

Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 7.11.2013

SILTOJEN JA POHJARAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJEET



Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7

Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet
7.11.2013

Liikenneviraston ohjeita 35/2013

Kannen kuva: Liikennevirasto, Jouni Saaristo

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-364-5

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Investointitoimiala

Vastaanottaja
ELY-keskusten Liikenne- ja infrastruktuuri - vastualueet,
Liikenneviraston Toiminnan ohjaus, Hankkeet ja Väylänpito – toimialat

Korvaa/muuttaa
Eurokoodin soveltamisohje Voimassa
Geotekninen suunnittelu – NCCI 7, LO 12•2011/10.6.2011 1.12.2013 - toistaiseksi

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

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.

Tämä 7.11.2013 päivätty versio korvaa 10.6.2011 päivätyn version. Pääasialliset muutokset ja tarkistukset on lueteltu esipuheessa.

Ylijohtaja
Väylänpito



Raimo Tapio

Johtaja
Infra ja ympäristö



Markku Nummelin

LISÄTIETOJA

Pentti Salo ja Heikki Lilja
Liikennevirasto, Hankkeet -toimiala, puh. 0295 34 3000

OHJE SAATAVISSA LIIKENNEVIRASTON NETTISIVULTA OSOITTEESTA

www.liikennevirasto.fi/ohjeluettelo

Kuvailulehti TIEDOKSI

Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL

Rakennusteollisuus RT

Infra ry

Suomen Kuntaliitto

Tekniset yliopistot/korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut

VTT

G10 -kaupungit

Silta- tie- ja geokonsultit

Ohjeen laatijat ja työhön osallistuneet asiantuntijat

Liikenneviraston toiminnan ohjaus, hankkeet ja väylänpitotoimialojen osastot

Liikenneviraston kirjasto

Suunnittelu, projektien toteutus, kunnossapito sekä infra ja ympäristö -osastojen yksiköt

Liikenneviraston ja ELY-keskusten geoasiantuntijat

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 on soveltamisohjeen versio 7.11.2013. Verrattuna versioon 12•2011/10.6.2011 muutoksia ja tarkistuksia on tehty pääasiassa seuraaviin kohtiin:

- kohta 4.3 Vedenpaine
- kohta 4.8.2 Rautatiesillat
- kohta 5.1 Antura- ja laattaperustukset
- kohta 5.2.2.2 Vetokestävyys
- kohta 5.4.1.5 Taipuisan tukiseinän mitoitus
- kohta 5.4.1.6 Tukimuurin mitoitus

Lisäksi muihin kohtiin ja liitteisiin on tehty lukuisa joukko pienehköjä muutoksia ja tarkistuksia.

Soveltamisohje on toteutettu Liikenneviraston Väylänpito -toimialan tilaamana konsulttityönä Insinööritoimisto Pontek Oy:n ja Insinööritoimisto Arcus Oy:n toimesta vuosien 2010–2013 aikana.

Helsingissä marraskuussa 2013

Liikennevirasto/Väylänpito
Tietekninen yksikkö

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	18
3.4.3	Maan ominaisuudet	19
3.4.4	Kestävyys	19
3.4.5	Geometria	19
3.4.6	Rajatilat, mitoitustavat ja varmuuksien kohdentaminen	20
3.4.7	Käyttöraja-tila	24
4	KUORMAT	25
4.1	Mitotustilanteet	25
4.2	Edullinen ja epäedullinen kuorma	25
4.3	Vedenpaine	26
4.4	Liikennekuormat	28
4.4.1	Maantieliikenne	28
4.4.2	Raideliikenne	29
4.5	Maanpaine	30
4.6	Maanpaine	30
4.6.1	Yleistä	30
4.6.2	Aktiivipaine	30
4.6.3	Lepopaine	31
4.6.4	Passiivipaine	31
4.7	Paalujen negatiivinen vaippahankaus	31
4.8	Sysäys	32
4.8.1	Tiesillat	32
4.8.2	Rautatiesillat	32
4.9	Kuormien yhdistely	33
4.9.1	Maantieliikenne	33
4.9.2	Raideliikenne	38
5	MITOITUS PERUSTAMISTAVOITAIN	45
5.1	Antura- ja laattaperustukset	45
5.1.1	Kallionvarainen perustaminen	45
5.1.2	Maanvarainen perustaminen	47
5.2	Paaluperustukset	50

5.2.1	Yleistä	50
5.2.2	Tukipaalu	50
5.3	Ankkurointi.....	58
5.3.1	Murtorajatila STR/GEO DA2	58
5.3.2	Käyttörajatila.....	60
5.4	Maanpainerakenteet.....	60
5.4.1	Murtorajatila.....	60
5.4.2	Käyttörajatila.....	67
5.5	Luiskat ja maanvaraiset penkereet	67
5.5.1	Murtorajatila STR/GEO DA3	67
5.5.2	Käyttörajatila.....	68
5.6	Hydraulinen murtuminen.....	68
5.6.1	Virtauspaineen aiheuttama hydraulinen murtuminen HYD	69
5.6.2	Nosteen aiheuttama murtuminen UPL	70
5.7	Syvästabilointi.....	73
5.7.1	Pohjavahvistuksena toimivat pilarit	73
5.7.2	Pohjarakenteena toimivat pilarit.....	73

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 määrittymisen jälkeisessä prosessissa eli EN 1997-1 ja sen LVM:n kansallisen liitteen mukaisessa varmuusmenettelyssä. Laskentamenetelmien ja parametrien määrittymisen osalta suunnittelijan pitää tukeutua alan muuhun kirjallisuuteen.

Ellei toisin mainita ovat kaikki lukuarvoina annetut kuormat ominaisarvoja.

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
Δa	nimellisiin mittatietoihin tehty muutos tiettyjä mitoitustarkoituksia 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'	maakappaleen korkeus mitoitettaessa hydraulista nousua vastaan
$h_{w;k}$	hydrostaattisen vedenpaine korkeuden ominaisarvo maakappaleen pohjalla

K_0	maan lepopaine kerroin
$K_{0;\beta}$	maan lepopaine kerroin, kun tuettu maanpinta on kaltevuuskulmassa β vaakatason suhteen
k	suhde $\delta_d / \varphi_{cv;d}$
l	perustuksen pituus
l'	tehokas perustuksen pituus
n	esimerkiksi paalujen tai koeprofiilien 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
$R_{b;d}$	paalun kärkikestävyuden mitoitusarvo
$R_{b;k}$	paalun kärkikestävyuden ominaisarvo
R_c	paalun geotekninen puristuskestävyys
$R_{c;cal}$	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 vaippakestävyysmitoitussarvo
$R_{s;cal}$	vaippakitka laskettuna maaparametrien koetuloksista
$R_{s;k}$	paalun vaippakestävyysominaisarvo
R_t	yksittäisen paalun vetokestävyys
$R_{t;d}$	paalun tai paaluryhmän vetokestävyysmitoitussarvo, tai ankkurin rakenteellisen vetokestävyysmitoitussarvo
$R_{t;k}$	paalun tai paaluryhmän vetokestävyysominaisarvo
$R_{t;m}$	yksittäisen paalun mitattu vetokestävyys yhden tai usean paalun koekuormituksessa
R_{tr}	paalun kestävyys poikittaisille kuormille
$R_{tr;d}$	poikittaisessa suunnassa kuormitetun paalun kestävyysmitoitussarvo
$S_{dst;d}$	kaatavan eli epäedullisen suotovirtausvoiman mitoitusarvo maassa
$S_{dst;k}$	kaatavan eli epäedullisen 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 eli epäedullisen kokonaishuokosvedenpaineen mitoitusarvo
V	pystysuora kuorma tai se kokonaiskuorman komponentti, joka vaikuttaa kohtisuoraan 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 eli epäedullisen pystysuoran kuorman mitoitusarvo

$V_{dst,k}$	rakenteeseen kohdistuvan kaatavan eli epäedullisen pystysuoran kuorman ominaisarvo
X_d	materiaaliominaisuuden mitoitusarvo
X_k	materiaaliominaisuuden ominaisarvo
Z	pystysuora etäisyys

Kreikkalaiset kirjaimet

α	perustuksen pohjan kaltevuus vaakatason suhteen
β	maan kaltevuuskulma seinän takana (ylöspäin positiivinen)
δ	rakenteen ja maan välinen kitkakulma
δ_d	δ :n mitoitusarvo
γ	tilavuuspaino
γ'	tehokas tilavuuspaino
γ_a	ankkurointien osavarmuusluku
$\gamma_{a,p}$	pysyvien ankkurointien osavarmuusluku
$\gamma_{a,t}$	tilapäisten ankkurointien osavarmuusluku
γ_b	paalun kärkikestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{c'}$	tehokkaan koheesion osavarmuusluku
γ_{cu}	suljetun leikkauslujuuden osavarmuusluku
γ_E	kuorman vaikutuksen osavarmuusluku
γ_f	kuormien osavarmuusluku, jossa otetaan huomioon kuormien mahdollisuus poiketa epäedulliseen suuntaan edustavista arvoista
γ_F	kuorman osavarmuusluku
γ_G	pysyvän kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{G;dst}$	pysyvän kaatavan eli epäedullisen kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{G;stb}$	pysyvän vakauttavan eli edullisen kuorman osavarmuusluku
γ_m	maaparametrin (materiaaliominaisuuden) osavarmuusluku
$\gamma_{m,i}$	maaparametrin osavarmuusluku kerroksessa i
γ_M	maaparametrin (materiaaliominaisuuden) osavarmuusluku, ottaa huomioon myös mallin epävarmuudet
γ_Q	muuttuvan kuorman osavarmuusluku
γ_{qu}	yksiaksiaalisen puristuslujuuden osavarmuusluku
γ_R	kestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{R;d}$	kestävyydshallin epävarmuuden osavarmuusluku

$\gamma_{R,e}$	maan kestävyys osavarmuusluku
$\gamma_{R,h}$	liukumiskestävyys osavarmuusluku
$\gamma_{R,v}$	kantokestävyys osavarmuusluku
γ_s	paalun vaippakestävyys osavarmuusluku
$\gamma_{S,d}$	kuormien vaikutusten mallintamisen epävarmuuden osavarmuusluku
$\gamma_{Q;dst}$	hydraulisen murtuman aiheuttavan kaatavan eli epäedullisen kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{Q;stb}$	hydraulista murtumaa vastaan vakauttavan eli edullisen kuorman osavarmuusluku
γ_{Qi}	Muuttuvan kuorman i osavarmuusluku
γ_{st}	paalun vetokestävyys osavarmuusluku
γ_t	paalun kokonaiskestävyys osavarmuusluku
γ_w	veden tilavuuspaino
$\gamma_{\varphi'}$	leikkauskestävyysskulman (sisäisen "kitkakulman") osavarmuusluku ($\tan \varphi'$)
γ_{γ}	tilavuuspainon osavarmuusluku
θ	H:n suuntakulma
ξ	koestettujen paalujen tai koeprofiilien lukumäärästä riippuva korrelaatiokerroin
ξ_a	ankkurointien korrelaatiokerroin
$\xi_1; \xi_2$	korrelaatiokertoimet paalujen staattisten koekuormitusten tulosten arvioimiseen
$\xi_3; \xi_4$	korrelaatiokertoimet paalun kestävyys johtamiseksi pohjatutkimustuloksista, ilman paalun koekuormituksia
$\xi_5; \xi_6$	korrelaatiokertoimet paalun kestävyys johtamiseksi dynaamisista koekuormituksista
ψ	kerroin ominaisarvon muuntamiseksi edustavaksi arvoksi
$\sigma_{stb,d}$	vakauttavan eli edullisen pystysuoran kokonaisjännityksen mitoitusarvo
$\sigma'_{h,0}$	maan tehokkaan lepopaineen vaakasuora komponentti
$\sigma(z)$	jännitys kohtisuoraan seinää vastaan syvyydellä z
$\tau(z)$	seinän tangentin suuntainen jännitys syvyydellä z

φ' leikkauskestävyysskulma ("kitkakulma") tehokkaiden jännitysten perusteella

φ_{cv} kriittisen tilan leikkauskestävyysskulma

$\varphi_{cv;d}$ φ_{cv} :n mitoitusarvo

φ'_d φ' :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/m³
- tilavuuspaino kN/m³
- jännitys, paine, lujuus ja jäykkyys kPa
- läpäisevyyskerroin m/s
- konsolidaatiokerroin m²/s

2 Luokitukset

2.1 Geotekniset luokat

Rakenne kuuluu geotekniseen luokkaan 1 mikäli kaikki seuraavat asiat toteutuvat:

- rakenne on yksinkertainen
- maapohja on kitkamaata tai kalliota
- 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 (GL2) ovat: maanvaraiset anturaperustukset, paaluperustukset, seinät ja muut maata tai vettä pidättävät 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. Liikenneviraston hankkeissa tulee lisäksi aina huomioida rakenteen vaikutus ympäristöön. Mikäli ympäristövaikutukset ovat merkittäviä (esimerkiksi pohjaveden pysyvä aleneminen), edellyttää se GL3 vastaavia menettelyjä.

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_{F1} 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 ψ . Pysyvien kuormien osalta ψ on aina 1,0. Muuttuvien kuormien osalta ψ 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 ominaisarvolla. 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 γ_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 $\psi = \psi_2 \neq 0$.

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 3.1 ja 3.2 käsitellään SRT/GEO -mitoitusprosessia ja siinä on havainnollistettu myös Eurokoodi 7:n tapaa käsitellä kuormia ja kuormien vaikutuksia.

Kuorman osavarmuusluvut voidaan mitoitusarvosta riippuen kohdistaa joko suoraan kuormiin tai kuormista laskettuihin vaikutuksiin.

Geotekniikassa laskentamalli on usein epälineaarinen. Tästä seuraa, että kuvassa 3.1 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 muodonmuutosominaisuudet. Murtorajatilataarkasteluissa 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).

Ominaisarvosta saadaan mitoitusarvo jakamalla se maaparametrin osavarmuusluvulla γ_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 kitkamaassa maan kestävyys liukupinnalla (R) riippuu liukupintaa rasittavista kuormista (F). Tämä maan kestävyden ja kuormien välinen riippuvuus monimutkaistaa osavarmuuslukumenettelyn soveltamista geotekniikkaan verrattuna muuhun rakennesuunnitteluun.

Osavarmuusluvut voidaan mitoitusarvosta riippuen kohdistaa joko suoraan lujuusparametreihin tai niistä laskettuihin kestävyksiin (kuvat 3.1 ja 3.2). Lujuuden ominaisarvoista saadaan lujuuden mitoitusarvot jakamalla ne lujuuden osavarmuusluvuilla. Kestävyys saadaan sitten käyttämällä laskennassa näitä lujuuden mitoitusarvoja. Kuvan oikeassa reunassa taas laskenta suoritetaan lujuuden ominaisarvoilla ja osavarmuusluvuilla jaetaan vasta näin saatu kestävyden ominaisarvo.

Geotekniikassa laskentamalli on usein epälineaarinen. Esimerkiksi anturan (maan) kantokestävyudeksi saadaan eri arvot, jos osavarmuusluku kohdistetaan arvoon $\tan\phi$ tai suoraan kantokestävyuden 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 uudisrakentamisen osalta suunnitelmiin. Poikkeuksena edelliseen ovat mm. voimakkaasti epäkeskeiset kuormat ja maanpinnan taso tukiseinän edessä.

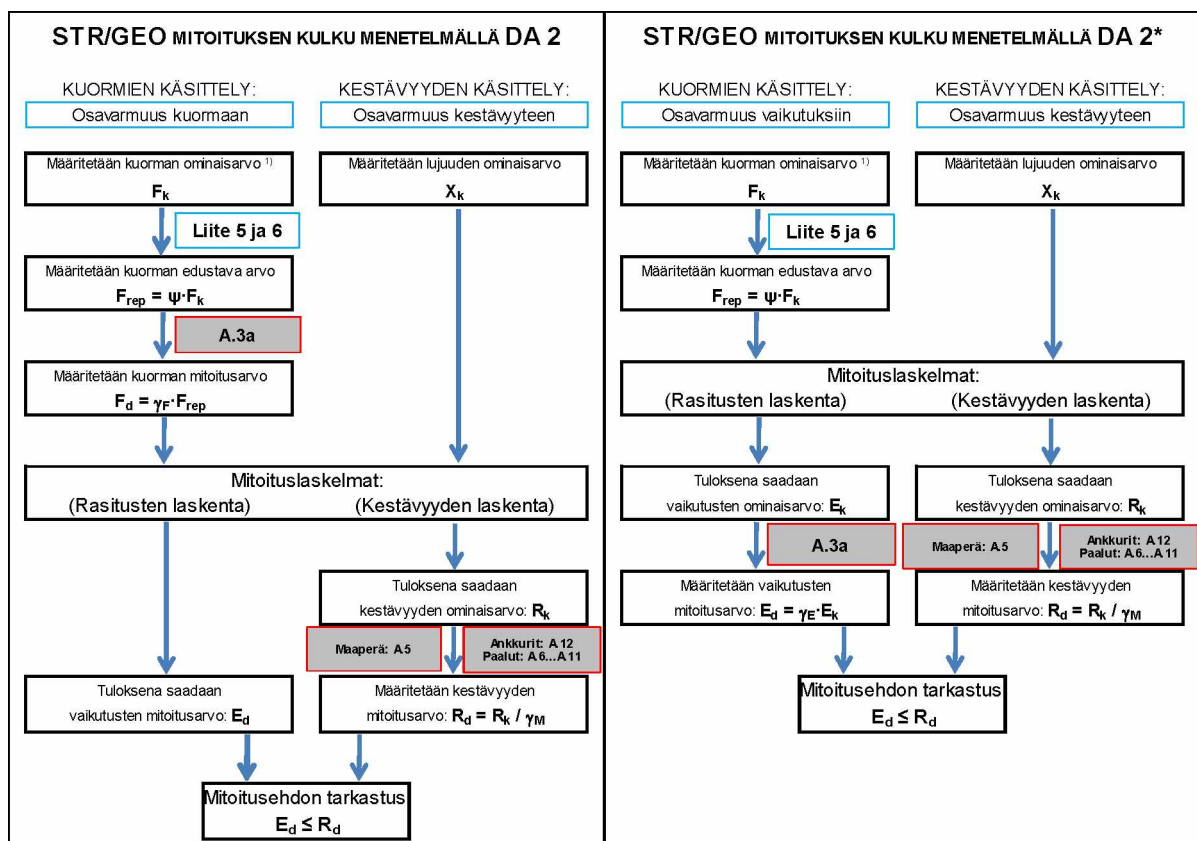
3.4.6 Rajatilat, mitoitusarvot ja varmuuksien kohdentaminen

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 kestävyys mitoitusarvo.

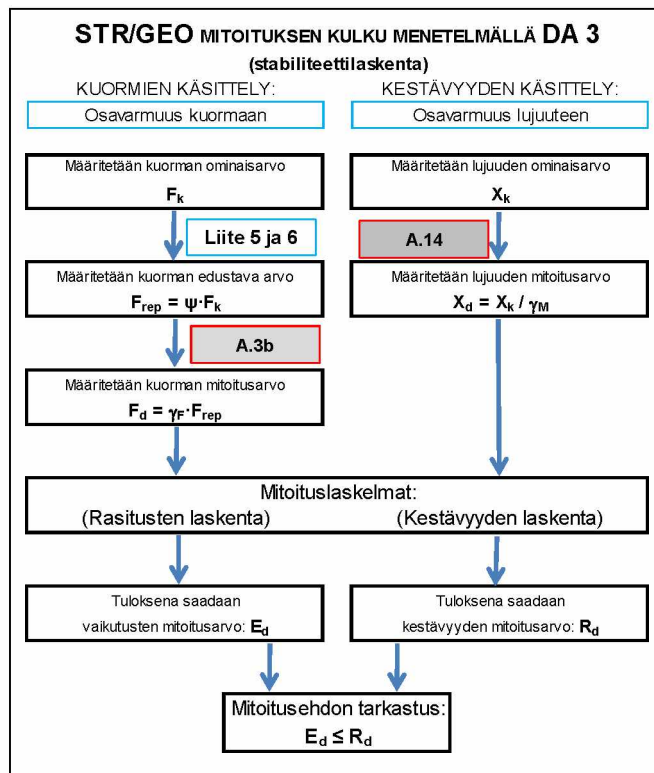
$$E_d \leq R_d \quad (3.1)$$

Rajatilassa STR/GEO prosessit mitoitusmenetelmien DA2, DA2* osalta on esitetty kuvassa 3.1 ja mitoitusmenetelmän DA3 osalta kuvassa 3.2.



Kuormien edustavat arvot saadaan yhdistelykertoimien ψ avulla (ks. tämän ohjeen liitteet 5 ja 6 ja kevyen liikenteen siltojen osalta NCCI 1). Varjostetuissa laatikoissa on esitetty missä vaiheessa tämän ohjeen liitteen 1 mukainen osavarmuusluku otetaan laskentaan mukaan.
¹⁾ Eräissä tapauksissa kuorman ominaisarvoa korotetaan mallikertoimella (ks. Kohta 5.4.1.5).

Kuva 3.1 STR/GEO –mitoitusprosessin kulku menetelmillä Da2 ja Da2*.



Varjostetuissa laatikoissa on esitetty missä vaiheessa tämän ohjeen liitteen 1 mukainen osavarmuusluku otetaan laskentaan mukaan

Kuva 3.2 STR/GEO –mitoitusprosessi kulku menetelmällä DA3.

Kuormapuolella voidaan varmuus sijoittaa joko suoraan kuorman edustavaan arvoon tai kuormien vaikutuksiin (esim. pintakuorma tai siitä aiheutuva ankkurivoima). Kestävyyden puolella voidaan varmuus sijoittaa joko suoraan maaparametrien ominaisarvoon tai laskettuun kestävyysarvoon (esim. $\tan \varphi$ tai kantavuus). Se mihin varmuus sijoitetaan, riippuu käytettävästä mitoitusmenetelmästä (DA1, DA2, DA2* ja DA3). Näitä asioita selvitetään tarkemmin jäljempänä.

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 mitoitusmenetelmää. Vakavuuden laskennassa käytetään mitoitusmenetelmää DA3. Antura- ja laattaperustusten, paaluperustusten, ankkurien ja tukirakenteiden mitoituksessa käytetään mitoitusmenetelmää DA2. Mitoitusmenetelmää DA2 voidaan soveltaa kahdella eri tavalla. Nämä erotetaan toisistaan merkinnöillä DA2 ja DA2*. Mitoitusmenetelmää DA2 voidaan käyttää, mikäli valinnasta ei aiheudu merkittävää taloudellista haittaa. Sillan välitukien peruslaattoja mitoittaessa asia on yleensä näin, kun vaakakuormien osuus on korkeintaan 20 % pystykuormista ja rakenteen korkeus pienempi kuin 10 metriä. Mitoitus on tällöin varmallalla puolella ja mitoituslaskelmat ovat oleellisesti yksinkertaisemmat verrattuna mitoitusmenetelmään DA2*.

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

Koska mitoitustavassa DA2* kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien vaikutuksiin ja eri kuormilla on erilaiset osavarmuusluvut, pitää laskelma suorittaa seuraavasti

- Rakennetta kuormitetaan murtorajatilan yhdistelmällä, jossa kuormat on kerrottu yhdistelykertoimilla, mutta ei osavarmuusluvuilla. (Yhdistelmä on sama kuin käyttörajatilan ominaisyhdistelmä). Kuorman osavarmuusluvulla kerrotaan vasta laskettu kuorman vaikutus (siirtymät, paineet, jännitykset, voimasuureet).
- Kaikki ne kuorman vaikutukset, joilla on eri osavarmuusluku, tulee laskea erikseen, jos rakenne tai materiaali käyttäytyy epälineaarisesti tai käytetään epälineaarista laskentamallia. Geoteknisessä mitoituksessa laskenta on lähes aina joltain osin epälineaarinen. Samoin on tilanne mitoittaessa siltaa kokonaisrakennemallilla tai joustavia tukiseiniä.

Jos rakenteen voidaan olettaa käyttäytyvän lineaarisesti, voidaan vaikutus laskea suoraan murtorajatilan yhdistelmälle tai summata yksittäisten kuormien vaikutukset ao. yhdistelykertoimia ja osavarmuuslukuja käyttäen, mitkä menettelyt johtavat täsmälleen samaan tulokseen (yleensä pohjapaineet). Taivutettujen rakenteiden osalla näin voidaan menetellä, jos pysytään sekä itse rakenteen että maata kuvaavien jousien osalta lineaarisella alueella murtorajatilan kuormitusyhdistelmälle.

- Laskenta etenee epälineaarisesti toimivien rakenteiden suhteen siten, että ensin rakennetta kuormitetaan pysyvillä kuormilla ja lasketaan pysyvien kuormien vaikutukset. Sen jälkeen rakennetta kuormitetaan pysyvillä ja määrävällä muuttuvalla kuormalla, jolloin saadaan vaikutusten muutoksina määrävään muuttuvan kuorman vaikutukset. Sen jälkeen kuormitetaan rakennetta pysyvillä ja kaikilla muuttuvilla kuormilla, jolloin saadaan muutoksina muiden muuttuvien kuormien vaikutukset. Tämän jälkeen kaikki vaikutukset kerrotaan niiden osavarmuusluvuilla ja summataan yhteen. Näin saadaan vaikutusten mitoitusarvot.
- Laskettaessa anturan tai peruslaatan pohjapaineen mitoitusarvoa kantavuuskaavan yhteydessä, käytetään tarkasteltavassa mitoitusapauksessa kuorman eri osatekijöille samaa tehokasta alaa, joka vastaa tilannetta, missä kaikki kuorman osatekijät vaikuttavat yhtä aikaa.

Mitoitustapa DA2 eroaa mitoitustavasta DA2* siten, että kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien vaikutusten sijasta suoraan kuormien edustaviin arvoihin.

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).

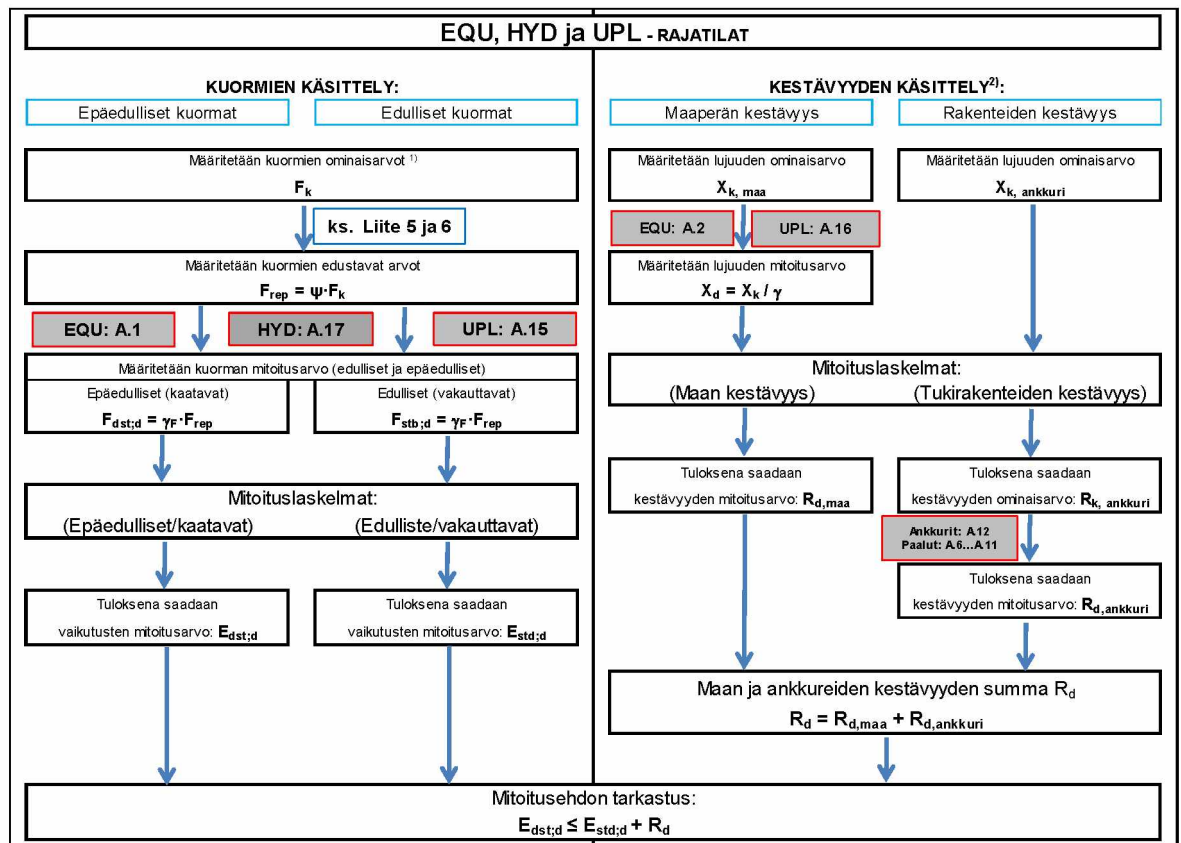
3.4.6.2 Tasapainon tarkistus, rajatilat EQU, UPL ja HYD

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 vaikutusten mitoitusarvon ja mahdollisen tasapainoa lisäävän kestävyysmitoitustarvon summa.

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + R_d \quad (3.2)$$

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

Kuvassa 3.3 on esitetty yleisesti tasapainontarkistusprosessi kokonaisuudessaan.



Kuormien edustavat arvot saadaan yhdistelykertoimien ψ avulla (ks. tämän ohjeen liitteet 5 ja 6 ja kevyen liikenteen siltojen osalta NCCI 1) Varjostetuissa laatikoissa on esitetty missä vaiheessa tämän ohjeen liitteen 1 mukainen osavarmuusluku otetaan laskentaan mukaan
¹⁾ Rajatilassa EQU kerrotaan rakennetta kaatavat pysyvät kuormat yleensä mallikertoimella (ks. 5.1.1.2 ja 5.4.1.1 sekä 5.4.1.5)
²⁾ Rajatilassa HYD ei huomioida kestävyysmitoitustarvoa

Kuva 3.3 EQU, UPL ja HYD mitoitusprosessien kulku.

Kuormapuolella osavarmuusluvut kohdistetaan kaikissa rajatiloissa EQU, UPL ja HYD kuormien edustaviin arvoihin. Kestävyyspuolella osavarmuusluvut kohdistetaan ta-pauksen mukaan joko maaparametrien ominaisarvoihin tai kestävyysmitoitustarvoon.

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 HYD (vrt. kuva 5.4) tarkastetaan veden suotovirtauksen aiheuttaman hydraulisen murtuman vaara. Tämä tapahtuu tarkastelemalla virtauksen suuntaisen maakappaleen tasapainotilaa. Esimerkki maakappaleesta on kuvassa 5.4 esitetty varjostettu alue.

Maakappaleen tasapainotila voidaan tarkastaa joko vertaamalla maakappaleen pohjalla vaikuttavia jännityksiä tai voimia. Eli tarkastetaan, että maakappaleen 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 maakappaleen vedenalaisen painon mitoitusarvo $G'_{dst;d}$. Kaavoina nämä ovat:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (3.4)$$

$$S_{dst;d} \leq G'_{stb;d} \quad (3.5)$$

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

Rajatilassa UPL (vrt. kuva 5.5) tarkastetaan nosteen vaikutus. Siinä tarkastetaan, että pystysuorien epäedullisten pysyvien ja muuttuvien kuormien mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin pystysuorien edullisten pysyvien kuormien mitoitusarvon ja kestävyyden mitoitusarvon summa. Kaavana tämä ilmaistaan:

$$G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (3.6)$$

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 edullisen pysyvän kuorman osavarmuusluvulla.

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 suunnittelun käyttöiän aikana vastaantulevia tilanteita. Näitä ovat: normaalisti vallitseva mitoitusilanne, tilapäinen mitoitusilanne, onnettomuusmitoitusilanne ja maanjäristysmitoitusilanne. Suunnittelussa mitoitusilanteet liittyvät yleisesti kuormiin tai mittatietoihin. Normaalisti vallitsevalle ja tilapäiselle mitoitusilanteelle käytetään samoja osavarmuuslukuja. Onnettomuusmitoitusilanteessa käytetään yleensä osavarmuuslukua 1,0.

Taulukko 4.1 Mitoitusilanteiden luokittelu

Mitoitusilanne	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

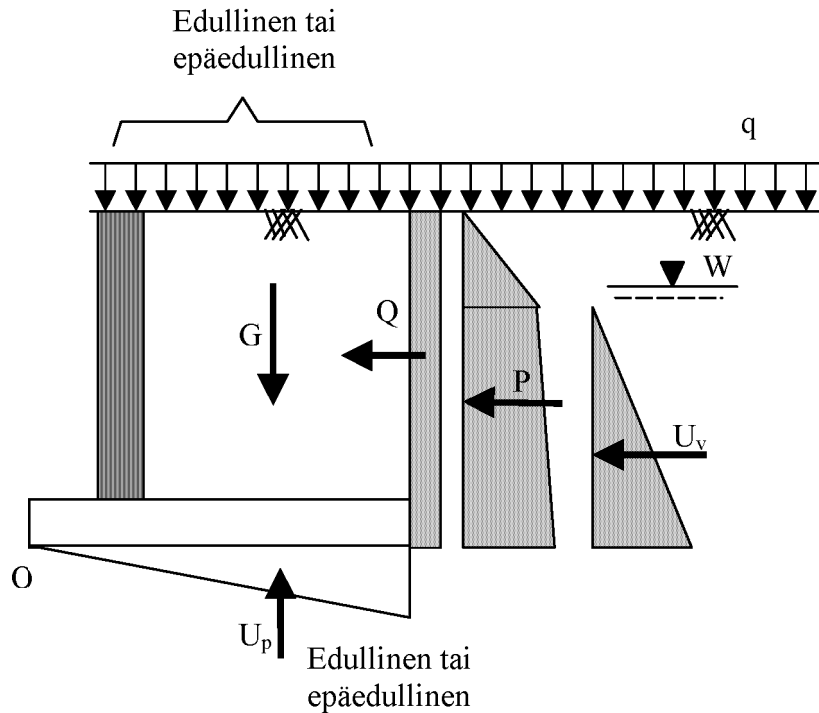
Tarkastellaan alla olevan kuvan 4.1 mukaista tukimuuria:

- 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 fysikaalisesti 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

Siltojen suunnittelussa vedenpaine otetaan huomioon pysyvänä kuormana tasovälillä NW...HW.

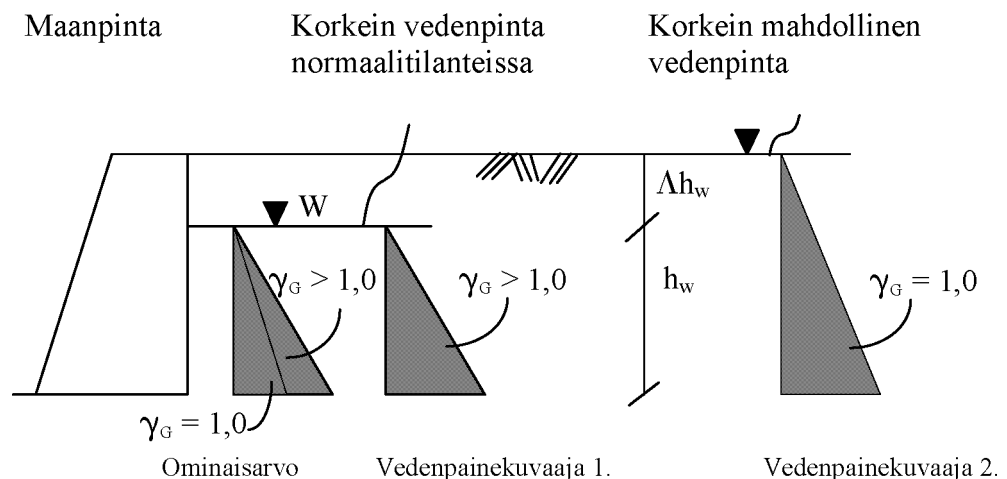
Yleisesti voidaan todeta, että Eurokoodin mukaan kuorman mitoitusarvo tulee arvioida suoraan tai johtaa edustavista arvoista käyttäen yhtälöä:

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

Vedenpaineen osalta tämä tarkoittaa, että mitoitusarvot voidaan määrittää lisäämällä turvamarginaali vedenpaineen ominisarvoon tai kohdistamalla osavarmuusluvut vedenpaineen ominisarvoon. Murtorajatiloiissa pohjavedenpaineen mitoitusarvojen tulee edustaa epäedullisimpia arvoja, jotka voivat esiintyä rakenteen suunnitellun käyttöiän aikana. Käyttörajatiloiissa 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 mitoitus tilanteissa. Vedenpainekuvaajan 2 mukaista vedenpainetta käytetään onnettomuusmitoitustilanteissa ja hienorakeisissa maaperissä (ks. 5.4.1). 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 ominaisvedenpaineet ja varmuusmenettelyn vaikutukset ja tehdä perusteltu valinta kulloinkin käytettäväksi varmuusmenettelyksi.

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

4.4 Liikennekuormat

4.4.1 Maantieliikenne

Maantielikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa 'Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1'.

Sillat ja niiden maatuot:

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/m² tasainen kuorma.
- Jos penkereelle maatuen taakse sijoitetuilla kuormakaavion LM1 akseleilla on määräävämpi vaikutus kuin koko hyödyllisellä leveydellä olevalla tasaisella kuormalla 20 kN/m², käytetään niitä maatukeen kohdistuvaa maanpainetta laskettaessa. Tällöin ei sillalta maatuulle tulevaa tukireaktiota laskettaessa sillalle sijoiteta akseleita vaan pelkkä LM1:n tasainen kuorma.
- Siipimuurin kannalta määräävä kuorma voi olla 20 kN/m² tai joku liikennekuormakaavioista LM1, LM2 tai LM3 riippuen siipimuurin koosta ja sillan hyödyllisestä leveydestä.
- Kevyen liikenteen silloilla penkereellä vaikuttavan tasaisen kuorman arvona käytetään 10 kN/m². 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.

Penkereiden ja leikkausten pohja- ja tukirakenteet:

Teiden pohja- ja tukirakenteiden mitoituksessa voidaan kuormakaavion LM1 eri kuormakaistojen telit käsitellä tasaisena kuorman ominaisarvona, jonka suuruus on 1. kuormakaistalla 84 kN/m², 2. kuormakaistalla 56 kN/m² ja 3. kuormakaistalla 28 kN/m². Tällöin tasaisen kuorman vaikutusalue tien pinnalla on poikkisuunnassa kais-tan levyinen (yleensä 3.0 metriä) ja pituussuunnassa 2.4 metriä. Kuorman oletetaan jakautuvan tiepenkereessä alaspäin mentäessä kaltevuudessa 2:1.

Pysyvien tukimuurien ja seinien liikennekuormien suhteen noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Tukimuurin takana vaikuttava liikennekuorma voidaan korvata 20 kN/m² tasaisella kuormalla.
- Jos penkereelle tukimuurin taakse sijoitetuilla kuormakaavion LM1 akseleilla on määräävämpi vaikutus kuin em. tasaisella kuormalla 20 kN/m², käytetään niitä tukimuriin kohdistuvaa maanpainetta laskettaessa (vrt. 'tiepenkereet' jäljempänä).
- Kevyen liikenteen väyliin liittyvien tukimuurien takana vaikuttavan tasaisen kuorman arvona käytetään 10 kN/m², ellei puhtaanapitotraktorin mitoittava vaikutus ole merkittävämpi.

- Edellä esitetyt kuormat voivat esiintyä tukimuurin peruslaatan päällä tai peruslaatan takana. Sijainnista riippuen kuormasta joko aiheutuu tai ei aiheudu pystysuuntainen jännitys anturan yläpintaan. Tukimuriin kohdistuvan maanpaineen (vaakasuuntainen jännitys) suuruus sen sijaan oletetaan samansuuruiseksi kuorman esiintyessä tukimuurin peruslaatan päällä tai peruslaatan takana.

Väliaikaisiin tukiseiniin ja muureihin kohdistuvien liikennekuormien suhteen noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Tukiseinän takana vaikuttava liikennekuorma voidaan yleensä korvata 20 kN/m² tasaisella kuormalla.
- Tapauskohtaisesti on tukiseinät tarkasteltava myös todellisen liikenteen mukaisille kuormille.

Paalulaatalle kohdistuvat kuormat kaaviosta LM1 esitetään. 'Paalulaatat ja paaluhatturakenteet' -ohjeessa. Kyseisiä kuormia voidaan käyttää soveltaen myös muiden maan sisällä sijaitsevien rakenteiden mitoittamiseen.

Pohjarakenteita ovat esimerkiksi paalulaatat, suihkuinjektointi ja syvästabilointi, kun pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on yli 200 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 kN/m². Tällöin työkone- ja muut työn aikaiset kuormitukset, kuten varastointikuormat, on otettava erikseen huomioon.

4.4.2 Raideliikenne

Raideliikenteen junakuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa 'Siltöjen 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 kuormakaaviota (LM71 asianomaisella α -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 ja 'Paalulaatat ja paaluhatturakenteet'-ohjeen mukaan

4.5 Maanpaino

Penkereen ja alueellisen stabiliteetin laskennassa maanpainon osavarmuusluku on 1,0 (DA₃, liitteen 1 taulukko A.3b(FI)). Pohjarakenteiden, tukirakenteiden ja maanvaraisten anturaperustusten laskennassa maanpainoa käsitellään kuormana ja siihen kohdistetaan asianmukaiset osavarmuusluvut (DA₂*, liitteen 1 taulukko A.3a(FI)).

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.

Ohjeessa 'Sillan geotekninen suunnittelu' on esitetty siirtymän ja penkereestä sillan päähän kohdistuvan maanpaineen yhteys. Esitetty yhteys kuvaa rakennettua täyttöä ja toistuvaa vuodenaikoihin sidottua siirtymätilaa. Sitä ei voi sellaisenaan soveltaa rakenteeltaan tai toimintatavaltaan erilaisiin rakenteisiin.

Katso kappale 5.4.

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 ympärystytön 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.

Passiivipainetta käsitellään joko kuormana tai kestävytenä.

Mikäli passiivipainetta käsitellään kuormana, käytetään yhdistelykertoimena aiheuttavan kuorman (esim. sillalla lämpötilan muutos tai jarrukuorma) yhdistelykerrointa ja osavarmuuslukua.

4.7 Paalujen negatiivinen vaippahankaus

Jos paalun ympärillä oleva maa painuu enemmän kuin paalu, syntyy paalun vaipan ja maan välille kitkan ja/tai adheesiovaikutuksesta '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.

4.8 Sysäys

4.8.1 Tiesillat

Tiesiltojen liikennekuormakaaviot sisältävät sysäyksiä.

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

4.8.2 Rautatiesillat

Rautatiesiltojen kuormakaaviot LM 71, SW/0 ja SW/2 kerrotaan dynaamisella suurennuskertoimella ϕ_2 (SFS-EN 1991-2 kohta 6.4.5.2), jonka suuruus riippuu raideliikenteestä alusrakenteille tulevia kuormia laskettaessa sillan jännemitoista sillalla olevan tuki- ja täytekerroksen paksuuden ollessa yhteensä pienempi kuin 1,0 metriä. Tuki- ja täytekerroksen paksuuden ollessa putki- ja betonisilloilla $>1,0$ metriä, dynaamista suurennuskerrointa voidaan pienentää määrällä $\Delta\phi = (h - 1,0)/10$, jossa h on sillalla olevan täytekerroksen 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 α -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.

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

Rautatiesiltojen perustuksia ei mitoiteta väsytykselle.

Pohja- ja tukirakenteisiin liittyvät dynaamiset suurennuskertoimet ja niiden soveltaminen on esitetty julkaisussa RATO3.

4.9 Kuormien yhdistely

4.9.1 Maantieliikenne

Siltojen pohjarakenteiden geoteknisessä mitoituksessa määrävänä muuttuvana kuormana on yleensä liikennekuorma (LM1 tai LM3, joita vastaavat kuormaryhmät ovat gr1a ja gr5). Maantielikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1”.

Liitteen 5 taulukossa on esitetty maantiesiltojen mitoituksessa määrävänä 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. Kuormaryhmät on esitetty liitteen 5 kuormitusyhdistelyjen yhteydessä (kuormaryhmät on esitetty myös Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” taulukossa B.3).

Liitteen 5 taulukoissa on esitetty kullekin kysymykseen tulevalle kuormitusyhdistelmälle sekä osavarmuusluku että yhdistelykerroin. Murtorajatilan kuormitusyhdistelyt on liitteessä 5 nimetty merkinnällä ”MRT_0”...”MRT_11”, joihin viitataan tässä kapaleessa esitetyissä kuormitusyhdistelyissä.

Sillan maatumien perustukset:

Maantiesillan maatumien perustuksia murtorajatilassa mitoitettaessa normaalitapa-uksissa mitoitettavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT1), jossa on
 - määrävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmän gr1a pienin tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT2), jossa on
 - määrävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr1a suurin tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT3), jossa on
 - määrävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio)

- gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT4), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr2 suurin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT5), jossa on
 - määräävänä kuormana liikennekuorman maanpaine (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_11)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja pienin liikennekuorman tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT6), jossa on
 - määräävänä kuormana liikennekuorman maanpaine (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_11)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja suurin liikennekuorman tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

Kalliolle ja maan varaan perustetulla maatuilla poikittaiset vaakakuormat ja epäkeskisyydet 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 epäkeskisyyttä otetaan kuitenkin huomioon paalutusta suunniteltaessa.

Risteysiltojen välitukien perustukset:

Risteysiltojen välitukien perustuksia mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT7), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr1a suurin tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT8), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio)

- gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
- muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT9), jossa on
 - määrävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr2 suurin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

Vesistösiltojen välitukien perustukset:

Vesistösiltojen välitukien perustuksia mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT10), jossa on
 - määrävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr1a suurin tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT11), jossa on
 - määrävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT12), jossa on
 - määrävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr2 suurin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT13), jossa on
 - määrävänä kuormana jääkuorma (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_10)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (NW ja pienin liikennekuorman tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

Suurissa vesistösilloissa välituilla joudutaan lisäksi käsittelemään yhdistelmät, joissa määrävänä muuttuvana kuormana on jääkuorman sijasta tuulikuorma tai laakerikit-

ka. Tällöin tarkastelu tehdään liitteen 5 kuormitusyhdistelmällä MRT_7 (tuulikuorma määrävänä) tai MRT_9 (laakerikitka määrävänä).

Jos silta on hyvin pitkä tai leveä ja pilarit ovat jäykästi kiinni päällysrakenteessa voi lämpöliikkeiden vaikutus olla niin suuri, että edellä esitettyjen kuormitustapausten lisäksi joudutaan tarkastelemaan kuormitustapaukset, joissa lämpöliike on määrävä muuttuva kuorma. Tällöin tarkastelu tehdään liitteen 5 kuormitusyhdistelmällä MRT_8.

Mikäli silta mitoitetaan myös erikoiskuormalle LM3, tehdään lisäksi tarkastelu liitteen 5 kuormitusyhdistelmällä MRT_2.

Liikennekuormien sijoittelu kuormakaistoille sillan poikkisuunnassa valitaan siten, että saavutetaan määrävä vaikutus.

Jos välituen pilari on jäykästi kiinni kansirakenteessa, tarkastetaan lisäksi kuormitustapaukset, joissa liikennekuormana on välituen pilarin yläpäähän suurimman kiertymän aiheuttava liikennekuorma.

Kevyen liikenteen silloilla sovelletaan tätä kappaletta ja kevyen liikenteen siltoja koskevia kappaleita Liikenneviraston soveltamisohjeesta ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1”.

Lisäksi tulee tarkastella Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” onnettomuusmitoitustilanne liitteen 5 onnettomuuskuormitusyhdistelmällä. Onnettomuus tilanteessa perustus ei saa murtua, liukua eikä kaatua jäykkänä kappaleena:

- Törmäys alapuolisiin rakenteisiin (NCCI 1 kappaleet F.4.3.1, F.4.3.2, F.4.5 ja F.4.8)

Tukimuurien perustukset:

Tukimuurien perustuksia murtorajatilassa mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT1), jossa on
 - määrävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmä gr1a peruslaatan takapuolella)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ -arvoilla kerrottuna, yleensä kysymyksen tulee vain maanpaine ja harvoin tuulikuorma

- kuormitustapaus (MT2), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr1a niin lähellä tukimuuria kuin mahdollista)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina, yleensä kysymyksen tulee vain maanpaine ja harvoin tuulikuorma
- kuormitustapaus (MT5), jossa on
 - määräävänä kuormana liikennekuorman maanpaine (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_11)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja liikennekuorma peruslaatan takapuolella)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma sekä maanpaine) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina, yleensä vain tuulikuorma tulee kysymykseen
- kuormitustapaus (MT6), jossa on
 - määräävänä kuormana liikennekuorman maanpaine (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_11)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja suurin liikennekuorma niin lähellä tukimuuria kuin mahdollista)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma sekä maanpaine) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina, yleensä vain tuulikuorma tulee kysymykseen

Paalulaatat:

Paalulaattoja murtorajatilassa mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT2), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmä gr1a määräävässä asemassa)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT4), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr2 määräävässä asemassa)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina, yleensä vain tuulikuorma tulee kysymykseen

Stabiloinnin toimiessa pohjarakenteena mitoitetaan se pysyväälle kuormalle (penger) sekä täydelle pystysuuntaiselle liikennekuormalle (vrt. 4.4.1)

4.9.2 Raideliikenne

Pohjarakenteiden geoteknisessä mitoituksessa määrävänä muuttuvana kuormana on yleensä junakuorma LM 71 tai SW/O. Raideliikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1”.

Liitteen 6 taulukossa on esitetty raideliikenteen siltojen mitoituksessa määrävät 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 on esitetty liitteen 6 kuormitusyhdistelyjen yhteydessä (kuormaryhmät on esitetty myös Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” taulukossa B.9).

Liitteen 6 taulukoissa on esitetty kullekin kysymykseen tulevalle kuormitusyhdistelmälle sekä osavarmuusluku että yhdistelykerroin. Murtorajatilan kuormitusyhdistelyt on liitteessä 6 nimetty merkinnällä ”MRT_o”...”MRT_g”, joihin viitataan tässä kappaleessa esitetyissä kuormitusyhdistelyissä. Kuormaryhmät on rakennettu taulukoihin mukaan, vaikka niiden nimiä ei taulukoissa esiinny (suunnittelijan on valittava määrävä kuormaryhmä kuhunkin käytettävään kuormitusyhdistelyyn). Kuormana käytetään yhdellä tai kahdella raiteella täyttä raideliikenteen kuorman arvoa ja kolmella raiteella 75 %:a täydestä arvosta ilman dynaamista suurennuskerrointa. (vrt. 4.4.2).

Sillan maatukien perustukset:

Sillan maatukien perustuksia murtorajatilassa mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT1), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT2), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määrävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

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

- kuormitustapaus (RT3), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävänä kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (RT4), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määrävänä kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (RT5), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_9)
 - määrävänä kuormana liikennekuorman maanpaine
 - pienin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 pienin tukireaktio)
 - kaksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (RT6), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_9)
 - määrävänä kuormana liikennekuorman maanpaine
 - suurin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (NW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 suurin tukireaktio)
 - kaksiraiteisella sillalla (NW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

Kalliolle ja maan varaan perustetulla maatuilla poikittaiset vaakakuormat ja epäkeskisyydet 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 maatukien ollessa massaltaan pieniä, voidaan vaakakuormat joutua ottamaan poikkisuuntaan vinoilla paaluilla.

Sillan välitukien perustukset (kiinteä laakeri):

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

- kuormitustapaus (RT7), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvollaan
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT8), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvollaan ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvollaan
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT9), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvollaan ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvollaan
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

- kuormitustapaus (RT10), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

Sillan välitukien perustukset (liikkuva laakeri):

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

- kuormitustapaus (RT11), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (RT12), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (RT13), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_4 tai MRT_8)
 - määräävänä kuormana tuuli- tai jääkuorma
 - pienin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 pienin tukireaktio)
 - kaksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

- kuormitustapaus (RT14), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_4 tai MRT_8)
 - määrävänä kuormana tuuli- tai jääkuorma
 - suurin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (NW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 suurin tukireaktio)
 - kaksiraiteisella sillalla (NW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru- /kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

Kolme- ja useampiraiteisilla silloilla on lisäksi tarkastettava kuormaryhmän gr 31 vaikutus.

Kuormaryhmät, jotka sisältävät SW/2 kuormakaavion, tulee ottaa huomioon, mikäli ne ovat määräviä.

EQU rajatilassa tulee tarkastella myös kuormittamattoman junan tapaus (gr 15 ja kuormitusyhdistely MRT_5).

Lisäksi tulee tarkastella Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” onnettomuusmitoitustilanteet liitteen 6 onnettomuuskuormitusyhdistelmillä. Onnettomuusstilanteessa perustus ei saa murtua, liukua eikä kaatua jäykkänä kappaleena:

- NCCI 1 kappaleen B.6.7.1 mukainen suistumiskuorma
- Törmäys alapuolisiin rakenteisiin (NCCI 1 kappaleet F.4.3.1, F.4.3.2, F.4.5 ja F.4.8)

Tukimuurien perustukset:

Tukimuurien perustuksia murtorajatilassa mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT3), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävänä kuormaryhmän suurin pystykuorma peruslaatan takapuolella ja/tai pienin peruslaatan päällä)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru- /kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna, yleensä maanpaine
- kuormitustapaus (RT4), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14

- määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
- suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määrävänä kuormaryhmän suurin pystykuorma peruslaatan päällä ja takapuolella)
- keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
- muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna, yleensä maanpaine
- kuormitustapaus (RT5), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_9)
 - määrävänä kuormana liikennekuorman maanpaine
 - pienin mahdollinen pystykuorma peruslaatan päällä ja suurin mahdollinen peruslaatan takapuolella
 - yksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 pienin pystykuorma peruslaatan päällä ja/tai suurin peruslaatan takapuolella)
 - kaksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 pienin pystykuorma peruslaatan päällä ja/tai suurin peruslaatan takapuolella)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (RT6), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_9)
 - määrävänä kuormana liikennekuorman maanpaine
 - suurin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (NW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 suurin pystykuorma peruslaatan päällä ja takana)
 - kaksiraiteisella sillalla (NW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 suurin pystykuorma peruslaatan päällä ja takana)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

Paalulaatat:

Paalulaattoja murorajatilassa mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT2), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävän kuormaryhmän suurin pystykuorma)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT3), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävän kuormaryhmän suurin pystykuorma)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

Stabiloinnin toimiessa pohjarakenteena mitoitetaan se pysyvälle kuormalle (penger) sekä täydelle pystysuuntaiselle liikennekuormalle (vrt. 4.4.2)

5 Mitoitus perustamistavoittain

5.1 Antura- ja laattaperustukset

5.1.1 Kallionvarainen perustaminen

5.1.1.1 *Kantokestävyys STR/GEO DA2**

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.

Jos perustetaan kallion päällä olevan murskekerroksen varaan, saa kantokestävyuden ominaisarvo olla korkeintaan 1,5 MPa. Murskekerroksen paksuus saa tällöin olla enintään 0,05x(perustuksen pienempi sivumitta) ja maksimissaan 0,5 metriä. Muussa tapauksessa perustaminen käsitellään maanvaraisena kohdan 5.1.2 mukaisesti.

Kantokestävyyttä määritettäessä osavarmuusluvulle käytetään arvoa 1,55.

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

Mitoitustapa DA2* on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

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 piste, joka sijaitsee murskekerroksen paksuuden mitan etäisyydellä perustuksen reunasta. 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 edellä esitetyn kaatumiskiertopisteen suhteen. Mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.1(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Rakennetta kaatavat pysyvät voimat kerrotaan mallikertoimella 1,20. Mallikertoimella kerrotaan rajatilan EQU mukaisesti laskettu voiman ominaisarvo. Mallikerroin ei korvaa osavarmuuslukua.

Mitoitusehto:

Vakauttavien kuormien vaikutusten mitoitusarvo \geq kaatavien kuormien vaikutusten mitoitusarvo

Jännittämättömiä ankkureita ei käytetä perustuksen kallioon ankkurointiin käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmälle.

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° 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

δ_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 0,7. Murskekerroksen varaan perustettaessa leikkauskestävyyskulmana käytetään kappaleen 5.1.2.3 mukaista arvoa. 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.

Mitoitustapa DA2* on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

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 perustaminen

5.1.2.1 Kantokestävyys STR/GEO DA2*

Maanvaraiseksi perustus katsotaan, kun kallion päällä olevan murskekerroksen paksuus on $> 0,05x$ (perustuksen pienempi sivumitta) ja aina kun paksuus on $> 0,5$ m.

Maanvaraisen perustuksen kantokestävyys lasketaan kaavalla 5.2 ja 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).

Muiden kuin maanpaine kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja. Maanpaine kuormien osalta menetellään luvun 5.4.1.6 mukaisesti.

Mitoitusehto:

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

Pohjavedenpinnan asema otetaan aina huomioon kantokestävyyttä laskettaessa epäedullisimman tilanteen mukaan.

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

Mitoitustapa DA2* on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

5.1.2.2 Kuorman epäkeskisyyden huomioiminen

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

5.1.2.3 Liukuminen STR/GEO DA2*

Liukumistarkastelu tehdään aina vaakakuorman suurimman resultantin suuntaan.

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta:

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

jossa δ_k on maan ominaisleikkauskestävyysskulma, jolle voidaan käyttää maan leikkauskestävyysskulman arvoa, jos perustus on valettu maan varaan ja arvoa $\frac{2}{3}$ * leikkauskestävyysskulma elementtiperustuksia käytettäessä. Mikäli elementin alapinta karhennetaan, voidaan karhennuksen vaikutus huomioida ominaisleikkauskestävyysskulman arvossa. Maan leikkauskestävyysskulman täyden arvon käyttäminen ominaisleikkauskestävyysskulmana edellyttää, että karhennus vastaa alapuoleisen maan raekokoa D_{50} . 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.

Muiden kuin maanpaine kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja. Maanpaine kuormien osalta menetellään luvun 5.4.1.6 mukaisesti.

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

Mitoitustapa DA2* on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

5.1.2.4 Painumat SLS

Perustusten painumat lasketaan kuorman ominaisarvoilla ottaen huomioon pysyvät kuormat aina ja liikennekuormat karkearakeisissa maalajeissa.

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 tyyppillä 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 kehittyvä 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

Paalutusten osalta noudatetaan pääsääntöisesti Paalutusohjetta 2011. Tässä soveltamisohjeessa annetaan täydentäviä ohjeita koskien lähinnä siltoja. Näitä ohjeita voidaan kuitenkin soveltaa myös muita taitorakenteita suunniteltaessa.

Liikenneviraston kohteissa kantokestävyys määritetään pääsääntöisesti dynaamisten koekuormitusten perusteella.

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

Paalutusohjeen 2011 osan 1 taulukon 4.18 mukaisesti siltojen paalutukset kuuluvat siten joko paalutustyöluokkaan PTL2 tai PTL3 siten, että tavanomaisten siltojen paalutukset geoteknisen luokan GL2 mukaisissa olosuhteissa kuuluvat yleensä paalutusluokkaan PTL2 ja kaikki muut siltojen paalutukset paalutustyöluokkaan PTL3. Paalutustyöluokka määritetään siltakohtaisesti, mahdollisesti jopa tukikohtaisesti.

Paalulaattojen paalutukset kuuluvat paalutustyöluokkaan PTL2 ellei hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa ole toisin vaadittu.

5.2.2 Tukipaalu

5.2.2.1 Puristuskestävyys STR/GEO DA2*

Paalujen puristuskestävyys määräytyy joko paalun rakenteellisen tai geoteknisen kestävyden perusteella: puristuskestävyyden mitoitusarvo on joko paalun rakenteellisen kestävyden 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 kantokestävyden perusteella. Porapaalut ja kiviinpaalut ulotetaan yleensä kallioon, jolloin kallion lujuus ja rakenne määräävät paalun geoteknisen puristuskestävyyden. Ehjään suomalaiseseen kallioon tukeutuvan paalun kärjen kantokestävyys ei yleensä ole mitoittava, vaan kestävyys määräytyy paalun rakenteen kestävyden perusteella.

Mitoitustapa DA2* on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

Porapaalun (geotekninen) puristuskestävyys

Porapaalujen geotekninen puristuskestävyys osoitetaan laskennallisesti pohjatutkimuksiin perustuen.

Ehjään suomalaiseen syväkivilajista muodostuvaan kallioon tukeutuvan paalun kärki-kestävyys ei yleensä ole mitoitettava, vaan kestävyys määräytyy paalun rakenteen kestävyiden perusteella.

Kallioon tukeutuvan porapaalun kärjen geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo voidaan arvioida PO 2011:n osan 1 kohdan 4.5.2 mukaisesti. Geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo saadaan kestävyiden mitatusta arvosta jakamalla se korrelaatiokertoimella $\xi=1,25$. Geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo saadaan kestävyiden ominaisarvosta jakamalla se osavarmuusluvulla $\gamma_t=1,2$.

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 yläpään. Kestävyys varmistetaan jokaisen porapaalun osalta erikseen.

Mikäli paalujen läheisyydessä tehdään louhintatöitä, on turvallinen etäisyys louhintatasoon nähden normaalisti 3 m. Mikäli porapaalujen alapää joudutaan sijoittamaan 3 m lähemmäs louhintatasoa, pitää kallion rikkoontumisen vaikutus määrittää geoteknisen asiantuntijan toimesta.

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

Porapaalujen mitoitusta on käsitelty ohjeessa ’Sillan geotekninen suunnittelu’.

Kaivinpaalun geotekninen puristuskestävyys

Kaivinpaalun geotekninen puristuskestävyys osoitetaan laskennallisesti tukeutumalla pohjatutkimuksiin ja työn aikana tehtyihin maaperähavaintoihin (maalaji, kaivuvaikus).

Kallioon tukeutuvan **kaivinpaalun** geotekninen puristuskestävyys mitoitetaan ohjeen PO 2011:n osan 1 kohdan 4.5.2 mukaisesti.

Kaivinpaalun pohjan tukeutuminen kallioon voidaan varmistaa injektoimalla kontaktipinta.

Lyöntipaalun puristuskestävyys

Lyöntipaalun 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 dynaamisten koekuormitusten perusteella kaavasta:

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R \quad (5.4)$$

jossa

- $R_{c;k}$ on $R_{c;m} / \xi$ paalun geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo
 $R_{c;m}$ koekuormitustulosten keskiarvo $R_{c;m;mean}$ tai pienin arvo $R_{c;m;min}$
 ξ korrelaatiokerroin, ξ_5 kohdistetaan arvoon $R_{c;m;mean}$ ja ξ_6 arvoon $R_{c;m;min}$
 γ_R paalun kestävyden osavarmuusluku

Paalun geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo $R_{c;k}$ on $R_{c;m;mean}$ ja $R_{c;m;min}$ 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 riippumatta ja suuruudeltaan 1,20.

Korrelaatiokerroimen arvo riippuu dynaamisista koekuormitusta käytettäessä koestettujen paalujen lukumäärästä n tai prosentuaalisesta osuudesta seuraavasti (Paalutusohje 2011, osa1, taulukko 4.10):

Taulukko 5.1 Korrelaatiokerroimen määrittäminen

ξ kun $n=$	2-4 / 1-5 %	5-9 / 5-40 %	10-14 / 40-65 %	15-19 / 65-90 %	≥ 20 / 90-100 %
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

Lukumäärällä n tarkoitetaan geoteknisen kestävyden kannalta samanlaisissa olosuhteissa tehtyjen samanlaisten paalujen mittauksien lukumäärää tai osuutta paalujen kokonaismäärästä. Kappalemäärän tai prosenttiosuuden mukaan valitaan se, jonka perusteella saadaan pienempi korrelaatiokerroin.

Taulukon ξ -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 ξ_5 ja sille arvoa 1,60.

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

ξ -arvot voidaan kertoa mallikertoimella 0,9, kun käytetään signaalinsovitusta.

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

Useampia edellä mainittuja mallikertoimia käytettäessä ξ -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” paaluilta ”vahvoille” paaluille. Tällöin kertoimet ξ_5 ja ξ_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. Tämä koskee myös muita riittävän jäykkiä taitorakenteita, joissa vaakakuormat otetaan aksiaalisilla paaluvoimilla. Paalulaatoilla tätä reduktiota ei voida tehdä.

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

Lyöntipaaluja käytettäessä paalujen puristuskestävyys arvioidaan suunnitteluvaiheessa seuraavasti:

1. Tutkimusten, paalun ja lyöntikaluston perusteella sekä toteutusvaiheessa syntyvien mittaustulosten hajonta arvioiden määritetään saavutettavissa oleva $R_{c,m}$.
2. Määritetään tehtävien PDA-mittausten määrä, jolloin saadaan ξ
3. Edellisten perusteella lasketaan $R_{c,k}$ ja $R_{c,d}$

$R_{c,m}$ määritetään (kohta 1) lähtökohtana paalun lyönninkestävyys, joka määrittelee paalun geoteknisen kestävyuden maksimi-arvon $R_{k,geo,max}$ ($R_{c,m} < R_{k,geo,max} \leq R_{lyöntikestävyys}$). $R_{k,geo,max}$ määritetään paalulle asennuksessa sallittavan suurimman lyöntijännityksen ja paalutusohjeen PO-2011 taulukosta 4.19 valitun paalutustyöluokan (PTL3 tai PTL2) perusteella. Lisäksi arvo $R_{k,geo,max}$ tarkistetaan teräsbetonipaalulla momentinkestävyuden (PO-2011:n kohta 4.7.2.1) suhteen sekä teräspaalulla seinämän stabiliteetin suhteen. Paalulle sallittava suurin lyöntijännitys määritetään käytännössä seuraavasti:

- Paalutustyöluokassa PTL3 teräspuutkipaalun geoteknisen puristuskestävyyden murtoarvo $R_{c,m}$ ($= \gamma \cdot \xi \cdot R_{c,d}$) saa aiheuttaa paalun vaippaputkeen keskeisen puristusjännityksen, joka on korkeintaan 90 % paaluteräksen myötörajasta ellei paalun seinämän stabiliteetti vaadi tätä pienempää jännitystasoa. Paalutustyöluokan PTL2 mukaisen teräspuutkipaalun geoteknisen puristuskestävyyden suurinta arvoa vastaava jännitys on 72 % paaluteräksen myötörajasta. Teräspuutkipaaluja suunniteltaessa suositellaan kuitenkin käytettäväksi paalutustyöluokassa PTL3 paalun murtokestävyydelle arvoa, joka vastaa 80...90 % teräksen myötörajasta, ja paalutustyöluokassa PTL2 arvoa, joka on 60...70 % teräksen myötörajasta.
- Paalutustyöluokassa PTL3 teräsbetonipaalun murtokestävyys $R_{c,m}$ ($= \gamma \cdot \xi \cdot R_{c,d}$) saa aiheuttaa paaluun keskeisen puristusjännityksen, joka on korkeintaan 80 % paalun betonin ominaispuristuslujuudesta. Paalutustyöluokan PTL2 mukaisen teräsbetonipaalun geoteknisen puristuskestävyyden suurinta murtoarvoa vastaava jännitys on 64 % paalun betonin ominaislujuudesta. Teräsbetonipaalusta suunniteltaessa suositellaan kuitenkin käytettäväksi paalutustyöluokassa PTL3 paalun murtokestävyydelle arvoa, joka vas-

taa 70...80 % paalun betonin ominaislujuudesta ja paalutustyönluokassa PTL2 arvoa, joka on 55...65 % paalun betonin ominaislujuudesta.

Suunnitteluvaiheessa tarkistetaan, että vaatimukset täyttäviä CE-merkittyjä paaluja ja paalukärkiä on saatavilla.

Paalun ja sen varusteiden vetojännityksen kestävyys saattavat rajoittaa rakenteen lyönninkestävyyttä. Paalun kestävyys käyttötilassa on tarkistettava, koska mm. paalun nurjahdusriski ja alkukäyryys voivat pienentää tavoitellun geoteknisen kestävyysarvoa.

Suunnitteluvaiheessa tulee myös varmistaa, että saatavilla on paalutyyppisiä, joiden rakenne täyttää PO-2011:n kohdan 4.7.2 vaatimukset ja jotka soveltuvat suunniteltuihin pohjaolosuhteisiin.

Toteutusvaiheessa tehdään kohdan 2 mukaiset dynaamiset koekuormitukset, joilla varmistetaan että paalun geotekninen puristuskestävyys on riittävä.

Sillan jokaisen tuen paaluista (n kpl) tulee koekuormittaa dynaamisesti vähintään N kpl:

n =	≤2	4	32	64	128	≥256 kpl
N=	kaikki	2	8	12	16	24 kpl

Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti ja lukumäärä pyöristetään lähimpään kokonaislukuun.

Paalulaattojen paaluista tulee koekuormittaa dynaamisesti kullakin liikuntasauvojen rajaamalla paalulaatan osalla vähintään 5 % paaluista, kuitenkin vähintään 5 paalua. Koekuormitettavat paalut on valittava niin, että ne edustavat kattavasti koko paalukenttää.

5.2.2.2 Vetokestävyys STR/GEO DA2*

Paalujen vetokestävyyttä voi käyttää yleensä koheesiomaalajeissa hyväksi vain lyhytaikaisille kuormille.

Mitoitusehto:

paalun kuorman mitoitusarvo \leq paalun vetokestävyysarvo

Mitoitustapa DA2* on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

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

Paalun geotekninen vetokestävyys lasketaan kaavasta:

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

jossa

$R_{t;k}$ on $R_{t;m} / \xi$ paalun geoteknisen vetokestävyuden ominaisarvo
 $R_{t;m}$ vaippakitkan murtolujuuden keskiarvo $(R_{s;cal})_{mean}$ tai pienin arvo $(R_{s;cal})_{min}$
 ξ korrelaatiokerroin, ξ_3 kohdistetaan arvoon $(R_{s;cal})_{mean}$ ja ξ_4 arvoon $(R_{s;cal})_{min}$
 $\gamma_{s;t}$ vetokestävyuden osavarmuusluku

Korrelaatiokertoimella ξ_3 jaetaan tutkimustulosten perusteella lasketun vaippakitkan murtoarvon keskiarvo $(R_{s;cal})_{mean}$ ja korrelaatiokertoimella ξ_4 tutkimustulosten perusteella lasketun vaippakitkan murtoarvon pienin arvo $(R_{s;cal})_{min}$. Paalun vetokestävyuden ominaisarvo $R_{t;k}$ on näiden perusteella lasketuista $R_{t;k}$ -arvoista pienempi.

Taulukko 5.2 Korrelaatiokertoimet ξ ominaisarvon johtamiseksi pohjatutkimustuloksista ($n = \text{tutkimuspisteiden} \cdot \text{lukumäärä}$)

ξ kun n=	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,85	1,77	1,73	1,69	1,65	1,62	1,60
ξ_4	1,85	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40

*suunnittelualueen samantyyppisissä pohjasuhteissa laskettujen, likimain samanpituisten paalujen lukumäärä. Kunkin paalun laskennan tulee perustua paalun läheisyydestä tehtyyn pohjatutkimuspisteeseen. Laskennan perusteena olevan pohjatutkimuspisteen tulee kattaa koko paalun pituus sekä soveltua vetokestävyuden laskentaan.

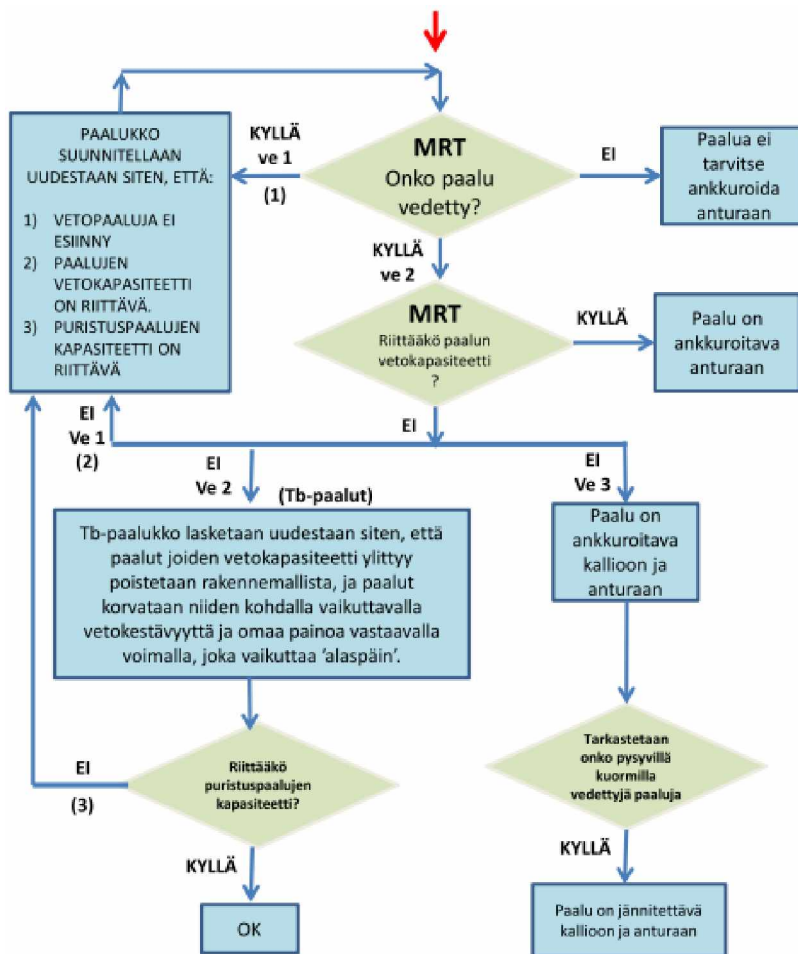
Vetokestävyuden ominaisarvo voidaan laskea kaavalla:

$$R_{t;k} = \sum A_{s;j} \cdot q_{s;j;k} \quad (5.6)$$

missä $q_{s;j;k}$ on maapohjan ominaisuuksien avulla laskettu vaippakitkan ominaisarvo eri kerroksissa.

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.

Paalut ja niiden ankkuroinnit on mitoitettava murtorajatilassa sekä puristukselle että vedolle. Alla olevassa vuokaavio antaa esimerkkejä vetopaaluihin kohdistuvista tarkasteluista.



Kuva 5.1 Esimerkkejä vetopaaluihin kohdistuvista tarkasteluista

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 vaakatukea ei yleensä käytetä rakenteeseen vaikuttavien vaakakuormien ottamiseen.

Maan liikkeistä paaluihin tulevat rasitukset 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 ole mukana kuin kuormien ominaisarvojen osuudella.

Maan kestävyden osavarmuusluku on 1,5.

Kummassakin tapauksessa on otettava huomioon maan 'vaakasuuntaisen kantokestävyyden' raja, jonka jälkeen jousen voima ei enää kasva.

Kuten maan kantokestävyyttä määritettäessä osavarmuusluku kohdistetaan kestävyteen eikä ominaisuuksiin.

Mitoitustavat DA2 ja DA2* on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

Raakaturpeen sivutuentaa ei saa hyödyntää. Maatuneiden ja keskinkertaisesti maatuneiden turpeiden leikkauslujuutta redusoidaan Ratahallintokeskuksen julkaisussa 'B15 Radan stabiliteetin laskenta, olemassa olevat penkereet' esitetyllä tavalla".

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 suljettu leikkauslujuus on pienempi kuin 20 kPa. Muille maassa oleville paaluille nurjahduskestävyys tulee tarkistaa, kun suljettu leikkauslujuus on pienempi kuin 10 kPa. Jos ohjeen RHK B15 mukaan määritetty eloperäisen maakerroksen leikkauslujuus on pienempi kuin 5 kPa, ei sitä saa käyttää laskennallisesti hyväksi nurjahdustarkasteluissa.

Paalun nurjahdustarkastelu voidaan suorittaa esimerkiksi rakennemallilla, jossa maan paalua tukeva vaikutus kuvataan jousilla tai Paalutusohjeen 2011 kohdan 4.7.4 esittämällä tavalla. Tarkastelu tulee tehdä DA2:n mukaan, jolloin kuorman osavarmuusluvut kohdistetaan kuormien ominaisarvoihin ja maan kestävyden osavarmuusluku 1,5 kohdistetaan 'jousien kestävyden ominaisarvoihin'. Itse jouset lasketaan maan ominaisuuksien ominaisarvoja käyttäen.

Mitoitustavat DA2 ja DA2* on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

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 laskennallisesti käsitellä paaluryhminä ja suunnitella niin, että kuormien jakautuminen ryhmän paaluille voi tapahtua laskelmassa oletetulla tavalla ilman, että itse teräsbetonisella laalla 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 pi-

tuuksille, jos sallitut paalujen toleranssit ovat ylittyneet. Tarkistuslaskennassa paalujen suunnittelussa käytetty geotekninen puristus- tai vetokestävyys voi ylittyä yksittäisen paalun osalla korkeintaan 15 %.

Koska paalujen toiminta on lineaarista ja sekä pysty- että vaakakuormat otetaan paalujen aksiaalisilla voimilla, johtaa paalun kuormien laskenta DA2- ja DA2*-menetelmällä samoihin paalun kuormiin.

5.2.3 Kitkapaalu

Kitkapaaluja käytetään yleensä vain kevyen liikenteen siltojen perustuksissa.

Paalujen puristus- ja vetokestävydet määritetään PO 2011 esitettyjen periaatteiden mukaan.

ξ -arvot kerrotaan aina mallikertoimella 1,05.

5.2.4 Koheesiopaalu

Koheesiopaaluja ei yleensä käytetä pysyvissä rakenteissa.

Paalujen puristus- ja vetokestävydet määritetään PO 2011 esitettyjen periaatteiden mukaan. Dynaamiset koekuormitukset eivät sovellu koheesiopaalujen kestävyden mittaukseen.

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 ankkurikuormaan ja ulosvetokestävyyteen. Osavarmuuslukuina käytetään ankkurikuorman osalta taulukon A.3a(FI) arvoja ja ulosvetokestävyyden osalta taulukon A.12(FI) arvoja.

Mitoitustapa DA2 on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

Ankkurien mitoitus perustuu epäyhtälöön:

$$P_d \leq R_d \quad (5.7)$$

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 suuntaoikeamat, ankkuroinnin ja ankkurivoiman vaikutus ympäröiviin rakenteisiin, eri materiaalien jäykkyyserojen vaikutus, ankkurointipisteen riittävä etäisyys tuettavasta massasta ja ankkurien yhteistoiminta.

Korroosiosuojauksen suunnittelussa pitää noudattaa SFS-EN 1537 vaatimuksia.

KOEVETO:

SFS-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 yleensä kaikille pysyvän kuorman rasittamille ankkureille. Mikäli ankkuria rasittaa vain muuttuva kuorma tai ankkurit ovat esijännittämättömiä kallioankkureita, koeevedetään ankkureista vähintään 20 % ja kaikkien ankkurien osalta kallion vesitiiveys todetaan vesimenekikokeella. Jos koeevetoa ei voida suorittaa, ankkurien koeevetovoiman perusteella laskettuun pituuteen tulee lisätä 20%.

Koeevetovoiman P_p tulee toteuttaa yhtälö:

$$P_p \geq 1,25P_d \text{ väliaikaisilla ankkureilla ja } 1,50P_d \text{ pysyvillä ankkureilla} \quad (5.8)$$

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

$$P_p < 0,9P_{0,1k} \quad (5.9)$$

Missä R_k on ankkurin ulosvetokestävyuden ominaisarvo ja $P_{0,1k}$ on ankkurin vetovoima, joka vastaa käytetyn teräksen 0,1-rajaa (jännitystä, joka vastaa 0,1% plastista muodonmuutosta).

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:

Kestävyuden mitoitusarvon määrittäminen perustuu koeevetoon.

$$R_d = P_p / \gamma_a \quad (5.10)$$

Missä γ_a on esijännitettyjen ankkurointien osavarmuusluku, Liite 1. taulukko A.12(FI).

Jännittämättömille ankkureille käytetään samoja osavarmuuslukuja kuin esijännitetyille ankkureille.

Riittävän varmuuden toteaminen:

$$R_d > P_d \quad (5.11)$$

5.3.2 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Hyväksyttävien siirtymien maksimiarvot 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.

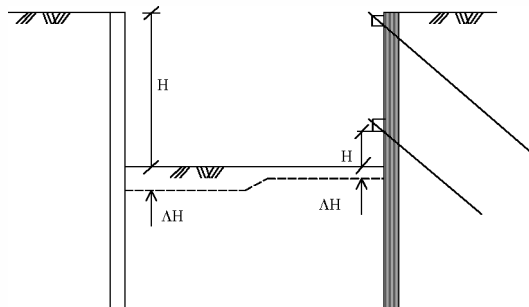
Ensimmäisenä tehdään aina laskelma ominaisarvoilla, jolloin saadaan käsitys kokonaisvakavuuden suuruusluokasta.

Mitoituksessa tulee tarkastella kokonaisstabiliteetti, vaaka- ja pystystabiliteetti, 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.

$$\Delta H = \frac{H}{10} \leq 0.5m$$

Kuvassa 5.2 on esitetty laskelmissa käytettävän kaivutason määrittäminen.



Kuva 5.2 Mitoituksessa käytettävän kaivutason määrittäminen.

Poikkeustapauksissa voidaan käyttää kuvassa 5.2 esitettyä pienempää ΔH arvoa. Tällöin pitää suunnitelmassa määrittää luotettava kaivutason korkeuden valvontaprosessi.

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- ja suotustasoon yhdistettynä ”vuotoreikiin” 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.

Rajatilassa EQU rakennetta kaatavat pysyvät voimat kerrotaan mallikertoimella 1,20. Mallikertoimella kerrotaan rajatilan mukaisesti laskettu voiman ominaisarvo. Mallikerroin ei korvaa osavarmuuslukua.

5.4.1.2 *Lepopaine*

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

Lepopaine lasketaan kaavasta:

$$K_0 = (1 - \sin \varphi') \times \sqrt{OCR} \cdot (1 + \sin \beta) \quad (5.12)$$

Missä φ' on maan tehokas leikkauskestävyysskulma ja β maanpinnan kaltevuus vaakatasosta ylöspäin. Maanpinnan kaltevuuskulma β voi laskelmissa olla maksimissaan tehokkaan leikkauskestävyysskulman φ' suuruinen.

Yhtälö (5.12) ei sovellu suurille OCR arvoille.

Resultantin voidaan olettaa olevan maanpinnan suuntainen.

5.4.1.3 Aktiivi- ja passiivipaine

Maanpaineen ääriarvot voidaan laskea alla olevista kaavoista.

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

$$\sigma_p = K_p \left(\int_0^z \gamma dz + q - u \right) + 2c\sqrt{K_p(1+a/c)} + u \quad (5.14)$$

Missä σ_a ja σ_p ovat vaakasuuntaiset aktiivi ja passiivi kokonaisjännitykset, a on adheesio, c koheesio ja u vedenpaine. Maanpainekertoimille K_a ja K_p on esitetty arvoja liitteessä 2. Näiden käyttö on suositeltavaa, koska yleisesti käytetty Coulombin maanpaineteoria johtaa etenkin suurilla leikkauskestävyysskulman ja seinäkitkan arvoilla liian suuriin passiivipaineen arvoihin.

5.4.1.4 Pystysuuntainen jännitys

Tavallisesti seinän leikkauskestävyysskulman δ_d arvona käytetään korkeintaan seuraavia arvoja:

$$\text{Teräs ja muottia vasten valettu betoni} \quad \delta_d = 2/3\varphi_{cv;d} \quad (5.15)$$

$$\text{Maata vasten valettu betoni} \quad \delta_d = \varphi_{cv;d} \quad (5.16)$$

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

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

Seinäkitkan ja adheesio- ja passiivipuolen seinäkitkan tai adheesio- ja passiivipuolen 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, DA2* ja DA3

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

Mitoitustavat DA2, DA2* ja DA3 on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

Mitoitettaessa ankkuroituja tai vapaasti seisovia pysyviä tukiseiniä murtorajatilassa (STR/GEO, mitoitus tapa DA2/DA2*) käytetään epäedulliselle maan- ja vedenpaineelle mallikerrointa 1,35 (työnaikaisella rakenteella voidaan käyttää mallikerrointa 1,15). Mallikerroin ei koske ankkurien mitoitusta, vaan niiden mitoitus tehdään kappaleen 5.3 mukaan. Mallikerrointa ei myöskään käytetä laskettaessa tukiseinän upotussy-

vyyttä momenttitasapainoehdolla. Vakauttavat maanpaineet käsitellään kestävyysinä taulukon A.13(FI).

Rajatilassa EQU rakennetta kaatavat pysyvät voimat kerrotaan mallikertoimella 1,20.

Mallikertoimella kerrotaan kyseisen rajatilan mukaisesti laskettu kuorman/voiman ominaisarvo. Mallikerroin ei korvaa osavarmuuslukua.

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 käsitellään kestävyysnä, taulukko A.13(FI).

Pystystabiliteetin tarkistus perustuu pystysuuntaisten voimien ja kestävyksien 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 kestävyksien mitoitusarvo.

Yleensä alaspäin suuntautuvat voimat ja kestävyudet ovat kaatavia ja ylöspäin suuntautuvat voimat ja kestävyudet tukevia, mutta myös vastakkaiseen 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 rasiusten mitoitus tehdään yleensä jousimallilla, jossa maata ja ankkureita kuvataan jousilla ja tukiseinää taipuisalla palkilla. Jousimallissa on käytettävä epälineaarisia kimmo-plastisia jousia. 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 ja pysyville kuormille käytetään niiden ominaisarvoja.

2. Muuttuville kuormille käytetään arvoa q_k (γ_Q/γ_G). Missä q_k on muuttuvan kuorman ominaisarvo. γ_Q on muuttuvan kuorman osavarmuusluku ja γ_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 γ_G .
5. Tukireaktioiden ja seinän rasitusten mitoitusarvot saadaan joko laskemalla ne kohdan 4 mukaisilla maanpaineiden mitoitusarvoilla tai kertomalla kohdassa 3 lasketut tukireaktiot ja seinän rasitusten arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla γ_G . Esitetyt vaihtoehdot johtavat samaan tulokseen, mikäli seinän jännitykset pysyvät lineaarisesti kimmoisella alueella. Mikäli sallitaan seinän plastisoituminen, tehdään laskelmat ensin esitetyn vaihtoehdon mukaan.

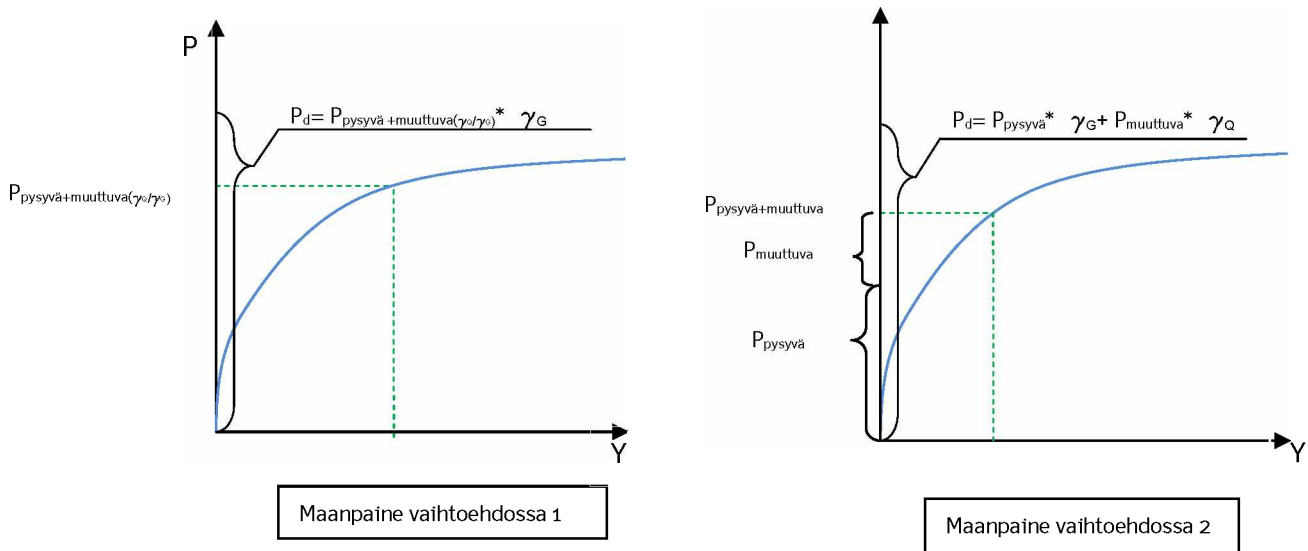
Laskenta voidaan suorittaa myös seuraavasti:

Vaihtoehto 2

1. Maaparametreille, vedenpaineille sekä pysyville ja muuttuville kuormille käytetään niiden ominaisarvoja.
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 γ_G ja lisäämällä niihin kohdassa 4 lasketut arvot kerrottuna muuttuvan kuorman osavarmuusluvulla γ_Q .
6. Tukireaktioiden ja seinän rasitusten mitoitusarvot saadaan joko laskemalla ne kohdan 5 mukaisilla maanpaineiden mitoitusarvoilla tai kertomalla kohdassa 2 lasketut tukireaktiot ja seinän rasitusten arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla γ_G (taulukko A.3a(FI)) ja kohdassa 4 lasketut tukireaktiot ja seinän rasitukset arvot muuttuvan kuorman osavarmuusluvulla γ_Q (taulukko A.3a(FI)). Esitetyt vaihtoehdot johtavat samaan tulokseen, mikäli seinän jännitykset pysyvät lineaarisesti kimmoisella alueella. Mikäli sallitaan seinän plastisoituminen, tehdään laskelmat ensin esitetyn vaihtoehdon mukaan.

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 laskelmi-
en yksinkertaisuus.



Kuva 5.3. Maanpaineen tarkastelu laskentavaihtoehdoissa 1 ja 2

Tukiseinän alapää voidaan tapittaa. Tämä voi olla tarpeellista esim rikkiammutun kalli-
on tapauksessa. Tapit mitoitetaan leikkaukselle ja tarpeen vaatiessa taivutukselle.

5.4.1.6 Tukimuurin mitoitus STR/GEO DA2*, DA3

Maanpinnan tasona tukimuurin edessä käytetään alimmillaan anturan alapinnan ta-
soa. Tukimuurin edessä olevaa maata saa laskelmissa käyttää hyväksi vain, jos voi-
daan 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. Mitoitusmene-
telmä on DA3 (vrt. kappale 5.5.1).

Kallionvaraiseksi perustus katsotaan, kun perustuksen alapuoleisen maakerroksen
paksuus on $\leq 0,05 \times$ (perustuksen pienempi sivumitta) kuitenkin korkeintaan 0,5 met-
riä. Muussa tapauksessa perustus käsitellään maanvaraisena.

Kallionvarainen kulmatukimuuri rakenteellinen mitoitus sekä geotekninen kaatumis-
sen ja liukumisen tarkastelu tehdään lepopaineella. Kaatuminen tarkastetaan oletta-
malla kaatumiskiertopisteeksi (perustuksen reunalinja – mahdollisen murskekerrok-
sen paksuus).

Maanvaraisen kulmatukimuurin rakenteellinen mitoitus tehdään lepopaineella. Geoteknisessä kaatumisen ja liukumisen mitoituksessa tarkastetaan kaksi tapausta:

1. Kestävyys aktiivipaineelle liukumisen ja kantokestävyyden suhteen. Tarkastus tehdään rajatilan STR/GEO ja mitoitusmenetelmän DA2* mukaisesti, käyttäen murtorajatilan kuormayhdistelmiä ja osavarmuuslukuja.
2. Kestävyys lepopaineelle liukumisen ja kantokestävyyden suhteen. Tarkastus tehdään rajatilan STR/GEO ja mitoitusmenetelmän DA2* mukaisesti, käyttäen murtorajatilan kuormayhdistelmiä ja osavarmuuslukujen arvoja 1,0.

Mikäli maanvaraisen kulmatukimuurin alla olevan maakerroksen paksuus on $\leq 0,2x$ (perustuksen pienempi sivumitta), tehdään sekä rakenteellinen että geotekninen mitoitus lepopaineella. Geoteknisessä mitoituksessa tarkastetaan liukuminen sekä kantokestävyys liukupintamenetelmällä tai kallion syvyyden huomioivalla kantavuuskaavalla.

Maavaraisilla perustoilla tulee kuorman resultantin aina sijaita DA2* menetelmää käytettäessä sellaisen ellipsin sisällä, jonka puoliakselit ovat peruslaatan sivumittojen kolmannekset ja keskipiste peruslaatan keskipiste. Lisäksi pysyvien kuormien resultantin tulee tällöin olla perustuksen sydänkuvion sisällä.

Varmuus sisällytetään maanpaineiden laskentaan samalla periaatteella kuin taipuisalle tukiseinälle vaihtoehdon 1 mukaan. kaatavia maanpaineita käsitellään kuormina ja tukevia kestävyysinä.

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

Mitoitustavat DA2 ja DA3 on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

5.4.1.7 Siltapilarit ja pylvää

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 (esim väyläpenkereiden pylväisperustukset), 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:

$$P_p = 3,0 \dots 4,4 \cdot \gamma^* \cdot z^* \cdot K_p \quad (5.17)$$

Kerrointa 4,4 käytetään mitoitettaessa maan kuormittamaa rakennetta ja kerrointa 3,0 käytetään määritettäessä 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 mitoitustilanteessa rakenteen käyttöaikana esiintyviä epäedullisimpia mahdollisia tasoja. Kuivatusjärjestelmän mahdollinen rikkoontuminen ja sen vaikutukset tulee huomioida onnettomuustilanteena.

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 alkuperäi-

sellä 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:

$$E_d \leq R_d \quad (5.18)$$

Missä E_d on kuormien vaikutusten mitoitusarvo ja R_d kestävyuden mitoitusarvo. 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 ylimitoituserroin ODF (ominaisarvoilla laskettaessa kyseessä on kokonaisvarmuuserroin). Vaatimuksena on $ODF \geq 1,0$.

Mitoitustapa DA3 on kuvattu kappaleessa 3.4.6.1.

5.5.2 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Siirtymien sallitut arvot määräytyvät ympäristön ja suunniteltavan rakenteen mukaan. Ympäristön siirtymien arviointi voi perustua yleensä rakenteelle tehtyihin laskelmiin.

Tilanteissa, joissa maapohjan siirtymiä ei voida laskea riittävän luotettavasti ja maapohjan siirtymillä on merkitystä, voidaan siirtymien laskenta korvata stabiliteetin käyttörajatilalla lisätarkastelulla, jossa käytetään korkeampaa varmuustasoa. Tällaisia ovat mm. tilanteet, joissa plastisten siirtymien alueella sijaitsee rakenteita. Taulukossa 5.3 on esitetty em. tarkastelussa käytettävät osavarmuusluvut.

Taulukko 5.3 Stabiliteetin käyttötilan lisätarkastelussa käytettävät maapohjan lujuusparametrien osavarmuusluvut

Maaparametrit	Merkintä	Sarja M2*
Leikkauskestävyyskulma ^a	$\gamma\varphi'$	1,65
Tehokas koheesio	$\gamma c'$	1,65
Suljettu leikkauslujuus	γc_u	1,8
Yksiakselialinen puristusko	γq_u	1,8
Tilavuuspaino	$\gamma\gamma'$	1

^a 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 murtorajatilalla mukaiset tarkastelut liitteen 1. taulukoissa A.3b(FI) ja A.4(FI) esitetyillä arvoilla

5.6 Hydraulinen murtuminen

5.6.1 Virtauspaineen aiheuttama hydraulinen murtuminen HYD

Tässä kappaleessa käsitellään hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista. Hydraulisen 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.

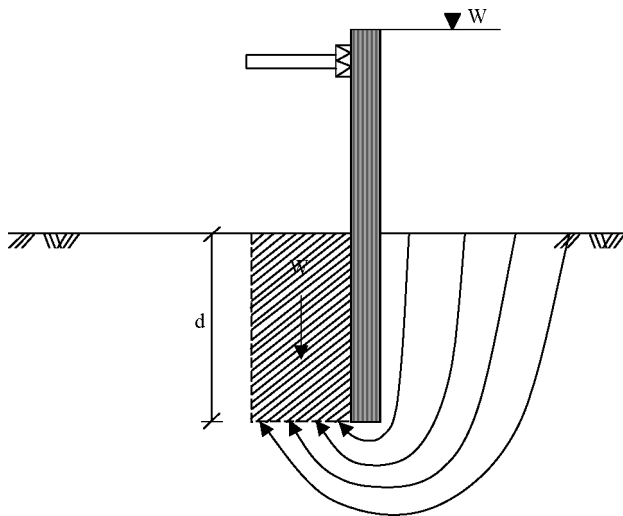
Hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista voidaan estää esimerkiksi seuraavilla keinoilla:

- 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:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (5.19)$$

Missä $u_{dst;d}$ on maakappaleen (kuvassa 5.4 varjostettu alue) pohjalla vaikuttava huokosvedenpaine ja $\sigma_{stb;d}$ on maakappaleen painon aiheuttama kokonaisjännitys samassa tasossa. Ehdon pitää toteutua kaikille mahdollisille maamakappaleille. Huokosvedenpainetta ja maan kokonaisjännitystä tarkastellaan kuormina ja osavarmuusluvut kohdistetaan niiden edustaviin arvoihin. Osavarmuuslukuina käytetään taulukon A.17(FI) arvoja. Maan kestävyyttä ei huomioida. Tarkastus voidaan tehdä myös vertaamalla suotovirtausvoimaa ja prisman nesteellistä painoa, vrt. 3.4.6.2.



Kuva 5.4 Esimerkki kaivannon pohjan virtauksen aiheuttaman hydraulisen murtumisen 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 vettä läpäisevän maakerroksen alapintaan vaikuttavan vedenpaineen aiheuttamaa murtumista.

Murtuminen tapahtuu, kun huokosvedenpaine rakenteen tai huonosti vettä läpäisevän maakerroksen alapinnassa tulee suuremmaksi, kuin kuormittavien rakenteiden ja maakerrosten paino lisätynä 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 kestävyyksien perusteella. Murtumisen vaara tarkastetaan rajatilassa UPL, vrt. 3.4.6.2. Tarkastus perustuu epäyhtälöön:

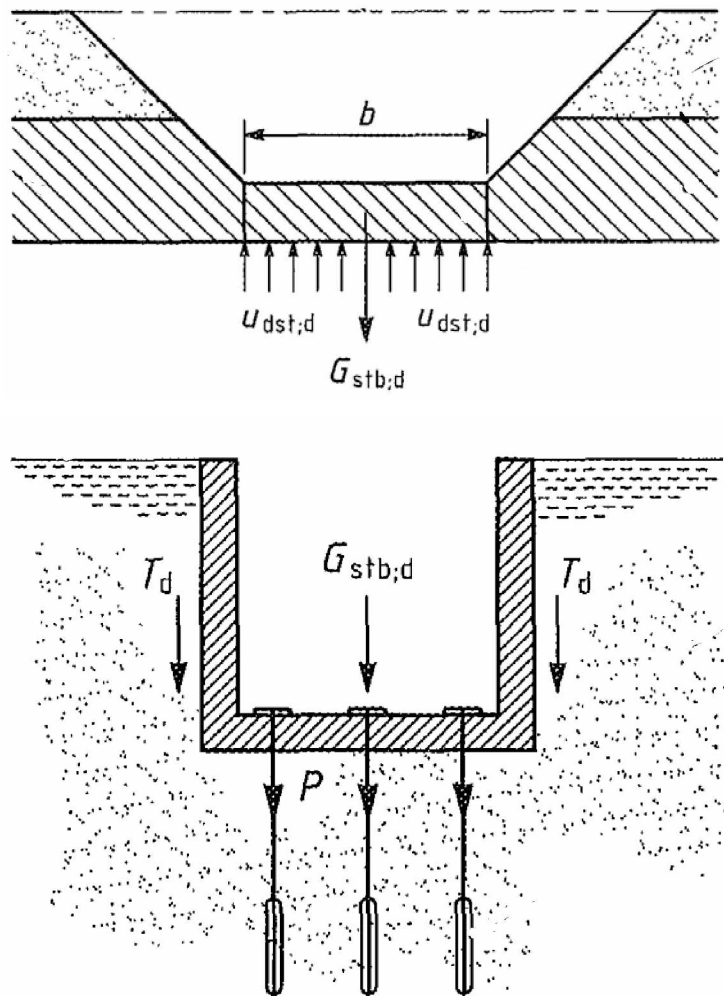
$$G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (5.20)$$

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 kestävyysmitoitussarvon (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 kestävyksiin. Kestävyttä voidaan myös käsitellä pystysuorana kuormana. Tällöin sen edustava arvo kerrotaan vakauttavan pysyvän kuorman osavarmuusluvulla

Kuvassa 5.5 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 kestävyysmitoitussarvon P_d summaa kaukalon pohjaan kohdistuvaan pohjavedenpaineen mitoitusarvoon $u_{dst;d}$. Leikkauskestävyyden T hyväksikäytössä tulee olla varovainen. Mitoituksessa tulee varmistaa, että käytettävä arvo edustaa laskennallista alarajaa. Esimerkiksi leikkauskestävyysskulman pienentäminen pienentää seinän ja maan välisiä kitkakerrointa, mutta kasvattaa aktiivista maanpainetta.



Kuva 5.5 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:

Suunnittelu:

- pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on korkeintaan 200 kPa
- maan leikkauslujuuden ja pilarin leikkauslujuuden suhde on korkeintaan 15

Valmis pilari:

- pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on korkeintaan 300 kPa
- maan leikkauslujuuden ja pilarin leikkauslujuuden suhde on korkeintaan 20

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 mitoitusarvo määritetään samoin kuin paalujen ja pilarin kestävyiden mitoitusarvo lasketaan käyttäen kestävyydelle osavarmuuslukua 1,4. Vetokestävyyden ominaisarvolle käytetään arvoa nolla.

Osavarmuusluvut

Suomessa käytettävät osavarmuusluvut ja korrelaatiokertoimet murtorajatilassa

Taulukko A.1(FI) - Kuormien osavarmuusluvut (γ_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.

	Pysyvät kuormat		Esi-jännitys		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
Yhtälö 6.10	1,15 / 0,9	G	1,10 / 0,9	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45 · (raideliikennekuorma)	1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	<i>tai</i>					
	1,15 / 0,9	G	1,10 / 0,9	P	1,50 · (muu määrävä muuttuva kuorma)	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45 · $\psi_{0,i}$ · (raideliikennekuorma) + 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) γ_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 (γ_M) (EQU)

Maaparametri	Merkintä	Arvo
Leikkauskestävyyskulma ^a (”Leikkauskestävyyskulma”)	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,4
Yksiakiaalinen puristuslujuus	γ_{qu}	1,4
Tilavuuspaino	γ_z	1,0

^a Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \phi'$

Taulukko A.3a(FI) – Kuormien (γ_F) tai kuorman vaikutusten (γ_E) osavarmuusluvut (STR/GEO, mitoitusstapa DA2^(*))

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 γ_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 (γ_F) tai kuorman vaikutusten (γ_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.

yhtälö	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 γ 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 (γ_M) (STR/GEO)

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

^a Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \phi'$

Taulukko A.5(FI) – Antura- ja laattaperustusten kestävyiden osavarmuusluvut (γ_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 kestävyiden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja <i>R2</i>
Kärki	γ_b	1,20
Vaippa (puristus)	γ_s	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	γ_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 kestävyysluokkien osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R₂
Kärki	γ_b	1,20
Vaippa (puristus)	γ_s	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	γ_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 kestävyysluokkien osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R₂
Kärki	γ_b	1,20
Vaippa (puristus)	γ_s	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	γ_t	1,20
Vedetty vaippa:		
- lyhytaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,35
- pitkäaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,50

Taulukko A.9(FI) – Korrelaatiokertoimet ξ ominaisarvon johtamiseksi staattisista koekuormituksista (n – koekuormitettujen paalujen lukumäärä)^{a,b}

ξ kun n =	1	2	3/50 %	4	5/100%
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

^a Taulukkoarvot koskevat puristettuja paaluja.

^b Vedettyjä paaluja mitoitettaessa taulukkoarvot (A.9(FI)) kerrotaan mallikertoimella 1,25

Taulukko A.10(FI) – Korrelaatiokertoimet ξ ominaisarvon johtamiseksi pohjatutkimustuloksista (n – koeprofiilien lukumäärä)

ξ kun n =	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,85	1,77	1,73	1,69	1,65	1,62	1,60
ξ_4	1,85	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40

Taulukko A.11(FI) – Korrelaatiokerroimet ξ ominaisarvojen johtamiseksi dynaamisista koekuormituksista^{a,b,c,d,e} (n – koestettujen paalujen lukumäärä)

ξ kun n =	2–4 / 2–5%	5–9 / 5–40%	10–14 / 40–65%	15–19 / 65–90%	≥ 20 / 90–100 %
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

- a Taulukon ξ -arvot pätevät dynaamisille koekuormituksille (dynamic impact tests).
- b ξ -arvot voidaan kertoa mallikertoimella 0,9, kun käytetään signaalinsovitusta (signal matching).
- c ξ -arvot kerrotaan mallikertoimella 1,1 silloin, kun käytetään paalutuskaavaa ja lyönnin aikana mitataan näennäiselastinen paalun pään jousto.
- d ξ -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: ξ -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 ξ_5 ja ξ_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 (γ_R)

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

Taulukko A.13(FI) – Tukirakenteiden kestävyysosavarmuusluvut (γ_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 (γ_R) luiskille ja kokonaisvakaavuudelle

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

Taulukko A.15(FI) – Kuormien osavarmuusluvut (γ_F) (UPL)

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

^a Kaatava kuorma^b Vakauttava kuorma

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

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

^a Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \phi'$

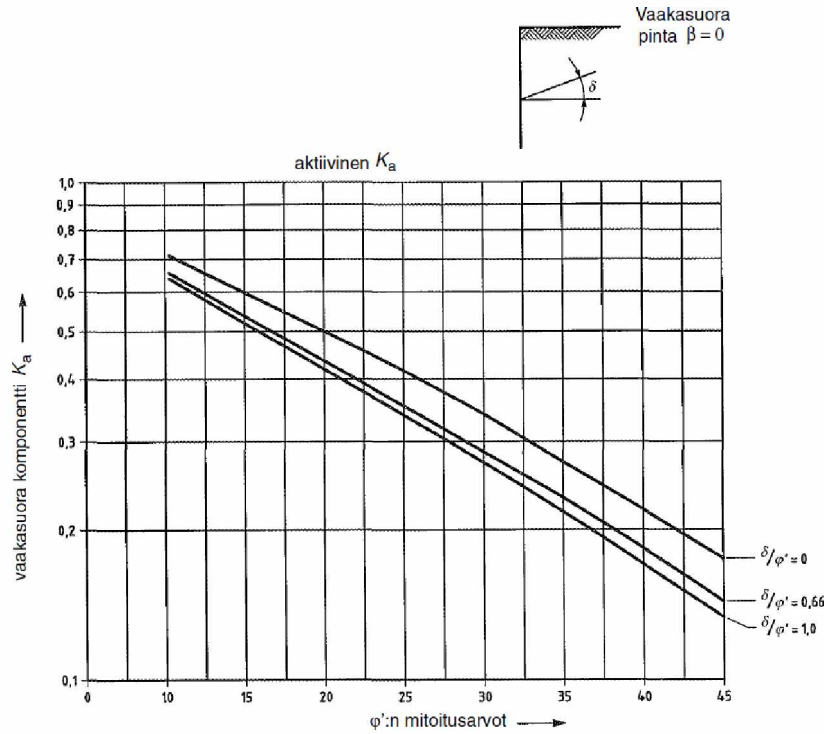
Taulukko A.17(FI) – Kuormien osavarmuusluvut (γ_F) (HYD)

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

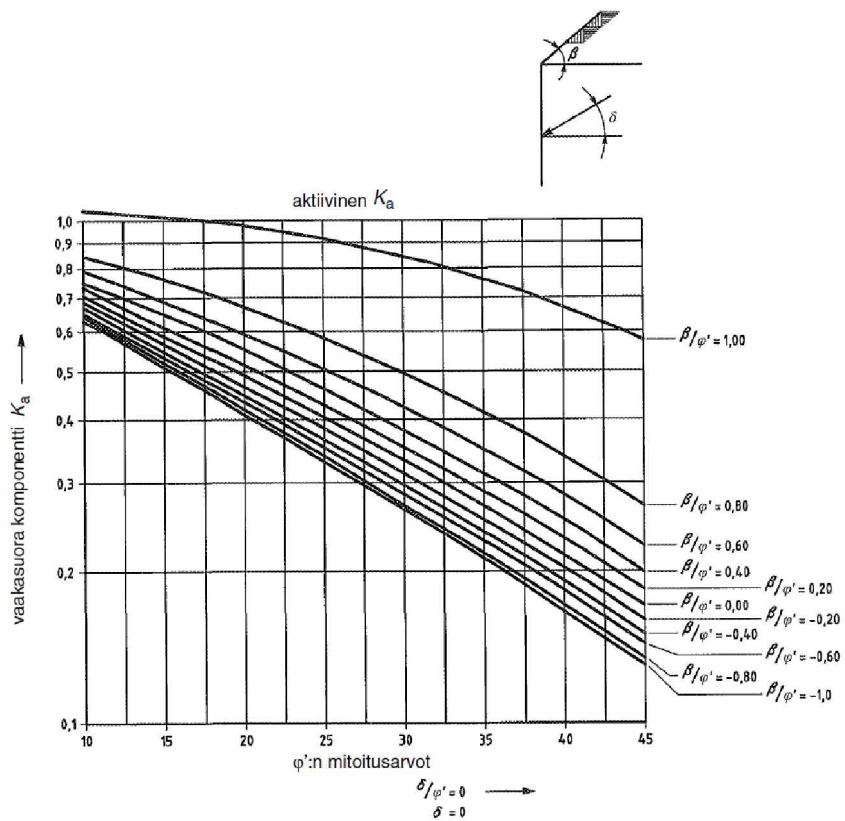
^a Kaatava kuorma

^b Vakauttava kuorma

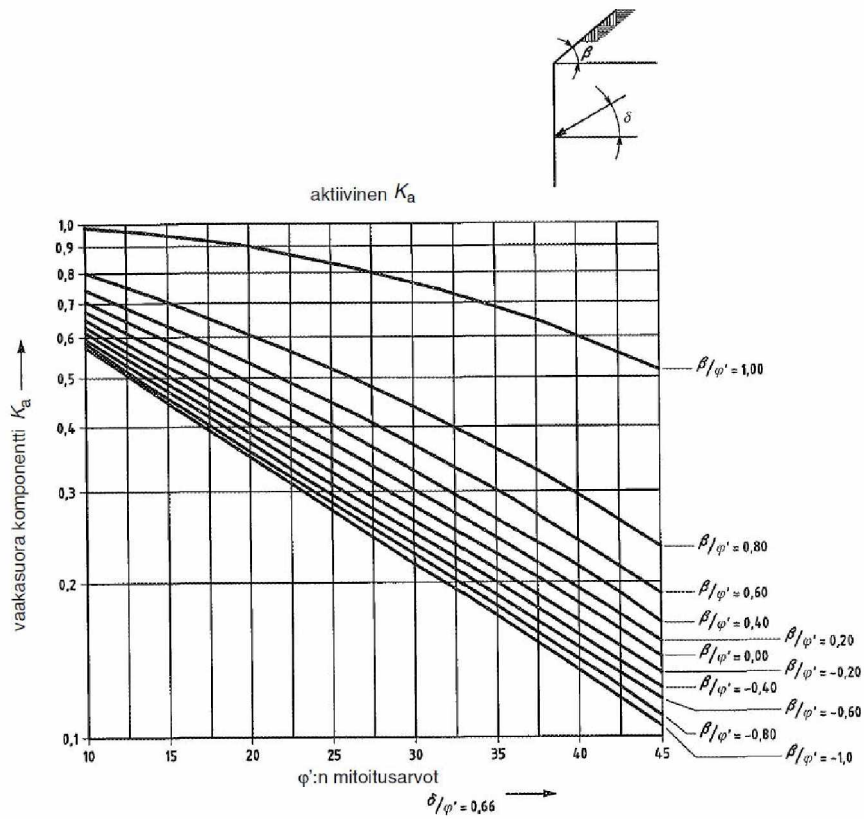
Maanpainekertoimet



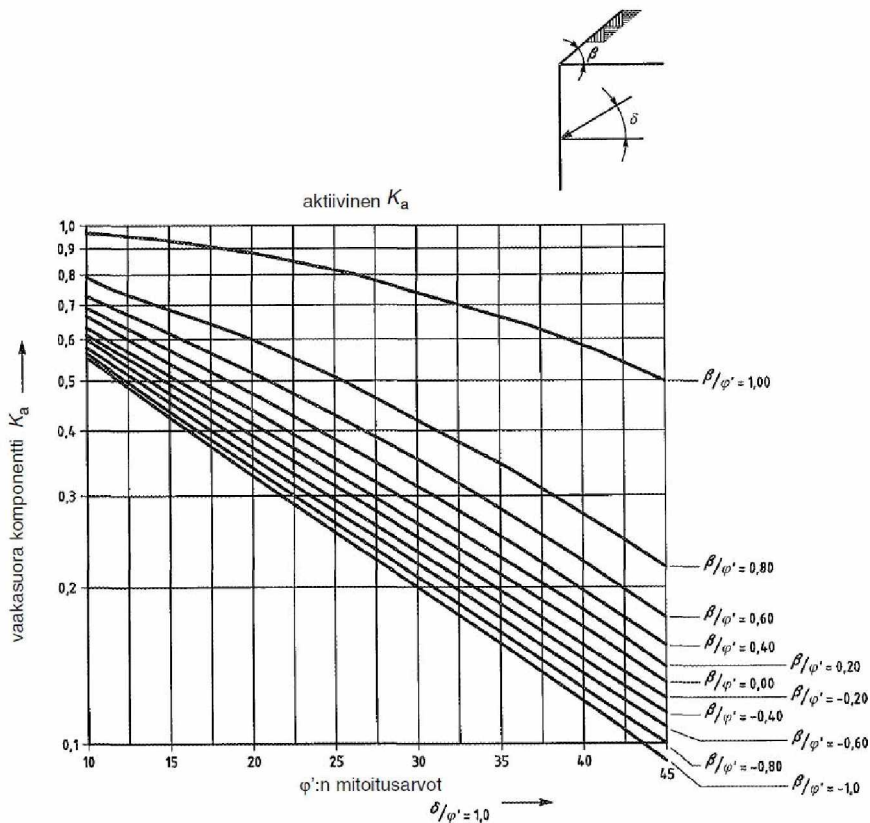
Kuva C.1.1 Kertoimet K_a aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta vaakasuora ($\beta = 0$)



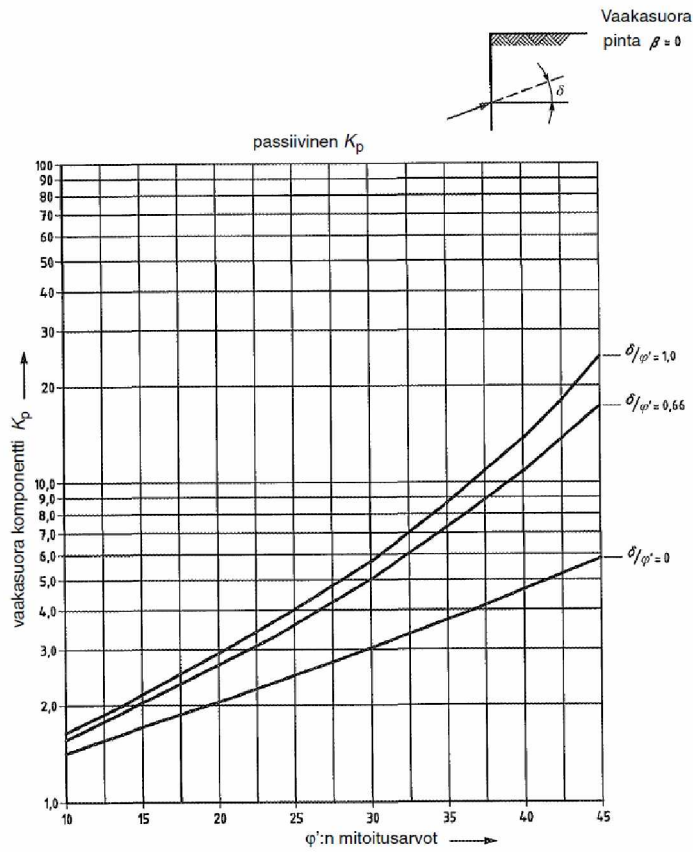
Kuva C.1.2 Kertoimet K_a aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalvea ($\delta/\varphi' = 0$ ja $\delta = 0$)



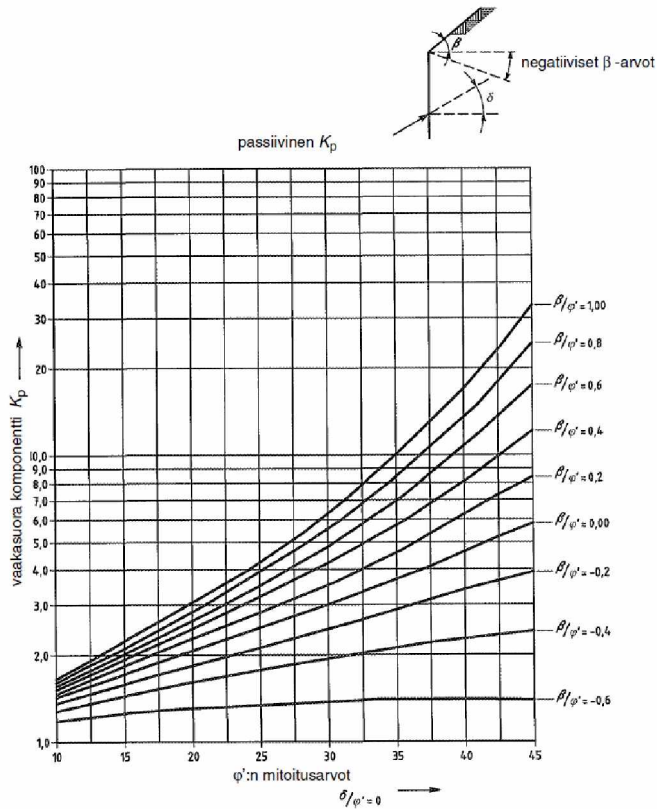
Kuva C.1.3 Kertoimet K_a aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalvea ($\delta/\varphi' = 0,66$)



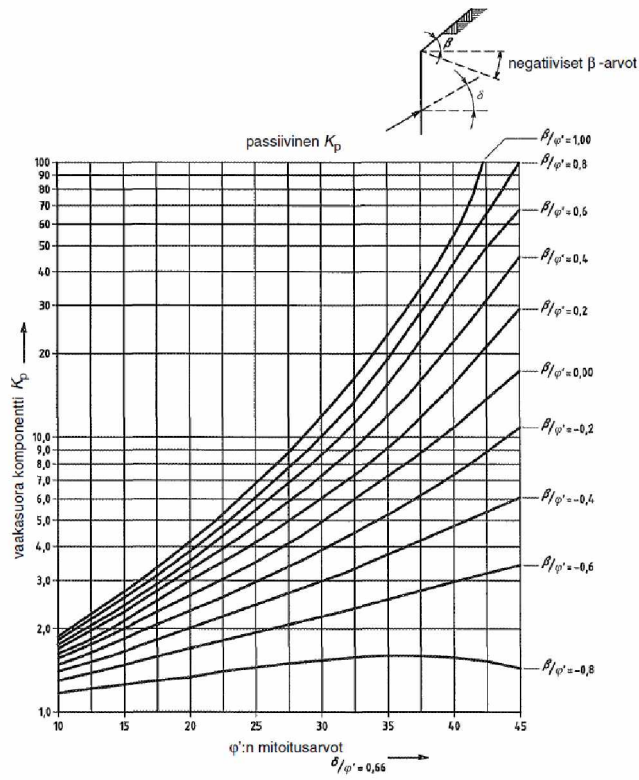
Kuva C.1.4 Kertoimet K_a aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalvea ($\delta/\varphi' = 1$)



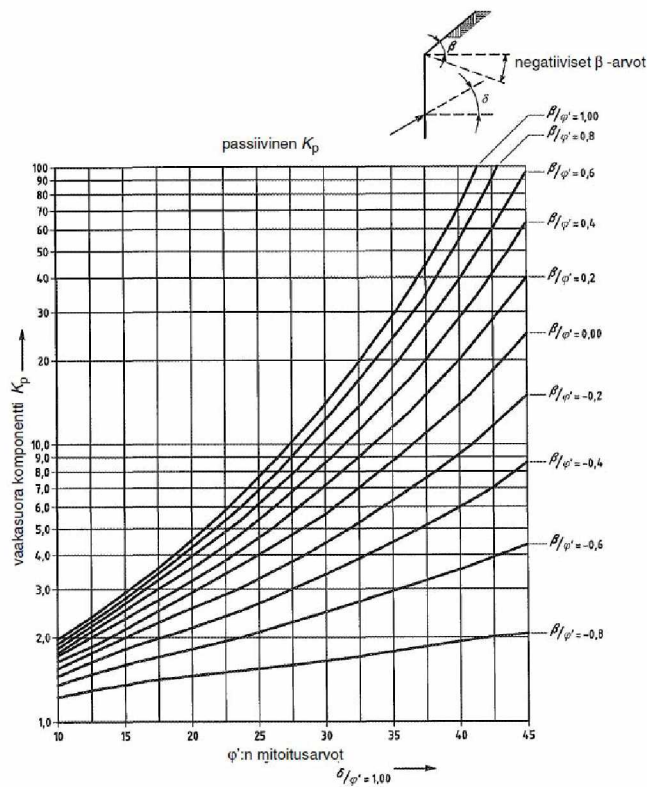
Kuva C.2.1 Kertoimet K_p passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta vaakaasuora ($\beta = 0$)



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



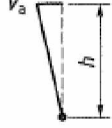
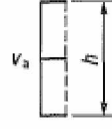
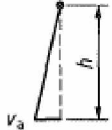
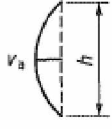
Kuva C.2.3 Kertoimet K_p passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ($\delta/\phi' = 0,66$)



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

Maanpaineen mobilisoituminen


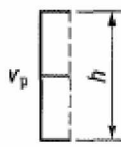

Taulukko C.1 Suhteet v_a/h

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		

Taulukot C.1 ja C.2 kuvaavat luonnontilaisen maan käyttäytymistä.

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:

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

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

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												
		MRT 1	MRT 2	MRT 3	MRT 4	MRT 5	MRT 6	MRT 7	MRT 8	MRT 9	MRT 10	MRT 11		
		qr1a	qr1b	qr2	qr3	qr4	qr5	F _{wrk}	T _v	BF	IL	TLEP		
		LM1	LM2	LM1+vaaka	kevyt	ruuhka	LM3	Tuuli	Lämpötila	Laakerikitka	Jääkuorma	Lk-maanp.		
SETA (EQU) & SETB (STR/EQU)	Omapaino	1,15 / 0,9												
	Esiännitys	1,1 / 0,9 ⁴⁾												
	Telit	-	-	-	-	-	-	-	x 0,75	x 0,75	x 0,75	x 0,75		
SETA (EQU) & SETB (STR/EQU)	gr1a (LM1)	1,35	-	-	-	-	-	-	1,35 x 0,4	1,35 x 0,4	1,35 x 0,4	1,35 x 0,4		
	UDL	-	-	-	-	-	-	-	x 0,4	x 0,4	x 0,4	x 0,4		
	Kevyt	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	gr1b (LM2)	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	-		
	gr2 (LM1+Vaaka)	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-		
	gr3 (Kevyt)	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-		
	gr4 (Ruuhka)	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-		
	gr5 (LM3)	-	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-		
	F _{wrk 1)}	-	1,5 x 0,6	-	-	-	-	-	1,5	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	
	T _{v 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	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	
BF	-	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	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6		
IL	-	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	1,5 x 0,7		
S ₂₎	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2		
TLEP	-	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) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan 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. materiaali-kohtaiset sovellusohjeet)

3) stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom]]

4) paikalliset vaikutukset 1,20 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom]]

- vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

= Määräävä muuttuva kuorma

TIESILLAT - KÄYTTÖRAJATILA - Ominaisyhdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (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 _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	gr1a	gr1b	gr4	F _{wk}	T	BF	IL	TLEP	-	
1												1						1		
1												1						1		
Omapaino	-																			
Esijännitys	-																			
gr1a	Telit	-	-	-	-	-	-	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-
	UDL	1	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Kevyt	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-
gr1b	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-
gr2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-
gr3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-
gr4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-
gr5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-
F _{wk} 1)	0,6	-	-	-	-	-	1	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-
T _k	0,6	-	0,6	0,6	0,6	-	0,6	1	0,6	0,6	0,6	0,5	-	0,5	0,5	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	0,5	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	0,5	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	-

Tiesillat		
Onnettomuusyhdistelmä		
Ad	1	
Omapaino	1	
Esijännitys	1	
gr1a ³⁾	Telit	0,75
	UDL	0,4
	Kevyt	-
gr1b	-	
gr2	-	
gr3	-	
gr4	-	
gr5	-	
F _{wk} 1)	-	
T _k	0,5	
BF	0,4	
IL	0,2	
S 2)	-	
TLEP	-	

- 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 yhdistely
- 3) Onnettomuusyhdistelmässä liikennekuormakaavio LM1 otetaan huomioon (tavallisella arvolla) vain yhdellä kaistalla

= Määräävä muuttuva kuorma

Edellä olevien taulukkojen perusteet on tarkemmin esitetty Liikenneviraston Eurokoodien soveltamisohjeessa 'Siltojen 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)

Taulukko 4 Tieliikenteen siltojen kuormaryhmät

Taulukko 4.4a (FI) - Liikennekuormaryhmien määrittäminen (useasta komponentista muodostuvien kuormitusten ominaisarvot)

	AJORATA PIENTAREINEEN						Kevyen liikenteen väylä Vain Pystykuorma [EN 1991-2_5.3.2.1]
	Pystykuormat			Vaakakuormat			
	LM1 Teli [EN 1991-2_4.3.2]	LM2 Yksittäinen akseli [EN 1991-2_4.3.3]	LM3 Erikoiskuorma [EN 1991-2_4.3.4]	LM4 Ruuhkakuormitus [EN 1991-2_4.3.5]	Jarru- ja kiihdytyskuormat [EN 1991-2_4.4.1]	Keskipakokuorma ja sivukuorma [EN 1991-2_4.4.2]	
gr1a	Ominaisarvo 1 1						Yhdistelyarvo 3 kN/m ²
gr1b		Ominaisarvo 1					
gr2	Tavallinen arvo (ψ_1) 0,75 0,4				Ominaisarvo 1	Ominaisarvo 1	
gr3							Ominaisarvo 5 kN/m ²
gr4				Ominaisarvo 1			Ominaisarvo 5 kN/m ²
gr5			Ominaisarvo 1				

Rautatiesiltojen kuormien yhdistely (vrt. kohta 4.8.2)

RAUTATIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)											
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)											
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_9											
	MRT_0	MRT_1	MRT_2	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	MRT_8	MRT_9	
	6.10a	LM71 / SW/0	AE	ML	Fwk	Fwk & ULT ⁸⁾	Tk	BF	IL	TLEP	
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	Omapaino	1,35	1,15/0,9								
	Esijännitys	1,1/0,9 ⁴⁾	1,1/0,9 ^{3),4)}								
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	LM71 / SW/0 ⁵⁾		1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	-	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	ULT		-	-	-	1,45 x 0,8	-	-	-	-	-
	T&B (Q _{ax} & Q _{bx}) ⁶⁾⁷⁾		1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	-	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	CF (Q _{bx} & q _{bx}) ⁶⁾⁷⁾		1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	NF (Q _{bx}) ⁶⁾⁷⁾		1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	AE		1,5 x 0,8	1,5	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8
	ML		1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8
	Fwk ¹⁾		1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5	1,5	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75
	Tk 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	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	BF		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	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	IL		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	1,5 x 0,7
	S ²⁾		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	TLEP		1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

-Tuulikuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun pitkittaiset liikennekuormat (T&B) ovat yhdistelyssä mukana täydellä arvolla (gr13 ja gr23 SFS-EN 1991-2 T 6.11)

2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. Mat.kohtaiset sovellusohjeet)

3) stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom]

4) paikalliset vaikutukset 1,20 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom]

5) Kuormitettaessa kolmea tai useampaa raidetta, voidaan kuormat kertoa kertoimella 0,75

6) Tarkasteltaessa liikenteen suurimpien vaakakuormien epäedullisia vaikutuksia, täytyy vaikutuksiltaan edullinen pystykuorman osa kertoa kertoimella 0,5

7) Kuorma yhdistellään pystysuuntaisen liikennekuorman kanssa siten, että yhdistelmässä on aina mukana joko pitkittaiset (T&B) tai poikittaiset (CF ja NF) liikennekuormat puolella arvolla (kuormaryhmät / SFS-EN 1991-2 taulukko 6.11)

8) Yhdistelmä otetaan huomioon vain tarkistettaessa rakenteen stabiilutta jäykkänä kappaleena

- vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määrävä yhdistely

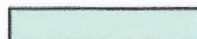


= Määrävä muuttuva kuorma

RAUTATIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)											
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)											
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_9											
	MRT_0	MRT_1	MRT_2	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	MRT_8	MRT_9	
	6.10a	LM71 / SW/0	AE	ML	Fwk	Fwk & ULT ⁽⁸⁾	Tk	BF	IL	TLEP	
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	Omapaino	1,35	1,15/0,9								
	Esijännitys	1,1/0,9 ⁽⁴⁾	1,1/0,9 ^{(3),(4)}								
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	LM71 / SW/0 ⁽⁵⁾		1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	-	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	ULT		-	-	-	-	1,45 x 0,8	-	-	-	-
	T&B (Q _{ax} & Q _{bx}) ^{(6),(7)}		1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	-	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	CF (Q _{ax} & q _{bx}) ^{(6),(7)}		1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	NF (Q _{ax}) ^{(6),(7)}		1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
	AE		1,5 x 0,8	1,5	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8
	ML		1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8
	Fwk ⁽¹⁾		1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5	1,5	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75
	Tk ⁽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	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	BF		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	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	IL		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	1,5 x 0,7
	S ⁽²⁾		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	TLEP		1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5

- 1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.
-Tuulikuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun pitkittäiset liikennekuormat (T&B) ovat yhdistelyssä mukana täydellä arvolla (gr13 ja gr23 SFS-EN 1991-2 T 6.11)
- 2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. Mat.kohtaiset sovellusohjeet)
- 3) stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom]]
- 4) paikalliset vaikutukset 1,20 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom]]
- 5) Kuormitettaessa kolmea tai useampaa raidetta, voidaan kuormat kertoa kertoimella 0,75
- 6) Tarkasteltaessa liikenteen suurimpien vaakakuormien epäedullisia vaikutuksia, täytyy vaikutuksiltaan edullinen pystykuorman osa kertoa kertoimella 0,5
- 7) Kuorma yhdistellään pystysuuntaisen liikennekuorman kanssa siten, että yhdistelmässä on aina mukana joko pitkittäiset (T&B) tai poikittaiset (CF ja NF) liikennekuormat puolella arvolla (kuormaryhmät / SFS-EN 1991-2 taulukko 6.11)
- 8) Yhdistelmä otetaan huomioon vain tarkistettaessa rakenteen stabiiliutta jäykkänä kappaleena

- vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määrävä yhdistely



= Määrävä muuttuva kuorma

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 _{wk}	
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)

Taulukko 5 Rautatieliikenteen kuormitusryhmät

Sillalla olevien raiteiden määrä			Kuormaryhmät			Pystykuormat			Vaakakuormat			Huomaus		
1	2	IV 3	Viittaus tässä osassa EN 1991-2			6.3.2 / 6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2			
			Kuormitettujen raiteiden määrä	Kuormaryhmä (7)	Kuormitettu raide	LM 71, SW/o (1),(2) HSLM (6)	SW/2 (1),(3)	Kuormittamaton juna	Veto, jarrutus (1)	Keskipako kuorma (1)	Sivusäyskuorma (1)			
■	■	■	1	gr 11	T ₁	1			1 (5)	0,5 (5)	0,5 (5)	Suurin T ₁ :n pysty- ja suurin pitkittäinen kuorma		
			1	gr 12	T ₁	1			0,5 (5)	1 (5)	1 (5)	Suurin T ₁ :n pysty- ja suurin poikittainen kuorma		
			1	gr 13	T ₁	1 (4)			1	0,5 (5)	0,5 (5)	Suurin pitkittäinen kuorma		
			1	gr 14	T ₁	1 (4)			0,5 (5)	1	1	Suurin poikittainen kuorma		
				1	gr 15	T ₁		1		1 (5)	1 (5)	Poikittaisvakavuus ja "kuormittamaton juna"		
	■	■	■	1	gr 16	T ₁		1		1 (5)	0,5 (5)	0,5 (5)	SW/2 ja suurin pitkittäinen kuorma	
				1	gr 17	T ₁		1		0,5 (5)	1 (5)	1 (5)	SW/2 ja suurin poikittainen kuorma	
		■	■	■	2	gr 21	T ₁ T ₂	1 1		1 (5) 1 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	Suurin T ₁ :n pysty- ja suurin pitkittäinen kuorma	
					2	gr 22	T ₁ T ₂	1 1		0,5 (5) 0,5 (5)	1 (5) 1 (5)	1 (5) 1 (5)	Suurin T ₂ :n pysty- ja suurin poikittainen kuorma	
		■	■	■	2	gr 23	T ₁ T ₂	1 (4) 1 (4)		1 1	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	Suurin pitkittäinen kuorma	
					2	gr 24	T ₁ T ₂	1 (4) 1 (4)		0,5 (5) 0,5 (5)	1 1	1 1	Suurin poikittainen kuorma	
		■	■	■	2	gr 26	T ₁ T ₂	1 1	1		1 (5) 1 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	SW/2 ja suurin pitkittäinen kuorma
					2	gr 27	T ₁ T ₂	1 1	1		0,5 (5) 0,5 (5)	1 (5) 1 (5)	1 (5) 1 (5)	SW/2 ja suurin poikittainen kuorma
					≥ 3	gr 31	T ₁	0,75			0,75 (5)	0,75 (5)	0,75 (5)	Lisäkuormitustapaus

- (1) Kaikki asianomaiset kertoimet (α , Φ , f , ...) tulee ottaa huomioon.
(2) SW/o tulee ottaa huomioon vain jatkuvissa palkkirakenteissa.
(3) SW/2 otetaan huomioon hankekohtaisesti niin määrättäessä.
(4) Kerroin pienennetään arvoon 0,5, jos vaikutus on edullinen.
(5) Edullisissa tapauksissa kuormien kertoimille tulee antaa arvo 0.
(6) HSLM ja "todelliset junat" otetaan huomioon hankekohtaisesti niin määrättäessä.
(7) Ks. myös standardin EN 1990 taulukkoa A2.3.



Ryhmän määräävä osakuorma

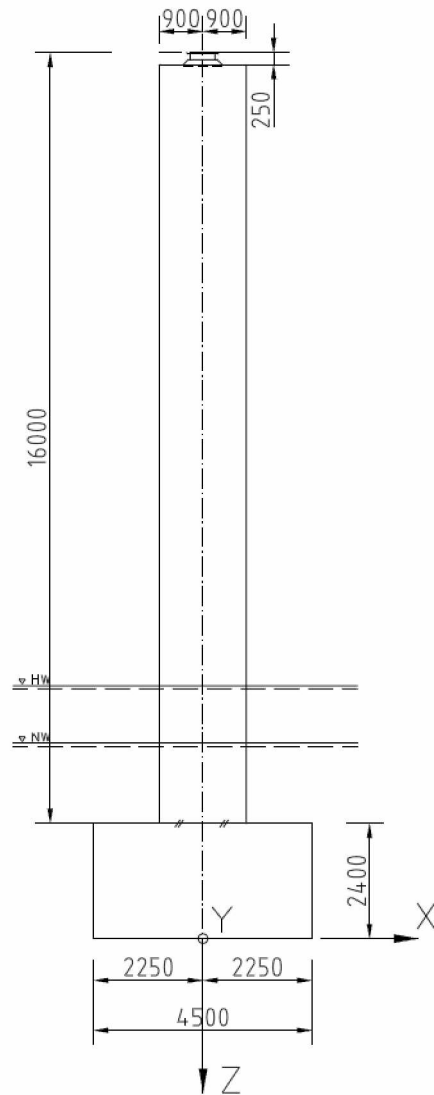
Yhtä raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät

Kahta raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät

Vähintään kolmea raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät

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]	ψ_0	γ	Määräva	
									ψ_0	γ
	välituki + 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 lisäpäälystettä			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	0,75	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		
7	F_{wk} (tuulikuorma)									
	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 murtorajatilaan kuormitusyhdistelmät ilman osavarmuuslukuja (= käyttörajatilan ominaisyhdistelmät) sekä murtorajatilan mukaiset kuormitusyhdistelmät. Edellisessä kuormat kerrotaan siis pelkillä yhdistelykertoimilla (ψ_0) ja jälkimmäisissä sekä yhdistelykertoimilla (ψ_0) että osavarmuusluvuilla (γ)

Taulukko 2 Murtorajatilan STR/GEO mukainen kuormitusyhdistelmä MRT 9 (taulukko 3) ilman osavarmuuslukuja (= käyttörajatilan vastaava ominaisyhdistelmä KRT 9a) [MN, MNm]

MRT 9 ilman γ <> KRT 9a	F_z	M_y	M_x
	10.47	9.325	1.582

Taulukko 3 Murtorajatilan STR/GEO mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9) [MN, MNm]

MRT-yhdistelmä MRT 9	F _z	M _y	M _x
	9.12	13.99	2.378

Taulukko 4 Murtorajatilan STR/GEO mukainen yhdistelmä, jossa suurin vaakuorma ja vastaava pienin pystykuorma (MRT9) [MN, MNm]

MRT-yhdistelmä MRT 9	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 mitoitustavalla DA2*

1.4.1 Mitoitusehdot

Teholliselle pohjapinnalle laskettu pohjapaine \leq kantokestävyyden mitoitusarvo.

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

1.4.2 Pohjapaineen laskeminen

Pystykuorman epäkeskeisyys lasketaan taulukon 2 voimasuureista

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

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

Tehollinen pohjapinta-ala

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

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

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

Pohjapaine teholliselle pinta-alalle lasketaan taulukon 3 mukaiselle pystykuormalle.

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

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:

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

Kantokestävyyden mitoitusarvo:

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

1.4.4 Liukumiskestävyuden laskeminen

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta

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

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

Taulukon 4 voimasuureilla saadaan

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

1.4.5 Pienimmän mahdollisen peruslaatan mitat mitoitustavalla DA2*

Pidetään peruslaatan leveys L vakiona (5 m) ja lasketaan pienin mahdollinen peruslaatan sivumitta B mitoitustavalla DA2*.

Haarukoimalla saadaan että **B = 2,719 m**

Tällöin pystykuorman epäkeskeisyys on

$$e_x = 0,891 \text{ m} < B/3 = 0,906 \text{ m}$$

Tehollinen pohjapinta-ala:

$$B' = 2,719 - 2 \cdot 0,891 = 0,938 \text{ m}$$

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

$$A' = 0,938 \cdot 4,698 = 4,407 \text{ m}^2$$

Pohjapaine teholliselle pinta-alalle:

$$\sigma_0 = \frac{9,12}{4,407} = \underline{\underline{2,069 \text{ MPa}}}$$

Maan kantokestävyys:

$$R_k / A' = 3,207 \text{ MPa}$$

$$(R_d / A') = (R_k / A') / \gamma_R$$

$$= 3,207 / 1,55$$

$$= 2,069 \text{ MPa OK!}$$

(Huom: Eo. tarkastelussa ei voimasuureita ole muutettu peruslaatan muutosta vastaavasti, mikä pitää tehdä todellisessa mitoitusarkastelussa)

1.5 Mitoitustarkastelu mitoitustavalla DA2

1.5.1 Mitoitusehdot

Teholliselle pohjapinnalle laskettu pohjapaine \leq kantokestävyyden mitoitusarvo.

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

1.5.2 Pohjapaineen laskeminen

Pystykuorman epäkeskeisyys lasketaan taulukon 3 voimasuureista

$$e_x = \frac{13,99}{9,12} = 1,534 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{2,378}{9,12} = 0,261 \text{ m}$$

Tehollinen pohjapinta-ala

$$B' = 4,5 - 2 \cdot 1,534 = 1,432 \text{ m}$$

$$L' = 5 - 2 \cdot 0,261 = 4,478 \text{ m}$$

$$A' = 1,432 \cdot 4,478 = 6,412 \text{ m}^2$$

Pohjapaine teholliselle pinta-alalle lasketaan murtorajatilan kuormitusyhdistelmän mukaiselle pystykuormalle.

$$\sigma_0 = \frac{9,12}{6,412} = \underline{\underline{1,422 \text{ MPa}}}$$

1.5.3 Kantokestävyyden laskeminen

Kantokestävyyden ominaisarvo voidaan laskea kaavasta:

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

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:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \varphi = 1,214$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B' / L') = 0,904$$

-vaakakuorman aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:

$$i_q = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi)]^m = 0,802$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi)]^{m+1} = 0,707$$

missä:

$$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] = 1,758$$

Kantokestävyyden ominaisarvo:

$$R_k / A' = q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma = 30 \cdot 85,4 \cdot 1 \cdot 1,214 \cdot 0,802 + 0,5 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 0,904 \cdot 0,707 \\ = 3,33 \text{ MPa.}$$

Kantokestävyyden mitoitusarvo:

$$(R_d / A') = (R_k / A') / \gamma_R$$

$$= 3,33 / 1,55$$

$$= 2,15 \text{ MPa} > 1,422 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

1.5.4 Pienimmän mahdollisen peruslaatan mitat mitoitustavalla DA2

Pidetään peruslaatan leveys L vakiona (5 m) ja lasketaan pienin mahdollinen peruslaatan sivumitta B mitoitustavalla DA2.

Haarukoimalla saadaan että **B = 4,123 m**

Tehollinen pohjapinta-ala:

$$B' = 4,123 - 2 \cdot 1,534 = 1,055 \text{ m}$$

$$L' = 5 - 2 \cdot 0,261 = 4,478$$

$$A' = 1,055 \cdot 4,478 = 4,726 \text{ m}^2$$

Pohjapaine teholliselle pinta-alalle:

$$\sigma_0 = \frac{9,12}{4,726} = \underline{\underline{1,929 \text{ MPa}}}$$

Maan kantokestävyys:

$$R_k/A' = 2,991 \text{ MPa}$$

$$(R_d / A') = (R_k / A') / \gamma_R$$

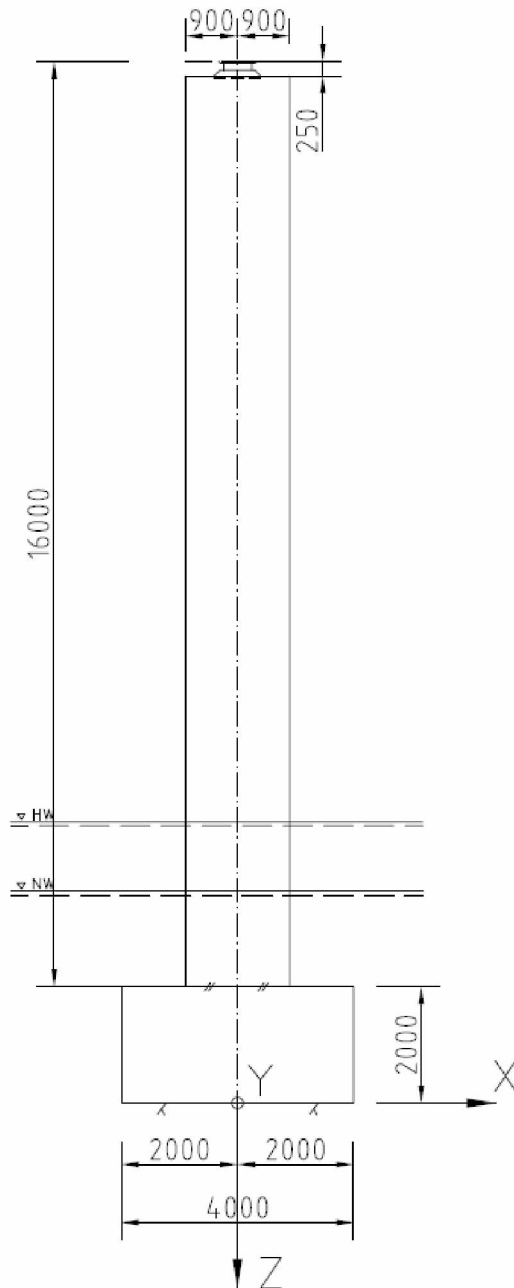
$$= 2,991 / 1,55$$

$$= \underline{\underline{1,929 \text{ MPa OK!}}}$$

(Huom: Eo. tarkastelussa ei voimasuureita ole muutettu peruslaatan muutosta vastaavasti, mikä pitää tehdä todellisessa mitoitus tarkastelussa)

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 5 Kuormat, yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut

#	Kuorma	F_x [MN]	F_y [MN]	M_y [MNm]	M_x [MNm]	F_y [MN]	ψ_0	γ_{GEO}	γ_{EQU}	Määrittävät		
										ψ_0	γ_{GEO}	γ_{EQU}
	välituki + 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
	Päällysrakenne		8.73				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9			
	ilman lisäpäällystystä		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 6 Murtorajatilan STR/GEO mukainen kuormitusyhdistelmä MRT 9 (taulukko 7) ilman osavarmuuslukuja (= käyttörajatilan vastaava ominaisyhdistelmä KRT 9a) [MN, MNm]

MRT 9 ilman ψ <> KRT 9a	F_z	M_y	M_x
	10.420	9.467	1.600

Taulukko 7 Murtorajatilan STR/STR mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9) [MN, MNm]

MRT-yhdistelmä MRT 9	F _z	M _y	M _x
	9,074	14.201	2.405

Taulukko 8 Murtorajatilan EQU mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9) [MN, MNm]

MRT-yhdistelmä MRT 9	F _z	M _y	M _x
	9.096	14.2	2.405

Taulukko 9 Murtorajatilan STR/GEO mukainen kuormitusyhdistelmä, jossa suurin vaakakuorma ja vastaava pienin pystykuorma (MRT 9) [MN]

Murtorajatilayhdistelmä	F _x	F _z
	1.08	9.07

2.3 Kallion kestävyys

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

2.4 Mitoitustarkastelu mitoitustavalla DA2*

2.4.1 Mitoitusehdot

Jännitys peruslaatan reunalla \leq kallion kestävyden mitoitusarvo.

Tarkastetaan varmuus kaatumista vastaan murtorajatilassa EQU

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

2.4.2 Jännityksen laskeminen

Taulukon 6 arvoilla saadaan pystykuorman epäkeskeisyydeksi

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

Jännitys peruslaatan reunalla lasketaan taulukon 7 mukaiselle 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 taulukon 8 voimasuureilla. Perustusta kaatava momentti on

$$M_y = = 1,2 \cdot 14,2 = \underline{\underline{17,04 \text{ MNm}}}$$

Perustusta tukeva momentti on:

$$M_{\text{stab}} = R \cdot B/2 = 9,096 \cdot 4/2 = \underline{\underline{18,192 \text{ MNm}}} > 17,04 \text{ MNm} \quad \text{OK!}$$

2.4.4 Liukumiskestävyuden laskeminen

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta

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

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

Taulukon 9 voimasuureilla saadaan

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

2.4.5 Pienimmät mahdolliset peruslaatan mitat mitoitustavalla DA2*

Pidetään peruslaatan leveys L vakiona (5 m) ja lasketaan pienin mahdollinen peruslaatan sivumitta B mitoitustavalla DA2* ottamatta kaatumisvarmuutta huomioon.

Haarukoimalla saadaan että **B = 2,192 m**

Pystykuormien epäkeskeisyydeksi saadaan taulukon 6 arvoilla

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

Jännitys peruslaatan reunalla lasketaan taulukon 7 mukaiselle pystykuormalle

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

$$\sigma = \frac{2 \cdot 9,074}{3\left(\frac{2,192}{2} - 0,909\right)5} = \underline{6,45 \text{ MPa}} < \frac{10}{1,55} = 6,45 \text{ MPa}$$

(Huom: Eo. tarkastelussa ei voimasuureita ole muutettu peruslaatan muutosta vastaavasti, mikä pitää tehdä todellisessa mitoitustarkastelussa)

2.4.6 Pienimmät mahdolliset peruslaatan mitat kaatumisen huomioiden

Pidetään peruslaatan leveys L vakiona (5 m) ja lasketaan pienin mahdollinen peruslaatan sivumitta B, jolla ehto kaatumista vastaa säilyy. Taulukon 8 arvoilla saadaan

$$B_{\min} = 2 \cdot 1,2 \cdot M_y / R = 2 \cdot 1,2 \cdot 14,2 / 9,096 = \underline{3,747 \text{ m}}$$

(Huom: Eo. tarkastelussa ei voimasuureita ole muutettu peruslaatan muutosta vastaavasti, mikä pitää tehdä todellisessa

mitoitustarkastelussa)

2.5 Mitoitustarkastelu mitoitustavalla DA2

2.5.1 Mitoitusehto

Jännitys peruslaatan reunalla \leq kallion kestävyden mitoitusarvo.

Tarkastetaan varmuus kaatumista vastaan murtorajatilassa EQU

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

2.5.2 Jännityksen laskeminen

Murtorajatilayhdistelmän mukainen epäkeskeisyys taulukon 7 arvoilla

$$e_x = \frac{M_y}{R} = \frac{14,201}{9,074} = 1,565 \text{ m}$$

Jännitys peruslaatan reunalla lasketaan taulukon 8 mukaiselle pystykuormalle

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

$$\sigma = \frac{2 \cdot 9,074}{3\left(\frac{4}{2} - 1,565\right)5} = \underline{\underline{2,773 \text{ MPa}}} < \frac{10}{1,55} = 6,45 \text{ MPa}$$

2.5.3 Varmuus kaatumista vastaan

Varmuus kaatumista vastaan tarkastellaan murtorajatilassa EQU taulukon 8 arvoilla.

Perustusta kaatava momentti mallikertoimella kerrottuna on:

$$M_y = 1,2 \cdot 14,2 = \underline{\underline{17,04 \text{ MNm}}}$$

Perustusta tukeva momentti on:

$$M_{\text{stab}} = R \cdot B / 2 = 9,096 \cdot 4 / 2 = \underline{\underline{18,192 \text{ MNm}}} > 17,04 \text{ MNm OK}$$

2.5.4 Liukumiskestävyuden laskeminen

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta

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

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

Taulukon 9 voimasuureilla saadaan

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

2.5.5 Pienimmät mahdolliset peruslaatan mitat mitoitustavalla DA2

Pidetään peruslaatan leveys L vakiona (5 m) ja lasketaan pienin mahdollinen peruslaatan sivumitta B mitoitustavalla DA2 ottamatta kaatumisvarmuutta huomioon.

Haarukoimalla saadaan että **B = 3,504 m**

Taulukon 7 voimasuureilla saadaan epäkeskeisyydeksi

$$e_x = \frac{M_y}{R} = \frac{14,201}{9,074} = 1,565 \text{ m}$$

Jännitys peruslaatan reunalla lasketaan murtorajatilan pystykuormalle

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

$$\sigma = \frac{2 \cdot 9,074}{3\left(\frac{3,504}{2} - 1,565\right)5} = \mathbf{6,45 \text{ MPa}} < \frac{10}{1,55} = 6,45 \text{ MPa}$$

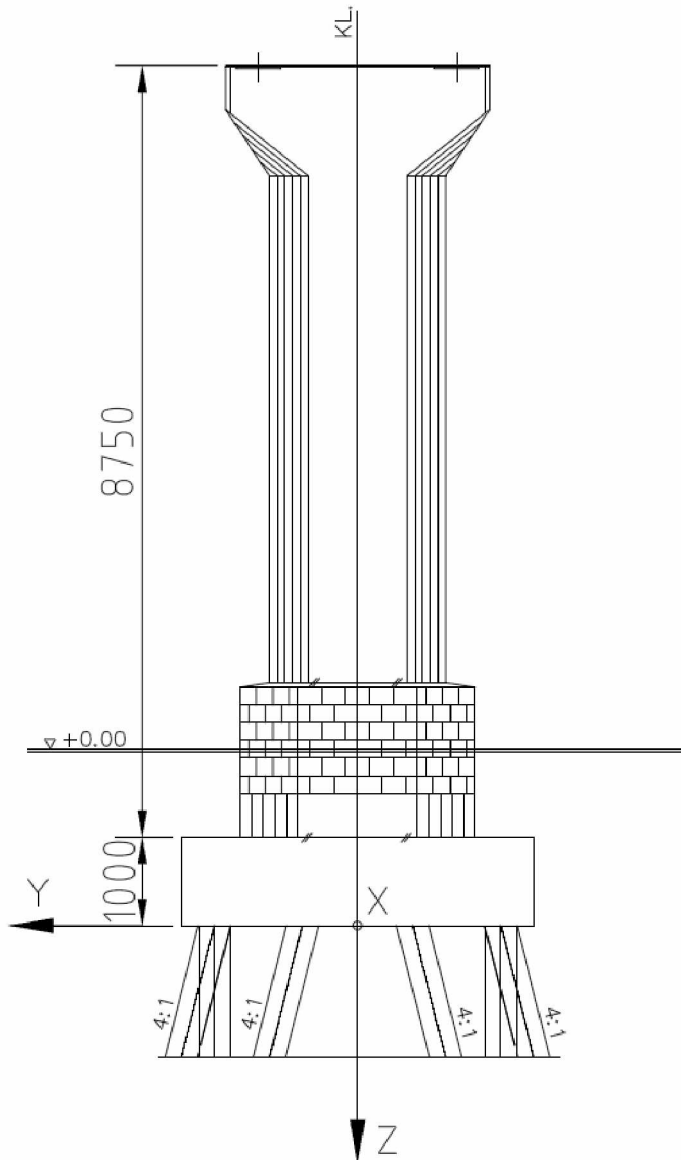
(Huom: Eo. tarkastelussa ei voimasuureita ole muutettu peruslaatan muutosta vastaavasti, mikä pitää tehdä todellisessa mitoitusarkastelussa)

2.5.6 Pienimmät mahdolliset peruslaatan mitat kaatumista vastaan

Tarkastelu täsmälleen sama kuin edellä kohdassa 2.4.6 mitoitusavalla DA2*.

3 Laskuesimerkki 3. Paaluille perustettu sillan välituki

3.1 Mitat



Kuva 3 Paaluille perustettu sillan välituki

Paalut:

teräsputkipaaluja $\Phi 711 \times 12.5$

betoni C30/37 (liittorakennepaalu)

3.2 Kuormat ja niiden yhdistelmät

Taulukko 50 Kuormat peruslaatan keskellä alapinnan tasossa

#	Kuorma	F _x [MN]	F _y [MN]	F _z [MN]	M _y [MNm]	M _x [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 _{wk} (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 61 Käytetyt yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut erikuormitusyhdistelmille

#	Kuorma	KT 1		KT 2		KT 3		KT 4		KT 5		KT 6	
		γ	ψ ₀	γ	ψ ₀	γ	ψ ₀	γ	ψ ₀	γ	ψ ₀	γ	ψ ₀
	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 _{wk} (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 _k -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			1.5	0.7		
	poikkisuuntaan			1.5	0.7			1.5	0.7			1.5	0.7

Taulukko 72 Murtorajatilayhdistelmän GEO/STR mukaiset kuormitusyhdistelmät
[MN, MNm]

Yhdistelmät	F _x	F _y	F _z	M _y	M _x	h _{Fx}	h _{Fy}
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 kestävyiden 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 $q_{s,k} = 12.5 \text{ kN/m}^2$

$$R_{t,k} = 20 \cdot \pi \cdot 0,711 \cdot 12,5 / 1,60 = 351 \text{ kN} \quad (\text{keskiarvo} / n=10)$$

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

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

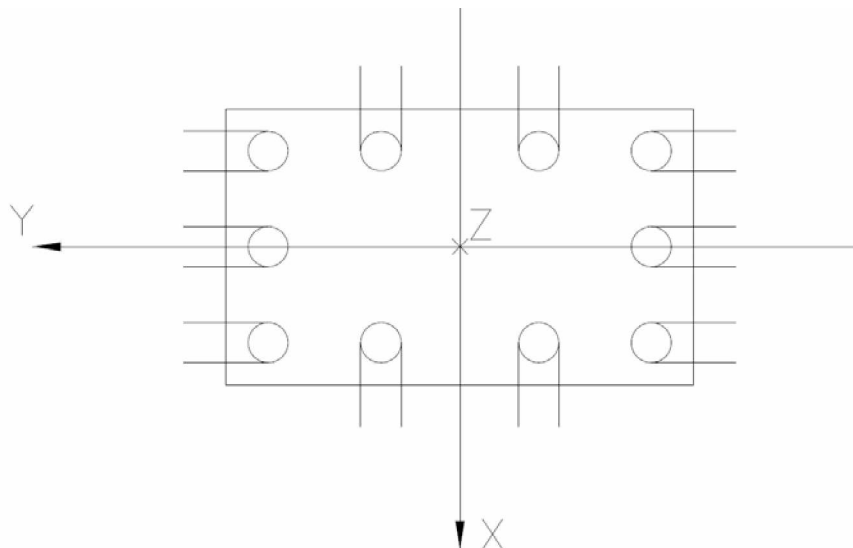
$$n = \frac{F_y}{\sin \alpha \cdot R_{c,d}} \approx \frac{3,0}{\frac{1}{4} \cdot 2,6} = 4,6 \text{ paalua / sillan poikkisuuntaan vinoina} \Rightarrow 3+3 \text{ paalua}$$

(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.

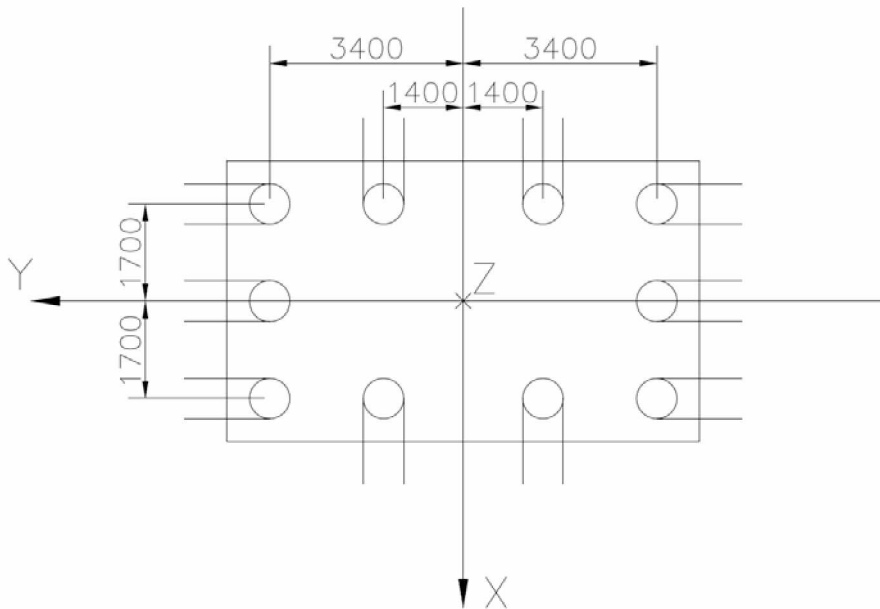
Sillan suuntaan:

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/m².

Edellä lasketun perusteella paalutus on:



3.3.3 Paalun kuormien 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

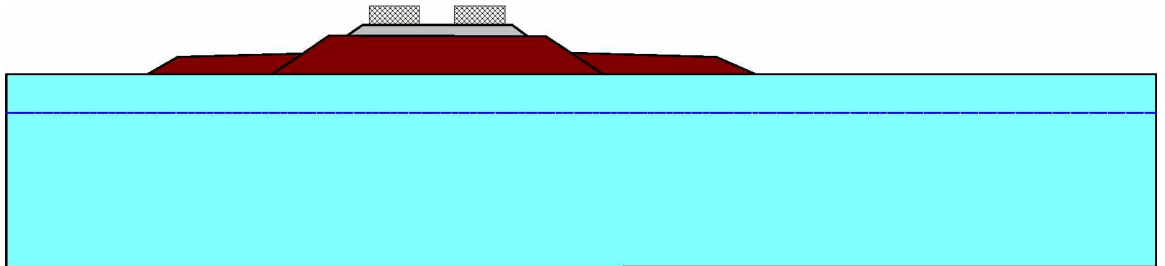
4.1 Tutkittava poikkileikkaus

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 13

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyyskulma [°]	Sutjettu leikkauslujuus [kPa]
Raidesepeli	16	36	0
Penger	19	36	0
Vastapenger	19	36	0
Savi	15	0	18

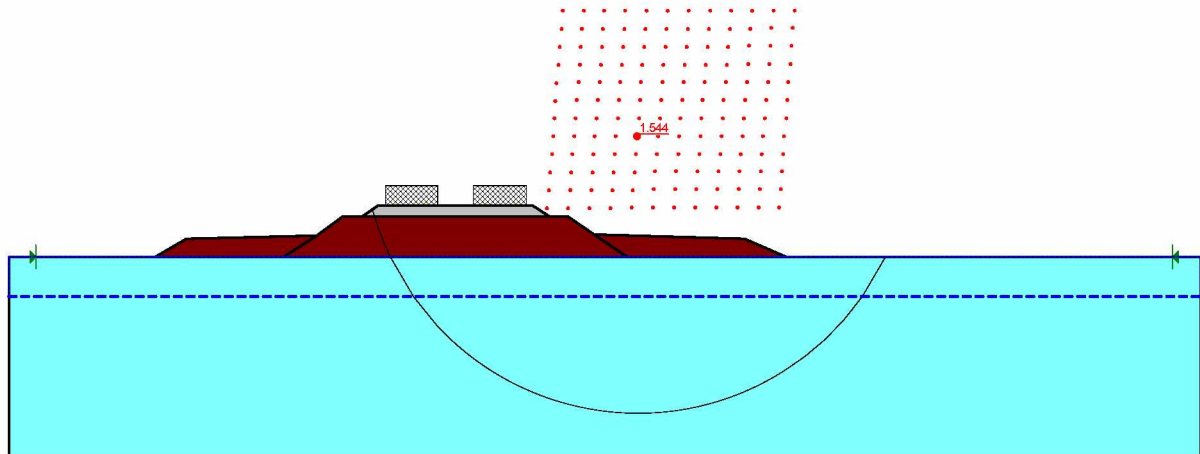
Kuorma on kummallakin raiteella 101 kN/m, mikä on laskentamallissa muutettu 2,6 m pölkyn leveydellä vaikuttavaksi 39 kPa nauhakuormaksi.



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 $\psi = 1,0$.

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

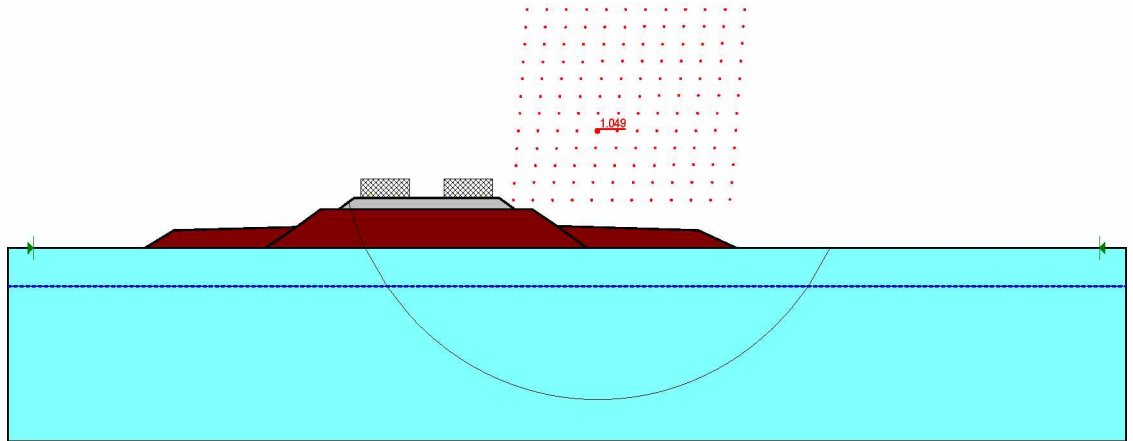
Maaparametrien osalta käytetään taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja:

Taulukko 84

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Osavarmuusluku γ_M	1	$\gamma_{\phi'}$ 1,25	γ_{cu} 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 tangenti.

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

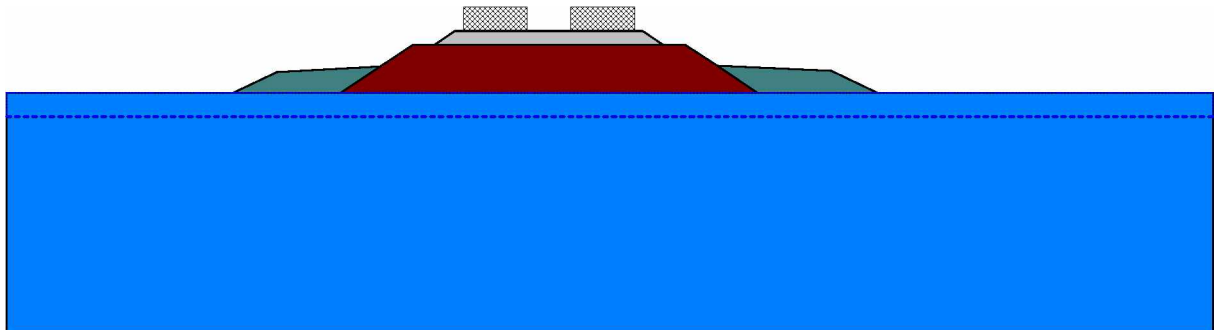
Kohteena on siltti pehmeiköllä sijaitseva kaksiraiteinen 7,8 m leveä ja 2,55 m korkea ratapenger. Penger on varustettu 4,8 m leveillä vastapenkereillä. Maaperän ominaisuudet on taulukoitu alla:

Taulukko 95

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	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.

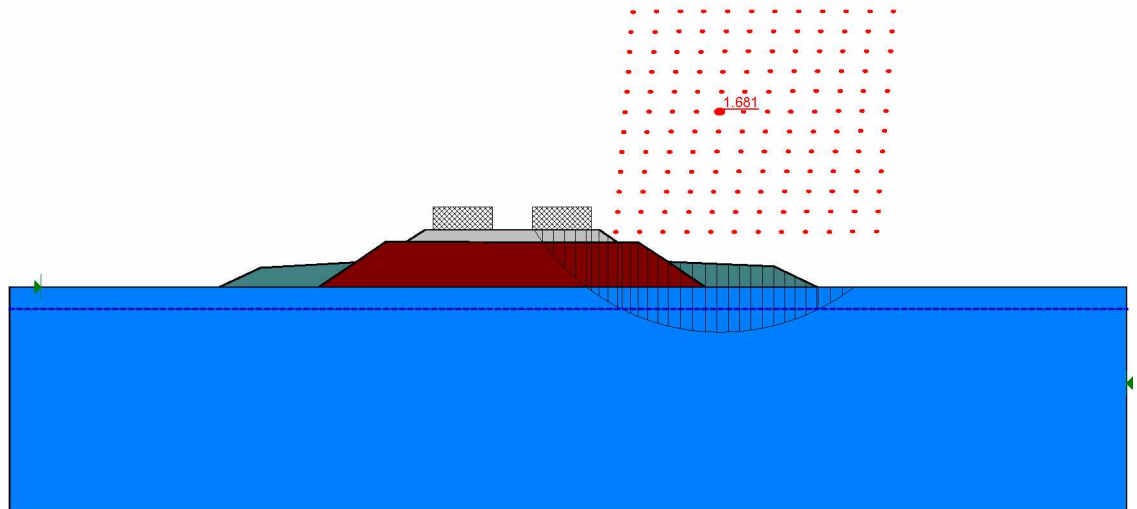
Kuorma on kummallakin raiteella 101 kN/m, mikä on laskentamallissa muutettu 2,6 m pölkyn leveydellä vaikuttavaksi 39 kPa nauhakuormaksi.



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:

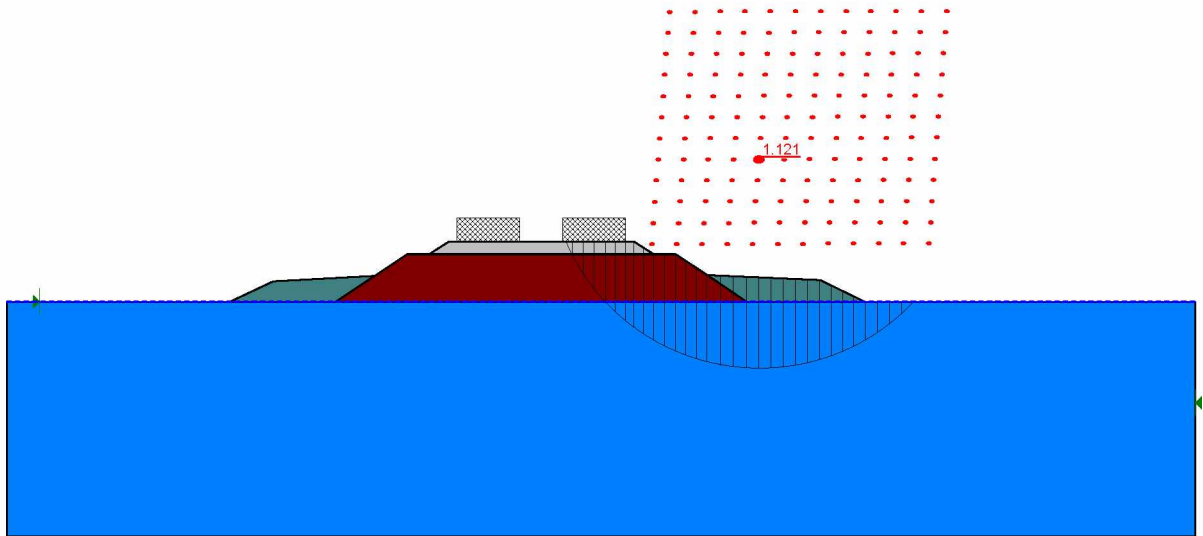
Taulukko 16

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Osavarmuusluku γ_M	1	$\gamma_{\varphi'}$ 1,25	γ_{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 tangenti.

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

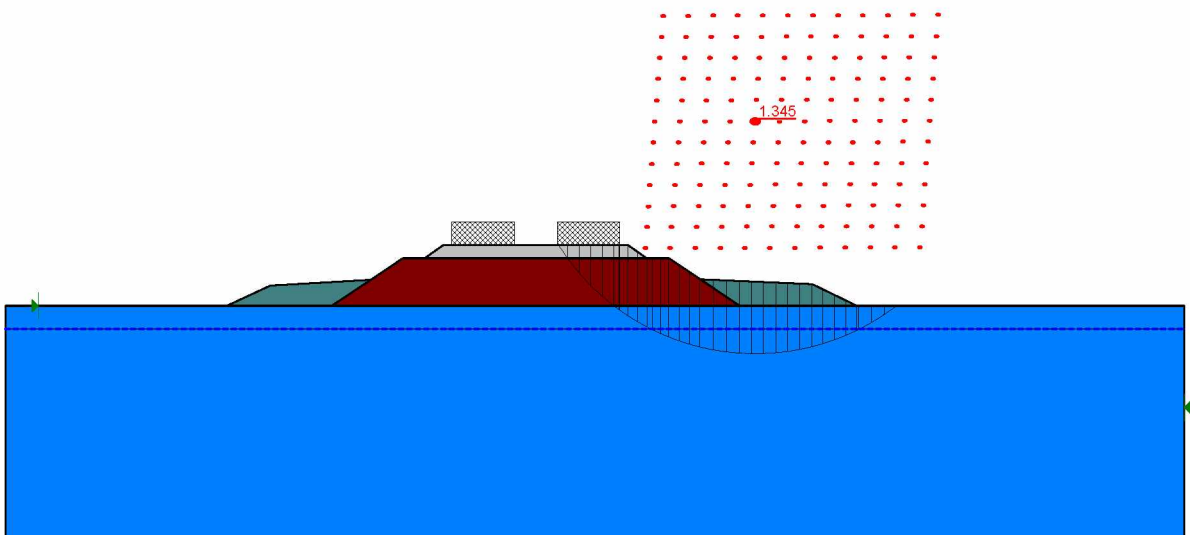
Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu ODF.



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:

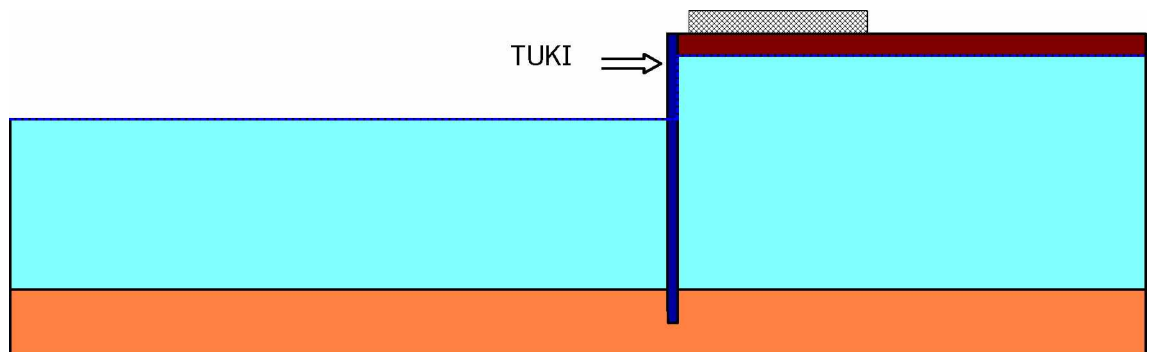
Taulukko 17

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

Pohjavesi on rakennekerrosten alapinnassa.

Kuormana on ominaisarvoltaan 20 kPa tasainen. Kuorma n leveys on 8 m ja sen etäisyys tukiseinästä 1m.

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.

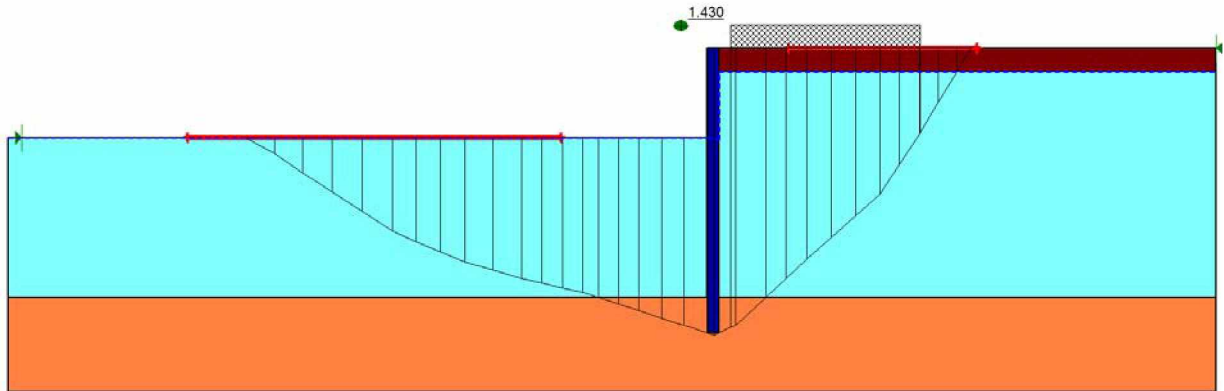


Kuva 11 Tutkittava poikkileikkaus

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 kokonaisstabiliteetti.



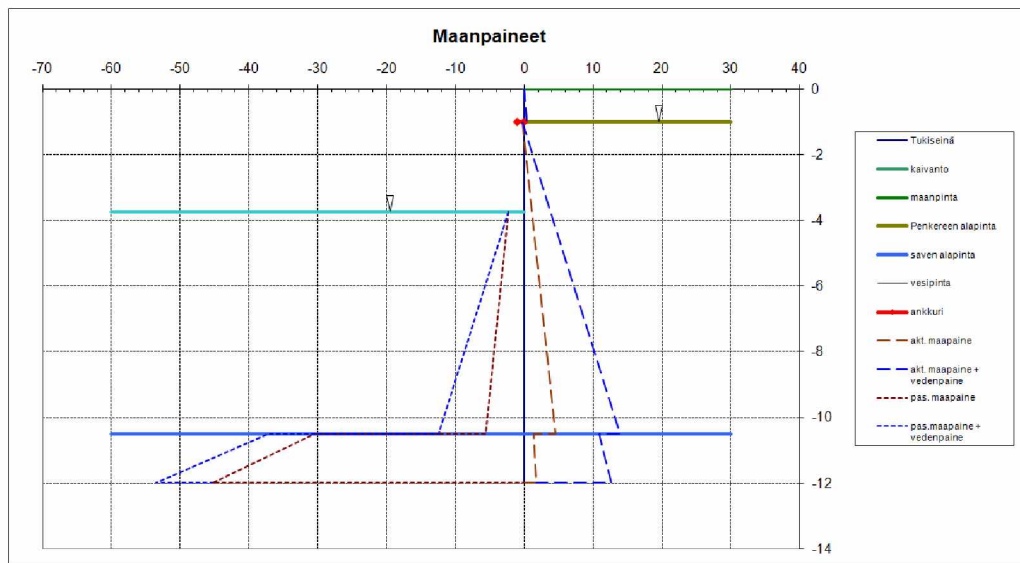
Kuva 12 Kokonaisvarmuus Morgenstern - Price menetelmällä 1,43

Alla on esitetty momenttitasapainoon perustuva lyöntisyvyyden laskenta.

Tukiseinä savikolla

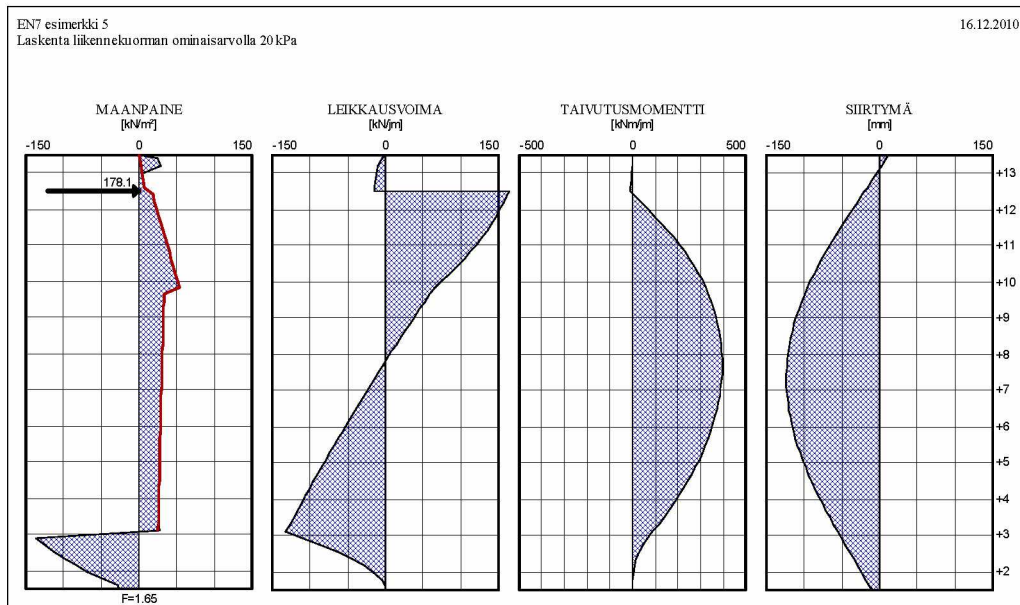
Ohjelma laskee maapaineen ja viivakuormituksen aiheuttamat momentit ankkuripisteen suhteen. Varmuus on pystyssäpitävien ja kaatavien momenttien suhde. Vihreät luvut ovat lähtötietoja

Geometrinen malli Penkereen paksuus [m] 1 Saven paksuus [m] 9,5 Kaivannon syvyys [m] 3,74 Tukiseinän pituus [m] 12		Oletukset: Savi kitkamaakerroksen päällä. Vedenpinta kaivannossa on kaivannon pohjan tasolla. Vedenpinta seinän takana on penkereen alapinnan tasossa. Yksi tuki sijaitsee penkereen alapinnan tasossa.			
Maaparametrit					
	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyys-kulma ϕ_{sk}	Suljettu leikkauslujuus [kPa]	Aktiivipainakerroin, K_a	Passiivipainakerroin, K_p
Penker	20	38	0	0,2	9
Savi	15	0	10	1	1
Kitkamaa	21	39	0	0,2	9
Savi tehokas	5				
Kitkamaa tehokas	11				
Adheesiokerroin	0,3				
Hyötykuorma Hyötykuorma, q [kPa] 20 Etäisyys reunasta [A (RIL 121-2004)] 1 Kuorman leveys [B (RIL 121-2004)] 6 Laskennallinen hyötykuorma 20 $Q = (q * B * 1 \text{ m})$ [kN] 160 Maapainekuvaajan yläpinnan etäisyys pinnasta 0,78 Maapainekuvaajan alapinnan etäisyys pinnasta 9				Momenttien suhde Σ Momentit aktiivipuoli = 6375 kNm (ΣM_a) Σ Momentit passiivipuoli = 10431 kNm (ΣM_p) Varmuus = 1,64 ($\Sigma M_p / \Sigma M_a$)	
Osavarmuusluvut				Arvot teulukosta A.3a(FI) ja A.13(FI) Eurokoodin soveltamisohje - NCCI 7 (28.12.2010)	
Maapaine, aktiivipuoli	$\gamma_G;dst$	1,00	$\gamma_G;stb$	$\gamma_G;dst$	$\gamma_Q;dst$
Maapaine, passiivipuoli	$\gamma_G;stb$	1,00	1	0,9	1,35
Vedenpaine, aktiivipuoli	$\gamma_G;dst$	1,00	2	0,9	1,15
Vedenpaine, passiivipuoli	$\gamma_G;stb$	1,00	Tapa 2		
Muuttuva kuorma	$\gamma_Q;dst$	1,00	Passiivipuoli jaetaan $\gamma_R;e=1,5$	0,667	1



Kuva 13 Kokonaisvarmuus momenttitasapainoehdon mukaan 1,64

Alla on esitetty ominaisarvoilla lasketut seinän maanpaineet ja voimasuureet:



Kuva 14 Ominaisarvoilla lasketut arvot

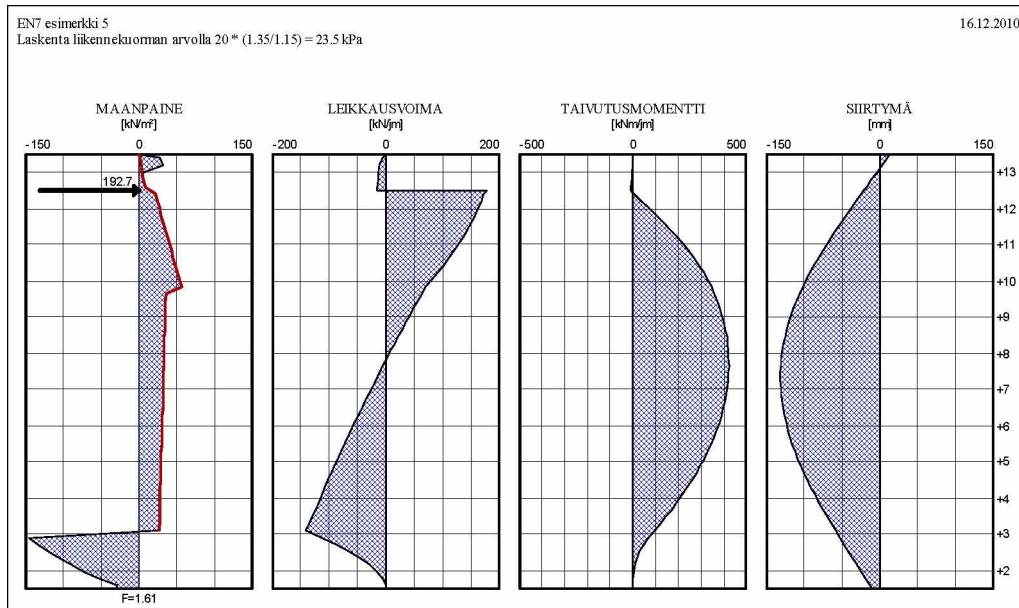
6.3 Rajatilan STR/GEO tarkastus

SEINÄN VOIMASUUREET JA ANKKURIVOIMA:

Mitoitus tehdään mitoitusmenetelmän DA2* mukaan. Kuorman osavarmuusluvut saadaan taulukosta A.3a(FI). Lisäksi tulee työnaikaisen rakenteen mallikerroin 1,15. 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 γ_Q/γ_G , missä γ_Q on muuttuvan kuorman osavarmuusluku ja γ_G on pysyvän kuorman osavarmuusluku. γ_Q/γ_G on $1,35/1,15 = 1,17$.



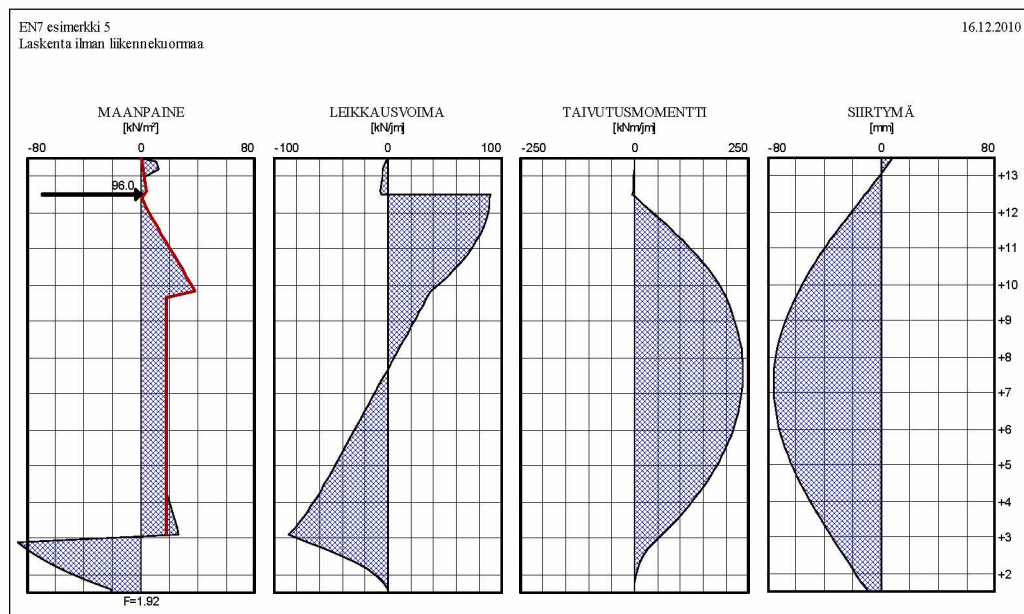
Kuva 15 Maanpainelaskelman välitulos kun muuttuva kuorma on kerrottu arvolla γ_Q/γ_G

Lopulliset mitoitusarvot saadaan kertomalla kuvan 14 tulokset pysyvän kuorman osavarmuusluvulla $\gamma_G = 1,15$ ja mallikertoimella 1,15. Alla on esitetty seinän voimasuurteiden mitoitusarvot yhtälön 6.10b mukaisilla kuormien osavarmuusluvuilla:

Taulukko 18

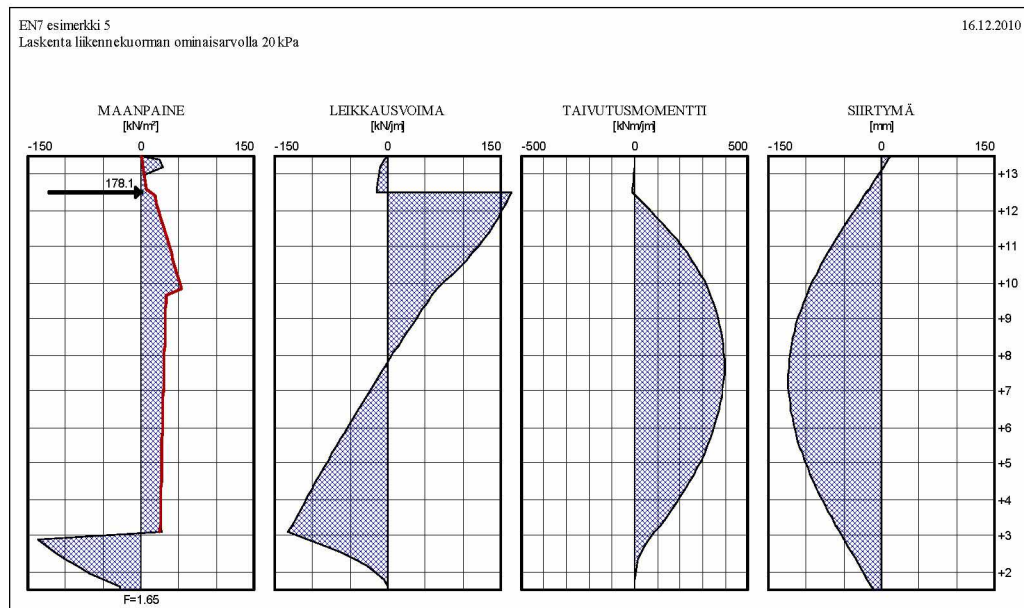
Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman maksimiarvo [kN/jm]	Ankkurivoiman vaakakomponentin maksimiarvo [kNm/jm]
$1,15 * 1,15 * 423 = 559$	$1,15 * 1,15 * 177 = 234$	$1,15 * 1,15 * 193 = 255$

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



Kuva 16 Maanpainelaskelman tulos ilman liikennekuormaa.

Seuraavaksi lasketaan liikennekuorman vaikutus.



Kuva 17 Maanpainelaskelman tulos liikennekuorman ominaisarvolla.

Kuvassa 16 on esitetty liikennekuorman ja maanpaineen 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 sijaisivat eri syvyyksillä tai haluttaisiin tietää rasi-tuksien mitoitusarvot koko seinän syvyydeltä, pitäisi vähennyslasku suorittaa syvyys-tasoinnain. Eli kaavana kokonaisvaikutus = liikennekuorman vaikutus + maanpaineen vaikutus => liikennekuorman vaikutus = kokonaisvaikutus - maanpaineen vaikutus. Alla on esitetty seinän voimasuureiden ominaisarvot.

Taulukko 19

	Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman mak- simiarvo [kN/jm]	Ankkurivoiman vaa- kakomponentin mak- simiarvo [kNm/jm]
Ilman liikenne- kuormaa (pysyvät kuormat)	237	90	96
Liikennekuormalla (sekä pysyvät että muuttuvat kuor- mat)	395	164	178
Liikennekuorman vaikutus (muuttu- va kuorma)	$395-237 = 158$	$164-90 = 74$	$178-96 = 82$
yhdistetty mitoi- tusarvo	$1,15(1,15*237+1,35*158)$ = 559	$1,15(1,15*90+1,35*74)$ = 233	$1,15(1,15*96+1,35*82)$ = 254

Taulukoista 21 ja 22 nähdään, että tässä esimerkkitapauksessa vaihtoehtoisilla mitoitustavoilla 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 20

	Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman maksimiarvo [kN/jm]	Ankkurivoiman vaakakomponentin maksimiarvo [kNm/jm]
Ilman liikenne- kuormaa (pysyvät kuormat)	159	65	69
Mitointisarvo	$1,15*1,35*237 = 368$	$1,15*1,35*90 =$ 140	$1,15*1,35*96 =$ 150

Lopputulos voimasuureiden osalta:

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

SEINÄN KOKONAISSTABILITEETIN 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 1,15. Kyseessä on normaali tapaus, jolloin seuraamusluokka on CC2 ja K_{FI} sa arvon 1,0.

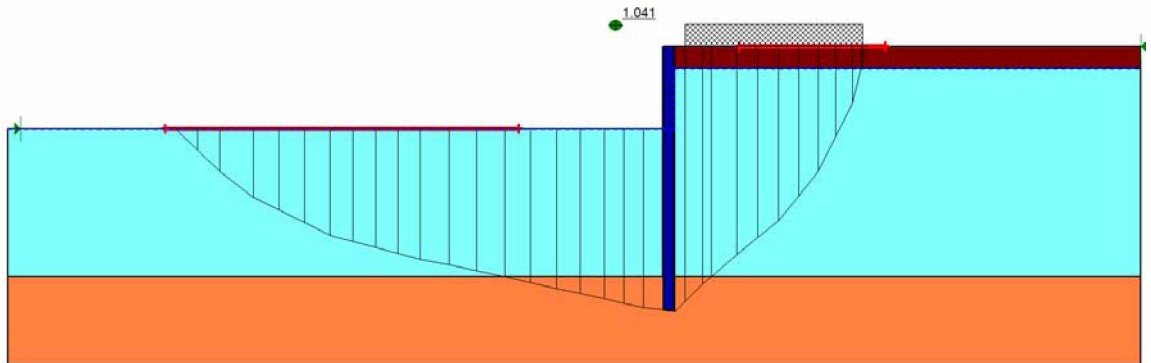
$$Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k = 1,15 \cdot 20 \text{ kPa} = 23 \text{ kPa}$$

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

Taulukko 21

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkaus- lujuus [kPa]
Osavarmuusluku γ_M	1	$\gamma_{\varphi'}$ 1,25	γ_{c_u} 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 18 ODF Morgenstern – Price menetelmällä 1,04 pohjavedenpinnan ollessa rakennekerrosten alapinnassa

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

SEINÄN UPOTUSSYVYYDEN LASKENTA:

Alla on esitetty upotussyvyyden tarkastus momenttitasapainoehdolla. Mitoitusmenetelmänä on DA2*. Aktiivipaineita ja vedenpaineita käsitellään kuormina ja passiivipainetta kestävytenä. Osavarmuusluvut saadaan taulukoista A.3a(FI) ja A.13(FI).

Tarkastelu yhtälön 6.10a mukaan:

Tukiseinä savikolla

Ohjelma laskee maapaineen ja viivakuormituksen aiheuttamat momentit ankkuripisteen suhteen. Varmuus on pystysesäpäitävien ja kaatavien momenttien suhde. Vihreät luvut ovat lähtötietoja

Geometrinen malli

Penkereen paksuus [m]	1	<p>Oletukset: Savi kittamaakerroksen päällä. Vedenpinta kaivannossa on kaivannon pohjan tasolla. Vedenpinta seinän takana on penkereen alapinnan tasossa. Yksi tuki sijaitsee penkereen alapinnan tasossa.</p>
Saven paksuus [m]	9,5	
Kaivannon syvyys [m]	3,74	
Tukiseinän pituus [m]	12	

Maaparametrit

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyys-kulma ϕ [astetta]	Suljettu leikkauskujuus [kPa]	Aktiivipainakerroin, K_a	Passiivipainakerroin, K_p
Penkeri	20	38	0	0,2	9
Savi	15	0	10	1	1
Kittamaa	21	39	0	0,2	9
Savi tehokas	5				
Kittamaa tehokas	11				
Adheesiokerroin	0,3				

Hyötykuorma

Hyötykuorma, q [kPa]	0
Etäisyys reunasta [A (RIL 121-2004)]	1
Kuorman leveys [B (RIL 121-2004)]	8
Laskennallinen hyötykuorma	0
$Q = (q * B * 1 \text{ m})$ [kN]	0
Maapainekuvaajan yläpinnan etäisyys pinnasta	0,78
Maapainekuvaajan alapinnan etäisyys pinnasta	9

$\Delta P = 0 \text{ tan}(45^\circ + \phi/2)$

Momenttien suhde

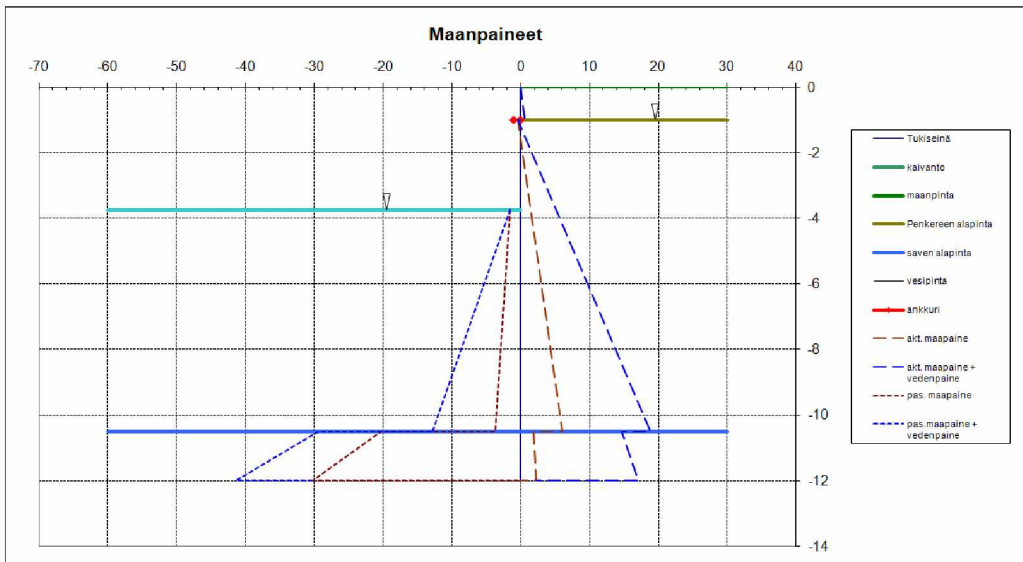
Σ Momentit aktiivipuoli = 8061 kNm (ΣM_a)

Σ Momentit passiivipuoli = 8871 kNm (ΣM_p)

Varmuus = 1,10 ($\Sigma M_p / \Sigma M_a$)

Osavarmuusluvut

Maapaine, aktiivipuoli	$\gamma_{G;dst}$ 1,35	<p>Arvot taulukosta A.3a(F1) ja A.13(F1) Eurokoodin soveltamisohje - NCCI 7 (28.12.2010)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Mitoitustapa DA2(*)</th> <th>$\gamma_{G;stb}$</th> <th>$\gamma_{G;dst}$</th> <th>$\gamma_{Q;dst}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,9</td> <td>1,35</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,9</td> <td>1,15</td> <td>1,35</td> </tr> </tbody> </table> <p>Maan kestävyys $\gamma_{R;e}=1,5$ 0,667</p>	Mitoitustapa DA2(*)	$\gamma_{G;stb}$	$\gamma_{G;dst}$	$\gamma_{Q;dst}$	1	0,9	1,35	-	2	0,9	1,15	1,35
Mitoitustapa DA2(*)	$\gamma_{G;stb}$		$\gamma_{G;dst}$	$\gamma_{Q;dst}$										
1	0,9	1,35	-											
2	0,9	1,15	1,35											
Maapaine, passiivipuoli	$\gamma_{G;stb}$ 0,67													
Vedenpaine, aktiivipuoli	$\gamma_{G;dst}$ 1,35													
Vedenpaine, passiivipuoli	$\gamma_{G;stb}$ 1,35													
Muuttuva kuorma	$\gamma_{Q;dst}$ 1,00													



Kuva 198 ODF momenttitasapaino menetelmällä 1,10 kaavan 6.10a mukaan

Tarkastelu yhtälön 6.10b mukaan:

Tukiseinä savikolla

Ohjelma laskee maapaineen ja viivakuormituksen aiheuttamat momentit ankkuripisteen suhteen
Varmuus on pystyssäpitävien ja kaatavien momenttien suhde.
Vihreät luvut ovat lähtötietoja

Geometrinen malli

Penkereen paksuus [m]	1
Saven paksuus [m]	9,5
Kaivannon syvyys [m]	3,74
Tukiseinän pituus [m]	12

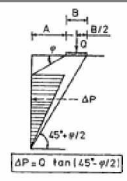
Oletukset: Savi kitkamaakerroksen päällä. Vedenpinta kaivannossa on kaivannon pohjan tasolla. Vedenpinta seinän takana on penkereen alapinnan tasossa. Yksi tuki sijaitsee penkereen alapinnan tasossa.

Maaparametrit

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyys-kujuma	Sujettu leikkauslujuus [kPa]	Aktiivipainakerroin, K _a	Passiivipainakerroin, K _p
Penger	20	38	0	0,2	9
Savi	15	0	10	1	1
Kitkamaa	21	39	0	0,2	9
Savi tehokas	5				
Kitkamaa tehokas	11				
Adheesiokerroin	0,3				

Hyötykuorma

Hyötykuorma, q [kPa]	20
Etäisyys reunasta [A (RIL 121-2004)]	1
Kuorman leveys [B (RIL 121-2004)]	8
Laskennallinen hyötykuorma	27
Q = (q * B * 1 m) [kN]	216
Maapainekuvaajan yläpinnan etäisyys pinnasta	0,78
Maapainekuvaajan alapinnan etäisyys pinnasta	9



Momenttien suhde

Σ Momentit aktiivipuoli = 7412 kNm (ΣMa)

Σ Momentit passiivipuoli = 8309 kNm (ΣMp)

Varmuus = 1,12 (ΣMp / ΣMa)

Osavarmuusluvut

Maapaine, aktiivipuoli	γ _G ;dst	1,15
Maapaine, passiivipuoli	γ _G ;stb	0,67
Vedenpaine, aktiivipuoli	γ _G ;dst	1,15
Vedenpaine, passiivipuoli	γ _G ;stb	1,15
Muuttuva kuorma	γ _Q ;dst	1,35

Arvot taulukosta A.3a(FI) ja A.13(FI) Eurokoodin soveltamisohje - NCCI 7 (28.12.2010)

	γ _G ;stb	γ _G ;dst	γ _Q ;dst
Mitoitustapa DA2(*)	1	0,9	1,35
	2	0,9	1,15

Maan kestävyys γ_R;e=1,5 0,667

Kuva 19 ODF momenttitasapaino menetelmällä 1,12 kaavan 6.10b mukaan

Laskennan tuloksena voidaan todeta, että seinän upotussyvyys täyttää vaatimuksen $ODF \geq 1$.

