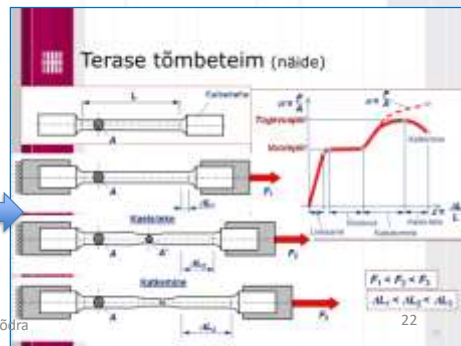
Detailis on
JOONPINGUS

või
TASANDPINGUS

või
RUUMPINGUS

Piirpinge on määratud
TÕMBETEIMIGA
(tavaliselt)

Tõmbeteimis on
JOONPINGUS





Liitpinguse ekvivalentpinge

TEADA ON detaili tugevustingimused
JOONPINGUSE jaoks

VAJA ON analüüsida TASAND- või
RUUMPINGUSES detaili tugevust

EKVIVALENTPINGE = liitpingusele
võrdohtliku joonpinguse pinge

LIITpingus tuleb taandada
ekvivalentseks JOONpinguseks

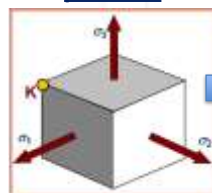
Liitpinguse
ekvivalentpinge

$$\sigma_{Ekv} = f(\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3)$$

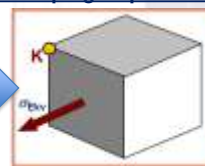
Liitpinguse
tugevustingimus

$$\sigma_{Ekv} = f(\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3) \leq [\sigma]$$

Tegelik RUUMPingus
punkti K



Ekvivalentne
JOONpingus punkti K



Joonpinguse lubatav pinge

Liitpinguse peapinged

Matemaatiline funktsioon peab tagama
nende pinguste VÖRDOHTLIKKUSE

2018

Liitpinguse ekvivalentpinge

Priit Põdra



Tugevuskriteeriumitete põhiolemus

TUGEVUSKRITERIUM (ehk piirseisundikriteerium) = teoreetilised seisukohad pinguste ohtlikuse analüüsiks

TUGEVUSKRITERIUM: • põhineb mingil piirseisundi tekke hüpoteesil:

Piirseisundi tekke hüpotees sõltub piirseisundi tüübist ja pingusest

“Missugune pingeolukord kutsus esile materjali piirseisundi?”

• annab valemi ekvivalentpinge arvutamiseks

TUGEVUSKRITERIUMID

Vanemad

- suurima normaalpinge tugevuskriteerium
- suurima deformatsiooni tugevuskriteerium
- suurima nihkepinge tugevuskriteerium
- energeetiline tugevuskriteerium

Esitavad teoreetilise hüpoteesi piirseisundi tekke peapõhjuse (piirseisundi kriteeriumi) kohta

Uuemad

- Mohr'i tugevuskriteeriuma jt.

Põhinevad katseandmete matemaatilisel töötlemisel, süvenemata piirseisundi tekkemehanismi

2018

Priit Põdra

24

Suurima nihkepinge tugevuskriteerium

Kasutatav SITKETE MATERJALIDE korral, kui piiriseisundiks on voolavus

H. Tresca, 1868

J.J. Guest, 1900

Tuntud ka kui III (kolmas) tugevusteooria

Terased

Voolavus = materjalikihtide nihe

HÜPOTEES:

Sitkes materjalis tekib voolavus, kui pinguse suurim nihkepinge ületab teatava piirväärtuse, sõltumata selle punkti peapingete väärtustest

Selle materjali voolepiirile vastav suurim nihkepinge tavalisest tõmbeteimist

Kolmanda tugevusteooria järgi

Ruupinguse suurim nihkepinge

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Ekvivalentpinguse suurim nihkepinge

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\text{Ekv}}}{2}$$

Ekvivalentpinge väärtus

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{III}} = \sigma_1 - \sigma_3$$

2018

Priit Põdra

25

Kujumuutuse energia tugevuskriteerium

Kasutatav SITKETE MATERJALIDE korral, kui piiriseisundiks on plastsus või voolavus

R. von Mises, 1913

E. Beltrami, 1903

H. Hencky, 1925

M.T. Huber, 1904

Tuntud ka kui IV (neljas) tugevusteooria

Metallid

HÜPOTEES:

Sitkes materjalis tekib plastne deformatsioon või voolavus, kui pinguse kujumuutuse energia tihedus ületab teatava piirväärtuse

Ruupinguse kujumuutuse energia tihedus

$$u = \frac{1 + \mu}{3 \cdot E} \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_3 \cdot \sigma_1)$$

Selle materjali elastsuspiirile vastav kujumuutuse energia tihedus tavalisest tõmbeteimist

Neljanda tugevusteooria järgi

Ekvivalentpinguse kujumuutuse energia tihedus

$$u = \frac{1 + \mu}{3 \cdot E} \cdot \sigma_{\text{Ekv}}^2$$

Ekvivalentpinge väärtus

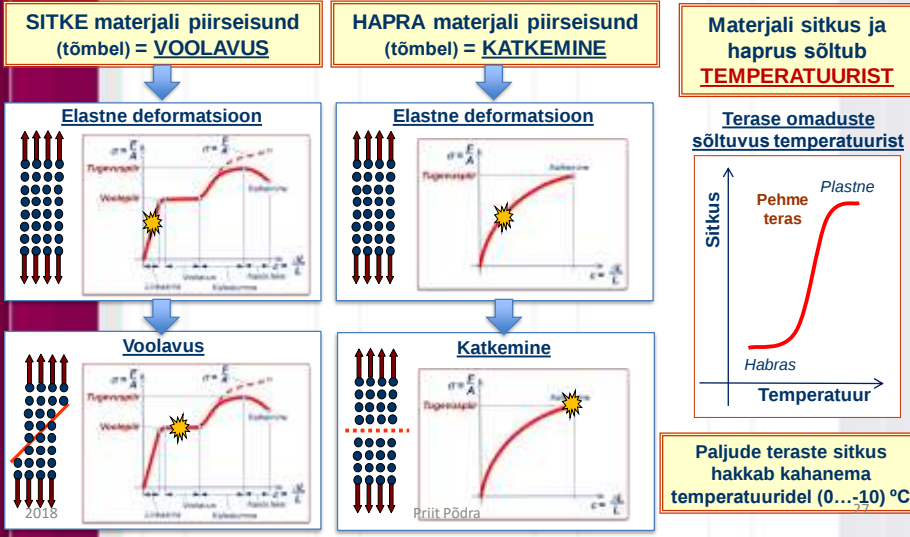
$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{IV}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_3 \cdot \sigma_1}$$

2018

Priit Põdra



Materjali sitkus ja haprus



Liitpinguse tugevusanalüüsi meetodika

LIITPINGUS = igasugune TASANDpingus ja igasugune RUUMPingus

1. Komponenti ohtliku ristlõike asukoha määratlemine sisejõuepüüride järgi

- Ristlõiked, kus mõjuvad sisejõudude maksimumväärtused
- Ristlõiked, mille pindala on väiksem
- Ohtlikuks hinnatud ristlõikeid võib olla mitu

2. Ohtliku ristlõike ohtliku punkti määratlemine pingepüüride järgi

- Punkt, kus mõjub ekvivalentpinge maksimumväärtus
- Punktid, kus mõjub ühe või mitme pinge maksimumväärtus
- Ohtlikuks hinnatud punkte võib olla mitu

3. Tugevustingimuse rakendamine ohtliku ristlõike ohtlikus punktis

$$\sigma_{Ekv} = f(\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3) \leq [\sigma]$$

või

$$S = \frac{\sigma_{Lim}}{\sigma_{Ekv}} \geq [S]$$

Tugevustingimus pingete järgi

Tugevustingimus varutegurite järgi



Priit Põdra

28

Tasandpinguse ekvivalentpinge

Eelnevast

Punkti peapinged

PEAPINGE = peapinnal (mõniga punktis K ja staapinnal, kus nihkepinge $\tau = 0$) mõjuv normaalpinge (põõnepinge või survepinge)

Iga koostatud detaili igas punktis leidub **KOLM RISTUVAT PEAPINGE** – kus nihkepinge puuduvad

Peapinged tähistatakse: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$

$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$

Peapinged punktis K

$\sigma_1 = \sigma_{\max} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$

$\sigma_2 = \sigma_{\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$

$\sigma_3 = \sigma_{\text{peapinge}}$

2-mõõtmelise pinguse seisund

Kujumuutuse energia tugevuskriteeriumi järgi

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{IV}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_3 \cdot \sigma_1}$$

von Mises

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{IV}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \cdot \sigma_z + 3 \cdot \tau_{xz}^2}$$

Ristlõike normaalpinge **Pikilõike normaalpinge**

Ristlõike (ja ka pikilõike) nihkepinge

Suurima nihkepinge tugevuskriteeriumi järgi

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{III}} = \sigma_1 - \sigma_3$$

Tresca

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{III}} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4 \cdot \tau_{xz}^2}$$

2018

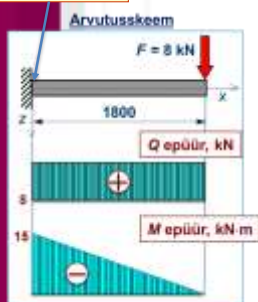
Priit Põdra

7.4 Detaili tugevus PÕIKPAINDEL

7. Liittööseisundid

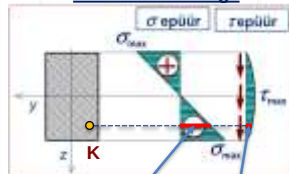
Põikpaine ristlõike pinged

Ohtlik ristlõige



PÕIKPAINE = paindemomendi M ja põikjõu Q koosmõju

Massiivne ristlõige



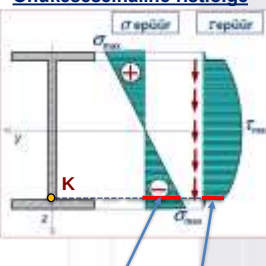
Punkti K ristlõike normaalpinge

$$\sigma_{M,K} = \frac{M}{I} \cdot z$$

Punkti K ristlõike nihkepinge

$$\tau_{Q,K} = \frac{Q \cdot S^*}{I \cdot b}$$

Õhukeseseinaline ristlõige



Lõikepinge ja paindepinge maksimumilähedased väärtused mõjuvad koos

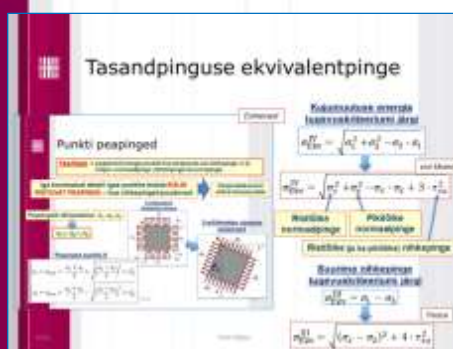
LÕIKE ohumäär painde suhtes on kõrge, kui:

- tala on suhteliselt LÜHIKE,
- tala ristlõige on ÕHUKESTE SEINTEGA,
- tala materjali NIKKETUGEVLUS on väike (nt komposiitmaterjalid jt)

2018

31

Põikpaine ekvivalentpinge



von Mises

Kujumuutuse energia tugevuskriteeriumi järgi

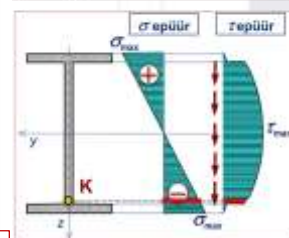
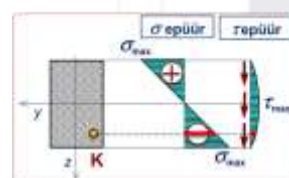
$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{IV}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \cdot \sigma_z + 3 \cdot \tau_{xz}^2} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \cdot \tau_Q^2}$$

Suurima nihkepinge tugevuskriteeriumi järgi

Tresca

2018

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{III}} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4 \cdot \tau_{xz}^2} = \sqrt{\sigma_M^2 + 4 \cdot \tau_Q^2}$$



Punkti pinged

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_M \\ \sigma_z = 0 \end{cases}$$

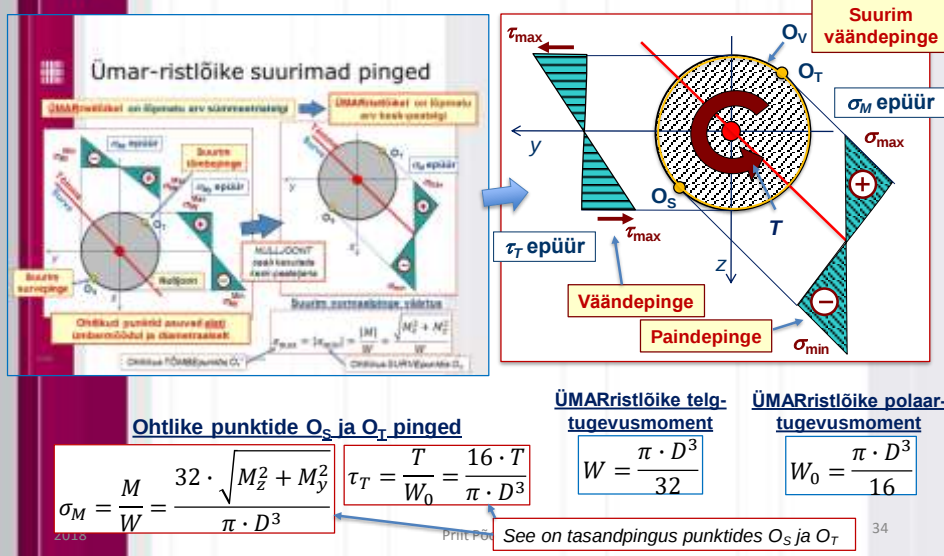
$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \tau_Q$$

32

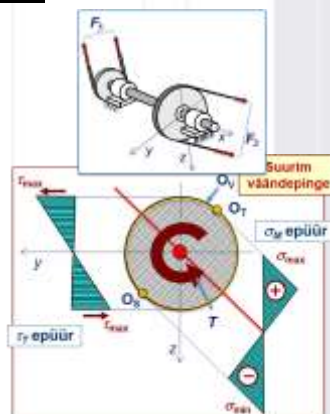
7.5 Detaili tugevus PAINDE ja VÄÄNDE KOOSMÕJUL

7. Liitööseisundid

ÜMARistlõike pingete koosmõju



ÜMARistlõike suurim ekvivalentpinge



von Mises

Kujumuutuse energia tugevuskriteeriumi järgi

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{IV}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \cdot \sigma_z + 3 \cdot \tau_{xz}^2} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \cdot \tau_T^2}$$

Suurima nihkepinge tugevuskriteeriumi järgi

Tresca

2018

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{III}} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4 \cdot \tau_{xz}^2} = \sqrt{\sigma_M^2 + 4 \cdot \tau_T^2}$$

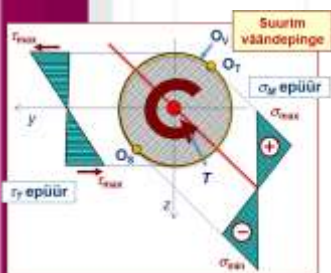
Punktide O_s ja O_T pinged

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_M \\ \sigma_z = 0 \end{cases}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \tau_T$$

35

ÜMARistlõike ekvivalent- paimdemoment



Ekvivalent-paimdemoment

Ohtlike punktide O_s ja O_T pinged

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{32 \cdot \sqrt{M_z^2 + M_y^2}}{\pi \cdot D^3} \quad \tau_T = \frac{T}{W_0} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot D^3}$$

Ekvivalent-paimdemoment

Kujumuutuse energia tugevuskriteeriumi järgi

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{IV}} = \sqrt{\sigma_M^2 + 3 \cdot \tau_T^2} = \frac{32 \cdot \sqrt{M_z^2 + M_y^2 + 0,75 \cdot T^2}}{\pi \cdot D^3}$$

von Mises

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{IV}} = \frac{\sqrt{M_z^2 + M_y^2 + 0,75 \cdot T^2}}{W} = \frac{M_{\text{Ekv}}^{\text{IV}}}{W}$$

Suurima nihkepinge tugevuskriteeriumi järgi

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{III}} = \sqrt{\sigma_M^2 + 4 \cdot \tau_T^2} = \frac{32 \cdot \sqrt{M_z^2 + M_y^2 + T^2}}{\pi \cdot D^3}$$

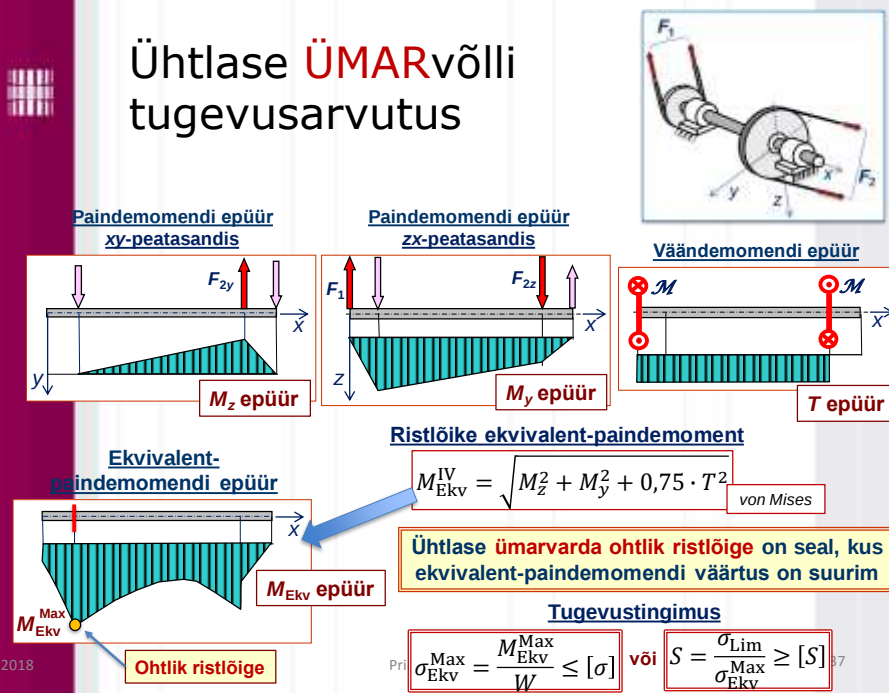
Tresca

$$\sigma_{\text{Ekv}}^{\text{III}} = \frac{\sqrt{M_z^2 + M_y^2 + T^2}}{W} = \frac{M_{\text{Ekv}}^{\text{III}}}{W}$$

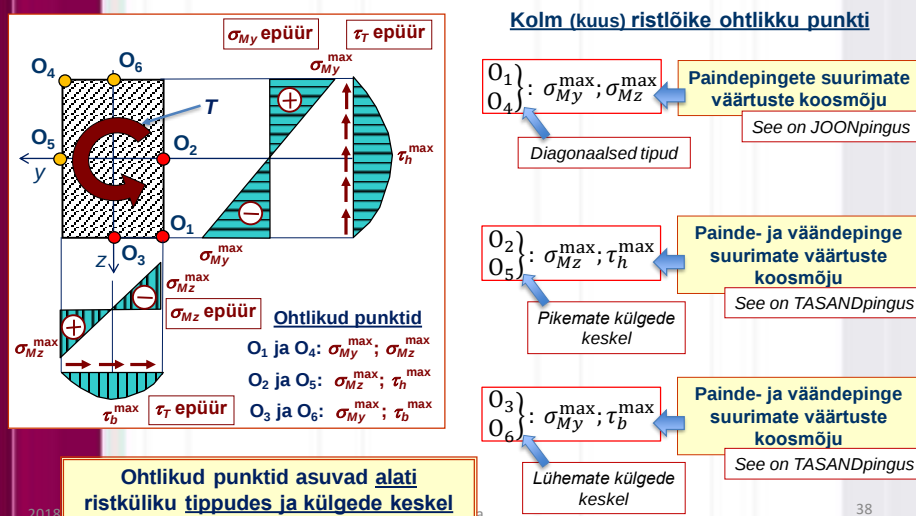
Priit Põdra

36

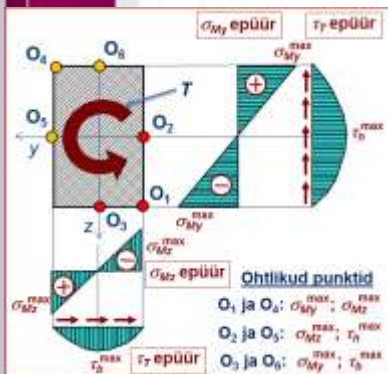
Ühtlase ÜMARvõlli tugevusarvutus



Ristkülik-ristlõike pinged



Ristkülik-ristlõike tugevusarvutus



Ohtlike punktide pingete koosmõju resultant

$$\left. \begin{matrix} O_1 \\ O_4 \end{matrix} \right\} : |\sigma_{O1}| = \sigma_{O4} = |\sigma_{My}^{\max}| + |\sigma_{Mz}^{\max}|$$

See on JOONpingus

$$\left. \begin{matrix} O_2 \\ O_5 \end{matrix} \right\} : \sigma_{Ekv,O2}^{IV} = \sigma_{Ekv,O5}^{IV} = \sqrt{(\sigma_{Mz}^{\max})^2 + 3 \cdot (\tau_h^{\max})^2}$$

See on TASANDpingus

$$\left. \begin{matrix} O_3 \\ O_6 \end{matrix} \right\} : \sigma_{Ekv,O3}^{IV} = \sigma_{Ekv,O6}^{IV} = \sqrt{(\sigma_{My}^{\max})^2 + 3 \cdot (\tau_b^{\max})^2}$$

See on TASANDpingus

Tugevustingimus

$$\sigma_{\max} = \max(|\sigma_{O1}|; \sigma_{Ekv,O2}^{IV}; \sigma_{Ekv,O3}^{IV}) \leq [\sigma] \quad \text{või} \quad S = \frac{\sigma_{\text{Lim}}}{\max(|\sigma_{O1}|; \sigma_{Ekv,O2}^{IV}; \sigma_{Ekv,O3}^{IV})} \geq [S]$$

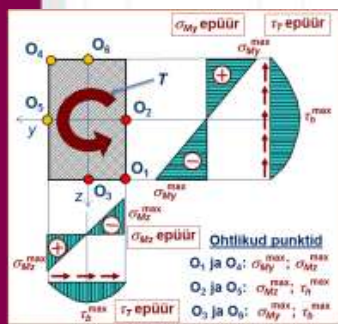
Tugevusarvutus kõige ohtlikuma punkti järgi

2018

39

Ristlõike kuju ja tugevusanalüüs

Tugevusanalüüsi meetodika painde ja väände koosmõjul sõltub ristlõike kujust



Tugevusanalüüs ohtlike punktide järgi järgi

Ohtlikud punktid on ristlõike sümmeetrilisel tipu ja külgede keskpunktid



Tugevusanalüüs ekvivalent-paindemomendi järgi

Ohtlikud punktid on kusagi ristlõike perimeetril



$$\sigma_{Ekv}^{\max} = \frac{M_{Ekv}^{\max}}{W}$$

2018

40



7.6 Keeruka konstruktsiooni praktiline tugevusarvutus

7. Liittööseisundid



Kalluri vaheraami konstrueerimine



Praktilised probleemid

- Keeruline redelraam
- Keeruline koormusskeem
- Tegelikud koormused ei ole teada
- Peab olema piisavalt tugev
- Peab olema piisavalt jäik
- Peab olema piisavalt kerge
- **Peab olema piisavalt odav**
- **Aega ei ole piisavalt jne.**

NB! Mitmed nõuded on vastuolulised



Uue masinaga juhtus nii:

Viltu paiknev kast



Viltu paiknev kast



Deformeerunud raam/vaheraam

2018

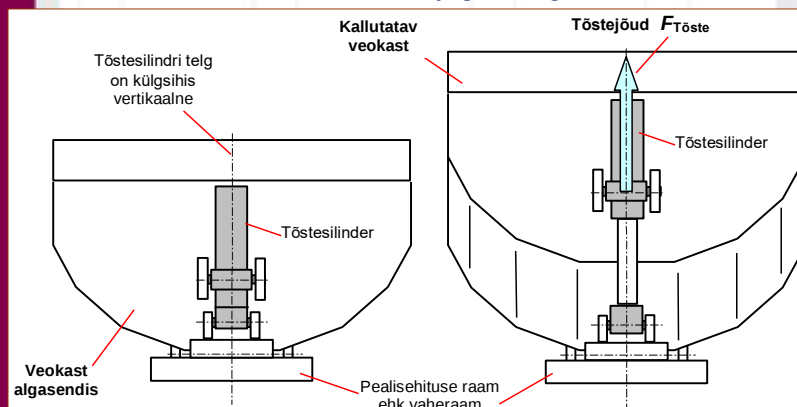
Priit Põdra

43



Raamil peab olema piisav jäikus

Jõud kasti tõstmisel jäiga raamiga



2018

Priit Põdra

44



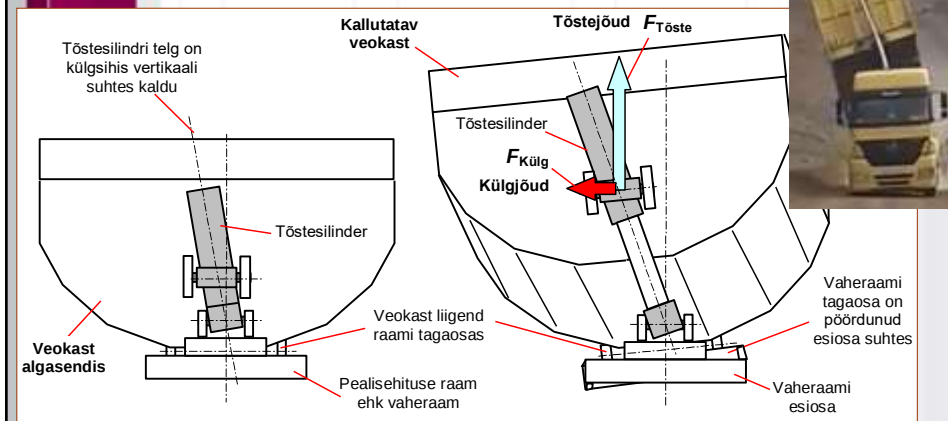
Liiga elastne raam on ohtlik

Juhi sõnul kast sõidu ajal liikus vasakule-paremale



Kogu konstruktsiooni jäikusei ole piisav

Jõud kasti tõstmisel liiga elastse raamiga



Kuidas insener pidanuks toimima?

Kui on:

- keerukas konstruktsioon ja/või
- keerukas koormusskeem



Klassikaline tugevusarvutuse meetodika on raskesti rakendatav või liialt lihtsustatud



Tuleb lähtuda empiirilistest (kogemuslikust) oskusteabest



- Üld-insenerikäsiraamatud
- Spetsiifilised käsiraamatud
- Tootekataloogid
- Standardid (ISO, GOST, DIN, ASME, jt.)
- Ettevõtete standardid
- Erimetoodikad jt.



Volvo standard pealisehitusele

