

SUIHKUINJEKTOINTIOHJE

POHJANVAHVISTUSPÄIVÄ 2017  
VILLE LEHTONEN

RAMBOLL

# SUIHKUINJEKTOINTIOHJE

- Ramboll on Liikenneviraston toimeksiannosta laatinut Suihkuinjektointiohjeen (Liikenneviraston ohjeita 16/2017)
- Ohje on nyt yleisellä kommenttikierroksella, julkaisu loppuvuodesta 2017
- Tarkoitus antaa suunnittelijoille perustietoa menetelmästä
  - Yleiskuvaus
  - Käyttökohteet
  - Mitoitus ja suunnittelu
  - Toteutus
  - Laadunvalvonta

RAMBOLL



## Sisällysluettelo

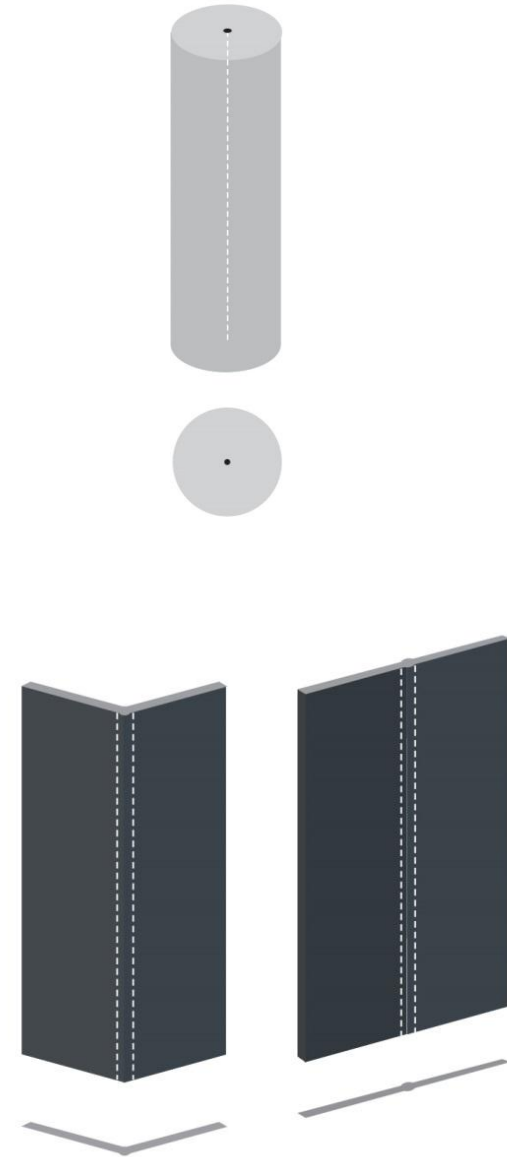
ESIPUHE .....	2
1 JOHDANTO.....	4
2 MENETELMÄN KUVAUS .....	5
2.1 Menetelmä ja käyttökohteet .....	5
2.2 Tekniikat ja kalusto .....	7
2.3 Soveltuvuus ja odotettavat tulokset.....	13
2.4 Side- ja seosaineet, seossuhteet.....	15
2.5 Erityisnäkökohtia ja riskejä .....	16
3 MITOITUS JA SUUNNITELMAT .....	17
3.1 Lähtökohdat ja vaatimukset .....	17
3.2 Pohjatutkimukset .....	18
3.3 Mitoitus .....	19
3.4 Suihkuinjektoidun rakenteen mitoitus DIN 4093 mukaan (osittainen esitys).....	21
3.5 Suunnitelman sisältö.....	26
4 TYÖN TOTEUTUS .....	28
4.1 Yleistä .....	28
4.2 Valmistelevat työt.....	28
4.3 Työn suoritus .....	29
5 LAADUNVARMISTUS .....	31
5.1 Koerakenne ja laboratoriotutkimukset .....	31
5.2 Työnaikainen laaduntarkkailu .....	32
5.3 Työn jälkeinen laadunvarmistus .....	33
6 LÄHTEET .....	34

# TAUSTAA

- Tähän mennessä Suomessa ei yleisluontoista ohjetta suihkuinjektointin suunnittelusta
  - “Urakoitsijavetoinen” ja kokemusperäinen menetelmä
  - Tieto hajallaan esim. opinnäytetöissä, esityksissä jne...
- Toteutusstandardi SFS-EN 12716:2001
  - Päivitettävänä, uuteen versioon tulee myös lisäyksiä mm. rakenteen mitoituksista
- Saksalainen standardi DIN 4093 käsittelee vahvistetun maan mitoitusta
  - Ei virallista asemaa Suomessa, mutta hyödynnetään laajalti Suihkuinjektointiohjeessa mitoituksen osalta (uuteen EN 12716 versioon tulee osin myös tämän standardin sisältöä)

# SUIHKUINJEKTOINNISTA

- Porataan määräsyyvyinen reikä, aletaan nostaa suihkuinjektointijohdetta
- Maahan suihkutetaan kovalla paineella (luokkaa 100-600 bar) veden, sementin ja mahdollisesti muiden aineiden muodostamaa suspensiota
  - vesi- ja/tai ilmahuuhtelulla voidaan tehostaa suspension tunkeutumista maahan
- Pyörittämällä injektointisuutinta voidaan muodostaa halk. 600-2000 mm pilareita
- Voidaan myös tehdä paneelimaaisia rakenteita
- Soveltuu parhaiten siltistä soraan
  - suihkun tunkeuma plastiseen saveen heikko, kivinen maa puolestaan aiheuttaa "varjokohtia"



# ERITYI SPIIRTEITÄ

- Suihkuinjektointi on monipuolinen pohjanvahvistusmenetelmä, joka soveltuu monenlaisiin olosuhteisiin ja käyttökohteisiin
- Suomessa suhteellisen vähän käytetty, jolloin kokemusta löytyy lähinnä muutamilta urakoitsijoilta
- Suunnittelu ja toteutus huomattavan kokemusperäistä, vaatii vuoropuhelua rakennuttajan, geosuunnittelijan ja urakoitsijan välillä
  - Suunnitelmia voi joutua päivittämään prosessin edetessä, lisätyötarve tiedostettava
- Teknisiä haasteita
  - Rakenteen ominaisuudet voidaan todentaa vasta työmaalla – koerakenteen tarve
  - Paluulietteen hallinta ja käsittely
  - Sideainesuspension kulkeutuminen ja sen kontrollointi
  - Ettringiittireaktiot, jälkivajoaminen jne...

# KÄYTTÖKOHTEET, ESIMERKKEJÄ

- Pohjanvahvistus, eristävät ja suojaavat rakenteet ("vahvistettu maa")
  - Maaperän kantavuuden parantaminen (lujittaminen)
  - Kitkamaan vedenläpäisevyyden pienentäminen (tiivistyslaatat, suihkulamelliseinät)
  - Tukiseinän alapään vedenpitävyyden parantaminen (esim. kallioon ulottuvat ponttiseinät)
  - Vedenpitävyyden parantaminen tukiseinien epäjatkuvuuskohdissa
  - Aktiivimaanpaineen vähentäminen tukiseinien takana
  - Tukiseinien passiivipuolen maanpainekapasiteetin lisääminen
  - Paalutuksen suojaseinärakenteet (esim. olevan paalutuksen suojaaminen kaivannon lähellä, voi toimia myös perustuksen rakenteellisena osana)
- Primaarinen tai sekundaarinen pohjarakenteen osa ("kantava rakenne tai sen osa")
  - Perustusten vahvistaminen
  - Kaivantojen tukiseinät (suihkupilariseinät)
  - Erilaiset kombirakenteet (esim. sekundaaripilarit)
- Em. jaottelu vaikuttaa mm. mitoitus tapaan ja koerakenteiden tarpeeseen
  - Jaottelu on silti hieman keinotekoinen – on määrittelykysymys, milloin esim. perustuksen alle tehtyä suihkuinjektointia pidetään "vahvistettuna maana" vai "kantavana rakenteena"
  - Mitoitusperusteista tulee tapauskohtaisesti sopia tilaajan kanssa

# KOERAKENNE

- Suunnitelmissa määritetään mm. pilarien sijainti, koko ja niiltä vaaditut ominaisuudet (lujuus, jäykkyys, vedenläpäisevyys)
- Rakenteen mitoitus voi perustua:
  - Koerakenteeseen
  - Kokemusperäisiin ratkaisuihin
- Koerakenne vaaditaan aina, kun suihkuinjektoitu rakenne on pysyvä rakenne, kantava rakenne tai patorakenteen toiminnan kannalta primaarinen rakenne
  - Koerakenne tehdään työmaalla tai olosuhteiltaan vastaavassa paikassa, suunnitelmien mukaisilla työtavoilla jne
  - Rakenteen esiin kaivaminen, näytteiden otto lujuuden testaamista varten





# MITOITUS

- Mitoitus normaaliin tapaan EN 1997-1 mukaisesti, noudattaen NCCI 7 (Liikenneviraston hankkeet)
- Kantavien rakenteiden mitoitus (esim. suihkupilariseinät) tavoilla DA2/DA2\* ja DA3
  - Suurin epävarmuus on materiaalin lujuudessa, mikä puoltaa DA3 käyttöä
  - NCCI 7 sanoo kuitenkin yksiselitteisesti, että tukirakenteiden mitoitus tehdään käyttäen DA2/DA2\*
- Kun rakenne on "vain" "vahvistettua maata" (esim. tiivistysrakenteet), DA3 riittää
- Käytetään Suihkuinjektointiohjeessa esitettyä (DIN 4093 mukailevaa) mitoitusmenettelyä
  - Muitakin menettelytapoja voidaan käyttää, jos sellaista voidaan perustellusti esittää (sovittava tilaajan kanssa hankekohtaisesti)

# LUJUUDEN MÄÄRITYS

- Suihkuinjektoidun rakenteen lujuus määritetään yksiakiaalisesti puristettujen koekappaleiden avulla (kokeen detaljit uudessa toteutusstandardin versiossa)
- Suunnittelussa määritetään tarvittava puristuslujuuden ominaisarvo  $f_{m,k}$
- Rakenteen homogeeniselta osalta otetaan väh. 4 näytettä per 1000 m<sup>3</sup>rd
- Yhdessä koesarjassa (sis. vähintään neljä yksittäistä näytettä) tulee päteä:

$$f_{m,min} \geq f_{m,k} \quad (A1)$$

missä

$f_{m,min}$  on sarjan pienin mitattu puristuslujuus. Lisäksi tulee päteä ehto:

$$\alpha \cdot f_{m,mean} \geq f_{m,k} \quad (A2)$$

missä

$f_{m,mean}$  on sarjan keskimääräinen puristuslujuus.

- Vaihtoehtoisesti 10 koekappaleelle tulee päteä:

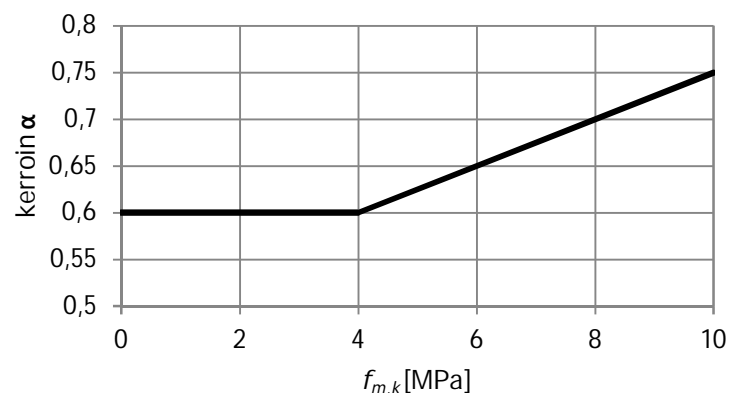
$$e^{\mu-k\sigma} \geq f_{m,k} \quad (B)$$

missä

$\mu$  lujuuden luonnollisen logaritmin keskiarvo

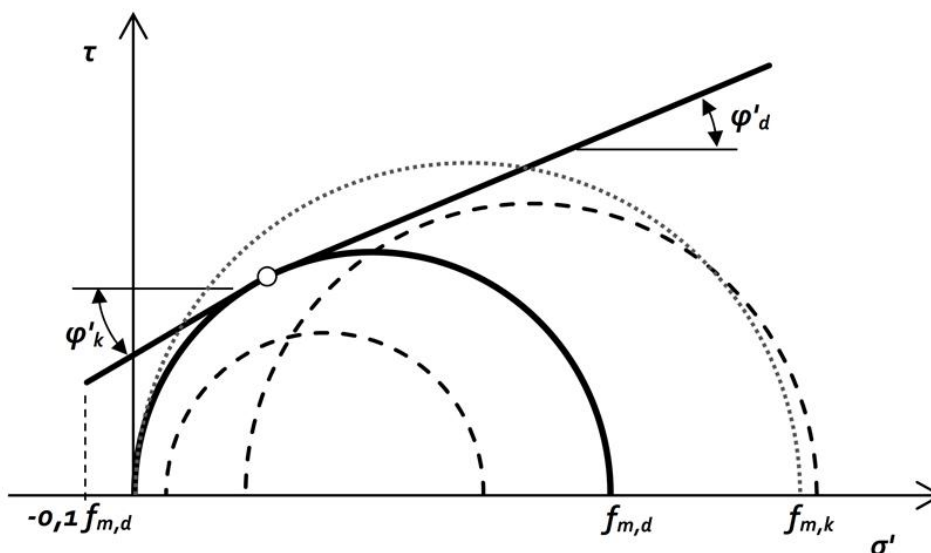
$\sigma$  lujuuden luonnollisen logaritmin keskihajonta

$k$  hyväksymiskerroin,  $k = 1,28$  (vastaa 10 % alapersentiiliä)



# LUJUUDEN MÄÄRITYS

- Puristuslujuuden mitoitusarvo:  $f_{m,d} = 0,85 \cdot f_{m,k} / \gamma_m$ 
  - Kerroin 0,85 huomioi materiaalin pitkäaikaiskestävyyden
- Puristuslujuutta ei kuitenkaan käytetä sellaisenaan materiaalin lujuutena, vaan sen avulla määritetään lujuusparametrit :



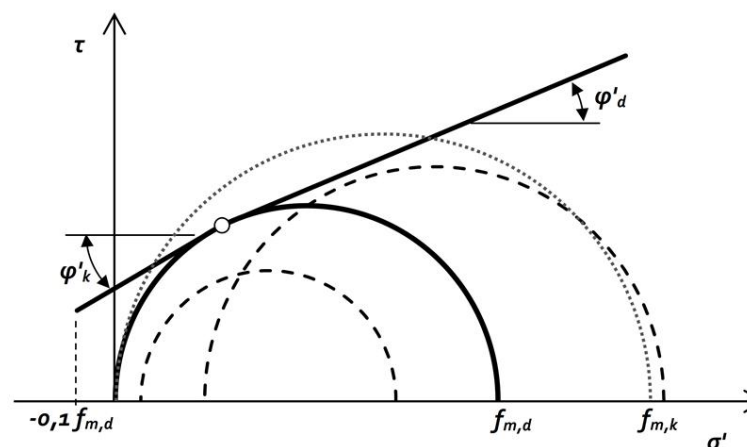
Kuva 11. Puristuslujuuden mitoitusarvoon  $f_{m,d}$  perustuva murtokriteeri. Yhtenäinen Mohrin ympyrä kuvaa murtotilan jännitystä yksiaksaalisessa puristuskokeessa. Murto-suoran alle jäävät jännitystilat (kuormien aiheuttamien vaikutusten mitoitusarvot) ovat sallittuja (katkoviivalla piirretyt ympyrät). Pistekatkoviivalla piirretty ympyrä kuvaa puristuslujuuden ominisarvoa  $f_{m,k}$ . Suurin sallittu vetojännityksen arvo on  $0,1 \cdot f_{m,d}$ . Kitkakulma on maan löyhän tilan kitkakulma. Kuva muokattu lähteestä DIN 4093:2012.

# LUJUUDEN MÄÄRITYS

- Puristuslujuus  $f_{m,d}$  kuvaa Mohrin ympyrän halkaisijaa murtotilassa
- Ympyrää sivuaa kaksiosainen murtosuora, voidaan laskea Mohr-Coulombin parametrit  $\varphi'$  ja  $c'$
- Kitkakulma sama kuin käsittelemättömällä maalla löyhässä tilassa

$$c_d' = \frac{f_{m,d}}{2} (\sin(90^\circ + \varphi'_k) - \tan(\varphi'_k) - \cos(90^\circ + \varphi'_k) \tan(\varphi'_k))$$

$$\varphi_d' = \begin{cases} \varphi'_k & \text{kun } \sigma' \leq \frac{f_{m,d}}{2} (1 + \cos(90^\circ + \varphi'_k)) \\ \varphi'_d & \text{kun } \sigma' > \frac{f_{m,d}}{2} (1 + \cos(90^\circ + \varphi'_k)) \end{cases}$$



Kuva 11. Puristuslujuuden mitoitusarvoon  $f_{m,d}$  perustuva murtokriteeri. Yhtenäinen Mohrin ympyrä kuvaa murtotilan jännitystä yksiakselisessa puristuskokeessa. Murtosuoran alle jäävät jännitystilat (kuormien aiheuttamien vaikutusten mitoitusarvot) ovat sallittuja (katkoviivalla piirretyt ympyrät). Pistekatkoviivalla piirretty ympyrä kuvaa puristuslujuuden ominaisarvoa  $f_{m,k}$ . Suurin sallittu vetojännityksen arvo on  $0,1 * f_{m,d}$ . Kitkakulma on maan löyhän tilan kitkakulma. Kuva muokattu lähteestä DIN 4093:2012.

# MUITA POIMINTOJA

- Rakenteen moduuli määritetään samoilla puristuskokeilla kuin lujuuskin
  - Sekanttimoduuli rakenteessa vallitsevalla leikkausjännitysalueella
- Savimaassa lujuudeltaan heikoille näytteille tehdään myös virumakokeet
- Töiden valmistelu
  - Sideainesuspension kulkeutumisreittien selvitys ja tukkiminen
- Töiden suoritus
  - Jatkuva monitorointi (koneohjaus, sideaineen virtaama, paluulietteen määrän seuranta)
  - Pääsääntöisesti työn aikana ei säädetä parametreja ilman painavaa syytä, vaan noudatetaan suunnitelmaa (reagoitava kuitenkin poikkeaviin havaintoihin)
- Laadunvarmistus
  - Pilarin koon tutkiminen (CPTU, geofysikaaliset menetelmät, esiinkaivut)
  - Näytteenotto ja koestus
  - Jälkivajoaman seuranta ja jälkitäytöt
  - Lämpötilan seuranta

KIITOS!

RAMBOLL