

# Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu - NCCI 7

28.12.2010

Siltojen ja pohjarakenteiden  
 suunnitteluohjeet



# Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7

28.12.2010

Liikenneviraston ohjeita 32/2010

Liikennevirasto  
Helsinki 2010

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-608-0

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373



Tieosasto

Vastaanottaja  
ELY-keskusten Liikenne- ja infrastruktuuri  
- vastualueet,  
Liikenneviraston Investointi ja  
Kunnossapito -toimialat

Voimassa  
28.12.2010 - toistaiseksi

Asiasanat  
ohjeet, eurokoodi, sillat, pohjarakenteet, pohjarakennus, sillasuunnittelu

## Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7

Tätä eurokoodi 7:n ja sen kansallisen liitteen soveltamisohjetta käytetään yleisten teiden, ratojen ja vesiväylien sekä niihin liittyvien rakenteiden kuten siltojen suunnittelussa. Lisäksi ohjetta käytetään niiden yksityisteiden suunnittelussa, jotka saavat rakentamiseen valtion avustusta.

Eurokoodeja käytetään pääsääntöisesti vain uudisrakentamisessa mutta niitä voidaan käyttää soveltaen myös korjauskohteissa, mikäli se on tarkoituksenmukaista ja siitä on suunnitteluun ryhdyttäessä tehty päätös.

Siltojen osalta soveltamisohjetta käytetään pienten ja keskisuurten tavanomaisten siltojen (sillan kokonaismitta < 200 m) eurokoodin mukaiseen suunnitteluun. Erikoissilloille (Esim. köysisillat) ja pidemmille silloille voidaan tätä soveltamisohjetta käyttää Liikenneviraston hankekohtaisten lisämääräysten kanssa.



Kari Lehtonen, Kehittämispäällikkö  
Tietekniikkayksikkö



Heikki Lilja, Silta-asiantuntija  
Sillansuunnittelu-yksikkö



Pentti Salo  
Geoasiantuntija

LISÄTIETOJA  
Pentti Salo ja Heikki Lilja  
Liikennevirasto, Investointitoimiala, puh. 020 637 373

OHJE SAATAVISSA LIIKENNEVIRASTON NETTISIVULTA OSOITTEISTA

[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/fi/palvelut/tietopalvelut/liikenneviraston\\_ohjeita](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/fi/palvelut/tietopalvelut/liikenneviraston_ohjeita),

[http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ohjeluettelo\\_alku2.htm](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ohjeluettelo_alku2.htm) /Uudet ohjeet tai pdf - luettelo,

<http://alk.tiehallinto.fi/sillat/>

## Esipuhe

Eurokoodit ja liikenne- ja viestintäministeriön niihin laatimat kansalliset liitteet ovat korvanneet aiemman siltojen ja pohjarakenteiden suunnittelussa käytetyn ohjejärjestelmän 1.6.2010 lukien.

Tämä soveltamisohje antaa ohjeita suunnittelijalle eurokoodien tulkintaan sekä esittää menetelmiä, joilla eurokoodien vaatimustaso täytetään. Ohjeesta on tehty tarkoituksellisesti mahdollisimman pelkistetty ja oppikirjamainen. Ohjetta pitää käyttää rinnakkain eurokoodistandardin SFS-EN 1997-1 sekä sen kansallisen liitteen kanssa.

Suomessa eurokoodit julkaisee Suomen standardisoimisliitto SFS. Liikenne- ja viestintäministeriön ohjeinaan julkaisemat kansalliset liitteet ovat saatavissa mm. Liikenneviraston internet-sivuilla.

Tämä soveltamisohje on toteutettu Liikenneviraston tie- ja rataosaston tilaamana konsulttityönä Insinööritoimisto Pontek Oy:n ja Insinööritoimisto Arcus Oy:n toimesta vuoden 2010 aikana.

Helsingissä joulukuussa 2010

Liikennevirasto  
Sillansuunnitteluyksikkö ja tietekniikkayksikkö

## Sisällysluettelo

1	YLEISTÄ .....	8
1.1	Soveltamisala .....	8
1.2	Ohjeen rajaus .....	8
1.3	Merkinnät .....	8
2	LUOKITUKSET .....	16
2.1	Geotekniset luokat .....	16
2.2	Seuraamusluokat .....	16
3	MITOITUSMENETTELY .....	17
3.1	Ohjeellisiin sääntöihin perustuva mitoitus .....	17
3.2	Koekuormitukseen perustuva mitoitus .....	17
3.3	Seurantamenetelmät .....	17
3.4	Laskelmiin perustuva mitoitus .....	17
3.4.1	Kuormat .....	17
3.4.2	Kuormien vaikutukset .....	19
3.4.3	Maan ominaisuudet .....	20
3.4.4	Kestävyys .....	20
3.4.5	Geometria .....	22
3.4.6	Rajatilat, mitoitustavat ja varmuuksien kohdentaminen .....	22
3.4.7	Käyttörajatila .....	28
4	KUORMAT .....	29
4.1	Mitoitustilanteet .....	29
4.2	Edullinen ja epäedullinen kuorma .....	29
4.3	Vedenpaine .....	30
4.4	Liikennekuormat .....	32
4.4.1	Maantieliikenne .....	32
4.4.2	Raideliikenne .....	33
4.5	Maanpaine .....	34
4.6	Maanpaine .....	34
4.6.1	Yleistä .....	34
4.6.2	Aktiivipaine .....	34
4.6.3	Lepopaine .....	35
4.6.4	Passiivipaine .....	35
4.6.5	Paalujen negatiivinen vaippahankaus .....	35
4.7	Sysäys .....	36
4.7.1	Tiesillat .....	36
4.7.2	Rautatiesillat .....	36
4.8	Kuormien yhdistely .....	37
4.8.1	Maantieliikenne .....	37
4.8.2	Raideliikenne .....	40
5	MITOITUS PERUSTAMISTAVOITTAIN .....	43
5.1	Antura- ja laattaperustukset .....	43
5.1.1	Kallionvarainen perustaminen .....	43
5.1.2	Maanvarainen .....	45
5.2	Paaluperustukset .....	47

---

5.2.1	Yleistä .....	47
5.2.2	Tukipaalu .....	48
5.3	Ankkurointi .....	54
5.3.1	Murtorajatila STR/GEO DA2 .....	54
5.3.2	Käyttörajatila .....	56
5.4	Maanpainerakenteet .....	56
5.4.1	Murtorajatila .....	56
5.4.2	Käyttörajatila .....	62
5.5	Luisat ja maanvaraiset penkereet .....	62
5.5.1	Murtorajatila STR/GEO DA3 .....	63
5.5.2	Käyttörajatila .....	63
5.6	Hydraulinen murtuminen ja pohjan nousu .....	64
5.6.1	Hydraulinen murtuminen HYD .....	64
5.6.2	Nosteen aiheuttama murtuminen UPL .....	65
5.7	Syvästabilointi .....	68
5.7.1	Pohjavahvistuksena toimivat pilarit .....	68
5.7.2	Pohjarakenteena toimivat pilarit .....	68

## LIITTEET

### LIITE 1 OSAVARMUUSLUVUT

### LIITE 2 MAANPAINEKERTOIMET

### LIITE 3 MAANPAINEEN MOBILISOITUMINEN

### LIITE 4 KANTOKESTÄVYYS

### LIITE 5 MAANTIESILTOJEN KUORMIEN YHDISTELY (vrt. kohta 4.8.1)

### LIITE 6 RAIDELIIKENTEEN SILTOJEN KUORMIEN YHDISTELY (vrt kohta 4.8.2)

### LIITE 7 LASKUESIMERKIT

- Laskuesimerkki 1: Maanvarainen sillan välituki
- Laskuesimerkki 2: Kallionvarainen sillan välituki
- Laskuesimerkki 3: Paaluille perustettu sillan välituki
- Laskuesimerkki 4: Ratapenger savikolla
- Laskuesimerkki 5: Ratapenger silttisellä pohjamaalla
- Laskuesimerkki 6: Tiehen rajoittuva työnaikainen tukiseinä savikolla

# 1 Yleistä

## 1.1 Soveltamisala

Tässä soveltamisohjeessa käsitellään EN 1997-1 ja sen kansallisen liitteen soveltamista tie ja rautatiekohteissa. EN 1997-1 on velvoittava vain uusien pohjarakenteiden osalta. Soveltamisohjetta voidaan soveltaa myös korjauskohteissa, mikäli se on tarkoituksenmukaista.

## 1.2 Ohjeen rajaus

Tässä ohjeessa käsitellään EN 1997-1 ja sen LVM:n kansallisen liitteen soveltamista tavanomaisissa väylähankkeissa. Tavanomaisesta poikkeavat rakenteet saattavat vaatia menettelytapoja, joita ei ole tässä soveltamisohjeessa käsitelty. Tällöin suunnittelijan pitää tukeutua suoraan EN 1997-1 ja sen kansalliseen liitteeseen.

Tässä soveltamisohjeessa käsitellään vain satunnaisesti ominaisarvojen määrittystä. Pääpaino on ominaisarvojen määrittämisen jälkeisessä prosessissa eli EN 1997-1 ja sen LVM:n kansallisen liitteen mukaisessa varmuusmenettelyssä. Laskentamenetelmien ja parametrien määrittämisen osalta suunnittelijan pitää tukeutua alan muuhun kirjallisuuteen.

## 1.3 Merkinnät

Standardissa EN-1997-1 käytetään seuraavia merkintöjä.

Latinalaiset kirjaimet

$A'$	tehokas pohjan ala
$A_b$	paalun pohjan ala
$A_c$	pohjan kokonaisala puristuksessa
$A_{s,i}$	paalun vaipan pinta-ala kerroksessa $i$
$a_d$	mittatiedon mitoitusarvo
$a_{nom}$	mittatiedon nimellisarvo
$\Delta a$	nimellisiin mittatietoihin tehty muutos tiettyjä mitoitusarvoja varten
$b$	perustuksen leveys
$b'$	perustuksen tehokas leveys

---

$C_d$	rajoittava mitoitusarvo kuorman vaikutukselle
$c$	koheesio
$c'$	tehokas koheesio
$C_u$	suljettu leikkauslujuus
$C_{u;d}$	suljetun leikkauslujuuden mitoitusarvo
$d$	perustamissyvyys
$E_d$	kuormien vaikutuksen mitoitusarvo
$E_{stb;d}$	vakauttavien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo
$E_{dst;d}$	kaatavien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo
$F_{c;d}$	paaluun tai paaluryhmään kohdistuvan aksiaalisen puristuskuorman mitoitusarvo
$F_d$	kuorman mitoitusarvo
$F_k$	kuorman ominaisarvo
$F_{rep}$	kuorman edustava arvo
$F_{t;d}$	vetopaaluun tai vetopaaluryhmään kohdistuvan aksiaalisen vetokuorman mitoitusarvo
$F_{tr;d}$	paaluun tai paaluperustukseen kohdistuvan poikittaisen kuorman mitoitusarvo
$G_{dst;d}$	kaatavien pysyvien kuormien mitoitusarvo nosteelle mitoitettaessa
$G_{kj,sup}/$ $G_{kj,inf}$	Pysyvän kuorman $j$ ominaisarvon ylä-/alaraja
$G_{stb;d}$	vakauttavien pysyvien pystysuorien kuormien mitoitusarvo nosteelle mitoitettaessa
$G'_{stb;d}$	vakauttavien pysyvien pystysuorien kuormien mitoitusarvo maan hydraulista nousua vastaan mitoitettaessa (paino vedessä)
$H$	vaakasuora kuorma tai kokonaiskuorman komponentti, joka vaikuttaa perustason suunnassa
$H_d$	$H$ :n mitoitusarvo
$h$	seinän korkeus
$h$	vedenkorkeus hydraulista nousua tarkasteltaessa

---

$h'$	maaprisman korkeus mitoitettaessa hydraulista nousua vastaan
$h_{w;k}$	hydrostaattisen vedenpaine korkeuden ominaisarvo maaprisman pohjalla
$K_0$	maan lepopaine kerroin
$K_{0;\beta}$	maan lepopaine kerroin, kun tuettu maanpinta on kaltevuuskulmassa $\beta$ vaakatason suhteen
$k$	suhde $\delta_d / \varphi_{cv;d}$
$l$	perustuksen pituus
$l'$	tehokas perustuksen pituus
$n$	esimerkiksi paalujen tai koe profiilien lukumäärä
$P$	ankkurointiin kohdistuva kuorma
$P_d$	$P$ :n mitoitusarvo
$P_p$	injektoidun ankkuroinnin koe(veto)kuorma soveltuvuuskokeessa
$Q_{dst;d}$	kaatavien muuttuvien pystysuorien kuormien mitoitusarvo nosteelle mitoitettaessa
$Q_{k,1}$	Määräävän muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo
$Q_{k,i}$	Muun samanaikaisen muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo
$q_{b;k}$	(paalun) pohjapaineen ominaisarvo
$q_{s;i;k}$	vaippakitkan ominaisarvo kerroksessa $i$
$R_a$	ankkuroinnin ulosvetokestävyys
$R_{a;d}$	$R_a$ :n mitoitusarvo
$R_{a;k}$	$R_a$ :n ominaisarvo
$R_{b;cal}$	paalun kärkikestävyys laskettuna pohjatutkimustuloksista murtorajatilassa
$R_{b;d}$	paalun kärkikestävyden mitoitusarvo
$R_{b;k}$	paalun kärkikestävyden ominaisarvo
$R_c$	paalun geotekninen puristuskestävyys murtorajatilassa
$R_{c;cal}$	$R_c$ :n laskettu arvo
$R_{c;d}$	$R_c$ :n mitoitusarvo
$R_{c;k}$	$R_c$ :n ominaisarvo



---

$R_{c,m}$	$R_c$ :n mitattu arvo yhden tai usean paalun koekuormituksessa
$R_d$	kestävyyden mitoitusarvo
$R_{p,d}$	perustuksen sivuun kohdistuvasta maanpaineesta aiheutuvan vastustavan voiman mitoitusarvo
$R_{s,d}$	paalun vaippakestävyyden mitoitusarvo
$R_{s,cal}$	vaippakitka laskettuna maaparametrien koetuloksista (murtorajatilassa)
$R_{s,k}$	paalun vaippakestävyyden ominaisarvo
$R_t$	yksittäisen paalun vetokestävyys (murtorajatilassa)
$R_{t,d}$	paalun tai paaluryhmän vetokestävyyden mitoitusarvo, tai ankkurin rakenteellisen vetokestävyyden mitoitusarvo
$R_{t,k}$	paalun tai paaluryhmän vetokestävyyden ominaisarvo
$R_{t,m}$	yksittäisen paalun mitattu vetokestävyys yhden tai usean paalun koekuormituksessa
$R_{tr}$	paalun kestävyys poikittaisille kuormille (murtorajatilassa)
$R_{tr,d}$	poikittaisessa suunnassa kuormitetun paalun kestävyden mitoitusarvo
$S_{dst,d}$	kaatavan suotovirtausvoiman mitoitusarvo maassa
$S_{dst,k}$	kaatavan suotovirtausvoiman ominaisarvo maassa
$s$	painuma
$S_o$	välitön painuma
$S_1$	konsolidaatiopainuma
$S_2$	viruman aiheuttama painuma (sekundäärinen painuma)
$T_d$	kokonaisleikkauskestävyyden mitoitusarvo, joka kehittyy sen maablokin ympärillä mihin vetopaaluryhmä on asennettu tai maan kanssa kontaktissa olevassa rakenteen osassa
$u$	huokosvedenpaine
$u_{dst,d}$	kaatavan kokonaishuokosvedenpaineen mitoitusarvo
$V$	pystysuora kuorma tai se kokonaiskuorman komponentti, joka vaikuttaa koh-tisuoraan perustuksen pohjaa vastaan
$V_d$	$V$ :n mitoitusarvo

---

$V'_d$	tehokkaan pystysuoran kuorman tai kohtisuoraan perustuksen pohjaa vastaan vaikuttavan kokonaiskuorman komponentin mitoitusarvo
$V_{dst;d}$	rakenteeseen kohdistuvan kaatavan pystysuoran kuorman mitoitusarvo
$V_{dst;k}$	rakenteeseen kohdistuvan kaatavan pystysuoran kuorman ominaisarvo
$X_d$	materiaaliominaisuuden mitoitusarvo
$X_k$	materiaaliominaisuuden ominaisarvo
$Z$	pystysuora etäisyys

Kreikkalaiset kirjaimet

$\alpha$	perustuksen pohjan kaltevuus vaakatason suhteen
$\beta$	maan kaltevuuskulma seinän takana (ylöspäin positiivinen)
$\delta$	rakenteen ja maan välinen kitkakulma
$\delta_d$	$\delta$ :n mitoitusarvo
$\gamma$	tilavuuspaino
$\gamma'$	tehokas tilavuuspaino
$\gamma_a$	ankkurointien osavarmuusluku
$\gamma_{a;p}$	pysyvien ankkurointien osavarmuusluku
$\gamma_{a;t}$	tilapäisten ankkurointien osavarmuusluku
$\gamma_b$	paalun kärkikestävyys osavarmuusluku
$\gamma_{c'}$	tehokkaan koheesion osavarmuusluku
$\gamma_{cu}$	suljetun leikkauslujuuden osavarmuusluku
$\gamma_E$	kuorman vaikutuksen osavarmuusluku
$\gamma_f$	kuormien osavarmuusluku, jossa otetaan huomioon kuormien mahdollisuus poiketa epäedulliseen suuntaan edustavista arvoista
$\gamma_F$	kuorman osavarmuusluku
$\gamma_G$	pysyvän kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{G;dst}$	pysyvän kaatavan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{G;stb}$	pysyvän vakauttavan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_m$	maaparametrin (materiaaliominaisuuden) osavarmuusluku
$\gamma_{m;i}$	maaparametrin osavarmuusluku kerroksessa $i$
$\gamma_M$	maaparametrin (materiaaliominaisuuden) osavarmuusluku, ottaa huomioon myös mallin epävarmuudet
$\gamma_Q$	muuttuvan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{qu}$	yksiakiaalisen puristuslujuuden osavarmuusluku
$\gamma_R$	kestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{R;d}$	kestävyydsmallin epävarmuuden osavarmuusluku

---

$\gamma_{R,e}$	maan kestävyiden osavarmuusluku
$\gamma_{R,h}$	liukumiskestävyiden osavarmuusluku
$\gamma_{R,v}$	kantokestävyiden osavarmuusluku
$\gamma_s$	paalun vaippakestävyiden osavarmuusluku
$\gamma_{S;d}$	kuormien vaikutusten mallintamisen epävarmuuden osavarmuusluku
$\gamma_{Q;dst}$	hydraulisen murtuman aiheuttavan kaatavan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{Q;stb}$	hydraulista murtumaa vastaan vakauttavan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{Qi}$	Muuttuvan kuorman <i>i</i> osavarmuusluku
$\gamma_{s;t}$	paalun vetokestävyiden osavarmuusluku
$\gamma_t$	paalun kokonaiskestävyiden osavarmuusluku
$\gamma_w$	veden tilavuuspaino
$\gamma_\varphi'$	leikkauskestävyyskulman (sisäisen "kitkakulman") osavarmuusluku ( $\tan \varphi'$ )
$\gamma_\gamma$	tilavuuspainon osavarmuusluku
$\theta$	H:n suuntakulma
$\xi$	koestettujen paalujen tai koeprofiilien lukumäärästä riippuva korrelaatiokerroin
$\xi_a$	ankkurointien korrelaatiokerroin
$\xi_1; \xi_2$	korrelaatiokertoimet paalujen staattisten koekuormitusten tulosten arvioimiseen
$\xi_3; \xi_4$	korrelaatiokertoimet paalun kestävyiden johtamiseksi pohjatutkimustuloksista, ilman paalun koekuormituksia
$\xi_5; \xi_6$	korrelaatiokertoimet paalun kestävyiden johtamiseksi dynaamisista koekuormituksista
$\psi$	kerroin ominaisarvon muuntamiseksi edustavaksi arvoksi
$\sigma_{stb;d}$	vakauttavan pystysuoran kokonaisjännityksen mitoitusarvo
$\sigma'_{h;0}$	maan tehokkaan lepopaineen vaakasuora komponentti
$\sigma(z)$	jännitys kohtisuoraan seinää vastaan syvyydellä <i>z</i>
$\tau(z)$	seinän tangentin suuntainen jännitys syvyydellä <i>z</i>
$\varphi'$	leikkauskestävyyskulma ("kitkakulma") tehokkaiden jännitysten perusteella

$\varphi_{cv}$  kriittisen tilan leikkauskestävyysskulma

$\varphi_{cv,d}$   $\varphi_{cv}$ :n mitoitusarvo

$\varphi'_d$   $\varphi'$ :n mitoitusarvo

#### Lyhenteet

CFA CFA-paalu (minikaivinpaalu Auger-menetelmällä)

OCR ylikonsolidoitumissuhde

HUOM.1 Kaikissa eurokoodeissa yhteisesti käytetyt merkinnät on määritelty EN 1990:2002:ssa.

HUOM.2 Käytetty merkintäjärjestelmä perustuu standardiin ISO 3898:1997.

Geoteknisiin laskelmiin suositellaan seuraavia yksiköitä tai niiden monikertoja:

- voima kN
- massa kg
- momentti kNm
- tiheys kg/m<sup>3</sup>
- tilavuuspaino kN/m<sup>3</sup>
- jännitys, paine, lujuus ja jäykkyys kPa
- läpäisevyyskerroin m/s
- konsolidaatiokerroin m<sup>2</sup>/s

## 2 Luokitukset

### 2.1 Geotekniset luokat

Geoteknisellä luokalla on vaikutusta lähinnä tarvittavien pohjatutkimusten määrään.

Rakenne kuuluu geotekniseen luokkaan 1 mikäli kaikki seuraavat asiat toteutuvat:

- rakenne on yksinkertainen
- maapohja on kitkamaata tai ollaan kalliolla
- vakavuuden suhteen ei ole riskiä
- siirtymien tai painumien suhteen ei ole riskiä

Rakenne kuuluu geotekniseen luokkaan 2, mikäli se on tavanomainen eikä pohjamaahan liity tavallisuudesta poikkeavia riskejä.

Tyypillisiä esimerkkejä ovat: paaluperustukset, seinät ja muut maata tai vettä pitävät rakenteet, leikkaukset, penkereet, tavanomaiset siltojen väli- ja maatuet sekä ankkurit.

Rakenne kuuluu geotekniseen luokkaan 3, mikäli se ei kuulu luokkaan 1 tai 2. Tyypillisiä esimerkkejä ovat: Erittäin suuret tai epätavalliset rakenteet, rakenteet, joihin liittyy normaalista poikkeavia riskejä, rakenteet, joissa on epätavallisen vaikeat pohjajäät tai kuormitusolosuhteet ja rakenteet, jotka suunnitellaan alueelle, jonka maamassat ovat lähtötilanteessa liikkeessä.

### 2.2 Seuraamusluokat

Taulukko 2.1 Eurokoodin seuraamusluokat

Seuraamusluokka	Kuvaus
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia

Seuraamusluokassa CC2 kuormakerroin  $K_{fi}$  on 1,0. Mikäli seuraamusluokka on muu kuin CC2, määritetään se hankekohtaisesti.

## 3 Mitoitusmenettely

### 3.1 Ohjeellisiin sääntöihin perustuva mitoitus

Mitoitustilanteissa, joissa ei ole käytettävissä laskentamallia tai se on tarpeeton, voidaan mitoitus tehdä vertailukelpoisen kokemuksen perusteella. Tällöin mitoitus tehdään käyttäen ohjeiden mukaisia konservatiivisia ratkaisuja. Menettelyä käytetään yleensä vain geoteknisessä luokassa 1 ja seuraamusluokassa CC1.

### 3.2 Koekuormitukseen perustuva mitoitus

Mitoituksessa tulee huomioida:

- pohjaolosuhteiden ja mittakaavan aiheuttamat erot kokeen ja todellisen rakenteen välillä
- kokeen suoritusajan ja -nopeuden sekä jännitystason vaikutukset

### 3.3 Seurantamenetelmät

Mikäli geoteknisen käyttäytymisen ennustaminen laskennallisesti on vaikeaa tai epävarmaa, voidaan laskennallista mitoitusta täydentää työnaikaisilla seurantamittauksilla. Suunnitelmassa pitää määrittää mittaukset, niiden suoritus sekä tulosten toimitus ja käsittely. Suunnitelmassa pitää olla myös hälytysrajat sekä toimenpiteet rajan ylittyessä.

### 3.4 Laskelmiin perustuva mitoitus

Tässä kappaleessa käsitellään Eurokoodi 7 mukaisen laskelmiin perustuvan mitoituksen perusteita yleisesti.

#### 3.4.1 Kuormat

Kuormat (F) ovat tarkasteltavaan kohteeseen vaikuttavia ulkoisia tai sisäisiä voimia tai jännityksiä. Kuormat jaetaan pysyviin (G) ja muuttuviin kuormiin (Q). Lisäksi kuorma on joko kaatava tai vakauttava.

Kuorman ominaisarvosta saadaan sen edustava arvo kertomalla se yhdistelykertoimella  $\psi$ . Pysyvien kuormien osalta  $\psi$  on aina 1,0. Muuttuvien kuormien osalta  $\psi$  on yhtä suuri tai pienempi kuin 1,0. Kuormien yhdistelyssä ei huomioida vakauttavia muuttuvia kuormia.

Eurokoodissa ei käytetä yhdistelykertoimelle arvoa 1,0, vaan määräävä muuttuva kuorma ja pysyvät kuormat otetaan kuormitusyhdistelmiin mukaan aina ominais-

arvollaan. Käytännössä tämä vastaa samaa kuin, että em. kuormien yhdistelykerroin olisi 1,0.

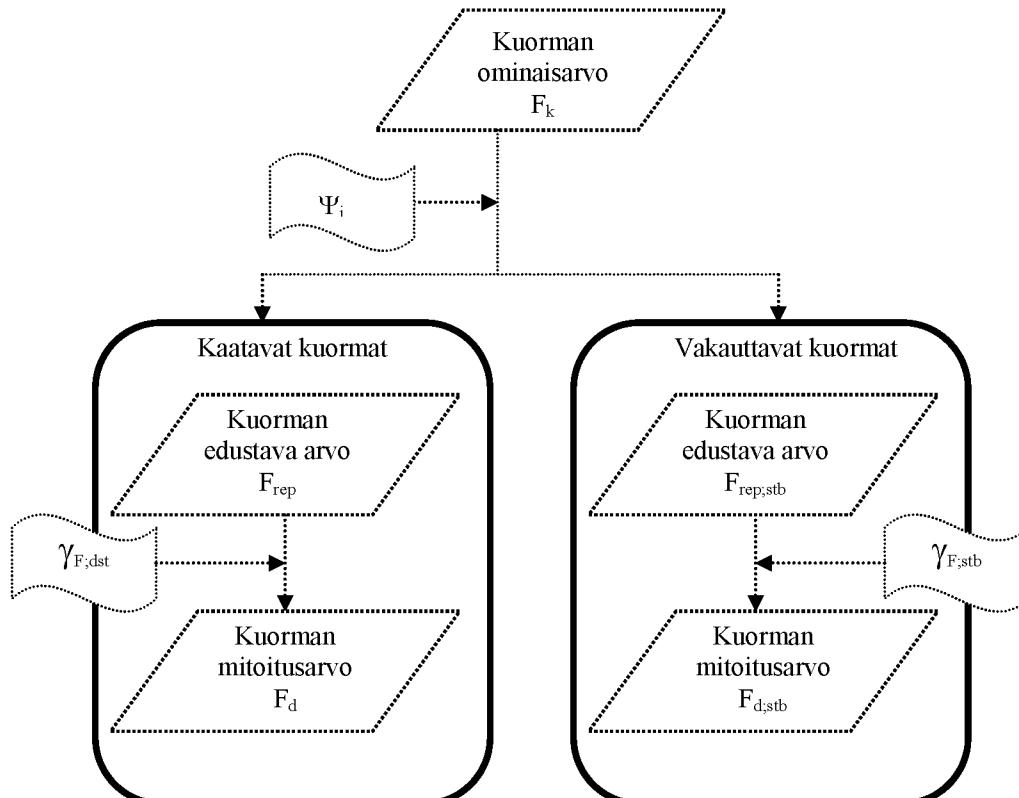
Toisin sanoen Eurokoodien mukaisissa kuormitusyhdistelmissä yhdistelykertoimella, joka on aina pienempi kuin 1,0, kerrotaan vain muut kuormat kuin pysyvät kuormat tai määräävä muuttuva kuorma.

Kuorman edustavasta arvosta saadaan mitoitusarvo kertomalla se kuorman osavarmuusluvulla  $\gamma_F$ .

Kuorman edustava arvo on murtorajatilan yhdistelyissä ja käyttörajatilan ominaisyhdistelmässä aina määräävälle muuttuvalle kuormalle ominaisarvo ja muille muuttuville kuormille yhdistelyarvo, jolloin yhdistelykerroin  $\psi = \psi_0$ .

Käyttörajatilan tavallista yhdistelmää laskettaessa määräävän muuttuvan kuorman edustava arvo on kuorman tavallinen arvo, jolloin yhdistelykerroin  $\psi = \psi_1$  ja muiden muuttuvien kuormien edustava arvo on pitkäaikainen arvo, jolloin yhdistelykerroin  $\psi = \psi_2$ .

Pitkäaikaisyhdistelmässä kaikkien muuttuvien kuormien edustava arvo on pitkäaikaisarvo, jolloin mukana ovat vain ne muuttuvat kuormat, joille yhdistelykerroin  $\psi = \psi_2 \neq 0$ .



Kuva 3.1 Kuormien yhdistely ja varmuuden sisällyttäminen kuormiin.



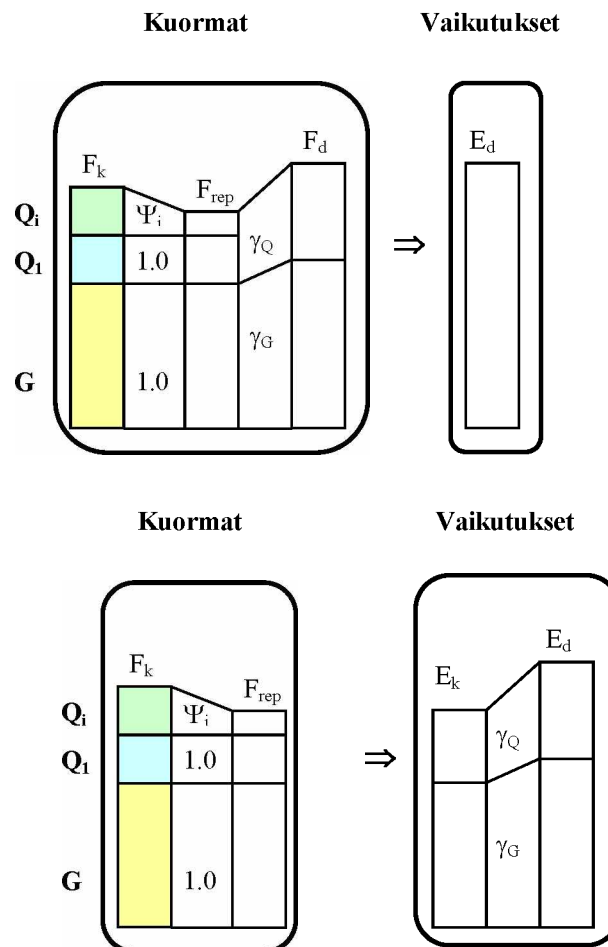
### 3.4.2 Kuormien vaikutukset

Kuormien vaikutuksilla (E) tarkoitetaan kuormista seuraavia laskennallisia voimia, momentteja, jännityksiä ja muodonmuutoksia. Näitä ovat esim. pohjapaineet, tukiseinän ankkurivoimat ja tukiseinän taivutusmomentti.

*”Kuormien aiheuttama vaikutus rakenteeseen (esim. kunkin poikkileikkauksen voimasuureet eli voima ja momentti, edelleen jännitys ja muodonmuutos) tai vaikutus koko rakenteeseen (esim. taipuma ja kiertymä)”  
 /SFS-EN 1990, 1.5.3.2 /*

Rakenteiden suunnittelussa voidaan yleensä kuormien vaikutukset laskea pelkästään kuormien ja rakenteen mittojen perusteella. Geoteknisessä mitoituksessa kuormien vaikutukset ovat kuitenkin yleensä kuormien ja rakenteen mittojen lisäksi materiaalin lujuusominaisuuksien funktioita. Esimerkiksi ulkoisesta kuormasta (F) aiheutuva maanpaine (E) riippuu maan lujuusominaisuuksista. Tämä kuormien vaikutusten ja materiaalin lujuuden riippuvuus monimutkaistaa osavarmuusmenettelyn soveltamista geotekniikassa suhteessa muuhun rakennesuunnitteluun.

Kuvassa 3.2 on havainnollistettu Eurokoodi 7:n tapaa käsitellä kuormia ja kuormien vaikutuksia.



Kuva 3.2 Vaihtoehdot tavat osavarmuuslukujen soveltamisesta kuormiin ja kuormien vaikutuksiin

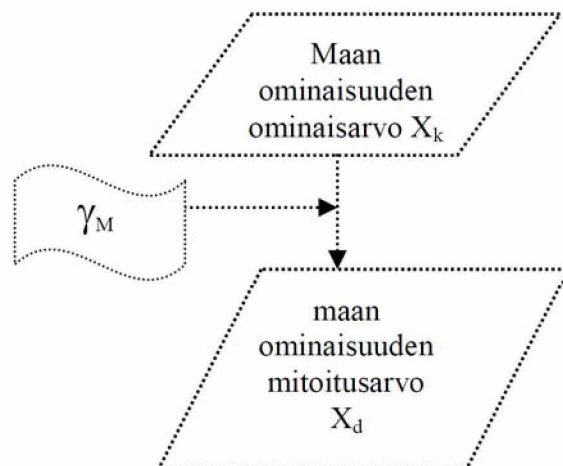
Kuorman osavarmuusluvut voidaan mitoitustavasta riippuen kohdistaa joko suoraan kuormiin (ylempi kuva) tai kuormista laskettuihin vaikutuksiin (alempi kuva). Kuvissa oleva "=>" merkki kuvaa laskentamallin paikkaa prosessissa.

Geotekniikassa laskentamalli on yleensä epälineaarinen. Tästä seuraa, että kuvassa 3.2 esitetyt vaihtoehdot johtavat eri tulokseen. Mikäli laskentamalli on kauttaaltaan lineaarinen, antavat kummatkin tavat saman tuloksen.

Koska pysyvillä ja muuttuvilla kuormilla on eri osavarmuusluvut, pitää alemman kuvan mukaisessa tavassa laskea erikseen pysyvän kuorman aiheuttamat vaikutukset ja muuttuvan kuorman aiheuttamat vaikutukset

### 3.4.3 Maan ominaisuudet

Maan ominaisuuksilla ( $X$ ) tarkoitetaan yleisesti kaikkia maan mekaanisia ominaisuuksia, kuten lujuus, tilavuuspaino ja muodonmuutos ominaisuudet. Murtorajatilata tarkasteluissa pääpaino on maan ja rakenteen kestävyydellä, jolloin varmuus kohdistetaan lujuusominaisuuksiin. Geotekniikan yhteydessä on kuitenkin luontevaa puhua maan ominaisuuksista lujuuden sijaan, koska yleensä tarkoitetaan maan koheesiota tai leikkauskestävyyskulmaa (kitkakulma).



Kuva 3.3 Osavarmuusluvun kohdistaminen maan ominaisuuksiin (maaparametreihin)

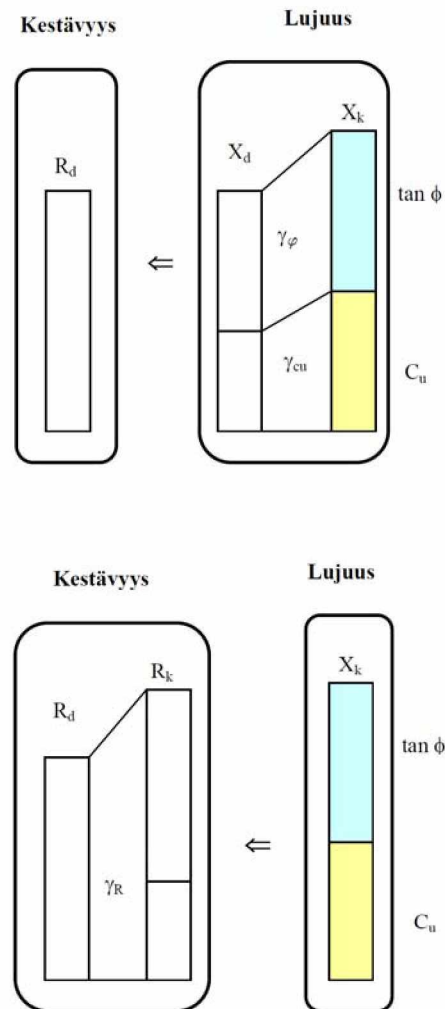
Ominaisarvosta saadaan mitoitusarvo jakamalla se maaparametrin osavarmuusluvulla  $\gamma_M$ .

### 3.4.4 Kestävyys

Kestävyydellä ( $R$ ) tarkoitetaan maan lujuusominaisuuksien perusteella laskettua kykyä kestää sille tulevia kuormia. Näitä ovat esim. maapohjan kantokestävyys, paalun kantokestävyys ja passiivipaine (maan kestävyys).

*"Rakenteen minkä tahansa osan tai sen poikkileikkauksen kyky vastustaa kuormien vaikutusta vaurioitumatta mekaanisesti, esim. taivutuskestävyys, nurjahduksestävyys, vetokestävyys" /SFS-EN 1990, 1.5.2.15/*

Rakenteiden suunnittelussa materiaalin lujuus ja kestävyys eivät yleensä riipu kuormista. Geotekniikassa sen sijaan materiaalin lujuus riippuu usein kuormasta ja sen vuoksi esimerkiksi kittamaassa maan kestävyys liukupinnalla ( $R$ ) riippuu liukupintaa rasittavista kuormista ( $F$ ). Tämä maan kestävyden ja kuormien välinen riippuvuus monimutkaistaa osavarmuuslukumenettelyn soveltamista geotekniikkaan verrattuna muuhun rakennesuunnitteluun.



Kuva 3.4 Vaihtoehtoiset tavat osavarmuuslukujen soveltamisesta lujuuteen ja kestävyyteen

Osavarmuusluvut voidaan mitoitustavasta riippuen kohdistaa joko suoraan lujuusparametreihin tai niistä laskettuihin kestävyysiin. Kuvassa 3.4 oleva "=>" merkki kuvaa laskentamallin paikkaa prosessissa. Ylemmässä kuvassa lujuuden ominaisarvoista saadaan lujuuden mitoitusarvot jakamalla ne lujuuden osavarmuusluvuilla. Kestävyys saadaan sitten käyttämällä laskennassa näitä lujuuden mitoitusarvoja. Alemmassa kuvassa taas laskenta suoritetaan lujuuden ominaisarvoilla ja osavarmuusluvuilla jaetaan vasta näin saatu kestävyden ominaisarvo.

Geotekniikassa laskentamalli on yleensä epälineaarinen. Tästä seuraa, että kuvassa 3.4 esitetyt vaihtoehdot johtavat eri tulokseen. Esimerkiksi anturan (maan) kantokestävyudeksi saadaan eri arvot, jos osavarmuusluku kohdistetaan  $\tan\phi$  arvoon tai suo-

---

raan kantokestävyyden ominaisarvoon. Jos laskentamalli on kauttaaltaan lineaarinen, antavat kummatkin tavat saman tuloksen.

### 3.4.5 Geometria

Pääsääntöisesti geoteknisessä suunnittelussa käytetään mittatietojen mitoitusarvoina niiden nimellisarvoja. Olemassa olevien rakenteiden osalta ne perustuvat yleensä mittauksiin (esim. maanpinta) ja tulevien rakenteiden osalta suunnitelmiin. Poikkeuksena edelliseen ovat mm. voimakkaasti epäkeskeiset kuormat ja maanpinnan taso tukiseinän edessä.

### 3.4.6 Rajatilat, mitoitustavat ja varmuuksien kohdentaminen

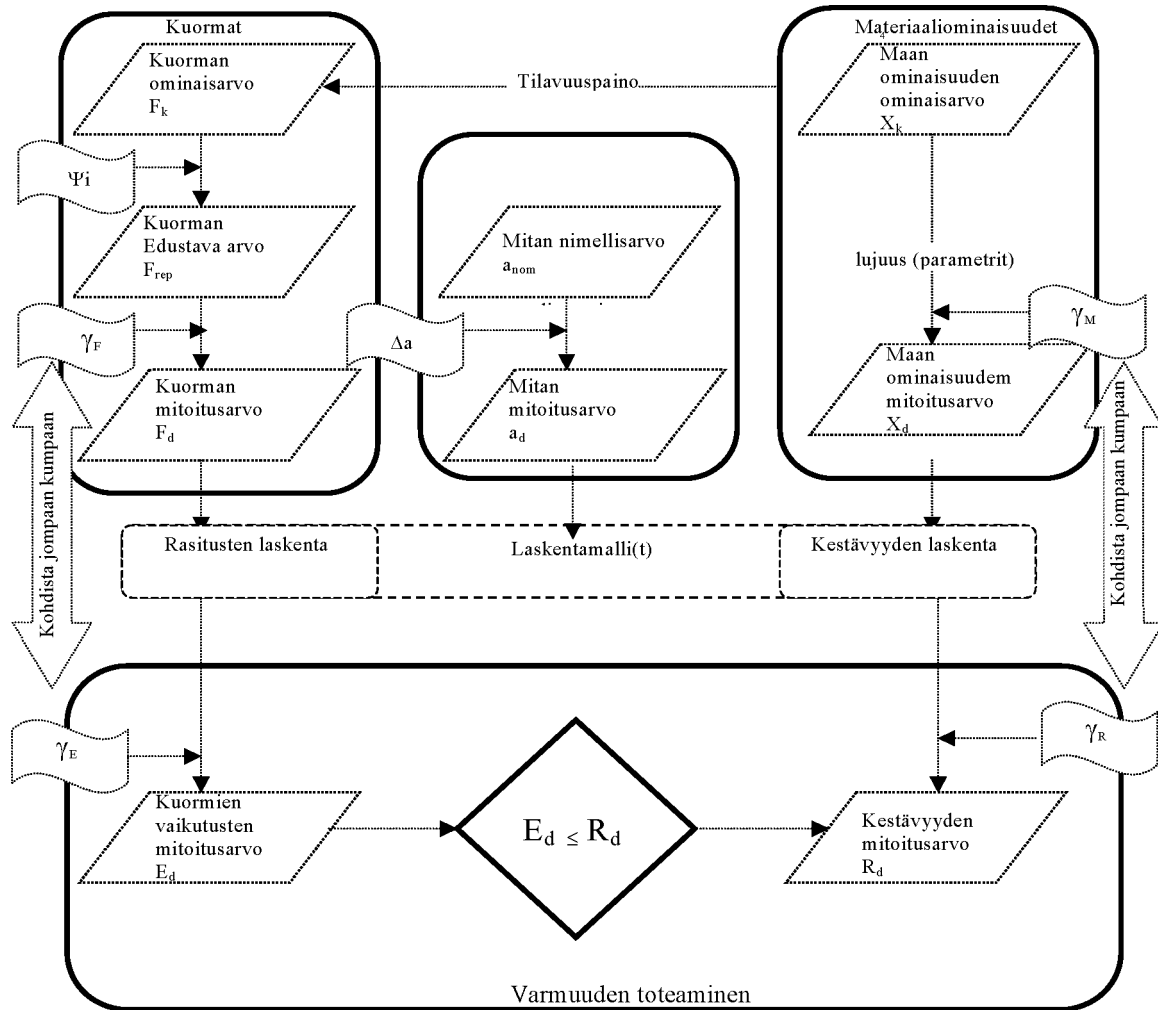
#### 3.4.6.1 Kestävyyden tarkistus, rajatila STR/GEO

Rajatilassa STR/GEO tarkastetaan rakenteen ja maapohjan kestävyys murren ja liiallisen muodonmuutoksen suhteen. Murtorajatilassa tulee osoittaa, että kuormien vaikutusten mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin kestävyysmitoitussarvo.

$$E_d \leq R_d \quad (3.1)$$

Kuvassa 3.5 on esitetty yleisesti rajatilan STR/GEO prosessi kokonaisuudessaan.

Kestävyyden todentaminen  
 Rajatilat STR / GEO



Kuva 3.5 Kestävyyden osoittaminen.

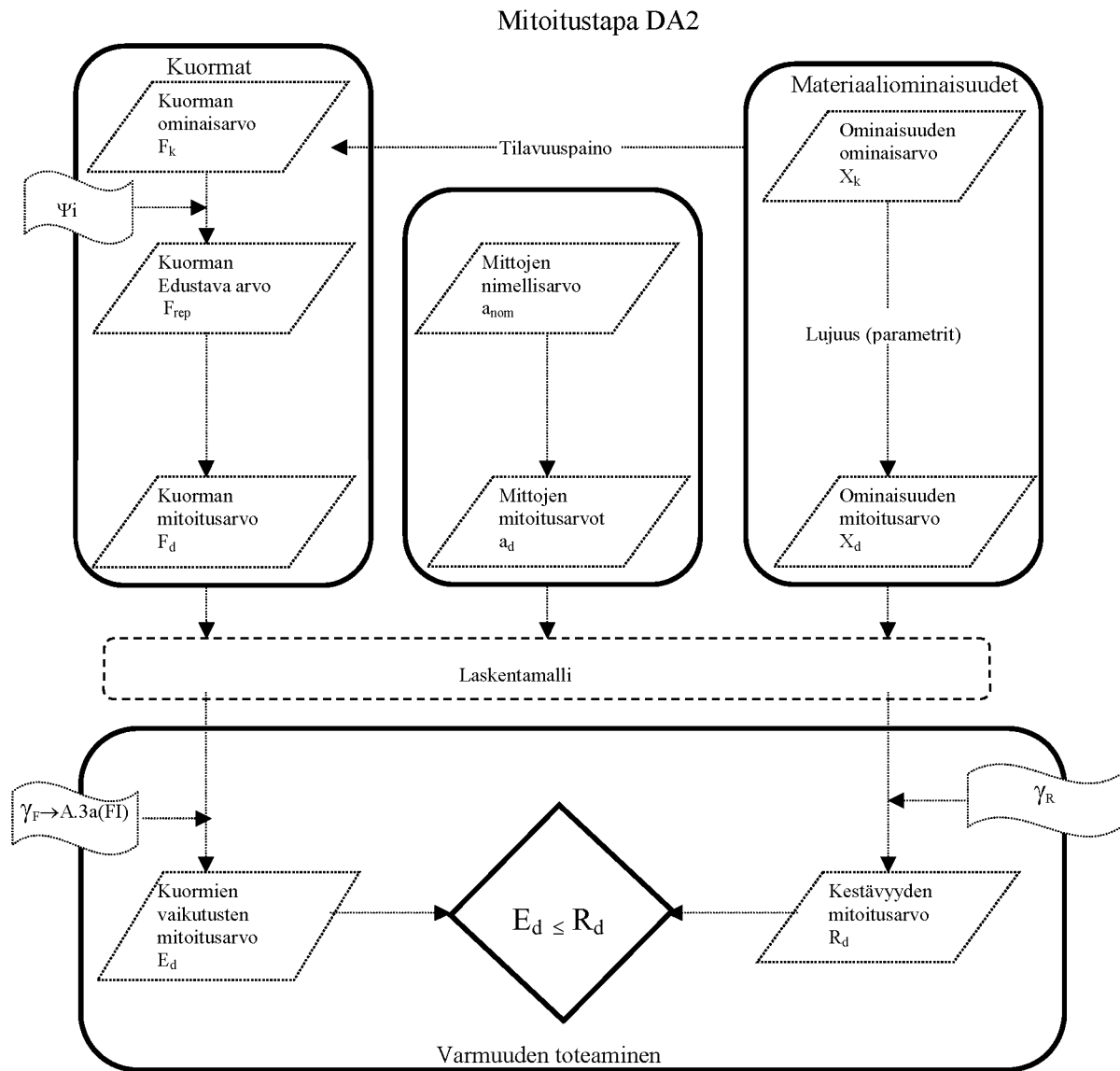
---

Kuormapuolella voidaan varmuus sijoittaa joko suoraan kuorman edustavaan arvoon tai kuormien vaikutuksiin (esim. pintakuorma tai siitä aiheutuva ankkurivoima). Kestävyysspuolella voidaan varmuus sijoittaa joko suoraan maaparametrin ominaisarvoon tai laskettuun kestävyYTEEN (esim.  $\tan\phi$  tai kantavuus). Se mihin varmuus sijoitetaan, riippuu käytettävästä mitoitustavasta (DA1, DA2 ja DA3). Näihin palataan jatkossa.

Kuormien ja maaparametrien perusteella lasketaan kuormien vaikutus ja rakenteen/maan kestävyys. Tämä laskentamalli voi koostua kahdesta erillisestä laskennasta. Esimerkiksi maanvaraisen anturan kantokestävyYDEN riittävyys määritetään laskemalla erikseen kuormista aiheutuva jännitys anturan alapinnassa (pohjapaine) ja maan lujuudesta aiheutuva kestävyys, joita sitten verrataan keskenään. Geotekniikassa lujuus riippuu usein jännityksistä. Tällöin laskentamalli on sellainen, että sekä kuormat (jännitys) että kestävyys lasketaan samanaikaisesti yleensä iteroiden. Tyyppillinen esimerkki tästä on liukupintalaskelma.

Suomessa on valittu käytettäväksi kahta mitoitustapaa. Vakavuuden laskennassa käytetään mitoitustapaa DA3. Antura- ja laattaperustusten, paaluperustusten, ankkurien ja tukirakenteiden mitoituksessa käytetään mitoitustapaa DA2. Mitoitustapaa DA2 voidaan soveltaa kahdella eri tavalla. Nämä erotetaan toisistaan merkinnöillä DA2 ja DA2\*. Suositeltava mitoitustapa on DA2\*. Mitoitustapaa DA2 voidaan käyttää, mikäli laskelmat oleellisesti helpottuvat eikä valinnasta aiheudu merkittävää haittaa. Mitoitus on tällöin varmalla puolella suhteessa mitoitustapaan DA2\*.

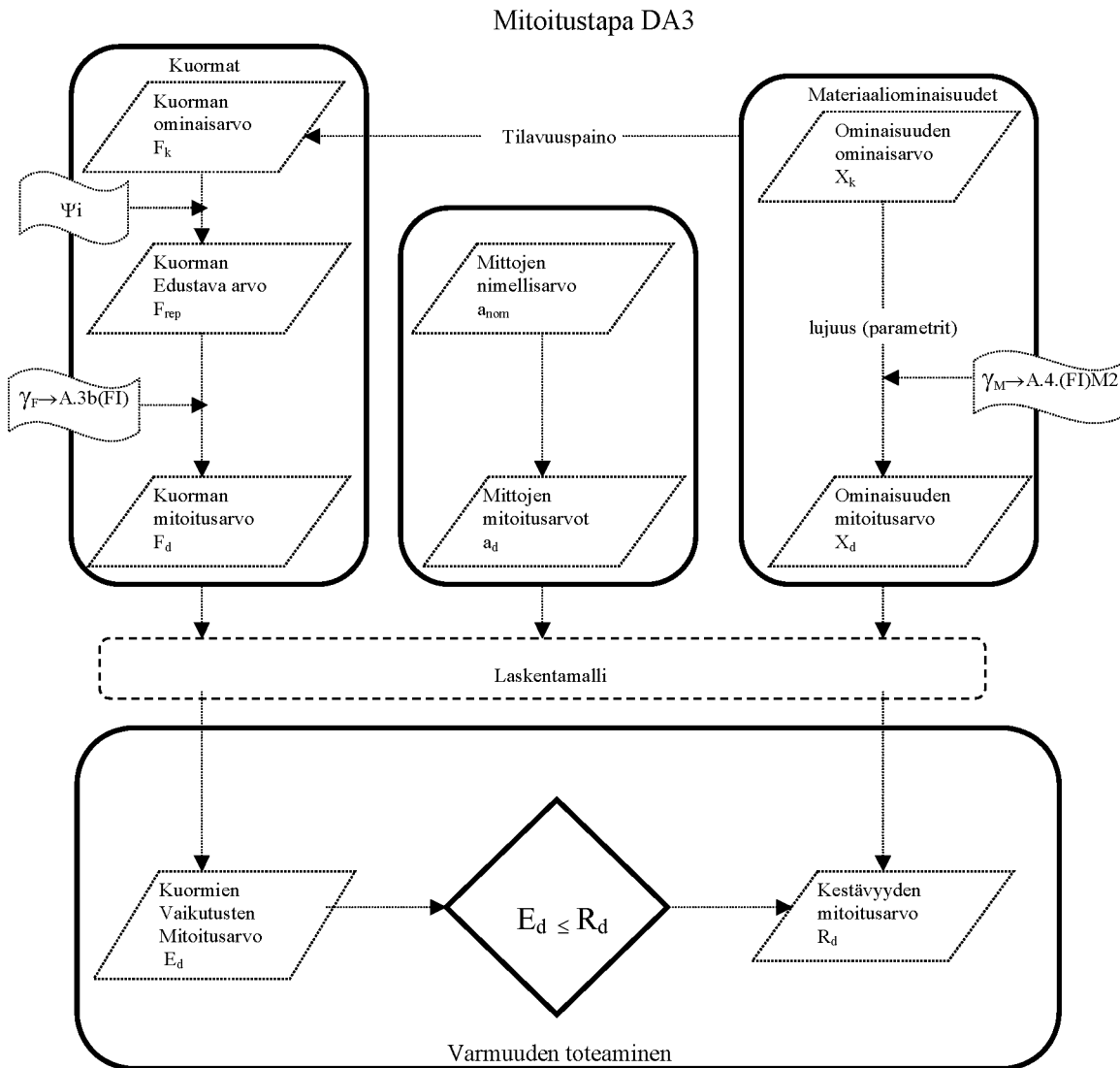
Kuvissa 3.6 ja 3.7 on esitetty mitoitustavat DA2\* ja DA3.



Kuva 3.6 Mitoitustapa DA2\*,  $X_d = X_k$ ,  $F_d = F_{rep}$

Mitoitustavassa DA2\* kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien vaikutuksiin (esim. osavarmuusluvulla kerrotaan ulkoisten kuormien sijasta anturan pohjapaine). Kestävyyden puolella varmuus sijoitetaan kestävyteen (esim. osavarmuusluvulla jaetaan lujuusparametrien ominaisarvojen perusteella laskettu kestävyden ominaisarvo). Eli laskelmissa käytettävä ominaisuuden mitoitusarvo on yhtä suuri kuin sen ominaisarvo.

Mitoitustapa DA2 eroaa mitoitustavassa DA2\* siten, että kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien vaikutusten sijaan suoraan kuormien edustaviin arvoihin.



Kuva 3.7 Mitoitustapa DA3

Mitoitustavassa DA3 kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien edustaviin arvoihin (esim. osavarmuusluvulla kerrotaan pintakuorman edustava arvo, jota sitten käytetään jatkolaskelmissa). Kestävyyspuolella varmuus sijoitetaan lujuusparametrien ominaisarvoihin (esim. osavarmuusluvulla jaetaan  $\tan\varphi$ , mitä arvoa sitten käytetään jatkolaskelmissa).

### 3.4.6.2 Tasapainon tarkistus, rajatilat EQU, UPL ja HYD

Rajatiloissa EQU, UPL ja HYD tarkastetaan rakenteen ja maapohjan tasapainon säilyminen. Rajatiloissa tulee osoittaa, että kaatavien kuormien tai niiden vaikutusten mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin vakauttavien kuormien tai niiden vaiku-

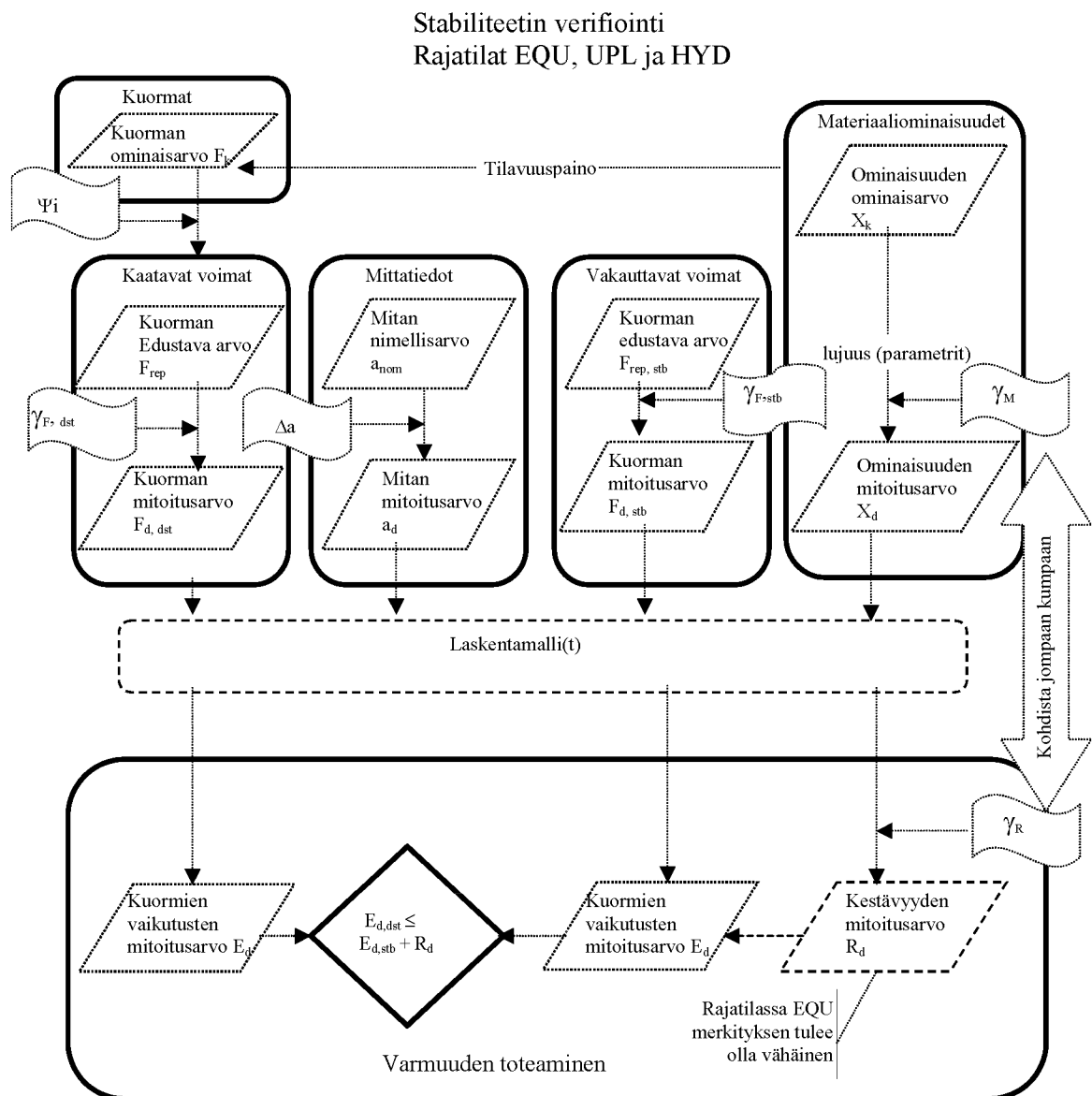


tusten mitoitusarvon ja mahdollisen tasapainoa lisäävän kestävyden mitoitusarvon summa.

$$E_{d, st; d} \leq E_{st; d} + R_d \quad (3.2)$$

Rajatilasta riippuen tarkastellaan joko voimia tai voimien vaikutuksia. Myös kestävyden huomioon ottamisessa on rajatiloittain eroja.

Kuvassa 3.8 on esitetty yleisesti tasapainontarkistusprosessi kokonaisuudessaan.



Kuva 3.8 Tasapainon tarkistus EQU, UPL ja HYD.

Kuormapuolella osavarmuusluvut kohdistetaan kaikissa rajatiloissa EQU, UPL ja HYD kuormien edustaviin arvoihin. Kestävyyspuolella osavarmuusluvut kohdistetaan tapauksen mukaan joko maaparametrien ominaisarvoihin tai kestävyteen.

Rajatilassa EQU tarkastellaan rakenteen tai maapohjan staattisen tasapainon rajatilaa. EQU tulee pääasiassa kyseeseen rakenteiden mitoituksessa. Geoteknisessä mitoituksessa EQU:n tarkastaminen rajoittuu harvoin tapauksiin, kuten kallion varaan perustetun rakenteen kaatumisen tarkastelu. Mikäli EQU:ssa huomioidaan maan leikkauskestävyyttä  $T_d$  ( $\sim R_d$ ), pitää sen merkityksen olla vähäinen. Kaavana asia ilmaistaan seuraavasti

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + T_d \quad (3.3)$$

Leikkauskestävyyden osalta kohdistetaan osavarmuusluvut maaparametrien ominaisarvoihin.

Rajatilassa UPL (vrt. kuva 5.4) tarkastetaan nosteen vaikutus. Siinä tarkastetaan, että pystysuorien kaatavien pysyvien ja muuttuvien kuormien mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin pystysuorien vakauttavien pysyvien kuormien mitoitusarvon ja kestävyyden mitoitusarvon summa. Kaavana tämä ilmaistaan:

$$G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (3.4)$$

Kestävyyden  $R_d$  osalta osavarmuusluvut kohdistetaan maan ominaisuuksiin ja vedettyjen rakenneosien (esim. ankkuri tai paalu) kestävyyksiin. Kestävyyttä voidaan myös käsitellä pystysuorana kuormana. Tällöin sen edustava arvo kerrotaan vakauttavan pysyvän kuorman osavarmuusluvulla.

Rajatilassa HYD (vrt. kuva 5.3) tarkastetaan veden suotovirtauksen aiheuttaman hydraulisen murtuman vaara. Tämä tapahtuu tarkastelemalla virtauksen suuntaisen maaprisman tasapainotilaa. Esimerkki maaprismasta on kuvassa 5.3 esitetty varjostettu alue.

Maaprisman tasapainotila voidaan tarkastaa joko vertaamalla prisman pohjalla vaikuttavia jännityksiä tai voimia. Eli tarkastetaan, että prisman pohjalla kokonaishuokosvedenpaineen mitoitusarvo  $u_{dst;d}$  on pienempi tai yhtä suuri kuin pystysuoran kokonaisjännityksen mitoitusarvo  $\sigma_{dst;d}$ . Tai vaihtoehtoisesti voimina tarkastetaan, että suotovoiman mitoitusarvo  $S_{dst;d}$  on pienempi tai yhtä suuri kuin prisman vedenalaisen painon mitoitusarvo  $G'_{dst;d}$ . Kaavoina nämä ovat:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (3.5)$$

$$S_{dst;d} \leq G'_{stb;d} \quad (3.6)$$

Edellä esitettyjä jännityksiä ja voimia tarkastellaan kuormina ja osavarmuusluvut kohdistetaan niiden edustaviin arvoihin. Rajatilassa HYD ei huomioida kestävyyttä.

### 3.4.7 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Siirtymien raja-arvoja on käsitelty Liikenneviraston julkaisuissa. Siirtymien maksimiarvojen määrittämisessä pitää ottaa huomioon ympäristön ja tuettavan rakenteen sallimat siirtymät.

## 4 Kuormat

### 4.1 Mitoitustilanteet

Mitoitustilanteilla tarkoitetaan rakenteen suunnitellun käyttöiän aikana vastaantulevia tilanteita. Näitä ovat: normaalisti vallitseva mitoitus tilanne, tilapäinen mitoitus tilanne, onnettomuusmitoitus tilanne ja maanjäristysmitoitus tilanne. Suunnittelussa mitoitus tilanteet liittyvät yleisesti kuormiin tai mittatietoihin. Normaalisti vallitsevalle ja tilapäiselle mitoitus tilanteelle käytetään samoja osavarmuuslukuja. Onnettomuusmitoitus tilanteessa käytetään yleensä osavarmuuslukua 1,0.

Taulukko 4.1 Mitoitus tilanteiden luokittelu

Mitoitus tilanne	Ajallinen kesto	Todennäköisyys	Esim.
Normaalisti vallitseva	~Suunniteltu käyttöikä	Varma	Päivittäinen käyttö
Tilapäinen	<<Suunniteltu käyttöikä	Korkea	Korjaukset ja huollot
Onnettomuus	Poikkeuksellinen	Matala	Törmäys

### 4.2 Edullinen ja epäedullinen kuorma

Eurokoodeissa, kansallisissa liitteissä ja tässä ohjeessa käytetään rinnakkain kahta terminologiaa. Seuraavat termit tarkoittavat samaa:

- Edullinen = vakauttava
- Epäedullinen = kaatava

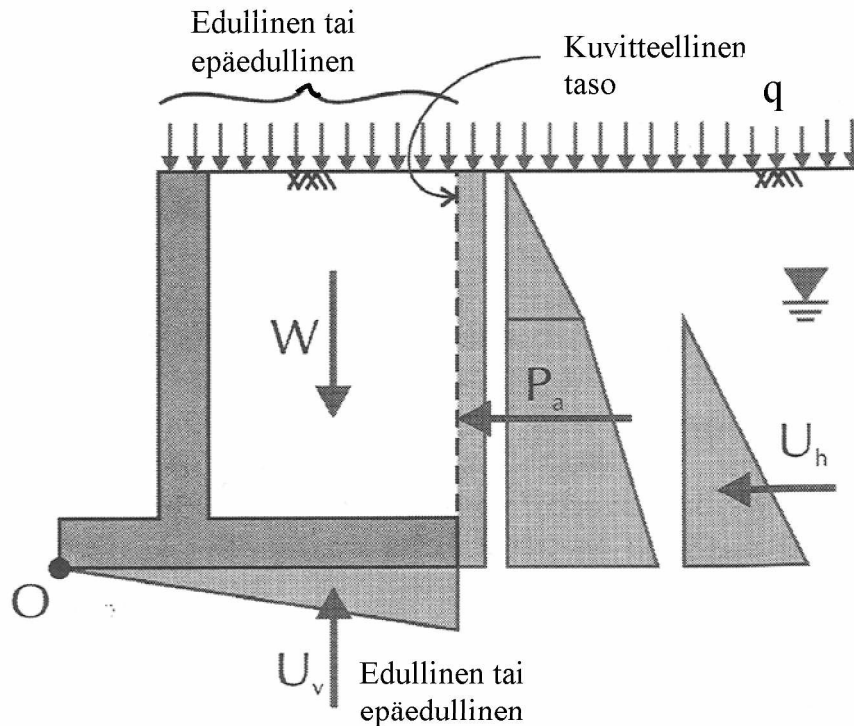
Tarkastellaan alla olevan kuvan 4.1 mukaista tukimuuria:

- Omapaino  $W$  on yleensä epäedullinen maapohjan kantokestävyyden suhteen, mutta liukumisen suhteen se on aina edullinen.
- Pintakuorma  $q$  toimii kuten  $W$  anturan päällä, mutta anturan takana se on epäedullinen myös liukumisen suhteen.

Esimerkeistä nähdään, että fyysisesti sama kuorma voi eri tarkasteluissa olla edullinen tai epäedullinen.

Vedenpaineesta voidaan edellisen lisäksi tehdä seuraavat havainnot:

- Vaakasuuntainen vedenpaine  $U_H$  on epäedullinen sekä maapohjan kantokestävyyden että liukumisen suhteen.
- Pystysuuntainen vedenpaine  $U_V$  on epäedullinen liukumisen suhteen, mutta edullinen maapohjan kantokestävyyden suhteen.



Kuva 4.1 Esimerkki edullisista ja epäedullisista kuormista

Eli vedenpaine saattaa suunnasta riippuen olla samassa tarkastelussa sekä edullinen että epäedullinen. Jos tästä epäloogisuudesta halutaan päästään eroon, voidaan vastaavassa tapauksessa epäedullisia ja edullisia pysyviä kuormia käsitellä yhdestä lähteestä tulevana ja käyttää tällöin yhtä osavarmuuslukua kuormien summalle tai niiden vaikutusten summalle. Kuvan 4.1 tapauksessa tämä tarkoittaa, että sekä vaaka- että pystysuuntaista vedenpainetta tarkastellaan ensin edullisena ja sitten epäedullisena. Näistä kahdesta tarkastelusta toinen antaa mitoittavan tuloksen.

Jos käytetään "yhden lähteen periaatetta" (vrt. SFS-EN 1990, taulukko A1.2(B), HUOM 3), ei mitoituksessa yleensä samanaikaisesti voida käyttää tehokasta painoa  $W' = W - U_v$ . Tämä johtuu siitä, että tehokkaan painon käyttö yhdistää pystysuuntaisen vedenpaineen  $U_v$  ja rakenteen painon  $W$ , jolloin niitä tarkastellaan aina yhdessä joko edullisina tai epäedullisina. Esimerkiksi liukumisen suhteen  $W'$  on edullinen ja  $U_h$  epäedullinen, mistä seuraa, että tehokasta painoa käytettäessä  $U_v$  käsiteltäisiin edullisena ja  $U_h$  epäedullisena, kun taas "yhden lähteen periaatteen" mukaan  $U_v$  ja  $U_h$  olisivat molemmat joko epäedullisia tai edullisia.

## 4.3 Vedenpaine

SFS-EN 1990:2002/A1 (Liite A2) kansallisen liitteen mukaan vedenpaine huomioidaan siltojen yhteydessä seuraavasti:

Vedenpaine otetaan huomioon NW:n ja HW:n väliltä siten, että

- MW:n tasolla oleva vesi katsotaan pysyväksi kuormaksi

- Vedenpaineen muutokselle MW:stä tasolle NW tai HW käytetään pysyvän kuorman osavarmuuskerrointa, mutta yhdistelykertoimia  $\psi_0 = 1,0$ ,  $\psi_1 = 0,7$  ja  $\psi_2 = 0,5$

Edellä esitetty pätee siltojen perustusten suunnitteluun.

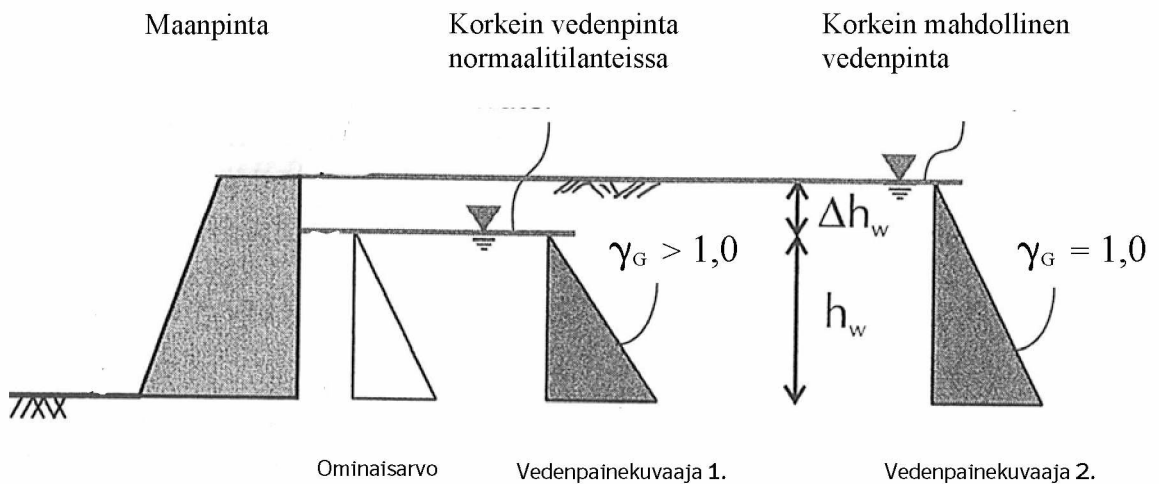
Yleisesti voidaan todeta, että Eurokoodin mukaan kuorman mitoitusarvo tulee arvioida suoraan tai johtaa edustavista arvoista käyttäen yhtälöä:

$$F_d = \gamma_F F_{rep} \quad (4.1)$$

Pohjavedenpaineen osalta tämä tarkoittaa, että mitoitusarvot voidaan määrittää lisäämällä turvamarginaali ominaisvedenpaineisiin tai kohdistamalla osavarmuusluvut ominaisvedenpaineisiin. Murtorajatilissa pohjavedenpaineen mitoitusarvojen tulee edustaa epäedullisimpia arvoja, jotka voivat esiintyä rakenteen suunnitellun käyttöiän aikana. Käyttöraajatilissa käytetään epäedullisimpia normaaleissa oloissa esiintyviä arvoja.

Edellinen mahdollistaa monia tulkintoja vedenpaineen käsittelyssä.

Kuvassa 4.2. on esitetty suositus vedenpaineen huomioimiseksi laskelmissa.



Kuva 4.2 Suositus vedenpaineen huomioimiseksi laskelmissa

Vedenpainekuvaajan 1 mukaista vedenpainetta kerrottuna osavarmuusluvulla käytetään normaaleissa ja tilapäisissä mitoitustilanteissa. Vedenpainekuvaajan 2 mukaista vedenpainetta käytetään onnettomuusmitoitustilanteissa. Tällä menettelyllä vedenpaineen ja maanpaineen osavarmuusluvut ovat samat, mikä yksinkertaistaa laskelmia.

Koska vedenpaine voidaan käsitellä laskelmissa useilla tavoilla, jotka tapauksesta riippuen johtavat huomattaviin eroihin, pitää suunnittelijan määrittää tapauskohtaisesti varmuusmenettelyn vaikutukset ja tehdä perusteltu valinta kulloinkin käytettäväksi varmuusmenettelyksi.

Stabiiliteettitarkasteluissa laskettaessa maan lujuutta tehokkaiden jännitysten mukaisesti ei huokosvedenpaineeseen kohdisteta osavarmuuslukuja.

## 4.4 Liikennekuormat

### 4.4.1 Maantieliikenne

Maantieliikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa 'Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1'.

Sillat ja niiden maatuet:

Jos liikennekuorma esiintyy samanaikaisesti sillalla ja penkereellä maatuen takana, noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Jos sillalla on kuormakaavion LM1 akselit, penkereellä voi vaikuttaa samanaikaisesti koko sillan hyödyllisellä leveydellä 20 kN/m<sup>2</sup> tasainen kuorma.
- Jos penkereelle maatuen taakse sijoitetuilla kuormakaavion LM1 akseleilla on määräävämpi vaikutus kuin koko hyödyllisellä leveydellä olevalla tasaisella kuormalla 20 kN/m<sup>2</sup>, käytetään niitä maatukeen kohdistuvaa maanpainetta laskettaessa. Tällöin ei sillalta maatuella tulevaa tukireaktiota laskettaessa sijoiteta akseleita vaan pelkkä LM1:n tasainen kuorma.
- Siipimuurin kannalta määräävä kuorma voi olla 20 kN/m<sup>2</sup> tai joku liikennekuormakaavioista LM1, LM2 tai LM3 riippuen siipimuurin koosta ja sillan hyödyllisestä leveydestä.
- Valtionapua saavien yksityisteiden silloilla em. kuormat kerrotaan sovituskertoimella 0,8.
- Kevyen liikenteen silloilla penkereellä vaikuttavan tasaisen kuorman arvona käytetään 10 kN/m<sup>2</sup>. Kuorma vaikuttaa koko sillan hyödyllisellä leveydellä ja sillalla voi olla yhtä aikaa joko puhtaanapitotraktori tai kevyen liikenteen kuormakaavion tasainen kuorma.
- Edellä esitetyt kuormat voivat esiintyä maatuen peruslaatan päällä tai peruslaatan takana, mikä ei kuitenkaan vaikuta maatukeen ko. kuormasta kohdistuvaan maanpaineen suuruuteen.

Tukimuurit:

Liikenneväyliin liittyvien tukimuurien liikennekuormien suhteen noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Tukimuurin takana vaikuttava liikennekuorma voidaan korvata 20 kN/m<sup>2</sup> tasaisella kuormalla.
- Jos penkereelle tukimuurin taakse sijoitetuilla kuormakaavion LM1 akseleilla on määräävämpi vaikutus kuin em. tasaisella kuormalla 20 kN/m<sup>2</sup>, käytetään niitä tukimuriin kohdistuvaa maanpainetta laskettaessa (vrt. 'tiepenkereet' jäljempänä).
- Valtionapua saaviin yksityisteihin liittyvillä tukimuureilla em. kuormat kerrotaan sovituskertoimella 0,8.

- Kevyen liikenteen väyliin liittyvien tukimuurien takana vaikuttavan tasaisen kuorman arvona käytetään  $10 \text{ kN/m}^2$ , ellei puhtaanapitotraktorin mitoittava vaikutus ole merkittävämpi.
- Edellä esitetyt kuormat voivat esiintyä tukimuurin peruslaatan päällä tai peruslaatan takana, mikä ei kuitenkaan vaikuta tukimuriin ko. kuormasta kohdistuvaan maanpaineen suuruuteen.

Väliaikaiset tukiseinät:

Liikenneväyliin liittyvien väliaikaisiin tukiseiniin kohdistuvien liikennekuormien suhteen noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Tukiseinän takana vaikuttava liikennekuorma voidaan yleensä korvata  $20 \text{ kN/m}^2$  tasaisella kuormalla.
- Tapauskohtaisesti on tukiseinät tarkasteltava myös todellisen liikenteen mukaisille kuormille.

Tiepenkereet:

Teiden pohjarakenteiden mitoituksessa voidaan kuormakaavion LM1 eri kuormakais-tojen telit käsitellä tasaisena kuormana, jonka suuruus on 1. kuormakaistalla  $84 \text{ kN/m}^2$ , 2. kuormakaistalla  $56 \text{ kN/m}^2$  ja 3. kuormakaistalla  $28 \text{ kN/m}^2$ . Tällöin tasaisen kuorman vaikutusalue tien pinnalla on poikkisuunnassa kaistan levyinen (yleensä 3.0 metriä) ja pituussuunnassa 2.4 metriä. Kuorman oletetaan jakautuvan tiepenkereessä alaspäin mentäessä kaltevuudessa 2:1. Kuormakaistojen ollessa vierekkäin käsitellään kunkin kuormakaistan jakautuminen erikseen ja näin saadut kuormien intensiteetit summataan tarkasteltavalla tasolla. Pohjarakenteita ovat esimerkiksi paalulaatat, suihkuinjektointi ja syvästabilointi, kun pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on yli  $200 \text{ kPa}$  tai lujuussuhde on yli 15.

Teiden pohjavahvistusten suunnittelussa voidaan yleensä soveltaa pienempiä liikennekuormituksia, jolloin laaja-alaisissa vakavuus- ja maanpainetarkasteluissa käytetään tasaisen pintakuorman ominaisarvona  $10 \text{ kN/m}^2$ . Tällöin työkone- ja muut työn-aikaiset kuormitukset, kuten varastointikuormat, on otettava erikseen huomioon.

#### 4.4.2 Raideliikenne

Raideliikenteen junakuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa 'Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1'.

Sillat ja niiden maatuet:

Raideliikenteen kuormakaavio LM 71 voidaan sijoittaa sillan päähän siten, että osa kuormasta sijaitsee sillalla ja osa maatuen takana. Tällöinkin kaaviossa on vain yksi akseliryhmä, joka sijoitetaan joko maatuen taakse tai sillalle, mutta ei siis yhtä aikaa molempiin asemiin.

Myös useampiraiteisella sillalla noudatetaan samaa periaatetta sijoittaen yhtä aikaa eri raiteille eurokoodin SFS-EN 1992-2 taulukon 6.11 mukaiset junakuormakaaviot ja taulukon mukaiset vaakakuormat.

Raideliikenteestä aiheutuvien kuormien yleisten vaikutusten huomioon ottamista varten raiteen alla tai vieressä olevan maarakenteen pystykuormituksen ekvivalentteina ominaisarvoina voidaan käyttää asianomaista kuomakaaviota (LM71 asianomaisella  $\alpha$ -kertoimella kerrottuna ja tarvittaessa kaaviota SW/2) tasaisesti jakautuneena 3,00 m leveydelle korkeustasolla 0,70 m raiteen kulkupinnan alapuolella.

Tukimuurit ja väliaikaiset tukiseinät:

Rautateihin liittyvien tukimuurien liikennekuormien suhteen noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Tukimuurin takana vaikuttava liikennekuorma voidaan korvata edellä esitetyllä tai penkereelle jäljempänä esitetyllä tasaisella kuormalla.

Ratapenkereet:

Kuorma määritetään RATO3:n mukaan.

Paalulaatat:

Kuorma määritetään RATO3:n mukaan.

## 4.5 Maanpaino

Penkereen ja alueellisen stabiliteetin laskennassa maanpainoon ei kohdisteta osavarmuuslukuja. Sen sijaan pohjarakenteiden, tukirakenteiden ja maanvaraisten anturaperustusten laskennassa maanpainoa käsitellään kuormana ja siihen kohdistetaan asianmukaiset osavarmuusluvut.

## 4.6 Maanpaine

### 4.6.1 Yleistä

Siltarakenteisiin kohdistuva maanpaine lasketaan yleensä lepopaineena.

Jos rakenne pakotetaan siirtymään maata vasten tai maata käytetään ottamaan siltalta tulevia vaakakuormia, maanpaineen arvo nousee suurimmillaan passiivipaineen suuruiseksi.

Raiteen lähellä olevia paikallisia rakenneosia (esim. tukikerroksen leviämistä estävien seinämien) mitoitettaessa otetaan huomioon myös raideliikennekuormista rakenneosaan vaikuttava paikallinen pysty-, pituus- ja poikittaissuuntainen kuormitus.

### 4.6.2 Aktiivipaine

Myötäviin rakenteisiin kohdistuva maanpaine voidaan laskea aktiivipaineena, jos siirtymät ovat riittävän suuria. Tämä pitää aina selvittää laskelmin.

Aktiivipaine voidaan laskea SFS-EN 1997-1 liitteen C mukaan.



---

Aktiivipaineen yhdistelykertoimena käytetään aiheuttavan kuorman (maanpaino tai liikennekuorma) yhdistelykerrointa ja osavarmuuslukua.

#### 4.6.3 Lepopaine

Sillan jäykkiin rakenteisiin (maa-, pääty- ja välituet sekä siipimuurit) sekä kallionvaraisiin tukimuureihin kohdistuva maanpaine lasketaan pääsääntöisesti lepopaineena.

Tukiseinärakenteen ollessa riittävän joustava voi sen maanpaine olla lepopainetta pienempi. Tämä voidaan ottaa huomioon mitoitustarkasteluissa (vrt. edellinen kohta).

Lepopaine lasketaan käyttäen suunnitelman mukaisen tausta- tai ympäristäytön leikkauskestävyyskulman ja tilavuuspainon ominaisarvoja, jotka vastaavat maarakenteelle asetettuja tiiveysvaatimuksia.

Lepopaine lasketaan kohdan 5.4 mukaan.

Siltojen maatuissa ja niihin liittyvissä tukimuureissa mitoitustarkastelu suoritetaan lisäksi maanpaineelle  $0,7 \times$  lepopaine

Kulmatukimuurin rakenteellinen mitoitus tehdään aina lepopaineelle.

Lepopaineen yhdistelykertoimena käytetään aiheuttavan kuorman (maanpaino tai liikennekuorma) yhdistelykerrointa ja osavarmuuslukua.

#### 4.6.4 Passiivipaine

Passiivipaine lasketaan kohdan 5.4 mukaan.

Mobilisoituneen passiivipaineen yhdistelykertoimena käytetään aiheuttavan kuorman (lämpötilan muutos tai jarrukuorma) yhdistelykerrointa ja osavarmuuslukuna pysyvän kuorman osavarmuuslukua.

#### 4.6.5 Paalujen negatiivinen vaippahankaus

Jos paalun ympärillä oleva maa painuu enemmän kuin paalu sille tulevasta kuormituksesta, syntyy paalun vaipan ja maan välille kitkan ja/tai adheesion vaikutuksesta 'hankausta', joka on suurimmillaan paalun ja maan välisen leikkauskestävyyden suuruinen. Tämän negatiivisen vaippahankauksen laskeminen tapahtuu periaatteessa samalla tavalla kuin paalun vaippavastuksen laskeminen.

Negatiivinen vaippahankaus käsitellään paalun mitoituksessa kuormana. Negatiivisen vaippahankauksen osavarmuuslukuna käytetään pysyvän kuorman osavarmuuslukua.

Negatiivisen vaippavastuksen ei oleteta vaikuttavan yhtä aikaa paaluun liikennekuormista syntyvien puristusrasitusten kanssa.

## 4.7 Sysäys

### 4.7.1 Tiesillat

Tiesiltojen liikennekuormakaaviot sisältävät sysäyksiä. Koska sen suuruutta ei ole standardissa kerrottu, ei sitä voida kuormista erotella. Näin ollen sillan perustukset mitoitetaan samoille sysäyksen sisältäville liikennekuormille kuin sillan päällysrakenteetkin.

Myös tiesiltojen väsytytkuormakaavioihin sisältyy kuormien 'dynaaminen suurennus'. Sillan perustuksiin tällä ei ole kuitenkaan vaikutusta, koska niitä ei tarvitse mitoittaa väsytykselle.

### 4.7.2 Rautatiesillat

Rautatiesiltojen kuormakaaviot LM 71, SW/0 ja SW/2 kerrotaan dynaamisella suurennuskertoimella  $\Phi_2$  (SFS-EN 1991-2 kohta 6.4.5.2), jonka suuruus riippuu raideliikenteestä alusrakenteille tulevia kuormia laskettaessa sillan jännemitoista sillalla olevan tuki- ja täyterroksen paksuuden ollessa yhteensä pienempi kuin 1,0 metriä. Tuki- ja täyterroksen paksuuden ollessa putki- ja betonisilloilla  $>1,0$  metriä, dynaamista suurennuskerrointa voidaan pienentää määrällä  $\Delta\Phi = (h - 1,0)/10$ , jossa h on sillalla olevan täyterroksen ja tukikerroksen yhteispaksuus ratapölkyn yläpintaan metreinä. Dynaamisen suurennuskertoimen arvo on kuitenkin aina  $\geq 1,0$ .

Raideliikenteestä aiheutuvien kuormien yleisten vaikutusten huomioon ottamista varten raiteen alla tai vieressä olevan maarakenteen pystykuormituksen ekvivalentteina ominaisarvoina voidaan käyttää asianomaista kuormakaaviota (LM71 asianomaisella  $\alpha$ -kertoimella kerrottuna ja tarvittaessa kaaviota SW/2) tasaisesti jakautuneena 3,00 m leveydelle korkeustasolla 0,70 metriä raiteen kulkupinnan alapuolella. Dynaaminen suurennuskerroin otetaan huomioon tämän tasaisesti jakautuneen kuorman yhteydessä RATO 3:ssa esitetyllä tavalla.

Dynaamista suurennuskerrointa ei tarvitse ottaa huomioon sillan kannelta tulevan liikennekuorman yhteydessä mitoitettaessa pilareita, joiden hoikkuus  $L_c/i < 30$ , maatukia ja perustuksia. Maatukiin kohdistuvia maanpaineita laskettaessa dynaaminen suurennuskerroin sen sijaan otetaan huomioon RATO 3:ssa esitetyllä tavalla.

Rautatiesiltojen perustuksia ei mitoiteta väsytykselle.

Muihin kuin siltoihin liittyvät dynaamiset suurennuskertoimet ja niiden soveltaminen on esitetty julkaisussa RATO3.

## 4.8 Kuormien yhdistely

### 4.8.1 Maantieliikenne

Pohjarakenteiden geoteknisessä mitoituksessa määrävänä muuttuvana kuormana on yleensä liikennekuorma (LM1). Kuormaa käytetään tällöin kolmella liikennekaistalla täydellä arvollaan ja kaikkien muiden kaistojen ollessa kuormittamattomia. (Vrt. myös kohta 4.4.1 edellä)

Liitteen 5 taulukossa on esitetty maantiesiltojen perustusten mitoituksessa määrävät kuormitusyhdistelmät standardin SFS-EN 1990 A1 / Annex 2 kaavan 6.10a ja 6.10b mukaan käyttäen saman standardin kansallisen liitteen taulukon A2.1(FI) yhdistelykertoimia ja taulukon A2.4(B)(FI) kuormien osavarmuuslukuja. Osavarmuusluvut on esitetty myös liitteen 1 taulukossa A.3a(FI) ja yhdistelykertoimet Liikenneviraston soveltamisohjeen 'Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1' taulukossa G.1 ajoneuvoliikenteen siltojen osalta ja taulukossa G.2 kevyen liikenteen siltojen osalta. Myös liikennekuormien kuormaryhmät (gr1 ...gr5) on esitetty samassa soveltamisohjeessa.

Liitteen 5 taulukoissa on esitetty kullekin kysymykseen tulevalle kuormitusyhdistelmälle sekä osavarmuusluku että yhdistelykerroin.

Maantiesillan maatumien perustuksia murtorajatilassa mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoittavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT1), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr1a)
  - vaakakuormat (muut kuin jarru, keskipako- ja sivukuorma) ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT2), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määrävänä muuttuvana kuormana suurin liikennekuorman tukireaktio, kuormaryhmä gr1a)
  - vaakakuormat (muut kuin jarru, keskipako- ja sivukuorma) ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT3), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävänä muuttuvana kuormana kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40 kerrottuina)
  - vaakakuormat jarru, keskipako- ja sivukuorma ominaisarvoillaan / gr2 sekä muut vaakakuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT4), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määrävänä muuttuvana kuormana suurin liikennekuorman tukireaktio  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40 kerrottuina, kuormaryhmä gr2)
  - vaakakuormat jarru, keskipako- ja sivukuorma ominaisarvoillaan / kuormaryhmä gr2 sekä muut vaakakuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina

- kuormitustapaus (MT5), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana pienin liikennekuorman tukireaktio  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40 kerrottuina, kuormaryhmä gr1a)
  - määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman maanpaine ja muut vaakakuormat (kuin jarru keskipako ja sivukuorma) ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT6), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana suurin liikennekuorman tukireaktio  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40 kerrottuina, kuormaryhmä gr1a)
  - määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman maanpaine ja muut vaakakuormat (kuin jarru keskipako ja sivukuorma) ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina

Kaikissa edellä esitetyissä yhdistelmissä liikennekuormalle annetaan mahdollisimman suuri epäkeskisyys sillan poikkisuunnassa ja poikittaisille vaakakuormille 'muun muuttuvan kuorman' mukaisilla yhdistelykertoimilla kerrotut arvot.

Kalliolle ja maan varaan perustetulla maatuilla poikittaiset vaakakuormat ja epäkeskyydet käsitellään normaalisti, mutta paaluille perustetuilla maatuilla ei yleensä käytetä poikittain vinoja paaluja, koska normaaleilla silloilla poikittaisten kuormien katsotaan siirtyvän maatuen rakenteiden kautta penkereeseen. Paaluille perustettaessa peruslaatan alapinnan tasolle laskettu pystykuorman epäkeskisyys otetaan kuitenkin huomioon paalutusta suunniteltaessa.

Risteyssiltojen välitukien perustuksia mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT7), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman suurin tukireaktio, kuormaryhmä gr1a)
  - vaakakuormat (muut kuin jarru, keskipako- ja sivukuorma)  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT8), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman suurin tukireaktio kerrottuna  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40, kuormaryhmä gr2)
  - vaakakuormat jarru, keskipako- ja sivukuorma ominaisarvoillaan / kuormaryhmä gr2 sekä muut vaakakuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT9), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40 kerrottuina)
  - vaakakuormat jarru, keskipako- ja sivukuorma ominaisarvoillaan / kuormaryhmä gr2 sekä muut vaakakuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- jos välituen pilari on jäykästi kiinni kansirakenteessa, joudutaan lisäksi tarkastamaan edellä esitettyjä vastaavat kuormitustapaukset, joissa liikennekuormana on välituen pilarin yläpään suurimman kiertymän aiheuttava liikennekuorma

Jos silta on hyvin pitkä tai leveä ja pilarit jäykästi kiinni päällysrakenteessa voi lämpöliikkeiden vaikutus olla niin suuri, että edellä esitettyjen kuormitustapausten lisäksi joudutaan tarkastelemaan kuormitustapaukset, joissa lämpöliike on määräävä muuttuva kuorma. Tällöin liikennekuormana käytetään kuormaryhmän gr1a:n mukaan laskettuja ( $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40) arvoja.

Kaikissa edellä esitetyissä yhdistelmissä liikennekuormalle annetaan mahdollisimman suuri epäkeskisyys sillan poikkisuunnassa ja poikittaisille vaakakuormille 'muun muuttuvan kuorman' mukaisilla yhdistelykertoimilla kerrotut arvot.

Vesistösiltojen välitukien perustuksia mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT10), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman suurin tukireaktio, kuormaryhmä gr1a)
  - vaakakuormat (muut kuin jarru, keskipako- ja sivukuorma)  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT11), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana kuormaryhmän gr2 suurin tukireaktio kerrottuna  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40 )
  - vaakakuormat jarru, keskipako- ja sivukuorma ominaisarvoillaan / gr2 sekä muut vaakakuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT12), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio kerrottuna  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40)
  - vaakakuormat jarru, keskipako- ja sivukuorma ominaisarvoillaan / kuormaryhmä gr2 sekä muut vaakakuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT13), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana kuormaryhmän gr1a pienin tukireaktio kerrottuna  $\psi_0$ -arvoilla 0,75 / 0,40)
  - määräävänä muuttuvana kuormana jääkuorma ominaisarvoillaan sekä muut vaakakuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina (jarru, keskipako- ja sivukuorma ei kuitenkaan mukana)

Suurissa vesistösiltoissa joudutaan vielä tämänkin lisäksi käsittelemään yhdistelmät, joissa määräävänä muuttuvana kuormana on jääkuorman sijasta laakerikitka tai tuuli-kuorma. Tällöin liikennekuormana käytetään kuormaryhmän gr1a mukaan laskettuja arvoja, jolloin yhdistelmissä ei ole mukana jarru-, keskipako- tai sivukuormaa.

Kaikissa edellä esitetyissä yhdistelmissä liikennekuormalle annetaan mahdollisimman suuri epäkeskisyys sillan poikkisuunnassa ja poikittaisille vaakakuormille 'muun muuttuvan kuorman' mukaisilla yhdistelykertoimilla kerrotut arvot.

Jos välituen pilari on jäykästi kiinni kansirakenteessa, joudutaan lisäksi tarkastamaan edellä esitetyt kuormitustapaukset, joissa liikennekuormana on välituen pilarin yläpään suurimman kiertymän aiheuttava liikennekuorma.

Kalliolle, maan varaan ja paaluille perustetuilla välituilla poikittaiset vaakakuormat ja epäkeskisyydet käsitellään normaalisti (vrt. maatuet edellä).

#### 4.8.2 Raideliikenne

Pohjarakenteiden geoteknisessä mitoituksessa määräävänä muuttuvana kuormana on yleensä junakuorma LM 71 tai SW/0. Kuormana käytetään tällöin yhdellä tai kahdella raiteella täyttä arvoa ja kolmella raiteella 75 %:a täydestä arvosta ilman dynaamista suurennuskerrointa. (vrt. 4.4.2)

Liitteen 6 taulukossa on esitetty raideliikenteen siltojen perustusten mitoituksessa määräävät kuormitusyhdistelmät standardin SFS-EN 1990 A1 / Annex 2 kaavan 6.10a ja 6.10b mukaan käyttäen saman standardin taulukon A2.3 yhdistelykertoimia kansallisessa liitteessä esitetyin täydennyksin ja standardin kansallisen liitteen taulukon A2.4(B)(FI) kuormien osavarmuuslukuja. Osavarmuusluvut on esitetty myös liitteen 1 taulukossa A.3a(FI) ja yhdistelykertoimet Liikenneviraston soveltamisohjeen 'Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1' taulukossa G.3.

Raideliikenteen kuormaryhmät muodostetaan SFS-EN 1991-2 taulukon 6.11 mukaan. Näihin sovelletaan standardin SFS-EN 1990 A1 / Annex 2 taulukon A2.3 yhdistelykertoimia.

Liitteen 6 taulukossa on esitetty kullekin kysymykseen tulevalle kuormitusyhdistelmälle sekä osavarmuusluku että yhdistelykerroin. Kuormaryhmät on rakennettu taulukoihin mukaan, vaikka niiden nimiä ei taulukoissa esiinny.

Normaalitapauksissa mitoittavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

Sillan maatumien perustuksia mitoittaessa normaalitapauksissa mitoittavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT1), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr11, gr13)
  - vaakakuormana jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipoika- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT2), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr11, gr13)
  - vaakakuormana jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipoika- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina

Jos maatuella ei ole kiinteää tai jarrulaakeria, yhdistelmät ovat vastaavasti:

- kuormitustapaus (RT3), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14)
  - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT4), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14)
  - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT5), jossa on
  - liikennekuorman maanpaine määräävänä muuttuvana kuormana
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14) keskipako- ja sivusysäyskuorma (vrt. taulukko 6.11 / SFS-EN 1991-2) sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT6), jossa on
  - liikennekuorman maanpaine määräävänä muuttuvana kuormana
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja liikennekuorman suurin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14) keskipako- ja sivusysäyskuorma (vrt. taulukko 6.11 / SFS-EN 1991-2) sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina

Kalliolle ja maan varaan perustetulla maatuilla poikittaiset vaakakuormat ja epäkeskisydet käsitellään normaalisti, mutta paaluille perustetuilla maatuilla ei yleensä käytetä poikittain vinoja paaluja, koska normaaleilla silloilla poikittaisten kuormien katsotaan jäävän siirtyvän maatuen rakenteiden kautta penkereeseen. Paaluille perustettaessa peruslaatan alapinnan tasolle laskettu pystykuorman epäkeskisyys otetaan kuitenkin huomioon paalutusta suunniteltaessa. Suurilla silloilla maatuukien ollessa massaltaan pieniä, voidaan vaakakuormat joutua ottamaan poikkisuuntaan vinoilla paaluilla.

Ratasiltojen välitukien, joilla on kiinteä laakeri, perustuksia mitoitettaessa normaali-tapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT7), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr11, gr13)
  - vaakakuormana jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT8), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14)

- vaakakuormana jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvollaan ja keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvollaan sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT9), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr11, gr13)
  - vaakakuormana jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvollaan ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvollaan sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT10), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14)
  - vaakakuormana jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvollaan ja keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvollaan sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina

Ratasiltojen välitukien, joilla on liikkuva laakeri, perustuksia mitoitettaessa normaali-tapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT11), jossa on
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14)
  - vaakakuormana keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvollaan sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT12), jossa on
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävänä muuttuvana kuormana liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14)
  - vaakakuormana keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvollaan sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT13), jossa on
  - tuuli- tai jääkuorma määräävänä muuttuvana kuormana
  - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja liikennekuorman pienin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14) keskipako- ja sivusysäyskuorma (vrt. taulukko 6.11 / SFS-EN 1991-2) sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT14), jossa on
  - tuuli- tai jääkuorma määräävänä muuttuvana kuormana
  - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja liikennekuorman suurin tukireaktio, kuormaryhmä gr12, gr14) keskipako- ja sivusysäyskuorma (vrt. taulukko 6.11 / SFS-EN 1991-2) sekä muut muuttuvat kuormat ao.  $\psi_0$ -arvoilla kerrottuina

Kalliolle, maan varaan ja paaluille perustetulla välituilla poikittaiset vaakakuormat ja epäkeskisyydet käsitellään normaalisti (vrt. maatuet edellä).



## 5 Mitoitus perustamistavoittain

### 5.1 Antura- ja laattaperustukset

#### 5.1.1 Kallionvarainen perustaminen

##### 5.1.1.1 *Kantokestävyys STR/GEO DA2\**

Suoraan tai  $\leq 0,5$  metrin murskekerroksen välityksellä kalliolle perustettaessa pohjapaineen jännitysjakautuman oletetaan olevan lineaarinen. Kallion ja perustuksen välille ei katsota muodostuvan vetojännityksiä. Yleensä tarkastellaan perustuksen nurkkajännitystä.

Kallion kantokestävyys määritetään aina kalliotutkimusten perusteella, jos kantokestävyuden mitoitusarvoa laskettaessa käytettävälle kallion kestävyuden ominaisarvolle käytetään suurempaa arvoa kuin 8,0 MPa. Kantokestävyyttä määritettäessä osavarmuusluvulle käytetään arvoa 1,55.

Perustettaessa kalliolle murskekerroksen välityksellä, lineaarisen pohjapaineen jännitysjakautuman perusteella laskettu nurkkajännityksen mitoitusarvo ei ilman erillisiä selvityksiä saa olla suurempi kuin 0,6 MPa. Murskekerroksen paksuuden tulee aina olla  $\leq 0,2x$  (perustuksen pienempi sivumitta) kuitenkin korkeintaan 0,5 metriä. Muussa tapauksessa perustaminen käsitellään maanvaraisena kohdan 5.1.2 mukaisesti.

Kuormien yhdistelyt tehdään kansallisen liitteen taulukon A.3a(FI) mukaisia yhdistelykertoimia ja osavarmuuslukuja käyttäen.

Mitoitusehto:

nurkkajännityksen mitoitusarvo  $\leq$  kallion kantokestävyuden mitoitusarvo.

Kantokestävyuden kannalta mitoittavia ovat yleensä kuormitustapaukset, joissa on mukana suurin pystykuorma ja sitä vastaavat vaakakuormat. Kuormitustapaukset, joissa on suurimmat vaakakuormat ja niitä vastaavat pienimmät pystykuormat voivat antaa suurempia pohjapaineita, mutta yleensä kaatuminen (EQU, kohta 5.1.1.2) tulee tällöin perustuksen kokoa mitoittavaksi.

##### 5.1.1.2 *Kaatuminen EQU*

Kalliolle perustettaessa kaatumistarkastelu tehdään perustuksen uloimman reunan suhteen molemmissa pääsuunnissa.

Murskekerroksen varaan perustettaessa kaatumiskiertopisteeksi otetaan perustuksen reunalla olevan 0,8 MPa:n pohjapaineen mukaan lasketun tehollisen pohjapinnan keskipiste. Tehollisen pohjapinnan kaatumissuuntaa vastaan kohtisuoran sivun pituudeksi voidaan ottaa tällöin perustuksen vastaava mitta. Edellä kohdassa 5.1.1.1. murskekerroksen paksuudelle esitetyn ehdon tulee olla voimassa.

Kuormien vaikutusten mitoitusarvo on kaatumistarkasteluissa kuormien momentti perustuksen tarkasteltavan reunan suhteen. Mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.1(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Mitoitusehto:

Vakauttavien kuormien vaikutusten mitoitusarvo  $\geq$  kaatavien kuormien vaikutusten mitoitusarvo

Varmuutta kaatumista vastaan voidaan lisätä jännittämättömillä harjateräsankkureilla, mutta ilman ankkureitakin pysyvien kuormien vaikuttaessa em. mitoitusehdon tulee olla voimassa.

Lisättäessä varmuutta kaatumista vastaan jännitetyin ankkurein niiden tulee olla suojattu korroosiota vastaan. Lisäksi kallion ja perustuksen välisen rajapinnan tulee olla puristettu kaikissa kuormitustapauksissa käyttörajatilan ominaisyhdistelmälle.

Kaatumistarkasteluissa ovat yleensä määrääviä kohdassa 4.8 esitetyt kuormitustapaukset, joissa pystykuormalla on pienin arvo.

Sillan välituilla, joissa pilarit ovat jäykästi kiinni sillan kannessa, ei yksittäisen pilarin kaatumistarkastelu ole tarpeen, jos sillan rakenteet on mitoitettu kestävästi rakenteisiin syntyvät rasitukset eikä kallion kantokestävyyttä ylitetä.

Maa- tai välituen kaatumistarkastelulla on useimmiten peruslaatan kokoon mitoittavampi vaikutus kuin normaalin suomalaisen kallion kantokestävyydellä.

### 5.1.1.3 Liukuminen STR/GEO DA2\*

Liukumistarkastelu tehdään aina vaakakuorman suurimman resultantin suuntaan, jos kallion tai murskekerroksen yläpinta on vaakasuora. Kallion pinnan voidaan olettaa olevan vaakasuoran, jos se on louhittu ja sen kaltevuus  $\leq 15^\circ$  tai sen pinta on louhittu portaittaiseksi. Jos kallion pinta on louhimaton, kaltevampi kuin  $15^\circ$  tai murskekerroksen yläpinta kalteva on se otettava huomioon liukuvarmuutta laskettaessa.

Liukumiskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavasta:

$$V'_d \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h} \quad (5.1)$$

jossa

$\delta_k$  on maan ominaisleikkauskestävyysskulma

$V'_d$  on pystykuormien mitoitusarvo ( $V'_d = V'_k$ ).

Liukukestävyyden osavarmuusluvulle  $\gamma_{R,h}$ , käytetään arvoa 1,10.

Kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Mitoitusehto:

Vaakasuorien kuormien resultantin mitoitusarvo  $\leq$  liukumista estävien kuormien mitoitusarvon ja liukumiskestävyyden summa.

Louhitulle kalliolle perustettaessa kertoimelle  $\tan(\delta_k)$  (kitkakertoimelle) voidaan käyttää arvoa 1,0, ellei kiven heikko laatu edellytä käytettäväksi tätä pienempää arvoa. Kitkakerrointa voidaan suurentaa kallion ominaisuuksista (puristuslujuus, lustosuunnat, kitkakerroin) tehtyjen kokeiden perusteella. Luonnolliselle kallionpinnalle perustettaessa kitkakertoimelle voidaan käyttää arvoa 0,6. Leikkauskestävyysskulmana voidaan käyttää murskekerroksen varaan perustettaessa ja valettaessa perustus mursketta vasten murskeen ominaisleikkauskestävyysskulmaa. Jos perustusta ei valeta paikalla maata vasten (esimerkiksi elementtiperustus), ominaisleikkauskestävyysskulmana voidaan käyttää arvoa  $\frac{2}{3}$  leikkauskestävyysskulma. (ks. 5.1.2.3)

Jännittämättömiä teräsankkureita ei saa käyttää liukumisvarmuuden laskennolliseen lisäämiseen.

Liukumista estävät kuormat voidaan ottaa mukaan vain jos niiden pysyvyydestä voidaan olla varmoja.

Maatukien liukumistarkastelulla on yleensä mitoittavaa merkitystä kallion varaan perustettaessa, koska kallion kantokestävyyden kannalta perustusten koko voi olla yleensä pieni, jolloin myös maatuen perustuksille maan painosta tuleva kuorma jää pieneksi. Tämä korostuu erityisesti, kun sillan päällysrakenne on kevyt (puu- tai teräsrakenteinen).

Siltojen välituilla liukumisvarmuudella ei ole yleensä mitoittavaa merkitystä muille kuin onnettomuuskuormille (törmäys pilariin) ja tällöinkin vain päällysrakenteen ollessa kevyt.

Liukumistarkasteluissa määräävät kuormitustapaukset (vrt. kohta 4.8) ovat yleensä samoja kuin kaatumistarkasteluissa eli tapaukset, joissa pystykuormalla on pienin arvo ja vaakakuormilla suurin vastaava arvo.

#### 5.1.1.4 Käyttörajatila SLS

Käyttörajatilatarkasteluilla ei ole yleensä mitoittavaa merkitystä suoraan kalliolle tai sen päälle tehdyn murskekerroksen varaan perustettaessa.

### 5.1.2 Maanvarainen

#### 5.1.2.1 Kantokestävyyys STR/GEO DA2\*

Maanvaraisen perustuksen kantokestävyyys lasketaan liitteen 4 mukaisesti. Muun laskentamenetelmän käyttö edellyttää Liikenneviraston hyväksymistä.

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (5.2)$$

Kertoimien arvot on esitetty liitteessä 4.

Kantokestävyyttä laskettaessa käytetään maaparametrien ominaisarvoja ja näin saatu kantokestävyyden ominaisarvo jaetaan osavarmuusluvulla 1,55, joka on esitetty liitteen 1 taulukossa A.13(FI).

Kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Mitoitusehto:

Pystykuormien mitoitusarvo  $\leq$  pysty- ja vaakakuormia vastaavalle teholliselle pohjapinnalle laskettu kantokestävyyden mitoitusarvo

Pohjavedenpinnan asema otetaan aina huomioon kantokestävyyttä laskettaessa epäedullisimman tilanteen mukaan.

Alle 0.5 metrin murskekerroksen välityksellä kalliolle perustettaessa pohjapaineen jännitysjakautuman oletetaan olevan lineaarinen ja mitoitustarkastelut tehdään kuten kallionvaraiselle perustukselle (vrt. kohta 5.1.1.1 edellä).

Kantokestävyyden kannalta mitoittavia ovat yleensä kuormitustapaukset, joissa on mukana suurin pystykuorma ja sitä vastaavat vaakakuormat.

#### 5.1.2.2 Kuorman epäkeskisyyden huomioiminen

Siitä huolimatta, että maan varaan perustettaessa edellisen kohdan mukainen mitoitussehto täyttyy, tulee pystykuorman resultantin aina sijaita DA2\* menettelyä käytettäessä sellaisen ellipsin sisällä, jonka puoliakselit ovat peruslaatan sivumittojen kolmannekset ja keskipiste peruslaatan keskipiste. Lisäksi pysyvien pystykuormien resultantin tulee tällöin olla perustuksen sydänkuvion sisällä.

#### 5.1.2.3 Liukuminen STR/GEO DA2\*

Liukumistarkastelu tehdään aina vaakakuorman suurimman resultantin suuntaan.

Liukumiskestävyys on lasketaan kaavasta:

$$V'_d \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h}, \quad (5.3)$$

jossa  $\delta_k$  on maan ominaisleikkauskestävyysskulma, jolle voidaan käyttää leikkauskestävyysskulman arvoa, jos perustus on valettu maan varaan ja arvoa  $\approx$  leikkauskestävyysskulma elementtiperustuksia käytettäessä.  $V'_d$  on pystykuormien mitoitusarvo ( $V'_d = V'_k$ ). Liukukestävyyden osavarmuusluvulle  $\gamma_{R,h}$ , käytetään arvoa 1,10.

Liukumista estävät kuormat voidaan ottaa mukaan vain, jos niiden pysyvyydestä voidaan olla varmoja. Kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Mitoitusehto:

Vaakasuorien kuormien resultantin mitoitusarvo  $\leq$  liukumista estävien kuormien mitoitusarvon ja liukumiskestävyyden summa.

Perustettaessa louhitun kallion päälle rakennetun murskekerroksen varaan, liukumistarkastelu tehdään kuten maanvaraiselle perustukselle käyttäen tarkastelussa murskeen leikkauskestävyysskulmaa (vrt. kohta 5.1.1.3 edellä).

Maanvaraisten maatukien liukumistarkastelulla on yleensä merkitystä vain rakennusaikaisissa tilanteissa, kun päällysrakenteen paino ei vielä kuormita rakennetta tai kun päällysrakenne on kevyt (puuta tai terästä).

Siltojen välituilla liukumisvarmuudella ei yleensä ole perustusten kokoa mitoittavaa merkitystä muulloin kuin onnettomuustilanteissa (törmäys pilariin) ja tällöinkin vain päällysrakenteen ollessa kevyt.

Liukumistarkasteluissa määräviä ovat yleensä vain kuormitustapaukset (vrt. kohta 4.8), joissa pystykuormalla on pienin arvo ja vaakakuormilla suurin vastaava arvo.

#### **5.1.2.4 Painumat SLS**

Perustusten painumat lasketaan ottaen huomioon pysyvät kuormat ja liikennekuormat ominaisarvoillaan.

Painumat voidaan laskea yleisesti tunnetuilla menetelmillä (esimerkiksi Ohde-Janbun menetelmä) tai tarkemmin elementtimenetelmillä.

Perustusten kallistumista voidaan laskea sen eri kulmissa / reunoilla laskettujen painumien perusteella.

Sillan tukien sallittuja painumia ja päällysrakenteen mitoituksessa käytettäviä epätasaisia painumia määritettäessä tulee ottaa huomioon päällysrakenteen tyyppi ja rautatiesillan osalla myös radan kunnossapitoluokka. Teräsbetoninen tai jännitetty betoninen jatkuva päällysrakenne sietää oleellisesti pienemmät tukien epätasaiset painumat kuin vastaava teräksinen päällysrakenne. Yksijänteisillä silloilla ei päällysrakenteen tyypillä luonnollisestikaan ole väliä sallittuja painumia määritettäessä.

Toisaalta sallittuja painumia tai päällysrakenteen mitoituksessa käytettäviä epätasaisia painumia määritettäessä tulee ottaa huomioon painumisen nopeus. Esimerkiksi päällysrakenteen ollessa kevyt, alusrakenteiden massiivisia ja maan karkearakeista kitkamaata kehittyä suurin osa painumista jo ennen päällysrakenteen rakentamista. Siltojen päällysrakenteita mitoittaessa tulisi kuitenkin aina käyttää tukien välistä vähintään 10 mm:n suuruista painumaeroa.

#### **5.1.2.5 Kokonaisstabiliteetti STR/GEO DA3**

Kokonaisstabiliteetti tarkastetaan kohdan 5.5 Luiskat ja maanvaraiset penkereet mukaan.

## **5.2 Paaluperustukset**

### **5.2.1 Yleistä**

Sillat kuuluvat seuraamusluokkiin CC2 tai CC3 ja niiden perustukset yleensä geotekniseen luokkaan GL2 tai erikoistapauksissa luokkaan GL3. Paalulaatat kuuluvat yleensä seuraamusluokkaan CC2 ja geotekniseen luokkaan GL2.

## 5.2.2 Tukipaalu

### 5.2.2.1 Puristuskestävyys STR/GEO DA2\*

Paalujen puristuskestävyys määräytyy joko paalun rakenteellisen tai geoteknisen kestävyuden perusteella: puristuskestävyyden mitoitusarvo on joko paalun rakenteellisen kestävyuden mitoitusarvo tai geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo riippuen siitä, kumpi on pienempi.

Mitoitusehto:

paalun kuorman mitoitusarvo  $\leq$  paalun puristuskestävyyden mitoitusarvo,

Siltarakenteissa käytetään lähes pelkästään tukipaaluja, joiden geotekninen puristuskestävyys määräytyy paalun kärjen kantokestävyuden perusteella. Porapaalut ja kaivinpaalut ulotetaan yleensä kallioon, jolloin kallion lujuus ja rakenne määräävät paalun geoteknisen puristuskestävyyden. Ehjään suomalaiseen kallioon tukeutuvan paalun kärjen kantokestävyys ei yleensä ole mitoittava, vaan kestävyys määräytyy paalun rakenteen kestävyuden perusteella.

#### Porapaalun (geotekninen) puristuskestävyys

Porapaalujen geotekninen puristuskestävyys osoitetaan laskennallisesti pohjatutkimuksiin perustuen.

Kallioon tukeutuvan **porapaalun** kärjen geoteknisen murtokestävyys voidaan arvioida PPO-2007:n kohdan 6.9.2.4 tai Tiehallinnon Porapaalutusohjeen kohdan 7.4.3 mukaisesti. Geotekninen mitoituskestävyys saadaan geoteknisestä murtokestävyydestä jakamalla se osavarmuusluvulla  $\gamma_{qu}=1,2$ , (taulukko A.7(FI).ja lisäksi korrelaatiokerroimella 1,1.

Porapaalun geotekninen puristuskestävyys varmistetaan poraamalla paalu ehjään tai injektoimalla vahvistettuun kallioon vähintään mitan  $3*d$  verran - kuitenkin vähintään 0,5 m. Kalliokontakti porauksen päättymisen jälkeen varmistetaan lyömällä ”loppu-tai tarkastuslyönnit” poravasarella paalun yläpähän. Kestävyys varmistetaan jokaisen porapaalun osalta erikseen.

Porapaalun kärki oletetaan kallioon tukeutuvaksi, kun sekä poraushavainnot, että pohjatutkimukset tukevat tulkintaa samanaikaisesti.

#### Kaivinpaalun geotekninen puristuskestävyys

Kaivinpaalun geotekninen puristuskestävyys osoitetaan laskennallisesti tukeutumalla pohjatutkimuksiin.

Kallioon tukeutuvan **kaivinpaalun** geotekninen puristuskestävyys mitoitetetaan Sillan geotekniset suunnitteluperusteet TIEH 2100053-07 mukaisesti. Sallitun kantavuuden arvo muutetaan mitoituskestävyyden arvoksi kertomalla se kuorman osavarmuusluvulla 1,3.

Valmiin paalun geotekninen puristuskestävyys osoitetaan tukeutumalla työn aikana tehtyihin maaperähavaintoihin (maalaji, kaivuvaikeus). Kaivinpaalun pohjan tukeutuminen kallioon voidaan varmistaa injektoimalla kontaktipinta.

### Lyötävän paalun puristuskestävyys

Lyötävän paalun geotekninen puristuskestävyys osoitetaan yleensä dynaamisella koekuormituksella.

Paalun geoteknistä puristuskestävyyden ominaisarvoa määritettäessä otetaan huomioon pohjatutkimusten kattavuus (niiden määrä) ja tapa (kairaukset / koekuormitukset), peruslaatan kyky jakaa kuormia paaluille ja koekuormitusta käytettäessä vielä tulosten hajonta.

Paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvon määrittäminen tapahtuu standardin SFS-EN 1997-1 ja sen kansallisen liitteen mukaan. Paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo määritetään kaavasta:

$$R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_{R,v} \quad (5-4)$$

jossa

- $R_{c,k}$  =  $R_{c,m} / \xi$  paalun geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo  
 $R_{c,m}$  = koekuormitustulosten keskiarvo  $R_{c,m, \text{mean}}$  tai pienin arvo  $R_{c,m, \text{min}}$   
 $\xi$  = korrelaatiokerroin,  $\xi_5$  kohdistetaan keskiarvo  $R_{c,m, \text{mean}}$  ja  $\xi_6$  arvoon  $R_{c,m, \text{min}}$   
 $\gamma_{R,v}$  = paalun kestävyiden osavarmuusluku

Paalun geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo  $R_{c,k}$  on  $R_{c,m, \text{mean}}$  ja  $R_{c,m, \text{min}}$  perusteella lasketuista  $R_{c,k}$  -arvoista pienempi.

Osavarmuusluku  $\gamma_{R,v}$  on liitteen 1 taulukkojen A.6(FI), A.7(FI) ja A.8(FI) mukaisesti sama paalun kärjen, vaipan ja yhdistetylle kestävyydelle paalutyypistä riippumaton ja suuruudeltaan 1,20.

Korrelaatiokerroimen arvo riippuu dynaamisista koekuormitusta käytettäessä koestettujen paalujen lukumäärästä  $n$  tai prosentuaalisesta osuudesta:

*Taulukko 5.1 Korrelaatiokerroimen määrytyminen*

$\xi$ kun $n=$	2-4 / 2-5 %	5-9 / 5-40 %	10-14 / 40-65 %	15-19 / 65-90 %	$\geq 20$ / 90-100 %
$\xi_5$	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
$\xi_6$	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

Lukumäärällä  $n$  tarkoitetaan geoteknisen kestävyiden kannalta samanlaisissa pohjasuhteissa tehtyjen samanlaisten paalujen mittausten lukumäärää tai osuutta paalujen kokonaismäärästä. Taulukon  $\xi$ -arvoja sovelletaan kuhunkin sillan tukeen erikseen. Sillan kunkin tuen paalujen voidaan yleensä olettaa olevan samanlaisissa olosuhteissa. Jos tuki on perustettu vain yhden paalun varaan, käytetään kerrointa  $\xi_5$  ja sille arvoa 1,60.

Kappalemäärän tai prosenttiosuuden mukaan valitaan se, jonka perusteella saadaan pienempi korrelaatiokerroin.

$\xi$ -arvot kerrotaan mallikertoimella 1,05, kun paalupituudet vaihtelevat voimakkaasti tai vastaava kokemus dynaamisista koekuormituksista on vähäinen.

$\xi$ -arvot voidaan kertoa mallikertoimella 0,9, kun käytetään signaalinsovitusta.

$\xi$ -arvot voidaan kertoa luvulla 0,9 myös ilman signaalinsovitusta silloin, kun paalut tukeutuvat luotettavasti varmistettuun kallioon ja paalun geotekninen kestävyys riippuu lähinnä paalun rakenteen kestävydestä.

Useampia edellä mainittuja mallikertoimia käytettäessä  $\xi$ -arvot kerrotaan kaikkien käytettävien mallikertoimien tulolla. Signaalisovituksen ja luotettavan kalliolle perustamisen mallikertoimia ei kuitenkaan voida ottaa yhtäaikaisesti huomioon.

Mikäli perustuksessa on erilaisia paaluja, niin samanlaisten paalujen ryhmät käsitellään erillisinä, kun paalujen lukumäärää  $n$  määritetään.

Sillan tukien peruslaatat ovat yleensä riittävän jäykkiä ja lujia siirtämään kuormia ”heikoilta” pauilta ”vahvoille” pauilille. Tällöin kertoimet  $\xi_5$  ja  $\xi_6$  voidaan jakaa luvulla 1,05, kun tuki on perustettu vähintään 8 paalun varaan, luvulla 1,10, kun tuki on perustettu vähintään 16 paalun varaan. Paalulaatoilla tätä reduktiota ei voida tehdä.

Negatiivinen vaippahankaus käsitellään aina paalun kuormana eikä sen puristuskestävyyttä redusoida (kohta 4.6.5).

Lyötäviä paaluja käytettäessä paalujen geotekninen puristuskestävyys arvioidaan suunnitteluvaiheessa seuraavasti:

1. Tutkimusten, paalun ja lyöntikaluston perusteella määritetään  $R_{c,m}$
2. Määritetään tehtävien PDA-mittausten määrä, jolloin saadaan aluekohtaisesti sovellettava korrelaatiokerroin  $\xi$
3. Edellisten perusteella lasketaan  $R_{c,k}$  ja  $R_{c,d}$

Toteutusvaiheessa tehdään kohdan 2 mukaiset PDA-mittaukset, joilla varmistetaan, että paalun geotekninen puristuskestävyys on riittävä.

Paalun rakenteen lyönninkestävyyden tulee olla vähintään paalulta tavoiteltavan geoteknisen kestävyden suurin ( $R_{k,geo\ max} \leq R_{lyöntikestävyys}$ ).

Paalun keskimääräinen puristusjännitys asennuksen aikana voi olla maksimissaan

- teräkselle 90 % materiaalin puristuskestävyyden ominaisarvosta  $f_{yk}$
- betonille 80 % materiaalin puristuskestävyyden ominaisarvosta  $f_{ck}$

**Tavanomaisessa** paalutustyössä voidaan käyttää arvoa, joka on 80 % em. maksimiarvosta (teräkselle  $0,8 \cdot 0,9 \cdot f_{yk}$  ja betonille  $0,8 \cdot 0,8 \cdot f_{ck}$ ). **Erityisten ehtojen täyttymisestä** työn suorituksessa voidaan käyttää maksimiarvoa. Seuraamusluokassa CC3 työ suoritetaan aina erityisehtojen mukaisesti, jolloin voidaan käyttää maksimiarvoja.

**Tavanomaisessa** työssä, joissa lyönninkestävyytenä käytetään enintään 80 % maksimiarvosta, joka on samalla tavoiteltavan geoteknisen maksimikestävyden suurin, edellytetään työn suoritukselta seuraavaa:

- Paalun akselin suhteen vinon tai epäkeskeisen lyönnin aikaansaamat reunajännitykset eivät saa ylittää keskimääräistä jännitystä enemmän kuin 25 %. Tarvittavat menettelyt lyönnin keskeisyyden aikaansaamiseksi tulee olla kirjattuna paalutuotteen valmistajan hyväksymään lyöntiohjeeseen.



- Lyöntilaitteen valmistajan, maahantuojan tai käyttäjän on selvitettävä paalutukseen olennaisesti vaikuttavat erilaiset tekijät. Näitä ovat mm. lyönnin kokonaishokkuus, soveltuvat iskusoijat eri paalujen lyöntiin, iskusoijien vaikutus paaluun välittyviin jännityksiin eri paalutyypeillä.
- Paalun valmistaja määrittelee paalun rakenteen kestävyyskannalta hyväksyttävistä maksimilyöntikorkeuksista ja määrittelee paalun geoteknisen kestävyysvaavuttamiseksi vaaditut loppulyöntikorkeudet ja vastaavat paalun painumat. Puolueettoman osapuolen tarkistus vaaditaan.

Maksimiarvoa (lyöntikestävyysmaksimiarvo), joka on samalla tavoiteltavan geoteknisen maksimikestävyyskannan suuruinen, voidaan käyttää seuraavien erityisehtojen täyttyessä:

- Paalun akselin suhteen vinon tai epäkeskeisen lyönnin aikaansaamat reunajännitykset eivät saa ylittää keskimääräistä jännitystä enemmän kuin 5 %. Tarvittavat menettelyt lyönnin keskeisyyden aikaansaamiseksi tulee perustua riittävään, mittauksiin perustuvaan ja kalustokohtaiseen selvitykseen, jonka tulee olla kirjattuna paalutuotteen valmistajan hyväksymään lyöntiohjeeseen.
- Vastaava pohjarakennesuunnittelija tarkistaa paalun valmistajan määrittelemän ja puolueettoman osapuolen tarkistaman maksimilyöntikorkeuden ja määrittelee paalun geoteknisen kestävyysvaavuttamiseksi vaaditut loppulyöntikorkeudet ja vastaavat paalun painumat kohdekohtaisesti ja tarkentaa näin paaluvalmistajan antamia ohjeita.
- Paalujen loppulyöntiohje laaditaan aina kohdekohtaisesti dynaamisen koekuormituksen perusteella ennen työn aloitusta..

Sillan jokaisen tuen paaluista (n kpl) tulee koekuormittaa dynaamisesti seuraava prosentuaalinen määrä paaluista:

n =	≤4	5-8	9-16	17-32	33-64	≥65
%-osuus =	100	≥80	≥60	≥40	≥30	≥20

Paalulaattojen paaluista tulee koekuormittaa dynaamisesti kunkin liikuntasaumavälin rajoittamalla paalulaatan osalla vähintään 5 % paaluista, kuitenkin aina vähintään 5 paalua. Koekuormitettavat paalut on valittava niin, että ne edustavat kattavasti koko paalukenttää.

#### 5.2.2.2 Vetokestävyys STR/GEO DA2\*

Paalujen vetokestävyyttä tulee käyttää siltarakenteissa hyväksi vain lyhytaikaisille kuormille.

Mitoitusehto:

paalun kuorman mitoitusarvo ≤ paalun vetokestävyysmitoitussarvo

Tukipaalujen vetokestävyyttä ei yleensä määritellä koekuormitusten vaan pohjatutkimusten pohjalta arvioitujen maaparametrien perusteella. Paalun vetokestävyys määräytyy yleensä paalun geoteknisen vetokestävyyskannan perusteella. Paalun rakenteellinen kestävyys tulee yleensä paalun vetokestävyyskannalta määrääväksi vain ankkuroiduissa paaluissa.

Paalun geotekninen vetokestävyys lasketaan kaavasta:

$$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{s,t} \quad (5.5)$$

, jossa

- $R_{t,k}$  =  $R_{t,m} / \xi$  paalun geoteknisen vetokestävyuden ominaisarvo  
 $R_{t,m}$  = koekuormitustulosten keskiarvo  $(R_{s,cal})_{mean}$  tai pienin arvo  $(R_{s,cal})_{min}$   
 $\xi$  = korrelaatiokerroin,  $\xi_3$  kohdistetaan keskiarvo  $(R_{s,cal})_{mean}$  ja  $\xi_4$  arvoon  $(R_{s,cal})_{min}$   
 $\gamma_{s,t}$  = vetokestävyuden osavarmuusluku

Paalun geoteknisen vetokestävyuden ominaisarvo  $R_{t,k}$  on  $(R_{s,cal})_{mean}$  ja  $(R_{s,cal})_{min}$  perusteella lasketuista  $R_{t,k}$  -arvoista pienempi.

$R_{t,m}$  määritetään laskennallisesti tutkimustuloksista saatujen maaparametrien perusteella.

Korrelaatiokerroin riippuu tutkimusprofiilien lukumäärästä  $n$ .

*Taulukko 5.2 Korrelaatiokertoimen määräytyminen*

$\xi$ kun $n=$	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1,85	1,77	1,73	1,69	1,65	1,62	1,60
$\xi_4$	1,85	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40

$n$  on suunnittelualueen samantyyppisissä pohjasuhteissa laskettujen, likimain samanpituisten paalujen lukumäärä. Kunkin lasketun paalun laskennassa tulee olla käytävissä paalun kohdalta edustava pohjatutkimusaineisto.

Korrelaatiokertoimella  $\xi_3$  jaetaan tutkimustulosten perusteella lasketun vaippakitkan keskiarvo  $R_{t,m,mean}$  ja korrelaatiokertoimella  $\xi_4$  tutkimustulosten perusteella lasketun vaippakitkan pienin arvo  $R_{t,m,min}$ . Paalun vetokestävyys murtorajatilassa  $R_{t,k}$  on näiden perusteella lasketuista  $R_{t,k}$  -arvoista pienempi.

Vetokestävyuden osavarmuusluvulle annetaan liitteen 1 taulukoissa A.6(FI), A.7(FI) ja A.8(FI) paalutyypistä riippumatta pysyville kuormille arvo 1,50 ja lyhytaikaisille kuormille arvo 1,35.

### 5.2.2.3 Kestävyys vaakakuormille STR/GEO DA2 ja DA2\*

Mitoitettaessa paaluryhmiä, joissa on vaakakuormitusten suuntaan vinoja paaluja, kaikki vaakakuormat otetaan paalujen aksiaalisilla rasituksilla. Paalujen maasta saama vaakatukey ei yleensä käytetä rakenteeseen vaikuttavien vaakakuormien ottamiseen.

Maan liikkeistä paaluihin tuleva rasitus tulee ottaa huomioon paaluja mitoitettaessa siitä huolimatta, että paaluilla on tarkoitus ottaa pelkkiä aksiaalisia rasituksia.

Vaakakuormien tai -siirtymien rasittamien paalujen voimasuureet lasketaan käyttämällä rakennemallia, joka ottaa huomioon sekä paalun että maan muodonmuutosominaisuudet. Tämä voi tapahtua esimerkiksi kuvaamalla maan ominaisuuksia paaluja tukevilla jousilla. Tarkastelu on varmalla puolella, jos kuormien osavarmuusluvut kohdistetaan jo kuormiin, eikä niiden vaikutuksiin (paalua tukeviin jousivoimiin

/ paaluun vaikuttavaan vaakapaineeseen). Tämä vastaa mitoitusmenetelmää DA2. Jos osavarmuusluvut kohdistetaan vasta jousivoimiin (DA2\*), tarkastelu on jonkin verran epävarmalla puolella, koska paalun kimmoiset ominaisuudet eivät tavallaan ole mukana kuin kuormien ominaisarvojen osuudella.

Kummassakin tapauksessa on otettava huomioon maan 'vaakasuuntaisen kantokestävyyden' raja, jonka jälkeen jousen voima ei enää kasva, jolloin mallin käyttäytymisen muuttuu epälineaariseksi.

Kuten maan kantokestävyyttä määritettäessä osavarmuusluku kohdistetaan kestävyyteen eikä ominaisuuksiin.

#### **5.2.2.4 Nurjahduskestävyys STR/GEO DA2 ja DA2\***

Yksittäisten paalujen nurjahduskestävyys tulee tarkastaa hoikille paaluille (sivumitta tai halkaisija < 250 mm), jos paalu on kokonaan tai osittain ilmassa, vedessä tai maassa, jonka siipikairauksella määrätty suljettu leikkauslujuus on pienempi kuin 20 kPa. Muille maassa oleville paaluille nurjahduskestävyys tulee tarkistaa, kun siipikairauksella määrätty suljettu leikkauslujuus pienempi kuin 10 kPa. Jos eloperäisen maan leikkauslujuus on pienempi kuin 5 kPa, ei sitä saa käyttää yleensä laskennollisesti hyväksi nurjahdustarkasteluissa.

Paalun nurjahdustarkastelu voidaan suorittaa esimerkiksi rakennemallilla, jossa maan paalua tukeva vaikutus kuvataan jousilla. Tarkastelu tulee tehdä DA2:n mukaan, jolloin kuorman osavarmuusluvut kohdistetaan kuormien ominaisarvoihin ja maan kestävyden osavarmuusluku (1,55) kohdistetaan 'jousien kestävyden ominaisarvoihin'. Itse jouset lasketaan maan ominaisuuksien ominaisarvoja käyttäen.

#### **5.2.2.5 Paaluryhmä**

Siltojen maa-, pääty- ja välitukien paalutukset ovat yleensä tukipaaluista muodostuvia paaluryhmiä tai suoraan pyöreän pilarin alla olevia suuriläpimittaisia paaluja. Paaluryhmien paalut ovat maatuilla yleensä pystypaaluja ja eteenpäin vinoja paaluja. Sillan poikkisuuntaan vinoja paaluja joudutaan käyttämään vain suurempien siltojen (yleensä rautatiesiltojen) maatuilla, kun itse maatuen omapaino on pieni. Välitukien paalutukset muodostuvat lähes poikkeuksetta kaikkiin neljään pääsuuntaan vinoista paaluista. Pystypaaluja on välituilla järkevää käyttää vain siinä tapauksessa, että pystykuormien ja vaakakuormien suhde on oleellisesti suurempi kuin vinopaalujen kaltevuus.

Myös paalulaattojen tukipaaluista muodostuvat paalutukset pitää laskennollisesti käsitellä paaluryhminä ja suunnitella niin, että kuormien jakautuminen ryhmän paaluille voi tapahtua laskelmassa oletetulla tavalla ilman, että itse teräsbetonisella laamalla tarvitsee olla huomattavaa jäykkyyttä.

Paaluryhmien voimasuureiden laskenta tapahtuu normaalin statiikan mukaan ottaen tarpeen vaatiessa huomioon paalujen erilaiset pituudet ja poikkileikkausalat. Yksittäisten paalujen toleransseja ei laskennassa oteta huomioon, vaan tarkistuslaskenta suoritetaan rakentamisvaiheessa todellisilla paalujen asemilla, kaltevuuksilla ja pituuksilla, jos sallitut paalujen toleranssit ovat ylittyneet. Tarkistuslaskennassa paalujen suunnittelussa käytetty puristus- tai vetokestävyys voi ylittyä yksittäisen paalun osalla korkeintaan 10 %.

Koska paalujen toiminta on lineaarista ja sekä pysty- että vaakakuormat otetaan paalujen aksiaalisilla voimilla, johtaa paalukuormien laskenta DA2- ja DA2\*-menetelmällä samoihin paalukuormiin.

#### 5.2.2.6 *Kitkapaalu*

Kitkapaaluja ei yleensä käytetä siltarakenteissa muuten kuin kevyen liikenteen siltojen perustuksissa.

Paalujen puristus- ja vetokestävyydet määritetään tapauskohtaisesti edellä tukipaaluille esitettyjen periaatteiden mukaan.

$\xi$ -arvot kerrotaan aina mallikertoimella 1,05.

#### 5.2.2.7 *Koheesiopaalu*

Koheesiopaaluja ei käytetä siltarakenteissa kuin aivan poikkeustapauksissa ja silloinkin vain kevyen liikenteen siltojen perustuksissa.

Paalujen puristus- ja vetokestävyydet määritetään tapauskohtaisesti edellä tukipaaluille esitettyjen periaatteiden mukaan. Ne eivät perustu PDA mittauksiin.

## 5.3 Ankkurointi

### 5.3.1 **Murtorajatila STR/GEO DA2**

Tässä luvussa käsitellään pysyviä ja väliaikaisia ankkureita, jotka ottavat vastaan rakennetta kuormittavia ulkoisia kuormia. Tässä kappaleessa ei käsitellä jännitettyjen rakenteiden sisäisiä ankkureita eikä maan naulausta. Ankkurien tapaan toimivia vedettyjä paaluja käsitellään kohdassa 5.2. Paaluperustukset.

Mitoitus tehdään STR/GEO rajatilassa mitoitusmenetelmällä DA2. Osavarmuusluvut kohdistetaan ankkurikuorman ja ulosvetokestävyyteen. Osavarmuuslukuina käytetään ankkurikuorman osalta taulukon A.3a(FI) arvoja ja ulosvetokestävyyden osalta taulukon A.12(FI) arvoja.

Ankkurien mitoitus perustuu epäyhtälöön:

$$P_d \leq R_d \quad (5.6)$$

Missä  $P_d$  on ankkurikuorman mitoitusarvo ja  $R_d$  ankkurin ulosvetokestävyyden mitoitusarvo.  $P_d$ :n arvo tulee johtaa joko murtorajatilan tai käyttörajatilän mukaisesta suurimmasta arvosta. Joissain tapauksissa voi käyttörajatilän ankkurikuorma olla murtorajatilaa suurempi johtuen käyttörajatilassa vallitsevasta suuremmasta maanpaineesta (~lepopaine).

Ankkurien mitoituksessa pitää huomioida sijainti- ja suunta-poikkeamat, ankkuroinnin ja ankkurivoiman vaikutus ympäröiviin rakenteisiin, eri materiaalien jäykkyyserojen vaikutus, ankkurointipisteen riittävä etäisyys tuettavasta massasta ja ankkurien yhteistoiminta.

Korroosiosuojauksen suunnittelussa pitää noudattaa EN 1537 vaatimuksia.

#### KOEVETO:

EN 1997-1:ssä mainitaan kolme koetyyppiä: hyväksyntäkoee, soveltuvuuskoee ja tutkimuskoee. Käytettäessä tavanomaisia ankkurityyppejä, joista on Suomessa aikaisempaa kokemusta, tehdään vain hyväksyntäkoee. Soveltuvuus- ja tutkimuskoee liittyvät uusiin ankkurityyppeihin. Hyväksyntäkoeeella tarkoitetaan rakennuspaikalla tehtävää rakenteen osana toimivan ankkurin koeevetoa, jolla varmistetaan, että ankkuri täyttää mitoitusvaatimukset. Hyväksyntäkoee tehdään sekä pysyville että väliaikaisille ankkureille. Koeeveto tehdään kaikille pysyvän kuorman rasittamille ankkureille. Mikäli ankkuria rasittaa vain muuttuva kuorma, koeevedetään ankkureista vähintään 20 % ja kaikkien ankkurien osalta kallion vesitiiveys todetaan vesimenekkikoeeella.

Koeevetovoimaksi  $P_p$  tulee toteuttaa yhtälö:

$$P_p > R_k \quad (5.7)$$

Ankkuri valitaan siten, ettei sen koeevetovoima ylitä alla olevan epäyhtälön arvoa.

$$P_p < 0,9P_{to,1,k} \quad (5.8)$$

Missä  $R_k$  on ankkurin ulosvetokestävyysominaisarvo ja  $P_{to,1,k}$  on ankkurin vetovoima, joka vastaa 0,1% venymää.

#### MITOITUS:

Kuorma:

Ankkurointikuorman mitoitusarvo  $P_d$  lasketaan kappaleen 5.4 Maanpainerakenteet mukaisesti tai mikäli kyseessä on muu kuin maanpaineen rasittama rakenne, kappaleen 3 mukaisesti.

Kestävyys:

Kestävyysmääritys perustuu koeevetoon. Tarvittava koeevetovoima  $P_p$  määräytyy seuraavasti:

$$P_p > R_k (= R_d \gamma_a) \quad (5.9)$$

Missä  $\gamma_a$  on esijännitettyjen ankkurointien osavarmuusluku, Liite 1. taulukko A.12(FI).

Jännittämättömille ankkureille käytetään samoja osavarmuuslukuja kuin esijännitetyille ankkureille.

Riittävän varmuuden toteaminen:

$$R_d > P_d \quad (5.10)$$

$$R_d = R_k / \gamma_a$$

### 5.3.2 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Hyväksyttävien siirtymien maksimi-arvot määräytyvät ympäristön ja ankkuroitavan rakenteen mukaan.

## 5.4 Maanpainerakenteet

### 5.4.1 Murtorajatila

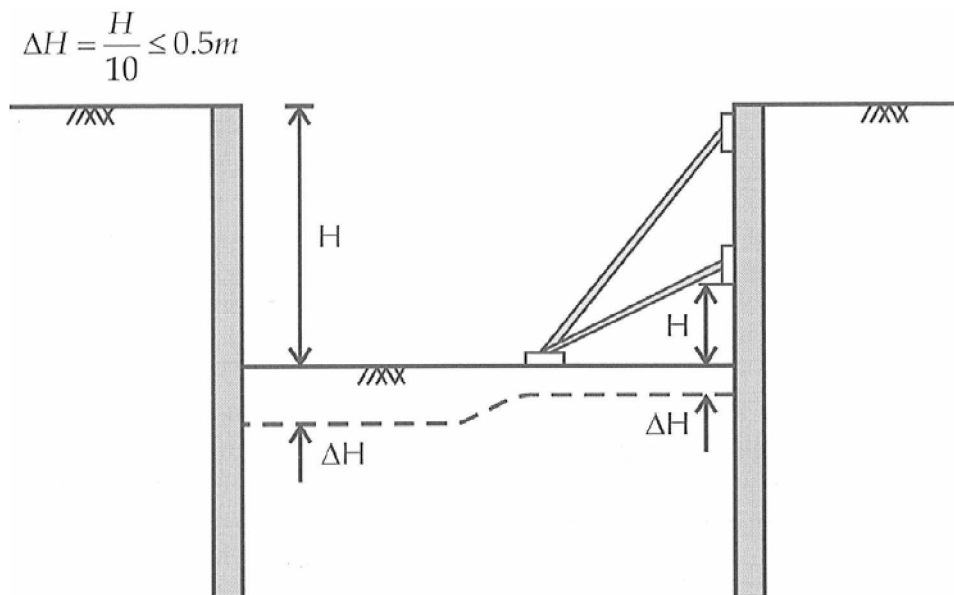
#### 5.4.1.1 Yleistä

Tässä luvussa käsitellään pysyviä ja väliaikaisia rakenteita, jotka tukevat maasta tai täytöstä koostuvaa materiaalia ja vettä. Tällaisia tukirakenteita ovat mm. tukiseinät ja tukimuurit.

Ensimmäisenä tehdään aina laskelma ominaisarvoilla, jolloin saadaan käsitys kokonaisvakavuuden suuruusluokasta.

Mitoituksessa tulee tarkastella kokonaisstabiileetti, vaaka- ja pystystabiileetti, maapohjan murtuminen, rakenteellinen kestävyys, veden paine ja virtaus sekä siirtymät. Tukimuurien kohdalla pitää edellisen lisäksi tarkastella maapohjan kantokestävyys, liukuminen ja kaatuminen.

Kaivannon mittoina käytetään mittatietojen nimellisarvoja lukuun ottamatta kaivutason. Kuvassa 5.1 on esitetty laskelmissa käytettävän kaivutason määrittäminen.



Kuva 5.1 Mitoituksessa käytettävän kaivutason määrittäminen.

Poikkeustapauksissa voidaan käyttää kuvassa 5.1 esitettyä pienempää  $\Delta H$  arvoa. Tällöin pitää suunnitelmassa määrittää luotettava kaivutason korkeuden valvonta prosessi.

Mikäli maa tukirakenteen takana on huonosti vettä läpäisevää, pitää yleensä olettaa vedenpinta maanpinnan tasoon. Jos seinän taakse rakennetaan luotettava kuivatusjärjestelmä esim. rakentamalla hyvin vettä läpäisevä suoto-oja maanpinnasta kuivatus tasoon yhdistettynä ”vuoto reikiin” seinän läpi, voidaan mitoituksessa käyttää maanpinnasta poikkeavaa vedenpinnan tasoa. Myös tapauksissa, joissa pohjavesi on yli 4 m maanpinnan alapuolella, voidaan harkinnan mukaan käyttää maanpinnan tasoa alemmaa vedenpintaa.

Hienorakeisessa maassa pitää pintaosa olettaa halkeilleeksi syvyyteen, jossa täysin mobilisoitunut aktiivipaine on nolla. Lisäksi kuivakuorikerros oletetaan aina halkeilleeksi. Halkeilleessa kerroksessa tukiseinään kohdistuu vähintään vedenpaine.

Roudan muodostuminen seinän takana pitää estää tai rakenteen suunnittelussa pitää huomioida routapaineen muodostuminen.

Tiivistyksen vaikutus otetaan huomioon ohjeen ”Sillan geotekniset suunnitteluperusteet” mukaisesti.

#### 5.4.1.2 Lepopaine

Mikäli rakenne ei liiku suhteessa tuettavaan maahan tai kyseessä on pitkäaikainen tilanne koheesiomaassa, lasketaan maanpaine lepopaineena.

Lepopaine lasketaan kaavasta:

$$K_0 = (1 - \sin \varphi') \times \sqrt{\text{OCR}} \cdot (1 + \sin \beta) \quad (5.11)$$

Missä  $\varphi'$  on maan tehokas leikkauskestävyyskulma ja  $\beta$  maanpinnan kaltevuus vaakatasosta ylöspäin. Maanpinnan kaltevuuskulma  $\beta$  voi laskelmissa olla maksimissaan tehokkaan leikkauskestävyyskulman  $\varphi'$  suuruinen.

Resultantin voidaan olettaa olevan maanpinnan suuntainen.

#### 5.4.1.3 Aktiivi- ja passiivipaine

Maanpaineen ääriarvot voidaan laskea alla olevista kaavoista.

$$\sigma_a = K_a \left( \int_0^z \gamma dz + q - u \right) - 2c \sqrt{K_a (1 + a/c)} + u \quad (5.12)$$

$$\sigma_p = K_p \left( \int_0^z \gamma dz + q - u \right) + 2c \sqrt{K_p (1 + a/c)} + u \quad (5.13)$$

Missä  $\sigma_a$  ja  $\sigma_p$  ovat vaakasuuntaiset aktiivi ja passiivi kokonaisjännitykset,  $a$  on adheesio,  $c$  koheesio ja  $u$  vedenpaine. Maanpaineekertoimille  $K_a$  ja  $K_p$  on esitetty arvoja

liitteessä 2. Näiden käyttö on suositeltavaa, koska yleisesti käytetty Coulombin maanpaineteoria johtaa etenkin suurilla leikkauskestävyyskulman ja seinäkitkan arvoilla liian suuriin passiivipaineen arvoihin.

#### 5.4.1.4 Pystysuuntainen jännitys

Tavallisesti seinän leikkauskestävyyskulman  $\delta_d$  arvona käytetään korkeintaan seuraavia arvoja:

$$\text{Teräs ja muottia vasten valettu betoni} \quad \delta_d = 2/3\varphi_{cv;d} \quad (5.14)$$

$$\text{Maata vasten valettu betoni} \quad \delta_d = \varphi_{cv;d} \quad (5.15)$$

, missä  $\varphi_{cv;d}$  on tukiseinää vasten olevan maan kriittisen tilan leikkauskestävyyskulman mitoitusarvo.

Koheesiomaassa vaikuttava adheesio on seinän lyönnin jälkeen nolla. Adheesio muodostuu ajan kuluessa. Maksimissaan voidaan käyttää arvoa 1/2 kertaa suljettuleikkauslujuus.

Seinäkitkan ja adheesioita käytössä pitää huomioida, ettei passiivipuolen seinäkitkan tai adheesioita pystykomponentti voi olla suurempi kuin aktiivipuolen seinäkitkan ja ankkuroinnin aiheuttaman pystykomponentin summa. Seinän pystysuuntaisten voimien pitää olla tasapainossa.

#### 5.4.1.5 Taipuisan tukiseinän mitoitus STR/GEO DA2, DA3

Taipuisan upotetun tukiseinän mitoitus käsittää riittävän upotussyvyyden tarkistuksen, pystystabiliteetin tarkistuksen, kokonaisstabiliteetin tarkistuksen, kaivannon pohjan stabiliteetin tarkistuksen ja rakenteellisen kestävyys tarkistuksen.

Pystystabiliteetin tarkistus perustuu pystysuuntaisten voimien ja kestävyys tarkasteluun. Mitoitusmenetelmä on DA2. Osavarmuusluvut kohdistetaan voimiin ja kestävyksiin. Seinäkitkaa, adheesiota ja mahdollisia ulkoisia kuormia käsitellään voimina ja niihin kohdistetaan taulukon A.3a(FI) mukaiset osavarmuusluvut. Mahdollisten paalujen kestävyys lasketaan kappaleen 5.2.mukaan.

Pystystabiliteetin mitoitus perustuu epäyhtälöön:

Pystysuuntaisten kaatavien voimien mitoitusarvo  $\leq$  pystysuuntaisten tukevien voimien ja kestävyys tarkistuksen mitoitusarvo.

Yleensä alaspäin suuntautuvat voimat ja kestävyys tarkistukset ovat kaatavia ja ylöspäin suuntautuvat voimat ja kestävyys tarkistukset tukevia, mutta myös vastakkaisen suuntaan varmuuden tulee toteutua.

Kokonaisstabiliteetin tarkastus tehdään yleensä liukupintalaskelmalla. Mitoitusmenetelmä on DA3 (vrt. kappale 5.5).

Kaivannon pohjan stabiliteetilla tarkoitetaan maan murtumisesta aiheutuvaa maan liikkumista tukiseinän alapään ympäri kaivantoon. Se ei tarkoita samaa kuin kohdan 5.6 Hydraulinen murtuminen ja pohjan nousu, vaan nämä pitää tarkastaa erikseen



kohdan 5.6 mukaisesti. Mitoitusmenetelmä on DA3, jolloin osavarmuusluvut kohdistetaan kuormiin taulukon A.3b(FI) mukaisesti ja maaparametreihin taulukon A.4(FI) sarjan M2 mukaisesti.

Taipuisan tukiseinän upotussyvyyden ja seinän rasiusten mitoitus tehdään yleensä jousimallilla, jossa maata ja ankkureita kuvataan jousilla ja tukiseinää taipuisalla palkillä. Mitoitustapa on DA2\*, jolloin pitää tarkastaa taulukon A.3a(FI) mukaisesti kaksi tapausta (6.10a ja 6.10b). Laskenta etenee seuraavasti:

#### Vaihtoehto 1

1. Maaparametreille, vedenpaineille käytetään niiden ominaisarvoja ja pysyville kuormille käytetään niiden nimellisarvoja
2. Muuttuville kuormille käytetään arvoa  $q_k$  ( $\gamma_Q/\gamma_G$ ). Missä  $q_k$  on muuttuvan kuorman nimellisarvo.  $\gamma_Q$  on muuttuvan kuorman osavarmuusluku ja  $\gamma_G$  on pysyvän kuorman osavarmuusluku, taulukko A.3a(FI).
3. Edellä esitetyillä arvoilla lasketaan tukireaktiot, seinän rasitukset ja mobilisoituneet maanpaineet.
4. Maanpaineiden mitoitusarvot saadaan kertomalla kohdassa 3. lasketut arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla  $\gamma_G$ .
5. Tukireaktioiden ja seinän rasitusten mitoitusarvot saadaan joko laskemalla ne kohdan 4 mukaisilla maanpaineiden mitoitusarvoilla tai kertomalla kohdassa 3 lasketut tukireaktiot, seinän rasitukset arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla  $\gamma_G$ . Esitetyt vaihtoehdot johtavat samaan tulokseen, mikäli jännitykset pysyvät lineaarisesti kimmoisella alueella. Mikäli sallitaan seinän plastisoituminen, tehdään laskelmat ensin esitetyn vaihtoehdon mukaan.
6. Yhdeltä tasolta tuetun tukiseinän upotussyvyyden riittävyys varmistetaan tarkastamalla, että ylimmän ankkuripisteen suhteen lasketun kaatavan momentin mitoitusarvo on pienempi kuin pystyssä pitävän momentin mitoitusarvo. Aktiivipainetta käsitellään kuormana, taulukko A.3a(FI). Passiivipainetta voidaan käsitellä joko kuormana tai kestävyutenä, taulukko A.13(FI). Pysyvien tukirakenteiden osalta passiivipainetta käsitellään kestävyutenä. Laskelma voidaan tehdä myös liukupintalaskelmana mitoitusmenetelmällä DA3. Tällöin pitää yleensä käyttää vapaamuotoisia liukupintoja.

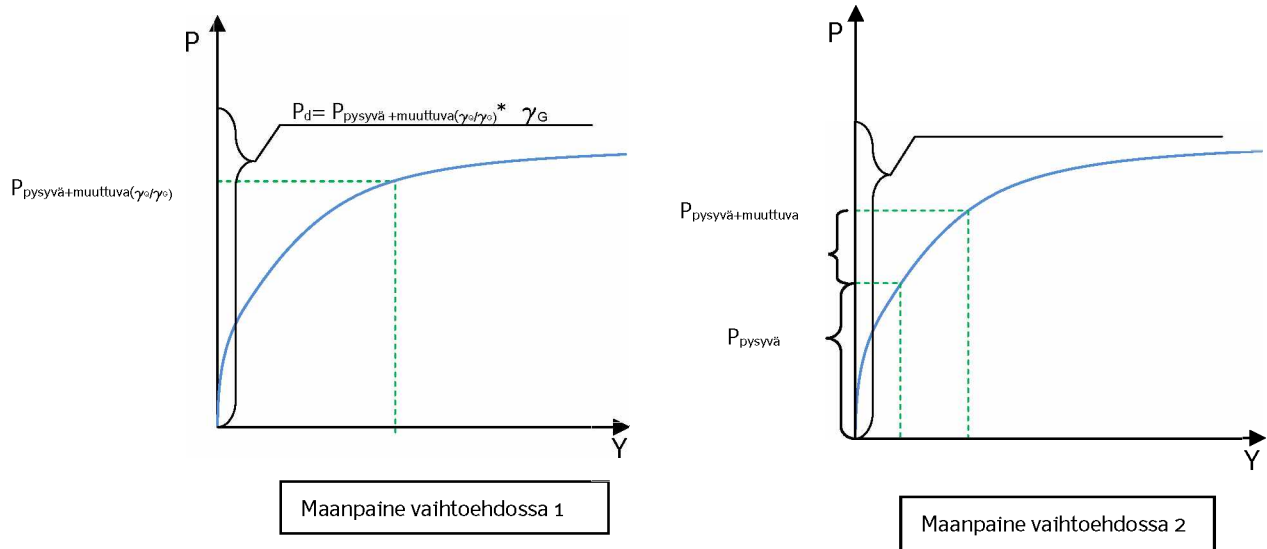
---

Laskenta voidaan suorittaa myös seuraavasti:

#### Vaihtoehto 2

1. Maaparametreille, vedenpaineille käytetään niiden ominaisarvoja ja pysyville ja muuttuville kuormille käytetään niiden nimellisarvoja.
2. Edellä esitetyillä arvoilla lasketaan tukireaktiot, seinän rasitukset ja mobilisoituneet maanpaineet ilman muuttuvia kuormia. Näin saadaan pysyvien kuormien vaikutusten ominaisarvot.
3. Toisessa vaiheessa lasketaan kaikilla kuormilla, tukireaktiot, seinän rasitukset ja mobilisoituneet maanpaineet. Näin saadaan kaikkien kuormien vaikutusten ominaisarvot.
4. Lasketaan muuttuvien kuormien aiheuttamat tukireaktioiden, seinän rasitusten ja mobilisoituneiden maanpaineiden ominaisarvot kohtien 2 ja 3 erotuksena.
5. Maanpaineiden mitoitusarvot saadaan kertomalla kohdassa 2 lasketut arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla  $\gamma_G$  ja lisäämällä niihin kohdassa 4 lasketut arvot kerrottuna muuttuvan kuorman osavarmuusluvulla  $\gamma_Q$ .
6. Tukireaktioiden ja seinän rasitusten mitoitusarvot saadaan joko laskemalla ne kohdan 5 mukaisilla maanpaineiden mitoitusarvoilla tai kertomalla kohdassa 2 lasketut tukireaktiot ja seinän rasitukset arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla  $\gamma_G$  (taulukko A.3a(FI)) ja kohdassa 4 lasketut tukireaktiot ja seinän rasitukset arvot muuttuvan kuorman osavarmuusluvulla  $\gamma_Q$  (taulukko A.3a(FI)). Esitetyt vaihtoehdot johtavat samaan tulokseen, mikäli jännitykset pysyvät lineaarisesti kimmoisella alueella. Mikäli sallitaan seinän plastisoituminen, tehdään laskelmat ensin esitetyn vaihtoehdon mukaan.
7. Yhdeltä tasolta tuetun tukiseinän upotussyvyyden riittävyys varmistetaan tarkastamalla, että ylimmän ankkuripisteen suhteen lasketun kaatavan momentin mitoitusarvo on pienempi kuin pystyssä pitävän momentin mitoitusarvo. Aktiivipainetta käsitellään kuormana, taulukko A.3a(FI). Passiivipainetta voidaan käsitellä joko kuormana tai kestävyysnä, taulukko A.13(FI). Pysyvien tukirakenteiden osalta passiivipainetta käsitellään kestävyysnä. Laskelma voidaan tehdä myös liukupintalaskelmana mitoitusmenetelmällä DA3. Tällöin pitää yleensä käyttää vapaamuotoisia liukupintoja.

Edellä esitetyillä laskentavaihtoehdoilla ei päädytä samaan tulokseen. Tämä johtuu siitä, että vaihtoehdossa 1. muuttuvaan kuormaan kohdistetaan heti laskennan alussa osa varmuudesta ( $= \gamma_Q/\gamma_G$ ). Tällöin laskennan epälineaarisuudesta johtuen päädytään vaihtoehdossa 1. suurempiin mitoitusarvoihin kuin vaihtoehdossa 2. Eron suuruus riippuu muuttuvan ja pysyvän kuorman suhteesta. Vaihtoehdon 1. etuna on laskelmien yksinkertaisuus.



Kuva 5.2. Maanpaineen tarkastelu laskentavaihtoehdoissa 1 ja 2

#### 5.4.1.6 Tukimuurin mitoitus STR/GEO DA2\*, DA3

Maanpinnan tasona tukimuurin edessä käytetään alimmillaan anturan alapinnan taso. Tukimuurin edessä olevaa maata saa laskelmissa käyttää hyväksi vain, jos voidaan olettaa sen säilyvän koko rakenteen suunnitellun käyttöiän.

Tukimuurin mitoitus käsittää kokonaisstabiliteetin, kantokestävyyden, liukumisen ja kaatumisen (kallionvarainen) sekä rakenteellisen kestävyuden tarkastuksen.

Kokonaisstabiliteetin tarkastus tehdään yleensä liukupintalaskelmalla. Mitoitusmenetelmä on DA3 (vrt. kappale 5.5.1).

Varmuus sisällytetään maanpaineiden laskentaan samalla periaatteella kuin taipuisalle tukiseinälle vaihtoehdon 1 mukaan. Maanpaineita käsitellään kuormina. Muurin rakenteellinen mitoitus tehdään aina lepopaineelle.

Kantokestävyyden, kaatumisen ja liukumisen tarkastus tehdään samoin kuin anturaperustuksilla. Mitoitusmenetelmä on DA2\* (vrt. kappale 5.1). Laskelmissa pitää huomioida kappaleessa 4.2 esitetyt asiat.

#### 5.4.1.7 Siltapilarit ja pylvääät

Penkereessä tai pengerluiskassa sijaitsevien pilarien, pylväiden, tukimuurien tms. mitoituksessa on voimassa seuraavaa periaate:

*Mikäli penkereen liike on nolla ilman tarkasteltavaa rakennetta tai rakenne liikkuu vapaasti penkereen mukana, on maanpaineiden kuormitusresultantti rakenteen suhteen nolla.*

Edellä mainitun ehdon voidaan katsoa toteutuvan, jos luiska toteuttaa kohdan 5.5 'Luiskat ja maanvaraiset penkereet' mukaisen käyttörajatilan ehdot (kappale 5.5.2).

Edellisen lisäksi pitää huomioida rakentamisen vaikutus. Mikäli penger rakennetaan siten, että pilarin eri puolille ei muodostu yli 1,0 m korkeuseroja rakentamisvaiheessa ja tiivistys tehdään samalta tasolta tasaisesti pilarin joka puolella, voidaan olettaa, ettei rakentamisesta aiheudu pilariin maanpaineresultanttia.

Mikäli penger ei ole stabiili ilman tarkasteltavaa rakennetta tai tarkasteltava rakenne ei liiku vapaasti penkereen mukana, vaikuttaa pilariin maksimissaan passiivipaineen  $P_p$  suuruinen maanpaine. Pilariin kohdistuva passiivipaine  $P_p$  saadaan kaavasta:

$$P_p = 3,0 \dots 4,4 \cdot \gamma \cdot z \cdot D \cdot K_p \quad (\text{kN/m}) \quad (5.16)$$

Kaavassa  $D$  on pilarin sivumitta tai halkaisija. Kerrointa 4,4 käytetään mitoitettaessa maan kuormittamaa rakennetta ja kerrointa 3,0 käytetään määrittettäessä rakenteesta penkereeseen kohdistuvaa tukevaa voimaa.

#### 5.4.2 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Siirtymien maksimiarvot määräytyvät ympäristön ja tuettavan rakenteen mukaan. Ympäristön siirtymien laskenta perustuu rakenteen siirtymiin.

Edellä mainitun siirtymätarkastelun lisäksi pitää pysyvien rakenteiden osalta kohdan 5.5.2 'Käyttörajatilan' ehtojen toteutua. Sama vaatimus on voimassa rakennusaikaisen rakenteiden osalta, mikäli liikkuvan maamassan alueella on siirtymille herkkiä rakenteita.

## 5.5 Luiskat ja maanvaraiset penkereet

Tässä luvussa käsitellään maapohjan kokonaisstabiliteetin ja siirtymien laskentaa. Tyypillisiä kohteita ovat penkereet, leikkaukset, kaivannot ja tukirakenteet.

Pohjaveden- ja vapaanvedenpinnan taso tulee valita siten, että ne edustavat kyseisessä mitoitusstilanteessa epäedullisimpia mahdollisia tasoja. Kuivatusjärjestelmien rikkoontumisen mahdollisuus ja sen vaikutukset tulee huomioida.

Laskentamallissa tulee huomioida kerrokset, joiden leikkauslujuus on merkittävästi muita kerroksia heikompi. Tällöin saattaa olla tarpeen käyttää vapaamuotoisia liukupintoja.

Laskentamallissa tulee huomioida eri kerrosten lujuus-muodonmuutosominaisuudet siten, että laskennassa käytetään lujuuksia, jotka mobilisoituvat samoilla siirtymillä.

Kun käytetään kevyitä materiaaleja, kuten kevytsoraa, polystyreeniä tai vaahtobetonia pitää noste huomioida pitkäaikaisessa (vettynyt) ja lyhytaikaisessa (ei vettynyt) tilanteessa.

Mikäli ei ole mahdollista laskelmin osoittaa, että murto- tai käyttörajatilojen esiintyminen on riittävän epätodennäköistä, tulee maapohjaa tarkkailla asianmukaisilla laitteilla. Seurannan järjestäminen, tulosten analysointi ja toimenpiteet hälytysrajojen ylittyessä on esitettävä suunnitelmassa.

Eroosiolle alttiit luiskapinnat pitää suojata.

### 5.5.1 Murtorajatila STR/GEO DA3

Ensimmäisenä tehdään aina laskelma ominaisarvoilla, jolloin saadaan käsitys kokonaisvakavuuden suuruusluokasta. Toinen merkittävä seikka on murtopinnan paikka. Osavarmuuslukujen käyttö saattaa muuttaa merkittävästi murtopinnan paikkaa ominaisarvoilla lasketusta. Tällöin pitää tarkastaa murtoehdon toteutuminen alkuperäisellä ominaisarvojen mukaisella murtopinnalla. Harkinnan mukaan voidaan tämän murtopinnan antamaa tulosta käyttää varmuustason tarkastukseen.

Kokonaisvakavuus lasketaan STR/GEO rajatilassa mitoitusmenetelmällä DA3. Osavarmuusluvut kohdistetaan heti laskennan alussa muuttuviin kuormiin ja maaparametreihin. Osavarmuuslukuina käytetään kuormien osalta taulukon A.3b(FI) arvoja ja maaparametrien osalta taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja.

Kokonaisvakavuuden mitoitus perustuu epäyhtälöön:

$$E_d \leq R_d \quad (5.17)$$

Missä  $E_d$  on kuormien vaikutusten mitoitusarvo ja  $R_d$  kestävyysmitoitussarvo. Tavanomaisessa lamellimenetelmällä tapahtuvassa liukupintatarkastelussa  $E_d$  on kaatan momentin mitoitusarvo ja  $R_d$  on vakauttavan momentin mitoitusarvo. Laskennan tuloksena saadaan  $R_d/E_d$  jota kutsutaan osavarmuuksia käytettäessä nimellä ylimeritoituskerroin ODF (ominaisarvoilla laskettaessa kyseessä on kokonaisvarmuuskerroin). Vaatimuksena on  $ODF \geq 1,0$ .

### 5.5.2 Käyttörajatila

Liitteen 1. taulukoissa A.3b(FI) ja A.4(FI) esitettyjä arvoja käytetään murtorajatilan tarkastuksessa.

Koska maapohjan siirtymien laskenta on melko työlästä ja epätarkkaa, on usein käytetty korkeampaa murtorajatilan varmuustasoa tapauksissa, joissa maapohjan siirtymillä on merkitystä ja tällä korvattu siirtymien laskenta. Tällaisia ovat mm. tilanteet, joissa plastisten siirtymien alueella sijaitsee rakenteita. Taulukossa 5.3 on esitetty em. korvaavassa käyttörajatilatarkastelussa käytettävät osavarmuusluvut.

Taulukko 5.3 Käyttörajatilatarkastelussa käytettävät maapohjan lujuusparametrien osavarmuusluvut stabiliteetin laskentaan

Maaparametrit	Merkintä	Sarja M2*
Leikkauskestävyysskulma <sup>a</sup>	$\gamma_{\varphi'}$	1,65
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,65
Suljettu leikkauslujuus	$\gamma_{cu}$	1,8
Yksiaksiaalinen puristuskoe	$\gamma_{qu}$	1,8
Tilavuuspaino	$\gamma_{\gamma'}$	1

<sup>a</sup> tällä luvulla jaetaan  $\tan \varphi'$

Kuormien osavarmuuslukuina käytetään arvoa 1,0. Laskentaan sisällytetään pysyvät kuormat sekä muuttuvat kuormat, mikäli niiden vaikutusaika on riittävän pitkä muodonmuutosten syntymisen kannalta. Edellisen perusteella laskentaan sisällytetään esim. tieliikennekuorma sekä junakuorma liikennepaikoilla. Sen sijaan liikennepaikojen ulkopuolella ei laskentaan sisällytetä junakuormaa, koska kuorman vaikutusajan oletetaan olevan niin lyhyt, ettei siirtymiä ehdi tapahtua.

Edellisen lisäksi pitää myös tehdä murtorajatilat mukaiset tarkastelut.

## 5.6 Hydraulinen murtuminen ja pohjan nousu

### 5.6.1 Hydraulinen murtuminen HYD

Tässä kappaleessa käsitellään hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista. Hydraulinen nousun aiheuttama murtuminen tapahtuu, kun ylöspäin suuntautuvat suoto-voimat vaikuttavat vasten maanpainoa, vähentäen tehokkaan pystyjännityksen nol- laan. Tällöin pystysuuntainen vedenvirtaus nostaa maapartikkelit irti toisistaan ja maa menettää kokonaan lujuutensa.

Herkimpiä maalajeja hydrauliselle nousulle ovat tasarakeiset karkeat siltit ja hienot hiekat.

Tarkastelussa pitää ottaa huomioon:

- ohuet maakerrokset, joilla on alhainen vedenläpäisevyys
- tilavaikutukset, kuten kapeat tai muuten pohjapinnaltaan rajatut kaivannot
- vedenpitojen ja paineiden ajalliset ja paikalliset vaihtelut
- mahdolliset reunaehtojen muutokset.

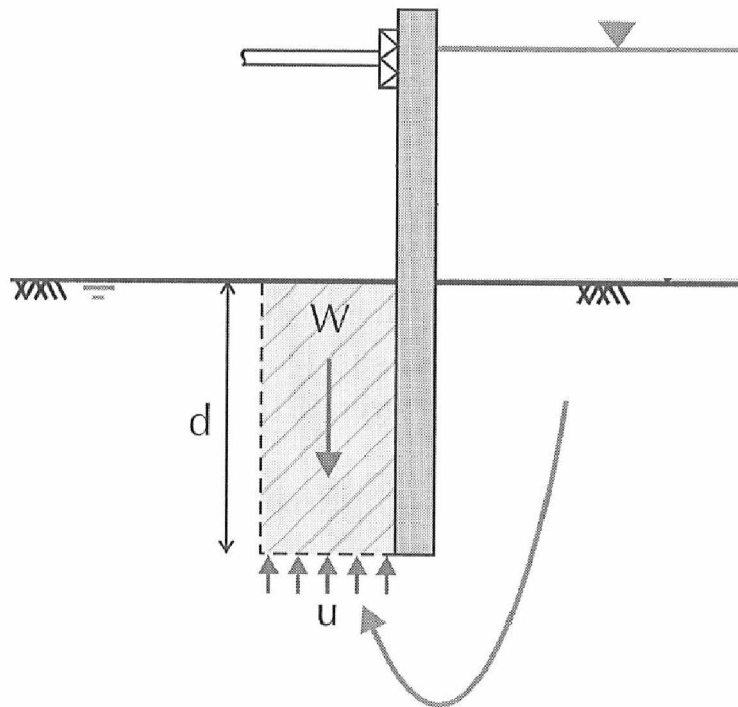
Hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista voidaan estää esimerkiksi seuraavilla keinoilla:

- suotovirtausmatkan pidentäminen
- vedenpaineiden alentaminen nousulle alttiiden maamassojen alapuolella
- vastustavan painon kasvattaminen

Hydraulisen murtumisen vaara tarkastetaan rajatilassa HYD, vrt. 3.4.6.2. Tarkastus perustuu epäyhtälöön:

$$U_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (5.18)$$

Missä  $u_{dst;d}$  on maaprisman (kuvassa 5.3 varjostettu alue) pohjalla vaikuttava huokosvedenpaine ja  $\sigma_{stb;d}$  on maaprisman painon aiheuttama kokonaisjännitys samassa tasossa. Ehdon pitää toteutua kaikille mahdollisille maaprismoille. Huokosvedenpainetta ja maan kokonaisjännitystä tarkastellaan kuormina ja osavarmuusluvut kohdistetaan niiden edustaviin arvoihin. Osavarmuuslukuina käytetään taulukon A.17(FI) arvoja. Kestävyyttä ei huomioida. Tarkastus voidaan tehdä myös vertaamalla suotovirtausvoimaa ja prisman nosteellista painoa, vrt. 3.4.6.2.



Kuva 5.3 Esimerkki kaivannon pohjan hydraulisen nousun tarkastamisesta

Vakavuus hydraulista nousua vastaan ei välttämättä estä sisäistä eroosiota, vaan se on tarvittaessa tarkastettava erikseen.

### 5.6.2 Nosteen aiheuttama murtuminen UPL

Tässä kappaleessa käsitellään rakenteisiin tai huonosti vettäläpäisevän maakerroksen alapintaan vaikuttavan vedenpaineen aiheuttamaa murtumista.

Murtuminen tapahtuu, kun huokosvedenpaine rakenteen tai huonosti vettäläpäisevän maakerroksen alapinnassa tulee suuremmaksi, kuin kuormittavien rakenteiden ja maakerrosten paino lisättyinä ulkoisten pysyvien voimien summalla.

Tarkastelussa pitää ottaa huomioon:

- vedenpitojen ja paineiden ajalliset ja paikalliset vaihtelut
- mahdolliset reunaehtojen muutokset

Hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista voidaan estää esimerkiksi seuraavilla keinoilla:

- vedenpaineiden alentaminen rakenteen kuivatuksella\*
- rakenteen painon kasvattaminen
- rakenteen ankkurointi

\*Kaukalo- ja kalvorakenteissa voidaan käyttää ulkopuolista salaojitusta rajaamaan pohjavedenpinnan tasoa. Tällöin rakenteen yläreuna sijoitetaan mitoittavaan vedenpintaan ja salaojat vähän sen alapuolelle. Myös kaukalon alle tulee rakentaa luotettava salaojitus ja suodatinkerros. Järjestelmän tulee toimia myös talvella maan ollessa roudassa.

Nosteen aiheuttaman murtumisen vaara tarkastetaan kokonaistilavuuspainojen perusteella laskettujen voimien ja kestävyysien perusteella. Murtumisen vaara tarkastetaan rajatilassa UPL, vrt. 3.4.6.2. Tarkastus perustuu epäyhtälöön:

$$G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (5.19)$$

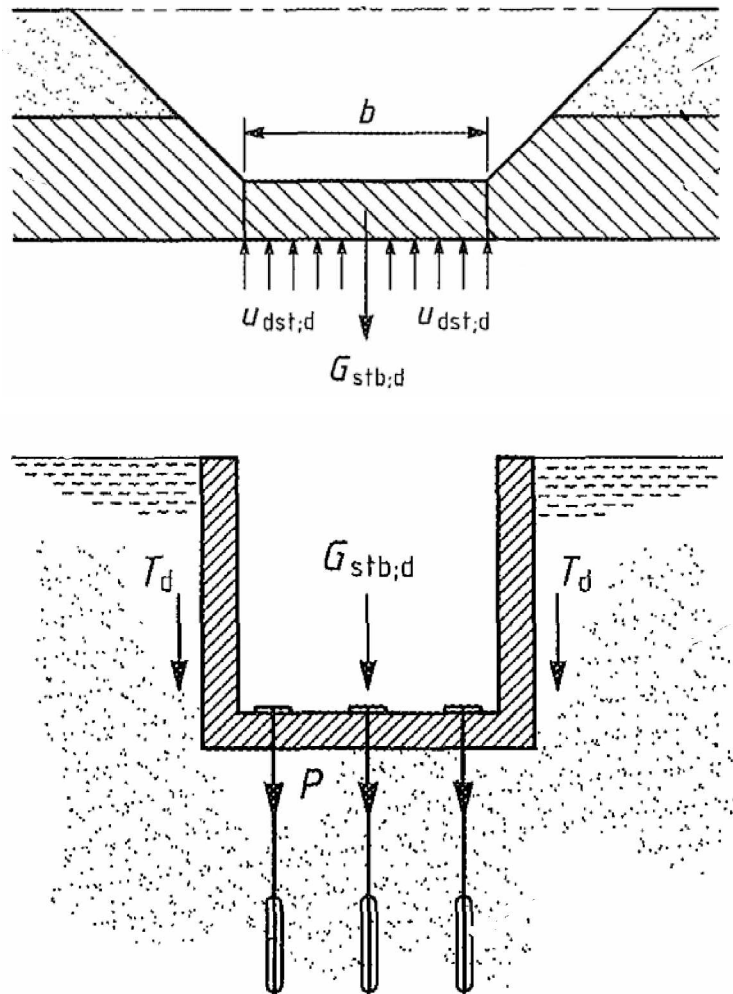
Yhtälössä tarkastetaan, että pystysuorien kaatavien pysyvien ( $G_{dst;d}$ ) ja muuttuvien kuormien mitoitusarvojen ( $Q_{dst;d}$ ) summa on pienempi tai yhtä suuri kuin vakauttavien pysyvien pystysuorien kuormien mitoitusarvon ( $G_{stb;d}$ ) ja kestävyysmitoitustarvon ( $R_d$ ) summa. Kaatavia pystysuoria voimia ovat yleensä rakenteen tai huonosti vetäläpäisevän maakerroksen alapintaan vaikuttavan vedenpaineen resultantti. Pysyviä vakauttavia pystysuoria voimia on yleensä rakenteen paino. Kestävyys muodostuu esimerkiksi sivukitkasta, vetopaaluista tai ankkureista.

Osavarmuuslukuina käytetään taulukoiden A.15(FI) ja A.16(FI) arvoja.

Kestävyys  $R_d$  osalta osavarmuusluvut kohdistetaan maan ominaisuuksiin ja vedettyjen rakenteiden kestävyysiin. Kestävyyttä voidaan myös käsitellä pystysuorana kuormana. Tällöin sen edustava arvo kerrotaan vakauttavana pysyvänä kuorman osavarmuusluvulla

Kuvassa 5.4 on esitetty kaksi tyypillistä esimerkkiä rakenteista, joissa nosteen aiheuttama murtuminen saattaa tulla kyseeseen. Ylemmässä kuvassa verrataan pohjavedenpaineen mitoitusarvoa  $u_{dst;d}$  ja leikkauspohjan alla olevan vettä huonosti läpäisevän kerroksen painon mitoitusarvoa  $G_{stb;d}$ . Harkinnan mukaan voidaan kapeissa leikkauksissa huomioida myös ylösnousevan maan lujuus. Alemmassa kuvassa verrataan kaukalon painon  $G_{stb;d}$ , leikkauskestävyyden mitoitusarvon  $T_d$  ja ankkurien kestävyysmitoitustarvon  $P_d$  summaa kaukalon pohjaan kohdistuvaan pohjavedenpaineen mitoitusarvoon  $u_{dst;d}$ .





Kuva 5.4 Ylemmässä kuvassa on esitetty nosteen aiheuttaman murtumisen vaaran toteaminen leikkauksessa ja alemmassa kuvassa ankkuroidussa kaukalossa.

---

## 5.7 Syvästabilointi

### 5.7.1 Pohjavahvistuksena toimivat pilarit

Pilarin oletetaan toimivan pohjavahvistuksena yhteistoiminnassa maan kanssa, mikäli seuraavat ehdot toteutuvat:

- pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on korkeintaan 200 kPa
- maanleikkauslujuuden ja pilarin leikkauslujuuden suhde on korkeintaan 15.

Tällöin tarkastetaan kohteen käyttö- ja murtorajatilat kohdan 5.5 mukaan.

### 5.7.2 Pohjarakenteena toimivat pilarit

Mikäli kappaleen 5.7.1 ehdot eivät toteudu, käsitellään pilaria rakenteena. Tällöin tarkastetaan myös yksittäisen pilarin kestävyys. Tarkastelu tehdään rajatilassa STR/GEO mitoitustavan DA2 mukaan. Kuorman mitoitussarvo määritetään samoin kuin paalujen ja pilarin kestävyden mitoitussarvo lasketaan käyttäen kestävyydelle osavarmuuslukua 1,4.

## Liite 1 Osavarmuusluvut

Suomessa käytettävät osavarmuusluvut ja korrelaatiokertoimet murtorajatilassa

### Taulukko A.1(FI) - Kuormien osavarmuusluvut ( $\gamma_F$ ) (EQU)

Taulukko A.1(FI) on SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukko A2.4(A)(FI) (Sarja A) ja se korvaa SFS-EN 1997-1 taulukon A.1.

yhtälö	Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
		G		P		
6.10	1,1 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45 · (rautatieliikennekuorma)	1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	<i>tai</i>					
	1,1 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,50 · (muu määräävä muuttuva kuorma)	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45 · $\psi_{0,i}$ · (rautatieliikennekuorma) + 1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

Taulukossa esitetty esijännitys koskee vain rakenteen sisäisen jännitystilän muuttamista jännittämällä (esim. sillan päällysrakenne), mutta ei rakenteen ulkopuolisia ankkurointeja.

Pysyvän kuorman ja esijännityksen vaihtoehtoisista osavarmuusluvuista suurempaa käytetään epäedullisten ja pienempää edullisten kuormien kanssa. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

Kerroin  $\psi_{0,i}$  on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, joka saadaan SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukosta A2.1(FI) ajoneuvoliikenteen väylille, taulukosta A2.2(FI) kevyen liikenteen väylille ja taulukosta A2.3(FI) rautateille.

Osavarmuuslukujen käytön tarkemmat ohjeet ja erikoistapaukset on esitetty SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisessa liitteessä.

**Huom. 1a:** Mitoituskaavana asia voidaan ilmaista seuraavassa muodossa:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,1 \cdot G_{kj,sup} + 0,9 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P_P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma(K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \quad (6.10)$$

Yhtälössä (6.10)  $\gamma_P$ :llä on joko arvo 1,1 tai 0,9 sen mukaan, kumpi antaa epäedullisemmän vaikutuksen.  $K_{FI}$ -kerrointa käytetään vain epäedullisten kuormien yhteydessä.

Yhtälössä (6.10)  $\gamma_{Q,1}$ :llä ja  $\gamma_{Q,i}$ :llä on arvo 1,35, kun kysymyksessä on ajoneuvo- tai kevyen liikenteen kuorma, arvo 1,45, kun kysymyksessä on rautatieliikenteen kuorma ja arvo 1,50, kun kysymyksessä on joku muu muuttuva kuorma. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

$K_{FI}$  riippuu SFS-EN 1990:n liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

luotettavuusluokassa RC3  $K_{FI} = 1,1$

luotettavuusluokassa RC2  $K_{FI} = 1,0$

luotettavuusluokassa RC1  $K_{FI} = 0,9$

Luotettavuusluokkia selventävät seuraamusluokat CC3...CC1 esitetään SFS-EN 1990:n kansallisen liitteen taulukossa B1(FI): Seuraamusluokkien määrittely.

*Selostus: Koska yleensä käytetään arvoa  $K_{FI} = 1,0$ , on ko. kerroin jätetty taulukosta A.1(FI) pois. Hankekohtaisesti voidaan sopia tästä poikkeavasta  $K_{FI}$ :n arvosta.*

Tämän kansallisen liitteen merkinnät on esitetty standardin SFS-EN 1997-1:2004 kohdassa 1.6 ja standardin SFS-EN 1990:2002 kohdassa 1.6.

*Selostus: Maanpaine lasketaan tässä rajatilassa lepopaineena.*

#### Taulukko A.2(FI) – Maaparametrien osavarmuusluvut ( $\gamma_M$ ) (EQU)

Maaparametri	Merkintä	Arvo
Leikkauskestävyysskulma <sup>a</sup> (”Leikkauskestävyysskulma”)	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,25
Suljettu leikkauslujuus	$\gamma_{cu}$	1,4
Yksiaksaalinen puristuslujuus	$\gamma_{qu}$	1,4
Tilavuuspaino	$\gamma_z$	1,0

<sup>a</sup> Tällä varmuusluvulla jaetaan  $\tan \phi'$

**Taulukko A.3a(FI) – Kuormien ( $\gamma_F$ ) tai kuorman vaikutusten ( $\gamma_E$ ) osavarmuusluvut (STR/GEO, mitoitusstapa DA2<sup>(\*)</sup>)**

Taulukko A.3a(FI) on SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukko A2.4(B)(FI) (sarja B) ja se korvaa SFS-EN 1997-1 taulukon A.3 sarjan A1.

yhtälö	Pysyvät kuormat		Esi-jännitys		Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10a	1,35 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P		
<i>tai</i>						
6.10b	1,15 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · (rautatieliikennekuorma)	1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	<i>tai</i>					
	1,15 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P	1,50 · (muu määräävä muuttuva kuorma)	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · $\psi_{0,i}$ · (rautatieliikennekuorma)  + 1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

Taulukossa esitetty esijännitys koskee vain rakenteen sisäisen jännitystilän muuttamista jännittämällä (esim. sillan päällysrakenne), mutta ei rakenteen ulkopuolisia ankkurointeja.

Pysyvän kuorman ja esijännityksen vaihtoehtoisista osavarmuusluvuista suurempaa käytetään epäedullisten ja pienempää edullisten kuormien kanssa. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

Kerroin  $\psi_{0,i}$  on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, joka saadaan SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukosta A2.1(FI) ajoneuvoliikenteen väylille, taulukosta A2.2(FI) kevyen liikenteen väylille ja taulukosta A2.3(FI) rautateille.

Osavarmuuslukujen käytön tarkemmat ohjeet ja erikoistapaukset on esitetty SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisessa liitteessä.

**Huom. 1b:** Mitoituskaavana asia voidaan ilmaista siten, että kuormien yhdistelmänä käytetään epäedullisempaa kahdesta seuraavasta lausekkeesta:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot G_{kj,sup} + 0,90 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P_P \quad (6.10a)$$

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot G_{kj,sup} + 0,90 \cdot G_{kj,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P_P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \quad (6.10b)$$

Yhtälöissä  $\gamma_P$ :llä on joko arvo 1,10 tai 0,90 sen mukaan, kumpi antaa epäedullisemmän vaikutuksen.  $K_{FI}$ -kerrointa käytetään vain epäedullisten kuormien yhteydessä.

Yhtälössä 6.10b  $\gamma_{Q,1}$ :llä ja  $\gamma_{Q,i}$ :llä on arvo 1,35, kun kysymyksessä on ajoneuvo- tai kevyen liikenteen kuorma, arvo 1,45, kun kysymyksessä on rautatieliikenteen kuorma (kuormalle SW/2 tai sen sisältämille yhdistelmille 1,20) ja arvo 1,50, kun kysymyksessä on joku muu muuttuva kuorma. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

$K_{FI}$  riippuu SFS-EN 1990:n liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

luotettavuusluokassa RC3  $K_{FI} = 1,1$

luotettavuusluokassa RC2  $K_{FI} = 1,0$

luotettavuusluokassa RC1  $K_{FI} = 0,9$

Luotettavuusluokkia selventävät seuraamusluokat CC3...CC1 esitetään SFS-EN 1990:n kansallisen liitteen taulukossa B1(FI): Seuraamusluokkien määrittely.

*Selostus: Koska yleensä käytetään arvoa  $K_{FI} = 1,0$ , on ko. kerroin jätetty taulukosta A.3a(FI) pois. Hankekohtaisesti voidaan sopia tästä poikkeavasta  $K_{FI}$ :n arvosta.*

#### Taulukko A.3b(FI) – Kuormien ( $\gamma_F$ ) tai kuorman vaikutusten ( $\gamma_E$ ) osavarmuusluvut (STR/GEO, mitoitus tapa DA3)

Taulukko A.3b(FI) on SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukko A2.4(C)(FI) (sarja C) ja se korvaa SFS-EN 1997-1 taulukon A.3 sarjan A2.

yhälö	Pysyvät kuormat		Esi-jännitys		Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10	1,00	G	1,00	P	1,15 · (tieliikennekuorma) 1,15 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,25 · (raideliikennekuorma)	1,30 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	<i>tai</i>					
	1,00	G	1,00	P	1,30 · (muut muuttuvat kuormat)	1,15 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,15 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,25 · $\psi_{0,i}$ · (raideliikennekuorma)  + 1,30 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

Taulukossa esitetty esijännitys koskee vain rakenteen sisäisen jännitystilän muuttamista jännittämällä (esim. sillan päällysrakenne), mutta ei rakenteen ulkopuolisia ankkurointeja.

Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

Kerroin  $\psi_{0,i}$  on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, joka saadaan SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukosta A2.1(FI) ajoneuvoliikenteen väylille, taulukosta A2.2(FI) kevyen liikenteen väylille ja taulukosta A2.3(FI) rautateille.

Osavarmuuslukujen käytön tarkemmat ohjeet ja erikoistapaukset on esitetty SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisessa liitteessä.

**Huom. 1c:** Mitoituskaavana asia voidaan ilmaista seuraavassa muodossa:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + 1,0 \cdot P_P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

(6.10)

Yhtälössä  $\gamma_{Q,1}$ :llä ja  $\gamma_{Q,i}$ :llä on arvo 1,15, kun kysymyksessä on ajoneuvo- tai kevyen liikenteen kuorma, arvo 1,25, kun kysymyksessä on rautatieliikenteen kuorma ja 1,30, kun kysymyksessä on joku muu muuttuva kuorma. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

$K_{FI}$  riippuu SFS-EN 1990:n liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

luotettavuusluokassa RC3  $K_{FI} = 1,1$

luotettavuusluokassa RC2  $K_{FI} = 1,0$

luotettavuusluokassa RC1  $K_{FI} = 0,9$

Luotettavuusluokkia selventävät seuraamusluokat CC3...CC1 esitetään SFS-EN 1990:n kansallisen liitteen taulukossa B1(FI): Seuraamusluokkien määrittely.

*Selostus: Koska yleensä käytetään arvoa  $K_{FI} = 1,0$ , on ko. kerroin jätetty taulukosta A.3b(FI) pois. Hankekohtaisesti voidaan sopia tästä poikkeavasta  $K_{FI}$ :n arvosta.  $K_{FI}$ -kerrointa käytetään vain epäedullisesti vaikuttavien kuormien yhteydessä.*

**Huom. 2:** Katso myös standardeista SFS-EN 1992 ... SFS-EN 1999 pakkosiirtymä- tai pakko-muodonmuutostilalle käytettäviä osavarmuusluvun  $\gamma$  arvoja.

**Huom. 3:** Kaikkien samasta syystä aiheutuvien pysyvien kuormien ominaisarvot kerrotaan osavarmuusluvulla  $\gamma_{G,sup}$ , jos kuorman kokonaisvaikutus on epäedullinen ja osavarmuusluvulla  $\gamma_{G,inf}$ , jos kuorman kokonaisvaikutus on edullinen. Esimerkiksi kaikkien rakenteen omasta painosta aiheutuvien kuormien voidaan katsoa aiheutuvan samasta syystä; tämä pitää paikkansa silloinkin, kun kyseessä on erilaisia materiaaleja.

Taulukko A.4(FI) – Maaparametrien osavarmuusluvut ( $\gamma_M$ ) (STR/GEO)

Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		<i>M1</i>	<i>M2</i>
Leikkauskestävyyskulma <sup>a</sup>	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Suljettu leikkauslujuus	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Yksiakiaalinen puristuskoe	$\gamma_{qu}$	1,0	1,4
Tilavuuspaino	$\gamma_z$	1,0	1,0

<sup>a</sup> Tällä varmuusluvulla jaetaan  $\tan \phi'$

Taulukko A.5(FI) – Antura- ja laattaperustusten kestävyden osavarmuusluvut ( $\gamma_R$ )

Kestävyys	Merkintä	Sarja <i>R2</i>
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukuminen	$\gamma_{R,h}$	1,1

Taulukko A.6(FI) – Syrjäyttävien paalujen kestävyden osavarmuusluvut ( $\gamma_R$ )

Kestävyys	Merkintä	Sarja <i>R2</i>
Kärki	$\gamma_b$	1,20
Vaippa (puristus)	$\gamma_s$	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	$\gamma_t$	1,20
Vedetty vaippa:		
- lyhytaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,35
- pitkäaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,50



Taulukko A.7(FI) – Kaivettujen paalujen kestävyysluvut ( $\gamma_R$ )

<b>Kestävyys</b>	<b>Merkintä</b>	<b>Sarja R2</b>
Kärki	$\gamma_b$	1,20
Vaippa (puristus)	$\gamma_s$	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	$\gamma_t$	1,20
Vedetty vaippa:		
- lyhytaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,35
- pitkäaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,50

Taulukko A.8(FI) – CFA-paalujen kestävyysluvut ( $\gamma_R$ )

<b>Kestävyys</b>	<b>Merkintä</b>	<b>Sarja R2</b>
Kärki	$\gamma_b$	1,20
Vaippa (puristus)	$\gamma_s$	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	$\gamma_t$	1,20
Vedetty vaippa:		
- lyhytaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,35
- pitkäaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,50

Taulukko A.9(FI) – Korrelaatiokertoimet  $\xi$  ominaisarvon johtamiseksi staattisista koekuormituksista (n – koekuormitettujen paalujen lukumäärä)<sup>a,b</sup>

$\xi$ kun n =	1	2	3/50 %	4	5/100%
$\xi_1$	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
$\xi_2$	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

<sup>a</sup> Taulukkoarvot koskevat puristettuja paaluja.

<sup>b</sup> Vedettyjä paaluja mitoitettaessa taulukkoarvot (A.9(FI)) kerrotaan mallikertoimella 1,25

Taulukko A.10(FI) – Korrelaatiokertoimet  $\xi$  ominaisarvon johtamiseksi pohjatutkimustuloksista (n – koeprofiilien lukumäärä)

$\xi$ kun n =	1	2	3	4	5	7	10
$\xi_3$	1,85	1,77	1,73	1,69	1,65	1,62	1,60
$\xi_4$	1,85	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40

**Taulukko A.11(FI) – Korrelaatiokerroimet  $\xi$  ominaisarvojen johtamiseksi dynaamisista koekuormituksista<sup>a,b,c,d,e</sup> (n – koestettujen paalujen lukumäärä)**

$\xi$ kun n =	2–4 / 2–5%	5–9 / 5–40%	10–14 / 40–65%	15–19 / 65–90%	$\geq 20$ / 90–100 %
$\xi_5$	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
$\xi_6$	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

- a Taulukon  $\xi$ -arvot pätevät dynaamisille koekuormituksille (dynamic impact tests).
- b  $\xi$ -arvot voidaan kertoa mallikertoimella 0,9, kun käytetään signaalinsovitusta (signal matching).
- c  $\xi$ -arvot kerrotaan mallikertoimella 1,1 silloin, kun käytetään paalutuskaavaa ja lyönnin aikana mitataan näennäiselastinen paalun pään jousto.
- d  $\xi$ -arvot kerrotaan mallikertoimella 1,2 silloin, kun käytetään paalutuskaavaa eikä lyönnin aikana mitata paalun pään näennäiselastista joustoa.
- e Mikäli perustuksessa on erilaisia paaluja, niin samanlaisten paalujen ryhmät käsitellään erillisinä, kun paalujen lukumäärää n määritetään.

*Selostus:  $\xi$ -arvot voidaan kertoa luvulla 0,9 myös ilman signaalinsovitusta silloin, kun paalut tukeutuvat luotettavasti kallioon ja paalun kestävyys riippuu lähinnä sen rakenteellisesta kestävydestä.*

*Rakenteilla, jotka ovat riittävän jäykkiä ja lujia siirtämään kuormia ”heikoilta” paaluilta ”vahvoille” paaluille, kertoimet  $\xi_5$  ja  $\xi_6$  voidaan jakaa luvulla 1,1.*

*Lukumäärällä n tarkoitetaan geoteknisen kestävyuden kannalta samanlaisissa pohjasuhteissa tehtyjen samanlaisten paalujen mittausten lukumäärää tai osuutta paalujen kokonaismäärästä (50 %, 100 %). Kappalemäärän tai prosenttiosuuden mukaan valitaan se, jonka perusteella saadaan pienempi korrelaatiokerroin.*

*Paalutuskaavan käyttö edellyttää, että kaava on aikaisemmin todettu ko. olosuhteissa luotettavaksi ja että paalutuslaite on kalibroitu ko. työmaaolosuhteissa.*

**Taulukko A.12(FI) – Esijännitetyjen ankkurointien osavarmuusluvut ( $\gamma_R$ )**

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Tilapäinen	$\gamma_{a,t}$	1,25
Pysyvä	$\gamma_{a,p}$	1,5

Taulukko A.13(FI) – Tukirakenteiden kestävyysosavarmuusluvut ( $\gamma_R$ )

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukumiskestävyys	$\gamma_{R,h}$	1,1
Maan kestävyys	$\gamma_{R,e}$	1,5

Taulukko A.14(FI) – Kestävyysosavarmuusluvut ( $\gamma_R$ ) luiskille ja kokonaisvakaavuudelle

Kestävyys	Merkintä	Sarja R3
Maan kestävyys	$\gamma_{R,e}$	1,0

Taulukko A.15(FI) – Kuormien osavarmuusluvut ( $\gamma_F$ ) (UPL)

Kuorma	Merkintä	Arvo
Pysyvä:		
Epäedullinen <sup>a</sup>	$\gamma_{G,dst}$	1,1 $K_{FI}$
Edullinen <sup>b</sup>	$\gamma_{G,stab}$	0,9
Muuttuva:		
Epäedullinen <sup>a</sup>	$\gamma_{Q,dst}$	1,5 $K_{FI}$

<sup>a</sup> Kaatava kuorma<sup>b</sup> Vakauttava kuorma

Taulukko A.16(FI) – Osavarmuusluvut maaparametreille ja kestävyyksille (UPL)

<u>Maaparametri</u>	<u>Merkintä</u>	<u>Arvo</u>
Leikkauskestävyysskulma <sup>a</sup> ("Leikkauskestävyysskulma")	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,25
Suljettu leikkauslujuus	$\gamma_{cu}$	1,4
Vedetyn paalun kestävyys	$\gamma_{s,t}$	1,5
<u>Ankkurin kestävyys</u>	<u><math>\gamma_a</math></u>	<u>1,5</u>

<sup>a</sup> Tällä varmuusluvulla jaetaan  $\tan \phi'$

Taulukko A.17(FI) – Kuormien osavarmuusluvut ( $\gamma_F$ ) (HYD)

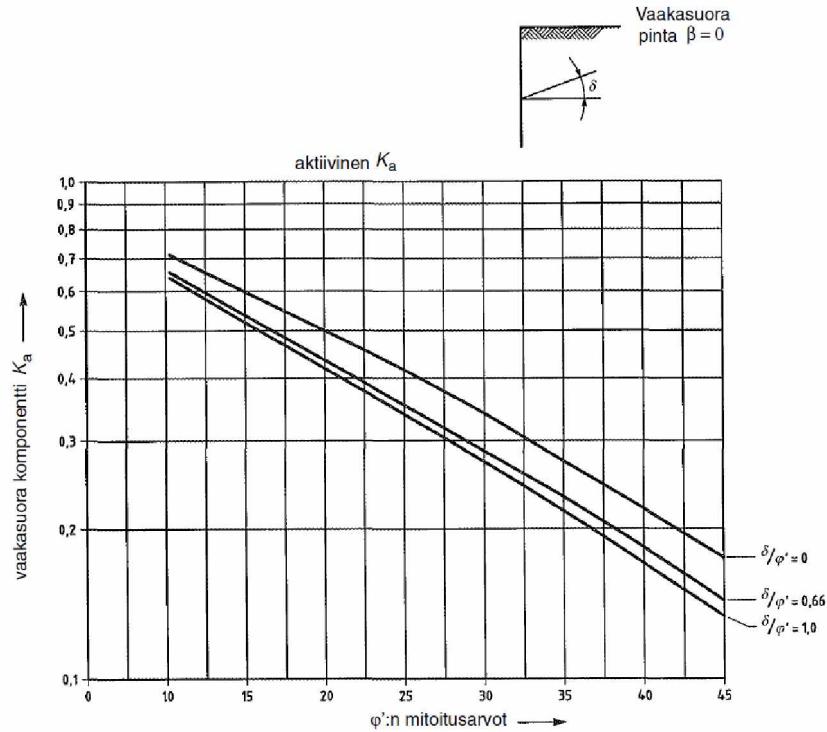
<u>Kuorma</u>	<u>Merkintä</u>	<u>Arvo</u>
Pysyvä:		
Epäedullinen <sup>a</sup>	$\gamma_{G,dst}$	1,35 $K_{FI}$ (edulliset pohjaolosuhteet)
- " -	"	1,8 $K_{FI}$ (epäedulliset pohjaolosuhteet)
Edullinen <sup>b</sup>	$\gamma_{G,spb}$	0,9
Muuttuva:		
<u>Epäedullinen<sup>a</sup></u>	<u><math>\gamma_{Q,dst}</math></u>	<u>1,5 <math>K_{FI}</math></u>

<sup>a</sup> Kaatava kuorma

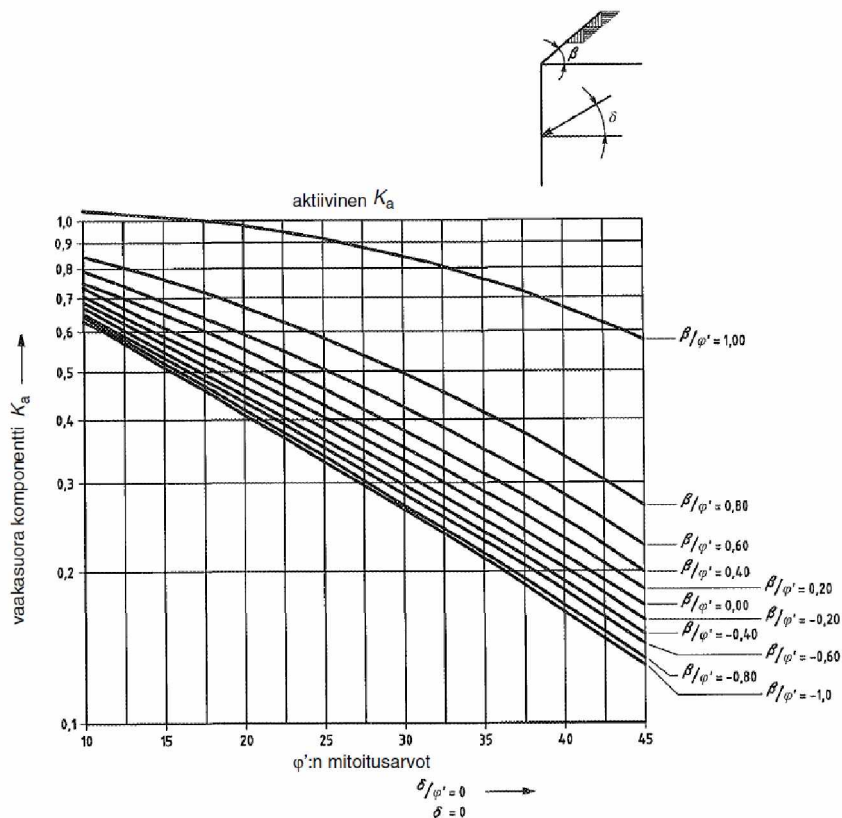
<sup>b</sup> Vakauttava kuorma



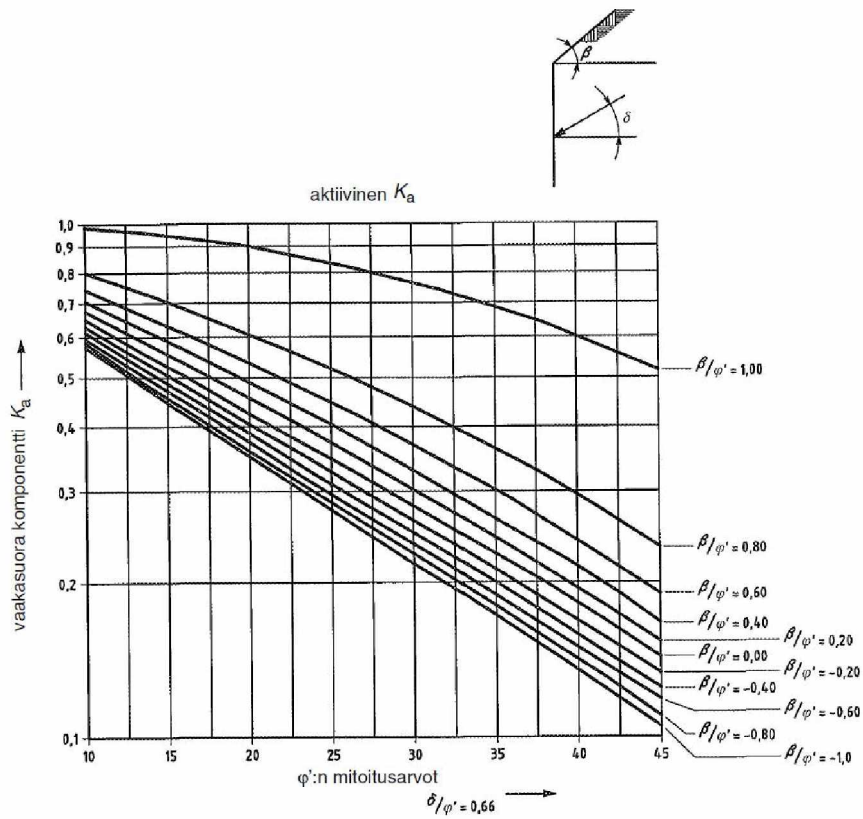
## Liite 2 Maanpainekertoimet



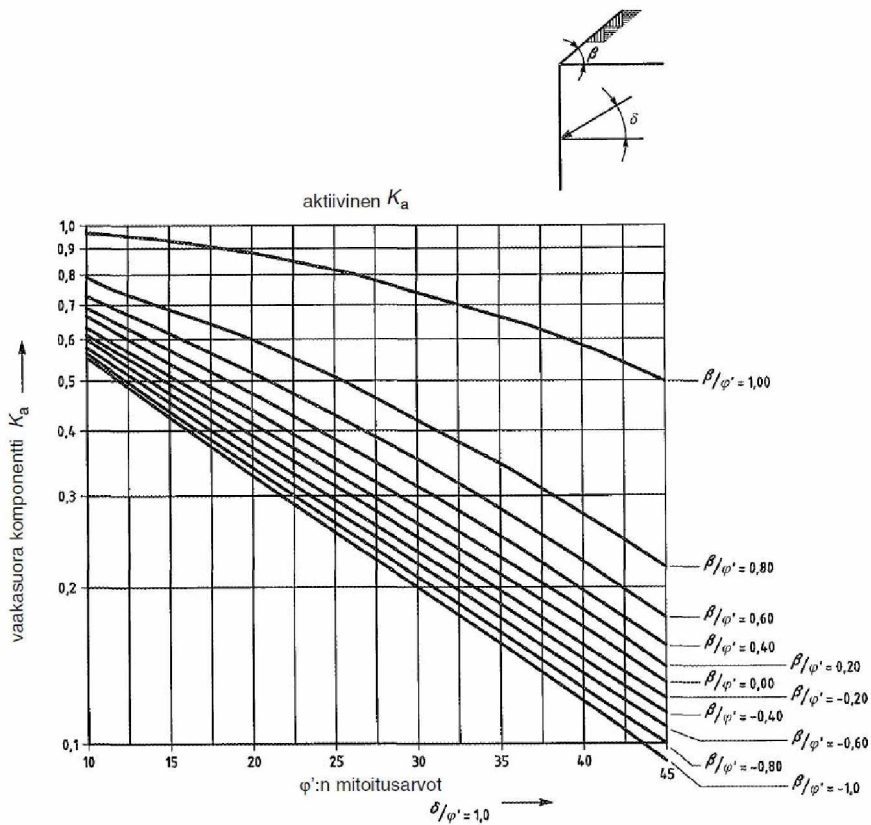
Kuva C.1.1 Kertoimet  $K_a$  aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta vaakasuora ( $\beta = 0$ )



Kuva C.1.2 Kertoimet  $K_a$  aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalvea ( $\delta/\varphi' = 0$  ja  $\delta = 0$ )

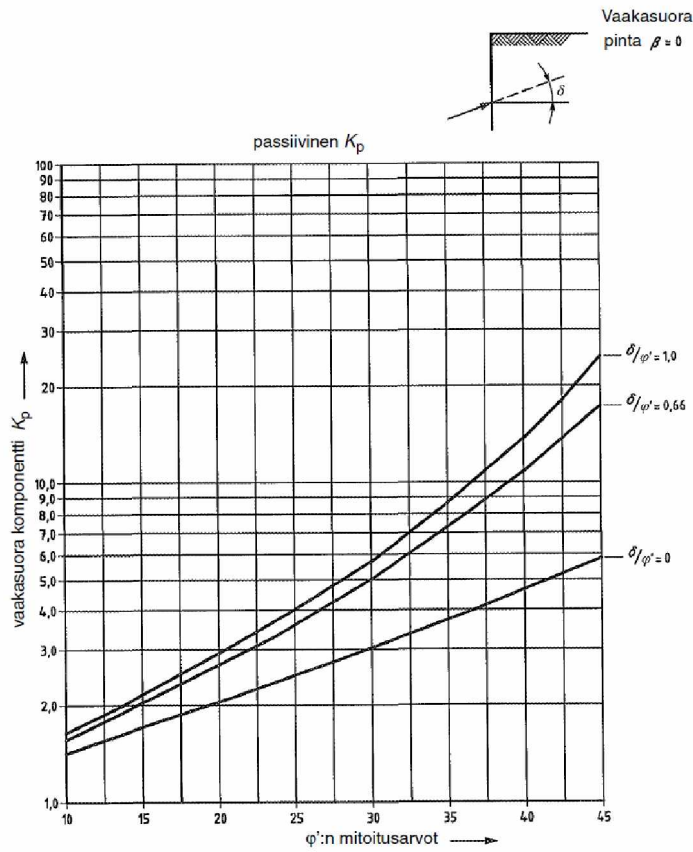


Kuva C.1.3 Kertoimet  $K_a$  aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ( $\delta/\varphi' = 0,66$ )

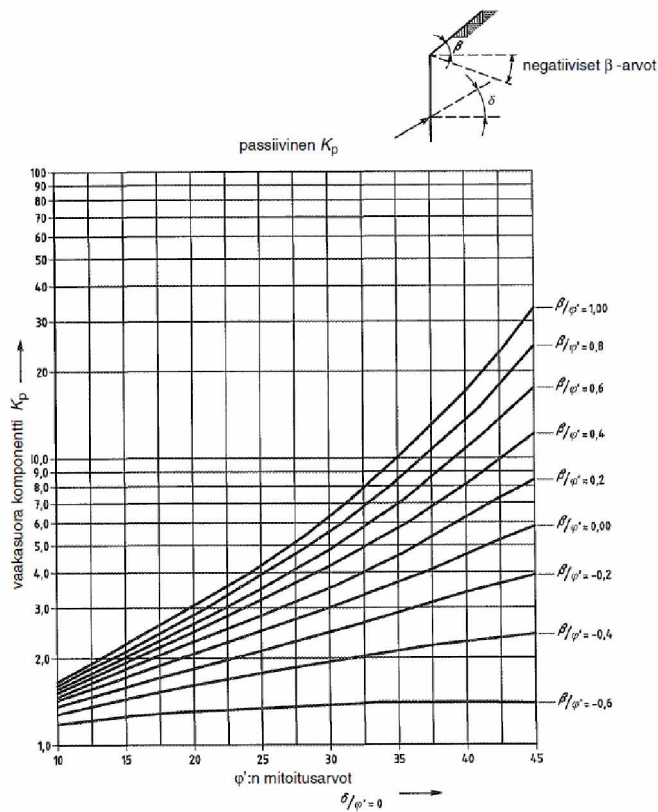


Kuva C.1.4 Kertoimet  $K_a$  aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ( $\delta/\varphi' = 1$ )

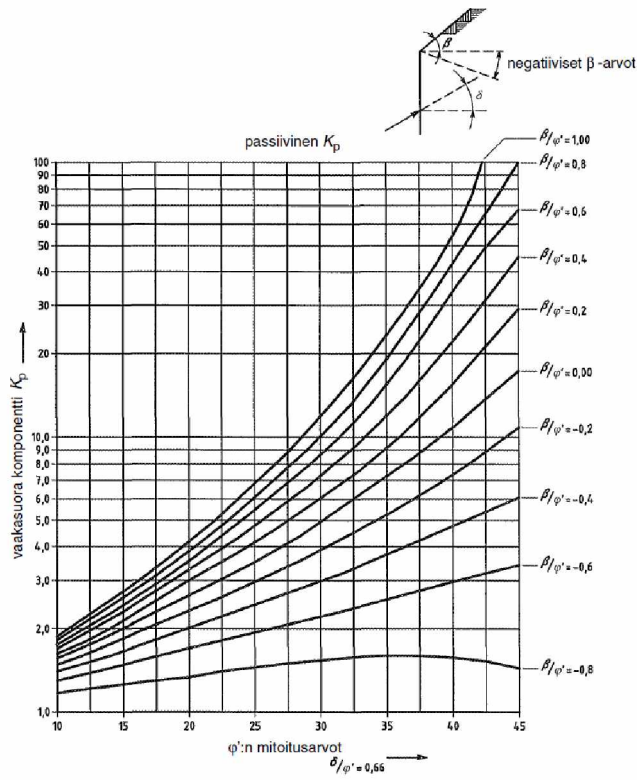




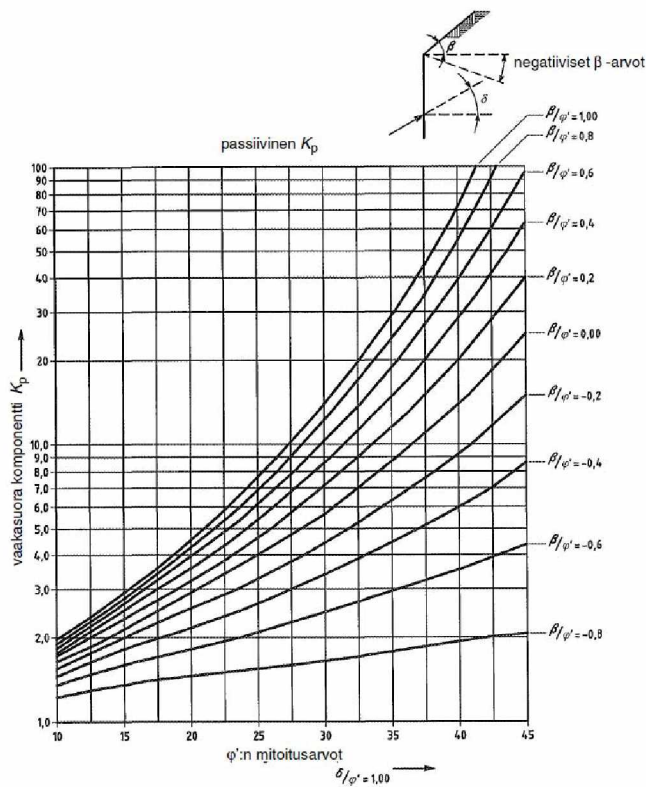
Kuva C.2.1 Kertoimet  $K_p$  passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta vaakaasuora ( $\beta = 0$ )



Kuva C.2.2 Kertoimet  $K_p$  passiiviselle maanpaineelle: tuettu maanpinta kalteva ( $\delta/\phi' = 0$  ja  $\delta = 0$ )



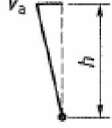
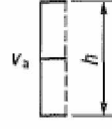
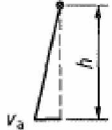
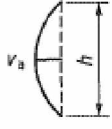
Kuva C.2.3 Kertoimet  $K_p$  passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ( $\delta/\varphi = 0,66$ )



Kuva C.2.4 Kertoimet  $K_p$  passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ( $\delta/\varphi = 1$ )

## Liite 3 Maanpaineen mobilisoituminen


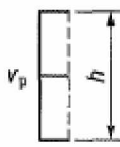

Taulukko C.1 Suhteet  $v_a/h$

Seinän liikkeen tyyppi	$v_a/h$ löyhä maa %	$v_a/h$ tiivis maa %
a) 	0,4...0,5	0,1...0,2
b) 	0,2	0,05...0,1
c) 	0,8...1,0	0,2...0,5
d) 	0,4...0,5	0,1...0,2
missä: $v_a$ on aktiivisen maanpaineen mobilisoiva seinän liike $h$ on seinän korkeus		

(2) Se tosiasia, että passiivisen rajatilan maanpaineen kehittymiseen tarvittava siirtymä kitkamaassa vaakasuuntaista maapohjaa tukevan pystysuuntaisen seinän takana on paljon suurempi kuin aktiivisen rajatilan maanpaineelle vaadittu siirtymä, otetaan huomioon. Taulukossa C.2 on esitetty suuruusluokkia suhteelle  $v_p/h$  täyden passiivisen maanpaineen mobilisoitumiseksi ja suluissa puolen raja-arvon mobilisoitumiseksi.

(3) Taulukossa C.2 esitetyt suhteellisen liikkeen arvot suurennetaan kertoimella 1,5...2,0, jos tarkastellaan vedenpinnan alapuolella oleva maapohjaa.

Taulukko C.2 Suhteet  $v_p/h$ 

Seinän liikkeen tyyppi	$v_p/h$ löyhä maa %	$v_p/h$ tiivis maa %
a) 	7 (1,5)...25 (4,0)	5 (1,1)...10 (2,0)
b) 	5 (0,9)...10 (1,5)	3 (0,5)...6 (1,0)
c) 	6 (1,0)...15 (1,5)	5 (0,5)...6 (1,3)
missä: $v_p$ on passiivisen maanpaineen mobilisoiva seinän liike $h$ on seinän korkeus		

## Liite 4 Kantokestävyys

(1) Kantokestävyuden mitoitusarvo voidaan laskea kaavasta:

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

jolloin yksiköttömät kertoimet ovat::

— kantokestävyydelle:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 (45^\circ + \varphi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \varphi', \text{ missä } \delta \geq \varphi'/2 \text{ (karhea pohja)}$$

perustuksen pohjan kaltevuudelle:

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \tan \varphi')^2$$

— perustuksen muodolle:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \varphi', \text{ suorakaiteelle}$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi', \text{ neliölle tai ympyrälle}$$

—  $s_\gamma = 1 - 0,3 (B' / L')$ , suorakaiteelle

$$s_\gamma = 0,7, \text{ neliölle tai ympyrälle}$$

—  $s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$  suorakaiteelle, neliölle tai ympyrälle

— vaakakuorman  $H$  aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \cdot \tan \varphi')$$

$$i_q = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi')]^m$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi')]^{m+1}.$$

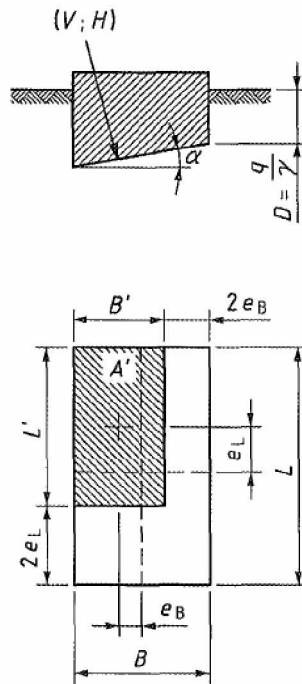
missä:

$$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } B'\text{:n suunnassa}$$

$$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } L'\text{:n suunnassa.}$$

Tapauksissa, joissa kuorman vaakakomponentti vaikuttaa suunnassa, joka muodostaa kulman  $\theta$  perustuksen tehokkaan pituuden  $L'$ :n suunnan kanssa,  $m$  voidaan laskea kaavalla:

$$m = m_{\theta} = m_L \cos^2\theta + m_B \sin^2\theta.$$



Kuva D.1 Merkinät

## Liite 5 Maantiesiltojen kuormien yhdistely (vrt. kohta 4.8.1)

TIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)											
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)											
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_11											
	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	TLEP	IL	BF	T <sub>k</sub>	F <sub>sk</sub>	gr5	gr4	gr3	gr2	gr1b	gr1a
	Jääkuorma	Jääkuorma	Laakerikitka	Lämpötila	Tuuli	LM3	ruuhka	LM1+vaaka	LM2	LM2	LM1
						1,1 / 0,9 <sup>3)</sup>	1,1 / 0,9 <sup>3)</sup>				
SET A (EQU)	Ompaino										
	Esijännitys										
SET B (STREQU)	Ompaino										
	Esijännitys										
SET A (EQU) & SET B (STREQU)	Telit										
	UDL										
	Kevyt										
	gr1a (LM1)						1,35				1,35
	gr1b (LM2)										
	gr2 (LM1+Vaaka)							1,35			
	gr3 (Kevyt)										
	gr4 (Ruuhka)										
	gr5 (LM3)										
	F <sub>sk</sub> 1)						1,35				
	T <sub>k</sub> 2)										
BF											
IL											
S 2)											
TLEP											
	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7
	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75
	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7
	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75
	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.  
2) Lämpötilakuorma/tuulipainuma voidaan jättää pois murtorajayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. materiaaliakohtaiset sovellusohjeet  
3) stabiliteetti 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom)]  
4) paikalliset vaikutukset 1,20 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom)]  
- passiivipainaneen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan  
- vedenpinnan aseman vaikutukset yhdisteliään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely)

= Määräävä muuttuva kuorma



TIESILLAT - KÄYTTÖRAJATILA - Ominaisyyshdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyyshdistelmä (6.16)																				
(6.14)										(6.15)										(6.16)
KUORMITUSYHDISTELYN MAARAAVA MUUTTUVA KUORMA																				
KRT_1a - KRT_11a										KRT_1b - KRT_11b										KRT_1c
1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	1b	2b	5b	7b	8b	9b	10b	11b	1c	
gr1a	gr1b	gr2	gr3	gr4	gr5	F <sub>wk</sub>	T <sub>k</sub>	BF	IL	TLEP	gr1a	gr1b	gr4	F <sub>wk</sub>	I	BF	IL	TLEP	-	
1										1										1
Omapaino	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Esiännitys	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Telit	1	-	-	-	-	-	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
UDL	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-
Kevyt	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-
gr1b	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gr2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gr3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
gr4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-
gr5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F <sub>wk1</sub> )	0,6	-	-	-	-	-	1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-
T <sub>k</sub>	0,6	-	0,6	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
BF	0,6	-	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
IL	0,7	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
S 2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TLEP	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle

Jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

2) tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistel

- passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

3) Onnettomuusyhdistelmässä liikennekuormaavaio LM1 otetaan huomioon (tavallisella arvolla) vain yhdellä kaistalla

= Määräävä muuttuva kuorma



Edellä olevien taulukkojen perusteet on tarkemmin esitetty Liikenneviraston Eurokoodien soveltamisohjeessa 'Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1'.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
gr1...gr5	Kuormaryhmä
$F_{wk}$	Tuulikuorma
$T_k$	Lämpötilakuorma
BF	Laakerikitka
IL	Jääkuorma
S	Tukipainuma
TLEP	Liikennekuorman maanpaine
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a'= käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b'= käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c'= käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)



# Liite 6 Rautatiesiltojen kuormien yhdistely (vrt. kohta 4.8.2)

RAUTATIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)										
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_9										
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6.10a	LM71 / SW/0	AE	ML	Fwk	Fwk & ULT <sup>6)</sup>	Tk	BF	IL	TLEP	
SET A (EQU)	Omapaino									
	Esijännitys									
SET B (STR/GEO)	Omapaino									
	Esijännitys									
	LM71 / SW/0 <sup>9)5)</sup>									
	ULT									
	T&B <sup>8)7)</sup>									
	CF <sup>5)7)</sup>									
	NF <sup>9)7)</sup>									
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	AE									
	ML									
	Fwk <sup>1)</sup>									
	Tk <sup>2)</sup>									
	BF									
	IL									
	S <sup>3)</sup>									
	TLEP									

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasjetaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.  
2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. materiaalkohtaiset sovellusohjeet)

3) stabiiliteetti 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huomi)]  
4) paikalliset vaikutukset 1,20 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huomi)]  
5) Kuormitettaessa kolmea tai useampaa raidetta, voidaan kuomat kertoa kertoimella 0,75  
6) Tarkasteltaessa liikenteen suurimpien vaaka- ja pystysuuntaisten liikennekuormien epädullisia vaikutuksia, täytyy vaikutuksiltaan edullinen pystykuorman osa kertoa kertoimella 0,5  
7) Kuorma yhdistellään pystysuuntaisen liikennekuorman kanssa siten, että yhdistelmässä on aina mukana joko T&B tai CF ja NF puolella arvoillaan (kuormaryhmitt / SFS-EN 1991-2 taulukko 6.11)  
8) Yhdistelmä otetaan huomioon vain tarkistettaessa rakenteen stabiiliutta jätettävä kappaleena  
- passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan  
- vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määrävä yhdistely

= Määrävä muuttuva kuorma



Edellä olevien taulukkojen perusteet on tarkemmin esitetty Liikenneviraston Eurokoodien soveltamisohjeessa 'Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1'.

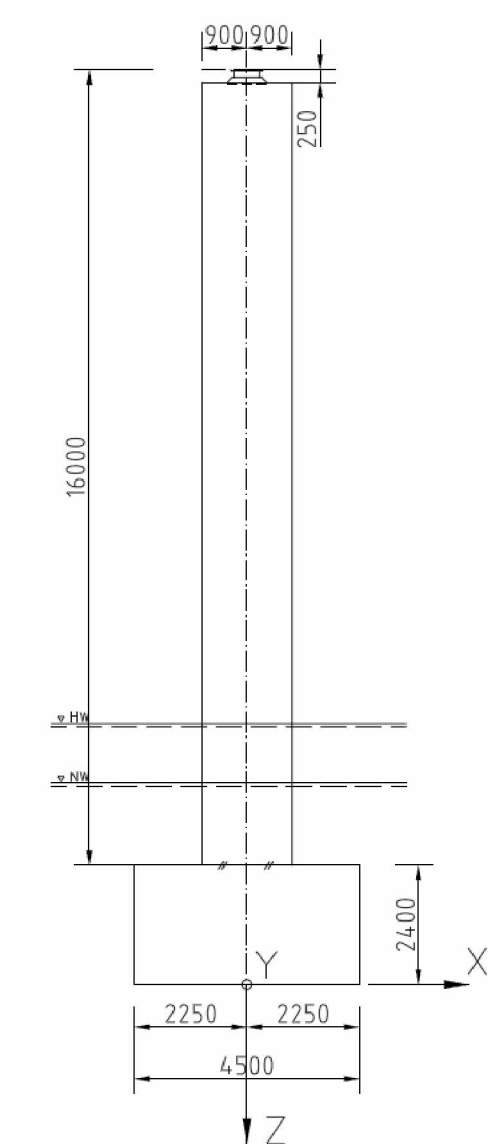
TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
LM71 / SW/o	Ratasiltojen yleiset kuormakaaviot
ULT	Kuormakaavio "kuormittamaton juna"
T&B	Vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvat kuormat
CF	Keskipakoiskuorma
NF	Sivusysäyskuorma
AE	Junien aiheuttamat aerodynaamiset kuormat
ML	Yleisöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat
F <sub>wk</sub>	
Tk	Lämpötilakuorma
BF	Laakerikitka
IL	Jääkuorma
S	Tukipainuma
TLEP	Liikennekuorman maanpaine
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a' = käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b' = käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c' = käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)



## Liite 7 Laskuesimerkit

### 1 Laskuesimerkki 1. Maanvarainen sillan välituki

#### 1.1 Mitat



Kuva 1 Maanvarainen sillan välituki

Peruslaatan oletetut mitat:

pituus  $B = 4,5$  m

leveys  $L = 5$  m

## 1.2 Kuormat ja niiden yhdistelmät

Taulukossa 1 on esitetty kuormat peruslaatan keskellä alapinnan tasossa.

Kuormien suunnat:  $F_x$  <> sillan suuntaan,  $F_y$  <> sillan poikkisuuntaan,  $F_z$  <> alaspäin (tukireaktiot).

Momenttien suunnat:  $M_x$  <> x-akselin ympäri,  $M_y$  <> y-akselin ympäri.

Taulukko 1 Kuormat, yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut

#	Kuorma	$F_x$ [MN]	$F_y$ [MN]	$F_z$ [MN]	$M_y$ [MNm]	$M_x$ [MNm]	$\psi_0$	$\gamma$	Määrävä	
									$\psi_0$	$\gamma$
	Maatuki + maat NW			3.04			(1)	1,15/0,9		
	HW			2.97			(1)	1,15/0,9	(1)	0,9
	Päällysrakenne			8.73			(1)	1,15/0,9		
	ilman lisäpäällystettä			8.34			(1)	1,15/0,9	(1)	0,9
	Jännevoiman pakkovoima			-0.44			(1)	1,1/0,9	(1)	1,15
1	gr1a max			3.11		2.13	0,4/ 0,75	1,35		
	min			-0.51		-0.04	0,4/ 0,75	1,35	0,6	1,35
3	gr2 max		0.13	1.86		3.69	0	1,35		
	min		0.13	-0.30		2.38	0	1,35		
	$F_{wk}$ (tuutikuorma)									
7	sillalle ilman liikennettä		0.23			4.12	0,6	1,5		
	liikennöidylle sillalle		0.14			2.69	0,6	1,5	0,6	1,5
8	$T_k$ max			0.08			0,6	1,5		
	min			-0.16			0,6	1,5	0,6	1,5
9	BF (laakerikitka)	0.50			8.1		0,6	1,5	1	1,5
	IL (jääkuorma)									
10	sillan suuntaan	0.31			1.75		0,7	1,5	0,7	1,5
	sillan poikkisuuntaan		0.90			5.09	0,7	1,5		
	S (tuen painuma)			0.04			(1)	1,2		

Kuormista muodostetaan käyttörajatilan ominaisyhdistelmän sekä murtorajatilan mukaiset kuormitusyhdistelmät. Ominaisyhdistelmässä kuormat kerrotaan yhdistelykertoimilla ( $\psi_0$ ) ja murtorajatilassa sekä yhdistelykertoimilla ( $\psi_0$ ) että osavarmuusluvuilla ( $\gamma$ )

Taulukko 2 Ominaisyhdistelmän mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (KRT 9a)

Ominaisyhdistelmä	$F_z$	$M_y$	$M_x$
	10.47	9.325	1.582



Taulukko 3 Murtorajatilayhdistelmän mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9)

Murtorajatilayhdistelmä	$F_z$	$M_y$	$M_x$
	9.12	13.99	2.378

Taulukko 4 Murtorajatilan mukainen suurin vaakakuorma ja vastaava pienin pystykuorma

Murtorajatilayhdistelmä	$F_x$	$F_z$
	1.08	9.12

## 1.3 Maaparametrit

Leikkauskestävyysskulma  $\varphi = 42^\circ$

Maan tilavuuspaino perustustason alapuolella  $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$

Yläpuolisen maakerroksen aiheuttama tehokas mitoituspaine perustuksen pohjan tasolla  $q' = 30 \text{ kPa}$

## 1.4 Mitoitustarkastelu

### 1.4.1 Mitoitusehto

Teholliselle pohjapinnalle laskettu pohjapaine  $\leq$  kantokestävyyden mitoitusarvo.

Vaakasorien kuormien resultantin mitoitusarvo  $\leq$  liukumista estävien kuormien mitoitusarvon ja liukumiskestävyyden summa.

### 1.4.2 Pohjapaineen laskeminen

Pystykuorman epäkeskeisyys lasketaan ominaisyhdistelmän voimasuureista

Taulukko 5

Ominaisyhdistelmä	$F_z$	$M_y$	$M_x$
	10.47	9.325	1.582

$$e_x = \frac{9,325}{10,470} = 0,891 \text{ m} < B/3 = 1,50 \text{ m} \Rightarrow \text{OK.}$$

$$e_y = \frac{1,582}{10,470} = 0,151 \text{ m}$$

Tehollinen pohjapinta-ala

$$B' = 4,5 - 2 \cdot 0,891 = 2,719 \text{ m}$$

$$L' = 5 - 2 \cdot 0,151 = 4,698$$

$$A' = 2,719 \cdot 4,698 = 12,772 \text{ m}$$

Pohjapaine teholliselle pinta-alalle lasketaan murtorajatilan kuormitusyhdistelmän mukaiselle pystykuormalle.

Taulukko 6

Murtorajatilayhdistelmä	$F_z$	$M_y$	$M_x$
	9.12	13.99	2.378

$$\sigma_0 = \frac{9,12}{12,772} = \underline{\underline{0,714 \text{ MPa}}}$$

### 1.4.3 Kantokestävyyden laskeminen

Kantokestävyyden ominaisarvo voidaan laskea kaavasta:

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Tässä tapauksessa  $c' = 0$

Kertoimet:

-kantokestävyydelle:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi / 2) = 85,4$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) = 151,9$$

-perustuksen muodolle:

$$s_q = 1 + (B'/L') \sin \varphi = 1,387$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B'/L') = 0,826$$

-vaakakuorman aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:

$$i_q = [1 - H/(V + A' c' \cot \varphi)]^m = 0,891$$

$$i_\gamma = [1 - H/(V + A' c' \cot \varphi)]^{m+1} = 0,830$$

missä:

$$m = m_B = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')] = 1,633$$

Kantokestävyyden ominaisarvo:

---

$$R_k / A' = q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma = 30 \cdot 85,4 \cdot 1 \cdot 1,387 \cdot 0,891 + 0,5 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 0,826 \cdot 0,830$$
$$= 4,86 \text{ MPa.}$$

Kantokestävyyden mitoitusarvo:

$$(R_d / A') = (R_k / A') / \gamma_R$$
$$= 4,86 / 1,55$$
$$= 3,14 \text{ MPa} > 0,714 \text{ MPa OK!}$$

#### 1.4.4 Liukumiskestävyyden laskeminen

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta

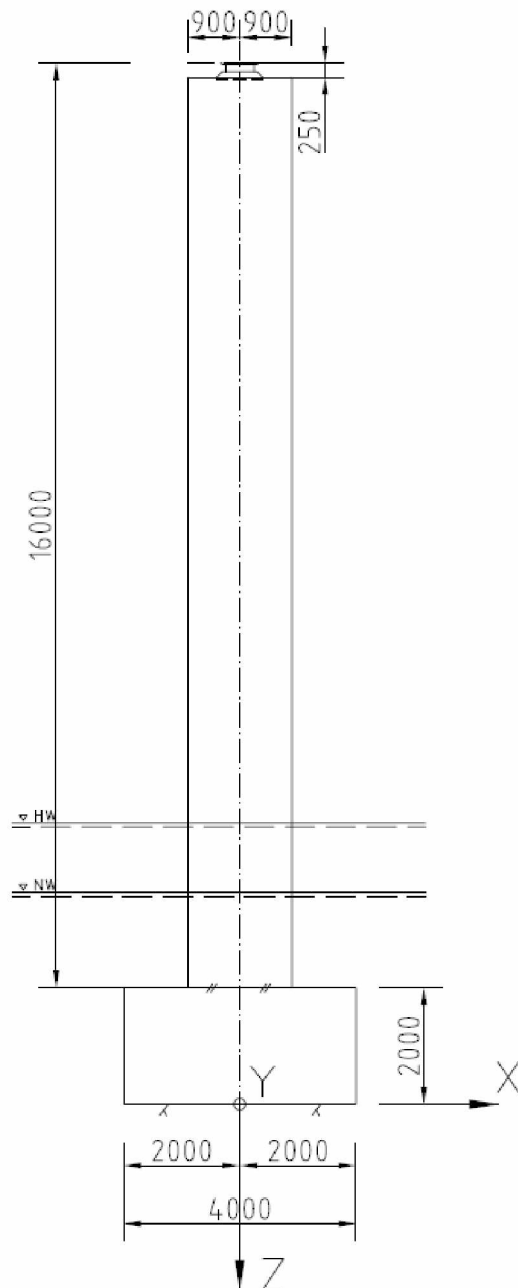
$$V_d \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h},$$

missä  $\delta_k$  on maan leikkauskestävyysskulma.  $V_d$  on pystykuormien mitoitusarvo. Liukumiskestävyyden osavarmuusluvulle  $\gamma_{R,h}$ , käytetään arvoa 1,10.

$$\frac{9,12 \cdot \tan(42^\circ)}{1,10} = 7,47 \text{ MN} > > 1,08 \text{ MN OK!}$$

## 2 Laskuesimerkki 2. Kallionvarainen sillan välituki

### 2.1 Mitat



Kuva 2 Kallionvarainen sillan välituki

Peruslaatan oletetut mitat:

pituus  $B = 4 \text{ m}$

leveys  $L = 5 \text{ m}$

## 2.2 Kuormat ja niiden yhdistelmät

Taulukossa 5 on esitetty kuormat peruslaatan keskellä alapinnan tasossa.

Kuormien suunnat:  $F_x$  <> sillan suuntaan,  $F_y$  <> sillan poikkisuuntaan,  $F_z$  <> alaspäin (tukireaktiot).

Momenttien suunnat:  $M_x$  <> x-akselin ympäri,  $M_y$  <> y-akselin ympäri.

Taulukko 7 Kuormat, yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut

#	Kuorma	$F_x$ [MN]	$F_y$ [MN]	$M_y$ [MNm]	$M_x$ [MNm]	$F_y$ [MN]	$\psi_o$	$\gamma_{GEO}$	$\gamma_{EQU}$	Määraävät		
										$\psi_o$	$\gamma_{GEO}$	$\gamma_{EQU}$
	Maatuki + maat NW		2.99				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9			
	HW		2.92				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9	(1)	0,9	0,9
	Päälysrakenne		8.73				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9			
	ilman lisäpäälystettä		8.34				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9	(1)	0,9	0,9
	Jännevoiman pakko- voima		-0.44				(1)	1,1/0,9	1,1/0,9	(1)	1,15	1,1
1	gr1a max		3.11		2.13		0,4/ 0,75	1,35	1,35			
	min		-0.51		-0.05		0,4/ 0,75	1,35	1,35	0,6	1,35	1,35
3	gr2 max		1.86		3.71	0.13	0	1,35	1,35			
	min		-0.31		2.40	0.13	0	1,35	1,35			
7	$F_{wk}$ (tuulikuorma) silta ilman liikennettä				4.17	0.23	0,6	1,5	1,5			
	liikennöidylle sillalle				2.72	0.14	0,6	1,5	1,5	0,6	1,5	1,5
8	$T_k$ max		0.08				0,6	1,5	1,5			
	min		-0.16				0,6	1,5	1,5	0,6	1,5	1,5
9	BF (laakerikitka)	0.5		8.2			0,6	1,5	1,5	1	1,5	1,5
10	IL (jääkuorma)											
	sillan suuntaan	0.31		1.81			0.7	1,5	1,5	0.7	1,5	1,5
	sillan poikkisuuntaan				5.27	0.9	0.7	1,5	1,5			
	S (tuen painuma)		0.04				(1)	1,5	1,5			

Taulukko 8 Ominaisyhdistelmän mukainen määrävä kuormitusyhdistelmä (KRT 9a)

Ominaisyhdistelmä	$F_z$	$M_y$	$M_x$
	10.420	9.467	1.600

Taulukko 9 Murtorajatilayhdistelmän GEO/STR mukainen määrävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9)

Murtorajatilayhdistelmä	$F_z$	$M_y$	$M_x$
	9,074	14.201	2.405

Taulukko 10 Murtorajatilayhdistelmän EQU mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9)

Murtorajatilayhdistelmä	F <sub>z</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>
	9.096	14.2	2.405

Taulukko 11 Murtorajatilän mukainen suurin vaakakuorma ja vastaava pienin pystykuorma

Murtorajatilayhdistelmä	F <sub>x</sub>	F <sub>z</sub>
	1.08	9.07

## 2.3 Kallion kestävyys

Kallion ominaiskestävyys on 10 MPa ja kantokestävyuden osavarmuusluku  $\gamma_{R,v} = 1,55$

## 2.4 Mitoitustarkastelu

### 2.4.1 Mitoitusehto

Jännitys peruslaatan reunalla  $\leq$  kallion kestävyuden mitoitusarvo.

Tarkastetaan varmuus kaatumista vastaan murtorajatilassa EQU

Vaakasuurien kuormien resultantin mitoitusarvo  $\leq$  liukumista estävien kuormien mitoitusarvon ja liukumiskestävyuden summa.

### 2.4.2 Jännityksen laskeminen

Ominaisyhdistelmän mukainen epäkeskeisyys

$$e_x = \frac{M_y}{R} = \frac{9,467}{10,420} = 0,909 \text{ m}$$

Jännitys peruslaatan reunalla lasketaan murtorajatilän pystykuormalle

$$\sigma = \frac{2R}{3\left(\frac{B}{2} - e_x\right)L}$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot 9,074}{3\left(\frac{4}{2} - 0,909\right)5} = \underline{\underline{1,109 \text{ MPa}}} < \frac{10}{1,55} = 6,45 \text{ MPa}$$

### 2.4.3 Varmuus kaatumista vastaan

Varmuus kaatumista vastaan tarkastellaan murtorajatilassa EQU.

Taulukko 12

Murtorajatilayhdistelmä	R	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>
	9.096	14.2	2.405

Perustusta kaatava momentti on

$$M_y = \underline{14,2 \text{ MNm}}$$

Perustusta tukeva momentti on:

$$M_{\text{stab}} = R \cdot B / 2 = 9,096 \cdot 4 / 2 = \underline{18,192 \text{ MNm}} > 14,2 \text{ MNm OK}$$

### 2.4.4 Liukumiskestävyiden laskeminen

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta

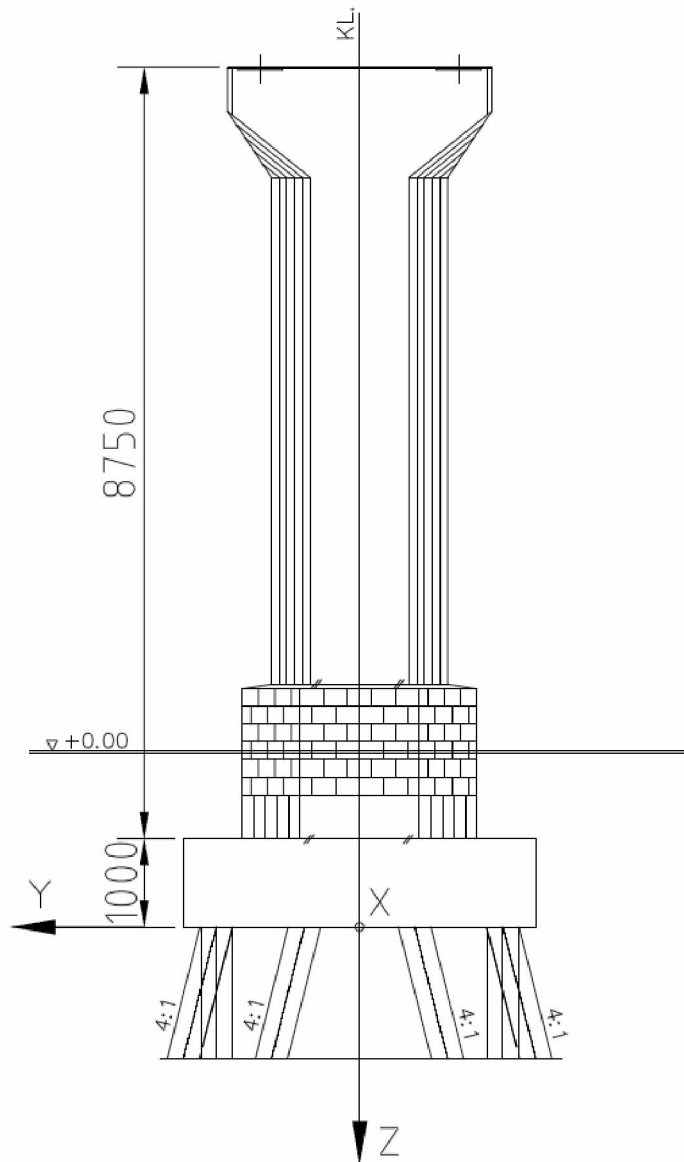
$$V_d \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h},$$

missä kertoimelle  $\tan(\delta_k)$  voidaan käyttää arvoa 1,00, koska kallionpinta on louhittu.  $V_d$  on pystykuormien mitoitusarvo. Liukukestävyiden osavarmuusluvulle  $\gamma_{R,h}$ , käytetään arvoa 1,10.

$$\frac{9,07 \cdot 1,0}{1,10} = 8,25 \text{ MN} > > 1,08 \text{ MN OK}$$

### 3 Laskuesimerkki 3. Paaluille perustettu sillan välituki

#### 3.1 Mitat



Kuva 3 Paaluille perustettu sillan välituki

Paalut:

teräspalkkipaaluja  $\Phi 711 \times 12.5$

betoni C30/37 (liittorakennepaalu)



## 3.2 Kuormat ja niiden yhdistelmät

Taulukko 13 Kuormat peruslaatan keskellä alapinnan tasossa

#	Kuorma	F <sub>x</sub> [MN]	F <sub>y</sub> [MN]	F <sub>z</sub> [MN]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>x</sub> [MNm]
	Tuen ja maan paino NW			4.7		
	Päällysrakenne			11.2		
1	gr1a Rmax			4.16		2.94
	Mmax			2.08		4.68
	Rmin			-0.40		
3	gr2 Rmax		0,1	2.50		4.67
	Mmax		0,1	1.25		5.71
	Rmin		0,1	-0.24		
7	F <sub>wk</sub> (tuulikuorma) sillalle ilman liikennettä		1.3			28.8
	liikennöidylle sillalle		0.9			20.4
8	ΔT			-0.1 +0.1		
9	BF (laakerikitka)	0.7			13.2	
10	IL (jääkuorma) sillan suuntaan	0.5			2.7	
	sillan poikkisuuntaan		1.5			7.5

Taulukko 14 Käytetyt yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut eri kuormitusyhdistelmille

#	Kuorma	KT 1		KT 2		KT 3		KT 4		KT 5		KT 6	
		γ	ψ <sub>o</sub>	γ	ψ <sub>o</sub>	γ	ψ <sub>o</sub>	γ	ψ <sub>o</sub>	γ	ψ <sub>o</sub>	γ	ψ <sub>o</sub>
	Tuen ja maan paino	1.15	1	1.15	1	1.15	1	1.2	1	0.9	1	0.9	1
	Päällysrakenne	1.15	1	1.15	1	1.15	1	1.2	1	0.9	1	0.9	1
1	gr1a Rmax	1.35	1	1.35	1	1.35	0.4/0.75						
	Mmax											1.35	0.4/0.75
	Rmin									1.35	0.4/0.75		
3	gr2 Rmax							1.35	1				
	Mmax												
	Rmin												
7	F <sub>wk</sub> (tuulikuorma) ilman liikennettä												
	liikennöidylle sillalle	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	0.6			1.5	0	1.5	1
8	T <sub>k</sub> -10°C									1.5	0.6	1.5	0.6
	+5°C	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	0.6				
9	BF (laakerikitka)	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	1	1.5	0.6	1.5	1	1.5	0
10	IL (jääkuorma) sillan suuntaan					1.5	0.7			1.5	0.7		
	poikkisuuntaan			1.5	0.7			1.5	0.7			1.5	0.7

Taulukko 15 Murtorajatilayhdistelmän GEO/STR mukaiset kuormitusyhdistelmät

Yhdistelmät	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	h <sub>Fx</sub>	h <sub>Fy</sub>
1 (MRT 1)	0.6	0.8	23.9	2.8	22.3	5	27
2 (MRT 1)	0	2.4	23.9	0	30.2	0	12.6
3 (MRT 9)	1.6	0	21.7	22.5	2.4	14.4	0
4 (MRT 3)	0.5	1.7	21.7	9.9	14.2	19.7	8.13
5 (MRT 9)	1.6	0	15.5	22.5	0	14.4	0
6 (MRT 7)	0	3.0	17.5	0	42.3	0	14.3

## 3.3 Paalutuksen laskenta

### 3.3.1 Paalun kantokestävyys

Paalun rakenteellinen kantokestävyys lyöntijännityksen perusteella:

$$R_{k,geo,max} = 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A = 0,9 \cdot 355 \cdot 0,0274 = 8,75 \text{ MN}$$

Oletetaan, että tätä voidaan pitää myös geoteknisen kestävyden keskiarvona, kun kaikki paalut PDA-mitataan eli  $R_{k,geo,max} = R_{c,m, mean}$ :

$$R_{c;k} = \frac{R_{k,geo,max}}{\xi_5} = \frac{8,75}{1,4} = 6,25 \text{ MN}$$

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma} = \frac{6,25}{1,2} = 5,2 \text{ MN}$$

Paalujen rakenteellinen kantokestävyys puristuslujuuden perusteella (korroosiovara 3 mm)

$$R_{c,d} = A_c \cdot f_{ck} / \gamma_c + A_s \cdot f_{yk} / \gamma_{Mo} = 0,370 \cdot 30 / 1,5 + 0,0208 \cdot 355 / 1,0 = 14,78 \text{ MN} \gg R_{c,d} / \text{lyöntijännitys}$$

Paalujen vetokestävyys:

Vaippakitkan ominaisarvo 20 metrin pituudella  $q_{s,k} = 12,5 \text{ kN/m}^2$

$$R_{t,k} = 20 \pi \cdot 0,71112 \cdot 5 / 1,60 = 351 \text{ kN} \quad (\text{keskiarvo} / n = 10)$$

$$R_{t,d} = 351 / 1,35 = 260 \text{ kN} \quad (\text{lyhytaikainen veto})$$

### 3.3.2 Alustava mitoitus

Paalujen lukumäärä:

Suurin vaakakuorma sillan suuntaan  $F_x = 1,6 \text{ MN}$

Oletetaan alustavasti, että puolet paalujen kapasiteetista käytetään vaakakuormien ja puolet pystykuormien ottamiseen. Paalujen kaltevuus: 4:1

$$n = \frac{F_x}{\sin \alpha \cdot R_{c,d}} \approx \frac{1,6}{\frac{1}{4} \cdot 2,6} = 2,5 \text{ paalua / sillan suuntaan vinoina} \Rightarrow 2+2 \text{ paalua}$$

(symmetria)

Suurin vaakakuorma poikkisuuntaan:  $F_y = 3,0 \text{ MN}$

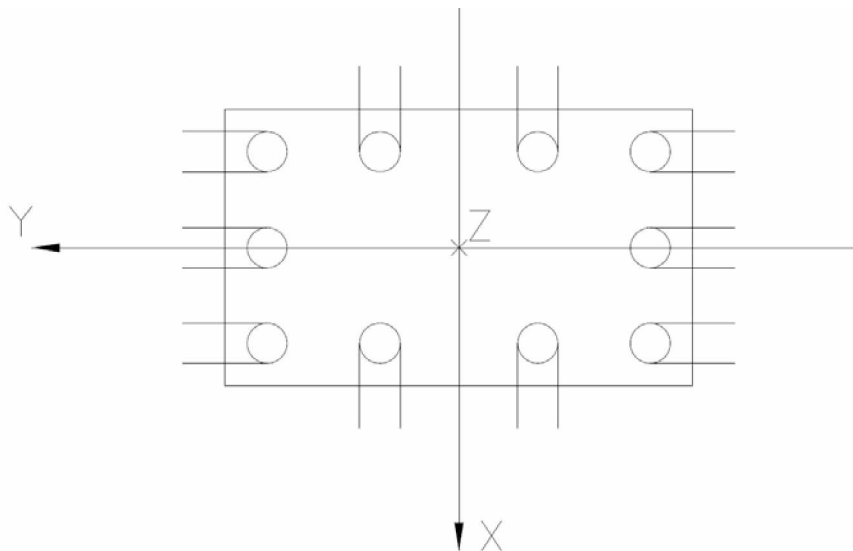
$$n = \frac{F_y}{\sin \alpha \cdot R_{c,d}} \approx \frac{3,0}{\frac{1}{4} \cdot 2,6} = 4,6 \text{ paalua / sillan poikkisuuntaan vinoina} \Rightarrow 3+3 \text{ paalua}$$

(symmetria)

Yhteensä siis  $2 \cdot (2 + 3) = 10$  paalua, kaikki 4:1 kaltevia

Suurin pystykuorma  $R = 23,9 \text{ MN}$

$$n = \frac{F_z}{\cos \alpha \cdot R_{c,d}} = \frac{23,9}{0,97 \cdot 2,6} = 9,4 \text{ paalua yhteensä} \Rightarrow 10 \text{ paalua} = (2+2) + (3+3)$$



Paalujen etäisyydet:

Kohtisuoraan siltaa vastaan:

Suurimmat vaakakuormat poikittain ovat kuormitustapauksissa 2 ja 6. Kiertokeskiön korkeus kuormitustapauksessa 2 on 12,6 m ja tapauksessa 6 on 14,3 m. Keskiarvo näistä on 13,45 m.

Paalujen kaltevuuden ollessa 4:1 paalutuksen kiertokeskiö saadaan tälle korkeudelle asettamalla paalujen etäisyydeksi

$$e = \frac{13,45}{4} = 3,36 \text{ m}$$

Valitaan etäisyydeksi 3,4 m.

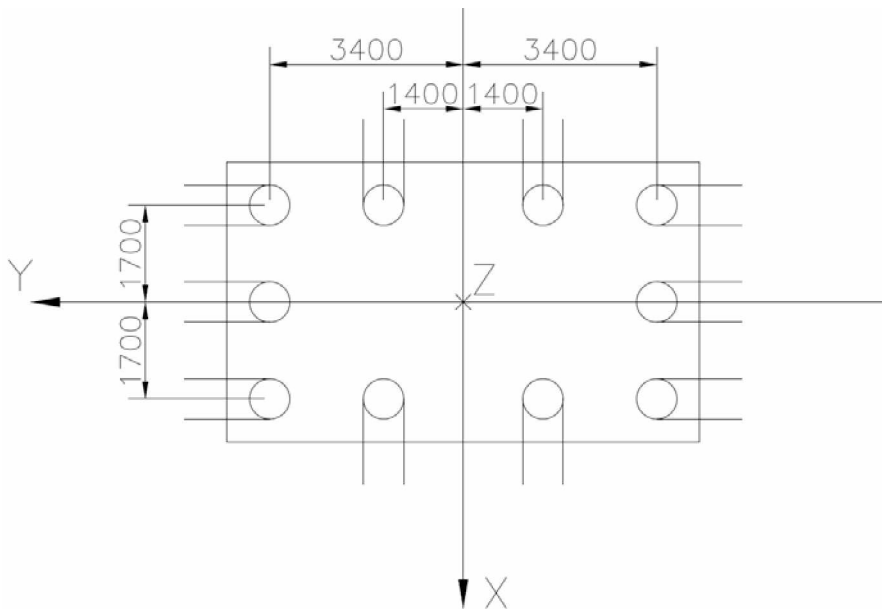
Sillan suuntaan:

Kuormien edellyttämä paalujen kiertokeskiön korkeusasema on niin suuri, että sitä ei voida käyttää paalujen aseman määrittämiseen. Tämän vuoksi valitaan paaluille suurin ajateltavissa oleva etäisyys ja katsotaan lopullisessa laskennassa onko se riittävä. Tässä tapauksessa valitaan etäisyydeksi puolet poikittaisten paalujen etäisyydestä.

$$e = \frac{3,4}{2} = 1,7 \text{ m}$$

Nurjahdusmitoitusta ei tarvitse suorittaa, koska maan suljetun tilan leikkauslujuus > 10 kN/m<sup>2</sup>.

Edellä lasketun perusteella paalutus on:



### 3.3.3 Paalukuormien laskenta

Paalukuormien laskenta suoritetaan edellä alustavien laskelmien perusteella saadulle paalutukselle kohdan 2.1 mukaisille kuormitustapauksille normaalin paalustatiikan mukaan:

Paalun kuormat:

$$P_{\max} = 5,184 \text{ MN} \quad \text{kuormitustapaus 1}$$

$$P_{\min} = -0,258 \text{ MN} \quad \text{kuormitustapaus 6} \quad \text{OK!}$$

## 4 Laskuesimerkki 4. Ratapenger savikolla

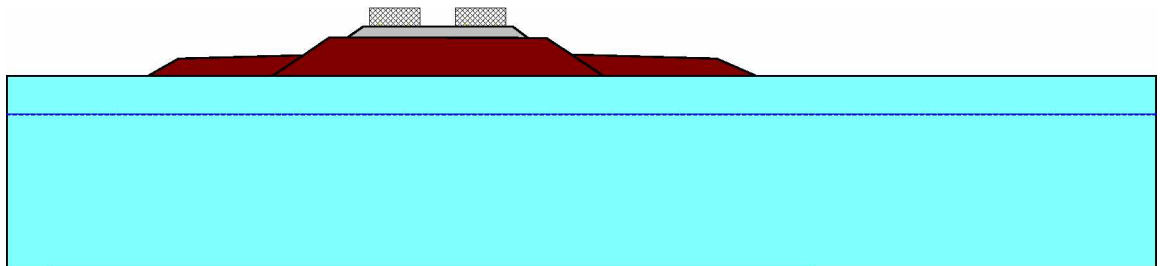
### 4.1 Tutkittava poikkileikkaus

Kohteena on savi pehmeiköllä sijaitseva kaksiraiteinen 7,8 m leveä ja 2,55 m korkea ratapenger. Penger on varustettu 7,6 m leveillä vastapenkereillä. Maaperän ominaisuudet on taulukoitu alla:

Taulukko 16

	Tilavuuspaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Raidesepeli	16	36	0
Penger	19	36	0
Vastapenger	19	36	0
Savi	15	0	18

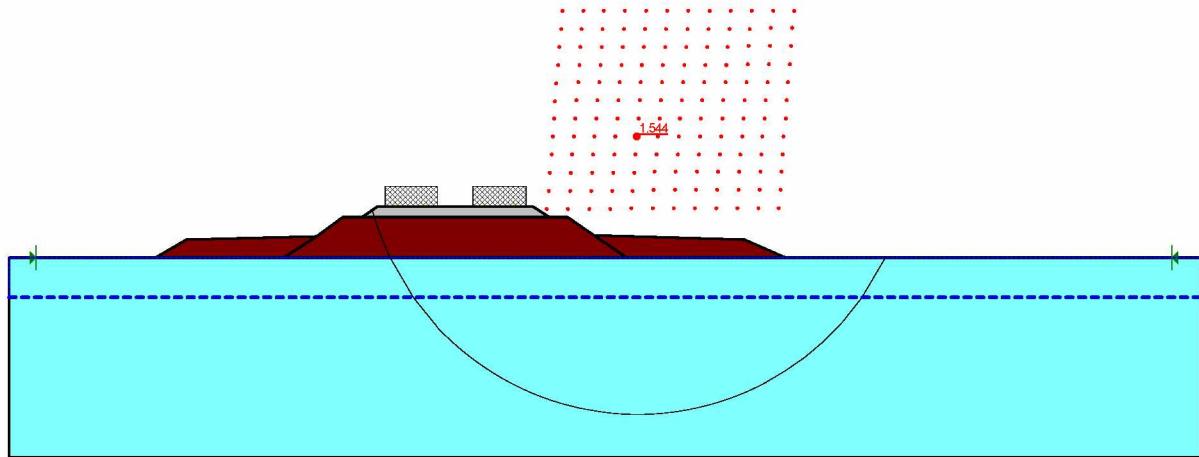
Kuorma on kummallakin raiteella 101 kN/m, mikä on laskentamallissa muutettu 2,6 m pölkyn leveydellä vaikuttavaksi 39 kPa nauhakuormaksi.



Kuva 4 Tutkittava poikkileikkaus

### 4.2 Kokonaisvarmuus

Ennen varsinaista rajatilan STR/GEO tarkastusta tehdään laskelma ominaisarvoilla kokonaisvarmuuskertoimen selvittämiseksi (ks. 5.5.1). Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu kokonaisvarmuus.



Kuva 5 Kokonaisvarmuus Bishopin menetelmällä 1,54

### 4.3 Rajatilan STR/GEO tarkastus

Penkereen vakavuus tarkastetaan mitoitusmenetelmän DA3 mukaan. Kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien edustaviin arvoihin ja kestävyys puolella varmuus sijoitetaan lujuusparametrien ominaisarvoihin.

Osavarmuusluvut rajatilassa STR/GEO otetaan kuormien osalta taulukosta A.3b(FI). Taulukon mukaisesti pysyvän kuorman osavarmuusluku on 1,0 ja raideliikennekuorman 1,25. Kyseessä on normaali tapaus, jolloin seuraamusluokka on CC2 ja  $K_{FI}$  sa arvon 1,0. Kuorman edustava arvo saadaan kertomalla kuorman ominaisarvo yhdistelykertoimella. Kaksiraiteisella radalla kuormat yhdistellään siten, että molemmilla raitteilla oletetaan vaikuttavan samanaikaisesti täyden junakuorman (4.9). Eli yhdistelykerroin saa arvon  $\psi = 1,0$ .

$$Q_d = \gamma_Q \cdot \psi \cdot Q_k = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 39 \text{ kPa} = 48,75 \text{ kPa}$$

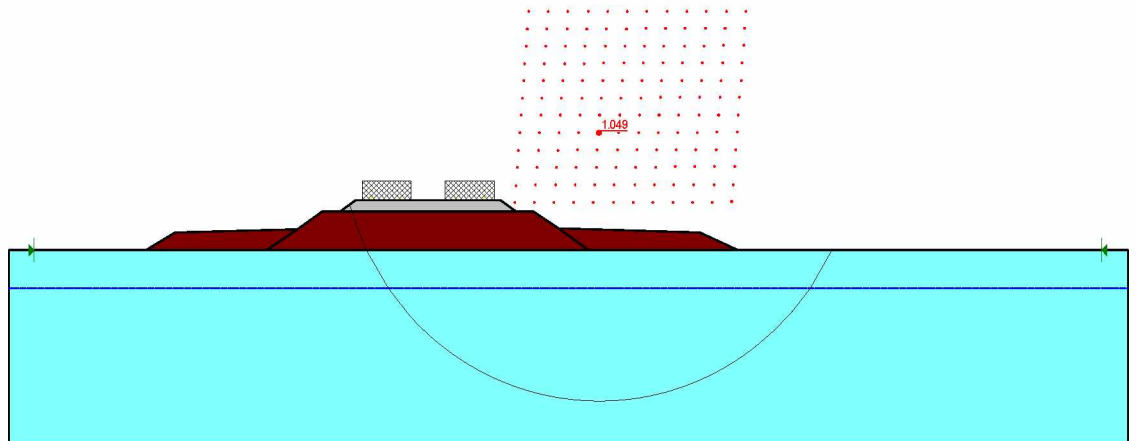
Maaparametrien osalta käytetään taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja:

Taulukko 17

	Titavuuspaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Osavarmuusluku		$\gamma_{\varphi}$	$\gamma_{c_u}$
$\gamma_M$	1	1,25	1,4
Raidesepeli	16	30,17	0
Penger	19	30,17	0
Vastapenger	19	30,17	0
Savi	15	0	12,86

Leikkauskestävyysskulman osavarmuusluvulla jaetaan leikkauskestävyysskulman tangentti.

Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu varmuus ODF.



Kuva 6 ODF on Bishopin menetelmällä 1,05

Lopputuloksena voidaan todeta, että penkereen stabiileetti täyttää vaatimuksen  $ODF \geq 1,0$  (6.5.1). Lisäksi nähdään, ettei liukupinnan paikka muuttunut suhteetta ominaisarvoilla tehtyyn laskentaan (kuva 5).

Pohjavedenpinnan asemalla ei ole kyseisillä maan ominaisuuksilla ja geometrialla vaikutusta varmuuskertoimeen.

## 5 Laskuesimerkki 5. Ratapenger silttisellä pohjamaalla

### 5.1 Tutkittava poikkileikkaus

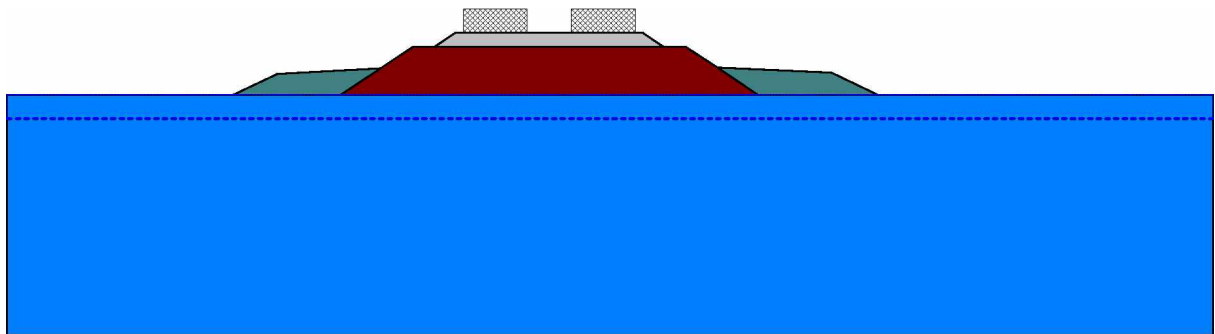
Kohteena on siltti pehmeiköllä sijaitseva kaksiraiteinen 7,8 m leveä ja 2,55 m korkea ratapenger. Penger on varustettu 4,8 m leveillä vastapenkereillä. Maaperän ominaisuudet on taulukoitu alla:

Taulukko 18

	Tilavuuspaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Raidesepeli	16	36	0
Penger	19	36	0
Vastapenger	15	0	10
Siltti	17	22	0

Pohjavesi on 1,0 m syvyydellä maanpinnasta. Arvo perustuu 6 kk havaintojakson ylimpään havaintoon.

Kuorma on kummallakin raiteella 101 kN/m, mikä on laskentamallissa muutettu 2,6 m pölkyn leveydellä vaikuttavaksi 39 kPa nauhakuormaksi.

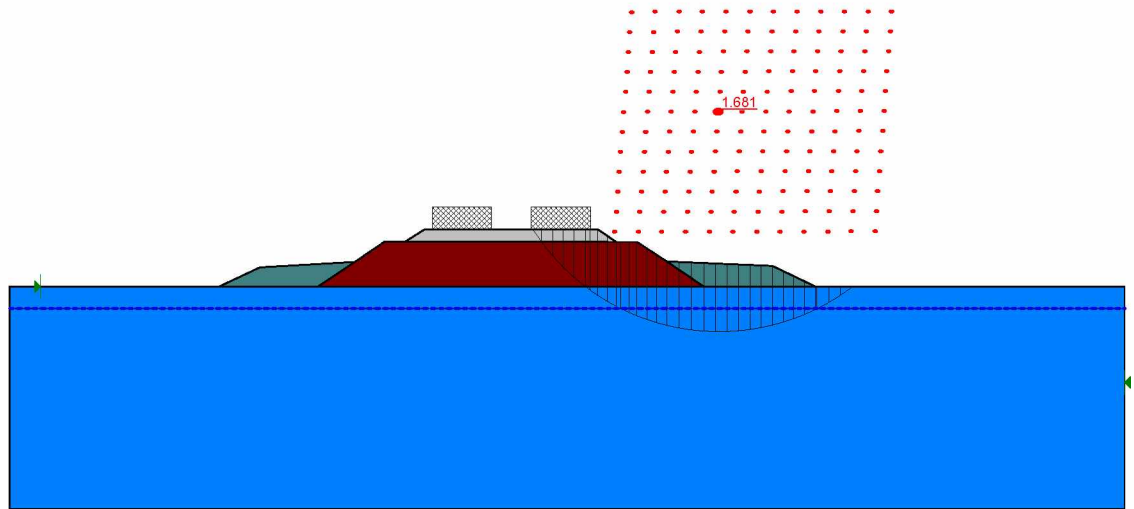


Kuva 7 Tutkittava poikkileikkaus

### 5.2 Kokonaisvarmuus

Ennen varsinaista rajatilan STR/GEO tarkastusta tehdään laskelma ominaisarvoilla kokonaisvarmuuskertoimen selvittämiseksi (ks. 5.5.1). Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu kokonaisvarmuus.





Kuva 8 Kokonaisvarmuus Bishopin menetelmällä 1,68

### 5.3 Rajatilan STR/GEO tarkastus

Penkereen vakavuus tarkastetaan mitoitusmenetelmän DA3 mukaan. Kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien edustaviin arvoihin ja kestävyys puolella varmuus sijoitetaan lujuusparametrien ominaisarvoihin.

Junakuorman mitoitusarvoksi saadaan edellisen esimerkin mukaisesti  $Q_d = 48,75$  kPa.

Maaparametrien osalta käytetään taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja:

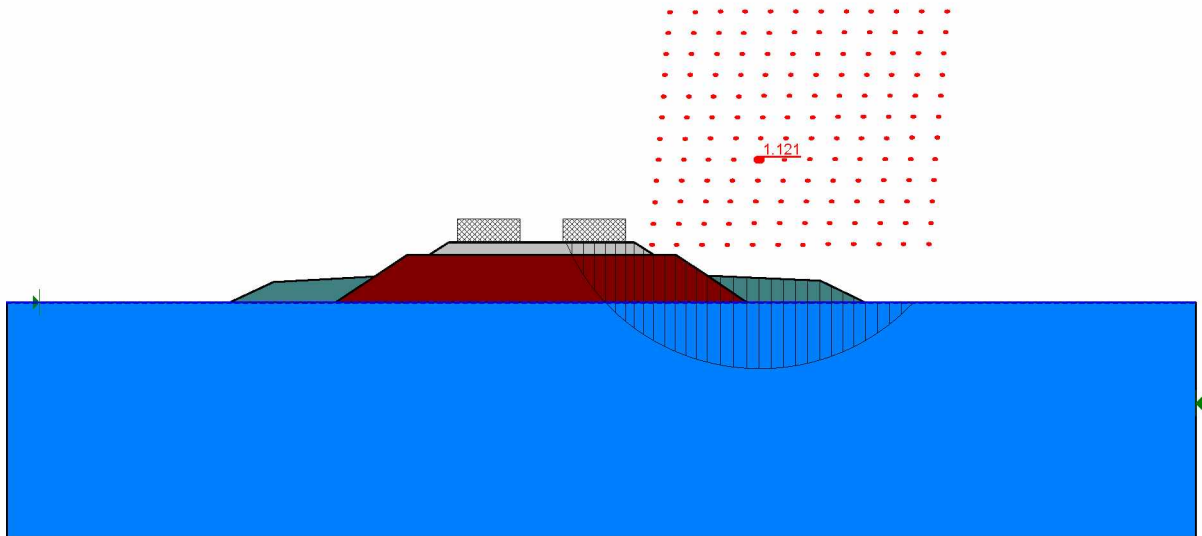
Taulukko 19

	Tilavuuspaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Osavarmuusluku $\gamma_M$	1	$\gamma_{\varphi'}$ 1,25	$\gamma_{c_u}$ 1,4
Raidesepeli	16	30,17	0
Penger	19	30,17	0
Vastapenger	15	0	7,14
Siltti	17	17,91	0

Leikkauskestävyysskulman osavarmuusluvulla jaetaan leikkauskestävyysskulman tangentti.

Pohjavedenpinta mallinnetaan maanpintaan, jolloin se edustaa kyseisessä mitoituslanteessa epäedullisinta mahdollista tasoa (5.5).

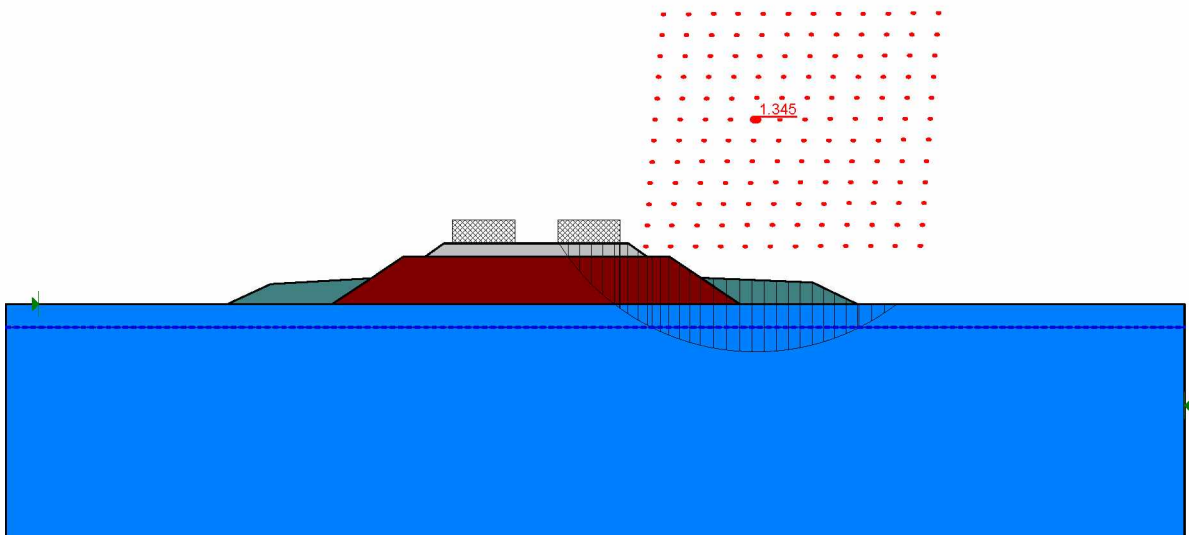
Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu ODF.



Kuva 9 ODF Bishopin menetelmällä 1,12 pohjavedenpinnan ollessa maanpinnassa

Lopputuloksena voidaan todeta, että penkereen stabiliteetti täyttää vaatimuksen  $ODF \geq 1,0$  (5.5.1). Vaarallisimman liukupinnan paikka on hieman siirtynyt suhteessa ominaisarvoilla tehtyyn laskelmaan. Koska ODF on kuitenkin yli yhden, voidaan tulos hyväksyä.

Alla on laskettu vakavuus mitatulla pohjavedenpinnalla. Siitä voidaan todeta, että esimerkin tapauksessa 1,0 m pohjavedenpinnan erolla on vaikutusta laskettuun varmuuslukuun 0,13. Liukupinnan paikka on sama kuin ominaisarvoilla tehdyssä laskelmassa (kuva 8), jossa on myös käytetty mitattua pohjavedenpintaa..



Kuva 10 ODF Bishopin menetelmällä mitatulla pohjavedenpinnalla 1,35

## 6 Laskuesimerkki 6. Tiehen rajoittuva työnaikainen tukiseinä savikolla

### 6.1 Tutkittava poikkileikkaus

Kohteena on savikolla sijaitseva 2 ajoratainen tie. Maaperän ominaisuudet on taulukoitu alla:

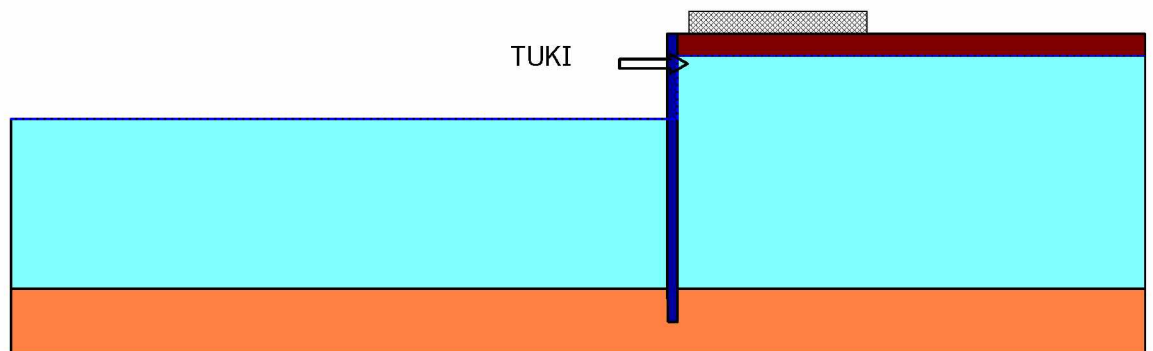
Taulukko 20

	Tilavuuspaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Leikkauskestävyyskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Penger	20	38	0
Savi	15	0	10
Sora	21	39	0

Pohjavesi on rakennekerrosten alapinnassa.

Kuorman ominaisarvo on 20 kPa tasainen kuorma 8 m leveydellä.

Työnaikaisen kaivannon syvyys on 3,4 m. Laskelmissa on huomioitu kaivutason tarkkuuteen sisältyvä riski mallintamalla kaivanto 0,34 m ylisyväksi (5.4.1.1 kuva 5.1). Tukiseinän pituus maanpinnasta mitattuna on 12 m. Penkereen paksuus on 1,0 m ja saven paksuus tukiseinän takana on 9,5 m. Seinän upotussyvyys sorakerrokseen on 1,5 m. Seinä on varustettu penkereen alapinnan tasolla olevilla rei'illä, jotka estävät vedenpinna nousun tämän tason yläpuolelle.

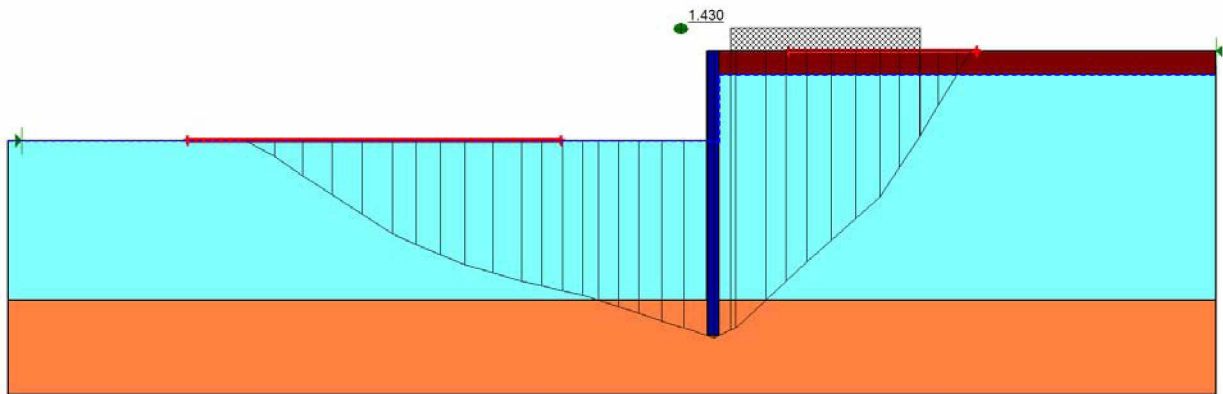


Kuva 11 Tutkittava poikkileikkaus

### 6.2 Kokonaisvarmuus

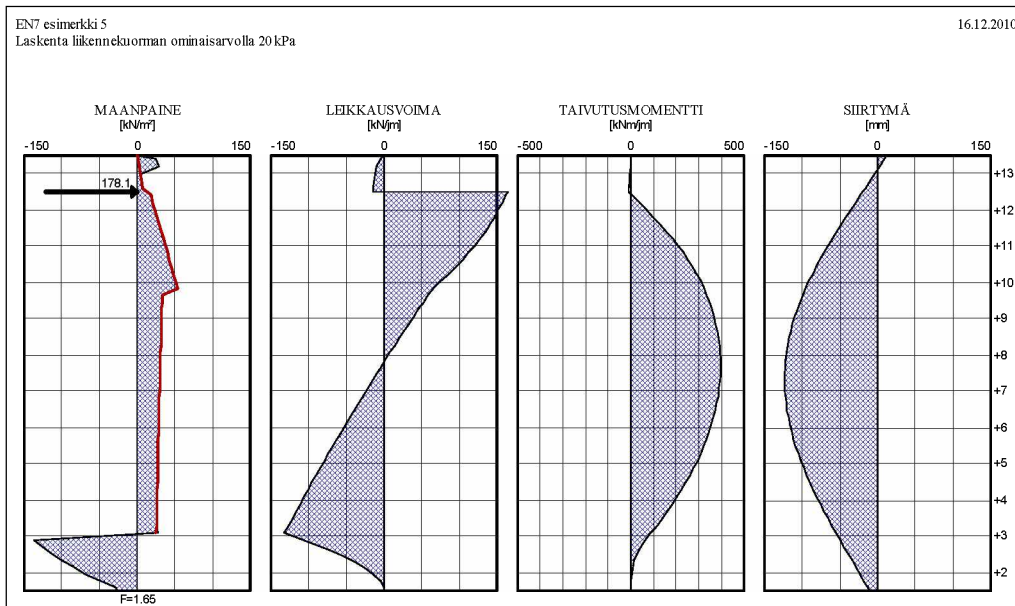
Ennen varsinaista rajatilan STR/GEO tarkastusta tehdään laskelma ominaisarvoilla kokonaisvarmuuskertoimen selvittämiseksi (ks. 5.4.1.1).

Alla on esitetty Morgenstern - Price menetelmällä laskettu kokonaisvarmuus.



Kuva 12 Kokonaisvarmuus Morgenstern - Price menetelmällä 1,43

Alla on esitetty ominaisarvoilla lasketut seinän maanpainet ja voimasuureet:



Kuva 13 Ominaisarvoilla lasketut arvot

## 6.3 Rajatilan STR/GEO tarkastus

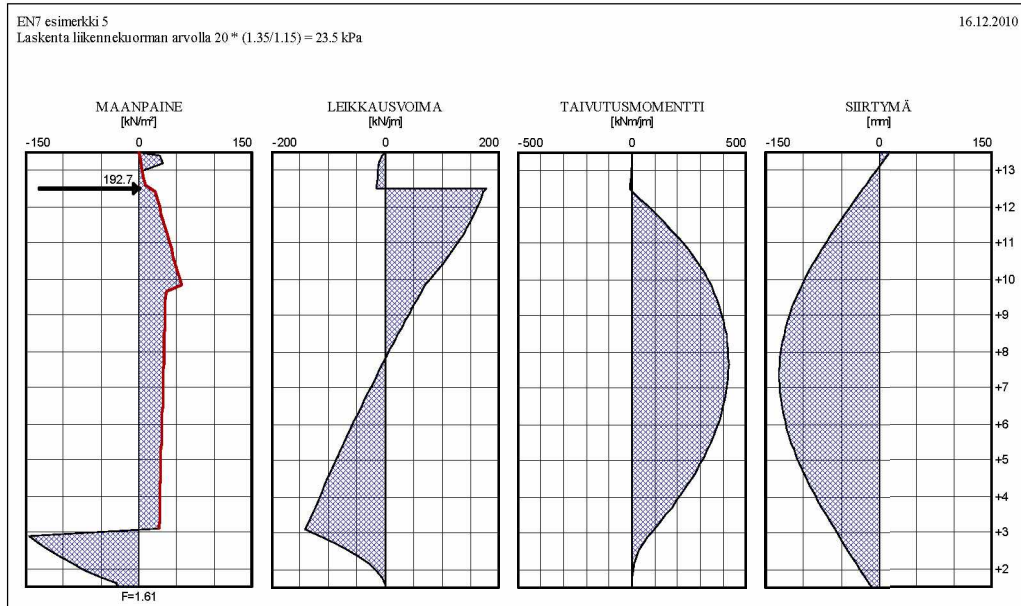
### SEINÄN VOIMASUUREET JA ANKKURIVOIMA:

Mitoitus tehdään mitoitusmenetelmän DA2\* mukaan. Kuorman osavarmuusluvut saadaan taulukosta A.3a(FI). Maanpainneiden ja voimasuureiden laskennassa ei käytetä muita osavarmuuslukuja. Taulukon A.3a(FI) mukaisesti rajatila pitää tarkastaa kahdelle eri tapaukselle 6.10a ja 6.10b.

Tarkastelu yhtälön 6.10b mukaan:

Kappaleessa 5.4.1.5 on esitetty kaksi vaihtoehtoista tapaa suorittaa laskenta jousimallilla. Käsitellään ensin vaihtoehtoa 1. Laskenta suoritetaan ominaisarvoilla lukuun ottamatta muuttuvaa kuormaa, joka kerrotaan arvolla  $\gamma_Q/\gamma_G$ , missä  $\gamma_Q$  on muuttu-

van kuorman osavarmuusluku ja  $\gamma_G$  on pysyvän kuorman osavarmuusluku.  $\gamma_Q/\gamma_G$  on  $1,35/1,15 = 1,17$ .



Kuva 14 Maanpainelaskelman välitulokset kun muuttuva kuorma on kerrottu arvolla  $\gamma_Q/\gamma_G$

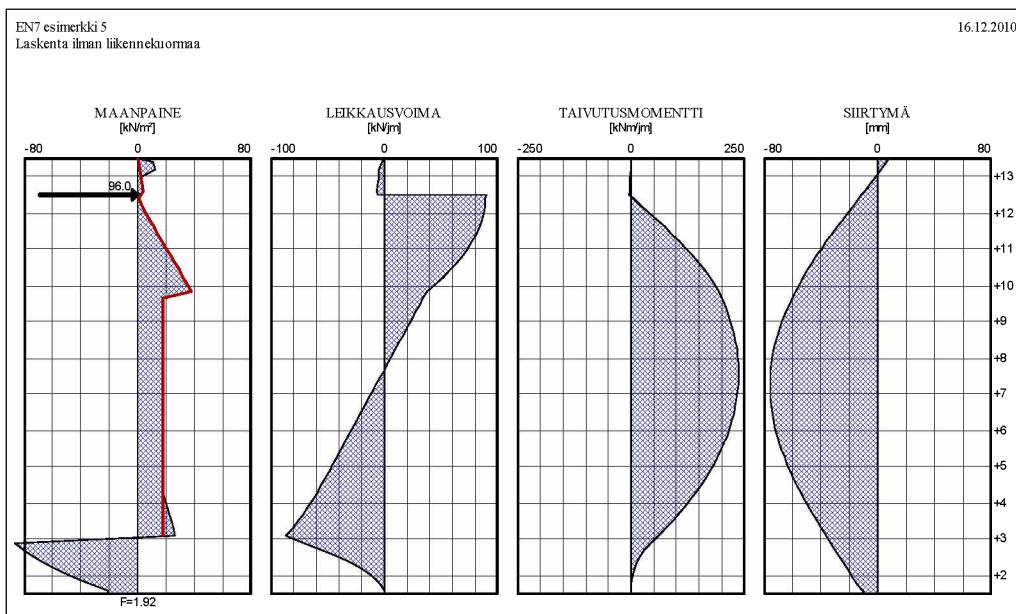
Lopulliset mitoitusarvot saadaan kertomalla kuvan 14 tulokset pysyvän kuorman osavarmuusluvulla  $\gamma_G = 1.15$ . Alla on esitetty seinän voimasuureiden mitoitusarvot yhtälön 6.10b mukaisilla kuormien osavarmuusluvuilla:

Taulukko 21

Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman maksimiarvo [kN/jm]	Ankurivoiman vaakakomponentin maksimiarvo [kNm/jm]
$1.15 \cdot 423 = 486$	$1.15 \cdot 177 = 204$	$1.15 \cdot 193 = 222$

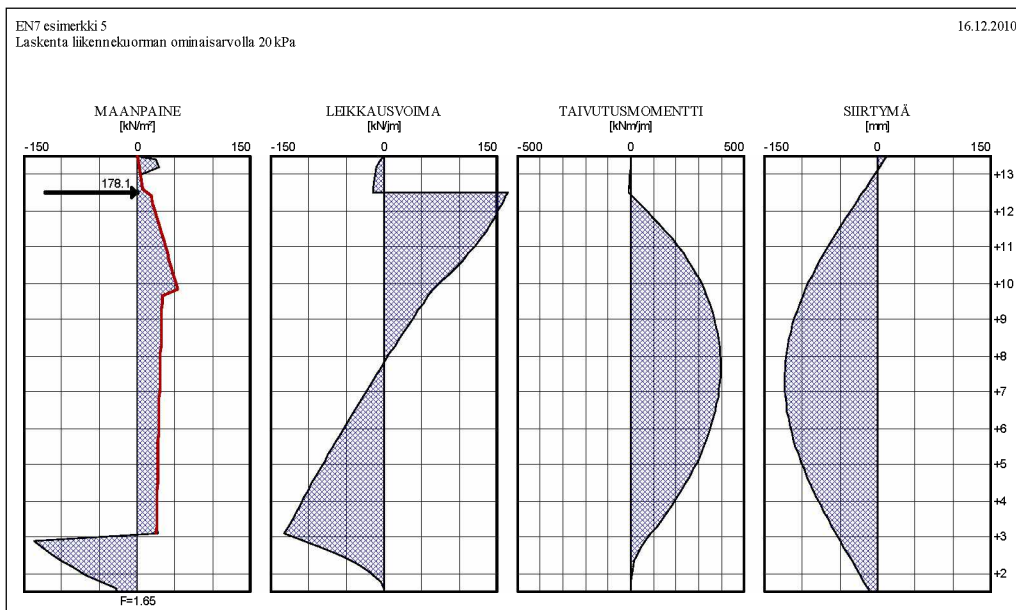
Suoritetaan sitten laskelmat vaihtoehdon 2 mukaisesti. Laskenta suoritetaan ensin ilman liikennekuormaa.





Kuva 15 Maanpainelaskelman tulos ilman liikennekuormaa.

Seuraavaksi lasketaan liikennekuorman vaikutus.



Kuva 16 Maanpainelaskelman tulos liikennekuorman ominaisarvolla.

Kuvassa 16 on esitetty liikennekuorman ja maanpainon yhteisvaikutus. Pelkästään liikennekuormasta aiheutuva vaikutus saadaan kuvien 15 ja 16 arvojen erotuksena. Koska maksimiarvot sijaitsevat samoilla syvyyksillä, voidaan ne vähentää toisistaan suoraan. Mikäli maksimi arvot sijaitsisivat eri syvyyksillä tai haluttaisiin tietää rasi-tuksien mitoitussarvot koko seinän syvyydeltä, pitäisi vähennyslasku suorittaa syvyyt-sarvoin. Eli kaavana kokonaisvaikutus = liikennekuorman vaikutus + maanpainon vaikutus => liikennekuorman vaikutus = kokonaisvaikutus - maanpainon vaikutus. Alla on esitetty seinän voimasuureiden ominaisarvot.

Taulukko 22

	Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman maksimiarvo [kN/jm]	Ankkurivoiman vaa- kakomponentin maksimiarvo [kNm/jm]
Ilman liikenne- kuormaa (pysyvät kuormat)	237	90	96
Liikennekuormalla (sekä pysyvät että muuttuvat kuor- mat)	395	164	178
Liikennekuorman vaikutus (muuttuva kuorma)	$395-237 = 158$	$164-90 = 74$	$178-96 = 82$
yhdistetty mitoi- tusarvo	$1,15 \cdot 237 + 1,35 \cdot 158 = 486$	$1,15 \cdot 90 + 1,35 \cdot 74 = 203$	$1,15 \cdot 96 + 1,35 \cdot 82 = 221$

Taulukoista 21 ja 22 nähdään, että tässä esimerkkitapauksessa vaihtoehtoisilla mitoitusarvoilla päädytään lähes samaan lopputulokseen.

Tarkastelu yhtälön 6.10a mukaan:

Yhtälössä 6.10a tarkastetaan varmuus pelkkien pysyvien kuormien suhteen. Osavarmuusluku on 1,35. Taulukosta 22 saadaan pelkillä pysyvillä kuormilla lasketut voimasuureet. Näiden perusteella saadaan:

Taulukko 23

	Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman maksimiarvo [kN/jm]	Ankkurivoiman vaakakomponentin maksimiarvo [kNm/jm]
Ilman liikenne- kuormaa (pysyvät kuormat)	159	65	69
Mitoitusarvo	$1,35 \cdot 237 = 320$	$1,35 \cdot 90 = 122$	$1,35 \cdot 96 = 130$

Lopputulos voimasuureiden osalta:

Tuloksesta nähdään, että yhtälö 6.10b on mitoittava. Rakenteellinen mitoitus perustuu näihin mitoitusarvoihin, eikä niihin enää jatkossa kohdisteta kuorman osavarmuuslukuja.

#### SEINÄN KOKONAISSTABILITEETIN JA UPOTUSSYVYYDEN LASKENTA:

Kokonaisvakavuus / upotus syvyyden riittävyys tarkastetaan mitoitusmenetelmän DA3 mukaan. Kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien edustaviin arvoihin ja kestävyys puolella varmuus sijoitetaan lujuusparametrien ominaisarvoihin. Osavarmuusluvut saadaan kuormien osalta taulukoista A.3b(FI). Taulukon mukaisesti pysyvän kuorman osavarmuusluku on 1,0 ja tieliikennekuorman 1,35. Kyseessä on normaali tapaus, jolloin seuraamusluokka on CC2 ja  $K_{FI}$  sa arvon 1,0.

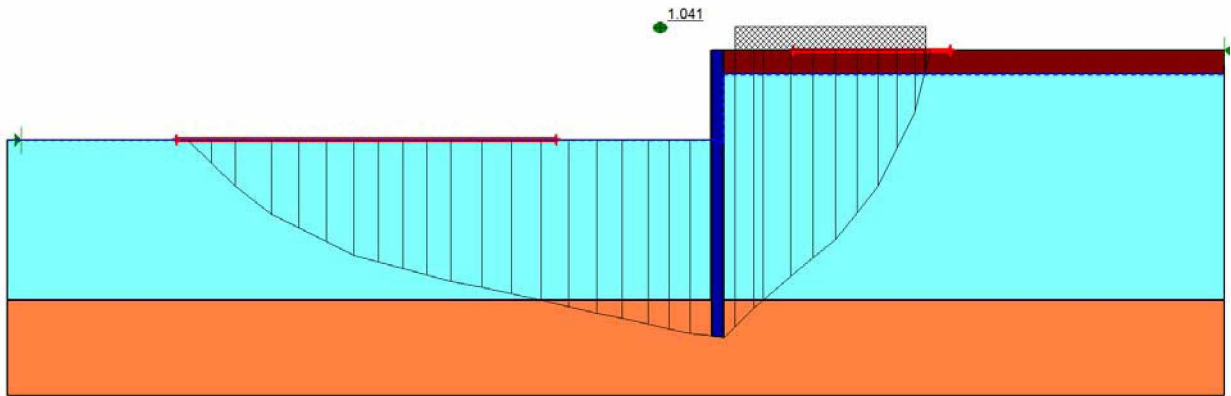
$$Q_d = \gamma_Q * Q_k = 1,35 * 20 \text{ kPa} = 27 \text{ kPa}$$

Maaparametrien osalta käytetään taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja:

Taulukko 24

	Tilavuuspaino [kN/m <sup>3</sup> ]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkaus- lujuus [kPa]
Osavarmuusluku $\gamma_M$	1	$\gamma_{\varphi}$ 1,25	$\gamma_{cu}$ 1,4
Penger	20	32,00	0
Savi	15	0	7,14
Sora	21	32,93	0

Alla on esitetty Morgenstern – Price menetelmällä laskettu ODF.



Kuva 17 ODF Morgenstern – Price menetelmällä 1,04 pohjavedenpinnan ollessa rakennekerrosten alapinnassa

Lopputuloksena voidaan todeta, että penkereen stabiliteetti täyttää vaatimuksen  $ODF \geq 1,0$  (5.5.1), mikäli seinän taakse rakennetaan luotettava kuivatus järjestelmä rakennekerrosten alapinnan tasoon asti (5.4.1.1).





Liik  
enne  
vira  
sto

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-608-0

[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)