

Geolujitetut maarakenteet

TIEGEOTEKNIIKAN KÄSIKIRJA



Geolujitetut maarakenteet

Tiegeotekniikan käsikirja

Liikenneviraston oppaita 2/2012

Liikennevirasto

Helsinki 2012

Kannen kuva: Kehä III, Vantaa; Pentti Salo

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6591

ISSN 1798-6605

ISBN 978-952-255-104-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Hankesuunnitteluosasto / Investointi

ELY-keskukset, Liikenne- ja infrastruktuuri - vastuualueet
Liikennevirasto, Investointi- ja kunnossapitotoimialat

Asiasanat: pohjarakenteet, pohjarakennus, geolujite, synteettinen lujite, teräslujite, pengser, levennetty pengser, luiska, tukimuuri, kivikori, mitoitus

Geolujitetut maarakenteet, tiegeotekniikan käsikirja

Tämä käsikirja on julkaistu Liikenneviraston oppaita -sarjassa ja on tarkoitettu hyödynnettäväksi synteettisten ja teräslujitteilla lujitettujen maarakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa. Käsikirjan ohjeet edustavat hyvää suunnittelutapaa mutta koska julkaisu on oppikirjamainen, sitä ei voida liittää sopimusasiakirjoihin velvoittavaksi ohjeeksi. Hankekohtaisia laatuvaatimuksia laadittaessa voidaan käsikirjaa hyödyntää hankekohtaisten suunnitteluperusteiden ja Liikenneviraston ohjeistuksen ohella. Geoteknisen suunnittelun ohjeet on lueteltu käsikirjan kohdassa 1.2.

Käsikirjassa esitetään lujitetun rakenteen mitoitusmenetelmiä kantavalle pohjamaalle rakennettavalle tukimuurirakenteelle ja jyrkälle luiskalle, pehmeiköille rakennettavalle maanvaraiselle penkereelle, penkereen levennykselle ja paalujen varaiselle penkereelle. Rakenteille on esitetty myös eurokoodijärjestelmän mukaisesti laaditut mitoitus-esimerkit. Lyhyesti käsitellään myös kivikoreja, joita käytetään maan lujittamiseen muiden lujitteiden yhteydessä esim. tukimuurien julkisivuina esim. melu-sterakenteina.

Lujitettujen maarakenteiden rakentamista ja jälkiseurantaa esitellään siinä laajuudessa mikä on tarpeen, että suunnittelija saa käsityksen geolujitettujen rakenteiden rakentamisesta ja pystyy täydentämään ja täsmentämään yleisiä rakentamisohteja ja laatuvaatimuksia.

Käsikirjassa ei käsitellä tien päällysteiden eikä päällysrakenteiden lujittamista.

Käsikirjan mitoitusosa perustuu eurokoodijärjestelmään, joka on otettu käyttöön Liikennevirastossa 1.6.2010.

Tässä julkaisussa käsitellään vain maanteiden suunnittelua ja mitoitusta. Muiden teiden ja väylien suunnittelussa ohjetta voidaan käyttää soveltuvin osin.

Yksikön päällikkö



Kari Lehtonen

Geoasiantuntija



Pentti Salo

LISÄTIETOJA: Pentti Salo
Liikennevirasto, Investointitoimiala

25.5.2012

Opas saatavissa

LIIKENNEVIRASTON NETTISIVULTA OSOITTEESTA
www.liikennevirasto.fi/ohjeluettelo

Kirje tiedoksi

Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL
Rakennusteollisuus RT
Infra ry
Suomen Kuntaliitto
Tekniset yliopistot/korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut
VTT
G10 -kaupungit
Tie- ja geokonsultit
Materiaalin toimittajat
Ohjeen laatijat ja työhön osallistuneet asiantuntijat
Liikenneviraston investointi- ja kunnossapitotoimialan osastot, kirjasto
Rakennuttamisosaston ja Väylätekniikkaosaston yksiköt
Liikenneviraston ja ELY-keskusten geoasiantuntijat

Esipuhe

Tämän käsikirjan pääkirjoittajat ovat Juha Forsman ja Kirsi Koivisto Ramboll Finland Oy:stä. Laatimistyöryhmään kuului lisäksi Leena Korkiala-Tanttu Aalto-yliopistolta. Työtä ovat ohjanneet Pentti Salo ja Tiina Perttula Liikennevirastosta. Työn valmisteluun ovat osallistuneet myös ohjeeseen liittyviin seminaareihin osallistuneet ja ohjeluonnosta kommentoineet materiaalityöntekijät sekä ohjeluonnoksesta lausuntokierroksella kommentteja esittäneet suunnittelijat.

Helsingissä toukokuussa 2012

Liikennevirasto
Hankesuunnitteluosasto

Sisällysluettelo

MERKINNÄT	10
MÄÄRITELMÄT JA TERMIT	15
1 JOHDANTO	17
1.1 Käsikirjan sisältö	17
1.2 Käsikirja suunnitteluohjeiden tukena	17
2 GEOLUJITTEIDEN KÄYTTÖ	19
2.1 Geolujitetut rakenteet	19
2.2 Lujitetyypit	20
2.2.1 Synteettiset geolujitteet	20
2.2.2 Teräslujitteet	23
2.3 Lujitteiden ominaisuudet ja niiden koestus	24
2.3.1 Lujitteen ominaisuudet	24
2.3.2 Lujitteen toimintatapa	24
2.3.3 Lujitteiden toimitusmitat	26
2.3.4 Synteettisen lujitteen lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet	26
2.3.5 Lujitteen saumat ja reiät	29
2.3.6 Rakenteiden suunnittelukäytäntö ja säilyvyys	31
2.3.7 Ympäristötekijöiden vaikutus kestäväyyteen	32
3 LÄHTÖTIEDOT	34
3.1 Lujitetun rakenteen täyttömateriaali	34
3.1.1 Täyttömateriaalin valinta	34
3.1.2 Täytökerroksen parametrit	34
3.2 Kitkan arviointi lujitteiden rajapinnoilla	35
3.3 Ulkoiset kuormat	37
3.3.1 Huomioitavat kuormat	37
3.3.2 Liikennekuorma penkereen päällä	37
3.3.3 Liikennekuorman aiheuttama tasainen kuorma penkereen sisällä	39
4 GEOLUJITETUN RAKENTEEN SUUNNITTELU	41
4.1 Yleiset suunnitteluperiaatteet	41
4.2 Mitoitus murtorajatilassa STR/GEO	42
4.3 Mitoitus käyttörajatilassa SLS	43
4.4 Geolujitettujen rakenteiden stabiliteettimitoitus	44
4.4.1 Mitoitettavan lujitevoiman määrittäminen, liukupinta-analyysi	44
4.4.2 Liukupintaohjelmien käyttäminen lujitetun rakenteen mitoitukseen	46
4.5 Geolujitteen valinta	47
4.6 Täyttömateriaalin valinta	48
4.7 Lujitteen ja maan yhteistoiminta	49
4.8 Kuivatus	51
4.9 Synteettisen lujitteen mitoituslujuus	52
4.9.1 Mitoituslujuus	52
4.9.2 Viruman materiaalikerroin RF_{CR}	55
4.9.3 Rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin RF_{ID}	55
4.9.4 Säänkestävyyden materiaalikerroin RF_W	55
4.9.5 Kemiallisten ja biologisten ympäristötekijöiden materiaalikerroin RF_{CH}	56

4.9.6	Materiaalikertoimien (RF_{CR} , RF_{ID} , RF_W , RF_{CH}) varmuuskerroin η_{RF}	57
4.9.7	Muodonmuutosominaisuudet.....	57
4.9.8	Mitoituslujuuden määrittäminen	58
4.9.9	Saumojen lujuus.....	58
4.10	Teräslujitteen mitoituslujuus.....	59
4.10.1	Mitoituslujuuden määrittäminen	59
4.10.2	Teräsrakenteiden käyttöikämitoitus.....	61
4.10.3	Suojaamattomien teräslujitteiden korroosiomitoitus.....	62
4.10.4	Suojattujen teräslujitteiden korroosiomitoitus	63
4.11	Suunnitelma-asiakirjat.....	64
4.11.1	Suunnitelman sisältö.....	64
4.11.2	Muita suunnittelunäkökohtia.....	66
4.11.3	Suunnitelman täydennykset ja muutokset.....	66
5	LUJITETTU MAANVARAINEN PENGER PEHMEIKÖLLÄ.....	69
5.1	Rakennetyypit	69
5.2	Maanvarainen penger pehmeiköllä, mitoitus.....	70
5.2.1	Lujitetun maanvaraisen penkereen toimintatapa	70
5.2.2	Mitoitusperusteet.....	71
5.2.3	Vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima, STR/GEO DA2*.....	71
5.2.4	Pohjamaan puristuminen sivulle, STR/GEO DA2*.....	73
5.2.5	Lujitetun penkereen painuma ja muodonmuutokset, SLS	75
5.2.6	Vetovoima lujitteessa murtorajatilassa	77
6	LUJITETTU LEVENNETTY TIEPENGGER	78
6.1	Mitoitustapaukset	78
6.2	Loivaluiskainen tien levennys.....	79
6.2.1	Mitoitusperusteita.....	79
6.2.2	Penkereen kokonaisstabiilitetti.....	80
6.2.3	Vanhasta penkereestä aiheutuvat jännitykset pohjamaassa.....	80
6.2.4	Vanhan penkereen painuminen.....	81
6.2.5	Pohjamaan parametrien muuttuminen konsolidaation yhteydessä.....	81
6.2.6	Levennyksen synnyttämät jännitykset ja muodonmuutokset pohjamaassa.....	81
6.2.7	Levennetyn penkereen mitoitus	82
6.3	Jyrkkäluiskainen tien levennys	83
6.3.1	Mitoitusperusteita.....	83
6.3.2	Jyrkkäluiskaisen tien levennyksen mitoittaminen kantavalla pohjamaalla	84
7	PAALUJEN TAI SYVÄSTABILOINNIN VARAINEN LUJITETTU PENGGER.....	86
7.1	Rakenteen toiminta.....	86
7.1.1	Paalutettu penger.....	86
7.1.2	Syvästabiloitu penger	87
7.2	Mitoitusperusteet	87
7.3	Mitoitus	88
7.3.1	Paalujen välinen etäisyys, STR/GEO DA2*	88
7.3.2	Geometriasuosituksien	88
7.3.3	Paalutetun alueen laajuus, STR/GEO DA2*	89
7.3.4	Lujitteeseen vaikuttavat pystysuorat jännitykset, STR/GEO DA2*	90
7.3.5	Penkereen sivujen vakavuus, STR/GEO DA2*	92
7.3.6	Geolujitteen ja maan välinen tartunta, STR/GEO DA2*.....	92

7.3.7	Lujitteeseen kohdistuva kokonaislujitevoima penkereen pysty- ja vaakakuormasta	93
8	TUKIMUURIRAKENTEET	94
8.1	Käyttösovellukset	94
8.2	Geolujitetun tukimuurin mitoituksen vaiheet	95
8.3	Lujitetun tukimuurin geometria ja parametrit.....	96
8.3.1	Geometria	96
8.3.2	Parametrit	97
8.4	Geolujitetun tukimuurin ulkoinen vakavuus.....	98
8.4.1	Tarkasteltavat tapaukset.....	98
8.4.2	Ulkoinen vakavuus, pohjamaan kantokyky, STR/GEO DA2*	98
8.4.3	Ulkoinen vakavuus, kaatuminen, EQU	100
8.4.4	Ulkoinen vakavuus, liukuminen, STR/GEO DA2*	100
8.4.5	Ulkoinen vakavuus, kokonaisvakavuus, STR/GEO DA3	101
8.5	Geolujitetun tukimuurin sisäinen vakavuus, STR/GEO DA2*	103
8.5.1	Sisäisen vakavuuden mitoitusmenetelmä	103
8.5.2	Lujitteen tyypin valinta.....	103
8.5.3	Lujitteiden vastaanottama voima kerroksittain.....	104
8.5.4	Lujitteiden ankkurikapasiteetti kerroksittain.....	111
8.5.5	Kiilan stabiliteetti.....	113
8.6	Käyttörajatila, SLS.....	115
8.7	Täyttökerroksen ympäri kiedottu lujite	117
9	JYRKÄT LUISKAT	120
9.1	Käyttösovellukset	120
9.2	Mitoitus, STR/GEO DA2*	120
9.2.1	Määritelmät ja parametrit.....	120
9.2.2	Lujitteen ankkurointi- ja minimipituuden määrittäminen	122
9.2.3	Lujitteella vastaanotettavan maanpaineen mitoitusarvo σ_{hzd}	127
9.2.4	Lujitteen kapasiteetti	128
10	KIVIKORIT	129
10.1	Ominaisuudet	129
10.2	Käyttösovellukset	129
10.3	Kivikortyytit	131
10.4	Kivikorien täyttömateriaali	132
10.4.1	Rakeisuus.....	132
10.4.2	Särmikkyys	132
10.4.3	Täyttömateriaalit.....	132
10.5	Perustaminen.....	133
10.6	Massiivinen kivikoritukimuri	133
10.6.1	Mitoitusperusteita	133
10.7	Geolujitettu kivikorirakenne	135
11	MUUT GEOLUJITETUT RAKENTEET	136
11.1	Arinat, työmaatiet, luiskat, ankkurointikaivannot, yms.....	136
11.2	Putkijohdot ja rummut.....	136
11.3	Arinat ja työmaatiet.....	137
11.4	Muut rakenteet	138
12	TYÖKOHTAISTEN LAATUVAATIMUSTEN SISÄLTÖ	141
12.1	Yleistä	141

12.2	Lujitettu maarakenne.....	141
12.2.1	Rakentamisessa tarvittavat tiedot	141
12.2.2	Lujitetun rakenteen rakenneosat:	142
12.2.3	Lujitteen hyväksyttäminen:	142
12.2.4	Rakennuspaikan ja perustuksen valmistelu:.....	142
12.2.5	Geolujitteiden vastaanotto työmaalla.....	143
12.2.6	Geolujitteiden käsittely ja varastointi työmaalla	143
12.2.7	Työnäyte ja/tai koeluontoinen aloitus	144
12.2.8	Geolujitteiden levittäminen ja asentaminen.....	144
12.2.9	Saumaus ja limitys.....	145
12.2.10	Täyttömateriaali	145
12.3	Tukimuurien ja lujitettujen luiskien rakentaminen.....	146
12.3.1	Yleistä 146	
12.3.2	Pinnoituksen rakentaminen	146
12.3.3	Lujitteiden asettaminen	147
12.3.4	Täyttömaan asentaminen ja tiivistys	147
12.4	Lujitettujen penkereiden rakentaminen	149
12.4.1	Lujitteiden asentaminen	149
12.4.2	Täyttömaan asentaminen ja tiivistys	149
12.5	Laadunvarmistus ja rakentamisen valvonta	149
12.6	Dokumentointi	151
12.7	Kivikorit	152
12.7.1	Kivikorimuurin rakentaminen	152
12.7.2	Kivikoripatjan rakentaminen.....	153
13	JÄLKISEURANTA	154
	KIRJALLISUUS	155

LIITTEET

Liite 1	Liikenneviraston (Tiehallinnon) teräsverkko-ohjeita
Liite 2	Jännitys -venymäkäyrät ajan funktiona ja ajan vaikutus vetolujuuteen polyesteri- ja polyeteenikuiduilla
Liite 3	Metallilujitteiden kanssa käytettävien täyttömaiden sähkökemialliset ominaisuudet
Liite 4	Geolujitettu maanvarainen penger pehmeiköllä, esimerkkilaskelma Geolujitteen ominaislujuuden määrittäminen mitoituslujuudesta, esimerkki
Liite 5	Lujitettu levennetty tiepenger pehmeiköllä, esimerkkilaskelma
Liite 6	Geolujitettu paalujen varainen penger pehmeiköllä, esimerkkilaskelma
Liite 7	Geolujitettu tukimuurirakenne, esimerkkilaskelma
Liite 8	Geolujitettu jyrkkä tien levennys, esimerkkilaskelma
Liite 9	Geolujitettu jyrkkä luiska, esimerkkilaskelma
Liite 10	Geolujitettu kivikoritukimuurirakenne, esimerkkilaskelma

Merkinnät

$A_{N,netto}$	teräslujitteen vetoelementin poikkipinta-ala lujitteen mitoitusiän täytyessä, m ²
B	penkereen leveys, m
C_c	holvaantumiskerroin, -
D	pyöreän paaluhatun halkaisija, m
D	tukimuurin alapinnan etäisyys maanpinnasta, m
D_j	nauhakuorman aiheuttaman pystyjännityksen vaikutusalue lujitteen j tasolla, m
E	teräksen kimmokerroin, N/mm ²
E_d	kuormien vaikutusten mitoitusarvo, kN
F	tavoiteltu kokonaisvarmuusluku sortumista vastaan, -
$FL_{___}$	teräsverkkojen hitsausliitosten lujuusluokka, -
F_x	vaakakuorma 1 m tukimuurikaistaa kohden, kN/m
F_z	nauhakuorma 1 m tukimuurikaistaa kohden, kN/m
$G_{kj,inf}$	pysyvän edullisen kuorman j ominaisarvo, kN
$G_{kj,sup}$	pysyvän epäedullisen kuorman j ominaisarvo, kN
H	penkereen tai tukimuurirakenteen korkeus, m
H	vaakakuorma, kN/m
H'	tehokas pengerkorkeus, m
J	lujitteen muodonmuutosmoduuli (jäykkäysmoduuli), kN/m
K	mitoitettava maanpaine kerroin, -
K_a	Rankinen aktiivimaanpaine kerroin ($\phi'_d = \phi'_c$), -
K_{FI}	kuormakerroin, -
K_{req}	vaadittava maanpaine kerroin, -
L	lujitteen pituus, m
L_{akt}	aktiivivyöhykkeen pituus lujitteessa, m
L_b	lujitteen ankkurointipituus, m
L_e	lujitteen tartuntapituus, m
L_{ej}	lujitteen passiivivyöhykkeen pituus, m
L_p	uloimman paaluhatun reunan ja luiskan juuren välinen etäisyys, m
L_R	lujitteen minimipituus, m
L_s	luiskaleveys, m
L_{wj_alku}	taivutetun lujitteen j alkuosan pituus, m
$L_{wj_häntä}$	taivutetun lujitteen j häntäosan pituus, m
M_a	kaatava aktiivimomentti, kNm/m
M_j^*	momentti, kun kuorman osavarmuuskertoimet $\gamma = 1,0$, kNm/m
M_p	kaatumista estävä passiivimomentti, kNm/m
N_{Ed}	teräslujitteen vetoelementin vetovoima, N
$N_{t,Rd}$	teräslujitteen vetoelementin vetokestävyyden mitoitusarvo (vetoelementin mitoituslujuus), N
P	ankkuroinnin esijännityksen ominaisarvo, kN
P_u	kivikorien metalliverkon paino seinäkuutiometriä kohden, kg/cm ³
Q	vaakajännityksen vaikutusalueen geometrinen tekijä, 1/m
Q_1, Q_2	puolikas telikuorma, kN/m
$Q_{k,1}$	määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo, kN

$Q_{k,i}$	muun samanaikaisen muuttuvan kuorman i ominaisarvo, kN
Q_p	paalun/pilarin suunnittelulujuus, kN
Q_v	pystysuora kuormitus, kN
R	liukupinnan säde, m
R_{ds}	leikkaus-/liukumiskestävyuden mitoitusarvo, kN/m
R_{ha}	penkereen kuormituksen aiheuttama vaakavoima, kN/m
R_{hp}	passiivisen maanpaineen aikaansaama vaakavoima, kN/m
R_R	lujitteen ja pohjamaan rajapinnan leikkauskestävyys luiskan alla, kN/m
R_S	leikkaus-/liukumiskestävyuden ominaisarvo, kN/m
$R_{S,a}$	liukumiskestävyuden ominaisarvo lujitteen alapinnalla, kN/m
$R_{S,y}$	liukumiskestävyuden ominaisarvo lujitteen yläpinnalla, kN/m
RF_{CH}	kemiallisten ja biologisten ympäristötekijöiden materiaalikerroin, -
RF_{CR}	viruman materiaalikerroin (riippuu polymeerityypistä), -
RF_{ID}	rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin, -
RF_W	säänkestävyyden materiaalikerroin, -
S_c	primaarinen konsolidaatiopainuma, m
S_h	vaakasuora lujiteväli, m
S_{max}	lujittamattoman penkereen maksimipainuma, m
S_s	sekundaarinen konsolidaatiopainuma, m
S_v	lujitetun penkereen painuma, m
S_v	pystysuora lujiteväli, m
T	lujitteelta vaadittava lujitevoima, kN /m
T_{AV}	lujitteen ankkurikapasiteetti, kN/m
T_{char}	lyhytaikaisesta vetokokeesta saatava lujuuden ominaisarvo, joka on synteettisen lujitteen 95 % luotettavuusrajan murtolujuutta vastaava alempi lujuusarvo, kN/m
T_d	lujitteelta vaadittavan kokonaislujitevoiman mitoitusarvo, kN/m
T_{ds}	vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittavan lujitevoiman mitoitusarvo, kN/m
T_{ff}	muurin yläpinnalla vaikuttavan vaakakuorman vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima, kN/m
T_j	lujitteelta vaadittava lujitevoima kerroksessa j , kN/m
$T_{k(dt)}$	vetolujuuden ominaisarvo, joka saadaan lyhyt- ja pitkäaikaisten vetokokeiden perusteella suunnitteluikää vastaavasti, kN/m
T_{pj}	pystykuorman vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima kerroksessa j , kN/m
T_{rf}	pohjamaan leikkausjännityksen vastustamiseen vaadittava lujitevoima, kN/m
T_{rp}	pystykuorman vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima, kN/m
T_{rs}	penkereen epätasaisesta painumasta lujitteeseen aiheutuva lujitevoima, kN/m
T_{sj}	nauhakuorman aiheuttama lujitevoima (lujitekerros j), kN/m
T_v	konsolidaation aikatekijä,
U_p	konsolidaatioaste, -
V	pystykuorma, kN/m
W	pengerosan paino, kN/m
V_j	lujitteeseen j kohdistuvan pystykuorman resultantti, kN/m
V_j^*	resultantti V_j , kun kuorman osavarmuuskertoimet $\gamma = 1,0$, kN/m

W_r	lujitteen leveys, jos lujite on jatkuva vaakasuunnassa $W_r = 1$ m
X_1	pengerosan painopisteen ja liukupinnan kiertokeskuksen vaakasuora etäisyys, m
X_2	muuttuvan kuorman kuormaosan painopisteen ja liukupinnan kiertokeskuksen vaakasuora etäisyys, m
Y	lujitteen ja liukupinnan kiertokeskuksen pystysuora etäisyys, m
Z	lujitteen häntään kohdistuva lujitevoima, kN/m
a	paaluhattujen leveys (pyöreillä paaluhatuilla tehokas leveys a_{equ}), m
b	nauhakuorman / anturan leveys tukimuurin yläpinnalla, m
c	koheesio, kN/m ²
c_g	kivikorien teräslankaverkon koheesiovaikutus, kg/m ²
c_u	suljettu leikkauslujuus (ominaisarvo), kN/m ²
d	nauhakuorman / anturan keskikohdan etäisyys tukimuurin etupinnasta, m
e_j	kuorman V_j epäkeskisyys kerroksen j keskellä, m
f_d	lujitteen mitoituslujuus (laskenta-arvo), kN/m
f_{UTS}	vetojännitys lyhyen ajan vetolujuudesta maassa (suhteellinen vetojännitys), %
f_{yd}	lujiteteräksen myötölujuuden mitoitusarvo, N/mm ²
f_{yk}	lujiteteräksen myötölujuus, N/mm ²
h	täytön keskimääräinen korkeus lujitteen tartuntapituudella, m
h_j	lujitteen j etäisyys muurin yläpinnasta, m
h_w	lujitteen häntäosan etäisyys täyttökerroksen j yläpinnasta, m
k/k	vetoelementtien välinen vaakasuora keskeltä keskelle etäisyys, m
m	kiilaa sitovien lujitteiden lukumäärä, -
m	moduuliluku, -
n	penkereen luiskakaltevuuden suhdeluku (kaltevuus 1:n), -
n	materiaalin huokoisuus, -
p'_c	paaluhatulla vaikuttava pystysuora jännitys, kN/m ²
p_j	lujitteen ylä- ja alapinnan yhteinen leveys muurin pituus suunnassa 1 m kaistaa kohden, jatkuvalla lujitteella $p_j = 2,0$ m
q	muuttuvan kuorman arvo, kN/m
q_d	muuttuvan tai pysyvän kuorman mitoitusarvo, kN/m ²
q_{pp}	muuttuva kuorma penkereen pohjalla, kN/m ²
r_u	huokospainesuhde, -
r_v	paaluhattujen/pilareiden rakoväli, m
s	paalujen/pilareiden välimatka, m
s_h	vaakasuora vahvisteväli, m
s_{vj}	lujitteiden välinen pystyetäisyys, m
s_{vz}	laskennallinen pystysuora vahvisteväli syvyydellä z , m
w_T	paaluhattujen välinen tasainen kuorma, kN/m ²
z	syvyys, m
z'	tehokas syvyys, m
z_c	kriittinen syvyys, m
z_i	kerroksen i paksuus, m
z_s	korkeus muurin yläpinnasta, jolle vaakakuorma vaikuttaa, m

Δl	lujitteen pituuden muutos, m
Δl	liukupinnan pituus maakerroksessa, m
ΔM_p	lujitteen aiheuttama passiivimomentin lisäys, kNm/m
α	korjauskerroin, -
α_2	lujitetun blokin taustan ja vertikaalin välinen kulma
α_b	ulosvetovastuksen korjauskerroin, -
α_c	maamateriaalin ja lujitteen välisen koheesion liukuvastuksen korjauskerroin, -
α_{ds}	maamateriaalin ja lujitteen välisen leikkauskestävyyskulman liukuvastuksen korjauskerroin, -
β	maanpinnan ja vaakatason välinen kulma, °
β	penkereen luiskan kaltevuuskulma, °
β	jännitysekspONENTTI, -
γ	maan kokonaistilavuuspaino, kN/m ³
γ'	maan tehokas tilavuuspaino, kN/m ³
γ_G	pysyvän edullisen/epäedullisen kuorman osavarmuusluku, -
$\gamma_{G,inf}$	pysyvän edullisen kuorman osavarmuusluku, -
$\gamma_{G,sup}$	pysyvän epäedullisen kuorman osavarmuusluku, -
γ_{M2}	osavarmuusluku poikkileikkauksen kestävyydelle vetomurtuman suhteen, -
γ_P	ankkuroinnin esijännityksen osavarmuusluku, -
γ_Q	muuttuvan kuorman osavarmuusluku, -
$\gamma_{Q,1}$	määräävän muuttuvan kuorman osavarmuusluku, -
$\gamma_{Q,i}$	muun samanaikaisen muuttuvan kuorman i osavarmuusluku, -
γ_{cu}	suljetun leikkauslujuuden osavarmuusluku, -
γ_p	lujitteen ankkuroinnin / ulosvedon osavarmuusluku, -
γ_s	osavarmuusluku liukumiselle lujitteen pintaa pitkin, -
γ_s	betoniteräksen osavarmuusluku, -
γ_φ	leikkauskestävyyskulman osavarmuusluku, -
δ_a	seinäleikkauskestävyyskulma, °
ε	lujitteen pituuden muutosta Δl vastaava venymä, -
ε_{kok}	lujitteen kokonaisvenymä, -
$\varepsilon_{rak.aik.}$	lujitteen rakennusaikainen venymä, -
ε_{sall}	lujitteen sallittu kokonaisvenymä, -
$\varepsilon_{sall, viruma}$	lujitteen sallittu viruma, -
ε_{viruma}	lujitteen viruma (käytön aikainen venymä), -
η_g	julkisivuun kohdistuvan maanpaineen kalibrointikerroin pysyville kuormille, -
η_q	julkisivuun kohdistuvan maanpaineen kalibrointikerroin muuttuville kuormille, -
η_{RF}	materiaalikertoimien (RF_{CR} , RF_{ID} , RF_W , RF_{CH}) varmuuskerroin, -
θ_p	uloimman paaluhatun ulkoreunan ja penkereen yläreunan välisen suoran muodostama kulma pystysuoran akselin kanssa (kuva 7.4), °
μ	maan ja vahviteen välinen kitkakerroin, -
μ_{gg}	lujite/lujite-rajapinnan liukuvastuksen kitkakerroin, -
ξ	leikkauslujuuden kasvu syvyyden kasvaessa, kN/m ² / m
ρ_g	kivikorin tiheys, t/m ³

ρ_s	täyttömateriaalin tiheys, t/m ³
σ	vallitseva jännitys, kN/m ²
σ'_{hz}	lujitteeseen kohdistuva maanpaine, kN/m ²
σ'_v	pystysuora jännitys, kN/m ²
σ_{AV}	lujitteen maanpainekestävyys, kN/m ²
σ_{Hmax}	vaakajännityksen maksimiarvo, kN/m ²
σ_{vj}	lujitteeseen kohdistuva pystyjännitys, kN/m ²
σ_{vo}	maapohjan luonnontilainen pystyjännitys, kN/m ²
σ_{zv}	vanhan penkereen aiheuttama lisäjännitys, kN/m ²
ϕ	maan sisäinen leikkauskestävyyskulma, °
ϕ^*	kivikorin näennäinen leikkauskestävyyskulma, °
ϕ'_p	leikkauskestävyyskulman huippuarvo, °
ϕ'_c	kriittisen tilan leikkauskestävyyskulma, °
ϕ_d	maan sisäisen leikkauskestävyyskulman mitoitusarvo (= ϕ'_{cd} tai ϕ'_{pd}), °
ϕ_{sgd}	maan ja lujitteen välisen leikkauskestävyyskulman mitoitusarvo, °
$\psi_{o,i}$	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, -

Lyhenteet

EQU	rakenteen tai maapohjan staattisen tasapainon rajatila
HDPE	suuritiheksinen polyeteeni (high density polyethylene)
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
PA	polyamidi
PE	polyeteeni
PET	polyesteri
PP	polypropeeni
PVC	polyvinyylikloridi
SLS	käyttörajatila (service limit state), joskus käytetään myös lyhennettä KRT - rajatila, jossa rakenne lakkaa täyttämästä sille käytössä asetetut vaatimukset
STR/GEO	rakenteen tai maapohjan kestävyysmurto-rajatila - rajatila, jossa rakenne menettää kantokykynsä tai muutoin käyttökelpoisuutensa kantavana rakenteena.

Määritelmät ja termit

geokenno - Kolmiulotteinen, läpäisevä, polymeerinen kenno- tai verkkorakenne, joka on tehty geotekstiilin-, geoverkon- tai geomembraanin suikaleista.

geomembraani (kalvo) - Tasomainen synteettinen polymeerikalvo, joka on läpäisemätön / lähes läpäisemätön (eristettävästä aineesta riippuen).

geosynteetti - Synteettinen (muovinen) lujiteverkko, lujitekangas, suodatinkangas, bentoniittimatto, kalvo tai vastaava tuote.

geotekstiili - Tasomainen läpäisevä polymeeritekstiili, joka on tehty yhdistäen kuituja tai lankoja joko kutomalla, sitomalla tai liimaamalla ja joka voi olla lujite, suodatinkangas tai suojageotekstiili.

geotuubi - Geotekstiilistä valmistettu säiliö, joka on täytetty maalla tai muulla materiaalilla.

kivikorit ja kivikorimatot - Teräsverkosta muodostettuja koreja, jotka on täytetty kivellä tms. materiaalilla.

yhdistelmälujite (komposiittilujite) - Erilaisia geosynteettimateriaaleja yhdistellen koottu lujite-elementti, jota käytetään lujitemaarakenteessa.

lujite - Yleistermi lujittaville lisäosille täytöissä.

lujitettu täyttö - Täyttö, joka sisältää erillisiä, yleensä vaakasuuntaisesti asetettuja maalujitteita, jotka on asetettu päällekkäisten täyttömaakerrosten väliin rakentamisen aikana.

lujiteverkko - Tasomainen polymeerirakenne, joka muodostuu avoimesta verkosta. Verkon vetoa kestävät elementit on kiinnitetyt toisiinsa termisesti, ompelemalla tai punomalla tai verkko on valmistettu polymeerilevystä venyttämällä (vedetty verkko). Verkon aukot ovat selvästi vetoa kestäviä nauhaelementtejä suurempia.

paksuus - Geosynteetin ylä- ja alapinnan etäisyys mitattuna kohtisuoraan pintaa vastaan tietyissä paineolosuhteissa.

perustus - Lujitetusta täyttömaarakenteesta muodostuva perustus, jonka pinta-ala on yleensä alimman lujitteen alapinnan pinta-ala.

pinnoitus - Lujitetun täytön pinnan suojaverhous, joka pitää lujitekerrosten välisen täytömaan paikoillaan ja suojaa täyttöä eroosiolta.

polymeeri - Suuri molekyyli, joka rakentuu pienistä, monomeereiksi kutsutuista kemiallisista elementeistä. Keinokuiduissa polymeeri on monomeereista muodostettu ketjumainen rakenne.

rakennettu täyttö - Täyttö, joka rakennetaan ja tiivistetään valvotuissa olosuhteissa.

sauma - Geosynteettipalojen välinen liitos, joka on toteutettu neulomalla, hitsaamalla, liimaamalla, mekaanisella liitoksella, tms. tavalla.

suunniteltu käyttöikä - Suunnittelussa edellytetty käyttöikä vuosina.

tex - Tekstiiliteollisuudessa käytetty pituusmassan yksikkö, $1 \text{ tex} = 10^{-6} \text{ kg/m} = 1 \text{ g/km}$.

täyttö - Luonnonmateriaali tai keinotekoinen materiaali, joka muodostuu kiinteistä partikkeleista, sisältäen tietynlaisia kiviaineksia, joista valmis täyttömassa muodostuu.

täytön lujite - Lujite, joka parantaa lujitetun täyttömäärän vakautta käyttämällä hyväksi lujitteen aksiaalista vetolujuutta maan ja lujitteen yhteistoiminnassa.

verhous - Pinnoituksen eteen lisätty ei-toiminnallinen pinnoitus (valepinnoitus), joka parantaa valmiin lujitetun täyttörakenteen ulkonäköä.

1 Johdanto

1.1 Käsikirjan sisältö

Tämä käsikirja käsittelee geolujitettujen maarakenteiden suunnittelua ja mitoitusta. Käsikirjassa esitetään lujitetun rakenteen mitoitusmenetelmiä kantavalle pohjamaalle rakennettavalle tukimuurirakenteelle ja jyrkälle luiskalle, pehmeikölle rakennettavalle maanvaraiselle penkereelle, penkereen levennykselle ja paalutetulle penkereelle. Julkaisu käsittelee lisäksi kivikoreja, joita käytetään maan lujittamiseen muiden lujitteiden yhteydessä esim. tukimuurien julkisivuina sekä sellaisenaan esim. meluesterakenteina. Julkaisussa käsitellään myös lujitettujen maarakenteiden rakentamista ja jälkiseurantaa siten, että suunnittelija saa käsityksen geolujitettujen rakenteiden rakentamisesta ja pystyy täydentämään ja täsmentämään yleisiä rakentamisohjeita ja laatuvaatimuksia. Käsikirjassa ei käsitellä tien päällysteiden eikä päällysrakenteiden lujittamista.

Käsikirjassa esitetty rakenteiden mitoitus perustuu eurokoodiin (SFS-EN 1997-1, ”Eurocode 7 Geotekninen suunnittelu”). Käsikirjassa on myös hyödynnetty standardia BS 8006-1:2010 ”Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills” (2010) sekä käsikirjoja EBGeo (DGGT 2011), NF P 94-220 (1998) ja Synteettiset geovahvisteet 1998, koska eurokoodi on yleisluonteinen suunnittelukoodi eikä sen osavarmuuslukuja ja kuormituskertoimia ole kalibroitu geolujitetuille rakenteille.

Eurooppalainen standardi SFS-EN 14475:2006 ”Pohjarakennustyöt, Lujitettu täyttö (Execution of special geotechnical works. Reinforced fill)” täydentää eurokoodia suunnittelun osalta mutta on varsinaisesti toteutusstandardi. Standardissa on käsitelty seuraavia rakenteita:

- geolujitetut tukimuurit, joissa lujitekerrosten väliin asetettua täyttöä pitää paikoillaan pinnoitus,
- lujitetut jyrkät luiskat, joissa on joko rakenteeseen sisältyvä, erillinen tai lujitteeseen kiedottu pinnoitus,
- lujitetut loivat luiskat, joissa ei ole pinnoitusta mutta joissa on eroosiosuoja,
- penkereet, joiden pohja on lujitettu ja
- penkereet, joiden yläosa on lujitettu routanousua vastaan.

1.2 Käsikirja suunnitteluohjeiden tukena

Käsikirja on laadittu väyläsuunnittelijoille ja sitä voidaan hyödyntää geolujitettujen rakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa Liikenneviraston ohjeistukseen ja hankekohtaisiin suunnitteluperusteisiin ja tuotevaatimukseen tukeutuen. Suunnitelmassa julkaisuun voidaan viitata tarvittavilta osilta. Julkaisu on tehty tieväylän näkökulmasta mutta sitä voidaan soveltuvin osin käyttää myös ratarakenteiden ja muiden väylien suunnittelussa.

Geotekninen suunnittelu Liikenneviraston hankkeissa perustuu seuraaviin asiakirjoihin ja ohjeisiin:

1. Hankekohtaiset suunnitteluperusteet ja tuotevaatimukset
2. Eurokoodi 7 osat 1 ja 2 sekä osan 1 kansallinen liite (LVM-liite)
3. Eurokoodin soveltamisohjeet NCCI 7 ja NCCI 1 (Liikenneviraston soveltamisohjeet)
4. Tien geotekninen suunnittelu (Liikenneviraston ohjeita 10/2012) ja Sillan geotekninen suunnittelu (Liikenneviraston ohjeita 11/2012)
5. Muut Liikenneviraston ohjeet, joissa käsitellään geolujitettuja maarakenteita

InfraRYL (tekniset laatuvaatimukset) on urakka-asiakirja. Tässä käsikirjassa on ohjeita hankekohtaisten työselostusten ja laatuvaatimusten laatimiseksi. Hankekohtaisilla laatuvaatimuksilla voidaan korvata ja täydentää InfraRYL:n yleisiä laatuvaatimuksia.

2 Geolujitteiden käyttö

2.1 Geolujitetut rakenteet

Geolujitteilla tarkoitetaan tässä julkaisussa

- synteettisistä polymeereistä jatkojalostamalla valmistettuja kudoksia (kan-kaita), verkkoja sekä liuskoja ja liuskoista yhteenliittämällä valmistettuja verkkomaisia punottuja rakenteita ja
- teräksisiä verkkoja.

Geolujitettu rakenne käsittää seuraavat pääosat:

- täyttömateriaali (lujitteiden välissä),
- täytön lujite ja
- pinnoitusjärjestelmä (tarvittaessa).

Geolujitettujen rakenteiden yleisimmät käyttökohteet ovat (kuva 2.1):

- lujitemaatukimuurit,
- jyrkät luiskat,
- pehmeikölle perustettavat penkereet,
- tiepenkereen levennys,
- teiden ja kenttien päällysteen ja päällysrakenteen lujittaminen,
- paalutettujen tai syvästabiloitujen penkereiden holvausrakenteet,
- sortuneiden luiskien korjaus,
- putkijohtojen perustaminen,
- kevyet ja/tai väliaikaiset rakenteet,
- työalustat, nosturipedit ja työmaatiet,
- maapadot ja muut vesirakenteet sekä
- kaatopaikat.

Geolujitetun rakenteen etuja ovat mm.:

- rakenteiden vakavuuden lisäys,
- lujitetun rakenteen pieni tilantarve (jyrkemmät luiskat),
- lujitetun rakenteen pieni materiaalimenekki,
- muiden pohjavahvistus- tai pohjarakennusmenetelmien korvaaminen tai täydentäminen,
- pehmeikkörakentaminen helpompaa ja nopeampaa sekä
- mahdollisuus käyttää muuten kelpaamattomia maamassoja.

Synteettisiä geolujitteita on käytetty 1960-luvulta lähtien maarakenteiden lujittamiseen. Teräsverkkoja on käytetty mm. teiden päällys- ja pohjarakenteiden lujittamiseen ja päällysrakenteiden routavaurioiden estämiseen Suomessa 1970-luvulta ja Ruotsissa 1960-luvulta saakka. Lujittamalla maa geolujitteilla voidaan kasvattaa maan kantavuutta ja parantaa rakenteen vakavuutta. Lujite ottaa vastaan rakenteessa syntyviä jännityksiä, tasoittaa niitä ja siirtää niitä laajemmalle alueelle.

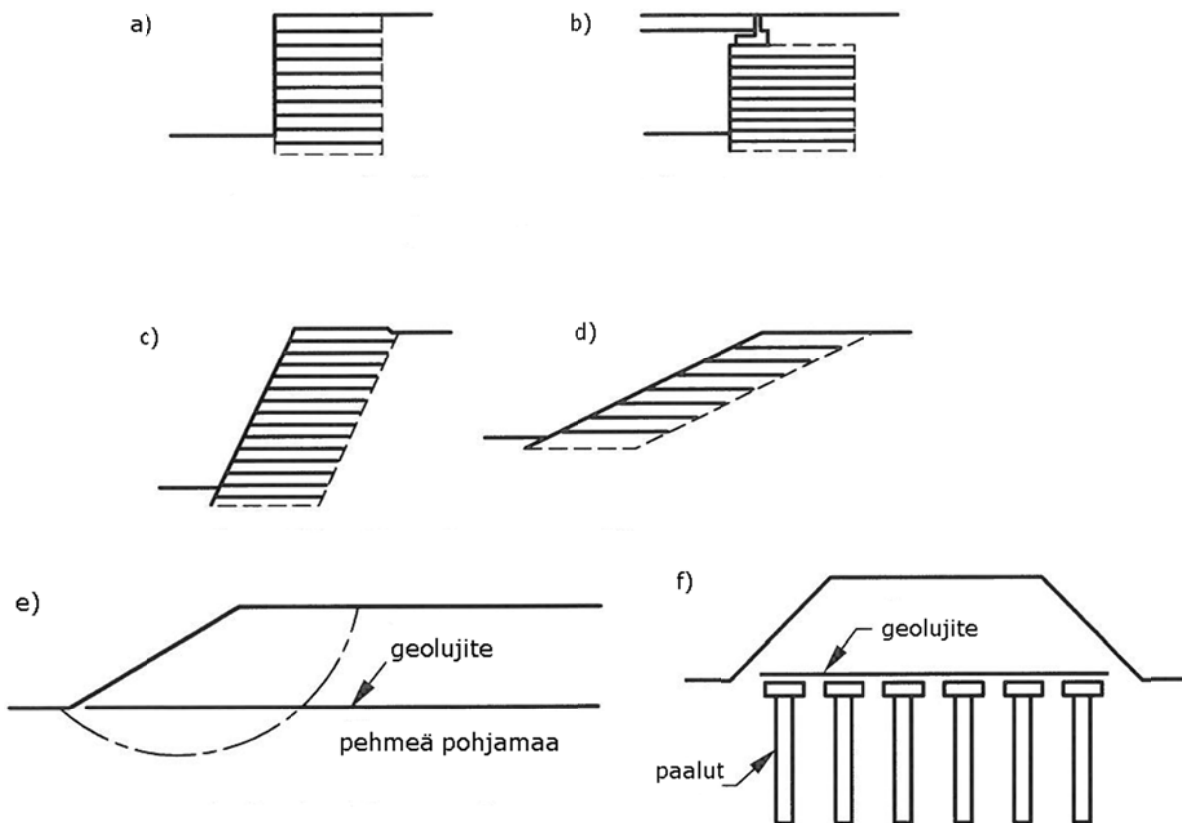
Tässä ohjeessa myös käsiteltävistä kivikorirakenteista on esitetty esimerkkejä kuvassa 10.2.

2.2 Lujitetyypit

2.2.1 Synteettiset geolujitteet

Synteettiset (polymeeriset) geolujitteet voidaan jakaa kankaisiin, verkkoihin, ja yhdistelmälujitteisiin. Lisäksi ne voidaan karkeasti jaotella kolmi-, kaksi- ja yksiulotteisiin lujitteisiin. Kolmiulotteisia ovat tyypillisesti erilaiset valmiit geosellilujitteet tai kaksiulotteisista tuotteista (yleisimmin verkoista) kootut rakenteet. Tyypillisiä kaksiulotteisia lujitteita ovat kudokset (kudotut kankaat) ja verkot. Yksiulotteisia lujitteita ovat esimerkiksi vetoelementteinä toimivat nauhat ja liuskat. Erilaisia synteettisiä geolujitteita on esitetty kuvassa 2.2.

Kudottu kangas on kudus, joka on vähintään kahden erisuuntaisen lankaryhmän muodostama tasorakenne. Kudontatekniikka ja kuormitussuunta vaikuttavat merkittävästi kudoksen lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin.



Kuva 2.1 Lujitettuja maarakenteita. a) tukimuurirakenne, b) sillan maatuki, c) jyrkkä luiska, d) korjattu luiska, e) pengerrin pohjamaalla, f) paalutettu pengerrin (BS 8006-1:2010).

Lujiteverkot ovat yleensä joko vedettyjä, hitsattuja (kuumentamalla kiinnitettyjä) tai kudottuja verkkoja. Vedetyt verkot valmistetaan reiittämällä yhtenäisen polymeerilevyn ja venyttämällä verkkoaihoita yksi- tai kaksiakselisesti elastisten ominaisuuksien parantamiseksi (polymeeriketjujen orientointi). Hitsatuissa verkoissa pituus- ja poikkisuuntaiset vetoelementit kiinnitetään toisiinsa kuumentamalla (termisesti).

Kudotut verkot valmistetaan useimmiten muutamien lankojen muodostamista kimpuista liittämällä ne toisiinsa risteyskohdista.

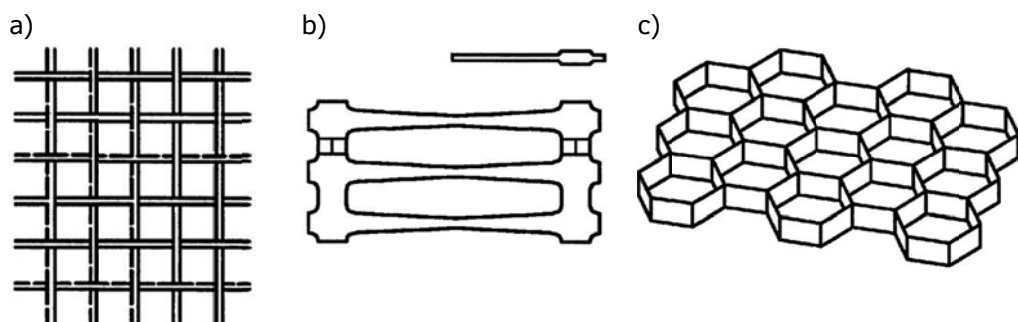
Kuitukankaat (ei-kudotut kankaat) ovat satunnaisesti järjestäytyneistä kuiduista koostuvia kankaita, jotka ovat yleensä neulattuja tai termisesti sidottuja. Niitä käytetään pääasiassa suodatus- ja erotustarkoituksessa sekä eroosiosuojauksena. Ko. käyttötarkoituksiin on myös kudottuja kankaita. Erityisesti neulaamalla valmistettujen kuitukankaiden muodonmuutokset ovat suuria jo pienilläkin kuormilla. Termisesti sidottujen kankaiden muodonmuutoskestävyys on merkittävästi pienempi kuin neulaetuilla kankailla. Suojageotekstiili on paksu tekstiili, tavallisesti huopamainen kangas, jonka tarkoituksena on suojata esimerkiksi muovikalvoa.

Suodatinkankaiden suodatusominaisuudet ja lujitteiden vetolujuus voidaan yhdistää yhdistelmälujitteissa, joissa esim. kuitukangas ja lujiteverkko on kiinnitetty toisiinsa tehtaalla.

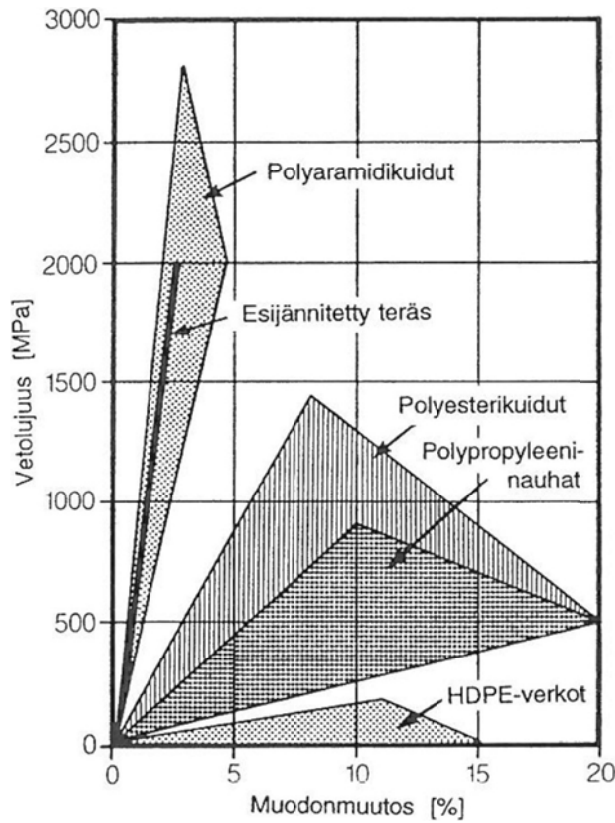
Synteettiset geolujitteet valmistetaan yleisimmin polyeteenistä (PE, high density HDPE), polypropeenista (PP), tyydyttyneiden polyesterien (PES) ryhmään kuuluvasta polyeteenitereftalaatista (PET) ja eräistä polyamideista (PA 6, PA 6.6). Kaikki nämä ovat puolikiteisiä kestumuoveja eli plastomeerejä. Synteettisiin polymeereihin lisätään valmistuksen aikana erilaisia stabiliaattoreita. Joissakin tapauksissa tuotteet voidaan päällystää myös muilla muoveilla. Tyypillinen päällystykseseen käytetty muovi on polyvinyylidikloridi (PVC).

Pitkäaikaisissa kuormitustapauksissa polyamidit ja -esterit ovat ominaislujuuksiensa puolesta parhaat lujitteiden raaka-aineet. Kosteus pienentää jonkin verran polyamidien lujuutta, maan emäksisyys tai happamuus saattaa myös vaikuttaa näiden polymeerien lujuuteen. Kylmissä olosuhteissa polyeteeni ja polypropeeni ovat parhaita lujitteen raaka-aineita, kun taas kuumen asfaltin lujittamisessa kyseeseen tulevat vain polyamidi- ja polyesterituotteet. (Tanska et al. 1996)

Taulukko 2.1 on esitetty raaka-aineiden käytön pääsuuntaviivat geolujitteiden valmistuksessa. Tyypillisiä geolujitteiden materiaali- ja kuituominaisuuksia on esitetty taulukossa 2.2. Kuvassa 2.3 on esitetty tyypillisiä geolujitteiden valmistuksessa käytettyjen polymeerikuitujen muodonmuutosominaisuuksia. (Aalto et al. 1998)



Kuva 2.2 Synteettisiä geolujitteita: a) kudottu tai hitsattu verkko, b) vedetty verkko ja c) kennorakenne. (SFS-EN 14475:1996)



Kuva 2.3 Tyypillisiä polymeerikuitujen ja lujitetuotteiden kuormitus-muodonmuutosvuorosuhdetta. (Exxon Chemical 1992)

Taulukko 2.1 Tyypillisiä geolujitteiden raaka-aine- ja rakennetyyppiyhdistelmiä. PA=polyamidi, PE=polyeteeni, PP=polypropeeni ja PET=polyesteri (polyeteenitereftalaatti). (van Zanten 1986)

Tuotteet / Peruskomponentin rakenne	Raaka-aineet			
	PA	PE	PP	PET
GEOTEKSTIILIT, Kudokset / lankatyypit:				
- yksisäikeiset		X	X	
- teippimäinen ja kalvo		X	X	
- monisäikeiset	X	X	X	X
LIUSKA, SIDE	X			
VERKOT				
- vedetty		X	X	
- kudottu ja punottu				X
- hitsattu (kuumennettu)				X

Taulukko 2.2 Tyypillisiä geolujitteiden materiaali- ja kuituominaisuuksia. (Tanska et al. 1995)

Kuitu	Tiheys g/cm ³	Murtolujuus N/tex	Murto- venymä %	Kosteus %	Pehmene- mispiste °C	Sulamis- piste °C
PET	1,36-1,41	0,3-0,9	8-55	0,5	220-240	250-260
PA 6.6	1,14	0,3-0,9	15-60	4	230	260-265
PA 6	1,13	0,3-0,9	15-70	4	170	215-225
PA 11	1,05	0,4-0,7	15-40	1,5	170	190
PE	0,95	0,3-1,5	10-45	0	115-125	130-140
PP	0,91	0,2-0,8	15-50	0	125-145	160-175

2.2.2 Teräslujitteet

Teräslujitteet voivat olla muodoltaan nauhoja tai tankoja, kehikkoja, hitsattuja teräsverkkoja tai punottuja verkkoja. Teräsnauhojen teräslajin tulisi olla S235, S275, S355, S420 tai S460. Hitsatut verkot tai tangot tulisi valmistaa kylmämuokatusta teräslangasta tai muokata kuumavalssatusta teräksestä. Teräslujitteisiin voidaan lisätä suo-
japinnoite (esim. kuumasinkitys), jolla vähennetään sähkökemiallista korroosiota. Perusmetalliin tulee soveltaa suunnitellun käyttöiän mukaista korroosiovaraa. Punot-
tuihin teräsverkkoihin voidaan lisätä sinkki-alumiiniseospinnoite, joka on edelleen
suojattu PVC- tai PE-pinnoitteella. Ruostumatonta terästä ja alumiiniseoksia ei tulisi
käyttää maa-ainesten lujittamiseen pysyvissä rakenteissa, ellei kyseessä ole erityinen
tapaus ja rakentaminen perustu erillisiin tutkimuksiin. (SFS-EN 14475:2006)

Teräsverkot:

Lujitteina käytettävien teräsverkkojen tulee täyttää Suomen Standardoimisliiton
standardeissa esitetyt vaatimukset kemiallisen koostumuksen ja valmistuksen (mm.
lujuus, liitokset, laatuvaatimukset, muoto) suhteen (SFS 1257, SFS 1260). Tieraken-
teissa käytettävät teräsverkot valmistetaan kylmämuokatussa tilassa (B) kylmä-
muokatusta harjatangosta (K), yleisimmin B500K, mutta myös B700K joissakin tapa-
uksissa (Höynälä & Mäkelä 2004). B500K-teräksen myötölujuus on 500 MPa ja
B700K:n 700 MPa (SFS 1257, SFS 1260). Teräsverkot ovat aina FI-merkittyjä. Merkin-
nällä kerrotaan teräslaatu, hitsausliitoksen lujuusluokka, tankojen halkaisijat, tanko-
jen jakovälit sekä verkon pituus ja leveys. Esimerkkinä tällaisesta voi olla tyyppimer-
kintä B500K/FL30-6/5-100/100-8000/2350, jota käytetään asiakirjoissa.

Teräsverkot hitsataan vastuspistehitsausmenetelmällä raudoitetehtaassa (SFS 1257).
Hitsausliitoksen lujuus on yleensä 30 % (lujuusluokka FL30) pääterästen myötölu-
juudesta, joskin tie- ja katurakenteisiin asennettavien teräsverkkojen hitsausliitosten
lujuusluokan on oltava suurempi, esimerkiksi FL40.

Teräsverkko ottaa vetoa vastaan pääasiassa verkon poikkisuuntaisia vetoelementtejä
vasten muodostuvan passiivisen maanpaineen vaikutuksesta. Passiivisen maanpai-
neen syntyminen ja kitka mahdollistavat teräsverkon ja tierakennusmateriaalien riit-
tävän ankkuroitumisen. Jos teräsverkon ankkuroituminen ei ole riittävä, voi teräsverk-
ko liukua tierakenteen sisällä ja teräsverkko ei tällöin pysty ottamaan kuormia vas-
taan. (Mäkelä 1998) Mikäli teräsverkon tulee ankkuroitua maakerrokseen tai ottaa
maakerroksesta vastaan merkittäviä leikkauskuormia muussa kuin verkon pituus- tai

poikkisuunnassa, tulee varmistua verkon liitosten kestävyys kuormitettuna diagonaalisisessa suunnassa. Teräsverkon diagonaalisuunnassa tehdyssä ulosvetokokeessa on havaittu verkon silmien venymistä ja tankojen hitsausten irtoamista. Verkon heikompi rakenteellinen lujuus diagonaalisisessa suunnassa tulisi huomioida verkkojen asennusta suunniteltaessa. (Luomala 2005)

Liikennevirasto (Tiehallinto) on laatinut eritasoisia ohjejulkaisuja teräsverkkojen käyttämisestä tierakentamisessa (päällysrakenteen lujittamiseen). Ko. ohjejulkaisuja on koottu liitteeseen 1. Teräslujitteita on Suomessa käytetty pääasiassa päällysrakenteen kantavuuden lisäämiseen ja/tai deformaatioiden rajoittamiseen, jolloin lujite ei ole toiminut tämän käsikirja käsittelemien rakenteiden kantavana osana (esim. tukimuurin lujite) tai lujitetut rakenteet ovat olleet väliaikaisia.

2.3 Lujitteiden ominaisuudet ja niiden koestus

2.3.1 Lujitteen ominaisuudet

Geolujitettujen maarakenteiden suunnittelussa lujitteen määrävimmät ominaisuudet ovat lujuus-muodonmuutosominaisuudet ajan funktiona sekä kitkaominaisuudet suhteessa ympäröivään maahan / täyttökerrokseen.

Asennus- ja rakennusaikana lujitteen tulee kestää asentamisen aiheuttamat kuormat eikä lujite saa vaurioitua karkean maamateriaalin hankauksesta eikä tiivistystyön vaikutuksesta. Saumoilla saattaa olla ratkaiseva merkitys lujiterakenteen toimivuuden kannalta. Perusedellytys lujiterakenteen toiminnalle on, että käytettävät lujitteet kestävät maassa ja vedessä normaalisti esiintyviä kemiallisia ja biologisia ympäristörasituksia. (Aalto et al. 1998)

Synteettisten lujitteiden tulee täyttää standardissa SFS-EN 13251 ”*Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Toiminnalliset vaatimukset maanrakennustöissä sekä perustusten ja tukirakenteiden tekemisessä*” esitetyt vaatimukset niiltä osin, joilta testit ja testausmenettelyt ovat olennaisia kyseisen lujitteen kannalta. Lujitteiden mitoitustien mukainen vetolujuuden ominaisarvo sekä muodonmuutos- ja virumaominaisuudet määritetään standardin EN ISO 13431 ”*Geotextiles and geotextile-related products - Determination of tensile creep and creep rupture behaviour*” mukaisesti.

Elleivät synteettisten tai teräksisten lujitteiden varmennetut mitoituslujuusarvot perustu aiempaan merkitykselliseen kokemukseen tai erityiseen testaukseen SFS-EN 14475:2006 ”*Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö*” mukaisesti, tulee niiden perustua ko. standardissa lueteltuihin asiakirjoihin, joista osa on mainittu myös InfraRYL:ssä.

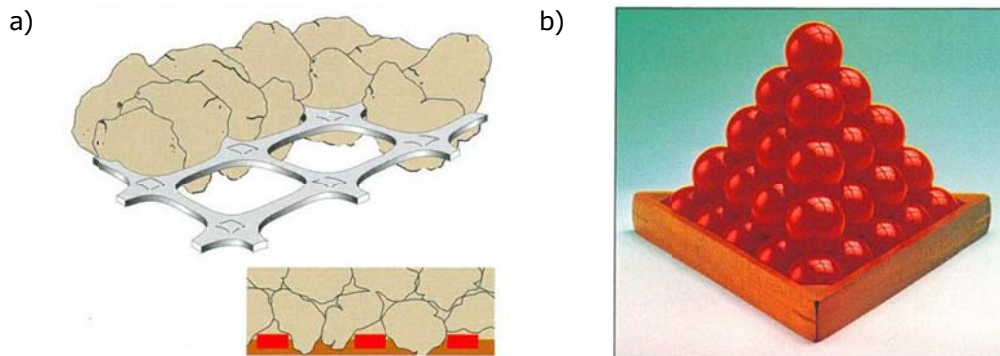
2.3.2 Lujitteen toimintatapa

Lujitetun maan toimintatapa muistuttaa jossakin määrin teräsbetonin toimintatapaa. Maa ei kestä suuria veto- ja leikkausjännityksiä, jolloin geolujitteiden tarkoitus on ottaa vastaan veto- ja leikkausjännitykset ja pienentää jännitysten aiheuttamia siirtymiä. Lujite voi toimia kunnolla vain silloin, kun siinä vaikuttavat voimat voivat siirtyä maahan ja päinvastoin. Voimien siirtyminen perustuu lujitteen ja maan väliseen tartuntavoimaan (kuva 2.4). Jotta tartuntavoima kehittyisi tehokkaasti, tulee lujitetta ympäröivällä maalla olla riittävä leikkauskestävyyskulma. Lisäksi lujitevoiman mobilisointumiseen tarvitaan maan ja lujitteen välinen siirtymä, jonka suuruus riippuu käytettävän lujitteen jäykkyydestä ja lujitteen rakenteesta (kangas, verkko, verkon liitos-

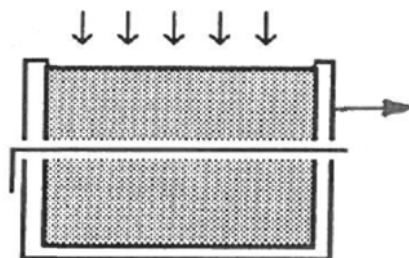
ten jäykkyys, verkon vetoelementtien jäykkyys, ...). Lujitteen ja maan välinen kitka riippuu mm. vallitsevasta paineesta, maakerroksen tiivyydestä, maalajin raekoosta ja -muodosta sekä lujitteen ja lujitteen pinnan rakenteesta. (Aalto et al. 1998)

Lujitteen ja maan välistä yhteistoimintaa tutkitaan leikkaus- ja ulosvetokokeilla. Leikkauskokeella tutkitaan maan liukumista lujitteen pintaa pitkin. Ulosvetokokeella selvitetään lujitteen ankkurikapasiteetti maassa. Koeolosuhteiden ja maamateriaalien tulee vastata mahdollisimman hyvin rakennuspaikalla odotettavissa olevia olosuhteita.

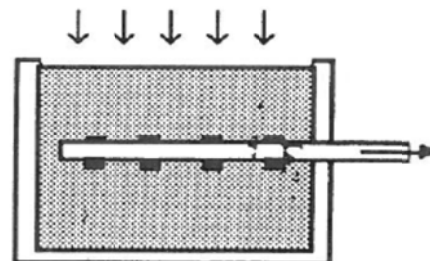
Leikkauskoe tehdään rasialeikkauskokeen kaltaisilla laitteilla, joissa lujite asennetaan kahden maarasian väliin. Kokeen periaate on esitetty kuvassa 2.5. Koekappaleen kooksi suositellaan vähintään $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$. Koe suoritetaan normaalivoiman vallitessa rasian ala- tai yläosaa vetämällä, jolloin voima ja vastaavat siirtymät mitataan. Leikkauskokeen tuloksena saadaan maan ja lujitteen välinen leikkausvastus (maan liukumisvastus lujitteen pinnalla). Ulosvetokokeen periaate on esitetty kuvassa 2.6. Ulosvetokoe tulee tehdä todellista käyttötilannetta vastaavilla materiaaleilla ja vastaavassa tiivyydessä. Normaalijännityksen tulee myös vastata käyttöolosuhteita. Ulosvetokokeella saadaan selvitettyä lujitteen ja maan välinen leikkausvastus ankkurikapasiteetin määrittystä varten.



Kuva 2.4 Lujitteen ja maan yhteistoiminnan periaate: a) lujiteverkon toiminta perustuu maaraideiden lukkiutumiseen verkon aukkoihin, b) tällöin verkko tukee maaraiteita kuten kolmiokehikko kuvan biljardipalloja. (Tensar 2002)



Kuva 2.5 Geolujitteen ja maan välisen kitkan määrittäminen rasialeikkauskokeella (Möller 1992)



Kuva 2.6 Geolujitteen ja maan välisen ankkurikapasiteetin määrittäminen ulosvetokokeella (Möller 1992)

2.3.3 Lujitteiden toimitusmitat

Lujitteiden toimitusmitat saattavat vaikuttaa työmenetelmiin. Lujitteen leveys vaikuttaa saumojen tai limitysten määrään. Saumaustyö kasvattaa kustannuksia ja työmaasauman lujuus on yleensä vain osa lujitteen vetolujuudesta.

Synteettiset lujitteet:

Synteettisten lujitteiden suurin leveys on normaalisti noin 5 m, mutta tehdassaumatuna voidaan saada huomattavasti leveämpiäkin tuotteita. Lujitekankaiden ja -verkkojen pituus on periaatteessa rajoittamaton, mutta käytännössä rajoittavana tekijänä on rullan koko ja paino. Lujitteen m²-painosta riippuen pituudet vaihtelevat yleensä n. 50...300 m. Pituus pyritään valitsemaan ennakolta siten, ettei ylimääräistä saumausta tai lujitehukkaa synny.

Teräsverkot:

Teräsverkkojen teräsluokka, yksittäisten terästen paksuudet ja k/k-välit tulee esittää suunnitelma-asiakirjoissa (InfraRYL 2010). Tyyppimerkinnällä tilaaja ilmoittaa haluamansa teräsverkon tekniset tiedot, joiden perusteella verkot valmistetaan. Tilaaja voi valita eri verkkotyyppejä käyttötarkoituksen ja -kohteen mukaan. Teräsverkkojen tyyppimerkinnällä ilmaistaan teräslaatu, hitsausliitoksen lujuusluokka, tankohalkaisijat, jakovälit sekä verkon leveys ja pituus. Tierakenteeseen tarkoitetun verkon tyyppimerkintä on esimerkiksi B500K/F30-7/5-100/150-10 000/2350. Lujitteina käytettävien verkkojen pitkittäisten lankojen paksuus vaihtelee yleensä 7...8 mm välillä. Poikkitaisten sidontalankojen paksuus on tavallisesti 5 mm. Pitkittäisten lankojen jakoväli on yleensä 100...150 mm ja poikkisuuntaisten 150...200 mm.

Lujitteena käytettävän teräsverkon leveys on yleensä standardimitta eli 2350 mm, joka on todettu parhaimmaksi kuljetusten kannalta, koska verkko mahtuu hyvin kuorma-auton lavalle. Teräsverkon pituus riippuu käyttötarkoituksesta. Lujitteiksi tarkoitetut teräsverkot ovat yleensä erikoisverkkoja, jotka valmistetaan tehtaalla tilaajan antamien toivomusten mukaisesti. Tehtaiden ja rautakauppojen varastoista löytyy varastoverkkoja, joiden tankohalkaisijat ja jakovälit ovat molempiin suuntiin samat. Varastoverkot valmistetaan aina B500K teräksestä. Varastoverkkojen mitat ovat 2350 x 5000 mm². Varastoverkot toimitetaan noin 1000 kg nipuissa.

2.3.4 Synteettisen lujitteen lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet

Vetolujuus ja muodonmuutosmoduuli

Lujitteen lujuuden tulee olla riittävä ottaakseen vastaan lujitteeseen kohdistuvat voimat ja saadakseen aikaan tasapainotilan maassa. Tarvittavan lujitevoiman suuruus (mitoituslujuus) vaihtelee suuresti sovelluskohteesta riippuen. Vetolujuuden ohella on selvitetävä lujitteen muodonmuutosominaisuudet. Lujitteen tulee olla riittävän jäykkä, jotta tarvittava lujitevoima voi kehittyä niin, ettei lujitteen venymä johda ko. rakenteen sallittujen muodonmuutosten ylitykseen.

Synteettisen lujitteen lyhyen ajan vetolujuus määritetään vetokokeella, jossa koelaitteiston leukoihin kiinnitetty koekappale vedetään vakioimuodonmuutosnopeudella murtoon asti. Vetovoima ja muodonmuutos mitataan tietyin aikaväleihin ja tuloksista piirretään kuormitus-venymäkäyrä. EN ISO 10319:2008 -standardin ”*Geosynthetics. wide-width tensile test*” mukaan (koekappaleen leveys 200 mm, vetopituus 100 mm, lämpötila 20 ± 2 °C ja nopeus 20 ± 5 %/min). Lujitteen vetolujuus riippuu merkittävästi käytetystä muodonmuutosnopeudesta. Mitä pienempi muodonmuutosnopeus

on, sitä pienempi on materiaalin vetolujuus. Esimerkkejä muodonmuutosnopeuden vaikutuksesta vetokoetuloksiin eri polymeerityypeillä on esitetty kuvassa 2.8.

Lujitteen muodonmuutosmoduuli määritetään vetokoetuloksista rakenteessa toteutavalta jännitysalueelta.

Geolujitteiden lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet voivat vaihdella huomattavasti eri suunnissa valmistustavasta riippuen. Monissa sovelluskohteissa lujuutta tarvitaan pääasiassa yhdessä suunnassa, mutta joissakin tapauksissa, kuten työnaikaisessa tilanteessa pengertä vaihteittain rakennettaessa mitoittavaksi tekijäksi saattaa muodostua myös lujitteen pienin lujuussuunta.

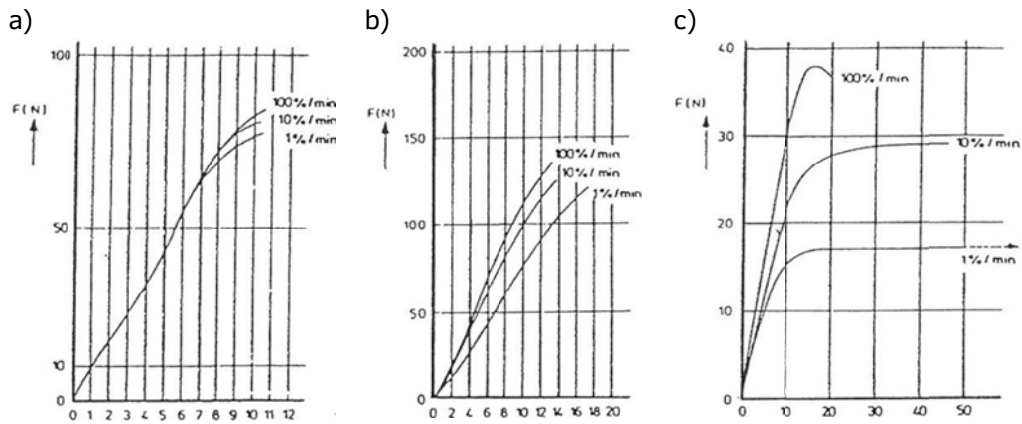
Syklisen kuormituksen vaikutus

Syklisen kuormitus aiheuttaa lujitteeseen vähäisen palautumattoman venymän, kun kuormitustaso, jolla sykliset kuormitukset tehdään, on alhainen (esim. staattinen kuorma $0,15 \times T_{char}$ ja syklinen kuorma $0,15 \dots 0,3 \times T_{char}$). Lämpötilan vaikutus lujitteen palautumattomaan venymään eri lämpötiloissa erityyppisillä polyesteristä ja polypropyleenistä valmistetuilla lujitteilla on havaittu vähäiseksi, mutta alhaisemmassa lämpötilassa syklisen kuormituksen aiheuttama lujitteen palautumaton venymä on hieman vähäisempi kuin korkeassa lämpötilassa. Syklisten kuormitusten jälkeen tehdyn standardivetokokeen perusteella ennen vetokoetta vaikuttanut syklinen kuormitus lisäsi polypropyleenilujitteen murtolujuutta kaikissa lämpötiloissa ($-8 \dots +20$ °C), kun taas polyesterilujitteen murtolujuus oli syklisen kuormituksen jälkeen hieman pienempi alhaisessa lämpötilassa. (Friberg et al. 1994)

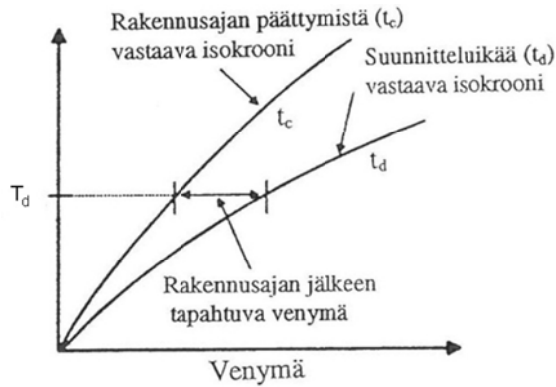
Viruminen

Lujitteen virumisella tarkoitetaan ajan myötä kasvavaa muodonmuutosta (venymää) kuormituksen pysyessä vakiona. Geolujitteen käyttö pysyvissä rakenteissa edellyttää lujitteen muodonmuutuskäyttäytymisen tuntemista pitkäaikaisessa kuormitustilanteessa (kuvat 2.7-2.9). Virumisen vaikutus lujitteen venymään voidaan arvioida lujitteen valmistajan antamien, luotettaviin virumakokeisiin perustuvien tietojen perusteella tai erikseen tehdyillä virumakokeilla (vrt. kuva 2.8 ja liite 2). Virumakokeessa lujitetta kuormitetaan vakiokuormalla ja kokonaisvenymää mitataan ajan funktiona. Kuormitukseksi voidaan valita esimerkiksi 10, 20, 30, 40 ja 50 % tai enemmän lyhyen ajan murtokuormasta. Virumakoe tehdään standardin EN ISO 13431 ”*Geotextiles and geotextile-related products - Determination of tensile creep and creep rupture behaviour*” mukaisesti.

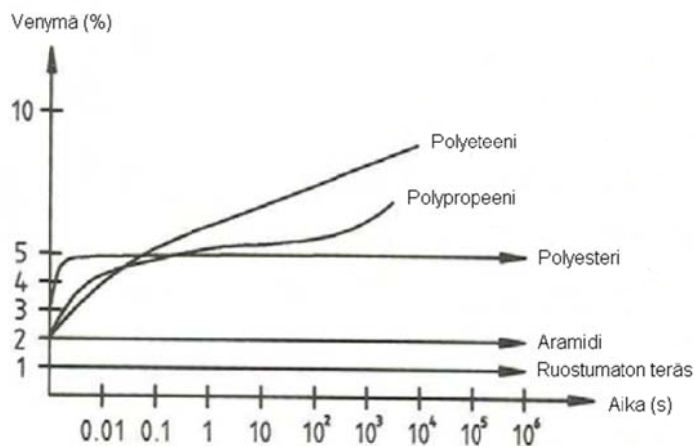
Lämpötilan on havaittu vaikuttavan lujitteen virumaominaisuuksiin eri lämpötiloissa erityyppisillä polyesteristä ja polypropyleenistä valmistetuilla lujitteilla eri tavoin. Polyesterin virumaominaisuuksiin lämpötilalla ei havaittu olevan vaikutusta. Polypropyleenin viruman havaittiin olevan merkittävästi vähäisempää alhaisessa lämpötilassa. (Friberg et al. 1994)



Kuva 2.7 Esimerkkejä koe nopeuden vaikutuksesta erilaisten polymeerituotteiden vetolujuuteen +20 °C lämpötilassa a) polyesteri, monisäikeinen, b) polypropeeni, kalvo, c) polyeteeni, yksisäikeinen (van Zanten 1986).



Kuva 2.8 Rakennusajan jälkeen tapahtuvan lujitteen venymän arviointi (T_d on geolujitteen kuorma). (Aalto et al. 1998)



Kuva 2.9 Aika-venymäkuvaajia eri lujitemateriaaleilla (Statens vegvesen 2008).

2.3.5 Lujitteen saumat ja reiät

Synteettiset lujitteet:

Saumausmenetelmät

Työmaalla tehdyt saumat ovat useissa tapauksissa synteettisen lujitteen kriittisimpiä alueita. Saumojen tehtävänä on siirtää voimia lujitteesta toiseen, jolloin sauman rakenteellisella kestävyydellä on ratkaiseva merkitys kokonaisuuden toimivuuteen. Saumat voidaan tehdä mekaanisesti, fysikaalisesti tai kemiallisesti. Mekaanisessa liitoksessa käytetään sokkia, tappeja, sidontalankoja ja ommelta. Fysikaalinen liittäminen tapahtuu hitsaamalla tai kuumasaumauksella. Kemiallisesti saumat tehdään liimaamalla. Saumat voivat olla joko tehdasvalmisteisia tai työmaalla tehtyjä. (Tanska et al. 1995)

Useissa tapauksissa saumausta tai limittämistä suositeltavampaa on synteettisillä lujitteilla käyttää kahta (tai useampaa) lujitekerrosta, jotka asennetaan ristikkäis-suuntaisesti (normaalisti 90° kulmaan). Lujitekerrosten väliin asennetaan yleensä kitkamaakerros. Kitkamaakerrosten paksuus lujitteiden välissä tulisi olla 0,15...0,3 m (DGGT 2011). Mikäli käytetään useampaa kuin kahta lujitekerrosta esim. maanvaraisen geolujitetun penkereen pohjalla tai paaluhattujen päällä korvaamaan mitoitusessa käytetty yksi lujitekerros, tulee lujitteiden yhteistoiminta analysoida tarkemmin, koska eri lujitekerroksiin mobilisoituva lujitevoima saattaa poiketa toisistaan lujitteiden sijaintigeometrian takia. Useampaa lujitekerrosta käytettäessä on kiinnitettävä myös erityistä huomiota rakentamistekniikkaan ja rakentamisen aikaisiin kuormitustilanteisiin.

Ompelu:

Pääasiallisin saumausmenetelmä kudotuilla kankailla on ompeleminen. Ompelulanka on yleensä polyesteri- tai aramidilankaa. Ompelussa käytetty neula vahingoittaa aina jonkin verran geotekstiiliä, mikä vähentää sauman kykyä siirtää voimaa. Lisäksi langan lujuus rajoittaa sauman tehokkuutta eli sauman vetolujuuden suhdetta tuotteen vetolujuuteen. Sauman lujuus riippuu myös sauman ja tikin geometriasta sekä neulatyypistä jne.

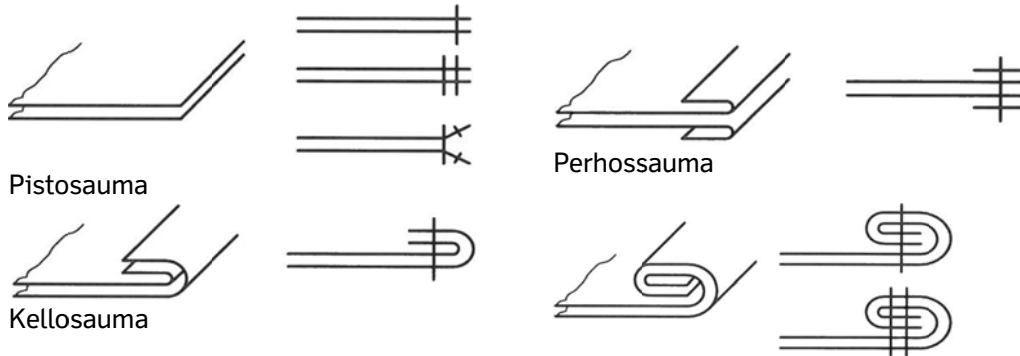
Kuvassa 2.10 on esitetty lujitekankaan ommeltuja saumatyyppejä. Pistosauma yhdellä saumalla on yleisin saumatyyppi, sillä sen ompeleminen onnistuu myös työmaaoiloissa. Pistosaumalla voidaan saavuttaa yleensä noin 25...50 % lujuus lujitteen lujuuteen verrattuna. Perhossauma on pistosaumasta kehitetty saumatyyppi, jolla voidaan päästä korkeampaan lujuuteen. Limitettyä saumaa käytetään ainoastaan tehdasvalmisteisissa liitoksissa. Limitetyn sauman etuna on korkea lujuus ja hyvä tiiviisyys. Kellosauma on limitetystä saumasta kehitetty muoto, jota käytetään lähinnä sellaisten kankaiden liitoksissa, joissa reunoja ei ole viimeistelty. Mikäli sauman yli on suunniteltu siirrettävien merkittäviä lujitevoimia, on saumojen lujuus testattava vetokokeilla (wide strip tensile test).

Saumauksessa ja limityksessä noudatetaan seuraavia ohjeita:

- työmaalla pyritään ensisijaisesti käyttämään valmistajan tehtaalla tai varastossa esisaumattuja kappaleita
- työmaalla saumattaessa käytetään tehtävään soveltuvaa saumauslaitetta
- lujitekankaat saumataan kuivissa olosuhteissa tasaisella alustalla
- saumat tehdään mahdollisimman suorina linjoina

Mekaaninen liitos:

Geoverkkoja voidaan liittää toisiinsa erilaisilla tappi- ja sidontalankaliitoksilla (kuva 2.11). Ko. liitoksia tehtäessä tulee ottaa huomioon pituus- ja poikkisuuntaisten vetoelementtien liittymäkohtien lujuus. Synteettisillä jäykkänurkkaisilla vedetyillä verkoilla tappiliitosten lujuus on lähes verkon vetolujuuden suuruinen.



Kuva 2.10 Kudottujen kankaiden ommeltuja saumatyyppejä. (BS 8006-1:2010)



Kuva 2.11 Jäykkänurkkaisen verkon tappiliitos (BS 8006-1:2010).

Limittäminen

Limittäminen on usein riittävä saumaustapa lujitteen toissijaisessa käyttösuunnassa. Sitä voidaan käyttää, mikäli saumat eivät joudu kovalle rasitukselle. Limityspituus vaihtelee tällöin tavallisesti välillä 0,3...1,5 m riippuen pohjamaan kantavuudesta sekä saumalle tulevasta kuormituksesta. Vedenalaisessa rakentamisessa limittäminen on ainoa mahdollinen saumausmenetelmä, ellei saumausta voida tehdä ennen upotusta. Vaadittu limityspituus lasketaan ankkuripituutena kahden lujitteen välisen kitkan perusteella. (Tanska et al. 1995)

Liimaus

Liimaamalla on mahdollista saada saumasta yhtä luja, kuin tuote on ilman saumaa. Liimatun sauman onnistumisedellytyksinä ovat kuivat ja puhtaat kangaspinnat. Työmaolosuhteissa liimaus on harvoin käytetty menetelmä ja korkealujuuksinen liimattu sauma on kustannuksiltaan kallis ratkaisu. (Tanska et al. 1995)

Reiät

Reiät pienentävät geolujitteen mitoituslujuutta. Rakennusaikaiset vauriot, pystysalaojien rakentaminen ja mittausvälineiden asentaminen ovat yleisimmät reikien syntyvät. Suunnittelussa tulee arvioida reikien koko, määrä ja sijainti sekä näiden asioiden perusteella lujitteen lujuuden menetys. Lisäksi on erikseen arvioitava kussakin suunnittelutilanteessa nopeasti etenevän repeämän syntymahdollisuus. (Tanska et al. 1995)

Lujitteen kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen sekä lujitteen yläpuolisen täytön rakentamisen yhteydessä syntyvät vauriot otetaan huomioon lujitteen mitoituslujuutta määritettäessä.

Metallilujitteet:

Metallilujitteiden jatkokset voidaan tehdä mekaanisena liitoksena, hitsaamalla tai liittämällä. Mekaaninen liitos voi olla oma liitososansa lujitteiden puskusaumaan tai se voi olla limityksen ja mekaanisen liitoksen yhdistelmä. Voimia välittävä jatkos on aina mitoitettava / suunniteltava ja sen kelpoisuus osoitettava, ellei kyseessä ole tilaajan erikseen hyväksymä tai CE-merkitty jatkostyyppi/-tuote. Vähäisiä voimia välittävänä jatkoksena voidaan käyttää verkon tankojen limitystä, jonka lujuus osoitetaan mitoituslaskelmilla ja jossa limityksen pysyvyys varmistetaan riittävällä määrällä mekaanisia kiinnityksiä estämään limityksen terästankojen siirtyminen toistensa yli. Jatkosten korroosiokestävyys on oltava vähintään yhtä hyvä kuin varsinaisella lujitteella tai rakenteen käyttöikä on mitoitettava jatkoksen korroosiokestävyyden mukaisesti.

2.3.6 Rakenteiden suunnitteluikä ja säilyvyys

Standardin SFS-EN 1990 ”Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet” mukaan rakenne tulee suunnitella siten, että sen kunnan heikkeneminen suunnitellun käyttöiän aikana ei heikennä rakenteen toimivuutta aiottua huonommaksi, kun otetaan asianmukaisesti huomioon rakenteen ympäristö ja odotettavissa oleva ylläpidon taso. Riittävän hyvin säilyvän rakenteen saavuttamiseksi tulee seuraavat seikat ottaa huomioon:

1. rakenteelle aiottu tai ennalta arvioitu käyttö,
2. vaaditut mitoituskriteerit,
3. odotettavissa olevat ympäristöolosuhteet,
4. materiaalien ja tuotteiden koostumus, ominaisuudet ja toimivuus,
5. maaperän ominaisuudet,
6. rakennejärjestelmän valinta,
7. rakenneosien muoto ja rakenteen yksityiskohdat,
8. työnsuorituksen laatu ja valvonnan taso,
9. erityiset suojaustoimenpiteet ja
10. tuleva ylläpito suunnitellun käyttöiän aikana.

Lujitteen mitoituslujuus tai korroosioon varautuminen määräytyy rakenteen käyttöiän perusteella. Lujitteeseen kohdistuvan lujitevoiman ei otaksuta alenevan rakenteen käyttöiän aikana mm. tukimuuri- ja luiskarakenteissa sekä paaluhattujen varaan rakennetuissa geolujitetuissa penkereissä. Heikon pohjamaan varaisilla lujitetuilla penkereillä voidaan otaksua lujitteeseen kohdistuvan lujitevoiman alenevan pohjamaan lujuuden kasvaessa, jolloin lujitevoima on suurimmillaan heti rakentamisen jälkeen muuttuvien kuormien kuormittaessa rakennetta. (BS 8006-1:2010)

Taulukossa 2.3 on esitetty tierakenteiden käyttöiän arviointia. SFS-EN 1990-standardissa ”Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet” on esitetty viitteellisesti suunnitellun käyttöiän luokkia taulukon 2.4 mukaisesti. Standardissa SFS-EN 14475 ”Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö” on esitetty tilapäisrakenteiden suunnitellun käyttöiän olevan 1...5 v. (luokka 1) ja pysyvien rakenteiden yli 5 v. (luokka 2...5). Metallilujitteiden suunnitellun käyttöiän luokat ja lujitteiden kanssa käytettävien täytömaiden sähkökemialliset ominaisuudet on esitetty liitteessä 3.

Taulukko 2.3 Tierakenteen rakenneosilta vaadittavan käyttöiät Liikenneviraston (2012) ja InfraRYL:n (2010) taulukon 1 mukaisesti. Tässä taulukkoa on täydennetty luokilla sekä väliaikaisilla ja lyhytaikaisilla rakenteilla.

Luokka	Tyypillinen käyttöikä	Esimerkki
Väliaikainen	1...5 v	Työmaatiet, työalustat
Lyhytaikainen	5...10 v	Työmaatiet
Pitkäaikainen	30 v	Päällysrakenne Päällysrakenteen lujitusrakenteet
Pitkäaikainen	100 v	Pohjanvahvistusrakenteen lujitteet: teräs ja synteettinen, Lujitemaatukimuurit, Penkereet, Paalulaatta-, paaluhatturakenteet

Taulukko 2.4 Suunnittelun käyttöiän luokkia viitteellisesti. Taulukon mukaisia luokkia voidaan käyttää määrittäessä ajasta riippuvaa toimivuutta. (SFS-EN 1990)

Suunnittelun käyttöiän luokka	Viitteellinen suunniteltu käyttöikä	Esimerkki
1	10 v	Tilapäisrakenteet ⁽¹⁾
2	10...25 v	Vaihdeavissa olevat rakenteen osat, esim. nosturiratapalkit, laakerit
3	15...30 v	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
4	50 v	Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
5	100 v	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet

⁽¹⁾ Sellaisia rakenteita tai niiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleen käytettäväksi, ei pidetä tilapäisinä.

2.3.7 Ympäristötekijöiden vaikutus kestävyys

Synteettiset lujitteet:

Lujitemateriaalit joutuvat maarakenteissa alttiiksi ympäristötekijöille, jotka saattavat vaikuttaa haitallisesti lujitteen ominaisuuksiin. Tämän vuoksi lujitteella täytyy olla riittävä kestävyys ainakin seuraavien ominaisuuksien osalta: (Aalto et al. 1998)

- kemiallinen kestävyys (hydrolyysi, hapettuminen),
- mikro-organismien ja bakteerien vastustuskyky,
- terminen kestävyys (lämpö, routa) ja
- auringonvalon kestävyys.

Kemiallinen ja mikrobiologinen vastustuskyky on normaaliolosuhteissa hyvä kaikilla neljällä tavallisimmin käytetyllä polymeerityypillä. Ympäristön lämpötilan ja joidenkin polymeerien osalta myös kosteuden kasvaessa niiden vastustuskyky kuitenkin pienenee. Polyamidi on herkkä voimakkaiden happojen vaikutukselle ja polyesteri emäksien vaikutukselle. Yleisimpien lujitteiden kestävyyttä ympäristötekijöiden vaikutusta vastaan on arvioitu taulukossa 2.5.

Kemiallinen kestävyys on otettava huomioon esimerkiksi yhdistettäessä geolujitteita stabiloituihin rakenteisiin tai joihinkin sivutuote- tai jätemateriaaleihin (kalkki, sementti, lentotuhka, betonimurske, yms.). Kevytsoralla pH on nykyään 7 (RT K-36951), ollen huomattavasti alhaisempi kuin mm. 1990-luvun alkupuolella.

Tarvittaessa tulee tehdä pohjatutkimus, jonka avulla määritetään:

- lujitteen tai pinnoituksen kanssa mahdollisesti kosketuksissa olevan perustusmateriaalin aggressiivisuus
- pohjaveden aggressiivisuus, mikäli pohjavesi voi imeytyä valittuun täyttöön ja vaikuttaa sen omaan aggressiivisuuteen. (SFS-EN 14475:2006)

Orgaanisten aineiden hajoamisesta johtuvat pitkäaikaisvaikutukset tulisi ottaa huomioon merkittävien kerrosten osalta, jos ne on tarkoitus jättää rakennuspaikalle. (SFS-EN 14475:2006)


Auringonvalon UV-säteily on haitallista kaikille polymeereille, sillä materiaalit haurastuvat säteilyn vaikutuksesta. Tämä johtaa suojaamattoman polymeerituotteen lujuuden alenemiseen ja muodonmuutosten kasvuun. Suojaamattomana polyesterin auringonvalon sietokyky on paras ja polypropeenin sekä polyeteenin huonoimpia. Polypropeeni- ja polyeteenituotteissa on kuitenkin aina mukana UV-stabiilisaattori. Lujitteilta tulee aina edellyttää rakennusaikaista auringonvalon sietokykyä. (Aalto et al. 1998)


Metallilujitteet:


Lujitteen pisyvyys maassa tulee vastata suunnitelma-asiakirjoissa määriteltyä käyttöikä. (InfraRYL 2010) Metallilujitteiden kestoikää voidaan pidentää paksuntamalla lujitteita tai lisäämällä suojapinnoite, jolla vähennetään sähkökemiallista korroosiota. Maassa tapahtuvan korroosion luonne on monimuotoista ja riippuu useista tekijöistä, kuten maaperä fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista. Tie- ja katurakenteita ajatellen kemiallisista ominaisuuksista eniten merkitystä on ajoratojen suolauksesta maahan liuenneiden suolojen aiheuttamalla korroosiolla.


Taulukko 2.5 Polymeerien kestävyys eri ympäristötekijöiden suhteen (Statens vegvesen 2008).

Polymeerityyppi	Vastustuskyky										
	Korkea lämpötila	Veden absorboituminen	Hapot	Eräokset	Biologinen hajoaminen	Suolavesi	Mineraaliöljyt	Lentobensiini	Liukeminen	UV-säteet, stabiloimaton polymeeri	UV-säteet, stabiloitu polymeeri
Polyesteri	Heikko	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Heikko	Hyvä	Heikko	Heikko	Hyvä	Heikko	Heikko
Polyamidi	Hyvä	Heikko	Heikko	Hyvä	Heikko	Hyvä	Heikko	Heikko	Hyvä	XXXX	Heikko
Polyeteeni	XXXX	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Heikko	Hyvä	Heikko	XXXX	Hyvä	XXXX	Hyvä
Polypropeeni	Heikko	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Heikko	Hyvä	Heikko	XXXX	Hyvä	XXXX	Hyvä


Heikko


Kohtalainen


Hyvä


Erittäin hyvä

3 Lähtötiedot

3.1 Lujitetun rakenteen täyttömateriaali

3.1.1 Täyttömateriaalin valinta

Asiaan kuuluvalla tutkimuksella tulee määrittää täyttömateriaalin ominaisuudet, jotka liittyvät (SFS-EN 14475:2006):

- työstettävyyteen,
- aggressiivisuuteen (joka kohdistuu lujitteisiin tai pinnoitukseen) ja
- sisäiseen kitkaan ja koheesioon.

Lujitteiden välisen täyttömateriaalin sopivuus riippuu monista tekijöistä, jotka tulee ottaa huomioon materiaalia valittaessa:

- täyttömaan työstettävyys,
- rakenteen toiminta ja pitkäaikaiskäyttäytyminen,
- täyttömaan paksuus ja enimmäispartikkelikoko,
- pinnoitustekniikka,
- kasvillisuus (julkisivu),
- kuivatusominaisuudet,
- täyttömaan aggressiivisuus,
- täyttömaan ja lujitteen yhteistoiminta,
- täyttömaan sisäinen kitka ja koheesio sekä
- routivuus.

Rakenteen pinnoituksen lähellä käytettävän tiivistyslaitteiston edellytetään yleensä olevan kevyempi kuin täytön sisällä muualla. Tällöin edellytetyn täytön tiheyden saavuttamiseksi tiivistetyt kerrokset saattavat olla ohuempia, mikä on otettava huomioon mm. täyttömateriaalin rakeisuutta valittaessa.

Erityisesti lujitetun rakenteen suunnittelun edellyttämiä pohjasuhdetietoja ovat maan happamuus (pH) sekä maassa mahdollisesti olevat kemialliset aineet ja bakteerit. Myös kohteessa käytettyjen muiden pohjanvahvistusmenetelmien vaikutus maaperän ominaisuuksiin (esimerkiksi stabilointi) on otettava huomioon. (Aalto et al. 1998) Ympäristöolosuhteiden aggressiivisuus tulee arvioida lujitteiden säilyvyyden kannalta.

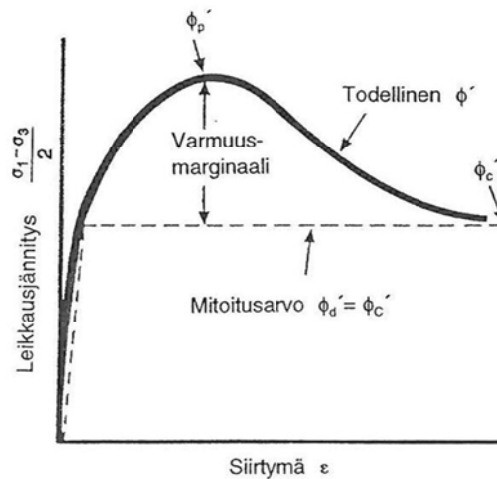
Standardin SFS-EN 14475 ”Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö” liitteessä A on esitetty opastavasti käytettäviä täyttötyyppejä sovellus, lujite ja pinnoitus huomioiden.

3.1.2 Täyttökerroksen parametrit

Lujitettujen rakenteiden mitoituksessa on huomioitava geolujitetun rakenteen muodonmuutokset. Mikäli lujitetun rakenteen tulevat muodonmuutokset arvioidaan suuri, käytetään mitoituksessa tiivistetyn kitkamaatäytteen huippuleikkauskestävyysskulman asemesta kriittisen tilan leikkauskestävyysskulmaa ϕ'_c (kuva 3.1). Tiivisrakenteisen kitkamaan kriittisen tilan leikkauskestävyysskulma on alin leikkausvastusarvo, joka soveltuu käytettäväksi riippumatta maan leikkausmuodonmuutoksen suuruudesta.

Lujitetuilla rakenteilla, joilla muodonmuutokset ovat vähäisiä, voidaan käyttää huipuleikkauskestävyyskulmaa. Täyttömaan sisäisen kitkan ja koheesion arvioinnin tulee edustaa olosuhteita, joissa sitä käytetään (esim. tiheys, kosteuspitoisuus, jännitystaso). Täyttömaan parametrien ominaisarvojen määrittämiseen on annettu ohjeita Liikenneviraston julkaisussa nro/2012 ”Tien geotekninen suunnittelu”.

Suunnittelussa käytettävät parametrien mitoitusarvot määritetään ominaisarvoista NCCI 7:n mukaisesti.



Kuva 3.1 Tiiviin rakeisen maan leikkauskestävyyskulman ominaisarvon valinta. (Exxon Chemical 1992)

3.2 Kitkan arviointi lujitteiden rajapinnoilla

Maan ja lujitteen välinen kitka täytyy ottaa huomioon mitoittaessa lujitteen ankkurikapasiteettia ja tarkasteltaessa täyttömaan tai pohjamaan liukumista lujitteen pinta pitkin.

Maan ja lujitteen välisen kitkan mitoitusarvo määritetään korjauskertoimen α avulla. Kerroin α ilmaisee, kuinka suuri osa maamateriaalin sisäisestä leikkauskestävyyskulmasta tai leikkauslujuudesta voidaan käyttää hyväksi laskettaessa lujitteeseen mobilisoituvaa vetovoimaa aktiivivyöhykkeellä tai kuinka paljon lujitteeseen mobilisoituneesta vetovoimasta voi siirtyä maahan passiivi-/ankkurivyöhykkeellä. Maan ja lujitteen välinen kitkakerroin μ lasketaan yhtälöstä 3.1.

$$\mu = \tan \phi_{sgd} = \alpha \tan \phi_d \quad (3.1)$$

missä

- μ on maan ja lujitteen välinen kitkakerroin, -
- ϕ_{sgd} maan ja lujitteen välisen leikkauskestävyyskulman mitoitusarvo, °
- ϕ_d maan sisäisen leikkauskestävyyskulman mitoitusarvo ($= \phi'_c$ tai ϕ'_p), °
- α korjauskertoimen, -

Korjauskertoimen α voidaan määrittää suoran liukumisen tarkastelua varten leikkauskokeilla ja ankkurikapasiteetin laskemista varten ulosvetokokeilla tai mitoituksessa voidaan käyttää geolujitteen valmistajan ilmoittamia α -arvoja. Taulukossa 3.1 on eri lähteissä esitettyjä ja TKK:lla tehtyjen kokeiden perusteella tarkennettuja α -arvoja

(Forsman & Slunga 1996). Mitoituksessa liukuvastusta ja ankkurikapasiteettia laskettaessa käytetään kuitenkin yleensä samaa α -arvoa.

Taulukko 3.1 Korjauskertoimen α arvoja. (Forsman & Slunga 1996)

Maalaji / Vahvistetyyppi	Savi Siltti	Hiekka	Luon- nonsora)	Murske)	Louhe	Kevytso- ra *)
Verkko	0,8	0,9	0,95	1,0	0,9	0,8
Kangas	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7

*) Verkon silmäkoon tulee olla sellainen, että $\#_{\min} \geq 1,5$ * täyttömateriaalin d_{50} .

Lujitteen ankkuroituessa kahden erilaisen maakerroksen välissä, esim. penkereen pohjalla savi- ja murskekerroksen välissä, käytetään ankkurikapasiteettia määritettäessä ko. maakerrosten mukaisia α -kertoimen arvoja, minkä lisäksi on otettava huomioon lujitteen siirtymä, jolla maan ja lujitteen välinen tartunta aktivoituu – saven ja lujitteen rajapinnalla vain osa maksimiankkurikapasiteetista on aktivoitunut siirtymällä, jolla murskeen ja lujitteen ankkurikapasiteetti on jo täysin kehittynyt.

Mikäli tutkimustietoa ei ole, voidaan geolujite/geolujite–rajapinnalle käyttää kitkakertoimen μ_{gg} arvoa 0,2 (DGGT 2011). Kahden lujitepinnan välisen leikkauskestävyyskulman arvoja on esitetty taulukossa 3.2. Seismisissä olosuhteissa käytettäviä dynaamisia leikkauskestävyyskulman arvoja on esittänyt mm. Castelli et al. (2001).

Taulukko 3.2 Geosynteettien välisiä kitkakulmia (Koerner 1994, Liu 2000, Environmental Protection Inc. 2003)

Rajapinta	Leikkauskestävyyskulma
geomembraani (kuvioitu) / Geotekstiili	20°
geomembraani (sileä) / Geotekstiili	7°
PVC-kalvo (kuvioitu) / Geotekstiili (kuitukan- gas)	20°
PVC-kalvo (kuvioitu) / Geotekstiili (kudottu)	11°
PVC-kalvo (sileä) / Geotekstiili (kuitukan- gas)	18°
PVC-kalvo (sileä) / Geotekstiili (kudottu)	10°
Geotekstiili / Geoverkko	15°

3.3 Ulkoiset kuormat

3.3.1 Huomioitavat kuormat

Suunnittelussa tarvittavat ulkoiset kuormat ja niiden yhdistäminen määritetään noudattaen standardeja:

- Eurokoodit SFS-EN 1990, SFS-EN 1991 ja SFS-EN 1997-1 sekä
- kansallisen liitteen (LVM) soveltamisohjeet ”*Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1*” ja ”*Geotekninen suunnittelu – NCCI 7*”

Kuormituksia määritettäessä on huomioitava mahdollisuuksien mukaan kaikki käytön aikana rakenteeseen kohdistuvat kuormat, joita voivat olla mm:

- liikenne
- rakenteen omapaino
- maan paino
- veden paine
- väsymiskuormitus
- rakenteista aiheutumat siirtymät
- rakennuspaikan maan epästabiiliudesta aiheutuvat siirtymät.

Kuormat erotetaan pysyviksi ja muuttuviksi kuormiksi sekä poikkeuksellisissa olosuhteissa vaikuttaviksi kuormiksi (onnettomuuskuormat).

Suunnittelussa käytettävät kuormien mitoitusarvot määritetään ominaisarvoista NCCI 7:n mukaisesti.

Rakennustöiden aiheuttama tärinästä muodostuva kuormitus huomioidaan julkaisujen

- RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät ja
- Liikenneviraston ohjeita nro/2012 Tien geotekninen suunnittelu mukaisesti.

Kuormat, jotka suunnittelussa on otettu huomioon, dokumentoidaan laskelmiin ja laskelmien liitteeksi tuleviin piirustuksiin selkeästi. Tarvittaessa kuormat esitetään myös suunnitelmapiirustuksissa.

Kuormat, jotka suunnittelussa on otettu huomioon, dokumentoidaan laskelmiin ja piirustuksiin selkeästi.

Suunnittelussa käytettävät kuormien mitoitusarvot määritetään ominaisarvoista NCCI 7:n mukaisesti.

3.3.2 Liikennekuorma penkereen päällä

Tämä käsikirja käsittelee ensisijaisesti tieliikennettä. Maantieliikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeissa ”*Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1*” ja ”*Geotekninen suunnittelu – NCCI 7*”.

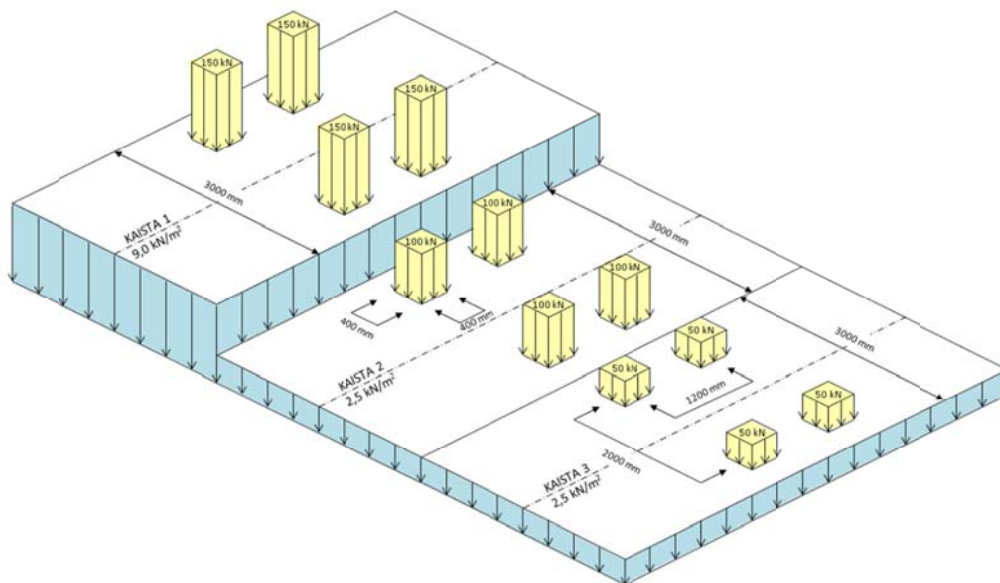
Mitoituksessa käytettävä liikennekuorma perustuu kuvassa 3.2 esitettyyn kuorma-kaavioon LM1, joka muodostuu kuormakaistoittain olevasta tasaisesta kuormasta ja telikuormasta. (Liikennevirasto 20011a)

Teiden pohjarakenteiden mitoituksessa voidaan kuormakaavion LM1 eri kuormakais-tojen telit käsitellä kuvan 3.3 mukaisesti tasaisena kuormana¹, jonka suuruus 1. kuormakaistalla on 84 kN/m², 2. kuormakaistalla 56 kN/m² ja 3. kuormakaistalla 28 kN/m². Tämä kuormayhdistelmä vaikuttaa yhtäaikaisesti koko tiepoikkileikkauksessa. Kuorman vaikutusalue on poikkisuunnassa kaistan levyinen (yleensä 3,0 m) ja pituus-suunnassa 2,4 m. Kuorman jakaantumistavaksi oletetaan 2:1 periaate. Kuormakais-tojen ollessa vierekkäin käsitellään kunkin kuormakaistan jakautuminen erikseen, ja näin saadut kuormien intensiteetit summataan tarkasteltavalla tasolla. (Liikennevirasto 2011b)

Mitoitusmenetelmien rajoitusten vuoksi on pohjarakenteiden mitoituksessa joskus tarpeen mallintaa penkereen päällä oleva kuorma jatkuvana yhtenäisenä kuormana. Tällöin voidaan Liikenneviraston kohteissa käyttää kuvan 3.4 mukaista kuormajakaumaa, jossa ajokaistoja kuormittaa jatkuva 81 kN/m² kuorma, ja jossa 1 m levyisellä piennaralueella vaikuttaa 9 kN/m² suuruinen kuorma.

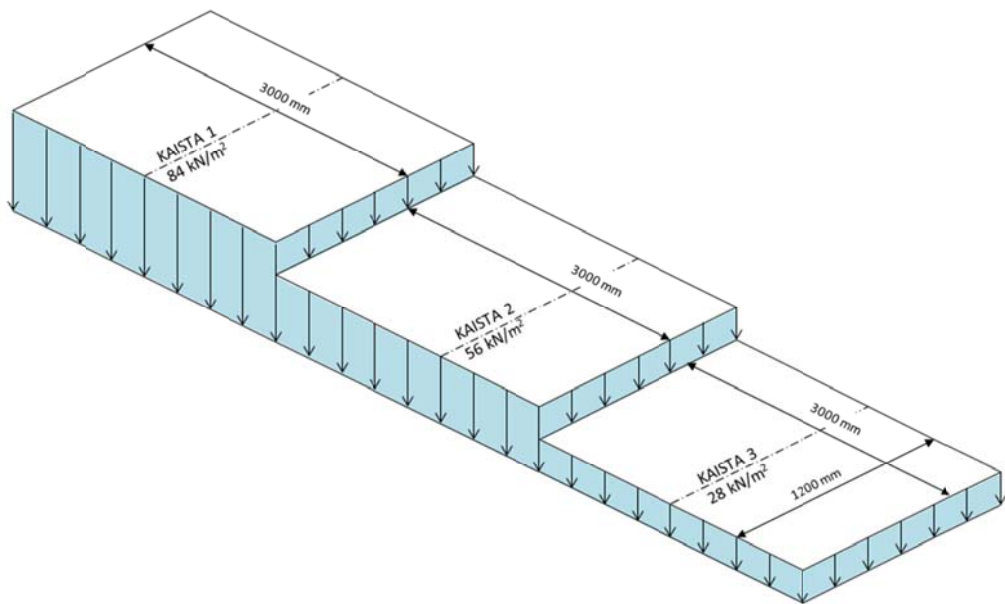
Mitoitettaessa muita kuin liikennekuormitettuja rakenteita, kuten esim. meluvällejä, jyrkkiä luiskia, tms., käytetään lujitetun rakenteen mitoituksessa esim. työkonekuormaa 10 kN/m² tai 20 kN/m² NCCI 7:n kohdassa 4.4.1 esitettyjen ohjeiden mukaisesti. (Liikennevirasto 2011b)

Pohjavahvistusten suunnittelussa laaja-alaisissa vakavuus- ja maapainetarkasteluisa muuttuvan kuorman ominaisarvona käytetään 10 kN/m². (Liikennevirasto 2011b)

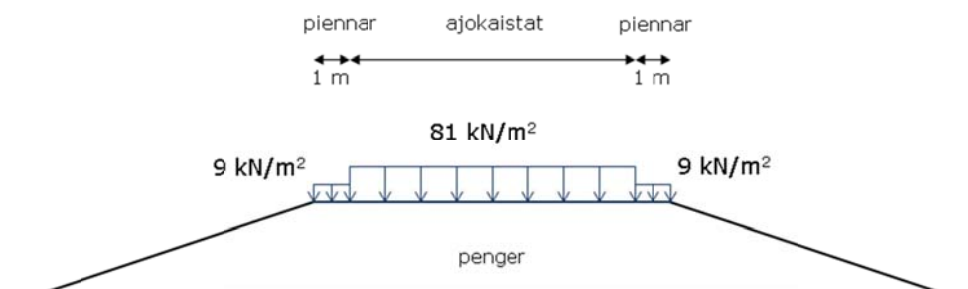


Kuva 3.2 Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” mukainen kuormakaavio LM1.

¹ Huom! Sovelletaan 3,5 m tai sitä pienemmillä kaistaleveyksillä.



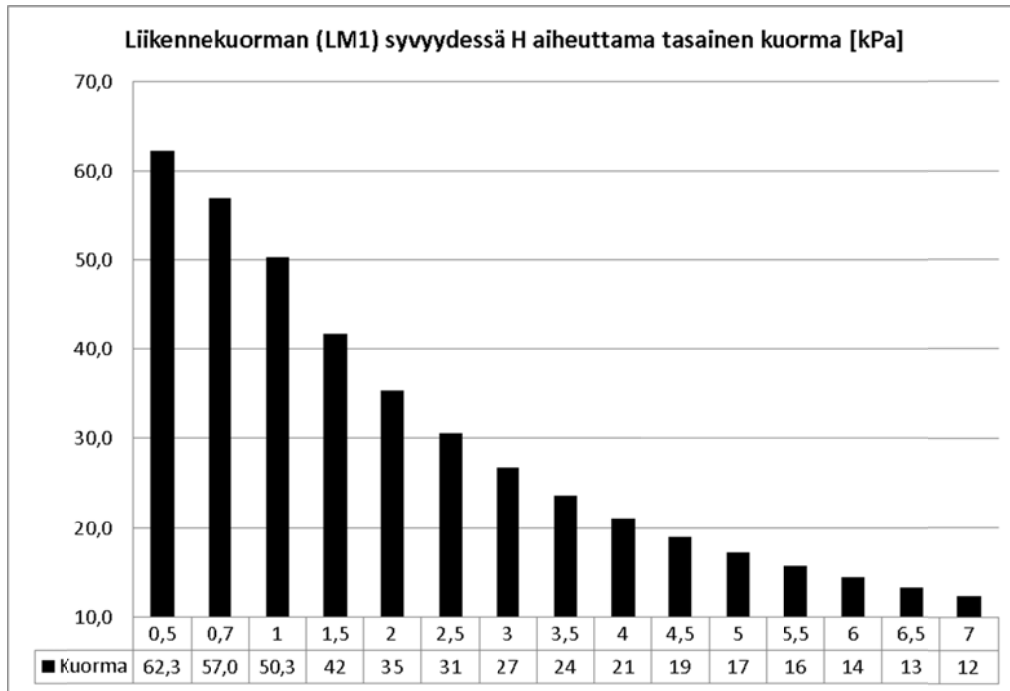
Kuva 3.3 Kuormakaavion LM1 soveltaminen tasaisena kuormana teiden pohjarakenteiden mitoituksessa Liikenneviraston soveltamisohjeen "Geotekninen suunnittelu – NCCI 7" mukaisesti.



Kuva 3.4 Liikennekuorman mallintaminen jatkuvana yhtenäisenä kuormana Liikenneviraston kohteissa, mikäli kuormakaavion LM1 käyttäminen kuvan 3.3 mukaisesti ei ole mahdollista käytettävässä mitoitusmenetelmässä tai -ohjelmassa.

3.3.3 Liikennekuorman aiheuttama tasainen kuorma penkereen sisällä

Tierakenteessa tietyllä syvyydellä vaikuttava liikennekuorman (LM1) aiheuttama tasainen kuorma määritetään kuvassa 3.5 esitetyn mitoituskuormanomogrammin mukaisesti. Ko. nomogrammi on tarkoitettu vain eräiden geolujitettujen rakenteiden mitoitukseen DA2* mitoistavalla. (Liikennevirasto 2011b)



Kuva 3.5 Liikennekuorman kuormakaavion LM1 syvyydessä H aiheuttama tasainen kuorma (Liikennevirasto 2011b, laajennettu 0,5...1 m pengerkorkeuksille). Tarkoitettu vain eräiden geolujitettujen rakenteiden mitoitukseen DA2* mitoitusavalla.

4 Geolujitetun rakenteen suunnittelu

4.1 Yleiset suunnitteluperiaatteet

Lujitemaarakenteen mitoitus perustuu lujitteen, täyttömaan ja pohjamaan lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin sekä rakennekomponenttien väliseen yhteistoimintaan. Mitoituksessa tarkastellaan lujitetun rakenteen ulkoista ja sisäistä stabiliteettia sekä muodonmuutoksia. Vakavuus- ja kantokykytarkasteluilla varmistetaan rakenteen koossa ja paikallaan pysyminen ja muodonmuutostarkasteluilla varmistetaan rakenteen toimintakelpoisuus käyttötilassa sekä saadaan käsitys erilaisten rakenneosien yhteistoiminnasta. Näiden ehtojen täyttämiseksi lujitteella tulee olla riittävät ja koko mitoitusiän säilyvät lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet. Lisäksi lujitteen ja maan välillä on oltava hyvä tartunta.

Mitoituksessa on lisäksi otettava huomioon rakentamisen aikaiset tilanteet, jolloin rakenteen kuormitusolosuhteet ja geometria voivat poiketa merkittävästi valmiista rakenteesta, ja jotka on huomioitava suunnitelmaa ja työohjelmaa laadittaessa.

Rakenteen käyttötilaa koskevat suunnittelukriteerit ovat samat kuin vastaavilla lujittamattomilla rakenteilla ellei geolujitteen ja maan yhteistoiminnan takia ole sallittuja muodonmuutoksia rajoitettava. Erityisesti geolujitteeseen liittyviä tarkasteluja ovat:

- mitoituslujuuden määrittäminen,
- lyhyt- ja pitkäaikaiset muodonmuutokset,
- saumojen ja reikien vaikutus lujitteen lujuuteen sekä
- ympäristövaikutukset.

Lujitetun rakenteen suunnitteluratkaisuissa on rajoitettava tai ehkäistävä ympäristölle haitallisia vaikutuksia, kuten:

- rakentamisen aiheuttama maaperän tai viereisten rakenteiden liikkuminen
- pohjaveden virtauksen muutokset, joita ei voida hyväksyä (SFS-EN 14475:2006).

Liikenneviraston kohteissa geolujitetun rakenteen suunnittelu tehdään eurokoodin mukaisesti NCCI 7:n ohjeita noudattaen. Geolujitettuja rakenteita tarkastellaan rakenteellisina osina eli niitä ei käsitellä vahvistettuna maana. Tässä julkaisussa tarkastelu on rajoitettu pohjarakenteisiin tai niiden tyyppisiin ratkaisuihin eli tarkastelu ei sisällä päällysrakenteen mitoitusta ml. routavaurioiden ja epätasaisen kantavuuden tai muodonmuutosten vähentämiseen käytettäviä geolujitteita, jotka mitoitetaan yleensä käyttörajatilassa.

Geolujitetun rakenteen:

- geotekninen luokka on yleensä GL2
- seuraamusluokka on yleensä CC2 ($K_{FI} = 1,0$)

Vaativissa suunnittelutehtävissä lujiterakenteiden mitoitukseen voidaan käyttää myös elementti- tai differenssimenetelmään perustuvia numeerisia laskentaohjelmia (esim. PLAXIS), joissa sekä lujitteissa vaikuttavat voimat että rakenteen siirtymätila saadaan huomioon otetuiksi. Vaativissa kohteissa laskelmat tulisi tehdä sekä ns. klassisin että numeerisin menetelmin.

4.2 Mitoitus murtorajatilassa STR/GEO

Geolujitettujen rakenteiden mitoitus perustuu murtorajatilamitoitukseen (STR/GEO). Mitoitustapoina murtorajatilassa käytetään DA2* ja DA3. Mitoitustapaa DA2* käytetään muissa kuin suoraan vakavuuteen liittyvissä tarkasteluissa. Mitoitustapaa DA3 käytetään vakavuuteen liittyvissä tarkasteluissa (luiskien ja penkereiden kokonaisvakavuus).

Murtorajatilassa osoitetaan, että kuormien vaikutusten mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin kestävyuden mitoitusarvo $E_d \leq R_d$. Tarkastelussa tarkistetaan lujitetun rakenteen ulkoinen ja sisäinen stabiileetti.

Mitoitustavassa DA2* kestävyyttä laskettaessa käytetään maaparametrien ominaisarvoja ja näin saatu kestävyuden ominaisarvo jaetaan osavarmuusluvulla. Kestävyuden osavarmuusluvut on esitetty NCCI 7:n taulukossa A.13(F). Kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään NCCI 7:n taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Geolujitetun rakenteen mitoituksessa mitoitustavalla DA2* käytettävät kuormitusyhtälöt ovat yhtälöiden 4.1 ja 4.2 mukaiset.

NCCI 7, (yhtälö 6.10a):

$$E_d = K_{FI} \cdot \gamma_{G,sup} \cdot G_{kj,sup} + \gamma_{G,inf} \cdot G_{kj,inf} + K_{FI}^{(1)} \gamma_P P \quad (4.1)$$

⁽¹⁾ $K_{FI} = 1$, mikäli kuorma P on edullinen

NCCI 7, (yhtälö 6.10b):

$$E_d = K_{FI} \cdot \gamma_{G,sup} \cdot G_{kj,sup} + \gamma_{G,inf} \cdot G_{kj,inf} + K_{FI}^{(1)} \gamma_P P + K_{FI} \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}) \quad (4.2)$$

⁽¹⁾ $K_{FI} = 1$, mikäli kuorma P on edullinen

missä

E_d	on	kuormien vaikutusten mitoitusarvo, kN
K_{FI}		kuormakerroin, -
$\gamma_{G,sup}$		pysyvän epäedullisen kuorman osavarmuusluku, -
$G_{kj,sup}$		pysyvän epäedullisen kuorman j ominaisarvo, kN
$\gamma_{G,inf}$		pysyvän edullisen kuorman osavarmuusluku, -
$G_{kj,inf}$		pysyvän edullisen kuorman j ominaisarvo, kN
γ_P		ankkuroinnin esijännityksen osavarmuusluku (epäedullisen tai edullisen kuorman mukaisesti), -
P		ankkuroinnin esijännityksen ominaisarvo, kN
$\gamma_{Q,1}$		määräävän muuttuvan kuorman osavarmuusluku (mikäli kuorma on edullinen, $\gamma_{Q,1} = 0$), -
$Q_{k,1}$		määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo, kN
$\gamma_{Q,i}$		muun samanaikaisen muuttuvan kuorman i osavarmuusluku (mikäli kuorma on edullinen, $\gamma_{Q,i} = 0$), -
$\psi_{0,i}$		muuttuvan kuorman yhdistelykerroin (NCCI 1: taulukot G1...G3), -
$Q_{k,i}$		muun samanaikaisen muuttuvan kuorman i ominaisarvo, kN

Joidenkin geolujitettujen rakenteiden mitoituksessa on tarkasteluja, joissa edellä mainittuja yhtälöitä 4.1 ja 4.2 ei sovelleta sellaisenaan, vaan niissä osavarmuuskerrotoimia saatetaan käyttää ko. yhtälöissä esitetystä poiketen. Nämä erityistapaukset on esitetty erilaisten geolujitettujen rakenteiden mitoitusohjeiden yhteydessä myöhemmin tässä käsikirjassa.

Mitoitustavassa DA3 osavarmuusluvut kohdistetaan heti laskennan alussa muuttuviin kuormiin ja maaparametreihin. Osavarmuuslukuina käytetään kuormien osalta NCCI 7:n taulukon A.3b(FI) arvoja ja maaparametrien osalta NCCI 7:n taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja.

Geolujitetun rakenteen mitoituksessa mitoitustavalla DA3 käytettävä kuormitusyhtälö on yhtälön 4.3 mukainen.

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + 1,0 \cdot P + K_{FI} \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}) \quad (4.3)$$

Yhtälöissä (4.1), (4.2) ja (4.3) esitetty esijännitys koskee vain rakenteen sisäisen jännitystilän muuttamista jännittämällä, mutta ei rakenteen ulkopuolisia ankkurointeja.

4.3 Mitoitus käyttörajatilassa SLS

Käyttörajatilassa tarkastellaan mm. pohjamaan painuma ja siitä aiheutuva rasitus lujitteelle. Käyttörajatilassa määritetään siirtymien maksimiarvot, joiden tulee täyttää ympäristön ja tuettavan rakenteen siirtymäraja-arvot. Lisäksi tarkistetaan lujitteen ja maan yhteistoiminta.

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Tierakenteiden siirtymien raja-arvoja on käsitelty Liikenneviraston julkaisuissa.

Synteettisten geolujitteiden venymille on esitetty seuraavia maksimiarvoja (BS 8006-1:2010, Aalto et al. 1998):

- Jyrkkään luiskaan sijoitetun lujitteen kokonaisvenymä on $\leq 5\%$, josta viruman osuus $\leq 1\%$.
- Tukimuurirakenteissa tapauskohtaisesti määritetty rakennusajan jälkeen sallittu venymä on $0,5 \dots 1,0\%$.
 - Tukimuurit, joita kuormittaa pysyvä rakenteellinen kuorma $\leq 0,5\%$
 - Tukimuurit, joita kuormittaa ainoastaan muuttuva kuorma $\leq 1,0\%$
- Paalutetulle penkereelle sallittu synteettisen lujitteen kokonaisvenymä tulee normaaleilla penkereillä rajoittaa $\leq 6\%$ ja matalilla [$H < 0,7 (s - a)$] penkereillä $\leq 3\%$, josta viruman osuuden tulee olla alle 2% . Matalilla penkereillä lujitteen muodonmuutos heijastuisi helposti tien pintaan, mikäli lujite venyisi tai viruisi liikaa.
- Pehmeiköllä olevassa penkereessä voidaan synteettiselle lujitteelle sallia tapauksesta ja lujitetun rakenteen käyttötarkoituksesta riippuen jopa $5 \dots 10\%$ pitkäaikainen kokonaisvenymä (BS:8006 1995). Lyhytaikainen kokonaisvenymä on enintään 5% .

Lujitteiden venymiä tarkasteltaessa on aina otettava huomioon koko rakenteen tai rakenteen osien toimivuus ja ulkonäkö myös pitkän ajan kuluessa, jolloin yllä esitettyjä lujitteen venymäarvoja on tarvittaessa pienennettävä.

4.4 Geolujitettujen rakenteiden stabiliteettimitoitus

4.4.1 Mitoittavan lujitevoiman määrittäminen, liukupinta-analyysi

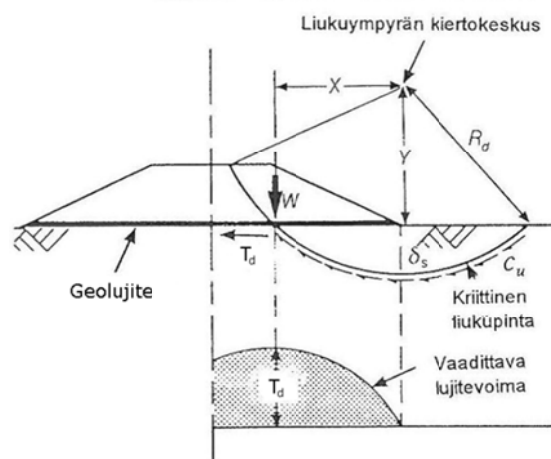
Lujitteelta vaadittavan kokonaisvoiman vaihtelu penkereessä voidaan esittää kuvan 4.1 mukaisesti. Varmuusluvun minimiarvo valitaan kuten lujittamattoman rakenteen tapauksessa.

Varmuus liukupintasortumaa vastaan lasketaan sekä Eurokoodin mukaisesti DA3-mitoitustapaa käyttäen että kokonaisvarmuuslukumenetelmällä RIL 121-2004 ”Pohjarakennusohjeet” mukaisesti. Lujitteen ankkurointipituuden riittävyys on myös tarkistettava.

Eurokoodin mukaista DA3-mitoitustapaa käytettäessä $F \geq 1$. Mitoitustavassa DA3 osavarmuusluvut kohdistetaan heti laskennan alussa muuttuviin kuormiin ja maaparametreihin. Osavarmuuslukuina käytetään kuormien osalta NCCI 7:n taulukon A.3b(FI) arvoja ja maaparametrien osalta NCCI 7:n taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja.

Kokonaisvarmuuslukumenetelmässä käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Geolujitetuilla penkereillä, tukimuurirakenteilla ja luiskilla kokonaisvarmuuden tulisi olla vähintään $F = 1,5$ tai $F = 1,8$, rakenteesta ja mahdollisen sortuman aiheuttamista vaurioista riippuen. Tukimuurirakenteilla ja geolujitetuilla luiskilla vaadittuun kokonaisvarmuuteen vaikuttaa lisäksi julkisivun rakenne (mm. jäykkyys, vaurioherkkyyks, yms.).

Lujittamattoman penkereen ominaisarvoilla lasketun kokonaisvarmuusluvun tulee olla $F \geq 1,0 \dots 1,1$, ennen kuin geolujitteiden käyttö on mielekästä. (Aalto et al. 1998)



Kuva 4.1 Vaadittavan lujitevoiman laskeminen liukupinta-analyysillä. (Exxon Chemical 1992)

Laskennan kulku

Liukupinta-analyysissä tarkastellaan tavallisesti rakenteen vakavuutta lamelleittain laskettujen passiivi- ja aktiivimomenttien suhteena. Geolujitteen vaikutus otetaan

huomioon passiivimomentin lisäyksenä, jolloin lujitetun penkereen varmuusluku sortumista vastaan saadaan yhtälöllä 4.4. (Aalto et al. 1998)

$$F = \frac{M_p + \Delta M_p}{M_a} \quad (4.4)$$

missä

F	on	varmuusluku sortumista vastaan, -
M_p		kaatumista estävä passiivimomentti, kNm/m
ΔM_p		lujitteen aiheuttama passiivimomentin lisäys, kNm/m
M_a		kaatava momentti, kNm/m

Kokonaisstabiliteettitarkastelussa määritetään aluksi vaarallisinta liukupintaa vastaava kantavan momentin arvo ja kaatumista estävän momentin arvo penkereen pohjan pisteissä yhtälöillä 4.5 ja 4.6 (kuva 4.1). Yhtälöön 4.5 on lisättävä leikkausvastuksen momentti matkalta, jonka liukupinta kulkee penkereessä, ellei pengertä otaksuta halkeilleeksi. (Aalto et al. 1998)

$$M_p = \sum \frac{c_u}{\gamma_{cu}} \Delta l R \quad (4.5)$$

$$M_a = W X_1 + \gamma_Q q X_2 \quad (4.6)$$

missä

c_u	on	pohjamaan suljettu leikkauslujuus (ominaisarvo), kN/m ²
γ_{cu}		suljetun leikkauslujuuden osavarmuusluku (DA3), -
Δl		liukupinnan pituus maakerroksessa, m
R		liukupinnan säde, m
W		pengerosan paino, kN/m
X_1		pengerosan painopisteen ja liukupinnan kiertoakeskuksen vaakasuora etäisyys, m
γ_Q		muuttuvan kuorman osavarmuusluku (DA3), -
q		muuttuva kuorma penkereen päällä, kN/m
X_2		muuttuvan kuorman kuormaosan painopisteen ja liukupinnan kiertoakeskuksen vaakasuora etäisyys, m

Pengertä ei tarvitse otaksua halkeilleeksi, jos lujite on riittävän jäykkä estämään penkereen suuren muodonmuutoksen. Tällöin lujitteen sallittu kokonaisvenymä ilmassa tehtyjen standardilaboratoriokokeiden perusteella määriteltynä tulee rajoittaa kitka- maapenkereiden yhteydessä ≤ 5 %:iin ja koheesiomaapenkereiden yhteydessä $\leq 2...3$ %:iin. (Aalto et al. 1998)

Sortumista vastustava lisämomentti on laskettava lujitteen eri kohdissa, jotta tavoitellun varmuusluvun F edellyttämä suurin lujitevoima T_d saadaan määritettyä yhtälöstä 4.7. (Aalto et al. 1998)

$$\Delta M_p = F M_a - M_p = T_d Y \quad (4.7)$$

missä

F	on	tavoiteltu kokonaisvarmuusluku sortumista vastaan, -
T_d		lujitteelta vaadittava kokonaisvoima, kN/m
Y		lujitteen ja liukupinnan kiertoakeskuksen pystysuora etäisyys, m

4.4.2 Liukupintaohjelmien käyttäminen lujitetun rakenteen mitoitukseen

Liukupintaohjelmat perustuvat yleensä lamellimenetelmään. Tällöin geometria ja lujuudet muunnetaan voimavektoreiksi, joille ratkaistaan momentti- tai voimatasapaino riippuen laskentamenetelmästä. Tästä johtuen lujitteetkin ovat tietyllä tasolla tiettyyn pengertä tukevaan suuntaan vaikuttavia voimia. Lujitteet aiheuttavat laskentaan suuria vaakavoimia, joten käytettävän menetelmän tulee toteuttaa voimatasapaino. GeoCalc-ohjelmassa voimatasapainon toteuttavia menetelmiä ovat Janbu Simplified, Morgenstern-Price ja GLE (Mansikkamäki 2011).

Lujitetta kuvaavan voiman suuruus voidaan edistyneemmissä laskentaohjelmissa, käytettävästä ohjelmasta riippuen, syöttää ohjelmaan eri tavoin tai sen suuruus voidaan ratkaista laskijan antamien lähtötietojen perusteella.

Esimerkkinä tässä on käytetty GeoCalc-laskentaohjelmaa, jossa lujitevaikutus voidaan laskea kolmella tavalla:

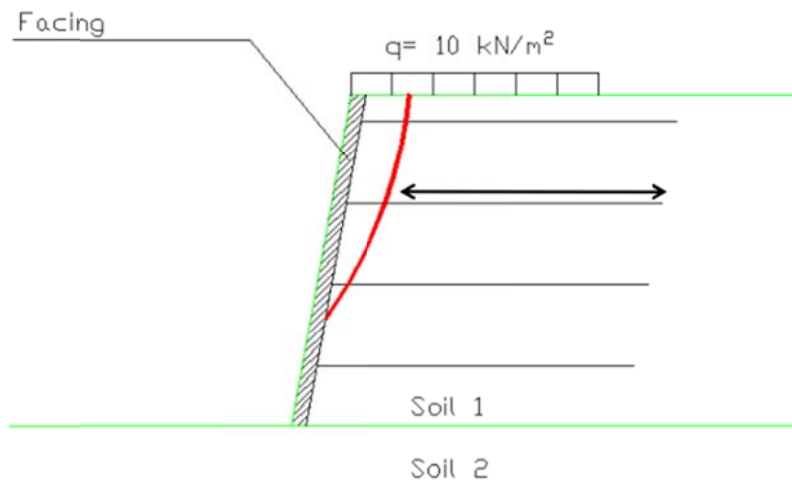
1. *Structural capacity*: Lujitteen vetolujuus lujitemetriä kohti. Laskenta käyttää suoraan tätä arvoa, kun liukupinta kulkee lujitteen läpi.
2. *Pullout capacity*: Ohjelma laskee lähtötietojen perusteella lujitteen ulosvetokapasiteetin. Laskentaa varten määritellään lujitteen ja maan välinen leikkauskestävyys α -kertoimilla.
3. *Bond capacity*: *Kenttäkokeilla todettu lujitteen tartuntalujuus. Laskennassa käytetään lujitteen tehokasta pituutta (tämä on tarkoitettu lähinnä maan-naulauksen mitoitukseen).*

Aluksi tarkastellaan lujitteen/lujitteiden vetolujuus (structural capacity). Lujitteen/lujitteiden lujuutta muutetaan, kunnes löydetään lujitevoima/tukireaktio, jolla saadaan haluttu varmuustaso.

Seuraavaksi selvitetään, voidaanko ko. tukireaktio saavuttaa lujitteen/lujitteiden avulla (mm. onko riittävä lujitepituus mahdollinen määritetyn lujitevoiman ankkuroimiseksi), jolloin valitaan laskentatavaksi lujitteen ulosvetokapasiteetti (pullout capacity) ja syötetään maan ja lujitteen välisen leikkauskestävyyden korjauskertoimet (α -kertoimet). Laskentaa verrataan edelliseen laskentaan (structural capacity). Jos kokonaisvarmuus pysyy samana tai paranee, maasta mobilisoituu riittävästi lujuutta lujitteelle tarvittavan tukireaktion saavuttamiseksi. Mikäli varmuus pienenee, ei lujitteen ja maan välinen lujuus ole riittävä lujitteeseen kohdistuvan kuorman mobilisoimiseksi.

Varsinkaan luiskan mitoituksessa vaarallisimmat liukupinnat eivät yleensä ole ympyrän muotoisia, joten mitoituksessa tulee käyttää vapaamuotoisia liukupintoja.

GeoCalc-ohjelmassa "Facing"-valinnalla estetään liukupintoja leikkaamasta pintarakennetta (kuva 4.2). Jos "Facing" on laskennassa aktivoituna, tulee varmistua myös siitä että pintarakenne on mitoitettu siten, että se kestää sille välittyvät kuormat.



Kuva 4.2 GeoCalc-ohjelmassa "Facing"-valinta estää liukupintoja leikkaamasta pinta-arakennetta (Mansikkamäki 2011)

4.5 Geolujitteen valinta

Tärkeimmät geolujitteen valintaan vaikuttavat lujitteen ominaisuudet ovat:

- lujuus-muodonmuutoskäyttäytyminen ajan funktiona,
- kitkaominaisuudet,
- lujitteen jäykkyys,
- materiaalin ominaisuuksien pysyvyys ja
- mekaaninen kestävyys.

Rakenteisiin, joissa ei sallita suuria muodonmuutoksia, valitaan lujite, jolla on pieni venymä tai lujitteeseen mobilisoituva voima suunnitellaan niin, että lujitteen venymä vastaa rakenteelle asetettavaa toiminnallista vaatimusta.

Lujitteen ja maan välisen tartuntalujuuden tulee olla riittävä, jotta lujitteen lujittava voima voi siirtyä maahan. Tartuntalujuuteen vaikuttavia asioita ovat maan ja lujitteen välinen kitka sekä maarakkeiden tunkeutuminen lujiteverkkojen aukkoihin (kuva 2.5). Lujiteverkon silmäkoko valitaan täyttömateriaalin raekoon perusteella siten, että saavutetaan mahdollisimman hyvä vuorovaikutus (lukkiutuminen) verkon ja maan välillä.

Synteettisen lujitteen lujuus saattaa alentua merkittävästi erittäin happamassa tai emäksisessä maassa, kuten esimerkiksi eräissä turvemaalajeissa sekä kosketuksessa betoniin tai kalkkipitoiseen maahan. Tämä tulee ottaa huomioon lujitetun rakenteen suunnittelussa mm. syvästabiloidun pohjamaan tapauksessa sekä eräitä sivutuotteita käytettäessä. Lujitteen lujuus tulee määrittää polymeerin raaka-aineen ominaisuuksien perusteella ko. käyttöolosuhteissa. Teräslujitetta valitessa on aina otettava huomioon teräksen korroosioriski.

Mikäli synteettisen lujitteen käyttölämpötila on huomattavasti suurempi kuin testauslämpötila, tulee lujitetta valittaessa ottaa huomioon, että lämpötilan nousu vähentää synteettisen lujitteen vetolujuutta ja nopeuttaa virumista. (Aalto et al. 1998)

4.6 Täyttömateriaalin valinta

Täyttömateriaalin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat:

- suunniteltava rakenne,
- lujitetyyppi ja
- lujitteen toimintatapa.

Lujitetulla alueella käytettävä täyttömateriaali tulee valita siten, että se täyttää suunnitelmassa ja projektiokohtaisissa laatu- ja materiaalivaatimuksissa esitetyt vaatimukset. Lujitetun rakenteen täyttömateriaalin sopivuus riippuu monista tekijöistä, jotka tulee ottaa huomioon materiaalia valittaessa:

- täyttömaan työstettävyys,
- rakenteen toiminta ja ympäristö sekä pitkäaikaiskäyttäytyminen,
- täyttömaakerroksen paksuus ja enimmäispartikkelikoko,
- pinnoitustekniikka,
- kasvillisuus,
- kuivatusominaisuudet,
- täyttömaan aggressiivisuus,
- täyttömaan ja lujitteen yhteistoiminta,
- täyttömaan sisäinen kitka ja koheesio sekä
- routivuus. (SFS-EN 14475:2006)

Täyttömateriaalin työstettävyys tulee olla sellainen, että sille pystytään rakentamisessa ja tiivistämisessä tuottamaan suunnittelun edellyttämät ominaisuudet. Täyttömaan valinnassa tulee ottaa huomioon ilmasto-olosuhteet, tiivistyslaite sekä paikalliset käytännöt ja kokemukset. (SFS-EN 14475:2006)

Tietyillä rakenteilla esim. sillan maatuet, rautatiekiskoja ja rakennuksia tukevat seinämät, korkeat maatikurakenteet jne. rakentamisen jälkeinen painumattomuus / painuman vähäisyys on erittäin tärkeää. Näissä tapauksissa tulee valita täyttömaamateriaali, jonka tiivistäminen on helppoa ja jonka myöhempi kokoonpuristuminen on vähäistä. (SFS-EN 14475:2006)

Lujitetuissa rakenteissa käytetään ensisijaisesti hyvälaatuisia kitkamaita. Käytettäessä heikompileatuisia koheesiomaita tai välimaalajeja, tms., on mitoitus tehtävä erityisellä huolellisuudella ja varovaisuudella. Tiivisrakenteisen, hyvät kitkaominaisuudet omaavan maan lujittamiseen vaaditaan vähemmän lujitetta kuin esimerkiksi savitönten lujittamiseen. (Aalto et al. 1998)

Enimmäispartikkelikoon tulee mahdollistaa hyväksyttävän tasaisen pinnan muodostuminen ja sen tulee olla yhteensopiva tiivistetyn kerroksen paksuuden kanssa. Enimmäispartikkelikoko voi myös olla lujitekerrosten välimatkan funktio ja tarvittaessa pinnoitusosien koon funktio. (SFS-EN 14475:2006)

Täyttömateriaalin raekoko vaikuttaa lujitteen ja maan väliseen tartuntaan. Paras tartunta saavutetaan, kun maan keskimääräinen raekoko $d_{50} = 0,25 \dots 0,66 \times \#$ ($\#$ =verkon silmäkoko). Tällöin maan ja verkon välinen leikkauskestävyyskulma on likimäärin maan sisäisen leikkauskestävyyskulman suuruinen. Maan raekoon kasvaessa maaraakeet eivät läpäise verkon aukkoja ja leikkausvastus pienenee. Myös hienorakeiset maalajit liukuvat pitkin verkon pintaa. Käytettävän kitkamaan raekoon ja verkon silmäkoon välillä tulisi vallita seuraava yhteys: $\# \geq 1,5 \times d_{50}$. (Aalto et al. 1998) Teräs-

verkkojen ulosvetokokeissa on havaittu erittäin hyvä ankkuroituminen myös edellä esitettyä suhdetta hienorakeisemmalla murskeella $\# \approx 10 \dots 40 \times d_{50}$ ($d_{50} = 0,025 \dots 0,1 \times \#$) vastuksen hieman pienentyessä murskeen ja verkon aukkokoon suhteen kasvaessa (Luomala 2005). Teräsverkoilla on havaittu ankkuroitumisen alenevan optimaalisesta, kun $\# \geq 10 \times d_{50}$ ($d_{50} \leq 0,1 \times \#$) (Debon 2000).

Täyttömateriaalia valittaessa tulee ottaa huomioon myös geolujitteen vaurioitumisherkyys asennuksen yhteydessä. Vaurioitumisherkyys kasvaa maan raekoon kasvaessa ja on yleensä suurempi lujitekankailla kuin verkoilla. Vaurioitumisriski on myös terävasärmäisellä kiviaineksella (murske) suurempi kuin pyörityneellä. Lujitteen rikoutumista voidaan estää asentamalla lujitetta vasten kerros pyörityneistä rakeista koostuvaa materiaalia, mikä toisaalta saattaa pienentää lujitteen ja täyteen välistä tartuntaa.

Täyttömaamateriaalien sähkökemiallinen, kemiallinen ja biologinen aggressiivisuus tulee ottaa tapauskohtaisesti huomioon ja varmistaa, että näillä ominaisuuksilla ei ole haitallista vaikutusta lujitteen toimintaan. Valitun täyttömaan sähkökemiallinen, kemiallinen ja biologinen soveltuvuus lujitteen kannalta tulee arvioida aiemman merkityksellisen kokemuksen perusteella, esim. maa-aineksen ominaisuuksien ja lujitteen pitkäaikaisen lujuuden menettämisen välillä todetun korrelaation perusteella. (SFS-EN 14475:2006)

Heikkolaatuisia täyttömaita, kuten orgaanisia maa-aineksiä, liukoisia materiaaleja ja voimakkaasti turpoavia materiaaleja, ei saa käyttää pakkasolosuhteissa. Mikäli käytetään routivia materiaaleja, on niiden routivuus otettava suunnittelussa erityisesti huomioon tai käytettävä eristyskerrosta. (SFS-EN 14475:2006)

Jos pinnoitukseen suunnitellaan kasvipeitettä (viherpintaa), rakenteen pinnan lähelle sijoitetun täyttömateriaalin tulee täyttää määritellyt kasvipeitettä koskevat vaatimukset (SFS-EN 14475:2006).

Jos rakenne altistuu tulville ja niitä seuraavalle nopealle veden laskemiselle, tulee tarkistaa, että täytön kuivatusominaisuudet ovat yhteensopivat suunnitteluoletusten kanssa. Hajoavia täyttömaamateriaaleja ja hauraita maa-aineksiä ei saa käyttää, ellei niiden käyttöä ole kelpuutettu erityisillä tutkimuksilla. (SFS-EN 14475:2006)

4.7 Lujitteen ja maan yhteistoiminta

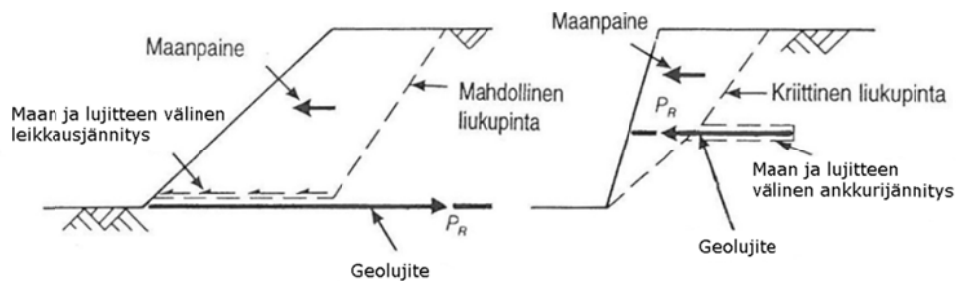
Lujite voi toimia kunnolla vain silloin, kun siinä vaikuttavat voimat voivat siirtyä maahan ja päinvastoin. Voimien siirtyminen perustuu lujitteen ja maan väliseen tartuntaan. Riittävä tartunta voidaan saavuttaa joko yksinomaan maan ja lujitteen välisen kitkan avulla tai ns. lukkiutumismekanismeilla. Lukkiutumismekanismi syntyy, kun kiviainesta tiivistetään lujiteverkon päällä ja kiviainesrakeet tunkeutuvat osittain verkon aukkojen läpi ja osittain kiilautuvat aukkoihin.

Lujitetun maan tiiviysasteella on olennainen merkitys maan ja lujitteen väliseen tartuntaan. Tiiviysasteen tulee olla niin korkea, että maan tilavuus pyrkii laajenemaan (dilataatio) leikkausjännityksen vaikutuksesta. Kuvassa 4.3 on esitetty kaksi maan ja lujitteen välisen yhteistoiminnan mekanismia, jotka tulee ottaa huomioon lujitetun maarakenteen suunnittelussa. Maan ja lujitteen välisen tartunnan tulee olla niin hyvä, että maablokin liukuminen pitkin maan ja lujitteen rajapintaa estyy (liukumismeka-

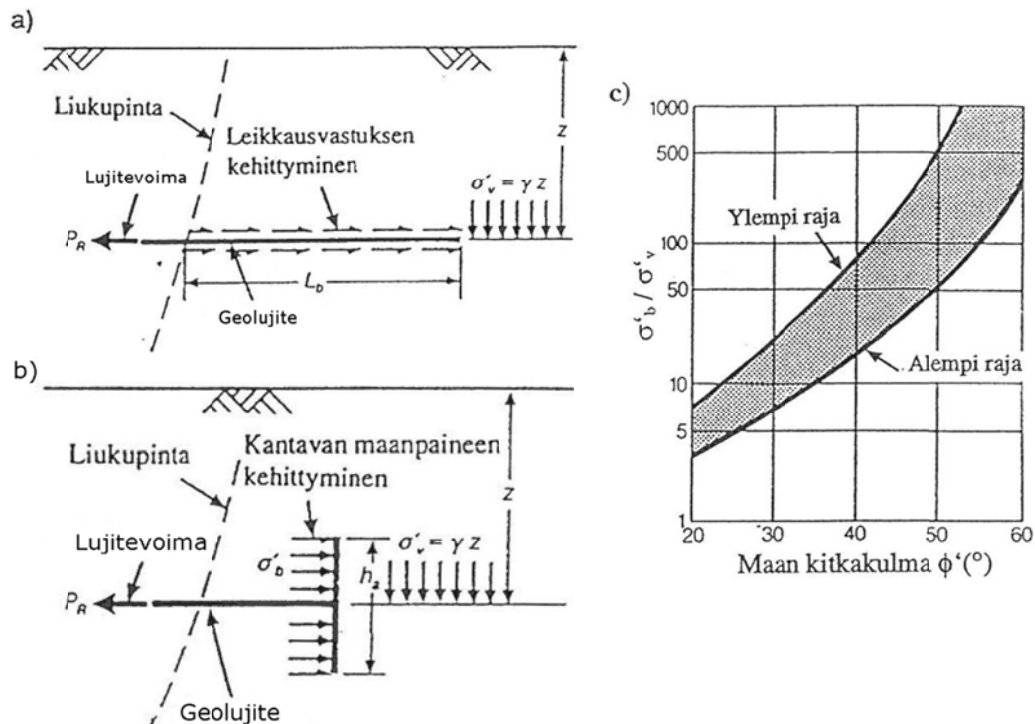
nismi). Lisäksi lujitteen tulee olla riittävän pitkä lujitteeseen syntyvän vetovoiman ankkuroimiseksi (ankkuroitumismekanismi). (Forsman & Slunga 1996)

Maan ja lujitteen välisiä ankkuroitumismekanismeja on kaksi: kitka ja tehokas, kantava maanpaine σ'_b . Kitka vaikuttaa lujitteen pinnalla pinnan suuntaisesti (kuva 4.4a), kun taas kantava maanpaine vaikuttaa lujitevoiman suuntaan nähden poikittaisia lujite-elementtejä vastaan (kuva 4.4b). Kuvan 4.4b mukainen mitoitus tehdään vain silloin, kun lujitteen reunassa/päässä on ns. "ankkuri". Kuvassa 4.4c on esitetty kantavan maanpaineen suhde vertikaalijännitykseen (ylä- ja alaraja) maan tehokkaan leikkauskestävyyskulman funktiona. (Forsman & Slunga 1996)

Lujitekankaita ja -verkkoja käytettäessä täyttö-/pengermateriaalin ja lujitteen välistä ankkuroitumista voidaan tehostaa kääntämällä ankkuroiva osuus pengerrakenteen sisään.



Kuva 4.3 Maan ja lujitteen välisen yhteistoiminnan mekanismit. a) Liukumismekanismi ja b) Ankkuroitumismekanismi. (Aalto et al. 1998)



Kuva 4.4 Maan ja lujitteen välisen ankkuroitumisen mekanismit, a) Kitkan vaikutuksesta aiheutuva leikkausvastus. b) Kantavan maanpaineen kehittyminen. c) Kantavan maanpaineen suhde vertikaalijännitykseen (ylä- ja alaraja) maan tehokkaan leikkauskestävyyskulman funktiona. (Aalto et al. 1998)

4.8 Kuivatus

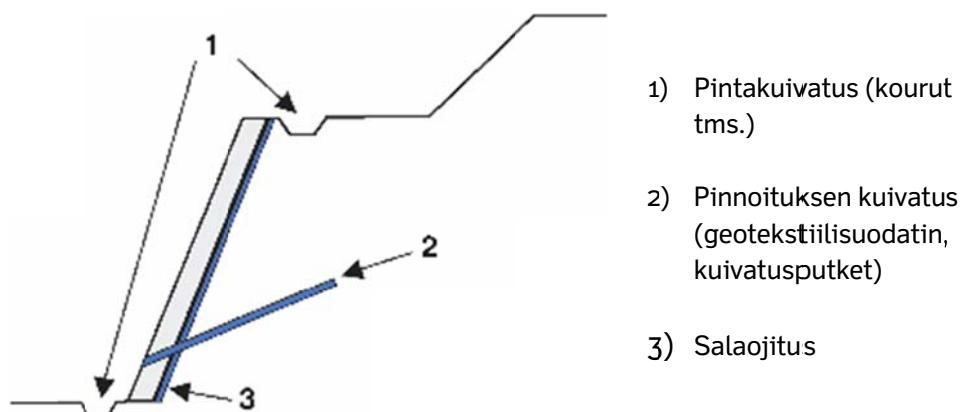
Geolujitetuilla tukimuuri- ja luiskarakenteilla on kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteen kuivattamiseen. Erityisesti ko. rakenteilla liiallinen veden pääsy rakenteeseen voi aiheuttaa merkittävää lujuuden alenemista ja vaurioitumisriskiä.

Rakenne voi kostua joko rakenteen pintakerroksen läpäisemästä sadevedestä tai rakenteen alapuolelta rakenteeseen nousevasta pohjavedestä (BS 8006-1:2010). Jos rakenteen perustus ei ole itsestään kuivuva, tulee lujitetun tukimuuri- tai luiskarakenteen alle rakentaa riittävän paksu kuivatuskerros ja tarvittaessa salaojaputki keräämään vettä ja kuljettamaan se rakennuspaikan kuivatusjärjestelmään. Mahdollisten pinnoitusten tulee päästää vesi lävitseen tähän kuivatusputkeen, mikäli se on sijoitettu pinnoituksen eteen. (SFS-EN 14475:2006) Tukimuurin ja luiskan mahdollisten kuivatusrakenteiden periaatteita on esitetty kuvassa 4.5 (Nordic Geosynthetic Group 2005).

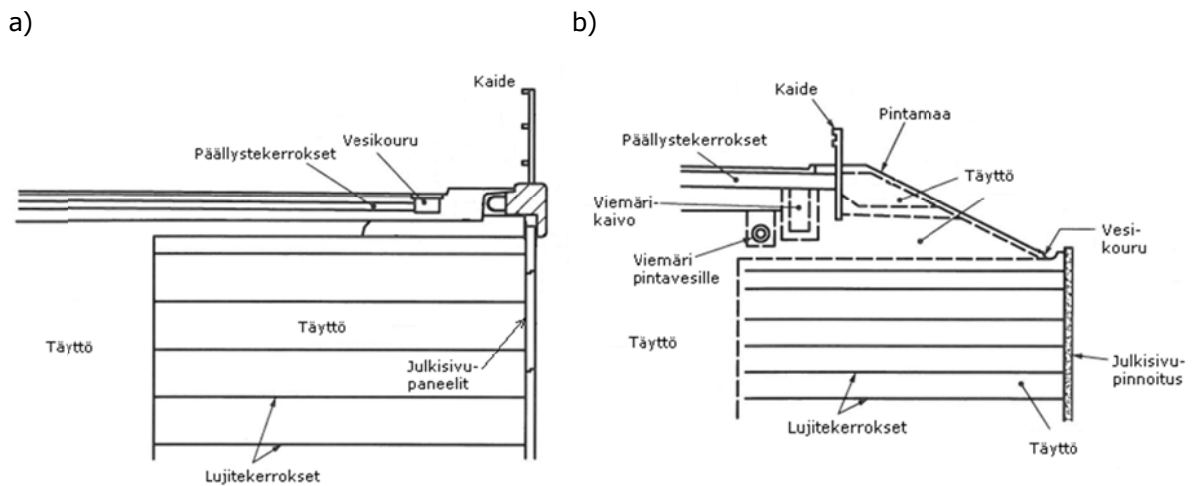
Tukimuureissa, joiden päälle tulee tierakenne, tulee reunuksen takana olla kuivatusjärjestelmä esim. kuvan 4.6 a mukaisesti. Tukimuurin ja luiskan yhdistelmä rakenteissa kuivatusjärjestelmän tulisi tämän lisäksi sijaita myös tukimuurin yläosassa julkisivupinnoitteen takana (kuva 4.6 b).

Lujitetun tukimuurin tai luiskan takaluiskan/taustatäytön kuivatus järjestetään asentamalla lujitetun kerroksen ja takaluiskan/taustatäytön väliin kuivatuskerros (kuva 4.7). Mikäli lujitetun kerroksen takaosa tai taustatäyttö on hyvin vettä läpäisevää materiaalia, ei erillistä kuivatuskerrosta niiden väliin välttämättä tarvita.

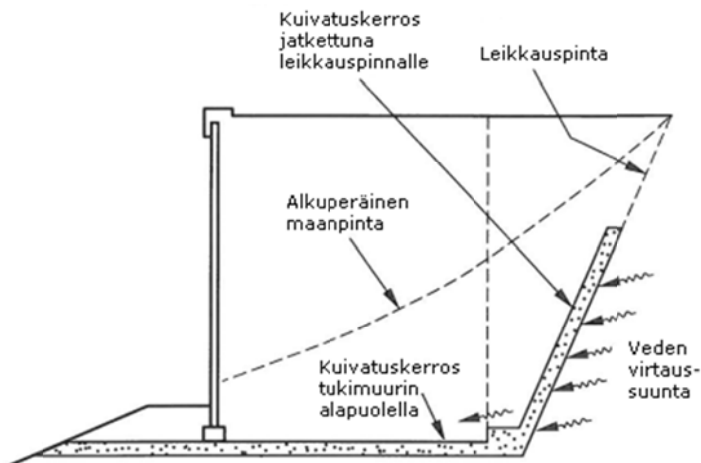
Mikäli lujitetussa kerroksessa käytetään heikompileatuksia maa-aineksia (siltti, savi), on rakenteen kuivatukseen ja veden pääsyn estämiseen lujitettuun rakenteeseen kiinnitettävä erityistä huomiota. (Nordic Geosynthetic Group 2005)



Kuva 4.5 Erilaisia tukimuurin ja luiskan kuivatusrakenteiden periaatteita. (Nordic Geosynthetic Group 2005)



Kuva 4.6 Lujitetun tukimuurin kuivatusjärjestelmiä a) täysimittaisella tukimuurilla, ja b) osamittaisella tukimuurilla (BS 8006-1:2010).



Kuva 4.7 Lujitetun tukimuurin taustatätön kuivatusperiaate (BS 8006-1:2010).

4.9 Synteettisen lujitteen mitoituslujuus

4.9.1 Mitoituslujuus²

Synteettisen lujitteen mitoituslujuus käyttötilassa saadaan pienentämällä standardivetokokeen mukaista vetolujuutta erilaisista lujitetta heikentävistä tekijöistä riippenden villen materiaalikerioimilla, ja ottamalla huomioon rakenteessa sallittava lujitteen

² Mitoituslujuuden määrittens osalta on parametreillä pyritty käyttämään standardin ISO/TR 20432:2007 "Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement" mukaisia merkintöjä. Siltä osin kun niistä on poikettu, on ko. standardin mukaiset merkinnät esitetty suluissa parametrin ensimmäisen esiintymisen yhteydessä.

muodonmuutos. Käytettävien lujitteiden tulee olla CE-merkittyjä. Lujitteen mitoituslujuutta määritettäessä on otettava huomioon:

- materiaalin venymä (alkumuodonmuutos + viruma; riippuu polymeeristä ja kuitutyypistä, josta tuote on valmistettu sekä kuormitustasosta ja -ajasta),
- rakentamisen aikana syntyvät materiaaivauriot (riippuvat lujitteesta, täyttömateriaalista ja tiivistystavasta),
- materiaalin pysyvyys (kemialliset ja mikrobiologiset tekijät) ja
- pitkälle aikavälille tehtävän ekstrapoloinnin epävarmuuden vaikutus vetolujuuden määrittämiseen.

Mitoituslujuus määritetään joko yhtälöllä 4.8a tai vaihtoehtoisesti yhtälöllä 4.8b. Yhtälöiden 4.8a ja 4.8b sisältö on esitetty kuvassa 4.8. (Vägverket 1992, ISO/TR 20432:2007)

$$f_d = \frac{T_k(dt)}{RF_{ID} RF_W RF_{CH} \eta_{RF}} \quad (4.8) a$$

$$f_d = \frac{T_{char}}{RF_{CR} RF_{ID} RF_W RF_{CH} \eta_{RF}} \quad (4.8) b$$

missä

f_d	on	mitoituslujuus (laskenta-arvo) (ISO/TR 20432:2007: $f_d = T_D$), kN/m
$T_k(dt)$		vetolujuuden ominaisarvo, joka saadaan lyhyt- ja pitkäaikaisten vetokokeiden perusteella suunnitteluikää vastaavasti, kN/m
T_{char}		lyhytaikaisesta vetokokeesta saatava lujuuden ominaisarvo, joka on synteettisen lujitteen 95 % luotettavuusrajan murtolujuutta vastaava alempi lujuusarvo (muodonmuutosnopeus 20 ± 5 %/min; standardi EN ISO 10319:2008), kN/m
RF_{CR}		viruman materiaalikerroin (riippuu polymeerityypistä), -
RF_{ID}		rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin, -
RF_W		säänkestävyyden materiaalikerroin, -
RF_{CH}		kemiallisten ja biologisten ympäristötekijöiden materiaalikerroin, -
η_{RF}		materiaalikertoimien (RF_{CR} , RF_{ID} , RF_W , RF_{CH}) varmuuskerroin (ISO/TR 20432:2007: $\eta_{RF} = f_s$), -

Mikäli lujitteessa on saumoja tai liitoksia, tulee niiden vaikutus lujuuteen ottaa tarvittaessa huomioon erikseen lujitteen lujuutta alentavana tekijänä.

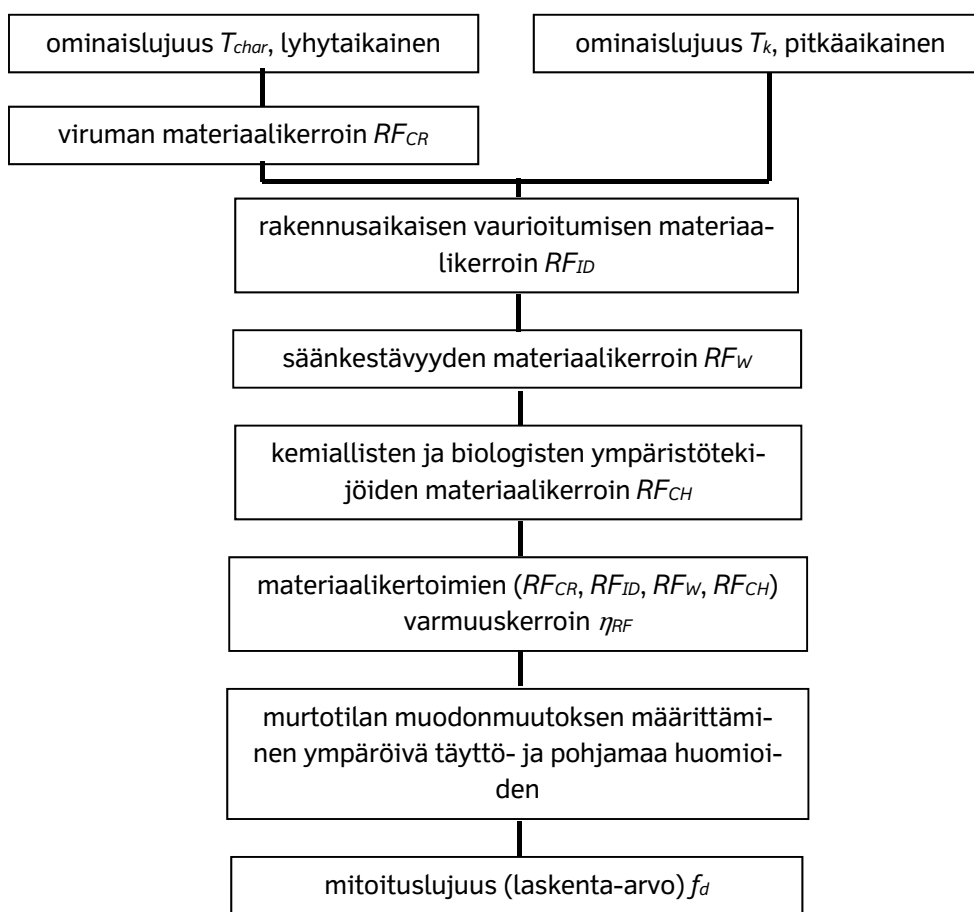
Liikenneviraston käyttämissä liikennekuormissa on mukana sykäyslisä, joten ko. kuormia käytettäessä kuormituksen dynaaminen vaikutus tulee riittävästi huomioiduksi. Mikäli muuttuvana kuormana käytetään muita kuin liikenneviraston liikennekuormia, lujitteeseen kohdistuvat dynaamiset vaikutukset tarvittaessa huomioida omalla kertoimellaan esim. EBGeo:ssa (DGGT 2011) esitetyn mukaisesti.

Synteettisen lujitteen vetolujuuden ominaisarvo on pyrittävä määrittämään ensisijaisesti virumakokeen ja toissijaisesti lyhytaikaisen vetokokeen perusteella. Käytetyn testausmenetelmän ja lujitteen iän vaikutus koetuloksiin on huomioitava. (Aalto et al. 1998)

Väliaikaisissa rakenteissa voidaan virumakoetuloksiin perustuen käyttää suurempaa synteettisen lujitteen vetolujuuden ominaisarvoa kuin pysyvissä rakenteissa. Lujitteeseen kohdistuvaa kuormituksen kestoaikaa arvioitaessa voidaan pysyvissä rakenteis-

sa ottaa huomioon koheesiomaan konsolidoitumisesta johtuva leikkauslujuuden kasvu ja siitä johtuva lujitteen kuormituksen pienentyminen. (Aalto et al. 1998)

Maanvaraisessa lujitetussa penkereessä ja tien geolujitetussa levennyksessä lujitevoimaa optimoitaessa voidaan liikennekuorman aiheuttama lujitevoima olettaa lyhytaikaiseksi ja penkereen (ja muiden pysyvien kuormien) aiheuttama lujitevoima pitkäaikaiseksi. Tällöin mitoituksessa eritellään liikennekuorman (muuttuvien kuormien) ja pysyvän kuormien aiheuttama lujitevoima. Lujitteen ominaislujuutta määritettäessä oletetaan pysyvissä rakenteissa liikennekuorman vaikutusajaksi vähintään 1 v. Lujitteen mitoittava ominaislujuus määritetään summaamalla yhteen pysyvän ja muuttuvan kuorman aiheuttama lujitevoima.



Kuva 4.8 Synteettisen geolujitteen mitoituslujuuden määrittäminen ominaislujuudesta.

Mikäli mitoituslaskelmissa käytetty yksi lujitekerros korvataan useammalla lujitekerroksella, on varmistuttava, että lujitteiden sijainti ja mitoitusgeometria eivät poikkea mitoituksessa käytetystä liikaa lujitekerrosten väliin asennettavien kitkamaakerrosten takia. Useampaa lujitekerrosta käytettäessä on varmistuttava, että lujitteiden muodonmuutosominaisuudet vastaavat toisiaan.

4.9.2 Viruman materiaalikerroin RF_{CR}

Kun saatavilla on vain lyhyenajan vetokokeen tuloksia, voidaan vetolujuuden ominaisarvo määrittää jakamalla lujitteen vetolujuus (T_{char}) taulukosta 4.1 saatavalla materiaalikertoimella (RF_{CR}). Mikäli luotettavia materiaali- tai tuotekohtaisia tutkimustuloksia koti- tai ulkomaisesta auktorisoidusta laboratoriosta on saatavissa, käytetään ominaisarvon määrittämisessä ensisijaisesti niitä.

Taulukko 4.1 Materiaalikerroin RF_{CR} synteettisen lujitteen vetolujuuden ominaisarvon määrittämistä varten.

Polymeerityyppi	Materiaalikerroin RF_{CR} / rakenteen suunniteltu ikä	
	60 v	120 v
Polyesteri	2,33	2,50
Polyamidi	2,70	2,86
Polypropeeni	4,76	5,00
Polyeteeni	4,76	5,00

4.9.3 Rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin RF_{ID}

Täyttömaamateriaalien mekaaninen aggressiivisuus lujitteen ja pinnoituksen kannalta tulee ottaa huomioon. Lujitteiden tai niiden pinnoitteiden mekaaniset vauriot, jotka aiheutuvat rakentamisen aikaisista täyttötöistä tulee arvioida aiemman merkityksellisen kokemuksen perusteella, jos sellaista on käytettävissä, tai tarvittaessa erityisellä rakennuspaikkatestauksella. Tämä on erityisen tärkeää, jos käytetään murskattua, kulmikasta täyttömaata. (SFS-EN 14475:2006) Asennuksen aikaisen vaurioitumisen selvittäminen onnistuu parhaiten täysmittakaavaisilla asennuskokeilla. Asennustapahtuman aiheuttama vaurioituminen selvitetään rakenteesta esiin kaivetuilla näytteillä.

Taulukossa 4.2 on esitetty rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikertoimen arvoja, Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää lujitteen valmistajan ilmoittamia luotettavasti määritettyjä vaurioitumisen huomioonottavia materiaalikertoimia. (Vägverket 1992)

Taulukko 4.2 Synteettisen lujitteen rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin RF_{ID} . (Vägverket 1992)

Savi, Siltti	Hiekka	Luonnonsora	Murskesora / Kalliomurske	Louhe
1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

4.9.4 Säänkestävyyden materiaalikerroin RF_w

Kaikki polymeerit voivat vaurioitua UV-säteilyn vaikutuksesta, vaikkakin ulkokäyttöön tarkoitettujen materiaalien on tavallisesti UV-suojattu. Tässä käsikirjassa ”säänkestävyyteen” käsitetään ainoastaan UV-säteilyn vaikutus joko yksinään tai yhdessä lämpötilan ja kosteuden kanssa. (ISO/TR 20432:2007)

Säänkestävyyden suositukset ovat riippuvaisia varastossa ja työmaalla kertyvästä materiaalin altistumisajasta. Jos geosynteetti altistuu UV-säteilylle enintään 12 tunnin ajan, on materiaalikertoimen arvo $RF_W = 1,0$. (ISO/TR 20432:2007)

Mikäli altistumisaika on pidempi kuin 12 h, tulee geosynteetille tehdä nopeutettu säänkestävyyssko standardin SFS-EN 12224:en ”*Geotextiles and geotextile-related products. Determination of the resistance to weathering*” mukaisesti. Mikäli lujuuden menetys on $\leq 5\%$, on materiaalikertoimen arvo $RF_W = 1,0$ sillä ehdolla, että geosynteetti on alttiina UV-säteilylle enintään kuukauden ajan. Jos lujuuden menetys on $> 5\%$, saa materiaali olla alttiina UV-säteilylle enintään taulukossa 4.3 esitetyn ajan, ja sen mitoituksessa on käytettävä taulukossa 4.3 esitettyä säänkestävyyden materiaalikerronta. (ISO/TR 20432:2007)

Mikäli geosynteetti altistuu UV-säteilylle kuukautta pidemmän ajan, tulee ko. materiaali koestaa joko edellä mainitun standardin SFS-EN 12224:en mukaisesti tai vastaavalla menetelmällä. Kokeen kesto tulee olla niin pitkä, että sen perusteella voidaan ohjeiden mukaisesti ekstrapoloida odotettavissa oleva altistumisaika. Geosynteetin lujuus altistumisajan jälkeisessä tilanteessa tulee arvioida. Säänkestävyyden materiaalikertoimen RF_W arvo on materiaalin alkuperäisvetolujuuden suhde altistumisajan jälkeiseen vetolujuuteen. (ISO/TR 20432:2007)

Taulukko 4.3 Geosynteetin altistuminen UV-säteilylle (ISO/TR 20432:2007).

Lujuus SFS-EN 12224:en mukaisesti tehdyn koestuksen jälkeen	Suurin sallittu UV-säteilylle altistumisaika asennuksen ja varastoinnin yhteydessä	Materiaalikerroin RF_W
$> 80\%$	1 kk ⁽¹⁾	Materiaalin alkuperäisvetolujuuden suhde altistumisajan jälkeiseen vetolujuuteen
60...80 %	2 viikkoa	1,25
$< 60\%$	1 päivä	1,00
Koestamaton materiaali	1 päivä	1,00

⁽¹⁾ Vuodenajasta ja kohteen sijainnista riippuen suurin sallittu altistumisaika voi olla 1...4 kk.

4.9.5 Kemiallisten ja biologisten ympäristötekijöiden materiaalikerroin RF_{CH}

Useimmat synteettiset geolujitteet kestävät luonnon maamateriaalissa olevia kemiallisia aineita ja mikrobeja, mikäli maan pH on välillä 4...9. Käyttöikänsä aikana lujitteet heikkenevät myös ikääntymisen vuoksi. Ympäristöolosuhteet pohja- tai täyttömaan happamuuden suhteen voidaan ottaa huomioon taulukoissa 4.4 ja 4.5 esitetyllä materiaalikertoimella. Tämä tarkastelu tulee ottaa huomioon erityisesti betonirakenteiden sekä maan stabiloinnin tai joidenkin sivutuotteiden/jättemateriaalien yhteydessä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää lujitteen valmistajan ilmoittamia ja luotettavasti määritettyjä ympäristöolosuhteet huomioonottavia materiaalikertoimia. pH-arvojen ollessa taulukoissa 4.4 ja 4.5 esitettyjä arvoja korkeammat tai matalammat tulee redusointitarve arvioida tuotekohtaisesti materiaalin ja kuormitusajan perusteella.

Kun lujite sijoitetaan alueelle, jossa on tai johon on mahdollista tulla sellaisia kemikaaleja, joita ei ole maaperässä normaalisti, tulee näiden vaikutus lujitteeseen arvioida erikseen ja tarvittaessa pienentää mitoituslujuutta ja/tai vaihtaa lujitemateriaali ko. kemikaaleja paremmin kestäväksi.

Taulukko 4.4 Synteettisten lujitteiden (muut kuin polyesteri) ympäristötekijöiden materiaalikerroin RF_{CH} .

Maan pH	Materiaalikerroin RF_{CH}
2,0...4,0	1,2
4,1...8,9	1,1
9,0...9,5	1,2

Taulukko 4.5 Polyesterilujitteiden ympäristötekijöiden materiaalikerroin RF_{CH} . (ISO/TR20432:2007)

Maan pH	Suunnitteluikä	Käyttölämpötila	Materiaalikerroin RF_{CH}
4,0...9,0	25 v.	25 °C	1,0
4,0...9,0	25 v.	35 °C	1,4
4,0...8,0	100 v.	25 °C	1,2
8,0...9,0	100 v.	25 °C	1,3

4.9.6 Materiaalikertoimien (RF_{CR} , RF_{ID} , RF_W , RF_{CH}) varmuuskerroin η_{RF}

Synteettisen lujitteen materiaalikertoimien (RF_{CR} , RF_{ID} , RF_W , RF_{CH}) varmuuskerroin η_{RF} riippuu rakenteen vaurioitumisesta aiheutuvan henkilöriskin ja taloudellisten menestysten suuruudesta sekä rakenteen suunnitteluiästä (taulukko 4.6). Taulukossa 4.6 esitetyistä varmuuskertoimista voidaan poiketa luotettavan tuote- ja rakennekohtaisen selvityksen perusteella.

Taulukko 4.6 Synteettisen lujitteen materiaalikertoimien (RF_{CR} , RF_{ID} , RF_W , RF_{CH}) varmuuskerroin.

Suunnitteluikä (vuosia)	Varmuuskerroin $\eta_{RF}^{(1)}$
120	1,4
60	1,3
10	1,2

⁽¹⁾ Lujitteella tehdyn reaaliaikaisen virumakokeen kesto vähintään 10 % suunnitteluiästä tai 10 000 tuntia, jos suunnitteluikä ≤ 10 vuotta ja lujitteen lujuuden ekstrapolointi enintään yhden logaritmisena aikadekadina yli tai enintään kahden aikadekadina yli, jos ekstrapolointi on varmistettu nopeutetuilla virumakokeilla.

4.9.7 Muodonmuutosominaisuudet

Suunnittelussa tulee pyrkiä siihen, että geolujitteelta vaadittu lujuus saavutetaan samanaikaisesti maassa tai lujitteen ja maakerroksen välillä mobilisoituneen leikkausjännityksen kanssa. Suunnittelussa tulee aina tarkistaa tapauskohtaisesti ko. rakenteen asettamat vaatimukset lujitteen sallitulle venymälle sekä itse rakenteen painuille ja muodonmuutoksille. (Tanska et al. 1995)

Rakenteen toiminnan edellytyksenä pitkäaikaisessa kuormitustilanteessa on lujitteen riittävän pieni viruma. Tämä on otettava huomioon materiaalivaatimuksia määrätessä.

4.9.8 Mitoituslujuuden määrittäminen

Kuvassa 4.9 on esitetty synteettisen lujitteen mitoituslujuuden määrittämisen periaate. Lujitteen mitoituslujuus riippuu rakenteen kestoikää vastaavasta lujitteen vetolujuudesta ja asennusolosuhteista (kuva 4.9c) sekä sallitusta kokonaisvenymästä (kuva 4.9b). Eli lujite ei saa murtua käyttöikänsä aikana (yhtälö 4.9) eikä sen venymä saa ylittää sallittua arvoa (yhtälö 4.10). (Aalto et al. 1998)

$$f_d > T_d \quad (4.9)$$

missä

T_d on lujitteelta vaadittava kokonaisvoima, kN/m
 f_d lujitteen mitoituslujuus, kN/m

Lujitteen kokonaisvenymää (alkumuodonmuutos + viruma) arvioitaessa lujitetta kuormittavaa vetovoimaa verrataan lujitteen lyhyen ajan vetolujuuteen maahan asennettuna $(RF_{ID} \cdot RF_{CH})^{-1} \cdot T_{char}$ Jännitys-suhteen (f_{UTS}) ja isokroonikäyrän avulla määritetään rakennus- ja käyttöikäinen venymä (kuva 4.9b). Tämän kokonaisvenymän tulee olla pienempi kuin sallittu venymä (yhtälö 4.10b). Lisäksi virumalle voidaan antaa oma sallittu maksimiarvonsa (yhtälö 4.10c). (Aalto et al. 1998)

$$f_{UTS} = \frac{T_d \cdot RF_{ID} \cdot RF_{CH}}{T_{char}} \cdot 100\% \quad (4.10) \text{ a}$$

$$\varepsilon_{rak.aik.} + \varepsilon_{viruma} = \varepsilon_{kok} \leq \varepsilon_{sall} \quad (4.10) \text{ b}$$

$$\varepsilon_{viruma} \leq \varepsilon_{sall,viruma} \quad (4.10) \text{ c}$$

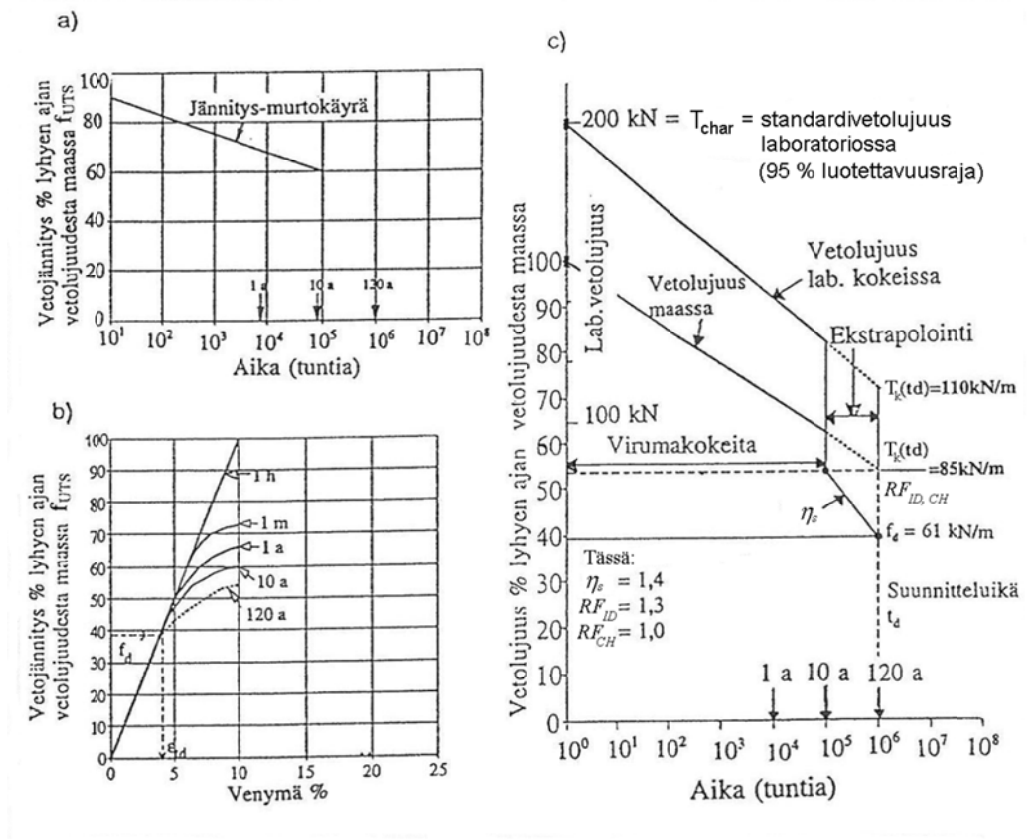
missä

$\varepsilon_{rak.aik.}$ on synteettisen lujitteen rakennusaikainen venymä, -
 ε_{viruma} lujitteen viruma (käyttöikäinen venymä), -
 ε_{kok} lujitteen kokonaisvenymä, -
 ε_{sall} lujitteen sallittu kokonaisvenymä, -
 $\varepsilon_{sall,viruma}$ lujitteen sallittu viruma, -

Liitteessä 2 on esitetty ajan vaikutus Suomessa yleisesti käytettyjen synteettisten lujitemateriaalien raaka-aineiden (korkealujuuksinen polyesteri- ja polyeteenikuitu) jännitysvenymäkäyttäytymiseen ja vetolujuuteen.

4.9.9 Saumojen lujuus

Synteettisten lujitteiden saumojen lujuus testataan kohdassa 2.2.4 esitetyllä tavalla (EN ISO 10321:2008). Sauman vetolujuus saattaa olla merkittävästi lujitteen lujuutta alhaisempi.



Kuva 4.9 Esimerkki synteettisen lujitteen mitoituslujuuden määrittämisestä, a) ajan vaikutus vetolujuuteen ja b) & c) mitoituslujuuden määrittäminen. (Tanska et al. 1995)

4.10 Teräslujitteen mitoituslujuus

4.10.1 Mitoituslujuuden määrittäminen

Teräslujitteiden mitoituslujuus määritetään lujitevoimaa vastaanottavien vetoelementtien pinta-alan ja materiaalin vetolujuuden perusteella. Mitoituksessa käytettävä vetoelementtien pinta-ala määritetään ottamalla huomioon mitoitusajan aikana tapahtuva korrosio, jonka suuruus määritetään käyttökäyttöä suojaamattomilla teräslujitteilla. Teräslujitteen käyttökäyttöä tehdään kohdan 4.10.2 mukaisesti. Teräslujitteen teräksen myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd} määritellään yhtälöllä 4.11.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{f_{yk}}{1,15} \quad (4.11)$$

missä

f_{yd} on lujiteteräksen myötölujuuden mitoitusarvo, N/mm²

f_{yk} lujiteteräksen myötölujuus, N/mm²

γ_s betoniteräksen osavarmuusluku = 1,15 (NCCI 2: Taulukko 3.5, Liikennevirasto 2010a), -

Teräslujitteen vetoelementin vastaanottaman vetovoiman N_{Ed} tulee kaikissa poikkileikkauksissa täyttää yhtälön 4.12 mukainen ehto (SFS-EN 1993). Ko. ehtoa käytettäessä oletetaan, että lujitetun rakenteen varmuus liukupintasortumaa vastaan on riittävä ja lujitteisiin ei kohdistu merkittäviä leikkaus- tai taivutusrasituksia. Mikäli kohdistuu, on ne otettava mitoituksessa huomioon.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (4.12)$$

missä

N_{Ed} on teräslujitteen vetoelementin vetovoima, N

$N_{t,Rd}$ teräslujitteen vetoelementin vetokestävyyden mitoitusarvo, N

Geolujitetun rakenteen lujitteen mitoituslujuus f_d määritetään yleensä vetovoimana 1 m levyistä lujitetta kohden kN/m. Tällöin 1 m levyisen teräslujitteen mitoituslujuus määritetään tulona, jossa verkon yhden vetoelementin vetokestävyyden mitoitusarvo kerrotaan vetoelementtien lukumäärällä 1 m leveää lujitekaistaa kohden.

Teräslujitteen vetoelementin vetokestävyyden mitoitusarvo määritetään yhtälöllä 4.13. Teräslujitteen mitoituslujuus 1 m leveää lujitekaistaa kohden määritetään yhtälöllä 4.14, johon pinnoittamattoman teräslujitteen rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin katsotaan taulukosta 4.2 (vaihtoehtoisesti voidaan käyttää lujitteen valmistajan ilmoittamia luotettavasti määritettyjä rakentamisen aikaisen vaurioitumisen huomioonottavia materiaalikertoimia). Pinnoitetun teräslujitteen rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin on määritettävä erikseen.

$$N_{t,Rd} = \frac{1}{\gamma_{M2}} \frac{f_{yk}}{\gamma_s} A_{N,netto} = \frac{1}{1,25} \frac{f_{yk}}{1,15} A_{N,netto} \quad (4.13)$$

$$f_d = \frac{n N_{t,Rd}}{\gamma_{M2} RF_{ID}} \quad (4.14)$$

missä

$N_{t,Rd}$ on vetoelementin vetokestävyyden mitoitusarvo, N

$A_{N,netto}$ teräslujitteen vetoelementin poikkipinta-ala lujitteen mitoitusiän täytyessä, mm²

γ_{M2} osavarmuusluku poikkileikkauksen kestävyydelle vetomurtuman suhteen = 1,25 (SFS-EN 1993-1-1: kohta 6.1), -

f_d teräslujitteen mitoituslujuus, N

n vetoelementtien lukumäärä 1 m leveää lujitekaistaa kohden, -/m

RF_{ID} rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin, -

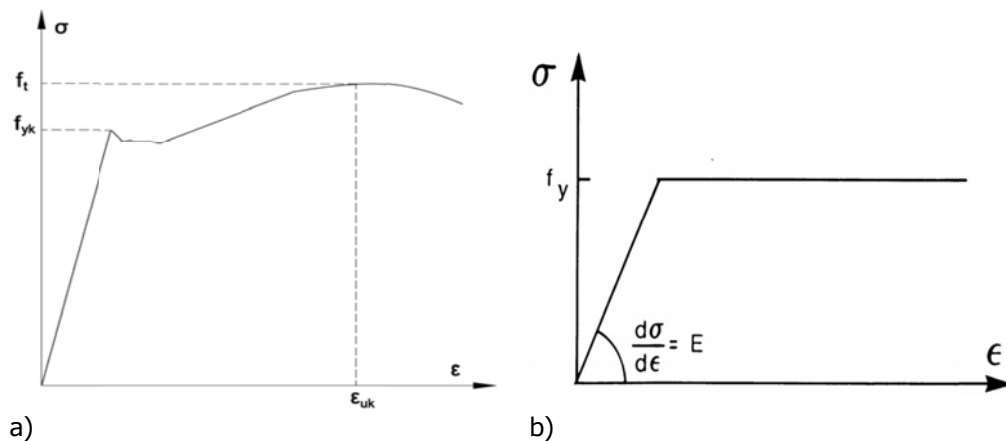
Mikäli teräslujitteen vetoelementin suojaus mitoitetaan siten, että vetoelementti ei korrodoidu lujitteen mitoitusiän aikana, on vetoelementin poikkipinta-ala vetoelementin alkuperäinen poikkipinta-ala. Mikäli vetoelementti korrodoituu mitoitusiän aikana, vähennetään vetoelementin alkuperäisestä poikkipinta-alasta korrodoituneen osan pinta-ala.

Lujitteena käytettävien terästen kimmokerroin E on 210 000 N/mm². Kuumavalssatun teräksen jännitys-venymäkuvaaja ja kaksoislineaarinen jännitys-venymäyhteys on esitetty kuvassa 4.10.

4.10.2 Teräsrakenteiden käyttöikämitoitus

Teräsrakenteiden säilyvyys ja suunniteltu käyttöikä otetaan huomioon suunnitelmalla rakenteet korroosion suhteen. Materiaalien turmeltumisen ja korroosion vaikutukset otetaan huomioon käyttämällä rakenteellista ylimitoitusta ja/tai tarkoituksenmukaista korroosionestojärjestelmää. (SFS-EN 1993-1-1)

Käyttöikämitoitusta sovellettaessa lähtöoletuksena on se, että teräs syöpyy käyttöiän aikana. Teräksellä rakenteen turmeltuminen tarkoittaa lähinnä pinnalta rakenteen paksuutta vastaan kohtisuoraan suuntaan etenevää syöpymistä, joka pienentää rakenteen mitoituksessa huomioitavia dimensioita. Teräksen syöpmisen on oltava hallittua, jotta se voidaan ottaa mitoituksessa huomioon. Korroosionestojärjestelmässä (suojausmenettelyssä) suunnitteluperiaatteena on varmistaa erilaisin suojaustoimenpitein, että teräsosissa ei tapahdu turmeltumista käyttöiän aikana, jolloin rakenteen käyttöiän sijaan arvioidaan pinnoitteen käyttöikää. (Leino et al. 1998)



Kuva 4.10 a) Kuumavalssatun teräksen jännitys-venymäkuvaaja (Liikennevirasto 2010a) ja b) kaksoislineaarinen jännitys-venymäyhteys (SFS-EN 1993). Teräslujitteen jännitys - muodonmuutuskuvion mallissa oletetaan, että jännitys pysyy vakiona myötörajan saavuttamisen jälkeen.

VTT:n selvityksessä (Leino et al. 1998) on analysoitu kirjallisuudessa esitettyjä korroosiotutkimusten tuloksia (tuloksia n. 1600 korroosiohavainnosta). Analysoinnin tuloksena tehtiin mm. seuraavia havaintoja:

- teräksen vaakasuora asento maassa kasvattaa korroosiota verrattuna pystysuuntaiseen rakenteeseen,
- teräksen hiilipitoisuuden lisäys kasvattaa korroosion määrää,
- korroosio on täytöissä ja häirityissä maapohjissa keskimäärin kaksinkertainen verrattuna esimerkiksi luonnontilaiseen maapohjaan lyömällä asennettuihin teräksiin ja
- pohjavesipinnan yläpuolisen teräksen korroosio on aluksi nopeampaa kuin pohjavesipinnan alapuolisen teräksen, mutta ajan myötä korroosionopeuksien suhde muuttuu päinvastaiseksi.

Teräsrakenteiden ”käyttöikämitoitusta” on esitetty eri maarakennustuotteille, esim. seuraavissa julkaisuissa:

- BS 8006-1:2010 “*Code of practice for strengthened / reinforced soils and other fills*”
- SFS-EN 14475 “*Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö*” (katso liite 3)
- “*Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu*” (Leino et al. 1998)
- Rumpujen sallitut korroosiokestävyysluokat eri tie- ja katuolosuhteissa (InfraRYL, taulukko 14340:T1),
- Teräsputkisiltojen materiaalivaatimukset (“*Teräsputkisillat, Suunnitteluohje 2/2012*”, Liikennevirasto 2012a)
- Teräspaalujen korroosio (PO 2011, RIL 254-2011, Liikennevirasto 2012c),
- “*Teräsputkipaalujen korroosio. Mitoitus empiiriseen aineistoon pohjautuen*” (Törnqvist 2004).

Eräät metalliseokset ovat alttiita jännityskorroosiolle, joka voi aiheuttaa kappaleen murtumisen jännityksen ja korroosion yhteisvaikutuksesta. Jännityskorroosion taustalla ovat metallin sisäiset ja ulkoiset jännitykset yhdistettynä korroosiota aiheuttaviin ympäristötekijöihin. Korroosioympäristö on materiaalikohtainen. Tietyt olosuhteet aiheuttavat jännityskorroosioaurioita myös yleisesti korroosiota kestäviin metalleihin, esimerkiksi austeniittinen ruostumaton teräs kärsii jännityskorroosiosta kloridipitoisessa ympäristössä. Hiiliteräkset voivat olla alttiita ilmiölle vähähappisissa ympäristöissä, joissa on rikkivetyä.

4.10.3 Suojaamattomien teräslujitteiden korroosioimitoitus

Suojaamattomien teräslujitteiden korroosioimitoitus tehdään ohjeessa “*Sillan geotekninen suunnittelu, Sillat ja muut taitorakenteet nro/2012*” (Liikennevirasto 2012c) teräspaaluille esitettyjen mitoituseriaatteiden mukaisesti.

Tavanomaisissa ja eräissä aggressiivisiksi luettavissa olosuhteissa teräslujitteiden korroosio otetaan huomioon tavallisesti ylimitoituksella niin sanottuna korroosiovarana. Korroosiovaran käyttäminen tarkoittaa lujitteen vetoelementtien paksuuden kasvattamista siten, että se on arvioidun käyttöiän - tavoitekäyttöiän - aikana tapahtuvan syöpymisen jälkeenkin vielä riittävä kantamaan rakenteelle suunnitellut kuormat. Tarvittava korroosiovara riippuu rakenteen tavoitekäyttöiästä sekä lujitteen ympäristön korroosio-ominaisuuksista.

Tavanomaisesta poikkeavan korroosion olosuhteissa käytetään esimerkiksi korotettua ylimitoitusta tai korroosionsuojausmenetelmiä.

Teräslujitteiden korroosiotutkimukset ja -mitoitus tehdään Liikenneviraston ohjeen (2012c) liitteen 2 mukaisesti. Pääsääntöisesti käytetään korroosiovaran taulukkoarvoja (ohjeen 2012c liitteen 2 taulukot 3 ja 4).

Lisäksi on otettava huomioon, että talvihoitoluokkiin 1S ja 1 kuuluvien teiden läheisyydessä teräslujitteiden oletetaan syöpyvän kokonaan tiesuolauksen vaikutusalueella. Suolan vaikutusalueen katsotaan ulottuvan vaakasuunnassa 12 m:n etäisyydelle suolattavan tien reunasta ja pystysuunnassa 2 m pysyvän pohjavesipinnan alapuolelle. (Liikennevirasto 2012c) Ko. olosuhteissa teräslujitteiden käyttäminen saattaa olla mahdollista lyhytaikaisissa rakenteissa, jolloin lujitteiden korroosio ja käyttöikä on erikseen selvítettävä.

Tasavirtalähteet, jotka muodostavat teräksen ja maan välille jatkuvan potentiaalieron, voivat taajama-alueilla ja sähkörata ympäristössä aikaansaada korroosiota niin kutsuttuna hajavirtakorroosiona. Hajavirtojen vaikutus korroosioon tulee perustua erilliseen selvitykseen. (Liikennevirasto 2012c)

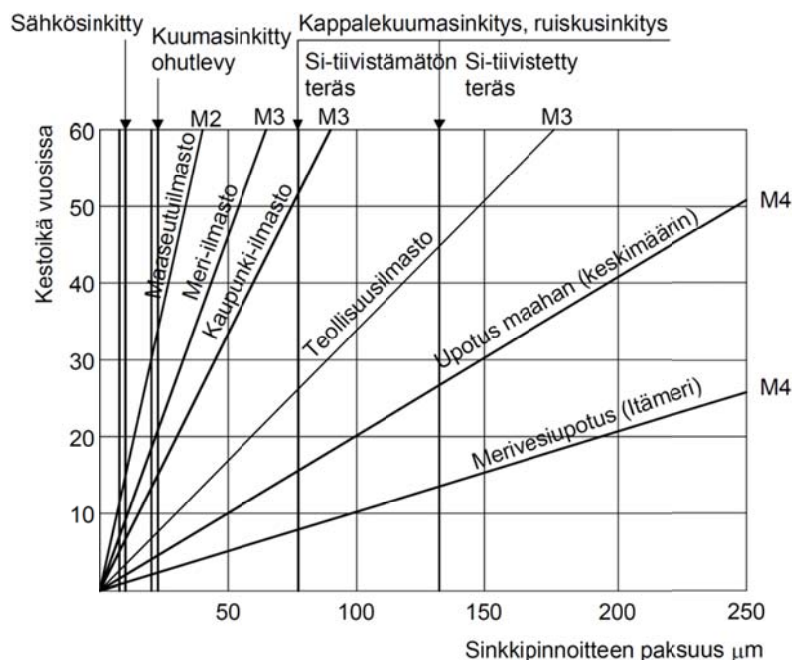
4.10.4 Suojattujen teräslujitteiden korroosionmitoitus

Korroosionsuojausmenetelmiä ovat katodinen suojaus sekä orgaaniset ja epäorgaaniset pinnoitteet. Korroosionsuojausmenetelmiä voidaan käyttää vain, mikäli voidaan todentaa menetelmän kestävän myös lujitteita vasten tulevan täyttökerroksen asentamisen rakennuspaikan olosuhteissa. (Liikennevirasto 2012c)

Pinnoitteen suunnittelussa lähtökohtana on lujitteen käyttöikä. Koko lujitteen poikkileikkauksen käyttöiän sijasta arvioidaan pinnoitteen kestoikä. Mikäli mitoituksessa pinnoitteen kestoikä ylittyy, on lujitteelle määritettävä pinnoitteen lisäksi korroosiovara.

Kuumasinkityksen kestoikäarvioita eri olosuhteissa on esitetty kuvassa 4.11. Liitteen 3 perusteella voidaan arvioida tavanomaisissa olosuhteissa tarvittavan pinnoitteen paksuutta. Eri olosuhdeluokissa tarvittavan pinnoitteen paksuutta voidaan arvioida myös Liikenneviraston ohjeen 2/2012 taulukon 3.5 perusteella (Liikennevirasto 2012a). Teräslujitteiden ja lujitettujen tukimuurien julkisivujen teräsoisien korroosioneston suunnittelussa voidaan käyttää myös standardia SFS-EN ISO 14713 ”Teräs- ja rautarakenteiden korroosionesto”.

Pinnoitteen kestoikää määritettäessä on kiinnitettävä myös erityistä huomiota pinnoitteen mahdolliseen rakentamisen tai käytön aikaiseen vaurioitumiseen.



Kuva 4.11 Kuumasinkityksen kestoikä eri olosuhteissa (Leppänen 1992).

4.11 Suunnitelma-asiakirjat

4.11.1 Suunnitelman sisältö

Pohjatutkimukset:

Pohjatutkimukset tehdään ja maakerrosten sekä pengermateriaalien geotekniset ominaisuudet määritetään julkaisun ”*Geotekniset tutkimukset ja mittaukset*” (TIEH 2100057-08) sekä ”*Tien geotekninen suunnittelu*” (Liikennevirasto 2012b) mukaisesti.

Pohjatutkimusten tulee olla riittävän laajoja, jota maaperäolosuhteet rakennuspaikalla voidaan määrittää standardin EN 1997-1 vaatimusten mukaisesti ja rakennuskohteen työt tehdä sopimusasiakirjojen ja suunnittelun mukaisesti. Geotekniset, hydrogeologiset ja hydrologiset tiedot tulee ilmoittaa siten, että toteuttajan on mahdollista suunnitella rakentamisessa tarvittavat väliaikaiset rakenteet tai kulkutiet (esim. maansiirtotyöt, penkereet, rakenteiden lähellä olevien kaivu- ja leikkaustöiden stabiliteetti, työpatojen rakentaminen, SFS-EN 14475:2006)

Geolujitettujen rakenteiden suunnittelun tulokset esitetään suunnitelmapiiirustuksissa ja työselityksessä, joissa on esitetty geolujitetun rakenteen rakentamisessa tarvittavien tietojen lisäksi rakenteen toimivuusvaatimukset.

Suunnitelma-asiakirjoissa esitetään yksityiskohtaisesti rakennettava kohde, suunnittelussa tehdyn työn soveltamisala, edellytetty suunniteltu käyttöikä ja mahdolliset kohteen rakentamiseen liittyvät riskit. Jos käytettävien materiaalien tai järjestelmien valintaan jää vapautta, suunnitteluasiakirjassa tulee esittää projektikohtaiset vaatimukset, jotka saattavat vaikuttaa lopulliseen valintapäätökseen. (SFS-EN 14475:2006)

Suunnittelun tulee tuottaa asiakirjat, jotka mahdollistavat kohteen rakentamisen siten, että täytetään määritellyt turvallisuus-, käyttökelpoisuus-, taloudellisuus- ja säilyvyysvaatimukset ottaen huomioon odotetun käyttöiän. (SFS-EN 14475:2006)

Suunnittelun tulosten tulee sisältää rakenteelta edellytetty muoto, materiaali- tai tuotevaatimukset, sekä muut yksityiskohdat, kuten esim. töiden vaiheistaminen. Taulukossa 4.7 esitetään joitakin suunnittelun tulosten näkökohtia. (SFS-EN 14475:2006)

Geolujitetun rakenteen suunnitelmaan sisältyvät:

- piirustukset,
- laskelmat,
- työselitys ja
- laadunvarmistusohjeet,

joita tarvittaessa täydennetään rakentamiseen hankitun lujitteen materiaalitoimittajan tuotekohtaisilla käyttöohjeilla.

Geolujitetun rakenteen suunnitteluasiakirjoja laadittaessa noudatetaan samoja ohjeita, kuin vastaavien lujittamattomien rakenteiden suunnittelussa. Geolujitteita käytettäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon joitakin lisänäkökohtia.

Piirustukset käsittävät tavallisesti asemapiirustuksen, pituus- ja poikkileikkauksia sekä tyyppipiirustuksia, jotka havainnollistat rakenteen yksityiskohtaisesti. Tyyppipiirustuksia tehdään tarvittaessa useammasta työvaiheesta suunnitelman havainnollis-

tamiseksi. Piirustuksissa tulee esittää selkeästi geolujitteen mitat (koordinaatit ja/tai sivumitat), levitys- ja saumasuunnat, geolujitteen tyyppi- ja lujuusvaatimukset sekä keskeisimmät työtekniikkaan liittyvät asiat.

Mitoituslaskelmilla, joihin suunnitelma perustuu, määritetään geolujitteelta vaadittava käyttöiän mukainen lujuuden arvo, ankkurointipituus, lujitteen jäykkyys (moduuli), sallittu venymä ja viruma, jne. Laskelmat on dokumentoitava hyvin, jotta lopputulokseen oleellisesti vaikuttavien tekijöiden, kuten pohjasuhteiden, maaperän lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien sekä suoja- ja täyttömateriaalien mitoitusarvot ovat käytettävissä tarvittaessa myös myöhemmässä vaiheessa. Suunnitelmista ja mitoituslaskelmista tulee käydä selkeästi ilmi lujitteen toiminnalliset vaatimukset, jolloin lujite on yksikäsitteisesti valittavissa urakkalaskentavaiheessa esitettyjen vaatimusten perusteella.

Työselityksessä kuvataan geolujitetun rakenteen kohdalla vallitsevat olosuhteet ja lujitetun rakenteen työtekniikka. Geolujitteelle ja siihen liittyville materiaaleille esitetään vaatimukset testausmenetelmiseen ja -määrineen sekä laadunvalvonnan toimenpiteet työmaalla. Työselityksessä esitetään työjärjestykseen liittyvät seikat sekä olosuhteiden vaikutus rakentamistekniikkaan. Lisäksi tuodaan esiin käytännön toteutukseen liittyviä tekijöitä, kuten lujitemateriaalien työmaavarastointiin ja -käsittelyyn sekä levitys- ja asennustekniikkaan liittyvät yksityiskohdat ja geolujitteen mittavarojen huomioiminen. Lisäksi esitetään kerrospaksuus, joka lujitteen päällä tulee olla ennen työmaaliikennöinnin sallimista. (Aalto et al. 1998)

Työselityksessä on esitettävä ainakin seuraavat tiedot, joihin rakenteen mitoitus perustuu:

- lujitteen mitoituslujuus (f_d)
- lujitteen muodonmuutos/jäykkyysmoduuli (J)
- lujitteen ankkurointipituus (L_b) (ainakin tukimuurin ja jyrkän luiskan yhteydessä)
- lujitteelta vaadittava lujitevoima kerroksittain (T_j)
- lujitteen sallittu kokonaisvenymä (ε_{sall})
- lujitteen sallittu viruma ($\varepsilon_{sall, viruma}$)
- maan kokonaistilavuuspaino (γ)
- maan tehokas tilavuuspaino (γ')
- maan sisäinen leikkauskestävyyskulma (ϕ)
- ulosvetovastuksen korjauskerroin (α_b)
- maamateriaalin ja lujitteen välisen koheesion liukuvastuksen korjauskerroin (α_c)
- maamateriaalin ja lujitteen välisen leikkauskestävyyskulman liukuvastuksen korjauskerroin (α_{ds})
- tavoiteltu kokonaisvarmuusluku F sortumista vastaan (ainakin mikäli poikkeaa tavanomaisesta)
- ympäristöolosuhteiden kuvaus (kemialliset ja biologiset ympäristötekijät)
- täyttömateriaalin kuvaus (rakennusaikaisen vaurioitumisriskin arviointiin)
- maininta, että urakoitsijan on arvioitava UV-kuormituksen vaikutusaika ja tarvittaessa määritettävä säänkestävyyden materiaalikerroin sen mukaisesti

4.11.2 Muita suunnittelunäkökohtia

Lujitusmenetelmän tulee olla yhteensopiva rakennustavan kanssa, ja se tulee valita suunnitteluvaiheessa. Suunnittelun täytyy mahdollistaa rakentaminen realististen toleranssien puitteissa. Yleisesti ottaen lujitetut täyttörakenteet itsessään ovat joustavia ja voivat muuttaa muotoaan rakentamisen aikana ja sen jälkeen. Suunnittelussa tulisi tämän vuoksi ottaa huomioon perustellut rakentamistoleranssit, jotka liittyvät pysty- ja vaakasuuntaiseen linjaukseen, tasoihin ja pohjapiirustukseen. Erityisesti tulisi ottaa huomioon tarvittavat muodonmuutokset, kun lujitettuja maarakenteita yhdistetään jäykkien rakenteiden kanssa tai ne sijaitsevat tällaisten vieressä. (SFS-EN 14475:2006)

Sekä pysyvissä että tilapäisissä lujitetuissa täyttörakenteissa tulee ottaa huomioon kuormitusolosuhteet, ilmastovaikutukset ja hydrauliset olosuhteet. Tähän sisältyvät myös maanjäristyskuormat maanjäristysalueilla. Pysyvien ja tilapäisten lujitettujen täyttörakenteiden vaikutukset viereisiin rakenteisiin tulee ottaa huomioon. Hydraulisten olosuhteiden tulee sisältää hydraulisen kuormituksen vaikutukset ja veden tai epäpuhtauksien kanssa kosketuksiin joutumisen vaikutukset säilyvyyteen. (SFS-EN 14475:2006)

Lujitetun rakenteen kyky kestää geoteknisin laskelmin ennakoitua kokonaispainumaa ja painumaeroja, routanousua, muodonmuutosta ja siirtymiä tulee ottaa huomioon. Tarvittaessa tällaisia lujitetun rakenteen painumia, muodonmuutoksia ja siirtymiä tulee seurata rakentamisen edetessä ja verrata niitä ennusteisiin. Mahdollisiin rakentamista koskeviin rajoituksiin tulee kiinnittää huomiota, kuten ympäristöolosuhteisiin, joihin kuuluvat myös tulvat, ilmasto-olosuhteet ja rakentamisen vaiheistaminen. (SFS-EN 14475:2006)

4.11.3 Suunnitelman täydennykset ja muutokset

Muutosten tarvetta saattavat aiheuttaa joko odottamattomat olosuhteet (maaperän tai hydraulisten olosuhteiden) tai seurantamittausten aiheuttamat suunnitelmien muutostarpeet. Mikäli suunnitteluasiakirjoissa määriteltyä rakennetta on muutettava, tulee muutos tehdä vasta, kun suunnitelma on muutettu, tarkistettu ja hyväksytty. (SFS-EN 14475:2006)

Jos lujitettu täyttörakenne sijoitetaan rinteeseen tai maaperään, jonka alla on kallio, tulee kallion laen tarkka muoto ja sijainti raportoida, jotta kaivausten, pinnoituksen (jos käytössä), lujitteiden piteuden ja välien lopullinen suunnittelu voidaan tehdä. (SFS-EN 14475:2006)

Jos merkittävää perustusmaan tiivistymistä ja painumista on odotettavissa, on mahdollista, että lujitettu täyttörakenne on rakennettava useammassa kuin yhdessä vaiheessa. Siirtymiä (ja tarvittaessa huokosvedenpainetta) tulee seurata ja raportoida määritellyllä tavalla rakentamisen edistyessä verraten niitä ennusteisiin. Oletetun lopullisen painuman laskeminen samoin kuin rakenteen ylimmän kerroksen suunnittelu tulee viedä loppuun heti, kun riittävät tiedot ovat saatavilla. (SFS-EN 14475:2006)

Jos painumaa on odotettavissa, päälle tehtävien kerrosten, rakentamista voidaan siirtää, kunnes tuleva painuma on päälle tehtävien rakenteiden painumatoleranssien puitteissa. Mikäli päälle tehtävät rakenteet aiheuttavat merkittävää lisäkuormaa, voi-

daan lujitettu maarakenne ylikuormittaa tulevaan kuormitusasteeseen. (SFS-EN 14475:2006)

Suunnitelmissa on esitettävä mm. lujitteelta, täyttömateriaalilta ja niiden yhteistoiminnalta edellytettävät ominaisuudet, joita on käytetty lujitetun rakenteen mitoituksessa. Tiedot on esitettävä siten, että lujitteen ominaislujuuden määrittäminen on mahdollista yksikäsitteisesti. Ominaislujuusvaatimusta ei esitetä suunnitelmissa, ellei jostakin erityisestä syystä ole tarpeen ilmoittaa lujitteen minimilujuutta. Esimerkki suunnitelmassa esitettävistä ominaisuuksista on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 4.7 Joitakin suunnitelmien tulosten näkökohtia. (SFS-EN 14475:2006)

OSA	ERITYISVAATIMUKSET
Yleistä	Muoto, mukaan lukien: <ul style="list-style-type: none"> - pohjapiirros - poikkileikkaukset , leikkauspiirustukset ja leikkausten sijainti Kuivatus Rakentamisvaiheet Tarkastus ja valvonnan taso, rakentamistoleranssit Ilmasto-olosuhteet
Täyttö	Fysikaaliset ominaisuudet: <ul style="list-style-type: none"> - tilavuuspaino - partikkelikokojakauma (D_{max}, raekokosuhte) - leikkauskestävyyskulma ja koheesio suunnitelluilla jännitystasoilla - vesipitoisuus - häiriintyvyys ja routivuus tarvittaessa.
Valittu täyttömaa	Fysikaaliset ominaisuudet: <ul style="list-style-type: none"> - enimmäistilavuuspaino ja optimivesipitoisuus - partikkelikokojakauma ja/tai leikkauskestävyyskulma ja koheesio suunnitelluilla jännitystasoilla Sähkökemialliset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet: <ul style="list-style-type: none"> - maa-aineksen vähimmäisominaisvastus - pH vähintään/enintään - kloridien ja sulfaattien enimmäispitoisuudet - orgaanisten aineiden ja sulfidien enimmäispitoisuudet. Routivuus tarvittaessa Sijoittamisvaatimukset: <ul style="list-style-type: none"> - tiiviysvaatimus (kuivatiheys) - vesipitoisuus tiivistettäessä - kerroksen paksuus - asennus- ja tiivistysmenetelmä.
Lujite	Kaikki lujitetyypit: <ul style="list-style-type: none"> - tyyppi ja kokoonpano, asentamissuunta, saumat ja liitokset - lyhyt- ja pitkäaikainen mitoituslujuus (molempiin suuntiin) - täyttömaan ja lujitteen yhteistoiminta (mitä α-arvoa käytetty mitoituksessa) - täyttömaan raekokoon ja mekaaniset vauriot (kerroin) - rakenteen sijainti - koenäytteiden asentaminen - käyttöikä Teräsradoite: <ul style="list-style-type: none"> - teräslaatu - verkon silmäkoko ja langan paksuus eri suunnissa - pinnoitteen tyyppi. Synteettinen lujite: <ul style="list-style-type: none"> - virumiskäyttäytyminen standardin EN ISO 13431 "Geotextiles and geotextile-related products - Determination of tensile creep and creep rupture behaviour" mukaisesti. - lujitteiden esijännitys.
Pinnoitus ja liitokset	Tyyppi ja muodot, ulkonäkövaatimukset Pinnoituksen toimintataso, lujitteen ja pinnoituksen välisen liitoksen toiminta Tuulen enimmäisnopeus suurten paneelien pystyttämistä varten
Viherpintojen pääl- limmäinen maa-aines	Fysikaaliset ominaisuudet: <ul style="list-style-type: none"> - partikkelikokojakauma - orgaanisen aineen pitoisuudet Kemialliset ominaisuudet: <ul style="list-style-type: none"> - pH vähintään/enintään Hydrauliset ominaisuudet: <ul style="list-style-type: none"> - vedenpidätyskyky

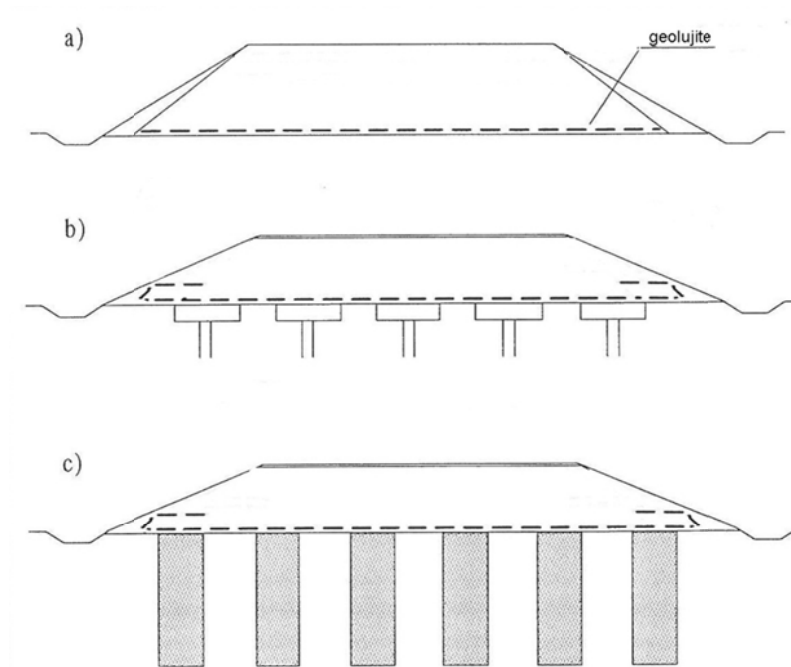
5 Lujitettu maanvarainen pengerrus pehmeiköllä

5.1 Rakennetyypit

Lujitettua maarakennetta käytetään pehmeälle pohjalle tehdyissä penkereissä parantamaan rakenteen stabiiliteettia. Lujitetta voidaan käyttää myös paalutetuissa tai stabiloiduissa penkereissä sekä rakennettaessa penkereitä alueille, missä voi esiintyä paikallisia vajoamia (kuva 5.1). Ratkaisutavan valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat:

- rakennuspaikan pohjasuhteet eli maan kerrosrakenne ja maakerrosten geotekniset ominaisuudet,
- kuormitus eli penkereen korkeus ja sille tulevat ulkoiset kuormat sekä
- sallittavat kokonaispainumat ja painumaerot.

Kuvassa 5.1a esitetyn rakenteen mitoitus on käsitelty luvussa 5.1a ja kuvien 5.1b ja c mitoitus luvussa 7.



Kuva 5.1 Geolujitteiden käyttö pehmeiköllä perustettavassa penkereessä. a) maanvarainen tiepengerrus, b) paalujen+paaluhattujen ja c) pilaristabiloinnin varainen tiepengerrus.

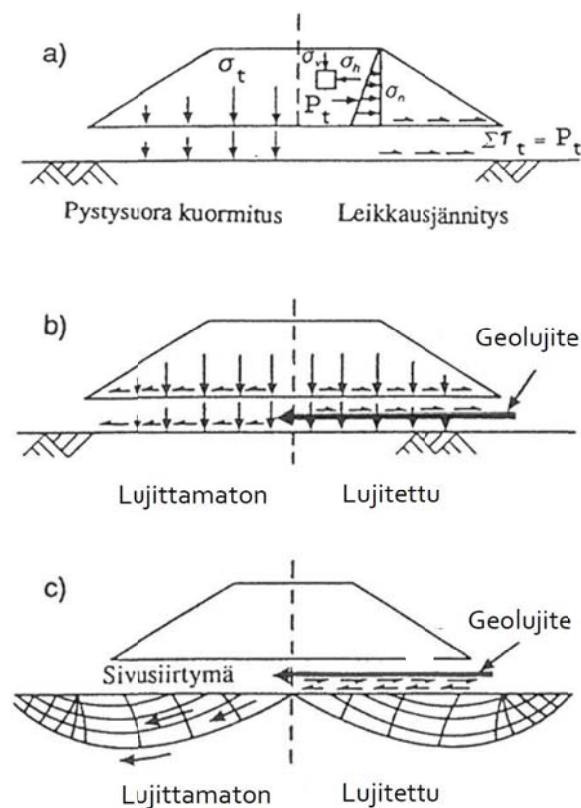
5.2 Maanvarainen pengerrakenne pehmeiköllä, mitoitus

5.2.1 Lujitetun maanvaraisen penkereen toimintatapa

Penkereestä maapohjalle tulevia kuormituksia ovat pengermateriaalin omasta painosta pohjamaan pintaan aiheutuva pystysuora jännitys ja vaakasuora maanpaine (kuva 5.2). Pohjamaan pintaan asennettu lujite estää vaakasuorien siirtymien syntymistä ja parantaa siten rakenteen kantavuutta. Lisäksi lujite estää pengermateriaalin paikallisen uppoamisen pohjamaan ja kasvattaa pohjamaan murtokuormaa.

Lujite sijoitetaan tavallisesti pengerrakenteen ja pohjamaan väliin ja/tai tarvittaessa yhteen tai useampaan tasoon pengerrakenteen sisällä.

Penger voidaan lujittaa myös käyttämällä ns. geokennoa, joka muodostuu vaakaja pystysuoraan asennetuista geoverkoista. Kennorakennetta on Suomessa käytetty muutamassa koerakenteessa siten, että kennorakenteen sisällä on käytetty kevytsoraa (Viatak 1997) tai stabiloitua kevytsoraa (Tarkkala 1990). Ko. koerakenteiden kokemukset eivät ole kannustaneet geokennon käytön yleistymiseen Suomessa.



Kuva 5.2 Lujitteen toiminta pehmeiköille perustetun maanvaraisen penkereen tapauksessa. (Jewell 1987)

5.2.2 Mitoitusperusteet

Geolujitteella lujitetun penkereen mitoitus tehdään yleensä kaksivaiheisesti ja vaativissa tapauksissa kolmivaiheisesti, jotta lujitteelta vaadittavat ominaisuudet saadaan hyväksyttävästi määritettyä. Ensimmäisessä vaiheessa, sen jälkeen, kun on todettu maanvaraisella penkereellä geolujitteen tarve, määritetään alustavasti penkereen mitat ja geolujitteelta vaadittava vetolujuus plastisuusteoriaan perustuvilla kantavuus- ja maanpaineakaavoilla. Toisessa vaiheessa tarkistetaan rakenteen kokonaisvakavuus liukupinta-analyysillä. Kolmannessa vaiheessa tehdään tarvittaessa perusteellisempi rakenneanalyysi numeerisia menetelmiä käyttäen. (Aalto et al. 1998). Esimerkkilaskelma maanvaraisesta penkereestä pehmeiköllä on liitteessä 4.

Penkereen epätasainen painuma lisää jonkin verran lujitteeseen kohdistuvaa veto-voimaa. Painumasta lujitteeseen aiheutuvaa vetovoimaa voidaan arvioida likimäärin kuvan 5.5 perusteella. Painuman vaikutusten arviointiin tarvittavat siirtymätarkastelut voidaan tarvittaessa tehdä elementtimenetelmään perustuvilla laskentaohjelmilla. Elementtimenetelmän käyttö on suositeltavaa vaikeissa maaperäolosuhteissa, kuten esimerkiksi rakennettaessa penkereitä hyvin pehmeän saven tai turpeen varaan sekä vesistöalueilla liejun ja liejusaven varaan. Numeerinen tarkastelu on tehtävä silloin, kun lujittamattoman penkereen ominaisarvoilla laskettu kokonaisvarmuusluku on $\leq 1,1$. (Aalto et al. 1998)

Lujitetun maanvaraisen penkereen lujitteelle sallitut venymän ja viruman arvot on esitetty kohdassa 4.3. Penkereen ja pohjamaan leikkausvastuksen ominaisarvoksi valitaan suurten siirtymien periaatteen mukaiset arvot. Penkereen tilavuuspainona käytetään vaarallisinta odotettavissa olevaa penkereen tilavuuspainon arvoa ja huokospaineotaksumaa (esimerkiksi veden kyllästävät vetohalkeamat). (Aalto et al. 1998)

Lujitetta valittaessa voidaan ottaa huomioon koheesiomaan konsolidoitumisesta johtuva pohjamaan leikkauslujuuden kasvu ja sen vaikutus lujitteeseen kohdistuvan kuormituksen kesto aikaan (suunnitteluikään). Pohjamaan lujittuessa alenee lujitteeseen penkereestä ja liikennekuormasta aiheutuva lujitevoima.

5.2.3 Vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima, STR/GEO DA2*

Lujitteen tulee pystyä vastustamaan vaakasuorista voimista aiheutuvaa penkereen sivuttaista liukumista lujitteen yläpintaa pitkin. Penkereen vaakasuorasta maanpaineesta geolujitteeseen mobilisoituva voima T_{ds} voidaan laskea yhtälöllä 5.1 (kuva 5.3).

$$T_{ds} = K_a H \left(\frac{1}{2} \gamma_G \gamma' H + \gamma_Q q \right) \quad (5.1)$$

missä

T_{ds} on vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittavan lujitevoiman mitoitusarvo, kN/m

K_a Rankinen aktiivimaanpaine kerroin ($\phi'_d = \phi'_c$), -

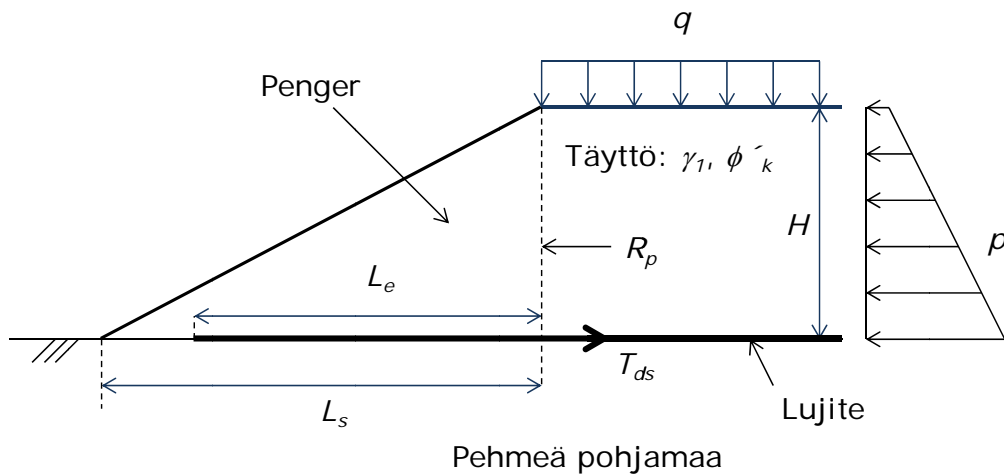
H penkereen korkeus, m

γ' pengermateriaalin tehokas tilavuuspaino, kN/m³

γ_G pysyvien kuormien osavarmuusluku (NCCI 7: taulukko A.3a(FI)), -

γ_Q muuttuvien kuormien osavarmuusluku (NCCI 7: taulukko A.3a(FI)), -

q tasainen pintakuorma (liikennekuorma), kN/m²



Kuva 5.3 Sivuttainen liukumiskestävyys lujitteen yläpintaa pitkin. p = penkereen ja liikennekuorman muodostama maanpaine, R_p = maanpaineen resultantti.

Lujitteen ja pengermateriaalin välinen leikkauskestävyys luiskan alla voidaan laskea yhtälöllä 5.2.

$$R_{ds} = \frac{h L_e \alpha_{ds} \gamma' \tan \phi'_c}{\gamma_s} \quad (5.2)$$

missä

- R_{ds} on leikkauskestävyyden mitoitussarvo, kN/m
 h täytön keskimääräinen korkeus lujitteen tartuntapituudella. h :lle suositellaan käyttämään konservatiivista arvoa $h = H/2$, m
 L_e lujitteen tartuntapituus, m
 α_{ds} pengermateriaalin ja lujitteen välisen leikkauskestävyysskulman liukuvas-
 tuksen korjauskerroin, -
 ϕ'_c pengermateriaalin kriittisen tilan leikkauskestävyysskulma, °
 γ_s osavarmuusluku liukumiselle lujitteen pintaa pitkin = 1,1 (NCCI 7: $\gamma_s = \gamma_{R,h}$, taulukko A.5(FI), Sarja R2), -

Lujitteen ja pengermateriaalin välisen leikkauskestävyyden tulee täyttää yhtälön 5.3 mukainen ehto.

$$T_{ds} \leq R_{ds} \quad (5.3)$$

Yhdistämällä yhtälöt 5.2 ja 5.3 saadaan lujitteen pienin vaadittava tartuntapituus yhtälöllä 5.4. Mikäli tarvittava tartuntapituus on suurempi kuin tarkasteltava luiskan leveys, $L_s \leq L_e$, voidaan tarvittava tartuntapituus saavuttaa taivuttamalla lujite penkereen sisään kuvan 5.1 b periaatteen mukaisesti.

$$L_e \geq \frac{T_{ds} \gamma_s}{h \alpha_{ds} \gamma' \tan \phi'_c} \quad (5.4)$$

5.2.4 Pohjamaan puristuminen sivulle, STR/GEO DA2*

Penkereen geometria aiheuttaa ulkoisia leikkausjännityksiä pehmeään pohjamaan (kuva 5.4a). Kun pohjamaa on hyvin pehmeää ja sen kerrospaksuus on pieni, ulkoiset leikkausjännitykset voivat aiheuttaa perustuksen puristumista sivusuunnassa pois penkereen alta. Tämän ehkäisemiseksi penkereen luiskaleveyden L_s (m) ja lujitteen tartuntapituuden L_e tulee olla riittävän pitkät, jotta lujitteeseen mobilisoituu riittävä jännitys.

Kuvan 5.4b mukaisesti kestävyuden takaamiseksi pohjamaassa vaikuttavien voimien tulee täyttää ehto:

$$R_{ha} \leq \frac{R_{hp} + R_S + R_R}{\gamma_s} \quad (5.5)$$

missä

R_{ha}	on	penkereen kuormituksen aiheuttama vaakavoima, kN/m
R_{hp}		passiivisen maanpaineen aikaansaama vaakavoima, kN/m
R_S		syvyydellä z_D vaikuttava pohjamaan leikkauskestävyys, kN/m
R_R		lujitteen ja pohjamaan rajapinnan leikkauskestävyys luiskan alla, kN/m

Yhtälössä (5.5) esitetyt leikkauskestävyydet saadaan kuvan 5.4c mukaisesti yhtälöistä 5.6 ja 5.7.

$$R_R = \alpha_c c_{u,2} L_e \quad (5.6)$$

$$R_S = L_e (c_{u,3} + \xi z_3) \quad (5.7)$$

missä

α_c	on	pohjamaan ja lujitteen välisen koheesion liukuvastuksen korjauskerroin, -
$c_{u,2}$		suljettu leikkauslujuus lujitteen alapuolisessa maakerroksessa, kN/m ²
$c_{u,3}$		suljettu leikkauslujuus maakerroksessa, jossa murtopinta kulkee, kN/m ²
ξ		leikkauslujuuden kasvu syvyyden kasvaessa, kN/m ² /m
z_3		kerrospaksuus, jolla leikkauslujuuden kasvu on tapahtunut, m

Pohjamaan sivulle puristumisen oletetaan olevan lähellä pohjamaan pintaa tapahtuva murtotyyppi. Tästä johtuen luiskakaltevuuden ollessa välillä 1:1,5...1:4, suositellaan pohjamaan kerrospaksuutena laskennassa käyttämään enintään $z_{max} = 1,5 \times H$. Tällöin suurin tartuntapituus saadaan olettamalla murtopinta em. pohjamaan kerrospaksuuden z_{max} syvyyteen ($z_D = z_{max}$). Mikäli leikkauslujuus kasvaa syvyyden kasvaessa, tulee murtopinnan syvyyttä iteroida välillä 0... z_{max} suurimman tarvittavan tartuntapituuden määrittämiseksi.

Murtopinta kulkee pohjamaassa heikoimman kerroksen kautta. Mikäli pohjamaassa on pehmeän kerroksen yläpuolella kovempi kerros (esim. kuivakuorisavi), penkereen kuormituksen ja passiivisen maanpaineen aikaansaamien vaakavoimien R_{ha} ja R_{hb} osalta käsitellään pehmeän ja kovemman kerroksen muodostamaa syvyydelle z_D ulottuvaa maablokkia yhtenä homogeenisena kerroksena, jonka ominaisuudet voidaan laskea kerrospaksuuksien mukaan painotettuna keskiarvona.

Penkereen kuormituksen aiheuttama vaakavoima ja passiivisen maanpaineen aiheuttama vaakavoima voidaan laskea yhtälöistä 5.8 ja 5.9.

$$R_{ha} = z_D \left(\gamma_G H \gamma + \gamma_G z_D \frac{\gamma_m}{2} - \gamma_{G,sup} (2 c_{u,m} + \xi z_3) + \gamma_Q q_{pp} \right) \quad (5.8)$$

$$R_{hp} = z_D \left(z_D \frac{\gamma_m}{2} + (2 c_{u,m} + \xi z_3) \right) \quad (5.9)$$

missä

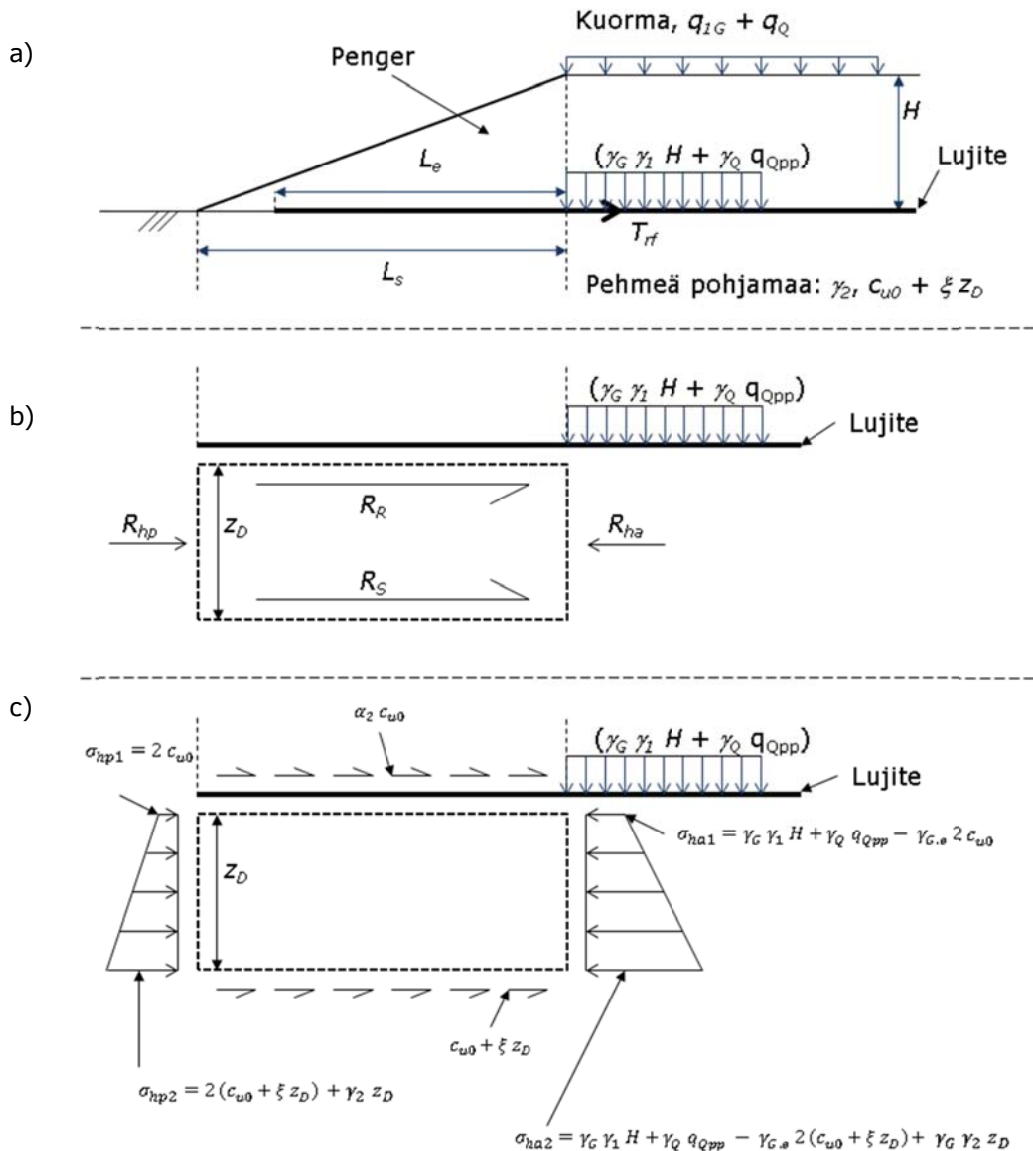
z_D	on tarkasteltavan maablokin syvyys, m
γ_m	maablokin kokonaistilavuuspaino, kN/m ³
$\gamma_{G,sup}$	pysyvien edullisten kuormien osavarmuusluku, -
$c_{u,m}$	maablokin suljettu leikkauslujuus, kN/m ²
q_{pp}	muuttuva kuorma penkereen pohjalla (kuvan 3.5 nomogrammista), kN/m ²

Sijoittamalla yhtälöt 5.6 ja 5.7 lausekkeeseen 5.5, voidaan laskea vaadittava tartuntapituus L_e (yhtälö 5.10). Mikäli tartuntapituus on suurempi kuin luiskan leveys, luiskaa on loivennettava kunnes ehto $L_s \geq L_e$ täyttyy.

$$L_e = \frac{R_{ha} \gamma_s - R_{hp}}{\alpha_c c_{u,2} + c_{u,3} + \xi z_3} \quad (5.10)$$

Vaadittavan tartuntapituuden perusteella lasketaan pohjamaan leikkausjännityksistä lujitteeseen aiheutuva vetovoima T_{rf} (kN/m) yhtälöllä 5.11.

$$T_{rf} = \alpha_c c_{u,2} L_e \quad (5.11)$$



Kuva 5.4 Pohjamaan sivulle puristuminen. a) penkereessä vaikuttavat kuormat ja voimat, b) maapohjassa vaikuttavat voimat ja c) maapohjan jännitykset (Nordic Geosynthetic Group 2005).

5.2.5 Lujitetun penkereen painuma ja muodonmuutokset, SLS

Penkereen muodonmuutosanalyysin avulla voidaan tarkastella lujitetun penkereen toimivuutta käyttötilassa. Samalla voidaan tarkistaa stabiilitetitarkasteluissa lasketujen voimien ja jännitysten mobilisoitumista. Täydellinen tarkastelu edellyttää yleensä numeerista analyysiä (FEM).

Seuraavassa on esitetty likimääräismenetelmä lujitetun penkereen painumasta aiheutuvan lujitteen venymän arvioimiseksi (kuva 5.5). (Aalto et al. 1998)

Lujittamattoman penkereen painuma lasketaan ja lujitetun penkereen painuma arvioidaan sen avulla yhtälöllä 5.12.

$$S_v = 0,9 \dots 1,0 * S_{max} \quad (5.12)$$

missä

S_v on lujitetun penkereen painuma, m

S_{max} lujittamattoman penkereen maksimipainuma, m

Lujitetun penkereen painuman jakautuminen otaksutaan kuvan 5.5 mukaiseksi. Lujitteen pituuden muutos saadaan yhtälöstä 5.13.

$$\Delta l = \sqrt{S_v^2 + n^2 H^2} - n H \quad (5.13)$$

missä

Δl on lujitteen pituuden muutos, m

n penkereen luiskakaltevuuden suhdeluku (1:n), -

H penkereen korkeus, m

Lujitteen pituudenmuutosta vastaava keskimääräinen venymä määritetään yhtälöllä 5.14 ja epätasaisesta painumasta johtuva lisävoima yhtälöllä 5.15.

$$\varepsilon = \frac{2}{B - n H} \Delta l \quad (5.14)$$

$$T_{RS} = \varepsilon J \quad (5.15)$$

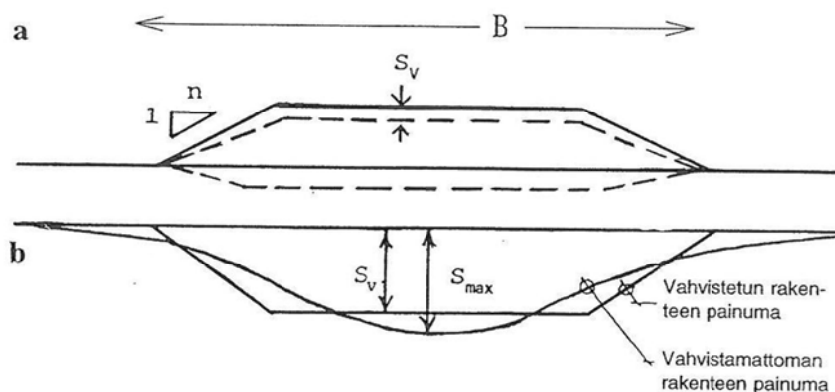
missä

ε on lujitteen pituuden muutosta Δl vastaava venymä, -

B penkereen leveys, -

J lujitteen muodonmuutosmoduuli, kN/m

Laskettua venymää vastaava lujitteen muodonmuutosmoduuli saadaan lujitemateriaalin voima-venymäkäyrästä. Painumaeroista aiheutuvat lisäjännitykset lujitteessa ovat merkittäviä vasta suurilla painuman arvoilla. Suurista pitkäaikaisista painumista aiheutuva lujitteen lisäjännitys saattaa mitätöidä pohjamaan konsolidoitumisesta johtuvan maan lujuuden kasvun vaikutuksen lujitteen vetojännityksen alenemiseen. (Aalto et al. 1998)



Kuva 5.5 Lujitetun ja lujittamattoman penkereen painuma. (Carlsson 1987)

5.2.6 Vetovoima lujitteessa murtorajatilassa

Alustava arvio lujitteelta vaadittavasta kokonaisvoimasta T_d saadaan laskemalla yhteen edellä määritetyt vaadittavat lujitevoimat T_{ds} ja T_{rf} . Lujitteen ankkurointipituuden riittävyys on myös tarkistettava.

$$T_d = T_{ds} + T_{rf} \quad (5.16)$$

missä

T_d on geolujitteelta vaadittava kokonaisvoima, kN/m

T_{ds} penkereen vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima, kN/m

T_{rf} pohjamaan leikkausjännityksen vastustamiseen vaadittava lujitevoima, kN/m

Tavallisesti epätasaisesta painumasta johtuvaa lisävoimaa ja tilapäistä kuormitusta ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti kuormitusyhdistelmissä. Lujitteen mitoituslujuuden tulee kuitenkin täyttää seuraavat ehdot:

$$f_d \geq T_d + T_{rs} \quad \text{kun } T_{rs} \geq T_d$$

$$f_d \geq T_d \quad \text{kun } T_{rs} < T_d$$

missä

f_d on lujitteen mitoituslujuus, kN/m

T_{rs} penkereen epätasaisesta painumasta johtuva lisävoima, kN/m

6 Lujitettu levennetty tiepenger

6.1 Mitoitustapaukset

Tiepenkereen leventäminen tapahtuu yleensä vanhojen teiden perusparannusten yhteydessä, jossa tien poikkileikkausta levennetään tien liikennekapasiteetin tai liikenneturvallisuuden parantamiseksi ajokaistoja leventämällä, piennaralueita leventämällä, tekemällä uusi ajokaista, jne. (Uotinen 1996).

Levennetyissä pengerrakenteissa levennysosa painuu yleensä enemmän kuin vanha penger, koska maapohja on tiivistynyt tai konsolidoitunut (ja lujittunut) vanhan penkereen kuormituksen takia. Varsinkin kapeiden levennysten (leveys < 3 m) tapauksessa painumaa aiheuttaa myös uusien rakennekerrosten tiivistämisen vaikeus. Epätasainen painuma aiheuttaa usein pitkittäishalkeamia levennyksen ja vanhan penkereen saumakohtaan ja tätä kautta rakennekerroksiin kulkeutuvat pintavedet heikentävät rakenteen kantavuutta ja aiheuttavat mahdollisesti routavaurioita. (Aalto et al. 1998)

Lujitetun kuten myös lujittamattoman levennysrakenteen tapauksessa on levennysosaan tehtävä routanousuerojen välttämiseksi samanlainen rakenne kuin vanhasa rakenteessa. Levennyksessä alusrakenteen pinnan tulee viettää lähimpään sivuojaan kuivatuksen varmistamiseksi. Levennysosan tiivistämistyön helpottamiseksi vanhaa pengerluiskaa on leikattava. (Aalto et al. 1998)

Geolujitteet soveltuvat hyvin ja niistä on selvää hyötyä verrattuna lujittamattomaan levennysrakenteeseen seuraavissa tapauksissa (Uotinen 1996):

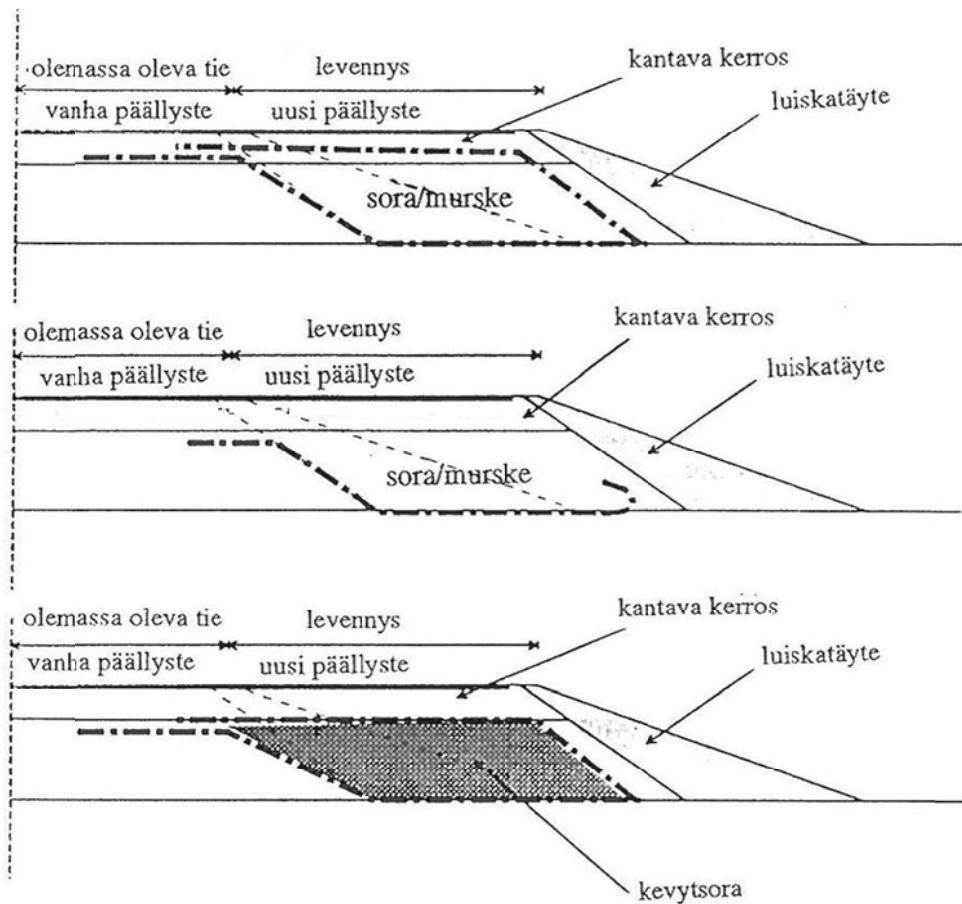
- Pohjamaassa ei ole erillistä kuivakuorikerrosta tai se on ohut ja/tai rikkoonnut esimerkiksi sivuojen takia, eikä sen lujuus ole merkittävästi alla olevan pohjamaan lujuutta suurempi. Sivukaltevuuden muutos levennyksen kohdalla ei kuitenkaan saa olla suurempi kuin 1,5...2,0 %, sillä tällöin geolujitteilla ei pystytä riittävästi tasaamaan painumaa ja rajoittamaan sivusiirtymiä.
- Levennyksen yhteydessä luiskaa jyrkennetään esimerkiksi tilanpuutteen takia.
- Kevytsoiran kanssa käytettynä geolujitteilla voidaan pienentää levennysosan sivusiirtymiä noin 20...30 % verrattuna lujittamattomaan kevytsoralevennykseen.

Geolujitettu levennys voidaan toteuttaa joko leveänä rakenteena loivalla luiskalla, jolloin rakennetta tarkastellaan samoilla periaatteilla kuin geolujitettua pengertä pehmeiköllä, tai jyrkällä luiskalla, jolloin rakenne on lähempänä tukimuurityyppistä ratkaisua kantavalla pohjalla (penger kantavalla pohjamaalla tai pohjavahvistuksen/-rakenteen päällä).

Geolujitteen käyttö tiepenkereen leventämisessä on aina hyvin tapauskohtainen käytävissä olevan tilan, rakenteen geometrian, pohjamaan ominaisuuksien ja valmiiseen rakenteeseen kohdistuvien vaatimusten (tasaisuus, kantavuus) osalta. Tämän takia myös mitoitus on tehtävä tapauskohtaisesti ja erilaisia rakennevaihtoehtoja on vertailtava. Kuvassa 6.1 on esitetty esimerkkejä geolujitetuista levennysrakenteista.

Kuvassa 6.1 kahdessa poikkileikkauksessa esitetty geolujitteen asentaminen pussirakenteeksi on kapeissa alempiluoikkaisten teiden levennyksessä toimivaksi havaittu

menettely, mutta korkealuokkaisemilla teillä tehtävissä levennyksissä on erillisistä lujitekaistoista toteutettava lujiteratkaisu havaittu niin toteutuksen kuin toimivuuden kannalta suositeltavammaksi. (Forsman 2001)



Kuva 6.1 Periaatekuva erilaisista geolujitetuista levennysrakennetyypeistä (Uotinen 1996). Korkealuokkaisemilla teille ja leveissä levennyksissä ylin ja alin rakenne on suositeltavaa tehdä käyttäen kahta erillistä lujitetta (ei ”pussirakennetta”).

6.2 Loivaluiskainen tien levennys

6.2.1 Mitoitusperusteita

Geolujitetun levennyksen suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan lujittamattoman levennetyksen pengerrakenteen kokonaisstabiliteettia ja tarpeen mukaan mahdollisuutta parantaa stabiliteettia lujitteen avulla. Levennysrakenteissa geolujitteella ei varsinaisesti haeta kokonaisstabiliteetin parantamista ja kapeiden levennysten yhteydessä se ei useinkaan ole edes mahdollista. (Aalto et al. 1998)

Toisessa vaiheessa tarkastellaan lujittamattoman levennysrakenteen aiheuttamia muodonmuutoksia. Jos lujittamattoman rakenteen käyttötilan muodonmuutokset todetaan liian suuriksi, aletaan tarkastella lujitettua rakennetta. Geolujitetun rakenteen mitoituksessa tarkastellaan maan ja lujitteen välistä yhteistoimintaa, penkereen si-

säistä ja ulkoista stabiiliteettia, arvioidaan lujitteeseen kohdistuvia voimia sekä rakenteen muodonmuutoksia. Teoreettisten tarkastelujen ja analyttisten laskentamenetelmien lisäksi mallintaminen voidaan tehdä käyttäen apuna numeerisia laskentamenetelmiä, joiden avulla lujitetun rakenteen vaak- ja pystysiirtymät ovat hallittavissa. (Aalto et al. 1998)

6.2.2 Penkereen kokonaisstabiiliteetti

Geolujitteen toiminta levennetyn penkereen kokonaisvakavuuden parantamisessa muodostuu kahdesta osatekijästä. Lujite alentaa levennysosan pohjamaahan aiheuttamia leikkausjännityksiä silloin, kun lujite on suoraan pohjamaan ja pengerrakenteen välissä, lähellä maanpintaa. Toisaalta lujite lisää penkereen leikkausvastusta. Leikkausjännityksen vähenemistä pohjamaassa ei oteta huomioon stabiiliteettitarkastelussa, vaan se toimii lisävarmuutena. Lähemmäksi penkereen yläpintaa sijoitettuna lujite vastaavasti pienentää leikkausjännityksiä itse pengerrakenteessa ja pienentää näin leikkausjännityksistä aiheutuvia vaakasiirtymiä penkereen yläpinnassa. (Aalto et al. 1998) Penkereen yläpintaan sijoitettu lujite parantaa myös tierakenteen kuormituskestävyyttä (kuormituskestävyyksimitoitus ei sisälly tähän käsikirjaan).

Levennetyn penkereen kokonaisstabiiliteetin tarkastelu liukupinta-analyysillä tehdään vastaavasti kuin tavallisen lujittamattoman tai lujitetun penkereen tarkastelu (5.2.6) joko kokonaisjännityksiin perustuvalla $\phi = 0$ -menetelmällä (lyhyen ajan / rakentamisaajan vakavuus) tai tehokkaisuuteen jännityksiin perustuvalla $c' \phi'$ -menetelmällä (pitkän ajan vakavuus).

6.2.3 Vanhasta penkereestä aiheutuvat jännitykset pohjamaassa

Klassisessa maamekaniikassa tiepenkereen jännityslaskelmat painumien ja siirtymien määrittämiseksi suoritetaan yleensä Boussinesqin jännitysjaakaudateoriolla, joka perustuu lineaariseen kimmoteoriaan. Maapohjan luonnontilainen pystyjännitys σ_{v0} lasketaan maakerroksen tilavuuspainon perusteella (yhtälö 6.1). Luonnontilaiseen jännitykseen lisätään vanhan penkereen aiheuttamat lisäjännitykset σ_{zv} (kN/m²). Näin saadaan selville ennen leventämistä vallitseva pystyjännitys $\sigma_{v0} + \sigma_{zv}$. (Aalto et al. 1998)

$$\sigma_{v0} = \sum_i \gamma_i z_i \quad (6.1)$$

missä

σ_{v0} on luonnontilainen pystyjännitys, kN/m²
 γ_i kerroksen i tilavuuspaino, kN/m³
 z_i kerroksen i paksuus, m

Edellä esitettyssä teoriassa oletetaan, että penkereellä ei ole lujuutta ja penkereestä aiheutuvat kuormat ovat pystysuoria; näin teorian pohjalta ei voida tarkastella holvaantumisen vaikutusta jännitysten jakaumiin eikä teorian avulla voida myöskään huomioida pohjamaan kerroksellisuutta. Kerroksellisuuden huomioon ottaminen edellyttää esimerkiksi Burmisterin kerrosteorian tai Odemarkin likimääräismenetelmän käyttöä. (Aalto et al. 1998)

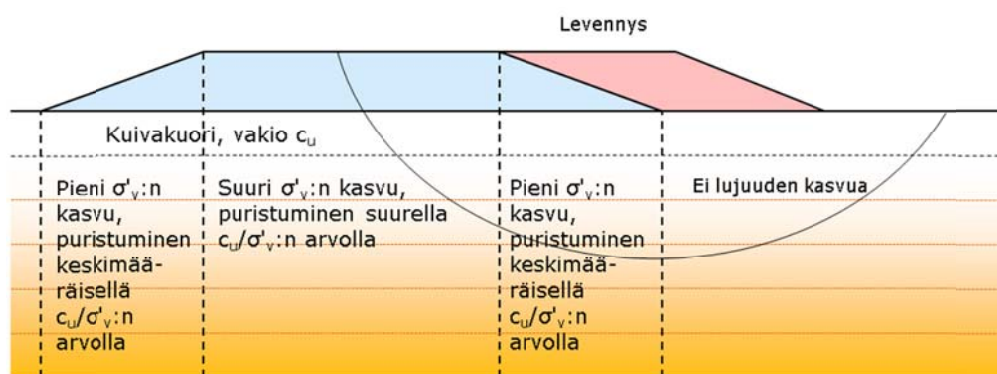
6.2.4 Vanhan penkereen painuminen

Levennyksrakenteen painumien ennustamisen kannalta on oleellista tietää, missä vaiheessa vanhan penkereen painuminen on ja kuinka suuria lisäpainumia on vielä odotettavissa. Tarkempi arviointi edellyttää pohjamaan jännitysmuodonmuutosominaisuuksien tutkimista hyväksi havaituilla menetelmillä (ödometri-, kolmiakksiaalikoheet). Primaariset muodonmuutokset voidaan laskea luonnontilaisista näytteistä laboratoriokokein määritetyn moduuliluvun m ja jännitysekspONENTIN β avulla. Vanhan penkereen käyttöajan painumanopeutta voidaan arvioida konsolidaatioasteen U_p ja aikatekijän T_v vuorosuhteena. Tarvittaessa primaarista konsolidaatiovaihetta seuraavan sekundaaripainuman laskemiseen voidaan käyttää Buismanin menetelmää. (Aalto et al. 1998) Mikäli vanhasta penkereestä on käytettävissä painumahavaintoja, voidaan tulevaa painumaa arvioida mm. painumapotentialimenetelmällä, joka on esitelty Tiehallinnon julkaisussa (Länsivaara 2001).

6.2.5 Pohjamaan parametrien muuttuminen konsolidaation yhteydessä

Vanhan tiepenkereen alla olevat maakerrokset lujittuvat ja tiivistyvät konsolidaation johdosta. Kuormituksen alaisen saven suljettu leikkauslujuus kasvaa kuormitusajan kasvaessa. Lujuuden kasvua voi tapahtua myös sekundaarisen konsolidaation aikana. (Tanska 1993)

Lujuuden kasvua eri osissa vanhan tiepenkereen alla on havainnollistettu kuvassa 6.2. Levennyksrakennetta suunniteltaessa on tärkeää tehdä pohjatutkimuksia pohjamaan lujuus- ja muodonmuutosparametrien määrittämiseksi levennyksen suunnittelun aikaisessa tilassa. (Aalto et al. 1998)



Kuva 6.2 Pohjamaan lujuuden kasvun jakautuminen penkereen alla (Vepsäläinen 1994).

6.2.6 Levennyksen synnyttämät jännitykset ja muodonmuutokset pohjamaassa

Penkereen levennyksen (korotuksen) jälkeiset jännitykset pohjamaassa lasketaan samoissa pisteissä kuin vanhan penkereen alla on laskettu. Levennyksen aiheuttama jännityslisäys saadaan edellisten erotuksena. Jännitys- ja painumalaskelmat on syytä tehdä ainakin vanhan penkereen keskilinjalla, vanhan penkereen ja levennyksen saumakohdassa sekä levennyksen luiskan yläreunassa. (Aalto et al. 1998)

Levennyksen aiheuttamat painumat voidaan jakaa pengerrysvaiheen ja käyttötilan painumiin. Pengerrysvaiheen painumat tapahtuvat suljetun tilan alkupainumina ja ylikonsolidaatiovaiheen painumina. Pengerrysvaiheen painumat tapahtuvat rakenta-

misen aikana ja ne tasataan rakennusaikana ennen tien päällystämistä, joten yleensä vain käyttötilan painumilla on käytännössä merkitystä. Käyttötilan painuman komponentit pengerrysvaiheen jälkeen ovat:

1. Primaarinen konsolidaatiopainuma S_c (m)
2. Sekundaarinen konsolidaatiopainuma S_s (m)
3. Leikkausmuodonmuutosten aiheuttama painuma. (Aalto et al. 1998)

Leikkausmuodonmuutosten aiheuttamat painumat voidaan katsoa merkityksettömiksi, kun varmuusluku (kokonaisvarmuus) penkereen sortumisen suhteen on suurempi kuin 1,5 (Lerouil et al 1990). Primaarinen konsolidaatiopainuma ja sekundaari-painuma lasketaan vastaavasti kuin vanhan pengerrakenteen tapauksessa. Konsolidaatiopainuman nopeus lasketaan tilanteesta riippuen joko yksiulotteisiin Terzaghin ja Janbun tai kaksi- ja kolmiulotteisiin Terzaghi-Rendulicin ja Biotin konsolidaatioteorioihin perustuen. (Aalto et al. 1998)

Klassisilla menetelmillä on vaikeaa tarkastella itse penkereessä tapahtuvia muodonmuutoksia. Pystysuuntaisista siirtymistä jää arvioitavaksi pengermateriaalin tiivistymisen osuus. Sivusiirtymiä ja geolujitteen vaikutusta siirtymiin ei klassisilla menetelmillä voi arvioida. Sivusiirtymien suuruutta ja jakautumista sekä geolujitteen vaikutusta muodonmuutoksiin voidaan tarkastella numeerisiin menetelmiin perustuvilla tietokoneohjelmilla, joissa voidaan mallintaa myös geolujitteet. Klassisilla menetelmillä voidaan kuitenkin arvioida lujittamattoman levennetyn penkereen painumien ja painumaerojen suuruusluokka. (Aalto et al. 1998)

6.2.7 Levennetyn penkereen mitoitus

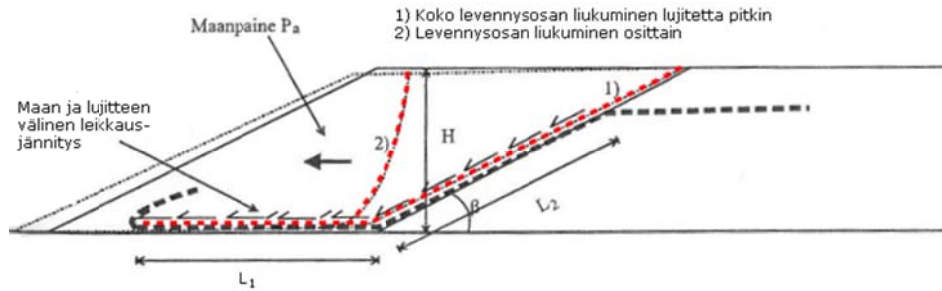
Loivaluiskaisen penkereen mitoitus tehdään pääsääntöisesti normaalin lujitetun penkereen mitoituksen mukaisesti (luku 5.2). Mitoituksessa on kuitenkin huomioitava pelkän pengerruiskan liukumisen lisäksi myös koko levennysosan liukuminen vahvistetta pitkin, sekä koko levennysosan liukuminen vahvisteen kanssa.

Levennysosan mahdollinen liukuminen lujitteen pintaa pitkin riippuu levennyksen ja penkereen geometriasta sekä erityisesti geolujitteen/-lujitteiden sijoittamisesta. Kääntämällä lujite ”pussirakenteeksi” voidaan lisätä lujitteen ja maan välistä liukuvastusta kapeissa levennyksissä. Levennysosa ei välttämättä liu’u kokonaisuudessaan vaan se voi esimerkiksi halkeilun takia liukua kuvan 6.3a tavalla 2), jolloin lujitteen osaan L_2 kehittyvää liukuvastusta ei voida ottaa tarkastelussa huomioon. (Uotinen 1996)

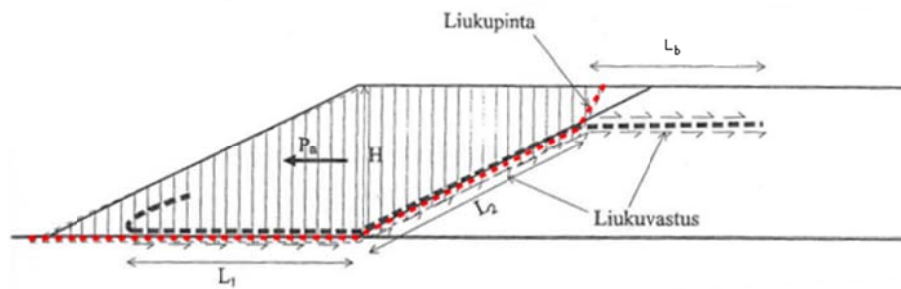
Toisessa tarkasteltavassa tapauksessa oletetaan, että levennysosa pyrkii liukumaan lujitteen kanssa, jolloin liukupinta muodostuu lujitteen alapuolen ja maan väliselle rajapinnalle (kuva 6.3b). Liukuvastusta laskettaessa lujitteen siltä osalta, mikä jää vanhan penkereen sisään on huomioitava, että liukuvastusta kehittyy lujitteen molemmille rajapinnoille. Mikäli lujitteen ankkurointisyvyys on hyvin pieni tai maakerros lujitteen yläpuolella on halkeillut saattaa lujitteen yläpuolinen maakerros liukua lujitteen mukana, jolloin lujite ankkuroituu ainoastaan alapinnallaan vanhan penkereen sisälle. Jos liukuvastus ei riitä, on ankkurointipituutta L_b lisättävä tai ankkurikestävyttä lisättävä kääntämällä lujite penkereen sisään tai kiinnittämällä lujite vanhaan penkereeseen. (Uotinen 1996)

Levennyksen liukuminen lujitteen kanssa voi olla mitoittava tekijä, kun lujitteena käytetään lujitekangasta ja esimerkiksi penkereeseen syntyvän halkeaman kautta tulevan veden tai pohjaveden virtauksen takia rajapinnalla liukuvastus (hetkellisesti) pienentyy merkittävästi. Liukuvastusta voi pienentää myös työvirhe, jossa lujite on asennettu vanhan penkereen heikon lujuuden omaavan luiskatäytteen päälle. (Uotinen 1996)

a)



b)



Kuva 6.3 Liukumismurron mekanismeja: a) levennysosan liukuminen lujitetta pitkin, b) levennys liukuu lujitteen kanssa. (Uotinen 1996)

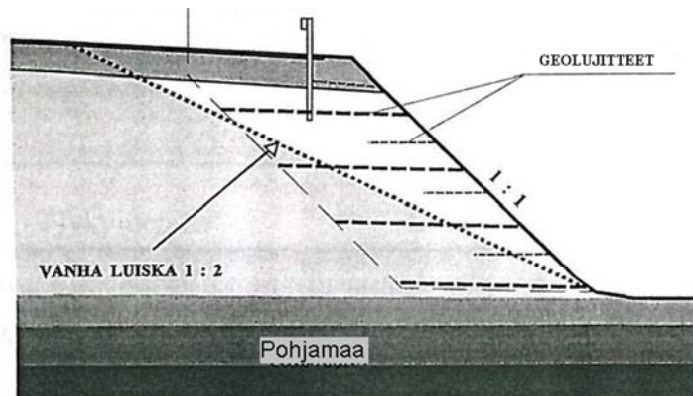
Tarkasteltaessa penkereen alapuolisen pohjamaan puristumista sivulle, lujitteen tartuntapituuden osalta tulee huomioida, että se on enimmäkseen levennyksen alla koko pohjamaan pinnalla sijaitsevan lujiteosan pituus (normaalissa lujitetussa penkereessä huomioidaan ainoastaan luiskan alapuolisen pohjamaan pinnalla sijaitsevan lujiteosan pituus).

Esimerkkilaskelma levennyksestä loivaluiskaisesta tiepenkereestä on esitetty liitteessä 5.

6.3 Jyrkkäluiskainen tien levennys

6.3.1 Mitoitusperusteita

Jyrkkäluiskainen tien levennys (kuva 6.4) on yhdistelmä kahdesta mitoitusperiaatteesta: maanvarainen pengeri sekä jyrkkä luiska/tukimuuri. Mikäli pohjamaa voidaan olettaa kantavaksi tai levennys sijaitsee pohjavahvistuksen/-rakenteen päällä, voidaan levennyksen mitoitus tehdä alla esitetyn, tukimuurilaskentaan perustuvan mitoituksen mukaisesti. Pehmeään pohjamaan tapauksessa mitoituksessa on yhdisteltävä sekä maanvaraisen penkereen että tukimuurin mitoitus.



Kuva 6.4 Jyrkkäluiskaisen geolujitetun tien levennyksen periaate. (Uotinen 1996)

6.3.2 Jyrkkäluiskaisen tien levennyksen mitoittaminen kantavalla pohjamaalla

Jyrkkäluiskainen tien levennys tehdään tukimuurimitoitukseen (luku 8) perustuen. Levennyksen ulkoisen stabiliteetin tarkastelu (kantokestävyys ja liukuma) sekä lujitteen ”julkisivun” taivutuksen (wrap-around) tarkastelu tehdään käyttäen penkereen päällä kuormana tasan jakautunutta liikennekuormaa.

Sisäistä stabiliteettia määritettäessä jyrkkäluiskaisen levennyksen mitoitus tulee tehdä erikseen tasan jakautuneelle kuormalle (tarkastelu 1) ja rengaskuormille (tarkastelu 2) kuvan 6.5 a) ja b) periaatteiden mukaisesti.

Tarkastelussa 1 liikennekuorma vaikuttaa koko päällysrakenteen pinnalla. Tasan jakautunut kuorma huomioidaan stabiliteettia heikentävänä kuormana (kuormitus) lujuitevoimaa määritettäessä, mutta lujitteiden ankkurointia tarkasteltaessa sitä ei huomioida stabiliteettia parantavana kuormana (ankkurointikestävyys).

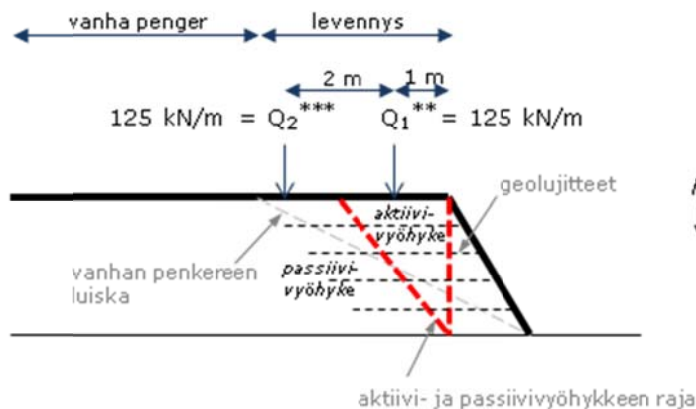
Tarkastelussa 2 tarkastellaan kahden akselikuorman muodostaman uloimman puolikkaan telikuorman vaikutusta tien reunassa (kuormakaavio LM1, kts. kuva 3.2: kuorma $2 \times 150 \text{ kN}$, joka vaikuttaa $2 \times 1,2 \text{ m}$ matkalla $0,4 \text{ m}$ leveällä alueella $\Rightarrow 125 \text{ kN/m}$, Liikennevirasto 2011a). Silloin kun levennys on kapea ja sisempi telikuorma vaikuttaa vanhan penkereen alueella lujitteiden ankkurivyöhykkeellä, tarkastelun 2 sisäisen stabiliteetin tarkastelussa telikuormista reunimmainen (ulompi) vaikuttaa vain kuormitusta lisäävästi ja sisempi vain ankkurointikestävyyttä lisäävästi (kestävyyden lisäys perustuu siihen, että ajoneuvon kaksi rengaskuormaa vaikuttavat penkereeseen aina yhtäaikaisesti, jolloin sisempi rengas lisää ulomman renkaan aiheuttaman lujuitevoiman ankkuroimiseksi tarvittavaa kapasiteettia). Mikäli sisempi telikuorma sijaitsee ankkurivyöhykkeen ulkopuolella, ei sitä voida olettaa ankkurikestävyyttä lisääväksi vaan se on oletettava lujitteiden kuormitusta lisääväksi kuormaksi.

Sisäistä stabiliteettia mitoittaessa jyrkkä luiska mallinetaan pystysuorana (kuva 6.5), jolloin mitoitus voidaan tehdä tukimuurimitoituksessa käytettävällä kiilamenetelmällä (luku 8). Telikuormat on menetelmässä mallinnettu anturakuormina. Lm1 liikennekuormituksen kuormittamaa levennystä ei voi mitoittaa luiskan mitoitusmenetelmällä (luku 9), jossa luiskan päällä vallitseva liikennekuorma mallinnetaan korotettuna luiskana – tämä tarkastelu vääristäisi 81 kN/m^2 kuormalla mitoitusgeometria korottamalla luiskan mitoituskorkeutta n. 4 m .

a)



b)



c)



- * kuorma lisää lujitteen vastaanottamaa lujitevoimaa, mutta sitä ei huomioida ankkurointikestävyyttä laskettaessa
- ** kuorma lisää lujitteen vastaanottamaa lujitevoimaa
- *** kuorma lisää ankkurointikestävyyttä

Kuva 6.5 Kapean jyrkkäluiskaisen tielevennyksen laskentaperiaate, kun pengker ja levennys on perustettu kantavan pohjamaan varaan: a) Tarkastelu 1, tasan jakautunut liikennekuorma penkereen päällä, b) Tarkastelu 2, ajoneuvosta aiheutuvat telikuormat penkereen päällä, c) Mitoituslujuuden muutos syvyyden suhteen tarkasteluissa 1 ja 2.

Kuvasta 6.5 c) nähdään, että tasan jakautuneella kuormalla mitoitussujuus penkereen yläosassa on pienehkö, kasvaen lineaarisesti penkereen pohjaa kohden. Telikuormalla mitoitaminen johtaa puolestaan suureen mitoitussujuuteen penkereen yläosassa, lujisuuden pienentyessä penkereen pohjaa lähestyttäessä. Tästä johtuen mitoitettava lujitevoima ja mitoitettava lujitepituus valitaan tarkasteluista 1 ja 2 siten, että valitaan suurempi lujitevoimista ja lujitepituuksista kerroksittain. Tarkastelujen 1 ja 2 lujitevoimia ei lasketa yhteen, koska molemmissa muuttuva kuorma aiheutuu tiellä liikkuvista raskaista ajoneuvoista.

Sisäisen stabiileetin mitoituksesta saataviin lujitepituuksiin on lisättävä mitoituksesta pois jätetyn luiskan osaan tuleva lujitepituus.

Esimerkkilaskelma jyrkkäluiskaisesta tien levennyksestä on esitetty liitteessä g.

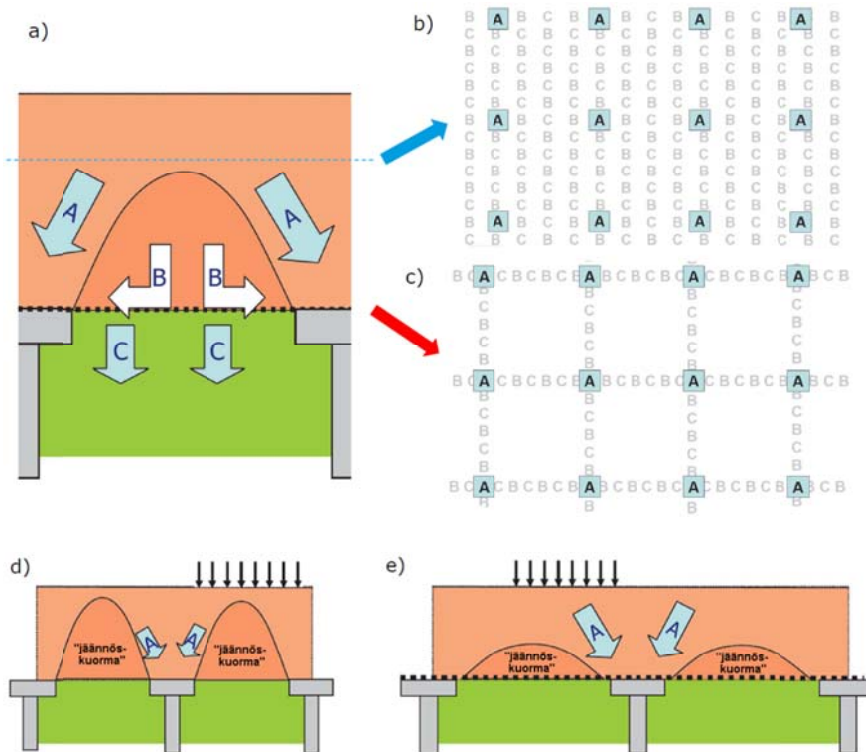
7 Paalujen tai syvästabiloinnin varainen lujitettu pengerr

7.1 Rakenteen toiminta

7.1.1 Paalutettu pengerr

Paalujen ja paaluhattujen varaan perustetuissa penkereissä voidaan käyttää geolujitteita, jotka tehostavat kuormien holvautumista paaluhatuille ja kannattavat paaluhattujen välissä olevan penkereen osaa, joka ei suoraan holvaannu paaluhatuille (kuva 7.1). Lisäksi geolujite varmistaa holvautumisen säilymisen dynaamisesti kuormitetussa penkereessä. Kannattaessaan paaluhattujen välistä pengertä geolujite siirtää penkereen pystysuorat kuormat paaluhatuille, jolloin paaluhattujen kokoa voidaan pienentää ja paaluväliä kasvattaa (paalujen kantokyky huomioiden). Lujite parantaa myös penkereen reunojen vakavuutta.

Geolujite ottaa vastaan penkereen sisäisen vaakasuoran maanpaineen, jolloin ko. maanpaineen vastaanottamiseen geolujitetussa paalutetussa penkereessä ei tarvita vinopaaluja sisäisen stabiliteetin varmistamiseksi. Paalujen kantokestävyys, paalukko, paaluhattujen rakenne ja penkereen ulkoinen stabiliteetti mitoitetaan Liikenneviraston ao. ohjeiden mukaisesti.



Kuva 7.1 Kuormien keskittyminen paaluhatuille geolujitetussa paalujen varaisessa penkereessä a) poikkileikkaus, b) kuormien jakaantuminen penkereen ylä- ja c) alaosassa lujitteen tasolla (ylhäältä päin tarkasteltuna), d) kuormien holvautuminen lujittamattomassa ja e) lujitetussa penkereessä. A = suoraan paaluhatuille holvautuva kuorma, B = lujitetussa rakenteessa paaluhatuilla holvautuva kuorma ja C = geolujitteen kannatteleva osa pengerr- ja liikennekuormasta. (Van Eekelen 2011)

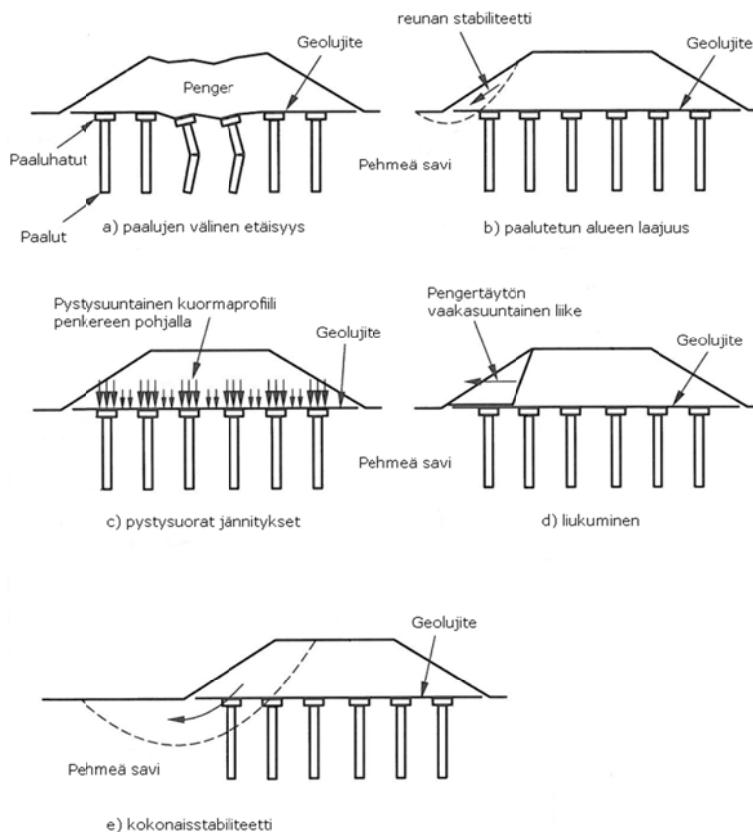
7.1.2 Syvästabiloitu penger

Kimmoisten stabilointipilarien päällä oleva lujite sekä holvaa kuormia pilareille että estää penkereen sivuttaista liukumista. Tällöin lujite toimii samalla tavoin kuin paalutetuilla penkereillä, ja mitoitus tehdään tässä luvussa esitetyn mukaisesti. Pilaristabiloinnin yläpuolisen penkereen holvautuminen ilman lujitteita on esitetty Stabiloinnin suunnitteluohjeessa (2010b). Ko. ohjeissa esitettyä pilareiden k/k-väliä on mahdollista useissa tapauksissa kasvattaa geolujitteilla tässä esitettyjä ohjeita soveltaen.

Eryteisesti stabilointipilareilla on huomioitava pilareiden välisen pohjamaan painumaan kuuluva konsolidaatioaika. Lopullinen pinnoite tulee tehdä vasta sitten, kun pilareiden välisen pohjamaan painuma on tapahtunut ja lujitteet venyneet niihin mobilisoituvan kuorman vaikutuksesta. Mikäli lopullinen pinnoite tehdään aikaisemmin, on riski, että pilareiden välit tulevat näkymään pinnoitteessa painumina, koska pilareiden välinen kuorma ei ole vielä mobilisoitunut lujitteisiin.

7.2 Mitoitusperusteet

Paalutettujen/syvästabiloitujen penkereiden lujitemitoitukseen on olemassa erilaisia laskentamalleja. Tässä ohjeessa käsitelty mitoitus perustuu British Standardissa BS 8006-1:2010 ”Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills” esitettyyn laskentamalliin. Mitoitus voidaan tehdä myös EBGEO:ssa (DGGT 2011) esitettyllä mitoitusmenetelmällä, jolloin on otettava huomioon Liikenneviraston ohjeiden vaatimukset.



Kuva 7.2 Geolujitteen toiminta paalutetussa penkereessä (BS 8006-1:2010). Kohdat c ja d ovat geolujitteen mitoitusta. Kohdat a, b ja e ovat muuta geoteknistä mitoitusta.

Paalutettuun tai syvästabiloituun penkereeseen sijoitetun geolujitteen mitoituksessa tulee tarkastella erikseen penkereestä paaluille siirtyvän pystysuoran sekä penkereen vaakasuoran maanpaineen lujitteeseen aiheuttamaa vetojännitystä (kuva 7.2).

Pystysuorasta kuormasta tuleva vetojännitys esiintyy sekä penkereen pituus- että poikkisuunnassa ja vaakasuorasta maanpaineesta tuleva vetojännitys yleensä vain penkereen leveysuunnassa. (Aalto et al. 1998) Lisäksi on tarkasteltava penkereen kokonaisstabiliteetti, paalujen välinen etäisyys sekä paalutetun alueen laajuus. Käytörajatilassa mitoitetaan lujite muodonmuutoksille ja pohjamaan painumille.

Mitoitusesimerkki paalujen varaisesta geolujitetusta penkereestä on liitteessä 6.

7.3 Mitoitus

7.3.1 Paalujen välinen etäisyys, STR/GEO DA2*

Mitoitusmenetelmässä (BS:8006 2010) otaksutaan, että paalut/pilarit kantavat yksin penkereen kuormituksen. Pohjamaan ei siten oleteta kantavan pengerkuormaa. Neliöverkkoon sijoitettujen paalujen/pilareiden välinen maksimietäisyys voidaan laskea yhtälöstä 7.1.

$$s = \sqrt{\frac{Q_p}{\gamma_G \gamma' H + \gamma_Q q}} \quad (7.1)$$

missä

s	on paalujen/pilarien välimatka (k/k), m
Q_p	paalun/pilarin suunnittelulujuus, kN
γ_G	pysyvien kuormien osavarmuusluku, -
γ_Q	muuttuvien kuormien osavarmuusluku, -
γ'	penkereen tehokas tilavuuspaino, kN/m ³
H	penkereen korkeus, m

7.3.2 Geometriasuosituks

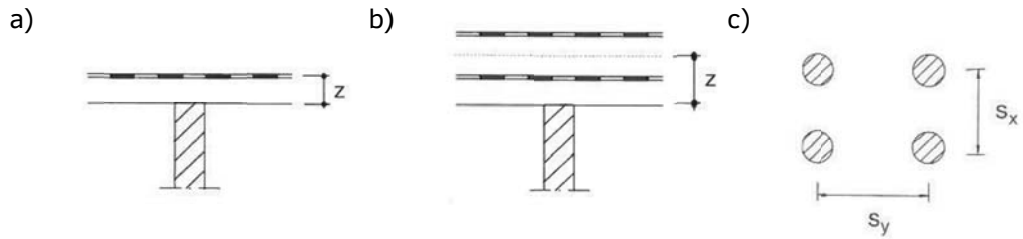
Geolujitetussa paalutetussa / pilaroidussa rakenteessa suositellaan rakenteen geometrian määrittämiseen seuraavia periaatteita:

- paaluhattun/pilarin leveys $a \geq 0,15 \times s$
- penkereen korkeus paaluhattujen yläpinnasta $H \geq 0,8 (s - a)$
- lujitteen vaikutustason etäisyys lujitetun pengerrakenteen alapinnasta (kuva 7.3):
 - $z \leq 0,15$ m yksikerroksisessa lujiterakenteessa
 - $z \leq 0,3$ m kaksikerroksisessa lujiterakenteessa
- paaluhattujen/pilarien rakoväli:
 - $r_v \leq 3$ m staattisilla kuormilla
 - $r_v \leq 2,5$ m dynaamisilla kuormilla.
- paaluhattu-/pilariverkon lyhyemmän ja pidemmän välimatkan suhde (kuva 7.3c):
 - $0,5 \leq s_x / s_y \leq 2,0$

Mitoitettaessa kaksikerroksista lujiterakennetta, lujitteiden vaikutustaso mitoituksessa sijaitsee lujitekerrosten puolivälissä kuvan 7.3 mukaisesti.

Kaarteet ja risteysalueet saattavat aiheuttaa lisärasituksia lujitetuille pengerrakenteille. Erityisesti ohuilla penkereillä lisäkuormilla saattaa olla vaikutusta. Mm. hollantilaisissa ohjeissa esitetään lujitteen mitoituslujuutta lisättävän 20 % kaarteissa (Van Eekeleen 2011).

Stabilointipilareiden varaan rakennettavan ohuen penkereen tapauksessa on myös huomioitava mahdollisten epätasaisten routanousujen holvautumista vaurioittava vaikutus.



Kuva 7.3 Lujitteen vaikutustaso mitoituksessa a) yksi- ja b) kaksikerroksisessa lujiterakenteessa (DGGT 2011). Tässä kuvassa z on lujitteen vaikutustason etäisyys lujitetun pengerrakenteen alapinnasta (= paaluhattujen tai stabilointipilareiden yläpinnasta). c) Paalujen / pilareiden k/k-etäisyyksien merkinnot.

7.3.3 Paalutetun alueen laajuus, STR/GEO DA2*

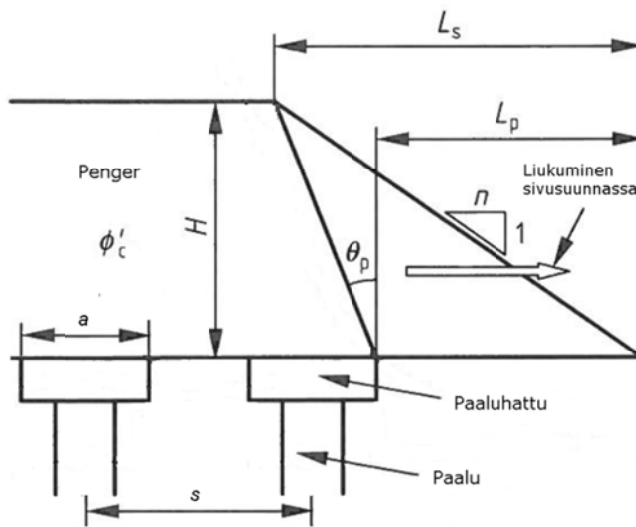
Paalutetun alueen tulisi ulottua jonkin verran penkereen yläreunan ulkopuolelle, jotta paalutetun alueen ulkopuolella tapahtuva epätasainen painuma tai stabiliteetin pettäminen eivät vaikuta penkereen harjaan. Tällöin uloimman paaluhattun reunan ja penkereen alareunan välisen etäisyyden L_p (kuva 7.4) maksimiarvo saadaan yhtälöllä 7.2.

$$L_p \leq H (n - \tan \theta_p) \quad (7.2) \text{ a}$$

$$\theta_p = \left(45^\circ - \frac{\phi'_c}{2} \right) \quad (7.2) \text{ b}$$

missä

- n on penkereen luiskakaltevuuden suhdeluku (1:n), -
- θ_p uloimman paaluhattun ulkoreunan ja penkereen yläreunan välisen suoran muodostama kulma pystysuoran akselin kanssa (kuva 7.4), °
- ϕ'_c pengermateriaalin kriittinen leikkauskestävyyskulma, °



Kuva 7.4 Uloimman paaluhatun reuna-alue (BS 8006-1:2010).

7.3.4 Lujitteeseen vaikuttavat pystysuorat jännitykset, STR/GEO DA2*

Jännityksen jakautuminen paalujen ja pohjamaan välillä riippuu paalujen etäisyydestä, penkereen korkeudesta ja pengermateriaalista sekä paalujen jäykkydestä verrattuna pohjamaan.

Jotta penkereen pinnalla ei pääse tapahtumaan paikallisia muodonmuutoksia, penkereen korkeuden ja paaluhattuvälin suhteen tulisi olla yhtälön 7.3 mukainen. Mikäli käytetään pyöreitä paaluhattuja, paaluhattujen halkaisijaa tulee redusoida yhtälöllä 7.4, jotta saadaan paaluhatun tehokas leveys.

$$H \geq 0,7 (s - a) \quad (7.3)$$

$$a_{equ} = \sqrt{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (7.4)$$

missä

a on paaluhattujen leveys (pyöreillä paaluhatuilla tehokas leveys a_{equ}), m

D pyöreän paaluhatun halkaisija, m

Paaluhattuun kohdistuvan pystysuoran jännityksen ja pohjamaan kohdistuvan pystysuoran jännityksen suhde voidaan määrittää yhtälöstä 7.5 (kuva 7.5).

$$\frac{p'_c}{\sigma'_v} = \left(\frac{C_c a}{H}\right)^2 \quad (7.5) a$$

$$C_c = \frac{e_p H_p}{a} - f \quad (7.5)$$

missä

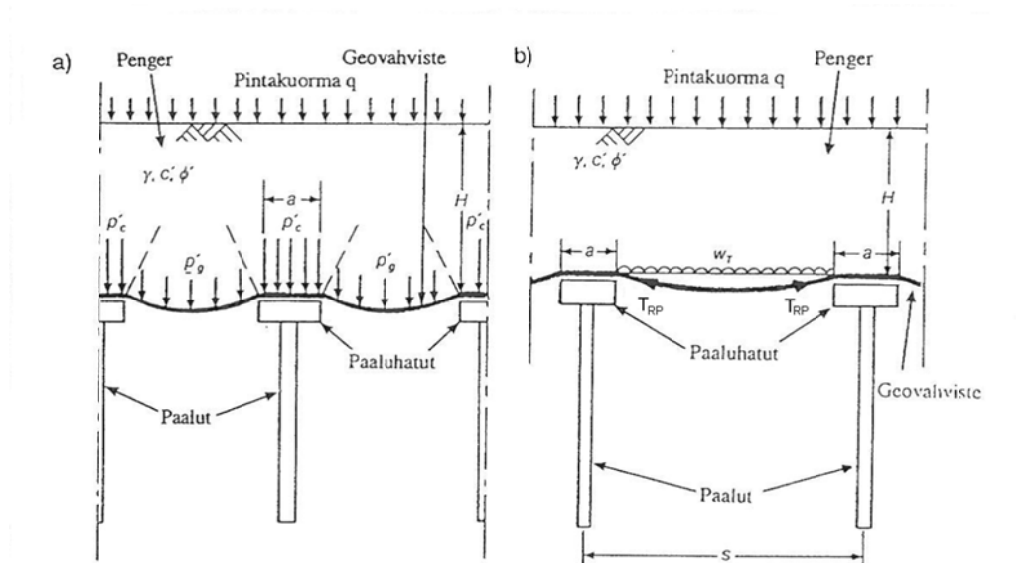
p'_c on paaluhatuilla vaikuttava pystysuora jännitys, kN/m²

σ'_v pengertäytteen pohjalla vaikuttava pystysuora jännitys, kN/m²

a paaluhattujen leveys (pyöreillä paaluhatuilla tehokas leveys a_{equ}), m

C_c holvaantumiskerroin, -

e_p, f paalutyypistä riippuvia kertoimia, joiden arvoja on esitetty taulukossa 7.1, -



Kuva 7.5 a) Jännitykset penkereen pohjalla. b) Paaluhattujen välisen tasaisen kuorman laskemisessa käytetyt merkinnät. (BS 8006-1:2010)

Taulukko 7.1 Holvaantumiskertoimen määrittämisessä tarvittavat paalutyypistä riippuvat kertoimet.

Paalutyyppi	e_p	f
Teräksiset ja betoniset tukipaalut	1,95	0,18
Teräksiset ja betoniset kitkapaalut, puupaalut	1,70	0,12
Kalkkipilarit, injektoidut paalut, kivipilarit, hiekkapaalut	1,50	0,07

Paaluhattujen välinen tasainen kuorma w_T (kN/m²) voidaan laskea penkereen korkeudesta riippuen yhtälöillä 7.6 tai 7.7.

$$w_T = \frac{s(\gamma_G \gamma' H + \gamma_Q q)}{s^2 - a^2} \left[s^2 - a^2 \frac{p'_c}{\sigma'_v} \right], \text{ kun } 0,7(s - a) \leq H \leq 1,4(s - a) \quad (7.6)$$

$$w_T = \frac{1,4 \gamma_G s \gamma' (s - a)}{s^2 - a^2} \left[s^2 - a^2 \frac{p'_c}{\sigma'_v} \right], \text{ kun } H > 1,4(s - a) \quad (7.7)$$

Lujitteeseen syntyvä vetovoima lasketaan yhtälöillä (7.8) ja (7.9).

$$T_{rp} = \frac{w_T (s - a)}{2 a} \sqrt{1 + \frac{1}{6 \varepsilon}} \quad (7.8)$$

$$T_{rp} = \varepsilon J \quad (7.9)$$

missä

T_{rp} on pystysuoran kuorman vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima, kN/m

ε geolujitteen alkumuodonmuutos (-venymä), -

J geolujitteen jäykkäysmoduuli, kN/m

Sopiva lujite valitaan kokeilemalla eri lujitteiden muodonmuutos- ja moduuliarvoja yhtälöihin 7.6 ja 7.7 ja tarkistamalla lopuksi lujitteen lujuuden riittävyys. Koska voima T_{RP} vaikuttaa sekä penkereen pituus- että leveysuunnassa, on käytännöllistä käyttää kahta geolujitetta asennettuna 90° kulmaan toisiaan vasten.

7.3.5 Penkereen sivujen vakavuus, STR/GEO DA2*

Vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima lasketaan kuten kohdassa 5.2.3.

7.3.6 Geolujitteen ja maan välinen tartunta, STR/GEO DA2*

Lujitteen tulee saavuttaa riittävä tartunta ympäröivään maamateriaaliin paalutetun alueen ulkopuolella (kuva 7.6). Lujitteen ulosvetovoiman vaatima pienin tartuntapituus L_b (m) penkereen poikkisuunnassa voidaan laskea yhtälöllä (7.10) ja penkereen pituussuunnassa yhtälöllä 7.11.

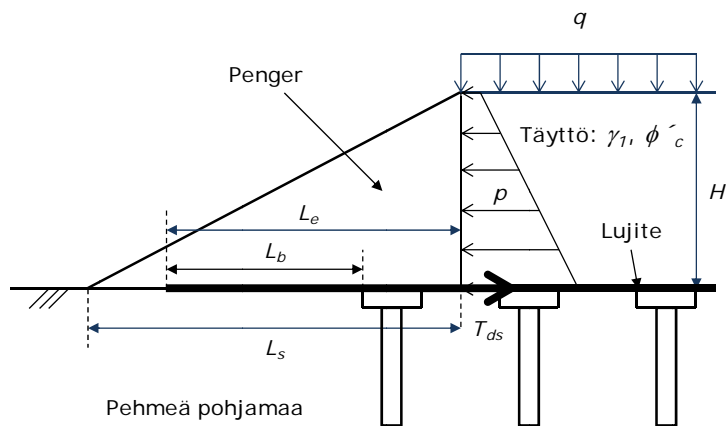
$$L_b \geq \frac{\gamma_p (T_{rp} + T_{ds})}{\gamma' h (\alpha_{b1} \tan \phi'_{c1} + \alpha_{b2} \tan \phi'_{c2})} \quad (7.10)$$

$$L_b \geq \frac{\gamma_p T_{rp}}{\gamma' h (\alpha_{b1} \tan \phi'_{c1} + \alpha_{b2} \tan \phi'_{c2})} \quad (7.11)$$

missä

γ_p	on lujitteen ulosvetovastuksen (ankkuroitumisen) osavarmuusluku = 1,1 (NCCI 7: $\gamma_p = \gamma_{R,h}$, taulukko A.5(FI), Sarja R2), -
T_{rp}	pystysuoran kuorman vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima, kN/m
T_{ds}	vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima, kN/m
α_{b1}	lujitteen ja lujitteen yläpuolisen maamateriaalin välisen ulosvetovastuksen korjauskerroin, -
ϕ'_{c1}	lujitteen yläpuolisen maamateriaalin kriittisen tilan leikkauskestävyysskulma, °
α_{b2}	lujitteen ja lujitteen alapuolisen maamateriaalin välisen ulosvetovastuksen korjauskerroin, -
ϕ'_{c2}	lujitteen alapuolisen maamateriaalin kriittisen tilan leikkauskestävyysskulma, °

Penkereen geometriasta riippuen riittävää tartuntapituutta paalutetun alueen ulkopuolella voi olla vaikea saavuttaa, mikäli lujite pidetään vaakasuuntaisena samassa tasossa. Yhtenä ratkaisuna tartuntapituutta voidaan lisätä kääntämällä lujite lähellä penkereen reunaa takaisin penkereen sisään siten, että lujitekerrosten väliin jää pengermateriaalikerros.



Kuva 7.6 Vaakasuoran maanpaineen ja lujitteen ulosvetovoiman vaatimat tartuntapituudet.

7.3.7 Lujitteeseen kohdistuva kokonaislujitevoima penkereen pysty- ja vaakakuormasta

Lujitteelta vaadittava kokonaislujuus penkereen pituussuunnassa on T_{rp} , koska geolujitteen tehtävänä on tässä suunnassa siirtää ainoastaan penkereen pystysuorat jännitykset paaluhatuille tai pilareille.

Penkereen leveyssuunnassa tulee huomioida pystysuoran jännityksen lisäksi vaakasuoran maanpaineen aiheuttama voima. Lujitteen mitoituslujuudelle f_d asetettavat vaatimukset voidaan siten esittää seuraavasti:

Penkereen pituussuunnassa:

$$f_d \geq T_{rp} \quad (7.12)$$

Penkereen leveyssuunnassa:

$$f_d \geq T_{rp} + T_{ds} \quad (7.13)$$

Paalutetun lujitetun penkereen lujitteelle sallitut venymän ja viruman arvot on esitetty kohdassa 4.3.

8 Tukimuurirakenteet

8.1 Käyttösovellukset

Tukimuurin ja jyrkän luiskan mitoitus perustuu erilaiseen menettelyyn kuormituksen ja tapauksesta riippuen taulukon 8.1 mukaisesti:

Taulukko 8.1 Tukimuurin ja jyrkän luiskan mitoitus eri tapauksissa.

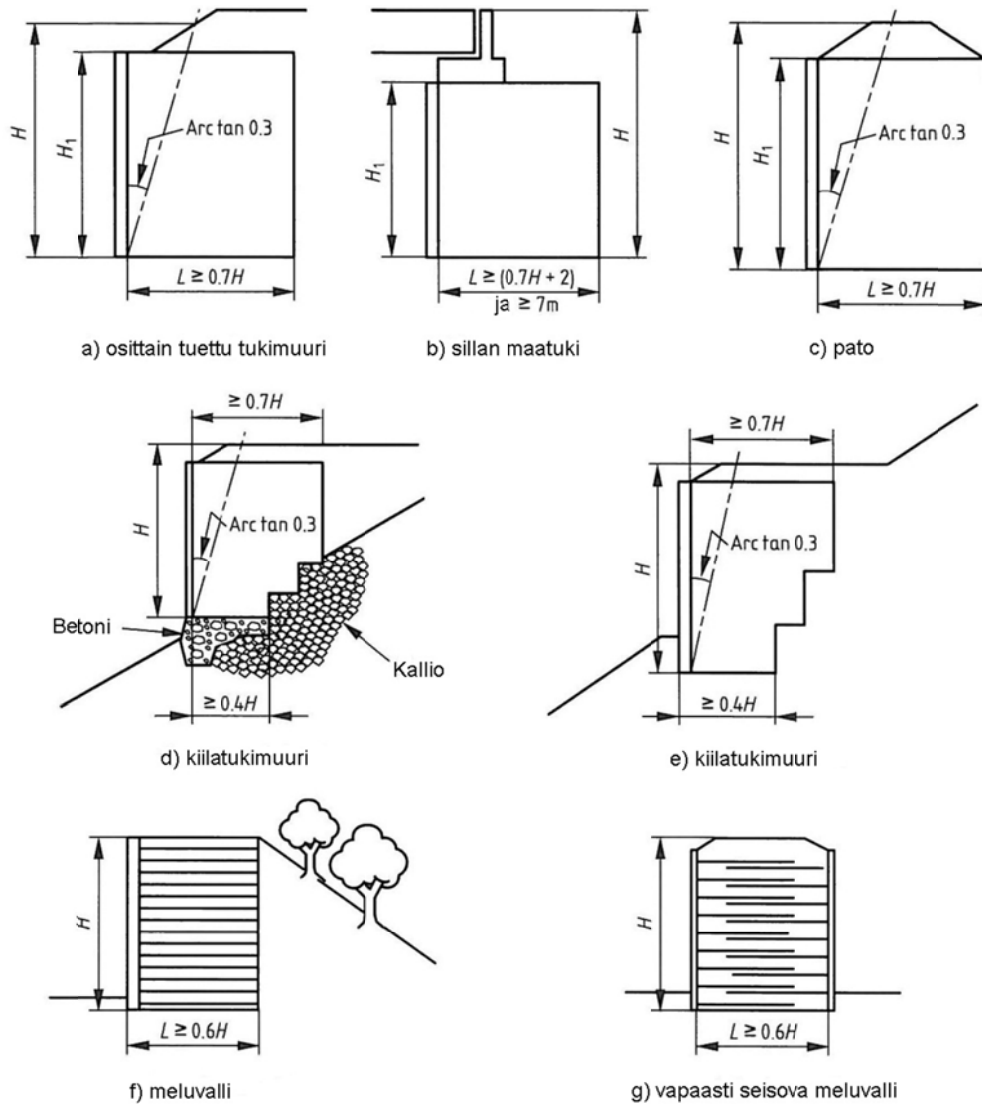
	Liikenne- kuorma	Korkeus*	Mitoitustapa
Jyrkkä luiska	ei**	< 6 m	Jyrkkä luiska (luku 9)
	on	< 6 m	Tukimuuuri (luku 8)
	ei**/on	> 6 m	Tukimuuuri (luku 8) + FEM-tarkastelulla siirtymät ja lujitevoimat
Tukimuuuri	on	< 6 m	Tukimuuuri (luku 8)
	on	> 6 m	Tukimuuuri (luku 8) + FEM-tarkastelulla siirtymät ja lujitevoimat

* Korkeudella tarkoitetaan tässä kuvassa 8.1 esitettyä korkeutta H

** Rakentamisen aikainen työkonekuorma on otettava huomioon

Lujitetuissa tukimuureissa vaakasuorat lujitteet ottavat vastaan maanpaineen, kun taas pintarakenne pitää täytteen etuosan paikallaan ja täyttää ulkonäölle asetetut vaatimukset. Tukimuurin ulkopintana voivat toimia esimerkiksi muotoillut teräsbetonis elementit tai yhtenäinen betoniseinä. Taustatäytöksi soveltuvat erilaiset maajajit tai kevennysmateriaalit. Lujitettuja tukimuurirakenteita voivat kuormittaa pysyvät tai muuttuvat kuormat (esimerkiksi tie, silta, meluuste, liikennekuorma, ...). (Aalto et al. 1998) Periaatekuvia lujitetun tukimuurirakenteen sovellutuksista on esitetty kuvassa 8.1.

Tukimuurirakennetta ei ole suositeltavaa tehdä aivan pystysuoraksi, vaan muuri kannattaa tehdä hieman sisäänpäin kaltevaksi ($\beta < 90^\circ$), jolloin muurin yläreunan siirtyessä ulospäin kuormien mobilisoituessa lujitteille ja lujitteiden venyessä, ei muuri näytä "päällekaatuvalta".



Kuva 8.1 Erityyppisiä lujitettuja tukimuurisovellutuksia, lujitteiden vähimmäispituuksia ja muurin geometriaa mitoitusta varten. (BS 8006-1:2010)

8.2 Geolujitetun tukimuurin mitoituksen vaiheet

Tärkein vaatimus lujitetulle tukimuurirakenteelle on sen riittävä vakavuus. Suunnittelussa täytyy tutkia rakenteen sisäinen ja ulkoinen stabiilitetti. Tukimuurirakenteen mitoitus-esimerkki on esitetty liitteessä 7.

Geolujitetun tukimuurin mitoitus tehdään taulukossa 8.2 esitettyjen vaiheiden mukaisesti.

Taulukko 8.2 Geolujitetun tukimuurin mitoituksen vaiheet ("tie back wedge"-analyysi = kiilamenetelmä)

n:o	Mitoitusvaihe	Mitoitusvaiheen tulos
1.	Määritellään alustavat tukimuurin mitat	lujitteen minimipituus, tukimuurin alapinnan syvyys, yms.
2.	Mitoitusparametrit	valitaan mitoituksessa käytettävät maaparametrit
3.	Ulkoinen stabiliteetti, 3.1) pohjamaan kantokyky 3.2) muurin kaatuminen	3.1) muurin alaosan lujitteen minimipituus kantokyvyn kannalta, mahd. pohjavahvistustarve 3.2) muurin kaatuminen tarkastellaan esim. kalliopohjalla
4.	Ulkoinen stabiliteetti, tukimuurin liukuminen	muurin alaosan lujitteiden minimipituus liukumisen kannalta
5.1	Ulkoinen stabiliteetti, kokonaisstabiliteetti	lujitteiden minimipituus liukupintasortuman kannalta
6.	Lujitteen tyyppin valinta	synteettinen lujite / metallilujite, jatkuva lujite / kaistalujite, ...
7.	Sisäinen stabiliteetti, lujitteen mitoitus kerroksittain	lujitteisiin kuormasta aiheutuva lujitevoima kerroksittain (tasainen kuorma, nauha- ja vaakakuorma)
8.	Sisäinen stabiliteetti, lujitteen ankkurikapasiteetin tarkistus	lujitteen ankkuripituuden riittävyys kerroksittain
9.	Kiilan stabiliteetin tarkistus, lujitteen vetokapasiteetti	lujitteen vetolujuuden riittävyys kerroksittain ja koko kiilan osalta
10.	Kiilan stabiliteetin tarkistus, lujitteen ankkurikapasiteetti	lujitteen ankkurikapasiteetin riittävyys kerroksittain ja koko kiilan osalta
5.2	Kokonaisstabiliteetti	lujitteiden vetokapasiteetti riittävä kokonaisstabiliteetin kannalta
11.	Käyttörajatilatarkistus, painuma ja muodonmuutokset	tukimuurin painuma ja muodonmuutokset vaatimusten mukaiset
12.	Tukimuurin muut osat	julkisivu, liitokset, kuivatus, yms.

8.3 Lujitetun tukimuurin geometria ja parametrit

8.3.1 Geometria

Geolujitetun vallin lujitteiden minimimitat ja geometria voidaan valita alustavasti kuvissa 8.1 ja 8.2 esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

Lujitetun tukimuurin alaosa tulee ulottua maan pinnan alapuolelle. Routivassa maaperässä tukimuurin perustetaan routarajan alapuolelle tai tukimuurin alapuolinen pohjamaa joko routaeristetään tai vaihdetaan pohjamaa routimattomaksi. Ulottamalla tukimuurin alaosa maanpinnan alapuolelle parannetaan pohjamaan kantokykyä, vähennetään riskiä, että tukimuurin edusta kaivettaisiin auki perustamistason alapuolelta tai että tukimuurin edustan maakerros erosoituisi perustamistason alapuolelle.

Routimattoman kantavankin pohjamaan tapauksessa tukimuurin alaosan tulee ulottua vähintään 0,5 m lopullisen maanpinnan alapuolelle mitattuna maanpinnasta 1 m etäisyydeltä tukimuurin edessä (kuvat 8.2 ja 8.3).

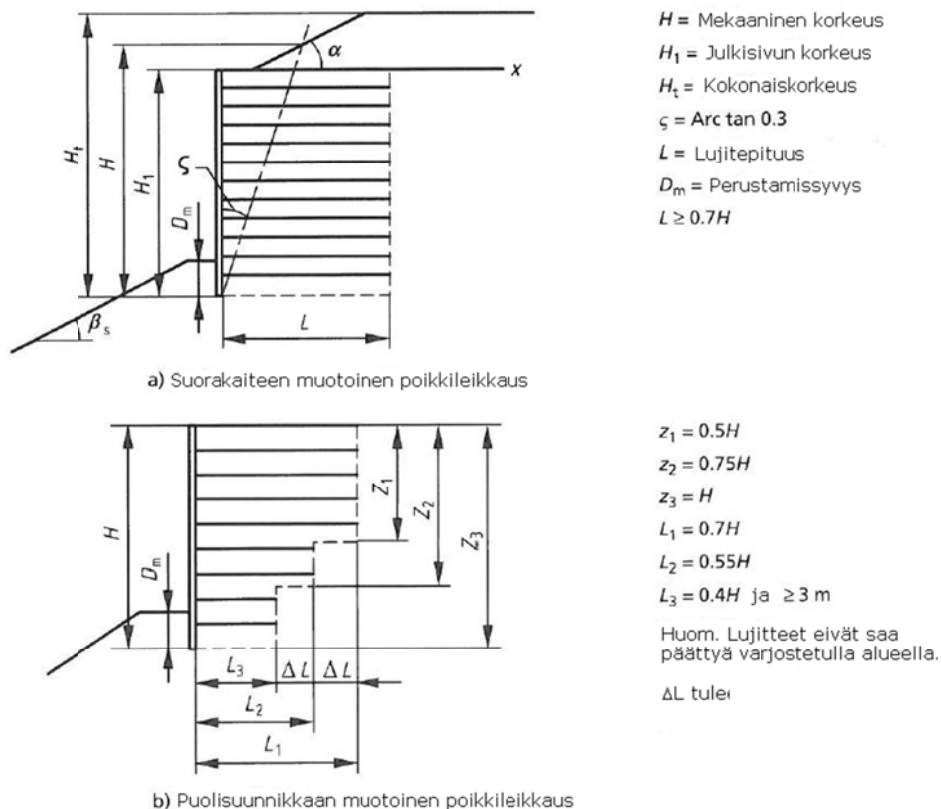
Erytistä huomiota on kiinnitettävä lujitetun tukimuurin kuivatukseen. Lähtökohtana mitoituksessa on se, että geolujitettuun blokkiin tai lujitettua blokkia vasten ei muodostu vesipainetta. Mikäli lujitettua blokkia vasten on mahdollista kehittyä vesipaine, on se otettava erityisellä varovaisuudella huomioon mitoituksessa ja suunnitelmissa.

8.3.2 Parametrit

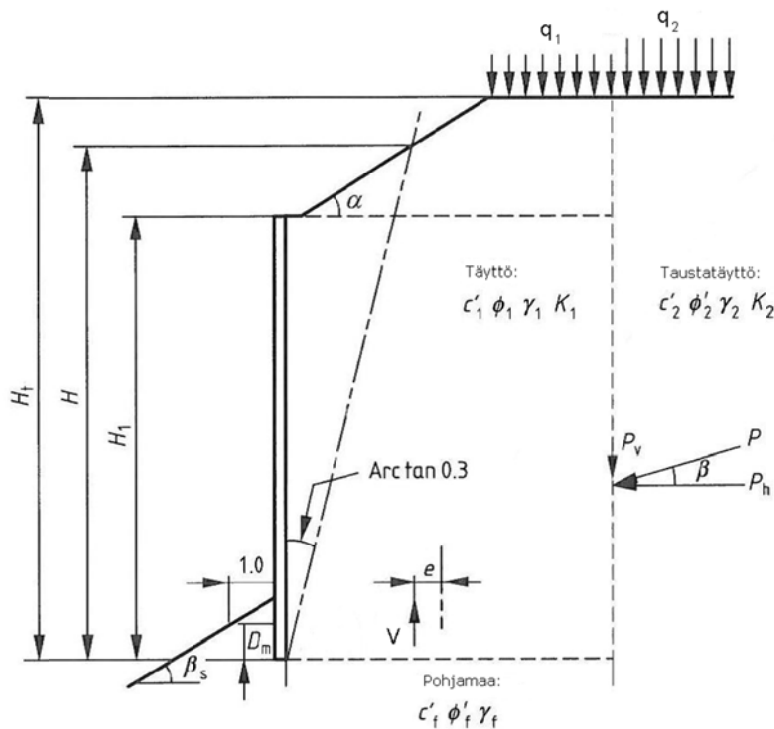
Geolujitetun tukimuurin mitoituksessa käytettävien parametrien, kuormien ja muurin geometrian merkinnät on esitetty kuvassa 8.3.

Täyttömateriaalille käytetään mitoituksessa huippuleikkauskestävyyskulmaa ϕ'_p . Lujitetussa blokissa on periaatteessa mahdollista käyttää lujitteiden välissä myös koheesiota omaavaa maata, mutta Suomessa tukimuurirakenteen lujitteiden välissä koheesiomaata ei käytännössä käytetä. Lujitetun blokin takana voi olla koheesiomaata, mutta ko. tilanne on tarkasteltava ja suunniteltava erityisellä huolellisuudella. mm. kuivatuksen ja käytön aikaisten muodonmuutosten osalta. Käytettäessä lujitetussa blokissa koheesiomaata, voidaan mitoitus tehdä mm. BS 2006-1:2010 "Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills" mukaisesti noudattaen samalla LiVin ohjeistusta.

Geolujitetussa tukimuurissa käytettävä täytemaa ei saa olla routivaa routasyvyyden yläpuolella. Tarvittaessa täyte routaeristetään. Täytemateriaalin on oltava vettäläpäisevää ja sen leikkauskestävyyskulman tulee olla tarpeeksi suuri.



Kuva 8.2 Geolujitetun tukimuurin mittoja ja ohjeita lujitteiden geometrian valitsemiseksi. (BS 8006-1:2010)



Kuva 8.3 Geolujitetun tukimuurin mitoituksessa käytettävät maaparametrit ja kuormat sekä geometrian merkinnät. Kiilamenetelmässä ("tie back wedge") $\beta = 0^\circ$. (BS 8006-1:2010)

8.4 Geolujitetun tukimuurin ulkoinen vakavuus

8.4.1 Tarkasteltavat tapaukset

Geolujitetun tukimuurin ulkoinen varmuus tarkastetaan seuraavien murtomekanismin osalta murtorajatilassa:

- pohjamaan kantokyky,
- tukimuurin kaatuminen (kantavalla pohjalla, esim. kallio),
- tukimuurin vaakasuora liukuminen ja
- tukimuurin kokonaisstabiliteetin menetys liukupintasortumalla (kuva 8.4).

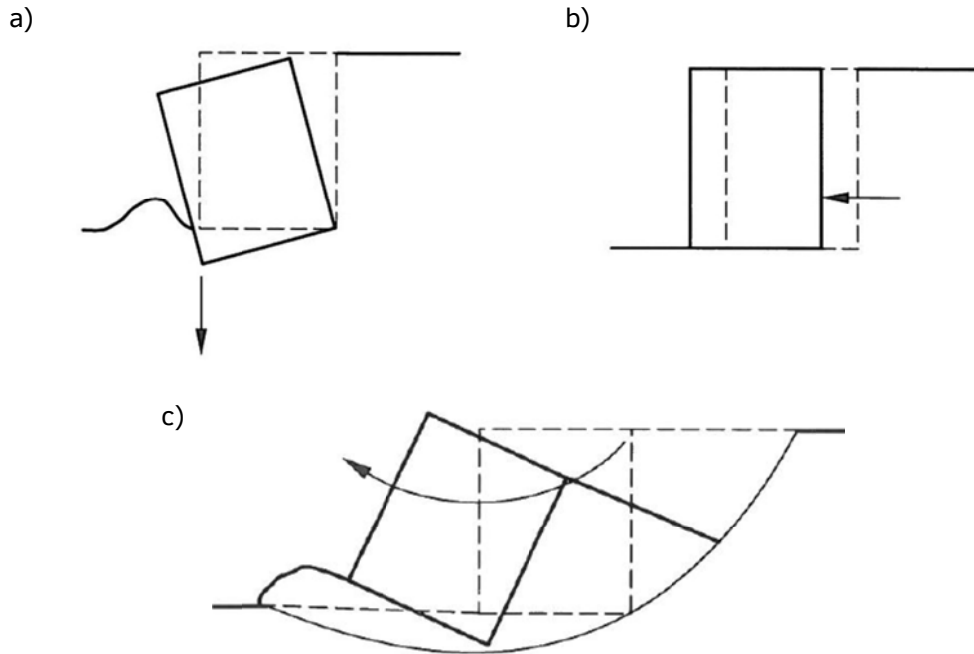
Liukupintasortuman tarkastelu tehdään stabiliteettilaskentaohjelmalla. Vaadittavaa lujitepituutta laskettaessa lujitemaarakennetta tarkastellaan yhtenäisenä maakappaleena ja lujitepituus saadaan tarkistamalla ulkoinen vakavuus.

Käyttörajatilassa tarkastellaan lisäksi mm. tukimuurin painuma ja julkisivun muodonmuutokset (kuva 8.5). Käyttörajatilassa tarkastelut on esitetty tarkemmin kohdassa 8.6.

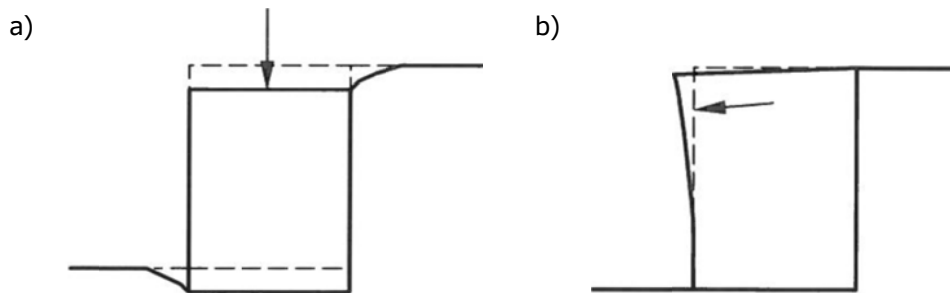
8.4.2 Ulkoinen vakavuus, pohjamaan kantokyky, STR/GEO DA2*

Lujitetun rakenteen alla olevan pohjamaan geotekninen kantokyky riippuu sekä pohjamaan lujuudesta että muodonmuutosominaisuuksista.

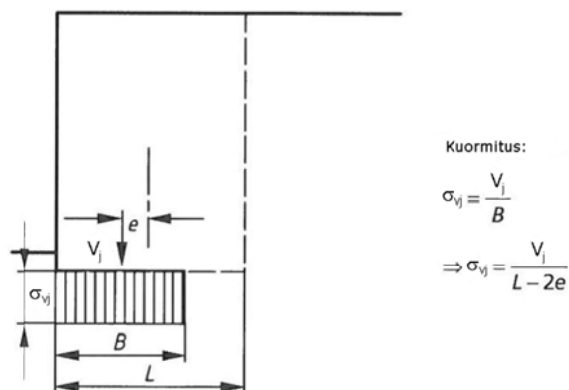
Pohjamaan kantokyky lasketaan NCCI 7:n mukaisesti mitoitustavalla DA2*. Normaalisti mitoitus tehdään olettaen lujitetun tukimuurin pohja nauha-anturaksi (kuva 8.6). Mikäli lujitettu tukimuurin on lyhyt tai tukimuurissa on jyrkkiä kulmia, on pohjamaan kantavuusmitoitus tehtävä muurin lujitetun osan pohjan mittojen mukaisesti ko. kohdissa.



Kuva 8.4 Geolujitetun tukimuurin ulkoisen vakavuuden tarkistaminen. a) Maapohjan kantokyky ja tukimuurin kaatuminen, b) liukuminen ja c) kokonaisstabiiliteetin menetys liukupintasortumalla. (BS 8006-1:2010)



Kuva 8.5 Geolujitetun tukimuurin käyttörajatilan tarkastelut. a) Painuma ja b) julkisivun muodonmuutos. (BS 8006-1:2010)



Kuva 8.6 Lujitetun tukimuurin "nauha-anturan" kantavuustarkastelun geometria. (BS 8006-1:2010)

Lujitettuun maablokkiin kohdistuva blokin taustatäytön aiheuttama maanpaine voidaan laskea aktiivipaineena, jos siirtymät ovat riittävän suuria. Näin voidaan normaalisti olettaa olevan lujitetun tukimuurin tapauksessa, mutta mikäli lujitettu tukimuuri on jäykkä, lasketaan maanpaine pääsääntöisesti lepopaineena. Taustatäytön aktiivinen maanpaine kerroin määritetään NCCI 7:n nomogrammista tai yhtälöllä 8.1.

$$K_a = \frac{\cos(\phi' + \alpha_2)^2}{\cos^2 \alpha_2 \cos(\delta_a - \alpha_2) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta_a) \sin(\phi' - \beta)}{\cos(\delta_a - \alpha_2) \cos(\alpha_2 + \beta)}} \right)^2} \quad (8.1)a$$

$$\delta_a = \frac{2}{3} \phi' \quad (8.1)b$$

missä

K_a	on	aktiivimaanpaine kerroin, -
ϕ'		materiaalin (taustatäytön) leikkauskestävyyskulma (huippuavo), °
δ_a		seinäleikkauskestävyyskulma (taustatäytön tapauksessa lujitetun blokin ja taustatäytön välinen leikkauskestävyyskulma), °
β		maanpinnan ja vaakatason välinen kulma, °
α_2		lujitetun blokin taustan ja vertikaalin välinen kulma, °

Määrittäessä maapaineesta johtuvia pysty- ja vaakakuormien epäkeskisyyksiä kantokestävyydestä varten, oletetaan taustatäytön päällä vaikuttavan muuttuva pystykuorma sekä yhtälöillä 4.1 (NCCI 7: yhtälö 6.10a) että 4.2 (NCCI 7: yhtälö 6.10b) (vaakakuorman suuruus mitoituksessa hyvin merkitsevä).

8.4.3 Ulkoinen vakavuus, kaatuminen, EQU

Erillinen kaatumistarkastelu tukimuurin mitoituksessa tarvitsee tehdä vain perustettaessa tukimuuri esim. kalliolle tms. kantavalle alustalle. Muissa tapauksissa kaatumistarkastelu sisältyy kantavuustarkasteluun. Kaatumistarkastelu tehdään NCCI 7:n kohdan 5.1.1.2 mukaisesti rajatilassa EQU.

Rakennetta kaatavat voimat kerrotaan murtorajatilassa mallikertoimella, joka on esitetty ohjeessa "Sillan geotekninen suunnittelu" (Liikennevirasto 2012c). Pystyssäpitäviin voimiin ja kestävyyskiin ei kohdisteta mallikerrointa.

8.4.4 Ulkoinen vakavuus, liukuminen, STR/GEO DA2*

Lujitetun tukimuurin pohjan liukuminen tulee tarkastella heikoimman leikkauslujuuden omaavan rajapinnan mukaisesti (mm. täyttömateriaali + lujite, täyttö + täyttö, lujite + pohjamaa, täyttö + pohjamaa). Lujitetun blokin alapinnan liukuvastuksen tulee täyttää yhtälön 8.2 mukainen ehto.

Lujitetun blokin alapinnan liukumiskestävyys määritetään yhtälöllä 8.3, jossa huomioidaan ainoastaan pysyvät kuormat (mm. lujitetun blokin yläpinnan liikennekuormaa ei huomioida). Lujitetun blokin liukumistarkastelun vaakavoiman aiheuttaa blokin taustatäytön ja täyttöä kuormittavan pystysuoran muuttuvan kuorman aikaansaama maanpaine kuten kantavuustarkastelussakin (yhtälö 8.4).

Tukimuurin alaosan edessä olevan maakerroksen passiivisen maapaineen aikaansaama liukumista vastustavaa voimaa ei yleensä huomioida. Mikäli ko. maanpaine otetaan huomioon, on oltava varmoja, että ko. maakerrosta ei poisteta muurin käyttöaikana.

$$H_2 \leq \frac{R_S}{\gamma_s} \quad (8.2)$$

$$R_S = V \alpha_{ds} \tan \phi'_p + \alpha_c c L \quad (8.3)$$

$$H_2 = K_{a2}(H + D) \left(\gamma_G \frac{1}{2} \gamma'_2 (H + D) + \gamma_Q q_2 \right) \quad (8.4)$$

missä

γ_s	on lujitteen liukumiskestävyuden osavarmuusluku = 1,1 (NCCI 7: $\gamma_s = \gamma_{R,h}$, taulukko A.5(FI), Sarja R2), -
H_2	lujitettuun blokkiin taustatäytöstä kohdistuva vaakakuorma (täyttö + muuttuva pystykuorma), kN/m
R_S	lujitetun blokin alapinnan liukumiskestävyys, kN/m
V	lujitetun blokin pystykuorma, $\gamma_G = 1$ ja $\gamma_Q = 0$, kN/m
α_{ds}	lujitteen ja täyttömateriaalin välisen leikkauskestävyysskulman liukuvastuksen korjauskerroin, -
ϕ'_p	lujitetun blokin täyttömateriaalin leikkauskestävyysskulma, °
α_c	lujitteen ja täyttömateriaalin koheesio liukuvastuksen korjauskerroin, -
c	koheesio, kN/m ²
L	lujitteen pituus lujitetun blokin pohjalla, m
K_{a2}	taustatäytön aktiivimaanpaine kerroin, -
H	tukimuurin korkeus, m
D	tukimuurin alapinnan etäisyys maanpinnasta, m
γ_G	pysyvien kuormien osavarmuusluku, -
γ'_2	taustatäytön tehokas tilavuuspaino, kN/m ³
γ_Q	muuttuvien kuormien osavarmuusluku, -
q_2	muuttuva kuorma taustatäytön päällä, kN/m ²

8.4.5 Ulkoinen vakavuus, kokonaisvakavuus, STR/GEO DA3

Koko rakenteen alitse tapahtuvan liukusortuman mahdollisuus tarkistetaan perinteisillä liukupinta-analyseillä murtorajatilassa NCCI 7:n mukaisesti. Mitoitustavassa DA3 osavarmuusluvut kohdistetaan heti laskennan alussa muuttuviin kuormiin ja maaparametreihin. Osavarmuuslukuina käytetään kuormien osalta NCCI 7:n taulukon A.3b(FI) arvoja ja maaparametrien osalta NCCI 7:n taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja.

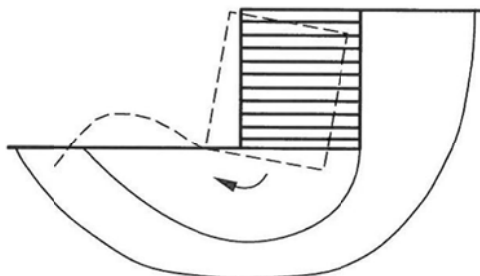
Vaarallisimman liukupinnan sijainti tarkistetaan myös ominaisarvoilla mielellään vaamuotoisia liukupintoja käyttäen.

Liukupintojen kiertäessä lujitetun blokin takaa ja alta, tehdään stabiliteettilaskenta DA3-mukaisesti. Mikäli vaarallisin liukupinta kulkee lujitetun blokin kautta ja lujitteen vetolujuutta käytetään lisäämään stabiliteettia, tehdään mitoitus DA2* mukaisesti (kuva 8.7 a ja b).

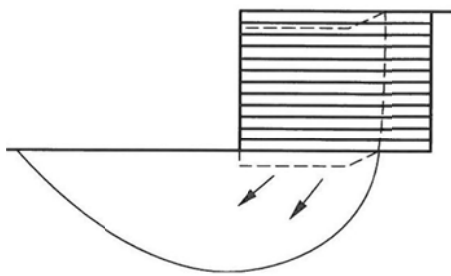
Mitoituksessa pyritään ensisijaisesti siihen, että vaarallisin liukupinta kulkee lujitetun blokin ulkopuolelta. Mikäli mitoituksessa rakenteen optimoinnissa päädytään siihen, että vaarallisin pohjamaan kautta kulkeva liukupinta kulkee lujitetun rakenteen kautta, voidaan lujitteiden stabiiliteettia lisäävä vaikutus ottaa huomioon vain tietyin rajoituksin:

- Tukimuurin kokonaisstabiiliteetin varmistamisessa voidaan hyödyntää lujitteen osaa, joka sijaitsee passiivivyöhykkeellä täyttömaan leikkauskestävyysskulman mukaan rajatun alueen ulkopuolella (tukimuurin juuresta leikkauskestävyysskulman mukaiseen kaltevuuteen piirretyn janan alapuolella).
- Aktiivivyöhykkeellä sijaitsevaa lujitteen osaa ei voi hyödyntää kokonaisstabiiliteetin varmistamisessa - kokonaisstabiiliteettia määritettäessä vaarallisin liukupinta ei saa sijaita lujitteiden aktiivivyöhykkeellä.

a) $L < H$ (kuormat DA3 mukaisesti)



b) $L > H$ (kuormat DA2* mukaisesti)



Kuva 8.7 Lujitetun tukimuurin liukupintasortuman sijainteja. a) Liukupinta lujitetun blokin ulkopuolelta (BS 8006-1:2010), b) liukupinta lujitetun blokin kautta (BS 8006-1:2010)

Mikäli vaarallisin liukupinta sijoittuu lujitteiden sisäisen vakavuuden aktiivivyöhykkeelle tai passiivivyöhykkeellä täyttömaan leikkauskestävyysskulman mukaan rajatun alueen yläpuolelle (katso edellinen kappale) on lujitevoimaa kasvatettava siten, että vaarallisin mitoittava liukupinta sijoittuu

- a) lujitetun blokin ulkopuolelle,
- b) lujitetun blokin passiivivyöhykkeelle (edellä esitetyin rajoituksin) tai
- c) pohjavahvistuksilla (esim. massanvaihto tukimuurin alla) varmistetaan riittävä varmuus liukupintasortumaa vastaan.

Tapauksessa b) eli vaarallisimman mitoittavan liukupinnan sijaitessa lujitteiden passiivivyöhykkeellä, on hyödynnettävien lujitteiden osalta varmistettava, että niillä on

- riittävä vetolujuus ja
- riittävä ankkuripituus vaarallisimman liukupinnan ulkopuolella stabiiliteettilaskelmassa käytetyn lujitevoiman ankkuroimiseksi.

Ellei stabiiliteettilaskelmassa hyödynnettävällä lujitteella ole riittävää ankkuripituutta, on ankkuripituutta kasvatettava, alennettava stabiiliteettilaskelmassa käytettävissä olevaa lujitevoimaa käytettävissä olevaa ankkurikapasiteettia vastaavaksi tai jätettävä ko. lujite / lujitteet pois stabiiliteettilaskelmasta.

Mikäli ulkoisen stabiiliteetin kannalta mitoittava liukupinta sijoittuu lujitteiden passiivivyöhykkeelle, ja lujitteet halutaan hyödyntää ulkoisen stabiiliteetin varmistamisessa, on ko. tarkastelu tehtävä ja dokumentoitava erityisellä huolellisuudella siten, että kaikkien lujitteiden kaikki kuormat ja kapasiteetit on esitetty yksityiskohtaisesti ja on varmistettu, että jokaisen lujitteen vetolujuus ja ankkurikapasiteetti on riittävä.

8.5 Geolujitetun tukimuurin sisäinen vakavuus, STR/GEO DA2*

8.5.1 Sisäisen vakavuuden mitoitusmenetelmä

Tarvittava lujitemäärä ja lujitteiden sijoittelu saadaan tutkimalla rakenteen sisäistä vakavuutta eli lujitteen katkeamisesta aiheutuvan murtuman sekä lujitteen ja maan välisen ankkurikapasiteetin ylittymisestä johtuvan murtuman mahdollisuutta.

Tässä esitetty mitoitusmenetelmä perustuu ns. "Tie Back Wedge"-analyysiin (kiilamenetelmä), joka on esitetty standardissa BS 8006-1:2010 "*Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*". Kiilamenetelmässä voidaan käyttää täyttömaana sekä kitkamaata että osittain koheesiomaata sisältävää materiaalia. Mitoitusmenetelmässä otaksutaan, että etuseinä kiertyy alareunansa ympäri. Menetelmä soveltuu korkeille, tasaisesti kuormitetuille rakenteille.

Lujitetun tukimuurin sisäisiä tarkasteltavia murtomekanismeja ovat:

- a. yksittäisten rakenne-elementtien vakavuus,
- b. lujitetun blokin kerrosten vakavuus liukumista vastaan (täyttö-materiaali+lujite ja täyttö+täyttö) ja
- c. kiilan stabiliteetti lujitetussa blokissa.

Mitoituksessa tulee tarkastella seuraavat tekijät:

1. leikkauskapasiteetti lujitteiden välissä,
2. lujitteiden vetolujuuskapasiteetti ja
3. täytön riittävä kokoonpuristumattomuus.

Murtorajatila tulee mallintaa seuraavin olettamuksin:

- i. mitoituksessa käytetään huippuleikkauksenkestävyysskulmaa ϕ'_p asianmukaisilla osavarmuuskertoimilla,
- ii. kuormille käytetään NCCI 7:n mukaisia osavarmuuslukuja,
- iii. pystykuormat jakautuvat lujitetussa blokissa Meyerhofin jännitysten jakautumisteorian mukaisesti (kuva 8.10),
- iv. lujitteiden vetolujuuskapasiteetille käytetään olosuhteiden ja mitoitusiän mukaisia materiaaliosavarmuuskertoimia,
- v. seuraamusluokka on yleensä CC2, jolloin kuormakerroin K_{FI} on 1,0 - mikäli seuraamusluokka on muu kuin CC2, määritetään se hankekohtaisesti ja
- vi. lujitteen lujitevoima perustuu jännityksiin, jotka esiintyvät lyhyellä etäisyydellä vallin julkisivusta.

8.5.2 Lujitteen tyypin valinta

Lujitetuissa tukimuureissa käytettävä lujite voi olla synteettinen tai metallinen. Molempien lujitetyyppien tapauksessa mitoitus voidaan tehdä tässä esitettyllä kiilamenetelmällä.

Tukimuurissa käytettävä lujite voi olla "jatkuva lujite", jolloin lujitteiden välillä ei ole vaakasuunnassa rakoja muurin pituussuunnassa tai lujite voi olla "kaistalujite", jolloin lujite ei ole muurin pituussuunnassa jatkuva ja lujitekaistojen väleissä voi olla aukkoja.

Lujitteen mitoituslujuus määräytyy mitoituksen perusteella ja lujitteen ominaislujuus määritetään kohdassa 4 esitetyn mukaisesti.

8.5.3 Lujitteiden vastaanottama voima kerroksittain

Lujitetun tukimuurin lujitteet voidaan mitoittaa siten, että lujitteen vetolujuus on vakio ja lujitteiden pystysuora etäisyys määritetään siten, että riittävä lujitekapasiteetti saavutetaan (lujiteväliä tihennetään tukimuurin alaosassa). Käytännössä lujitteiden pystysuora etäisyys on useimmiten vakio (yleensä 0,5 m) ja lujitteen vetolujuutta vaihdellaan kerroksittain tietyin lujitekerrosvälein (1...3 lujitelujuutta / poikkileikkaus). Lujitteiden välinen pystysuora etäisyys on 0,5 m (tai vähemmän) erityisesti silloin, kun lujite on osa tukimuurin julkisivua. Julkisivun muodostuessa esim. betonielementeistä tms., voi lujitteiden välinen pystysuora etäisyys olla suurempi.

Yhden 1 m leveän (muurin pituussuunnassa) lujitekerroksen vastaanottama lujitevoima murtorajatilassa määritetään yhtälöllä 8.5 silloin, kun lujitteiden välinen täytemaa on kitkamaata. Mikäli täytemaa on koheesiomaata, määritetään lujitteen vastaanottama lujitevoima standardissa BS 8006 – 1:2010 esitetyillä yhtälöillä. Lujitevoiman aiheuttavat kuormat ja kuormitustilanteet on esitetty kuvissa 8.9 ja 8.10.

$$T_j = T_{pj} + T_{sj} + T_{ff} \quad \Rightarrow \quad T_j = T_{pj}, \text{ kun } T_{sj} \text{ ja } T_{ff} = 0 \quad (8.5)$$

missä

T_j	on lujitteen vastaanottama lujitevoima kerroksessa j , kN/m
T_{pj}	pystykuorman (maakerrokset + liikennekuorma) aiheuttama lujitevoima kerroksessa j , kN/m
T_{sj}	nauhakuorman aiheuttama lujitevoima (lujitekerros j), kN/m
T_{ff}	muurin yläpinnalla vaikuttavan vaakakuorman aiheuttama lujitevoima (lujitekerros j), kN/m

Lujitteen vastaanottama lujitevoima T_j tulee jäädä jokaisessa lujitekerroksessa alhaisemmaksi kuin ko. lujitekerroksen lujitteen mitoitusvetolujuus T_d on yhtälön 8.6 mukaisesti.

$$T_{dj} \geq T_j \quad (8.6)$$

missä

T_{dj}	on lujitteen mitoitusvetolujuus kerroksessa j , kN/m
----------	--

a) Julkisivutyypin huomioiminen

Lujitetusta täytöstä rakennetut tukirakenteet, joissa on pystysuora tai kalteva pinta, edellyttävät julkisivun pinnoitusta, joka pitää täyttömaan lujitekerrosten välissä. Tukimuurien julkisivut voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin (kuva 8.11) (SFS-EN 14475, Liite C):

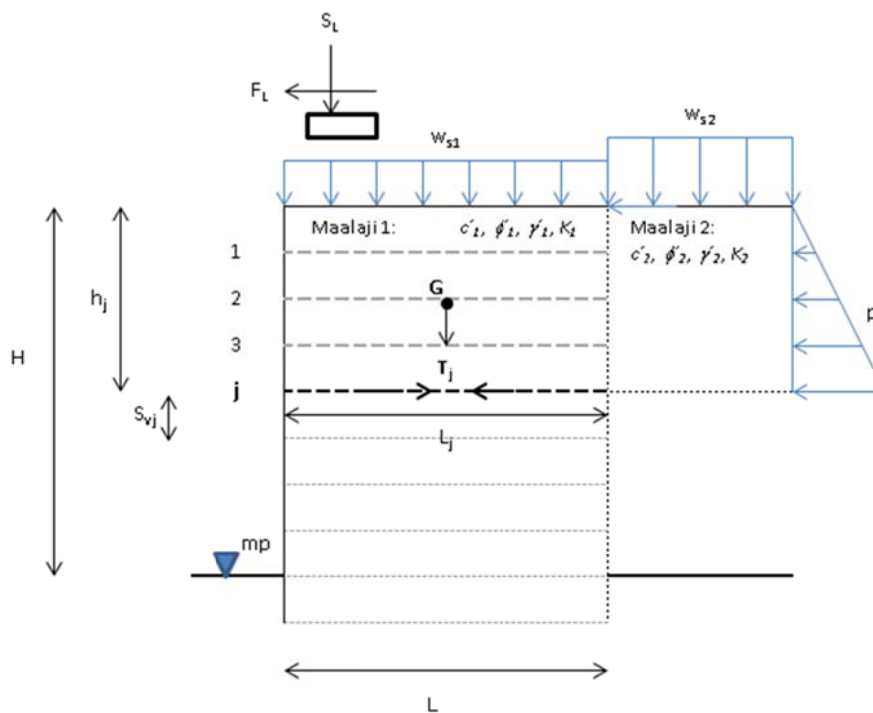
- Deformoitumattomat (jäykät) julkisivupinnoitteet: paneelit tai harkot (esim. betonielementit), joilla on pieni pystysuuntainen puristuvuus ja suuri taivutusjäykkyys.
- Osittain deformatiiviset (muovautuvat) julkisivupinnoitteet: esimuotoillut teräslankaverkko-elementit ja teräselementit tai kiviakorit.

- Deformoituvat (pehmeät) julkisivupinnoitteet:
 julkisivut, joilla ei ole taivutusjäykkyyttä, ja joissa täyttömateriaali on koteloitu geoverkon tai geotekstiilin sisään, kuten esimerkiksi täyttökerroksen ympäri taivutettu lujite (wrap-around); kevyt julkisivun muotoilu esim. hiekasäkeillä; ulkoinen pinnoite, jolla ei ole tukimuurin osalta rakenteellista merkitystä, vaan joka esim. suojaa säiden aiheuttamilta rasituksilta tai toimii ulkonäöllisenä elementtinä.

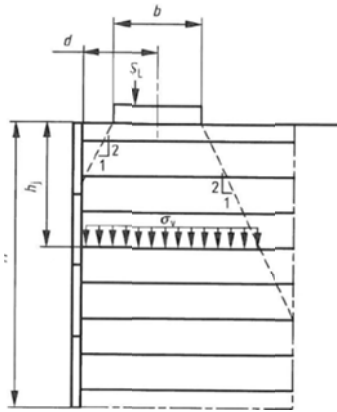
Jos käytetään jäykkiä tai muovautuvia julkisivupinnoitteita, ne toimivat muottina, jota vasten valittu täyttömaa asennetaan ja tiivistetään. Jos käytetään pehmeitä julkisivupinnoitteita, on yleensä tarpeen käyttää tilapäistä muottia tukimuurin tai jyrkän luiskan rakentamisen aikana. Julkisivupinnoitteet kiinnitetään lujitteisiin tuote- tai järjestelmäkohtaisilla menetelmillä. Liitoksille asetetut vaatimukset riippuvat julkisivun rakenteesta (deformoitumaton, osittain deformoituva, deformoituva). (SFS-EN 14475, Liite C)

Julkisivutyypit sekä niiden ominaisuudet ja vaatimukset on esitetty kattavasti standardissa SFS-EN 14475 ”Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö”.

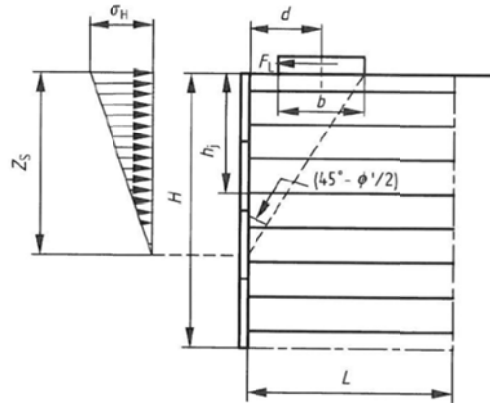
Analysoitaessa geolujitteen ja julkisivun liitosta, ei ole aina välttämätöntä käyttää koko lujiterakenteen korkeudesta aiheutuvaa aktiivimaanpainetta. Vaakajännitysten suuruuteen vaikuttaa merkittävästi lujitetun maarakenteen ja julkisivun deformaation ominaisuudet yhdessä. Liitosvoimien kalibrointikertoimet pysyville ja muuttuville kuormille on annettu taulukossa 8.3.



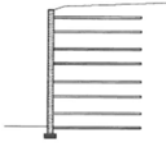
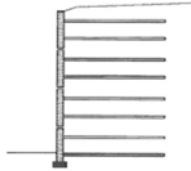
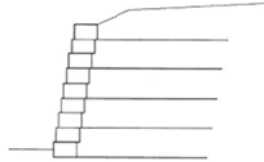

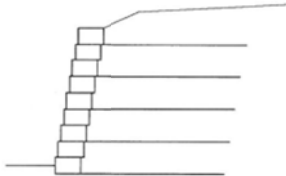
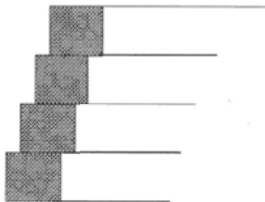
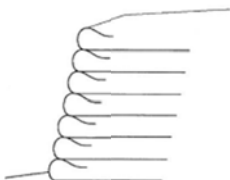
Kuva 8.8 Lujitettuun tukimuriin kohdistuvia kuormia ja niiden aiheuttamia jännityksiä. (BS 8006-1:2010)



Kuva 8.9 Lujitetun tukimuuriin pinnalla sijaitsevan nauhakuorman pystyjännityksen jakautuminen lujitetussa blokissa (BS 8006-1:2010)



Kuva 8.10 Lujitetun tukimuuriin pinnalla sijaitsevan vaakakuorman aiheuttaman leikkausjännityksen jakautuminen (BS 8006-1:2010)

Julkisivupinnoitteen tyyppi		Kuvaus
Deformoitumattomat julkisivupinnoitteet		
Täyskorkeat paneelit		Valmiita elementtejä, jotka peittävät koko julkisivun korkeuden yhtenä osana.
Osamittaiset paneelit		Osapaneelit ovat tavallisesti 1...2 m korkeita.
Harkkoelementit, muototiilet		Tehdasvalmisteisia betoni-harkkoja tai luonnonkivi-harkkoja, jotka on kiinnitetty toisiinsa
Osittain deformoituvat julkisivupinnoitteet		
Hitsattu teräsverkko		Julkisivuelementit ovat kohteeseen suunniteltuja hitsattuja teräsverkkoprofiileja.
Harkkoelementit, muototiilet		Tehdasvalmisteisia betoni-harkkoja tai luonnonkiviharkkoja, jotka pääsevät liikkumaan toisiinsa nähden.
Kivikorit		Kivikorit valmistetaan tavallisesti galvanoidusta, hitsatusta teräsverkosta, ja täytetään kivillä tai louheella.
Deformoituvat julkisivupinnoitteet		
Täyttökerroksen ympäri taivutettu lujite (wrap-around)		Lujite käännetään julkisivulla täyttökerroksen ympäri ”pusiksi”, jonka häntäpää jää seuraavan lujitteen ja täyttökerroksen alle.

Kuva 8.11 Julkisivupinnoitteiden rakennetyypit. (DGGT 2011)

Taulukko 8.3 Julkisivuun kohdistuvan maanpaineen kalibrointikerroimet pysyville ja muuttuville kuormille. (DGGT 2011)

	Kalibrointikerroin		η_q	Maanpaineen seinäleikkauskestävyysskulma
	η_g $0 < h \leq 0,4 H$	η_g $0,4 H < h \leq H$		
Deformoitumattomat julkisivupinnoitteet	1,0	1,0	1,0	DIN 4085 mukainen
Osittain deformoituvat julkisivupinnoitteet	1,0	0,7	1,0	$1/3\phi' \dots 1,0\phi'$
Deformoituvat julkisivupinnoitteet	1,0	0,5	1,0	0

b) Tasan jakaantunut kuorma tukimuurin ja taustan päällä:

Kuormitustilanteessa, jossa tukimuurin lujitetun blokin ja blokin taustan pinnalla vaikuttaa tasainen liikennekuorma, lujitevoima T_{pj} kerroksessa j aiheutuu lujitetun blokin täytön ja liikennekuorman aiheuttaman pystykuorman aikaansaamasta maanpaineesta (yhtälö 8.7a).

Maanpainetta aiheuttava pystykuorma kohdistuu muurin pinnan taakse alueelle $L_j - 2 \cdot e_j$, jossa on huomioitu lujitetun blokin taustalla vaikuttavan maanpaineen aiheuttaman momentin aikaansaama kuormitusresultantin V_j epäkeskisyys (yhtälö 8.7b) tasolla j (merkinnät kuvassa 8.12).

Määritettäessä pystykuormaa V_j , jonka aiheuttama maanpaine kohdistuu lujitteeseen, lisätään yhtälöön NCCI7:n mukaiset kuormien osavarmuuskertoimet (yhtälö 8.7c).

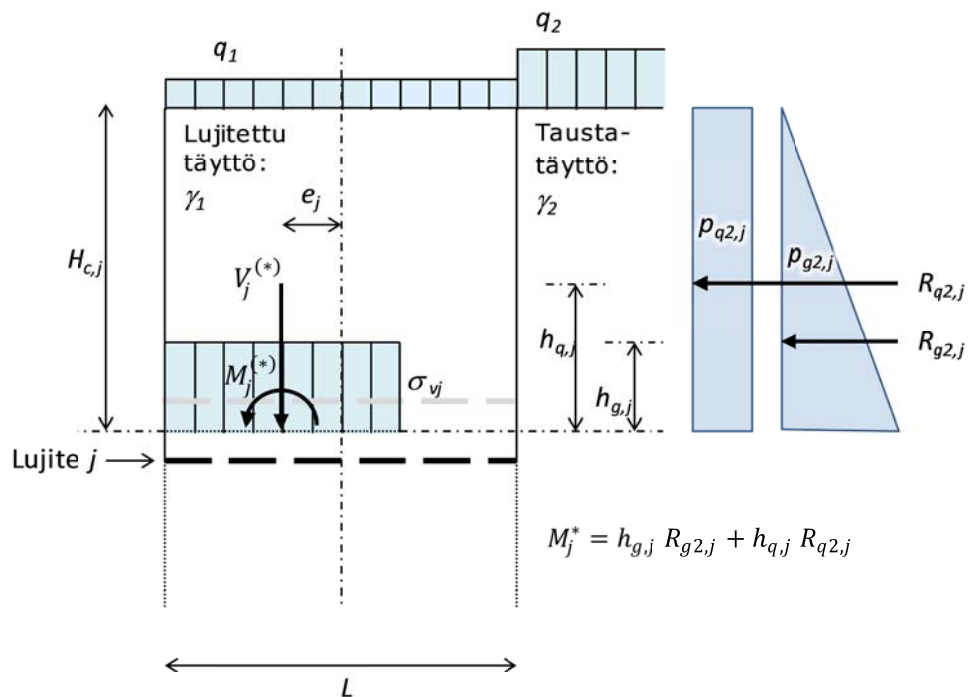
Epäkeskisyys määritetään yhtälöllä 8.7d kuvan 8.12 mukaisesti. Epäkeskisyyttä määritettäessä kuormilla ei käytetä osavarmuuskertoimia ($\gamma_G = 1,0$ ja $\gamma_Q = 1,0$).

$$T_{pj} = K_{a1} \sigma_{vj} S_{vj} \quad (8.7) a$$

$$\sigma_{vj} = \frac{V_j}{L_j - 2 e_j} \quad (8.7) b$$

$$V_j = (\eta_g \gamma_G \gamma'_1 H_{c,j} + \eta_q \gamma_Q q_1) L_j \quad (8.7) c$$

$$e_j = \frac{M_j^*}{V_j^*} = \frac{\frac{1}{2} K_{a2} H_{c,j}^2 (q_2 + \frac{1}{3} \gamma'_2 H_{c,j})}{(\gamma'_1 H_{c,j} + q_1) L_j} \quad (8.7) d$$



- R = Taustatäytöstä ja sen päällä sijaitsevasta liikennekuormasta aiheutuvan maanpaineen resultantit
 h_j = Resultanttien vaikutusetäisyydet lujitteen j tasosta
 M_j = Taustatäytön maanpaineiden aiheuttama momentti kerroksen j keskellä

Kuva 8.12 Kuorman V_j epäkeskisyyden määrittäminen

Sijoitetaan V_j ja e_j yhtälöihin 8.7a ja 8.7b => yhtälö 8.8

$$T_{pj} = \frac{K_{a1} (\eta_g \gamma_G \gamma'_1 H_{c,j} + \eta_q \gamma_Q q_1) L_j S_{vj}}{\left[L_j - 2 \cdot \frac{\frac{1}{2} K_{a2} H_{c,j}^2 (q_2 + \frac{1}{3} \gamma'_2 H_{c,j})}{(\gamma'_1 H_{c,j} + q_1) L_j} \right]} \quad (8.8)$$

missä

- K_{a1} on lujitetun blokin täytön aktiivimaanpainekerroin, -
 σ_{vj} lujitteen yläpuolisten maakerrosten ja liikennekuorman aiheuttama pystyjännitys, jonka jakauma on Meyerhofin teorian mukainen (kuva 8.10), kN/m²
 S_{vj} lujitteiden välinen pystyettäisyys, m
 V_j lujitteen j yläpuolisten maakerrosten aiheuttaman kuorman ja lujitetun blokin yläpinnalla vaikuttavan liikennekuorman resultantti, kN/m
 e_j kuorman V_j epäkeskisyyden kerroksessa j , m
 η_g, η_q julkisivuun kohdistuvan maanpaineen kalibrointikertoimet pysyville ja muuttuville kuormille taulukosta 8.3, -
 γ_G pysyvien kuormien osavarmuusluku, -
 γ'_1 lujitetun blokin täyttömateriaalin tehokas tilavuuspaino, kN/m³
 $H_{c,j}$ etäisyys muurin yläpinnasta kerroksen j keskelle, m
 γ_Q muuttuvien kuormien osavarmuusluku, -
 q_1 lujitetun blokin yläpinnalla vaikuttava kuorma, kN/m²
 L_j lujitteen pituus tason j yläpuolella (pisin lujite), m
 V_j^* resultantti V_j , kun kuorman osavarmuuskerroin on $\gamma_G = 1, \gamma_Q = 1$, kN/m

M_j^*	lujitetun blokin taustatäytön ja muuttuvan kuorman aiheuttama momentti, kun kuorman osavarmuuskertoimet ovat $\gamma_G = 1$, $\gamma_Q = 1$, kNm/m
K_{a2}	taustatäytön aktiivimaanpainekerroin, -
γ'_2	taustatäytön tehokas tilavuuspaino, kN/m ³
q_2	taustatäytön yläpinnalla vaikuttava kuorma, kN/m ²

c) Nauhakuorma tukimuurin päällä:

Lujitetun blokin pinnalla sijaitsevan pystysuuntaisen nauhakuorman F_z aiheuttaman lujitevoimakomponentin T_{sj} määrittämiseksi nauhakuorman oletetaan jakautuvan 2:1-suhteessa (kuva 8.9). Lujitteen j tasolla vaikuttava lujitevoima T_{sj} saadaan yhtälöstä 8.9.

$$T_{sj} = K_{a1} S_{vj} \frac{\gamma_{G/Q} F_z}{D_j} \quad (8.9) \text{ a}$$

$$D_j = (h_j + b), \quad \text{kun } h_j \leq (2d - b) \quad (8.9) \text{ b}$$

$$D_j = \frac{(h_j + b)}{2} + d, \quad \text{kun } h_j > (2d - b) \quad (8.9) \text{ c}$$

missä

T_{sj}	on nauhakuorman aiheuttama lujitevoima (lujitekerros j), kN/m
$\gamma_{G/Q}$	pysyvän tai muuttuvan kuorman osavarmuusluku, -
F_z	nauhakuorma 1 m tukimuurikaistaa kohden, kN/m
D_j	nauhakuorman aiheuttaman pystyjännityksen vaikutusalue lujitteen j tasolla, m
h_j	lujitteen j etäisyys muurin yläpinnasta, m
b	nauhakuorman leveys tukimuurin yläpinnalla, m
d	nauhakuorman keskikohdan etäisyys tukimuurin etupinnasta, m

Yhtälöllä 8.9 määritetty lujitevoima ei saa olla pienempi kuin pystykuorman F_z aiheuttaman taivutusmomentin aikaansaama lujitevoima, kun lujitettu blokki oletetaan yhtenäiseksi blokiksi.

d) Vaakakuorma tukimuurin päällä:

Lujitetun blokin pinnalla sijaitsevan vaakasuuntaisen kuorman F_x aiheuttama vaakasuora jännitys jakaantuu lujitteille kuvan 8.10 mukaisesti. Vaakasuoran kuorman aiheuttama vaakasuora jännitys jakaantuu yhtälön 8.10 mukaiselle korkeudelle z_s muurin yläpinnasta. Muurin yläpinnan tasolla vaikuttava vaakasuora jännitys määritetään yhtälöllä 8.11. Lujitteen j tasolla vaikuttava lujitevoima T_{fj} saadaan yhtälöstä 8.12.

$$z_s = \frac{d + \frac{b}{2}}{\tan\left(45^\circ - \frac{\phi'_p}{2}\right)} \quad (8.10)$$

$$\sigma_{Hmax} = \frac{2 F_x \tan\left(45^\circ - \frac{\phi'_p}{2}\right)}{d + \frac{b}{2}} \quad (8.11)$$

$$T_{fj} = 2 S_{vj} \gamma_{G/Q} F_x Q (1 - h_j Q) \quad (8.12) \text{ a}$$

$$Q = \frac{\tan\left(45^\circ - \frac{\phi'_p}{2}\right)}{d + \frac{b}{2}} \quad (8.12) \text{ b}$$

missä

z_s	on	korkeus muurin yläpinnasta, jolle vaakakuorma vaikuttaa, m
d		anturan keskikohdan etäisyys tukimuurin etupinnasta, m
b		anturan leveys tukimuurin yläpinnalla, m
ϕ'_p		lujitetun blokin täyttömateriaalin kitkakulma (huippu), °
σ_{Hmax}		vaakajännitys muurin yläpinnan tasolla (max. arvo), kN/m ²
F_x		vaakakuorma 1 m tukimuurikaistaa kohden, kN/m
T_{fj}		vaakasuoran kuorman aiheuttama lujitevoima (lujitekerros j), kN/m
$\gamma_{G/Q}$		pysyvän tai muuttuvan kuorman osavarmuusluku, -
Q		vaakajännityksen vaikutusalueen geometrinen tekijä, 1/m
h_j		lujitteen j etäisyys muurin yläpinnasta, m

Yhtälöllä 8.12a määritetty lujitevoima ei saa olla pienempi kuin vaakakuorman F_x aiheuttaman taivutusmomentin aikaansaama lujitevoima, kun lujitettu blokki oletetaan yhtenäiseksi blokiksi.

8.5.4 Lujitteiden ankkurikapasiteetti kerroksittain

Kohdassa 8.5.3 määritetty lujitevoima on ankkuroitava lujitteilla lujitetun blokin ankkurointivyöhykkeelle (kuva 8.8), joka on kaltevuuteen $45^\circ - \phi'_p/2$ piirretyn suoran taustalla oleva lujitettu vyöhyke (kuva 8.13). Tarkastelussa huomioitavat voimat on esitetty kuvassa 8.14.

Lujitteiden riittävä ankkurikapasiteetti tarkistetaan kerroksittain yhtälöllä 8.13c, joka on johdettu BS 8006-1:2010 ”Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills” esitetystä yhtälöstä 8.13a. Yhtälön 8.13c 1. ”+”-merkin jälkeinen osa supistuu, mikäli tukimuurin pinnan ei ole pysyvää pintakuormaa ja 2. ”+”-merkin jälkeinen osa supistuu, mikäli lujitteiden väline maa-aines on kitkamaata. Muurin pituussuunnassa jatkuvalla lujitteella tekijä p_j on 2 m (lujitteen ylä- ja alapuolen yhteinen pinta-ala).

Lujitevoimaa T_j määritettäessä, on käytetty NCCI7:n mukaisia kuormien osavarmuuskerroksia (DA2*). Yhtälöllä 8.13b mitoitetaan lujitteen ankkurikapasiteetti (kestävyys) T_{AVj} , jolloin muuttuvia pintakuormia ei oteta huomioon – ainoastaan mahdollinen pysyvä pintakuorma huomioidaan.

$$T_{AVj} = \frac{p_j \mu L_{ej} (\gamma'_1 h_j + g_1) + p_j \alpha_c c L_{ej}}{k} \quad (8.13) \text{ a}$$

$$T_j \leq \frac{T_{AVj}}{\gamma_p} \quad (8.13) \text{ b}$$

$$\Rightarrow T_j \leq \frac{p_j \mu L_{ej} (\gamma'_1 h_j + g_1) + p_j \alpha_c c L_{ej}}{k \gamma_p} \quad (8.13) \text{ c}$$

Kun kyseessä on jatkuva lujite, täyttö on kitkamaata eikä ole pysyvää pintakuormaa, supistuu yhtälö 8.13 c yhtälöiksi 8.13 d, 8.14 ja 8.15.

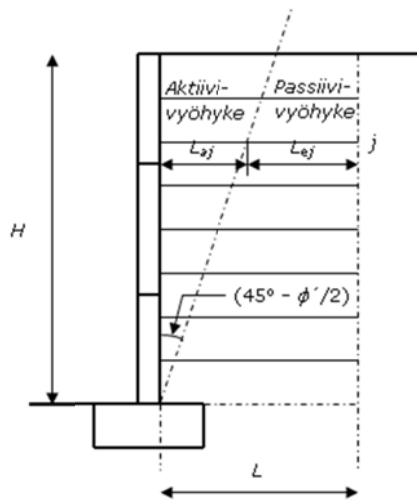
$$\Rightarrow T_j \leq \frac{2 \mu L_{ej} \gamma'_1 h_j}{k \gamma_p} \quad (8.13) \text{ d}$$

$$\mu = \alpha_b \tan \phi'_p \quad (8.14)$$

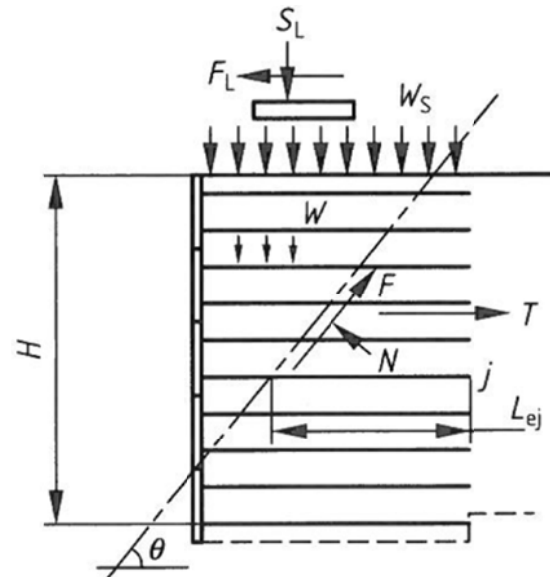
$$L_{ej} = L_j - \tan \left(45^\circ - \frac{\phi'_p}{2} \right) \cdot (H - h_j) \quad (8.15)$$

missä

T_{AVj}	on	lujitteen ankkurikestävyys kerroksessa j , kN/m
p_j		lujitteen ylä- ja alapinnan yhteinen leveys muurin pituussuunnassa 1 m kaistaa kohden, jatkuvalla lujitteella $p_j = 2,0$ m
μ		lujitteen ja täytön välinen kitkakerroin yhtälöstä 8.14, -
L_{ej}		lujitteen ankkurivyöhykkeen pituus yhtälöstä 8.15, m
γ'_1		lujitetun blokin täyttömateriaalin tehokas tilavuuspaino, kN/m ³
h_j		lujitteen j etäisyys muurin yläpinnasta, m
g_1		lujitetun blokin yläpinnalla vaikuttava pysyvä kuorma, kN/m ²
α_c		maamateriaalin ja lujitteen välisen koheesion korjauskerroin (suora liukumisen ja ankkurointi), -
c		penger materiaalin koheesio, kN/m ²
k		tarkasteltava kaista muurin pituussuunnassa (yleensä $k = 1$ m)
T_j		lujitteen vastaanottama lujitevoima kerroksessa j , kN/m
γ_p		lujitteen ankkuroinnin / ulosvedon osavarmuusluku = 1,1 (NCCI 7: $\gamma_p = \gamma_{R,h}$, taulukko A.5(FI), Sarja R2), -
α_b		lujitteen ja kitkamaan välisen ulosvetovastuksen korjauskerroin, -
ϕ'_p		lujitetun blokin täyttömateriaalin leikkauskestävyysskulma (huippu), °
L_j		lujitteen j pituus, m
H		tukimuurin korkeus, m



Kuva 8.13 Lujitteiden ankkurikapasiteetin määrittäminen (kiilamenetelmä). (BS 8006-1:2010)



Kuva 8.14 Kiilan stabiliteettitarkastelussa huomioitavat voimat (kiilamenetelmä) (BS 8006-1:2010)

8.5.5 Kiilan stabiliteetti

Rakenteen sisäistä vakavuutta tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon myös mahdollisuus, että rakenteeseen syntyy epästabiileja maakiiloja kuvan 8.15 mukaisesti. Liukumaan pyrkivä maakiila oletetaan jäykäksi kappaleeksi, jonka koko ja muoto voi vaihdella. Maakiila on stabiili silloin, kun liukupinnalla vaikuttava kitkavoima ja lujitteiden vetolujuuskapasiteetti sekä ankkurikapasiteetti kiilan takana olevassa maassa ovat riittävät kiilaan vaikuttaviin kaataviin voimiin nähden.

Seuraavat kuormat tulee huomioida kiilan stabiliteettitarkastelussa:

- kiilan oma paino,
- tasan jakautunut pintakuorma q_0, q_z ,
- nauhakuorma F_z ,
- vaakasuora kuorma F_x ,
- liukupinnalla vaikuttavat kitka- ja koheesivoimat ja
- liukupinnan normaalivoima.

Lujitetulla tukimuurilla, jossa lujitteiden välissä on kitkamaata, muurin yläpinta on tasainen, muurin pinnalla on tasaisesti jakautunut kuorma ja jota ei kuormita nauhakuorma tai vaakakuorma, on vaarallisimman liukupinnan β kaltevuus $45^\circ - \phi'_p/2$. Kohdassa 8.5.4 on tarkasteltu ko. tapaus samalla, kun on tarkasteltu lujitteiden ankkuroituminen kerroksittain. Myös tapauksessa, jossa lujitteiden välissä on kitkamaata, muurin yläpinta on luiskattu lujitetun blokin alueella ja luiskaan ei kohdistu pintakuormaa, on vaarallisimman liukupinnan β kaltevuus $45^\circ - \phi'_p/2$.

Muissa monimutkaisemmissa tapauksissa on tarkasteltava myös tapaukset, joissa liukupinnan kaltevuus $\beta \neq 45^\circ - \phi'_p/2$. Periaatteita tarkasteluun on esitetty kuvassa 8.16. Tarkastelua tehtäessä voidaan olettaa, että vaarallisin liukupinta ei kulje tukimuurin yläpinnalla sijaitsevan nauha-anturan kohdalta. Mikäli muurin julkisivu muo-

dostuu yhtenäisestä rakenteesta, voidaan sen leikkauslujuus ottaa huomioon lujittavana elementtinä.

Lujitetun blokin lujitteiden vetokapasiteetti ja sijoittelu on oikein silloin, kun lujitteiden yhteenlaskettu lujuus (yhtälö 8.16) ja ankkurikapasiteetti (yhtälö 8.17) ylittävät lujitteilta vaadittavan vetokapasiteetin.

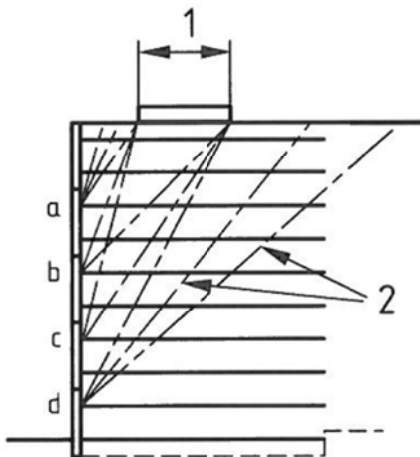
$$\sum_{j=1}^m \left(\frac{T_{dj}}{K_{Fi} \gamma_{re}} \right) \geq T \quad (8.16)$$

$$\sum_{j=1}^m \left(\frac{T_{AVj}}{K_{Fi} \gamma_{re}} \right) \geq T \quad (8.17)$$

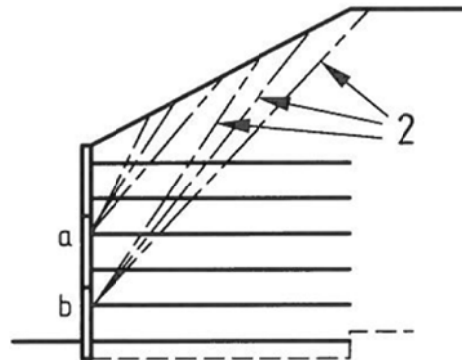
missä

T_{dj}	on	lujitteen mitoituslujuus kerroksessa j , kN/m
K_{Fi}		kuormakerroin, -
γ_{re}		geolujitteen materiaalikerroin = 1,0, -
m		kiilaa sitovien lujitteiden lukumäärä, -
T		kiilan stabiliteettitarkastelussa lujitteilta vaadittava lujitevoima yhteensä, kN/m
T_{AVj}		lujitteen ankkurikapasiteetti kerroksessa j , kN/m

a)

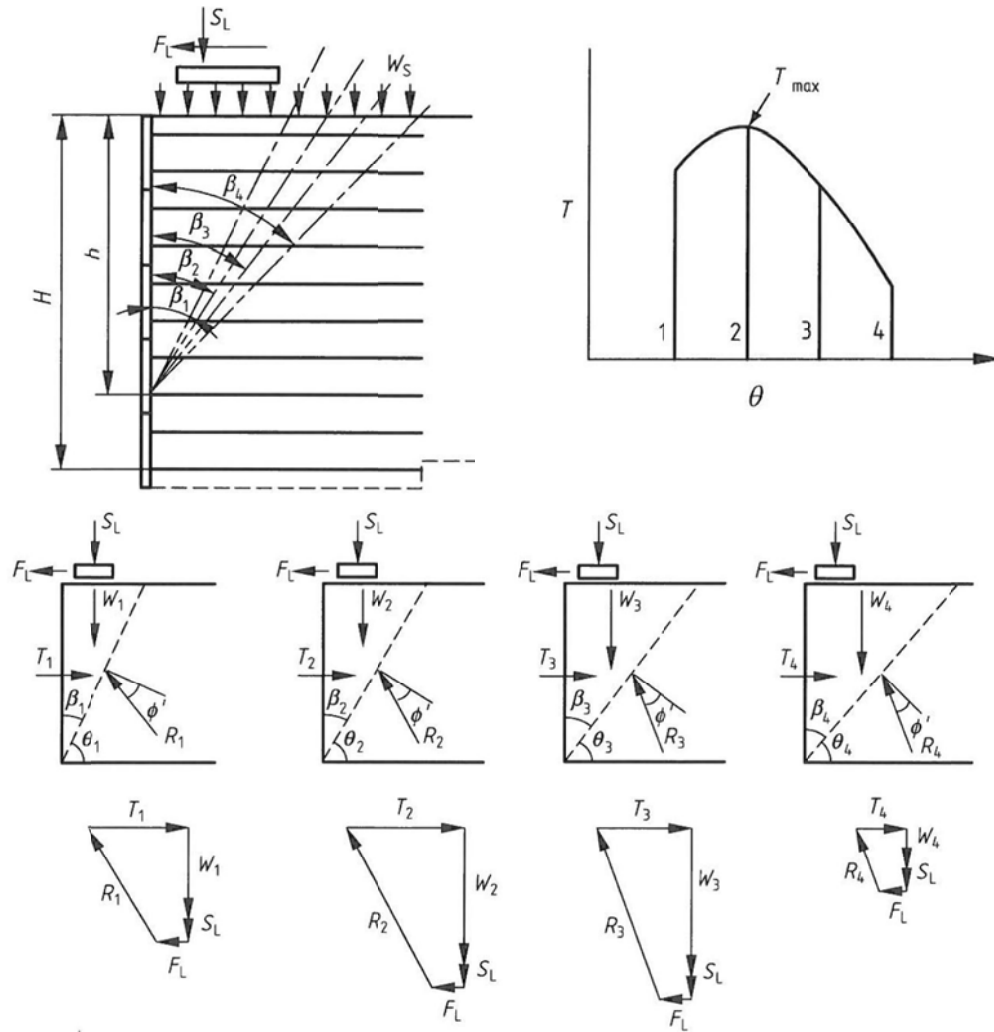


b)



- 1 Mahdolliset murtopinnat eivät leikkaa tukimuurin yläpintaa an-turan tehokkaan kosketuspinnan kohdalla.
- 2 Erilaisia mahdollisia murto-pintoja.

Kuva 8.15 Mahdollisia vaarallisimman liukupinnan sijainteja (kiilamenetelmä).
(BS 8006-1:2010)



Kuva 8.16 Kiilan stabiliteetin määrittäminen yksinkertaisessa tapauksessa. (BS 8006-1:2010)

8.6 Käyttöraja, SLS

Lujitettu tukimuuri on taitorakenne, jonka siirtymät, muodonmuutokset ja painumat tulee tarkastella tarkemmin mm. muurin julkisivun, muuriin tukeutuvien rakenteiden ja muurin yläpuolisten liikenneväylien vaatimusten mukaisesti. Taulukossa 8.1 esitetyn mukaisesti korkeiden tukimuurien muodonmuutostarkastelut tehdään FEM-mallinnuksella.

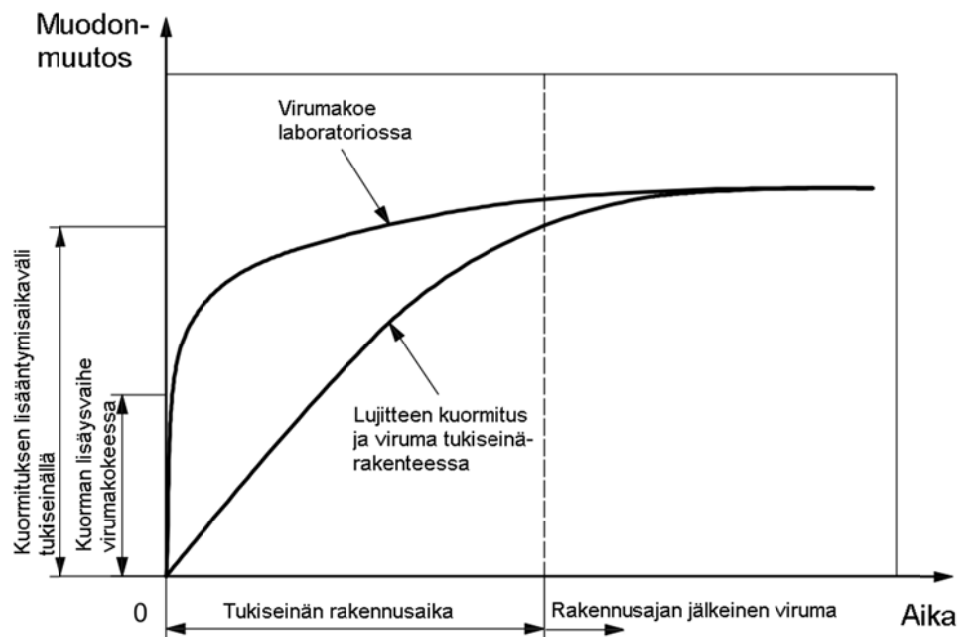
Lujitetut maarakenteet deformoituvat sekä rakentamisen aikana että sen jälkeen (kuva 8.17). Rakenteen käytettävyys on riippuvainen sen käyttöänsä aikana tapahtuvista muodonmuutoksista. Tavallisesti muodonmuutokset aiheutuvat kuormitetun lujitemateriaalin virumasta, taustatäytön tiivistymisestä ja pehmeän pohjamaan painumisesta. Lujitetuissa rakenteissa metallilujitteiden viruma on suuruudeltaan merkityksetön, mutta polymeerilujitteilla viruman aiheuttamia muodonmuutoksia on arvioitava suunnittelun aikana. (BS 8006-1:2010)

Julkisivun ja rakenteen yläpinnan muodonmuutosten tulisi lujiterakenteissa pysyä hyväksyttävissä rajoissa, jotka voidaan määritellä seuraavasti:

- a) Julkisivun tulee olla ulkonäöltään hyväksyttävä, eikä siinä saa olla pullistumia, ulokkeita tai epätasaisia linjoja.

- b) Rakenteen yläpinnan tulee olla suora tai sen kaarteet tulee olla jouheva.
- c) Oikean rakentamisjärjestyksen noudattaminen voi olla merkittävässä asemassa siltojen maatumien muodonmuutosten ehkäisemisessä.
- d) Tukimuurien julkisivut eivät saa deformatua eivätkä aiheuttaa vahinkoja julkisivupinnoitteessa. (BS 8006-1:2010)

Taulukossa 8.4 on esitetty ohjeellisia arvoja julkisivujen rakentamisen aikaisille ja jälkeisille muodonmuutoksille.



Kuva 8.17 Tukimuurissa rakentamisaikana ja sen jälkeen mitatun viruman vertaaminen laboratoriossa tehtyyn virumakokeeseen (ISO/TR 20432:2007).

Lujitettujen rakenteiden rakentamisen jälkeiset siirtymät voivat aiheutua:

- a) perustusten painumista
- b) täytön tiivistymisestä
- c) lujitteen virumasta
- d) hienoaineksista koostuvan taustatäytön virumasta.

Vaikka yllä olevat rakentamisen jälkeiset siirtymät voidaan yleensä välttää hyvää rakentamistapaa käyttäen, lujitteen viruma tulisi rajoittaa taulukossa 8.5 esitettyihin tai vaihtoehtoisesti suunnittelijan erikseen määrittelemiin arvoihin.

Taulukko 8.4 Geolujitetun tukimuurin julkisivun ohjeellisia rakentamistoleransseja (BS 8006-1:2010).

Ominaisuus	Toleranssi
Tasorakenteen sijainti	± 50 mm
Kaltevuus (poikkeama suunnitellusta)	± 5 mm / korkeusmetri (1:200)
Pullistuma (pystysuunta) ja käyristymä (vaakasuunta)	± 25 mm / 4 m

Taulukko 8.5 Tukimuurin lujitteen rakentamisen jälkeisen viruman raja-arvoja käyttörajatilassa (BS 8006-1:2010).

Rakenne	Lujitteen muodonmuutos, %
Tukimuurit, joita kuormittaa pysyvä rakenteellinen kuorma	0,5
Tukimuurit, joita kuormittaa ainoastaan muuttuva kuorma	1,0

8.7 Täyttökerroksen ympäri kiedottu lujite

Yleisimmin käytettyjä pehmeitä pinnoitusosia ovat niin sanotut kiedotut pinnoitukset. Niissä täysleveä lujite, esimerkiksi lujiteverkko tai -kangas, asennetaan lujitetun täytön eteen siten, että se kietoutuu lujitekerrosten välisten täyttökerroksen pinnaksi. Jos käytetään lujiteverkkoja, niiden pintaan tai taustaan voidaan asentaa sopiva geotekstiili tai eroosioverkko suojaamaan pintaa eroosiolta.

Jyrkän luiskan rakentamisessa käytetään yleensä tilapäistä muottia, jotta rakenteesta saadaan halutun muotoinen. Vaihtoehtoisesti pinnoitusosat voidaan muodostaa maaineksella täytetyistä kangassäiliöistä ("hiekkasäkki"). Tällaisia niin sanottuja säkitettyjä pinnoitusosia käytettäessä on suositeltavaa sisällyttää pinnoitusosa päälujitteeseen samoin kuin yksinkertaisella kiedotulla pinnoituksella. (SFS-EN 14475). Menetelmällä voidaan tehdä kaltevuudeltaan 45° jyrkempiä luiskia.

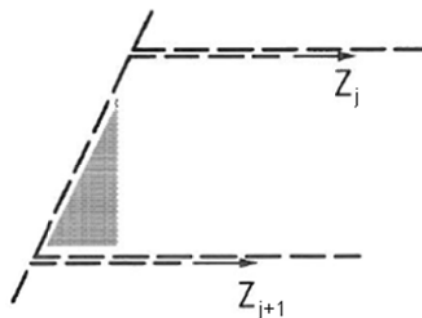
Täyttökerroksen ympäri kiedotun lujitteen häntään kohdistuva lujitevoima (kuva 8.18) voidaan arvioida yhtälöllä 8.18.

$$Z_j = \frac{T_j}{3} \quad (8.18)$$

missä

Z_j on lujitteen j häntään kohdistuva lujitevoima, kN/m

T_j lujitekerroksen j vastaanottama lujitevoima, kN/m



Kuva 8.18 Täyttökerroksen ympäri kiedotun lujitteen häntään kohdistuva lujitevoima Z ("wrap-around" -rakenne, BS 8006-1:2010)

Jos alemman kerroksen lujitteen häntä on kiinnitetty seuraavan kerroksen päälujitteeseen, tulee liitoksen kestää siihen kohdistuva voima Z . Mikäli lujitteen häntää ei ole kiinnitetty yläpuoliseen lujitteeseen, tulee hännällä olla riittävä ankkurointikestävyys voiman Z vastustamiseksi.

Täyttökerroksen ympäri kiedotun lujitteen liukumiskestävyys voidaan laskea yhtälöillä 8.19 ja 5.2.

$$R_{dsj} = \frac{R_{s,yj} + R_{s,aj}}{\gamma_s} \quad (8.19)$$

missä

- R_{dsj} on liukumiskestävyuden mitoitusarvo lujitteessa j , kN/m
 $R_{s,yj}$ liukumiskestävyuden ominaisarvo lujitteen j yläpinnalla, kN/m
 $R_{s,aj}$ liukumiskestävyuden ominaisarvo lujitteen j alapinnalla, kN/m
 γ_s osavarmuusluku liukumiselle lujitteen pintaa pitkin = 1,1 (NCCI 7: $\gamma_s = \gamma_{R,h}$, taulukko A.5(FI), Sarja R2), -

Lujitteen yläpinnalla vaikuttavaa liukumiskestävyuden arvoa laskettaessa tulee huomioida, että kerroksen päälle taivutetun lujitteen alkuosalla lujite on suorassa kosketuksessa yläpuolella olevan kerroksen geolujitteen kanssa (yhtälö 8.20 ja kuvat 8.19 ja 8.20).

$$R_{s,yj} = \gamma'_1 (L_{wj_alku} - L_{akt}) h_j \mu_{gg} + \gamma'_1 L_{wj_häntä} (h_j + h_w) \alpha_{ds} \tan \phi'_p \quad (8.20)$$

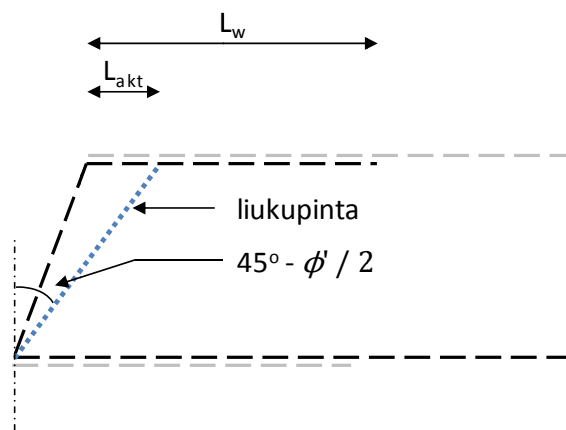
missä

- γ'_1 on lujitetun blokin täyttömateriaalin tehokas tilavuuspaino, kN/m³
 L_{wj_alku} taivutetun lujitteen alkuosan pituus, m
 L_{akt} aktiivivyohykkeen pituus lujitteessa, m
 h_j lujitteen j etäisyys muurin yläpinnasta, m
 μ_{gg} lujite/lujite-rajapinnan liukuvastuksen kitkakerroin, -
 $L_{wj_häntä}$ taivutetun lujitteen häntäosan pituus, m
 h_w lujitteen häntäosan etäisyys täyttökerroksen j yläpinnasta, m
 α_{ds} pengermateriaalin ja lujitteen välisen leikkauskestävyysskulman liukuvastuksen korjauskerroin, -
 ϕ'_p pengermateriaalin huippuleikkauskestävyysskulma, °

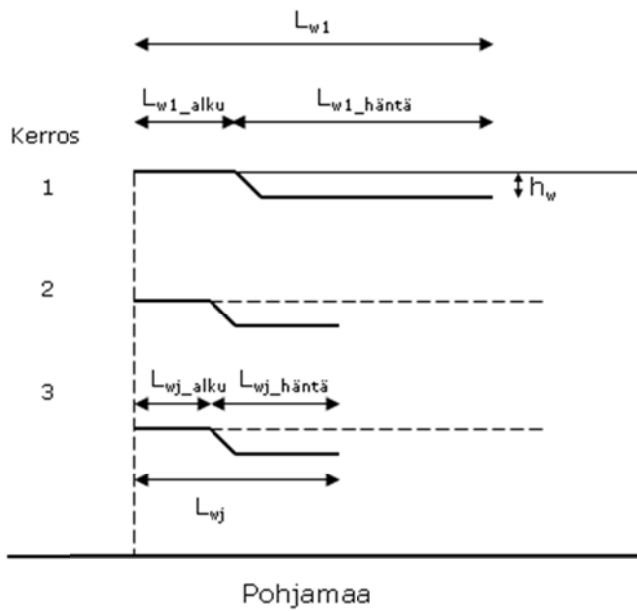
Lujitteen liukumiskestävyuden tulee täyttää yhtälössä 8.21 esitetty ehto.

$$Z_j \leq R_{dsj} \quad (8.21)$$

Täyttökerroksen ympäri kiedotulla lujitteella tulee aina ottaa huomioon julkisivun ja lujitetukimuurin rakentamistekniikka ja rakentamisen vaiheet. Lujitteen hännän pituus (ja ankkuripituus) voi mitoituslaskelman perusteella olla lyhyempi kuin lujiterakenteen rakentamisen kannalta on mahdollista. Tällöin lujitteen pituus on määritettävä siten, että rakentaminen on mahdollista. Yleisohjeena voidaan todeta, että lujitteen hännän on yleensä oltava pituudeltaan vähintään 1...1,5 m ja ylimmän lujitteen pidempi, mikäli sen yläpuolinen rakennepaksaus on ohut.



Kuva 8.19 Aktiivivyöhykkeen pituus taivutetussa lujitteessa.



Kuva 8.20 Täyttökerroksen ympäri kiedotun lujiterakenteen merkinnät ("wrap-around" -rakente)

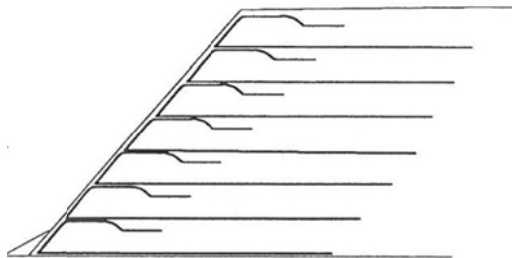
9 Jyrkät luiskat

9.1 Käyttösovellukset

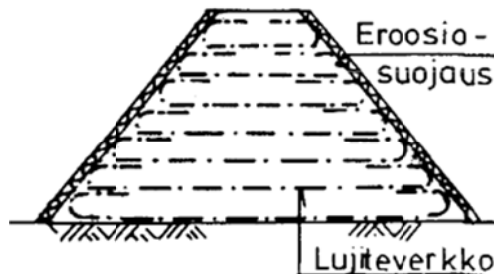
Jyrkillä luiskilla tarkoitetaan erilaisten pengerrakenteiden luiskia, jotka pysyvät geolujitteiden avulla suuremmissa kaltevuuskulmissa kuin rakenteessa käytetyn maan leikkauskestävyyskulma edellyttäisi (kuva 9.1). Jyrkän luiskan rakentaminen on vaihtoehto esimerkiksi rakennetuilla alueilla, joissa tilan puute estää loivaluiskaisen meluvallin tai luiskan rakentamisen. Jyrkkä lujitemaaluiska voi tällöin korvata esim. meluseinärakenteen tai betonisen tukimuurirakenteen.

Luiskan kaltevuuden ollessa $45^\circ \dots 90^\circ$ on luiska suojattava esimerkiksi taivuttamalla lujite täyttökerroksen reunan ympäri ("wrap-around"). Luiskat, jotka ovat loivempia kuin 45° , eivät yleensä edellytä lujitteen taivuttamista suojaukseksi. Tällöinkin pinnan suojaksi asennetaan yleensä eroosiosuojaus, joka pitää mullan ja kasvillisuuden paikallaan sekä estää sadevesien aiheuttaman eroosion. Jyrkissä luiskissa käytettävien lujitteiden tulee olla UV-suojattuja. Mikäli luiska viherrytetään, suositellaan vallimaisissa rakenteissa luiskakaltevuudeksi Suomen olosuhteissa enintään $60 \dots 70^\circ$ kasvillisuuden kuivumisvaaran takia. (Aalto et al. 1998)

a)



b)



Kuva 9.1 a) Geolujitettu jyrkkä luiska (Aalto et al. 1998) ja b) meluste (Tielaitos 1995).

9.2 Mitoitus, STR/GEO DA2*

9.2.1 Määritelmät ja parametrit

Seuraavassa on esitetty mitoituskäyrästäihin perustuva menetelmä kantavalla maapohjalla olevalle pengerluiskalle, jonka kaltevuuskulma β voi olla $30^\circ \dots 90^\circ$ ja jota ei kuormita maantieliikennekuorma. Ko. mitoitusmenetelmä on kirjoitettu Jewellin (1991) esittämän mukaisesti. Pengerluiskan yläpintaa voi kuormittaa tasainen pintakuorma. Pistekuormien ja muiden kuormitustilanteiden vaikutus on tarkasteltava erikseen esim. luvussa 8 esitettyjä tukimuurin mitoitusyhtälöitä soveltamalla. Mitoitus esimerkki jyrkästä luiskasta on esitetty liitteessä 9. Jyrkän luiskan mitoituksessa tarvittavat parametrit on esitetty taulukossa 9.1 ja kuvassa 9.2. Mitoituksessa käytet-

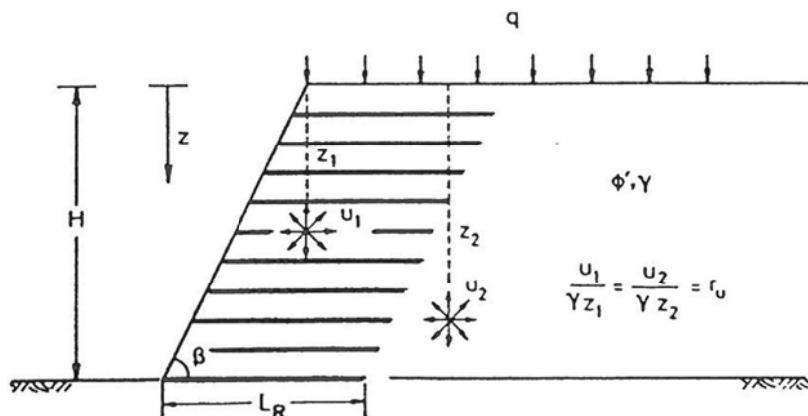
täviin lujuusparametreihin ja kuormiin sovelletaan osavarmuuskertoimia NCCI 7:ssä ja tässä esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

Jyrkän luiskan ulkoisen stabiliteetin tarkastelut eli lujitetun blokin pohjamaan kantokykytarkastelu, liukumistarkastelu ja kokonaisstabiliteettitarkastelu tehdään kuten tukimuurille (kohta 8). Liukumistarkastelu on tehtävä myös kantavalla pohjamaalla olevalle lujitetulle jyrkälle luiskalle.

Huokosvedenpaine otetaan huomioon dimensiottomalla huokospainekertoimella r_u , joka on huokosvedenpaineen suhde tällä tasolla vaikuttavaan pystysuoraan kokonaisjännitykseen. Huokosvedenpaineen arvioiminen rakenteen mitoitusiän aikana on hankalasti kontrolloitavissa oleva tekijä, joten mitoituksessa tulee huokosvedenpaineen arvoksi valita suurin mahdollinen toteutuva arvo. Aina, kun mahdollista, pyritään lujitettuun rakenteeseen suunnittelemaan ja toteuttamaan niin tehokas kuivatus, että siihen ei kohdistu huokosvedenpainetta.

Taulukko 9.1 Kantavalle maapohjalle rakennettavan penkereen mitoitusparametrit. (Jewell 1991 mukaisesti)

Mitoitusparametri	Merkintä
Penkereen korkeus	H (m)
Penkereen kaltevuuskulma	β ($^\circ$)
Pengermaan leikkauskestävyyuskulma	$\phi_d = \phi'_c$ ($^\circ$)
Pengermaan koheesio	$c'_d = 0$ (kPa)
Pengermaan kokonaistilavuuspaino	γ_1 (kN/m ³)
Huokospainekerroin	r_u (-)
Maan ja vahvisteen välisen liukuvastuksen korjauskerroin	α_{ds} (-)
Ulosvetovastuksen korjauskerroin	α_b (-)
Vahvisteen mitoituslujuus	f_d (kN/m)



Kuva 9.2 Kantavalla pohjalla olevan lujitetun pengerluiskan mitoitusparametrit. (Jewell 1991)

9.2.2 Lujitteen ankkurointi- ja minimipituuden määrittäminen

Kun suunnitteluparametrit on valittu, saadaan kuvien 9.3...9.5 mitoituskäyrästä parametrit K_{req} ja L_R / H' . Mitoituskäyrästä käytettäessä sijoitetaan ϕ_d tilalle ϕ'_c . Arvot voidaan interpoloida lineaarisesti eri käyrien välillä.

Maan ja lujitteen välisen liukuvastuksen korjauskertoimen oletusarvona on käytetty $\alpha_{ds} = 0,8$. Jos $\alpha_{ds} < 0,8$, kerrotaan parametri $(L_R / H')_{ds}$ arvolla $0,8 / \alpha_{ds}$.

Lujitteen minimipituus L_R valitaan seuraavasti:

- Jos $(L_R / H')_{ovrl} > (L_R / H')_{ds}$, niin valitaan $L_R / H' = (L_R / H')_{ovrl}$
- Jos $(L_R / H')_{ovrl} < (L_R / H')_{ds}$, niin valitaan joko $L_R / H' = (L_R / H')_{ds}$ tai tasaisesti muuttuvien lujitepituuksien tapauksessa penkereen pohjalla $(L_R / H')_{base} = (L_R / H')_{ds}$ ja yläpinnalla $(L_R / H')_{crest} = (L_R / H')_{ovrl}$.

Lujitteelta vaaditaan riittävä ankkuripituus L_b , jotta lujitevoima f_d voisi mobilisoitua penkereen pohjalla. Ankkuripituus L_b määritetään yhtälöllä 9.1, jos $L_R > H' \tan \beta$.

$$L_b = \left(\frac{f_d}{\gamma_1 H' 2 W_r} \right) \left(\frac{1}{\alpha_b \tan \phi'_c} \right) \left(\frac{1}{1 - r_u} \right) \gamma_p \quad (9.1)$$

missä

L_b	on	lujitteen ankkurointipituus, m
f_d		lujitteen mitoituslujuus, kN/m
γ_1		penkereen kokonaistilavuuspaino, kN/m ³
H'		penkereen laskennallinen korkeus, m
W_r		lujitteen leveys, jatkuvan lujitteen tapauksessa $W_r = 1$ m
α_b		ulosvetovastuksen korjauskerroin, -
ϕ'_c		penger materiaalin kriittinen leikkauskestävyyskulma, °
r_u		huokospainekerroin, yhtälö 9.2, -
γ_p		lujitteen ankkuroinnin / ulosvedon osavarmuusluku = 1,1 (NCCI 7: $\gamma_p = \gamma_{R,b}$, taulukko A.5(FI), Sarja R2), -

Huokospainekerroimella r_u tarkoitetaan huokosvedenpaineen suhdetta vallitsevaan pystyjännitykseen:

$$r_u = \frac{u}{\sigma_v} \quad (9.2)$$

missä

u	on	huokosvedenpaine, kN/m ²
σ_v		vallitseva pystyjännitys, kN/m ²

Loivempien luiskien tapauksessa ($L_R < H' / \tan \beta$) lujitteeseen kohdistuva pintakuorma pienenee, mikä otetaan huomioon yhtälön 9.1 oikean puoleisessa termissä.

Pengertä kuormittava tasainen pintakuorma q otetaan huomioon mitoituksessa laskennallisen pengerkorkeuden H' avulla yhtälöllä 9.3.

$$H' = H + \frac{\gamma_G q_G + \gamma_Q q_Q}{\gamma_1} \quad (9.3)$$

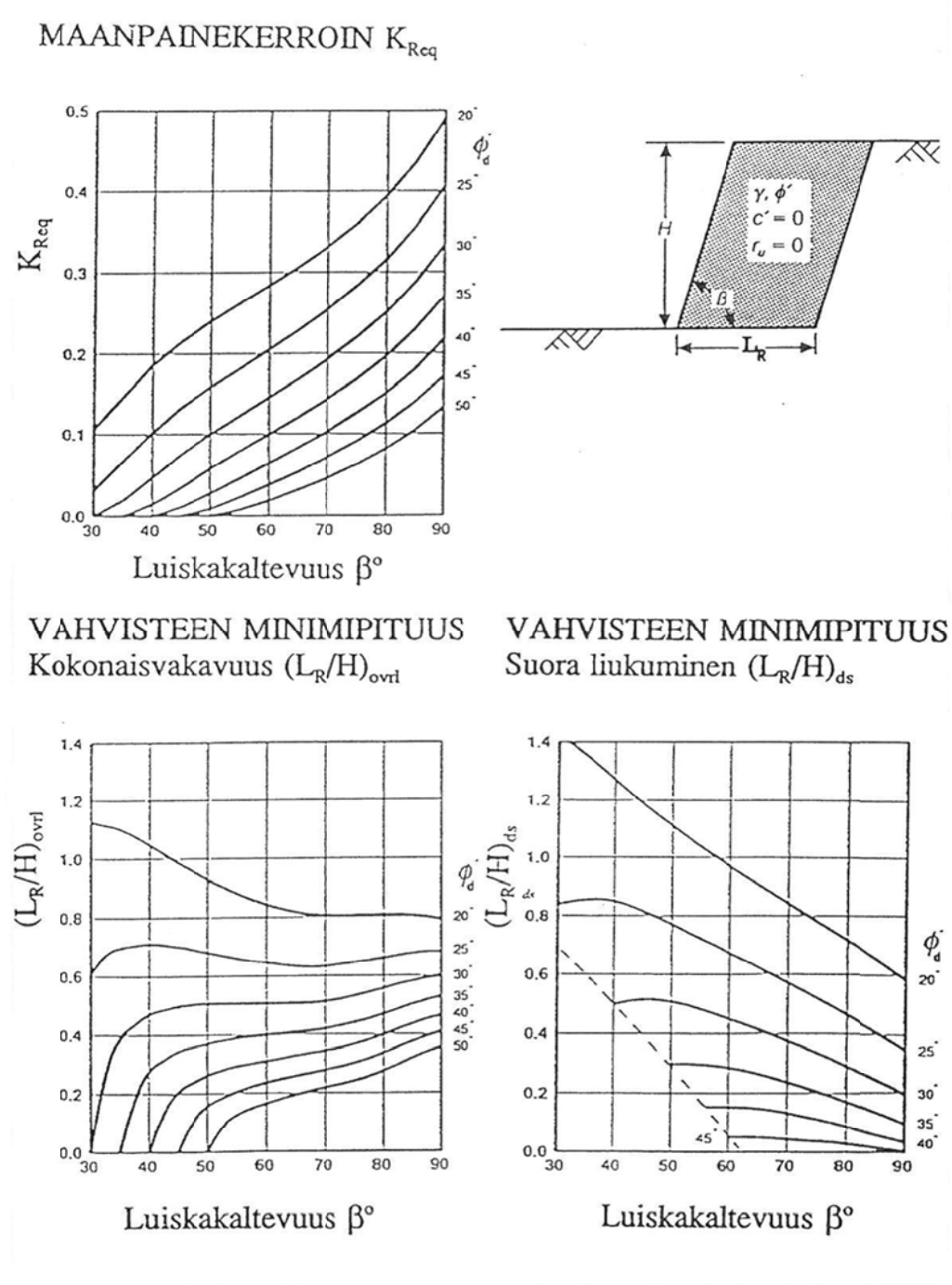
missä

H'	on	penkereen laskennallinen korkeus, -
H		penkereen korkeus, -
q_G		tasainen pysyvä pintakuorma, kN/m ²
q_Q		tasainen muuttuva pintakuorma, kN/m ²
γ_G		pysyvän kuorman osavarmuusluku, -
γ_Q		muuttuvan kuorman osavarmuusluku, -
γ_1		penkereen kokonaistilavuuspaino, kN/m ³

Vastaavasti menetellään syvyysmuuttujan z suhteen (yhtälö 9.4).

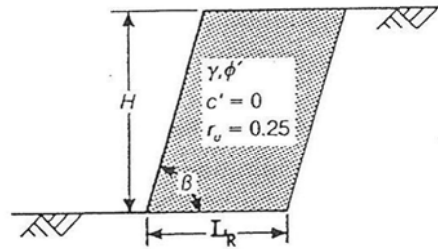
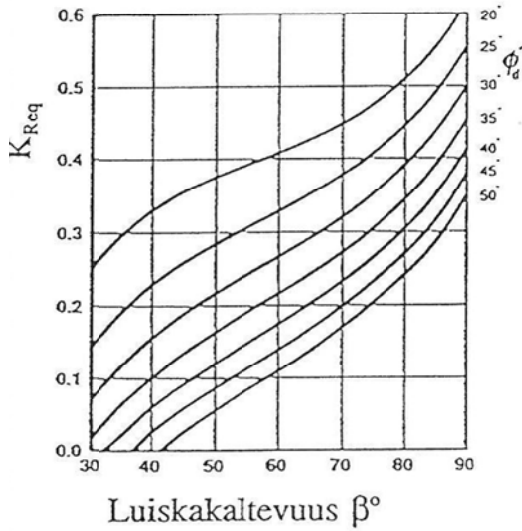
$$z' = z + \frac{\gamma_G q_G + \gamma_Q q}{\gamma_1} \quad (9.4)$$

Kuormittamattoman penkereen tapauksessa on suositeltavaa käyttää tasaisen pinta-kuorman arvona $q = 10$ kN/m², jolla otetaan huomioon mahdollinen pieni ylitäyttö ja penkereen pintaan rakennusaikana mahdollisesti kohdistuvat paikalliset ylikuormitukset.

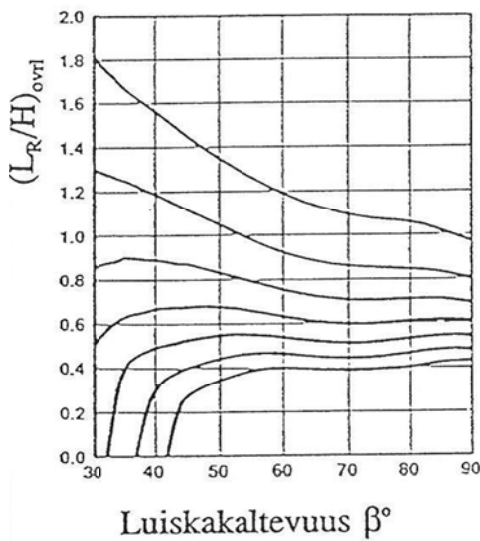


Kuva 9.3 Geolujitettu jyrkkä luiska. Mitoituskuvaajat vaadittavan lujitepituuden ja maanpainekertoimen määrittämiseen, kun $r_u = 0$. (Jewell 1991)

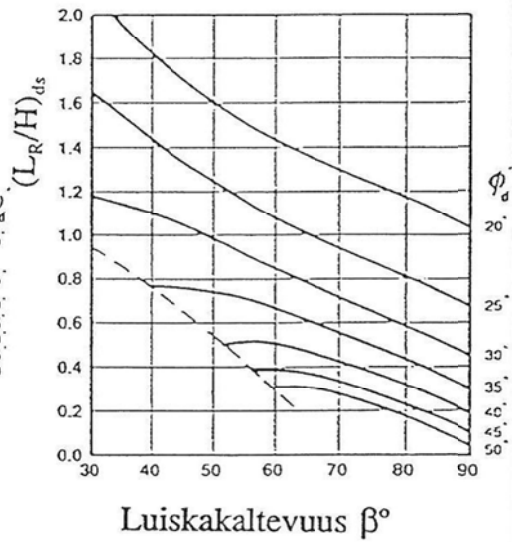
MAANPAINEKERROIN K_{Req}



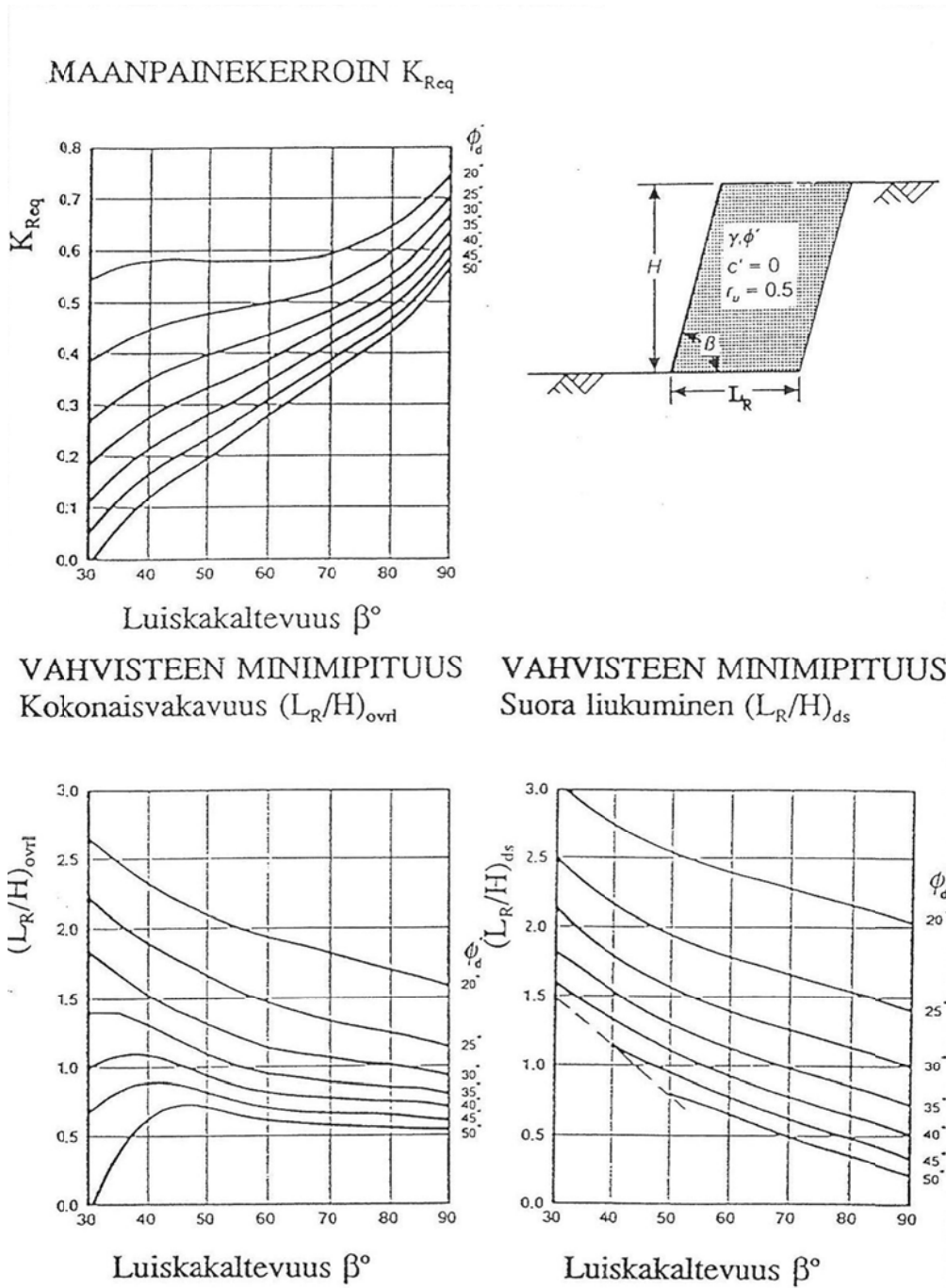
VAHVISTEEN MINIMIPITUUS
 Kokonaisvakavuus $(L_R/H)_{ovrl}$



VAHVISTEEN MINIMIPITUUS
 Suora liukuminen $(L_R/H)_{ds}$



Kuva 9.4 Geolujitettu jyrkkä luiska. Mitoituskuvaajat vaadittavan lujitepituuden ja maanpainekertoimen määrittämiseen, kun $r_u = 0,25$. (Jewell 1991)



Kuva 9.5 Geolujitettu jyrkkä luiska. Mitoituskuvaajat vaadittavan lujitepituuden ja maanpainekertoimen. määrittämiseen, kun $r_u = 0,5$. (Jewell 1991)

9.2.3 Lujitteella vastaanotettavan maanpaineen mitoitusarvo σ_{hzd}

Lujitteeseen kohdistuva maanpaine σ_{hz} syvyydellä z lasketaan yhtälöllä 9.5.

$$\sigma_{hz} = \gamma_1 z' K \quad (9.5)$$

missä

σ_{hz}	on	lujitteeseen kohdistuva maanpaine, kN/m ²
γ_1		penkereen kokonaistilavuuspaino, kN/m ³
z'		tehokas syvyys, m
K		mitoittava maanpaine kerroin, -

Jotta lujitteen tartunnan vaikutus kokonaisstabiilitettiin saataisiin huomioitua paremmin, on mitoituskuvaajista määritettyä maanpaine kerrointa K_{req} korjattava yhtälön 9.6 mukaisesti.

$$K = \frac{K_{req}}{1 - L_b/L_R} \quad (9.6)$$

missä

K	on	mitoittava maanpaine kerroin, -
K_{req}		vaadittava maanpaine kerroin kuvasta 9.3, 9.4 tai 9.5, -
L_b		lujitteen ankkurointipituus, m
L_R		lujitteen minimipituus, m

Penkereen harjan tuntumassa on otettava huomioon riittävä tartuntapituus lähellä luiskan etupintaa. Kriittinen syvyys z_c , jota pienemmällä arvoilla tartunta tulee ongelmaksi, lasketaan yhtälöllä 9.7. Vastaava minimimaanpaine σ_{hmin} , joka kohdistuu lujitteeseen syvyyttä z_c pienemmällä syvyyksillä, lasketaan yhtälöön 9.5 perustuen yhtälöllä 9.8.

$$\frac{z_c}{H'} = \frac{L_b}{L_R} \quad (9.7)$$

$$\sigma_{hmin} = \gamma_1 z'_c K = \gamma_1 \left(H' \frac{L_b}{L_R} + \frac{\gamma_G q_G + \gamma_Q q}{\gamma_1} \right) K \quad (9.8)$$

Lasketuista maanpaine arvoista σ_{hz} ja σ_{hmin} valitaan suurempi mitoituksessa käytettäväksi lujitteella vastaanotettavaksi maanpaine jännitykseksi σ_{hzd} (kuva 9.6 a).

Lujitteilla vastaanotettava maanpaine kasvaa syvyyden kasvaessa. Tämän vuoksi rakenteen alaosaan täytyy valita suuremman lujuuden omaava lujite tai pystysuoraa lujiteväliä täytyy pienentää. Lujitetyyppien rajoittaminen yhteen tai kahteen eri lujuuksiseen materiaaliin helpottaa rakentamista ja vähentää mahdollisia lujitteiden keskenään sekoittumista.

Kuvine 9.3...9.5 mitoituskäyrästöillä on mahdollista määrittää luiskan alaosassa sijaitseville lujitteille erittäin lyhyitä ankkuripituuksia. Mitoituksessa saatavien hyvin lyhyiden ankkuripituuksien kohdalla suositellaan ankkuripituutta kasvatettavaksi siten, että se ulottuu selvästi vaarallisimman liukupinnan passiivipuolelle. Ankkuripituutta on mitoitus tapauksesta riippuen jatkettava $\geq n \cdot 0,5 \dots 1$ m.

9.2.4 Lujitteen kapasiteetti

Lujitteen maanpainekestävyyden σ_{AV} tulee olla vähintään tasapainotilan edellyttämän maanpaineen σ_{hz} suuruinen jokaisen eri tavalla lujitetun kerroksen (yksi tai useampi lujite) alimman lujitteen vaikutusalueella (kuva 9.6 b). Epäyhtälön 9.9 täytyy olla voimassa:

$$\sigma_{AVd} = \frac{f_d}{S_v S_h \gamma_p} \geq \gamma_1 z' K = \sigma_{hz} \quad (9.9)$$

missä

σ_{AVd} on lujitteen maanpainekestävyyden laskenta-arvo, kN/m²

S_v pystysuora lujiteväli, m

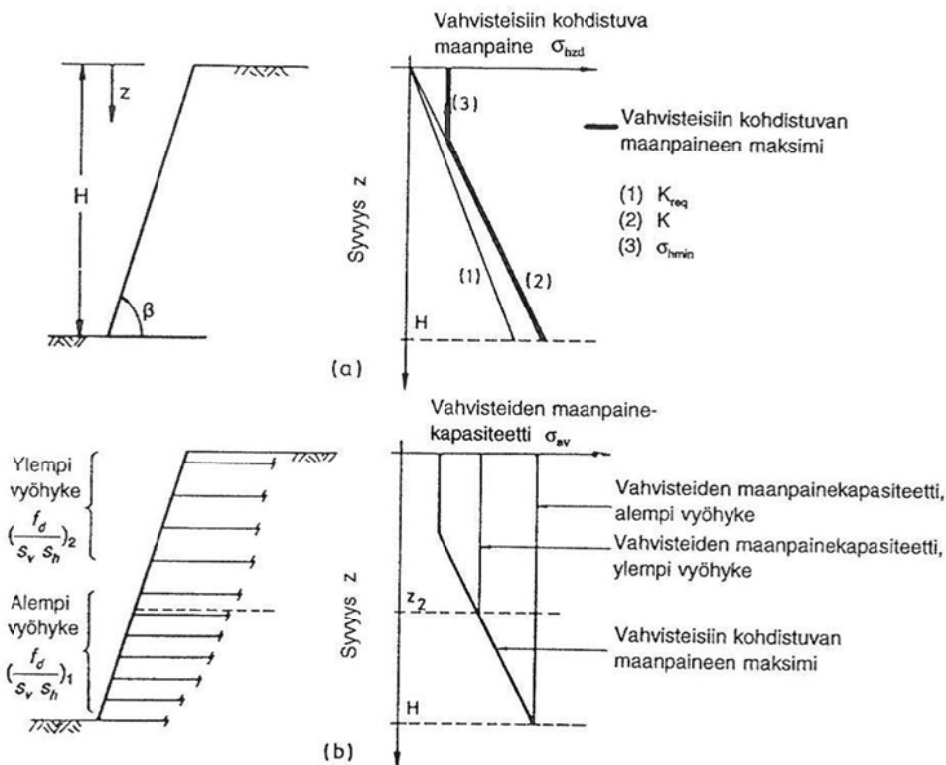
S_h vaakasuora lujiteväli (vaakasuunnassa jatkuvan lujitteen tapauksessa $s_h = 1$), m

Vaakasuora lujiteväli S_h on otettava huomioon sellaisissa tapauksissa, joissa lujite on penkereen pituussuunnassa epäjatkuva (esimerkiksi lujiteliuskoja käytettäessä).

Pystysuoran lujitevälin maksimiarvona käytetään pienempää arvoista $H / 8$ m tai 1 m. Siinä tapauksessa, että lujitteesta itsestään muodostetaan tukimuurityyppisen rakenteen toimiva etupinta, tulisi lujitevälin olla korkeintaan 0,5 m.

Lujitteiden pystyvälän tulisi olla sama kuin täyttömateriaalin tiivistyskerroksen paksuus, joka on tyypillisesti 150...300 mm, tai tiivistyskerroksen paksuuden monikerta.

Geolujitetun luiskan lujitteelle sallitut venymän ja viruman arvot on esitetty kohdassa 4.3.



Kuva 9.6 Kantavalla pohjamaalla olevan penkereen lujitteilla a) vastaanotettavaksi vaadittava maksimijännitys ja b) käytettävissä oleva jännitys (kapasiteetti). (Jewell 1991)

10 Kivikorit

10.1 Ominaisuudet

Kivikori on pinnoitetusta teräsverkosta valmistettu kivitäytteinen kori tai patja (kuva 10.1). Ohutta kivikoripatjaa, jonka korkeus on korkeintaan 150 mm, nimitetään kivi-korimatoksi.

Kivikorirakenteiden etuja ovat:

- Perustaminen on helppoa, koska kivikori on joustava ja vähäisiin muodonmuutoksiin ja routaliikkeisiin mukautuva rakenne.
- Kivikoriverhous voidaan tehdä verhottavan pinnan muodon mukaiseksi.
- Kivikorirakenne on kustannuksiltaan edullinen esim. betonirakenteeseen verrattuna.
- Kivikorirakenteita voidaan tehdä talvellakin; ottaen kuitenkin huomioon teräsverkkojen käsittelyyn liittyvät rajoitukset.
- Kivikorirakenteen korjaaminen ja jatkaminen on suhteellisen helppoa. (Tiehallinto 2003)

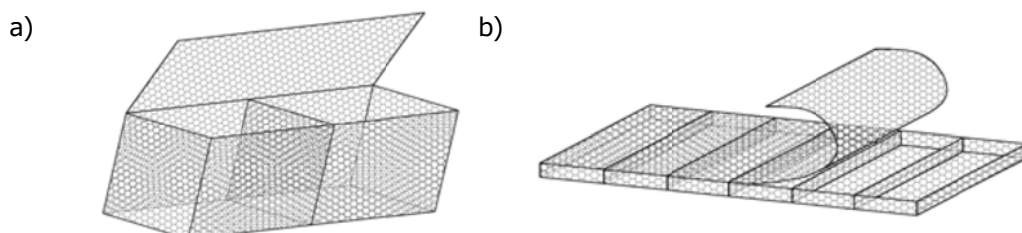
Teräsverkon kestoiän perusteella kivikorirakenteiden käyttöikätaavoitteeksi voidaan asettaa 40...50 vuotta. Käyttöikä saattaa usein olla huomattavasti pitempikin, koska vuosien kuluessa hienot maa-ainekset täyttävät kivien väliset tyhjätilat niin, että rakenne maatuu ja säilyttää muotonsa, vaikka teräsverkko tuhoutuu. (Tiehallinto 2003)

Ensimmäiset teräslankaverkosta muodostetut kivikorirakenteet on tehty jo 1890-luvulla (Maccaferri 2012).

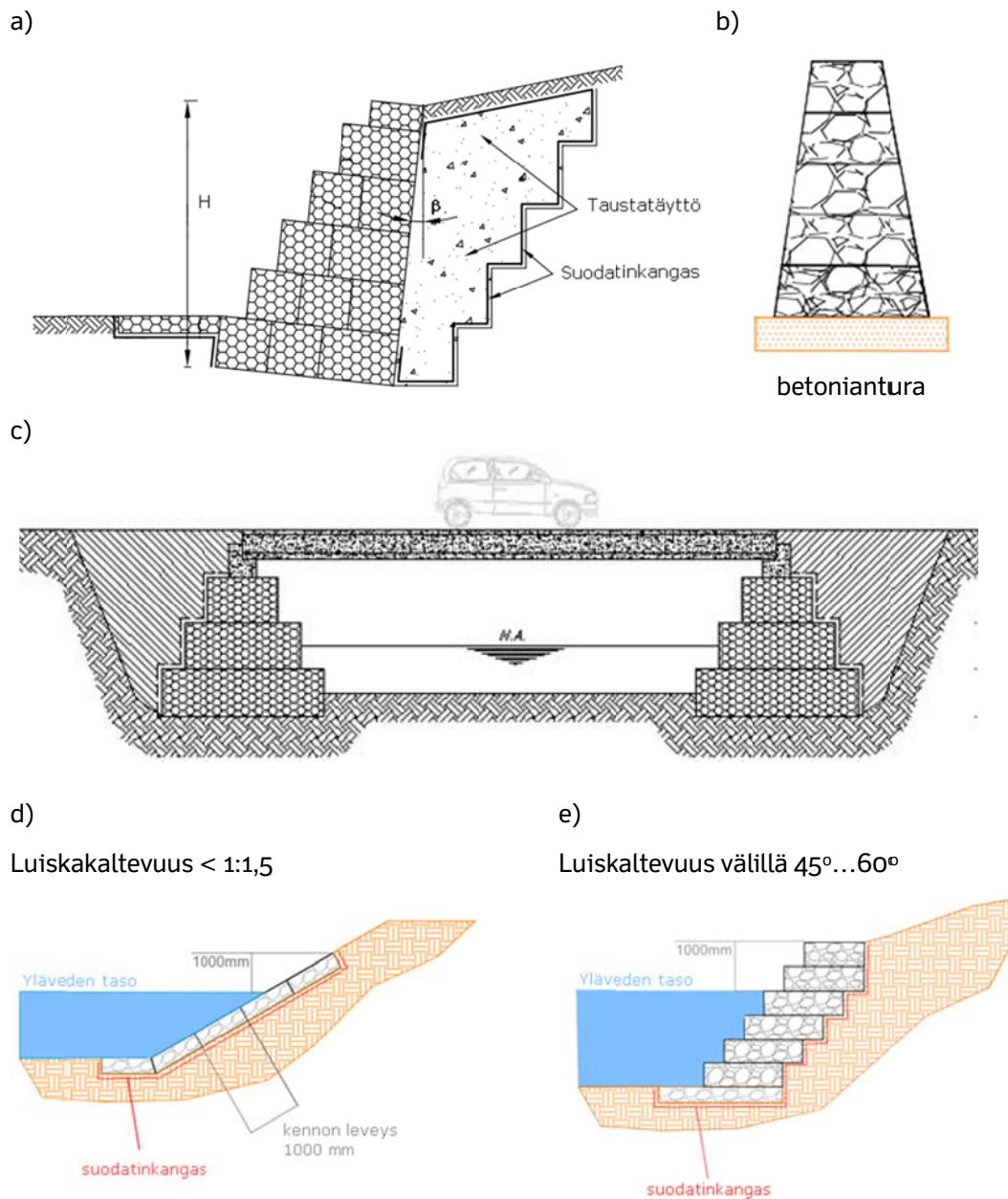
10.2 Käyttösovellukset

Kivikorirakenteiden yleisimpiä käyttökohteita ovat tukimuurit, eroosiosuojaukset, etuluisien verhouskset sekä keilan tai etuluisen juuren vahventaminen. Lisäksi niitä käytetään mm. rakennuksissa, vapaasti seisovissa muureissa ja kivikoriaidoissa. Käyttökohteita on esitetty kuvassa 10.2. (Tiehallinto 2003, Enviromesh 2007b)

Vapaasti seisovat muurit ovat joko molemmilta julkisivuiltaan porrastettuja, toiselta sivultaan pystysuoria ja toiselta kaltevia tai molemmilta sivuiltaan kaltevia rakenteita. Kivikoriaidat puolestaan ovat kapeita ja julkisivuiltaan pystysuoria. Aitaa tukevat kivikoreihin upotetut tukipylväät. Rakenteiden mitoituksessa tulee huomioida tuulikuormat sekä muut mahdolliset vaakakuormat. (Enviromesh 2007b)



Kuva 10.1 Tukimuureissa käytettävä kivikoriverkko (a) ja kivikoripatjassa käytettävä kivikoriverkko (b). (Tiehallinto 2003)



Kuva 10.2 Kivikorien ja kivikoripatjojen käyttökohteita: a) massiivinen tukimuri (Terra Aqua), b) vapaasti seisova kivikorimuri (Enviromesh 2007b), c) Sillan perustus, d) vesiväylän luiskaverhous (Enviromesh 2007c) ja e) vesiväylän askellettu luiskaverhous (Enviromesh 2007c).

Vesirakenteiden eroosiosuojauksessa kivikorien käyttökohteita ovat mm. (Enviromesh 2007c):

- kanavien verhoukset
- rantapenkereen ja uoman suojaukset
- rumpujen sisään- ja ulostuloaukkojen päätymuurien rakenteet
- siltapilarien suojaukset
- laskuojien suojaukset

Kun käytetään kivikoripatjoja vesirakenteiden eroosiosuojauksessa, rakenteet suunnillaan empiirisesti perustuen aikaisempiin käyttökokemuksiin. Kivikoripatjan tarkoituksena on pienentää virtauksen nopeutta siten, että pohjan ja patjan rajapinnassa virtaus on riittävän pientä, jottei maa-aines lähde liikkeelle. (Enviromesh 2007c)

Vesiväylillä kivikoripatjoja voidaan käyttää luiskaverhouksena luiskakaltevuuden ollessa enintään 1:1,5. Mikäli käytetään kapeampia, 0,5 m leveitä mattokennoja, luiskakaltevuutta voidaan kasvattaa 1:1, mutta tällöin matot suositellaan ankkuroitavaksi luiskaan. (Enviromesh 2007c)

Kivikoreilla toteutettua porrastettua luiskaverhousta käytetään suojaamaan pengertä eroosiolta, kun pengerluiska on jyrkempi kuin 45 astetta. Pengerluiskan luonnontilaisen stabiliteetin tulee olla riittävä myös ilman verhousta. (Enviromesh 2007c)

10.3 Kivikoriyyypit

Tukimuureissa käytettävien kivikorien leveys on 0,5...2 m, tavallisimmin yksi metri. Korien pituudet ovat 1...10 metriä ja korkeudet 1, 0,5 tai 0,3 metriä. Korit on jaettu noin yhden neliömetrin lokeroihin. Keilan ja luiskan juuren tuentaan sopiva kivikori on kooltaan 2 x 1 x 0,5 m³. Kivikoripatjoihin käytettävien kivikorien leveys on kaksi metriä ja pituus joko kolme tai kuusi metriä. Korit on jaettu lokeroihin, joiden pituus on 0,6 tai 1,0 metriä. (Tiehallinto 2003)

Kivikorin verkko on hitsattu tai punottu siten, ettei se purkaudu, vaikka lanka katkeaisikin. Kivikoriverkon langan paksuus on materiaalista ja pinnoituksesta riippuen 2...5 mm.

Hitsattu kivikoriverkko muodostuu neliöverkosta, jossa pitkittäis- ja poikittaissuuntaiset langat on hitsattu yhteen. Hitsattu verkko on jäykkä, se pitää muotonsa punotua verkkoa paremmin, ja hitsatun verkon muokkaus työmaalla on helppoa. (Tiehallinto 2003, Enviromesh 2007a)

Punottu kivikoriverkko on erittäin joustava ja muodonmuutoksiin mukautuva rakenne. Verkko muodostuu kuusikulmaisesta verkosta, jonka silmäkoko vaihtelee välillä 60 x 80...100 x 120 mm. (Tiehallinto 2003, Enviromesh 2007a) Punotussa kivikorissa on jäykisteenä 2 sidelankaa korin 1/3-pisteissä. Näitä kiristämällä estetään korin etureunan pullistumisen.

Kivikoriverkon langan teräslaadun tulee olla S235JRG2 (SFS-EN 10025).

- Voimakkaan rasituksen alaisena ja vedenalaisissa kohteissa teräslangan tulee olla kuumasinkittyä ja muovipinnoitettua. Sinkkiä tulee olla vähintään 250 g/m² ja muovipinnoitteen paksuuden vähintään 400 µm. Muovin tulee olla pakkasenkestävää polyeteeniä (PE) tai polyvinyylikloridia (PVC). (Tiehallinto 2003)
- Tavanomaisen rasituksen alaisissa kohteissa teräslangan sinkityksen tulee olla vähintään 240 g/m² ja muovipinnoitteen paksuuden vähintään 250 µm.
- Lievän rasituksen alaisissa kohteissa verkko voi olla sinkki-alumiinipinnoitettua teräslankaa, jonka pinnoitepaksuus on vähintään 350 g/m². Tällöin kivikoriverkon langan paksuuden tulee olla vähintään 3 mm.

10.4 Kivikorien täyttömateriaali

10.4.1 Rakeisuus

Kivikorien täyttömateriaali on tavallisesti lajiteltua kivien ollessa halkaisijaltaan 100...200 mm. Kivistä n. 6 % voi nimellisesti olla kooltaan pienempiä tai suurempia. Kivikoon on oltava suurempi kuin 1 tai 1,5 kertaa verkon silmäkoko ja pienempi kuin 2/3 kivikorin pienimmästä sivumitasta. Verkon silmäkokoja pienemmät kivet eivät pysy korissa. Lajittelu on tärkeää koriin syntyvien tyhjätilojen minimoimiseksi, jotka voivat muutoin jälkikäteen aiheuttaa painumia. (Enviromesh 2007a, Enviromesh 2007c)

10.4.2 Särmikkyys

Mitä särmikkäämpää kivitäyte on, sitä paremmin kivet lukittuvat toisiinsa. Tämän seurauksena kivikorin pintarakenteen muodonmuutokset jäävät pienemmiksi, ja esim. veden virtauksen aiheuttama kivien keskinäinen hankaus on vähäisempää. Kivitäytön liikkeiden vähentäminen pienentää myös verkon suojapinnoitteen rikki hiertymisen todennäköisyyttä.

Pyöristyneessä kiviaineksessa kivet lukkiintuvat huonosti toisiinsa, mikä johtaa kivikorin pintarakenteen suurempiin muodonmuutoksiin. Muodonmuutosten vähentämiseksi tulisi verkkorakenteessa tällöin käyttää paksumpaa teräslankaa. Pyöristyneen kiviaineksen käyttöä ei suositella vesirakenteissa käytettäviin kivikoreihin. Muodoltaan tiilimäiset tai litteät kivet voivat koneellisesti täytettäessä johtaa isojen tyhjätilojen muodostumiseen ja siten painumiin / muodonmuutoksiin. (Enviromesh 2007a, Enviromesh 2007c)

10.4.3 Täyttömateriaalit

Murske on yleisin kivikorin täyttömateriaalit, ja yleensä käytännöllisempi sekä toiminnaltaan että esteettisesti. Kivilaadun tulee olla kovaa ja kestävä, routimatonta kiveä. (Enviromesh 2007a)

Mukulakiviä voidaan käyttää täyttömateriaalina, mutta koska ne eivät ole särmikkäitä, eivät ne lukkiudu toisiinsa. Tällöin teräsverkon langan halkaisijan on oltava vähintään 5 mm korien ulkopinnan muodonmuutosten rajoittamiseksi. (Enviromesh 2007a, Enviromesh 2007b)

Soratäyttö on itsestään tiivistyvää, ja pieni kivikoko vaatii pienisilmäisen verkon käyttöä. Muodonmuutosten välttämiseksi soraa käytettäessä kivikoreissa saatetaan tarvita verkosta muokattuja väliseiniä. (Enviromesh 2007a, Enviromesh 2007b)

Kokotiilitäyttöä käytettäessä tiilten tulisi olla asetettu kerroksittain, ja sitä voidaan käyttää esim. tiilimurskeen edessä rakenteen julkisivuna. Kokonaisia tiiliä ei tule käyttää massatäyttönä holvaantumisvaaran takia. (Enviromesh 2007a, Enviromesh 2007b)

Mikäli kivikoreille halutaan hyvältä näyttävä julkisivu, on kivien latominen julkisivupinnan osalta tehtävä käytännössä aina käsin.

10.5 Perustaminen

Kivikorirakenteet on perustettava kantavan perusmaan varaan. Perustamistasoon ei saa jäädä merkittävää epätasaisuutta. Vaikka kivikorirakenne mukautuu routaliikkeisiin, on kivikorimuurin alustan oltava routimaton. Jos kivikoritukimuurin korkeus on suurempi kuin yksi metri tai perusmaa on kokoonpuristuvaa, tukimuurin rakentamisesta on laadittava suunnitelma. (Tiehallinto 2003, InfraRYL2010)

10.6 Massiivinen kivikoritukimuri

10.6.1 Mitoitusperusteita

Kivikoritukimuurin suunnittelu perustuu kivikorin massan kykyyn vastustaa maaperästä ja ulkoisista kuormista aiheutuvia voimia. Suunnittelussa oletetaan, etteivät kivikorien teräsverkot paranna stabiliteettia. Suunnitteluperiaatteet ovat samanlaiset sekä hitsatuilla että punotuilla verkoilla toteutetuille kivikoreille. (Enviromesh 2007a)

Kivikoritukimuurin mitoituksessa tulee huomioida kantokestävyys, liukumiskestävyys, kaatumiskestävyys, muurin sisäinen stabiliteetti ja rakenteen kokonaisstabiliteetti (kuva 10.3).

Kivikoritukimuurin mitoituksessa huomioon otettavia erityispiirteitä on käsitelty alla.

Kivikoritukimuureissa seinäleikkauskestävyysskulma δ oletetaan yhtä suureksi kuin taustatäytön leikkauskestävyysskulma ($\delta = \phi$), johtuen kivikoripinnan karkeudesta (voidaan olettaa, että kyseessä on maa/maa-rajapinta. Mikäli kivikorimuurin ja taustatäytön väliin on asennettu suodatinkangas, on $\delta = 0,9 \cdot \phi$. Kahden kivikorien välisen rajapinnan leikkauskestävyysskulmaksi on kokeellisesti määritetty 35°). (Agostini et al. 1987)

Kivikorien leikkauslujuus voidaan määrittää yhtälöllä 10.1. (Agostini et al. 1987)

$$\tau = \sigma \tan \phi^* + c_g \quad (10.1)$$

missä

τ on leikkauslujuus, kN/m²

σ vallitseva jännitys, kN/m²

ϕ^* kivikorien näennäinen leikkauskestävyysskulma, °

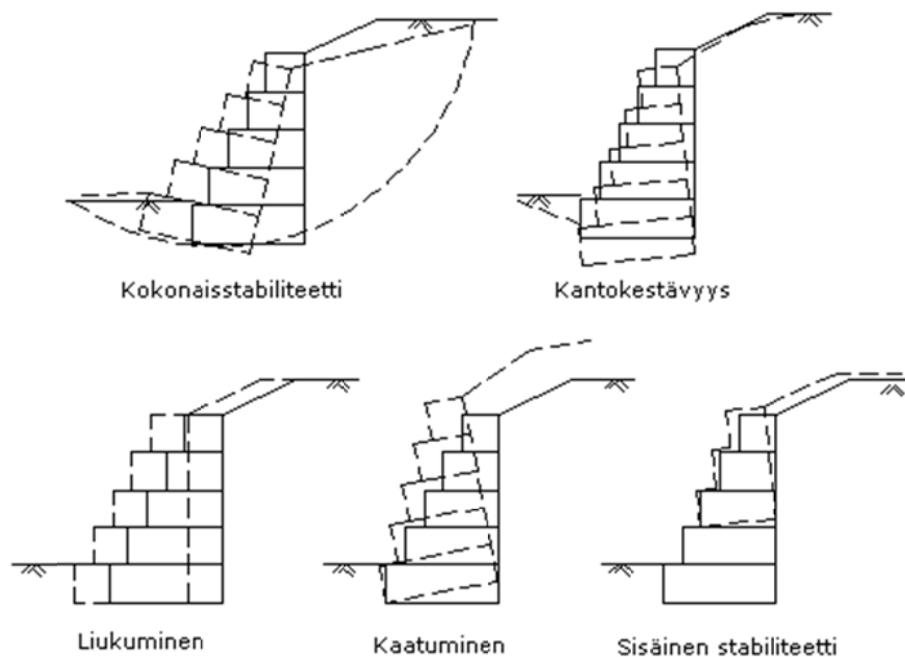
c_g kivikorien teräslankaverkon koheesiovaikutus, kN/m²

Kivikorien näennäinen leikkauskestävyysskulma voidaan määrittää yhtälöllä 10.2 (Agostini et al. 1987).

$$\phi^* = 25 \rho_g - 10^\circ \quad (10.2)$$

missä

ρ_g on kivikorien tiheys, t/m³



Kuva 10.3 Massiivikivikorirakenteen murtomekanismeja (Maccaferri 2011b).

Kivikorien tiheys saadaan yhtälöllä 10.3. Kivikorien täyttömateriaalien tilavuuspaino- ja on annettu taulukossa 10.1.

$$\rho_g = \rho_s (1 - n) \quad (10.3)$$

missä

ρ_s on kivikorien täyttömateriaalin kiintotiheys, t/m³

n materiaalin huokoisuus, kivikoreilla arvona käytetään 0,4 (BS 8002:1994), -

Teräslankaverkon koheesiovaikutus riippuu verkon painon suhteesta kivikorien kokonaistilavuuteen, ja sen arvoa voidaan arvioida empiirisellä yhtälöllä 10.4 (Agostini et al. 1987):

$$c_g = 0,03 P_u - 0,05 \quad (10.4)$$

missä

P_u on kivikorien metalliverkon paino seinäkuutiometriä kohden, kg/cm³

c_g kivikorien teräslankaverkon koheesiovaikutus, kg/m²

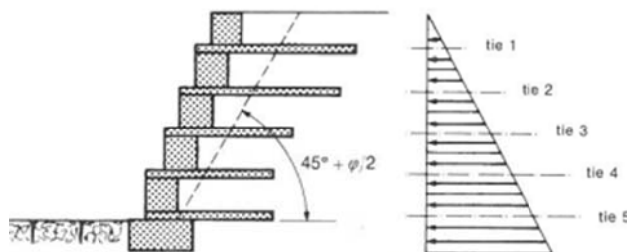
Taulukko 10.1 Kivikorien täyttömateriaalien tilavuuspainoja. (Enviromesh 2007a)

Täyttömateriaali	Tilavuuspaino
Betonimurske	15 kN/m ³
Hiekkakivi	15,5 kN/m ³
Kalkkikivi	16 kN/m ³
Graniitti	17 kN/m ³
Basaltti	18 kN/m ³
Sora	16 kN/m ³

10.7 Geolujitettu kivikorirakenne

Kivikoreja tai niiden teräsverkko-osia voidaan käyttää hyväksi tehtäessä geolujitettuja rakenteita. Tällainen rakenne on esitetty kuvassa 10.4, jossa kapea kivikorivalli on ankkuroitu täyttöön lujitekerroksilla. (Agostini et al. 1987) Lujite on kiinnitettävä kivikoreihin tukevasti.

Toinen vaihtoehto geolujitetusta kivikorirakenteesta on rakenne, jossa kivikorit toimivat pelkkänä julkisivuelementtinä, jonka takana geolujitteet on taivutettu kunkin maakerroksen ympäri (wrap-around). Tällaisesta rakenteesta on esitetty laskentaesimerkki liitteessä 10.



Kuva 10.4 Geolujitettu kivikorirakenne ja siihen vaikuttava maanpainejakauma. (Agostini et al. 1987)

11 Muut geolujitetut rakenteet

11.1 Arinat, työmaatiet, luiskat, ankkurointi-kaivannot, yms.

Geolujitettuja pysyviä arinarakenteita ovat mm:

- lujitetut putkijohtojen, rumpujen, yms. arinat,
- anturoiden alapuolinen lujitettu maa,
- yms.

Geolujitettuja väliaikaisia rakenteita ovat mm:

- ajoneuvonostureiden jalkojen alapuolinen lujitettu maa,
- ajoneuvonostureiden työalusta,
- torninostureiden työalusta,
- työmaatiet,
- paalutuskoneiden työpedit,
- yms.

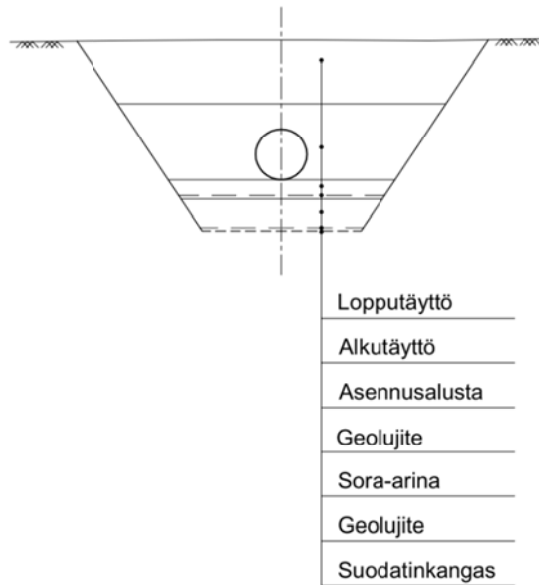
Muita geolujitettuja rakenteita ovat mm:

- jyrkkien luiskien pintarakenteen lujitteet,
- eroosiosuojarakenteet,
- lujitteiden ankkurikaivannot,
- geotuubit (ruoppauslietteiden yms. käsittelyyn),
- geolujitteilla lujitetut kivipilarit (geolujitesukka),
- onkaloiden ylitykset,
- yms.

Osa yllä mainituista geolujitetuista rakenteista voidaan mitoittaa tässä käsikirjassa esitetyillä mitoitusmenetelmillä. Osalle rakenteista on esitetty mitoitusmenetelmät kansainvälisissä julkaisuissa (mm. DGGT 2011, BS 8006:2010) ja osalle sovelluksista ei ole yleisesti hyväksyttyä mitoitusmenetelmää - ne mitoitetaan/ suunnitellaan/ rakennetaan kokemukseräisesti.

11.2 Putkijohdot ja rummut

Putkijohdot ja rummut ovat herkkiä epätasaisille painumille. Savimaahan asennetun putken kaivannon pohjaa voidaan lujittaa geolujitteella, joka jäykistää putken alustaa ja tasoittaa mahdollisia painumaeroja. Esimerkki lujitetusta putkikaivannon arinarakenteesta on esitetty kuvassa 11.1. Varsinaista mitoitusmenetelmää putkijohdon geolujitetun arinan mitoittamiseksi ei ole esitetty. Kokemukseräisesti on havaittu, että geolujitteen mitoituslujuus f_d n. 10 kN/m on riittävä.



Kuva 11.1 Geolujitettu putkikaivannon arinarakenne. Geolujitteen ja suodatinkankaan limitys yleensä $\geq 0,5$ m.

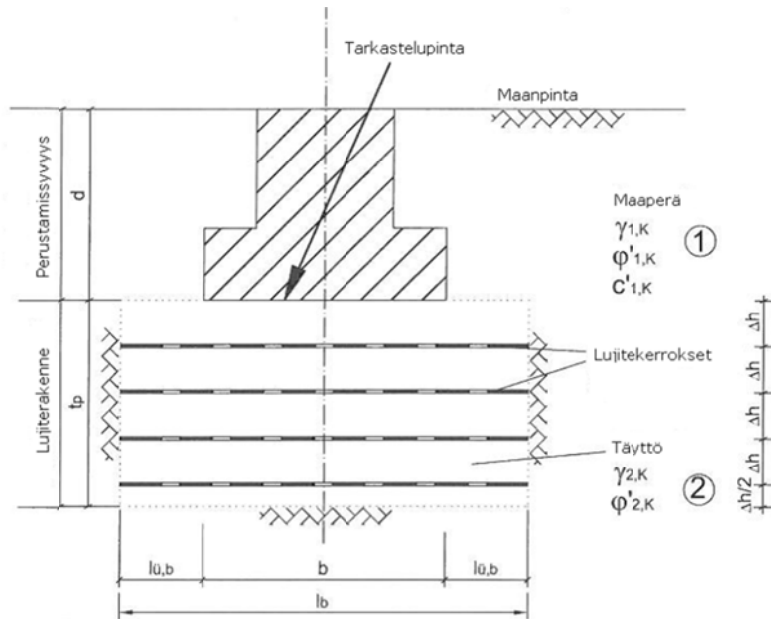
11.3 Arinat ja työmaatiet

Perustuksen alla olevan maan geoteknistä kantavuutta voidaan kasvattaa massanvaihdon ja geolujitteen avulla. Massanvaihdossa käytettävän maan täytyy olla huolellisesti tiivistettyä hiekkaa, soraa tai murskettä. Esimerkki perustuksen alla käytettävästä lujiterakenteesta on esitetty kuvassa 11.2.

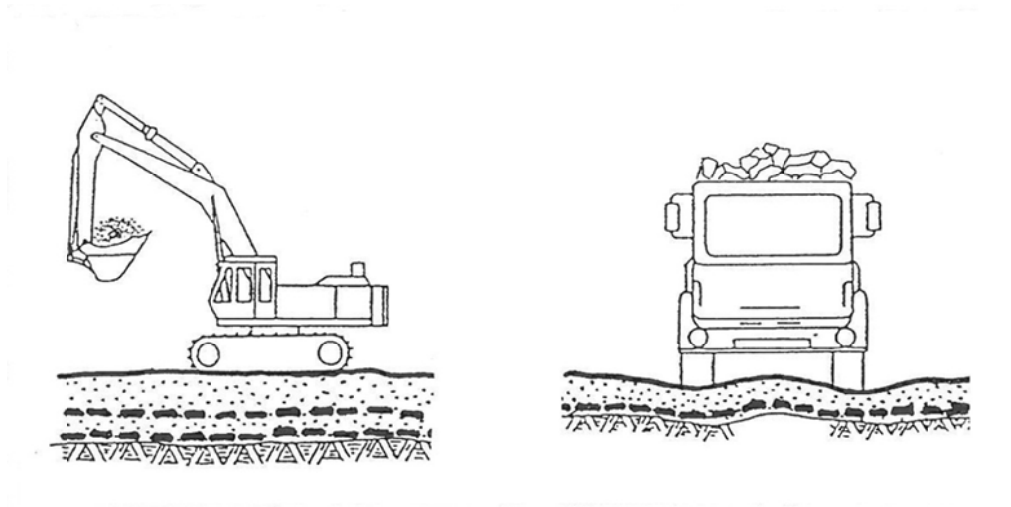
Perustamista geolujitetulle arinalle suositellaan toistaiseksi vain tilapäisille rakenteille ja vain silloin, kun olosuhteet ovat arinan käytölle sopivat. Lujitetun arinarakenteen painuma on tarkistettava erikseen. Käyttökohteeksi soveltuvat myös työnaikaiset olosuhteet, joissa lujittamattoman pohjamaan kantavuus rajoittaa esim. työkoneiden liikkumista ja ajoneuvonosturien käyttämistä (kuva 11.3).

Mitoitusmenetelmä ja mitoitus esimerkki anturan alapuoliselle geolujitetulle arinalle on esitetty EBGeo:ssa (DGGT 2011). Yksinkertaistettu mitoitusmenetelmä on esitetty myös ”Synteettiset geovahvisteet” -ohjeessa (Aalto et al. 1998).

Milloin rakenteiden tarkka mitoittaminen ei ole mahdollista, voidaan rakenteen oikeanlaisen toiminnan osoittamiseksi harkita koerakenteiden tekemistä (esim. geolujitetut kenttärakenteet tms.).



Kuva 11.2 Geolujitettu arina anturan alla (DGGT 2011).



Kuva 11.3 Lujitteen kantavuutta lisäävä vaikutus mahdollistaa raskaiden koneiden työskentelyn ja kuljetukset kantavuudeltaan heikoilla alustoilla. (Aalto et al. 1998)

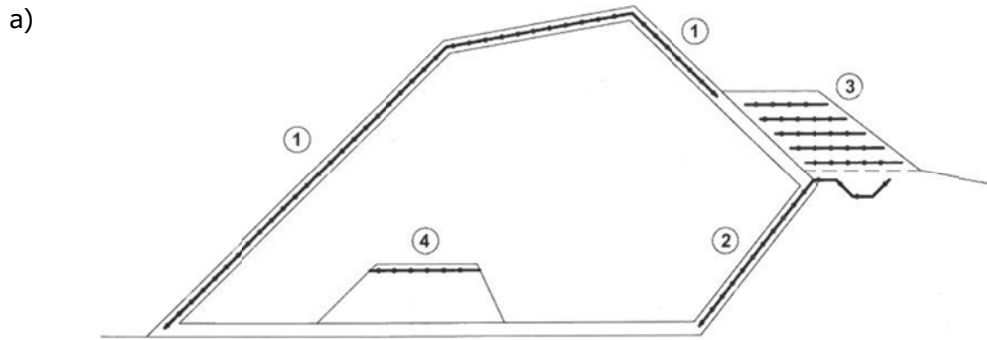
11.4 Muut rakenteet

Geolujitteita käytetään mm. kaatopaikkojen pintarakenteissa sekä pohjarakenteiden estämään rakennekerrosten liukumisen pintaa pitkin ja siten mahdollistamaan jyrkempien luiskien rakentamisen (kuva 11.4). Julkaisussa EBGeo (DGGT 2011) on esitetty mitoitusmenetelmä jyrkän pintarakenteen lujitteen ja lujitteen ankkurikaivannon mitoitukseen sekä mitoitus esimerkki.

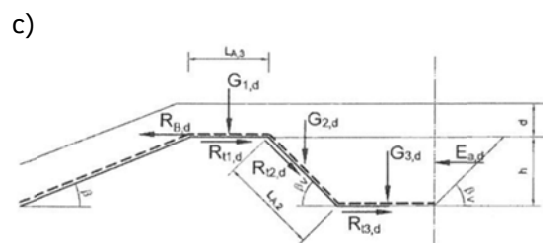
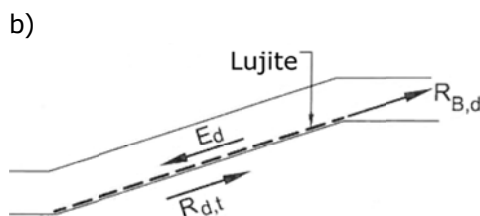
Maaperässä olevien onkaloiden ylitysrakenteita voidaan tehdä hyödyntäen geolujitteita (kuva 11.5). Mitoitusmenetelmä geolujitetulle onkalon ylitysrakenteelle on esitetty mm. julkaisuissa BS 8006:1-2010 ”Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills” ja EBGEO 2010. Myös mitoitus-esimerkki on esitetty EBGEO 2010:ssä.

Hyvin pehmeään maaperään rakennettava kivipilari voidaan rakentaa ”geolujitetukan” sisälle, jolloin geolujite tukee kivipilaria ja estää pilarin kiviaineksen ja ympäröivän pehmeän maakerroksen sekaantumista. Ko. rakenteelle on esitetty mitoitusmenetelmä ja mitoitus-esimerkki julkaisussa EBGEO (DGGT 2011).

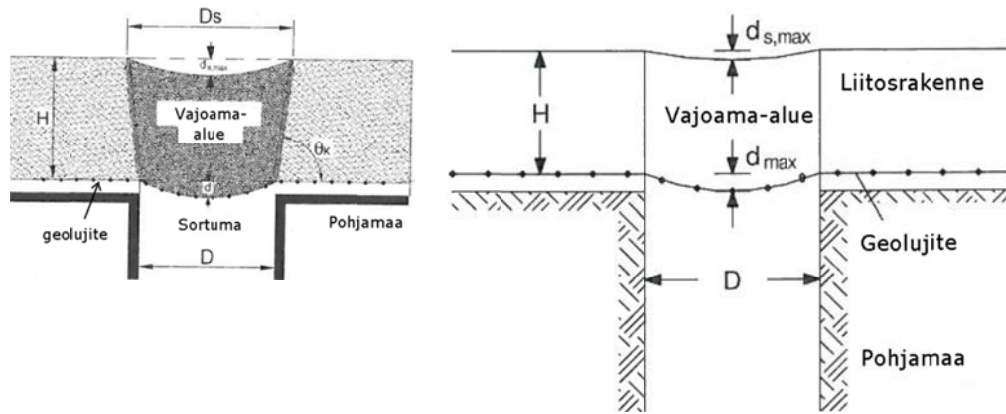
Ruoppauslietteitä voidaan käsitellä ja myös loppusijoittaa käyttäen geotuubeja. Ko. sovelluksessa ruoppausliete, johon on lisätty vedenerotuskemikaaleja, pumpataan geotuubiin, ylimääräinen vesi valuu geotuubin lujitteen läpi, jolloin ruoppausmassa kuivuu hyötykäyttäväksi muualla tai paikallaan geotuubissa, jolloin geotuubin geolujite toimii lopullisen rakenteen lujitteena.



- | | |
|---|----------------------|
| 1) Jyrkkien luiskien peittorakenteen lujittaminen | Pysyvä rakenne |
| 2) Kuivatuskerroksen rakentamisaikainen lujittaminen | Väliaikainen rakenne |
| 3) Jättekasan juurelle tehtävien tukipengerten lujittaminen | Pysyvä rakenne |
| 4) Työmaateiden lujittaminen | Väliaikainen rakenne |



Kuva 11.4 Geolujitteiden käyttösovelluksia kaatopaikkarakenteissa (a), luiskan geolujitteen ja luiskan geolujitteen ankkurikaivannon (c) periaate. (DGGT 2011)



Kuva 11.5 Maaperässä olevan onkalon (karsti, kaivoskuilu, ...) ylitys geolujitetulla rakenteella (DGGT 2011).

12 Työkohtaisten laatuvaatimusten sisältö

12.1 Yleistä

Geolujitettujen rakenteiden työkohtaiset laatuvaatimukset on esitetty InfraRYL:ssä yleisellä tasolla. InfraRYL:ssä esitettyjä geolujitettujen rakenteiden työohjeita on yleensä täydennettävä työkohtaisessa työselityksessä ja piirustuksissa. Yksityiskohtaiset geolujitettujen rakenteiden työohjeet on esitetty standardissa SFS-EN 14475 ”*Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö*”.

Rakentamisessa sopimusasiakirjoissa kohdekohtaisen ja yleisten työselitysten pätemisjärjestys on yleensä seuraava:

- Työkohtainen työselitys
- InfraRYL
- Suoritusstandardi SFS-EN 14475 ”*Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö*”
- Muut geolujitestandardit

Tämä Liikenneviraston Geolujitekäsikirja voidaan liittää sopimusasiakirjoihin, mutta suositeltava toimintatapa on se, että työselitystä laadittaessa käsikirjasta katsotaan mitä geolujitetun rakenteen rakentamiseksi on työselityksessä ja suunnitelmapiirustuksissa esitettävä, ja kirjataan ko. asiat suunnitelmiin ja tarvittaessa viitataan esim. InfraRYL:in tai suoritusstandardiin SFS-EN 14475 ”*Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö*” tai muihin asianmukaisiin standardeihin.

12.2 Lujitettu maarakenne

12.2.1 Rakentamisessa tarvittavat tiedot

Ennen minkään rakennustyön aloittamista tulee hankkia kaikki rakennuskohteessa tarvittavat tiedot suunnittelu- ja sopimusasiakirjojen mukaisesti. Tietoihin tulee sisältyä raportointimenettely, jonka avulla käsitellään odottamattomia tilanteita tai rakentamisen aikana paljastuneita tai läpikäytyjä olosuhteita, jotka vaikuttavat huonommilla kuin suunnittelussa oletetut. Tietoihin tulee sisältyä määrittely raportointimenettelystä, jos suunnitteluun käytetään havainnoivaa menetelmää tai jos edellytetään seurantaa. Lisäksi tulee antaa tiedot mahdollisista rajoituksista, kuten suunnittelun edellyttämistä rakennusvaiheista, rakennuspaikan kulkurajoituksista, ympäristöön liittyvistä rajoituksista tai rakennuspaikkaa koskevista lakisääteisistä rajoituksista. (SFS-EN 14475:2006)

Rakennuskohteen koordinaatit ja niiden toleranssit tulee esittää suunnitelmissa. Lisäksi tulee esittää rakennuskohteessa tai sen lähellä olevien kiinteiden vertailukohtien sijainnit, tasot ja koordinaatit. Tarvittaessa tulee laatia aikataulu rakennuskohteeseen sisällytettävien materiaalien mahdollista testausta ja hyväksyntämenettelyä varten. Kaikkien olemassa olevien sähkö-, puhelin-, vesi-, kaasu-, salaoja- ja viemäriverkostojen (yms.), tarkka sijainti tulee varmistaa. Jos rakennuspaikkaan kohdistuu tulvia tai vastaavia rajoituksia, tulee tällaisten rajoitusten yksityiskohdat selvittää. (SFS-EN 14475:2006)

12.2.2 Lujitetun rakenteen rakenneosat:

Geolujitettu rakenne käsittää seuraavat pääosat:

- täyttömaamateriaali
- täytön lujite ja tarvittaessa
- pinnoitusjärjestelmä.

Kaikkien materiaalien ja varusteiden tulee olla suunnittelun laatuvaatimusten mukaisia ja toimittajien teknisten vaatimusten mukaisia, mikäli käytetään patentoituja järjestelmiä. Kaikkien käytettävien materiaalien tulee olla keskenään yhteensopivia. Kaikkien materiaalien, täyttömaan, lujitteiden, pinnoitusten jne. toimituslähde tulee dokumentoida. Materiaalin lähdettä ei saa vaihtaa ilmoittamatta asiasta etukäteen. (SFS-EN 14475:2006)

12.2.3 Lujitteen hyväksyttäminen:

Lujitetta tulee käyttää vain, jos sen soveltuvuus ja kestävyys on todennettu koekäytössä tai kokemuksen ja hyväksytyjen testien perusteella. Testit on suoritettu kyseiselle tuotteelle tai samankaltaiselle tuotteelle, joka on samaa materiaaliluokkaa ja jonka ominaisuuksien tiedetään olevan vastaavia, ja niillä on todennettu, että lujitteelta edellytetyt ominaisuudet ovat todennäköisesti jäljellä määritellyn suunnitellun käyttöiän kuluttua suunnitelluissa toimintaolosuhteissa. (SFS-EN 14475:2006)

Kaikkien työssä käytettävien lujitteiden tulee olla suunnitelmissa esitettyjen materiaali- ja laatuvaatimusten mukaisia. (SFS-EN 14475:2006)

12.2.4 Rakennuspaikan ja perustuksen valmistelu:

Rakennuspaikan ja perustusten valmistelut tulee suorittaa suunnitelmien ja rakenteen erityisen ympäristön mukaisesti. Tähän sisältyvät tarvittaessa myös kulkuteiden rakentaminen laitteille ja koneille, alueen raivaamiseen tarvittavat kaivaukset sekä perustusten puhdistus, tasoitus ja käsittely. Jos valmistelemissä töissä havaitut maanainekset eivät vastaa suunnitelmaa, tästä tulee raportoida välittömästi. (SFS-EN 14475:2006)

Perustukset tulee rakentaa siten, että ne ovat suunnitteluvaatimuksissa esitettyjen tasojen ja kaltevuuksien mukaisia. Ennen lujitteiden asennuksen aloittamista kaikki jyrkät maanpinnan profiilin vaihtelut tulee tasoittaa asentamalla ja tiivistämällä tasavaa kerros sopivaa täyttömaata. (SFS-EN 14475:2006)

Rakennuspaikoilla, joilla tiedetään olevan kuivakuorikerros, ei kuivakuorta saa murtaa valmistelun ja alkutäytön aikana, ellei suunnitelmassa toisin määritellä. (SFS-EN 14475:2006)

Sopimattomat materiaalit tulee poistaa lujitetun rakenteen alueelta. Kaikki osat, jotka voisivat vahingoittaa lujitteita, tulee poistaa perustusalueelta. Tapauksesta riippuen tulee kaikki orgaaninen aines, kasvillisuus, rakennusjätteet ja muut epävakaa materiaalit poistaa ja rakennuspohja tiivistää ennen materiaalin täyttöä. Tukimuurien ja korkeiden luiskarakenteiden kohdalta pehmeiköt tulee poistaa ja korvata hyvin lajitellulla ja tiivistetyllä täyttömaalla. (SFS-EN 14475:2006)

Maanvaraisilla lujitetuilla penkereillä pehmeillä kasvipeitteisillä rakennuspaikoilla pensaat ja puut tulee kaataa luonnollisen maanpinnan tasalle. Jäte, joka voi aiheuttaa lujitteen puhkeamista tai muita mekaanisia vaurioita, tulee poistaa lujitteiden kohdalta. Kaadettujen puiden ja pensaiden juuristot sekä pohjakasvillisuus voidaan jättää paikoilleen. (SFS-EN 14475:2006)

Tukimuurirakenteilla, joissa on kovat pinnoitusosat, tulisi rakentaa tasauskerros, joka ei ole rakenteellinen perustus, vaan tilapäinen rakenne. Tasauskerroksen tarkoitus on auttaa kohdistamista ja helpottaa pinnoitusosien pystyttämistä. Se tulisi muodostaa paikan päällä ohuesta raudoittamattomasta betonimassasta. Betonimassa voidaan korvata murskeella tms. paksujen pinnoitusten, kuten moduulielementtien, viettävien paneelien tai istutuslaatikoiden alla. Tällaisia tasoituskerroksia ei yleensä tarvita pehmeitä tai taipuisia pinnoitusosia varten. (SFS-EN 14475:2006)

12.2.5 Geolujitteiden vastaanotto työmaalla

Kaikki esivalmistetut pinnoitusosat, lujite-erät tai -rullat tulee merkitä yksiselitteisillä merkinnöillä tai etiketeillä, jotka ovat suunnitelmassa käytettyjen nimikkeiden mukaisia.

Synteettisten geolujitteiden tulee olla standardin SFS-EN ISO 10320 ”*Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Tunnistaminen työmaalla*” mukaisia. Kunkin rakennuspaikalle toimitetun lujite-erän tai -rullan tiedot tulee tarkistaa materiaaaliveitosten mukaisesti ja niiden sarjanumerot tulee tallentaa ja säilyttää. (SFS-EN 14475:2006)

Teräslujitteiden tulee olla CE-merkittyjä. Jos merkintää ei ole, tulee tuotteen vaaditut ominaisuudet osoittaa luotettavasti esimerkiksi rakennuspaikkakohtaisilla kokeilla. Teräslujitteet tarkastetaan työmaalla kuormakirjoista ja silmämääräisesti. (InfraRYL) Vastaanotettaessa tarkastetaan, että verkot ovat oikean mittaisia, teräkset oikean kokoisia ja hitsaukset ehjiä eivätkä verkot ole ruosteessa. Verkkojen kuljetuksissa ja varastoinnissa pitää käyttää tasaista alustaa. (Höynälä & Mäkelä 2004, Sandberg & Björnfot 2004)

Teräsverkot tulee hankkia suoraan työkohteeseen toimitettuina. Laajemmissa kohteissa verkot varastoidaan nippuina noin 40...50 metrin välein siten, että asennusryhmän kantomatka jää mahdollisimman lyhyeksi. Teräsverkkoja hankittaessa on hyvä ottaa yhteys verkkojen valmistajaan ja toimittajaan, jolloin saadaan hankittua kohteeseen sopivin verkkotyyppi ja voidaan sopia verkkojen tarkoituksen mukaisimmasta sijoittamisesta kohteeseen.

12.2.6 Geolujitteiden käsittely ja varastointi työmaalla

Sopiva, mitoiltaan riittävä varastoalue tulee valmistella siten, että siellä on mahdollista purkaa, kuormata, varastoida ja liikutella kaikkia rakennuspaikalle toimitettuja lujite- ja pinnoitusmateriaaleja sekä lisätarvikkeita vaurioittamatta niitä. (SFS-EN 14475:2006)

Lujite- ja pinnoitusmateriaalien käsittelyssä ja varastoinnissa tulee olla huolellinen ja toimia projektin materiaali- ja laatuvaatimusten mukaisesti. Lisäksi tulee noudattaa asiaan kuuluvia toimittajan tai valmistajan suosituksia. Erikokoiset tai fysikaalisilta ominaisuuksiltaan erilaiset tavarat tulisi pinota erilleen. (SFS-EN 14475:2006)

Synteettisten geolujitteiden käsittelyssä ja varastoinnissa huomioon otettavia seikkoja (Aalto et al. 1998):

- Rullat on varastoitava irti maasta ja suojattava suojapeittein.
- Varastoinnin on tapahduttava siten, että työmaaliikenne ei vaurioita rullia.
- Talviaikana on käytettävä sisävarastoa tai katoksellista ulkovarastoa.
- Rullien noston on tapahduttava nostoliinoilla.
- Rullia ei saa pyörittää vedessä eikä kuraisessa maassa.
- Varastoitaviin avattuihin rulliin tulee aina merkitä lujitteen tuotenimi ja lujuus; suositeltavaa on lisäksi merkitä, paljonko rullassa on lujitetta jäljellä.

Teräsverkkojen asennuspinoja tehtäessä pitää muistaa varmistaa, että verkot sijoitetaan tasaiselle alustalle. Teräsverkkoja tulee nostaa siten, että noston aiheuttama rasitus ei kohdistu yhteen pisteeseen ja hitsausliitokset säilyvät ehjinä. Kuljetus voidaan suorittaa esim. pyöräkuormaajan haarukoissa. (Sandberg & Björnfot 2004)

12.2.7 Työnäyte ja/tai koeluontoinen aloitus

Lujitemaarakenteiden rakentamista aloitettaessa tekee urakoitsija työnäytteen, jolla varmistetaan mm:

- valitut työmenetelmät ovat oikeat ja ko. kohteeseen soveltuvat,
- käytetyllä työtekniikalla ja työkoneilla saavutetaan suunnitelman mukainen lopputulos ko. olosuhteissa,
- työssä käytettävät laadunvalvontamenetelmät ovat kohteeseen soveltuvia,
- urakoitsija on ymmärtänyt piirustukset, työselityksen ja muun esim. materiaalityöntekijän toimittaman ohjeistuksen ja
- suunnitelma on ko. olosuhteissa toteuttamiskelpoinen.

Mikäli työnäytteen lopputulos täyttää vaatimukset, se voi jäädä osaksi lopullista rakennetta. Muutoin työnäytöksenä rakennettu rakenteen osa on purettava ja rakennettava uudelleen vaatimukset täyttävästi.

12.2.8 Geolujitteiden levittäminen ja asentaminen

Tarvittavien valmistelevien töiden jälkeen geolujitteet levitetään suunnitelmassa esitettyjä mittoja ja asennussuuntia sekä asennusjärjestystä noudattaen. Levitystyössä voidaan käyttää esimerkiksi rullapuomilla varustettua työkoneita. Levityksessä on otettava huomioon limitysten, taitosten ja ankkuroinnin vaatimat mitat sekä mittavarat, joita saatetaan tarvita suunniteltujen pengermittojen ylittyessä. Lujitteiden ankkurointiin tulee kiinnittää erityistä huomiota tien levennyksen yhteydessä, jolloin lujite tulee ankkuroida vanhaan tiepenkereeseen. (Aalto et al. 1998)

Joustavien lujitteiden osalta tulee tarkistaa, että ne ovat tiukalla ja että ylimääräinen välyys on poistettu. Näin minimoidaan muodonmuutos vetovoimien mobilisoituessa lujitteessa. Tämä voidaan tehdä vetämällä lujite kireälle ja pitämällä se tässä asennossa, kun sitä peitetään täyttömaalla. (SFS-EN 14475:2006)

Geolujitekankaat suojataan yleensä suojahiekalla välittömästi levittämisen ja saumauksen jälkeen. Lujitetta vaurioittavaa liikkumista suojaamattoman lujitteen päällä tulee välttää samoin kuin vaurioittavia materiaaleja, kuten kiviä ja louhetta. Lujitteen päälle ei tulisi sallia työmaaliikennettä ennen kuin lujitteen päällä on sopivaa pengermateriaalia vähintään 0,2...0,3 m:n kerros olosuhteista riippuen. Talviaikana levityksessä on otettava huomioon rakenteen jäätyminen, joka estää geolujitteen myöhemmän liikuttamisen. (Aalto et al. 1998)

Teräsverkot levitetään tasaiselle alustalle. Ennen asennusta tarkistetaan, että alustan tasaisuus, rakeisuus ja tiiviys ovat suunnitelma-asiakirjojen mukaiset. (InfraRYL 2006) Rakennekerrosten tiivistäminen on erityisen tärkeää, jotta verkot ankkuroituvat rakenteisiin (Mäkelä 1998; Aalto et al. 1998).

Jos asennuspohja on tasainen, lujitteen vetovoima kehittyy mahdollisimman pienellä muodonmuutoksella. Tällöin lujitteeseen syntyy vähemmän jännityskeskittymiä ja riski tyhjätilojen muodostumisesta lujitteen alle pienenee. Teräsverkot asennetaan tuotteen valmistajan ohjeiden sekä suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. Jos teräsverkoille on määritelty limitys, sen tulee ilmetä suunnitelma-asiakirjoista. (InfraRYL) Paljaiden teräsverkkojen päältä ei tulisi ajaa tai ajoa tulisi ainakin minimoida.

12.2.9 Saumaus ja limitys

Geolujitemateriaalien saumauksessa ja limityksessä huomioon otettavia seikkoja (Aalto et al. 1998):

- mahdollisuuksien mukaan pyrittävä käyttämään esisaumattuja kappaleita,
- ompelu on tehtävä lujitteiden ompeluun tarkoitettulla laitteella,
- saumaustyö tulee suorittaa kuivissa olosuhteissa tasaisella pinnalla,
- sauma on tehtävä mahdollisimman suoraan,
- limitystä käytettäessä on huolehdittava riittävästä limityspituudesta,
- saumauksen sijasta voidaan joissakin tapauksissa käyttää kahta ristikkäis-suuntaista lujitekerrosta, joiden väliin on aina asennettava asianmukainen kitkamaakerros,
- pehmeällä pohjamaalla on suositeltavaa jättää lujiteverkot kiinnittämättä toisiinsa pengerryksen etenemissuunnassa käytettäessä päätypengerrystä, jolloin pengertä ajettaessa venyvät verkot voivat siirtyä penkereen edellä siten, ettei muodostu haitallisia verkon "poimuja" ja
- limitettäessä lujitteita tulevan täytön suunnassa, tulee "uusi" verkko asentaa aina edellisen verkon limityksen alapuolelle, jolloin verkko ei "karkaa" täytön edetessä.

Jos teräsverkoille on määritelty limitys, sen tulee ilmetä suunnitelma-asiakirjoista. (InfraRYL) Joissakin tapauksissa teräsverkot voidaan asentaa vierekkäin ilman limitystä.

12.2.10 Täyttömateriaali

Lujiteverkkoja käytettäessä pengermateriaali tulisi valita siten, että ehto verkon $n_{\min} \geq 1,5 * d_{50}$ täyttömateriaalin d_{50} on voimassa. Tiivistämistyön vaikutus on merkittävämpi käytettäessä lujiteverkkoja kuin kankailla. Jotta verkon ominaisuudet voidaan hyödyntää rakenteessa, tulee sopivalla raekoolla ja tiivistystyöllä saada aikaan lukkiutumismekanismi maamateriaalin ja jäykkänurkkaisen verkon välillä. (Aalto et al. 1998)

Enimmäispartikkelikoon tulisi mahdollistaa hyväksyttävän tasaisen pinnan muodostuminen ja sen tulee olla yhteensopiva tiivistetyn kerroksen paksuuden kanssa. Enimmäispartikkelikoko voi myös olla lujitekerrosten välimatkan funktio ja tarvittaessa pinnoitusosien koon funktio. Myös lujitevalinnat määrittävät enimmäispartikkelikokoja siten, että rakennusvauriot säilyvät määriteltyjen mitoitusrajojen puitteissa. (SFS-EN 14475:2006)

Jos täyttömaamateriaalien työstettävyyttä parannetaan apuaineilla, esim. kalkilla tai sementillä, tulee ottaa huomioon rakentamisen rajoitukset, eli lujitekerrokset täytön sisällä ja kemiallinen kestävyys. (SFS-EN 14475:2006)

Täyttömateriaalissa ei saa olla lunta tai jäätä. Routivia materiaaleja ei saa käyttää routaantuvassa kerroksessa ellei suunnitelmissa ole muuta mainittu.

12.3 Tukimuurien ja lujitettujen luiskien rakentaminen

12.3.1 Yleistä

Kaikkien tukimuurien ja lujitettujen luiskien rakentamismenettelyjen tulee vastata lujitetuille täyttörakenteille yhteisiä vaatimuksia, jotka on esitetty edellä ja tässä. Lisäksi rakentamismenettelyn tulisi noudattaa suosituksia, jotka koskevat nimenomaan kyseisentyypistä lujitettua täyttörakennetta ja jotka on esitetty lujitteen ja tarvittaessa pinnoitusjärjestelmän toimittajan ohjeissa. Esimerkkejä pinnoitusjärjestelmistä on annettu standardin SFS-EN 14475:2006 ”*Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö*” liitteessä C. (SFS-EN 14475:2006)

Kaikki lujitetut täyttörakenteet tulee toteuttaa kerroksittain ja vaiheittain siten, että mahdollisten pinnoituselementtien ja lujitteiden asentamista ja kiinnittämistä vuorotellaan täyttömaamateriaalin kerrostamisen, levittämisen, tasoittamisen ja tiivistämisen kanssa. Jos lujitetulla täyttörakenteella on erilaisia perustustasoja, rakentaminen tulisi yleensä aloittaa matalimmalta tasolta. (SFS-EN 14475:2006)

12.3.2 Pinnoituksen rakentaminen

Kaikissa pinnoitusjärjestelmissä tulee käyttää erityisiä rakennusjärjestelyjä, riittäviä tilapäisiä tuentajärjestelmiä, kuten pönkkiä, kiiloja, kiinnittimiä, teräskulmia tms., tai muottia. Jokaisessa rakentamisvaiheessa tulee varmistaa, että uusi pinnoituskerros pysyy vakaana lisättäessä ja tiivistettäessä täyttökerroksia sen takana tai yläpuolella, ennen kuin lujitteet pystyvät tehokkaasti pitämään sen paikoillaan. Kaikki tilapäiset tuentajärjestelmät tai muotit, lukuun ottamatta rakenteeseen jääviä muotteja, tule poistaa heti, kun ne eivät enää ole tarpeen. (SFS-EN 14475:2006)

Jokaisessa rakentamisvaiheessa tulee käyttää erityisiä rakentamisjärjestelyjä, joilla varmistetaan suunnittelussa edellytetty lopullinen muoto määriteltyjen toleranssien puitteissa. Nämä järjestelyt voivat koostua pinnoitusosien sovittamisesta vaadittuun vaaka- ja pystysuuntaiseen linjaan, kaltevuuteen tai luiskaan, joilla voidaan tasoittaa itse lujitetun täyttörakenteen odotettavissa olevaa vähittäistä muodonmuutosta, mutta ei perustuksen painumista tai liikkumista. (SFS-EN 14475:2006)

Kaikki ajoneuvot ja yli 1500 kg painavat rakennuskoneet tulee pitää vähintään 1 m etäisyydellä pinnoituksesta tai pinnoittamattomasta rakenteen pinnasta. (SFS-EN 14475:2006)

Rakentamisen edetessä uuden pinnoitusosakerroksen tai muotin vaakasuuntaisten välien limitus, kohdistus ja taso sekä pystysuuntainen kohdistus, kaltevuus tai luiska tulee tarkistaa ja niitä tulee korjata tarvittaessa. Erityistä huomiota tulee kiinnittää ensimmäisen kerroksen pystysuuntaisten välien limitykseen, kohdistukseen ja tasoon

samoin kuin pystysuuntaiseen kohdistukseen, kaltevuuteen tai luiskaan, koska tämän vaiheen tarkkuus auttaa varmistamaan valmiin rakenteen nopean ja oikein kohdistetun rakentamisen. Mahdolliset liitosmateriaalit ja laakeritasot tulee asentaa, kun uusi pinnoitusosakerros asetetaan paikoilleen ja kiinnitetään. (SFS-EN 14475:2006)

12.3.3 Lujitteiden asettaminen

Lujitteet tulee asettaa tasaiselle pinnalla ja kiinnittää pinnoitukseen, jos sellainen on, käyttäen suunnittelussa määriteltyä kyseiselle pinnoitusjärjestelmälle sopivaa kiinnitysmenetelmää. (SFS-EN 14475:2006)

Lujitteet tulisi asentaa mahdollisimman kohtisuorassa pinnoitukseen tai viettävään pintaan, ellei suunnitelmassa toisin määritellä. Levytyyppisten lujitteiden liitoksissa voidaan käyttää poikittaista limitystä, jos suunnitelmassa niin määritellään. Jos paikalla on esteitä, kuten putkia, pilareita, paaluja, tarkastuskaivoja tms., saattaa olla tarpeen asettaa lujite vinoon tai siirtää sitä suunnitellusta kohdasta joko vaaka- ja pystysuunnassa. Levytyyppisiin lujitteisiin saattaa olla tarpeen leikata reikä. Ellei tällaisia muutoksia ole nimenomaisesti sallittu suunnitelmassa, niille täytyy saada suunnittelijan vahvistus. (SFS-EN 14475:2006)

Lujitteet, joissa on pystysuuntaisia taitteita, tulisi asettaa esivalmistetun täyttöluisikan päälle. Teräviä taitteita, jotka vaikuttavat lujitteen lujuuteen, tulee välttää, ellei niitä ole otettu huomioon suunnittelussa. (SFS-EN 14475:2006)

Lujitteiden tulisi ulottua yhtenä jatkuvana kappaleena kuormitettavassa pääsuunnassa. Jos tämän suuntaiset liitokset ovat välttämättömiä, suunnittelussa tulee määritellä oikea rakennuspaikalla käytettävä liitosmenetelmä. Liitokset voidaan tehdä eri menetelmillä, kuten pulttaamalla, hitsaamalla, ompelemalla geotekstiilejä, punosliitoksilla tms., tai suunnitelluilla limityksillä. (SFS-EN 14475:2006)

Synteettisille lujitteille tulee tehdä esikiristys ennen täyttömaalla peittämistä, jotta se toimisi lujuutensa mukaisesti suunnitellulla tavalla. Kiristäminen voidaan tehdä esim. rautakangella. Lujitteen on oltava kiristettynä kunnes rakenne on valmis.

Polymeerisillä lujitteilla saattaa olla taipumus heikentyä altistuessaan auringonvalolle. Tämän vuoksi ne tulisi peittää täyttömaalla määritellyn asentamisajan kuluessa. Jos aikaa ei ole erikseen määritelty, altistuneet lujitteet tulisi peittää enintään 24 tunnin kuluessa asentamisesta. (SFS-EN 14475:2006)

Levymateriaalien asentaminen voi yleisesti häiriytyä tuulen aiheuttaman nosteen vuoksi. Jos tämä on todennäköistä, tulisi lujite painottaa nostetta vastaan. (SFS-EN 14475:2006)

12.3.4 Täyttömaan asentaminen ja tiivistys

Täyttömaa tulee asentaa ja tiivistää erittäin huolellisesti, koska lujitetun täytön ominaisuuksiin vaikuttavat pääasiassa täyttömaan laatu sekä sen asentamis- ja tiivistämistapa. Ennen rakentamisen aloittamista tulee määritellä täytön tiivistysmenetelmä, joka voi tarvittaessa sisältää kenttäkokeita. (SFS-EN 14475:2006) Tiiviyyttä seurataan työselostuksen tai yleisten laatuvaatimusten mukaisesti.

Täyttömaamateriaalin rakeisuus ja kosteuspitoisuus tulee tarkistaa säännöllisesti rakentamisen aikana, jotta voidaan varmistaa sen vastaavan materiaalivaatimuksia, erityisesti jos materiaalin ulkonäkö tai käyttäytyminen muuttuu huomattavasti. (SFS-EN 14475:2006)

Täyttömaan kerrostaminen, levittäminen, tasoittaminen ja tiivistäminen tulisi yleensä suorittaa samansuuntaisesti pinnoituksen tai viettävän pinnan kanssa. (SFS-EN 14475:2006)

Lujite-elementit ja mahdolliset pinnoitukset tulisi varmistaa huolellisesti, että ne eivät vaurioidu täyttömaan kerrostamisen, levittämisen, tasoittamisen ja tiivistämisen aikana. Mitään koneita tai ajoneuvoja ei saa ajaa suoraan lujitteiden päältä. Kaikki ajoneuvot ja yli 1500 kg painavat rakennuskoneet tulee pitää vähintään 1 metrin etäisyydellä pinnoituksesta tai pinnoittamattomasta rinteiden pinnasta. Täyttömaan tiivistämisessä tulee olla erityisen huolellinen mahdollisen pinnoituksen lähellä, jotta vältetään pinnoituselementtien ja niihin kiinnittyvien lujitteiden vaurioituminen sekä minimoidaan muodonmuutokset. Ahtaisiin tiloihin, kuten rakenteen nurkkiin, tulee kiinnittää erityistä huomiota. (SFS-EN 14475:2006)

Täyttömaa, joka on alle 1 metrin etäisyydellä pinnasta, voidaan tiivistää käyttäen asianmukaista kevyttä tiivistyslaitteistoa. Täyttökerrosten paksuuden tulee olla suunnitelmassa määritellyissä rajoissa, jotta tiivistäminen edellytettyn tiheyteen on mahdollista. Paksuuden tulisi olla kerrannainen tai yhtä suuri kuin lujitteiden pystysuuntaisen väli. Jos käytetään kevyitä tiivistyslaitteita, kerrosten paksuus tulee asettaa siten, että tiivistysvaatimukset täyttyvät. (SFS-EN 14475:2006)

Jokaisen työpäivän lopuksi tiivistetty täyttömaa tulisi jättää siten, että se viettää loivasti (2...4 %) pois päin pinnoituksesta tai viettävästä pinnasta, ja peittää tasaisella tiivisteellä. Näin varmistetaan, että mahdollinen pintavesi ohjautuu pois asianmukaiseen purkautumispaikkaan. (SFS-EN 14475:2006)

Rakenteen takaosa tulisi täyttää vaiheistamalla työ siten, että varmistetaan yhdenmukainen täyttömaamateriaalin kerrostaminen. (SFS-EN 14475:2006)

Lujitettua rakennetta rakennettaessa tulee tarvittaessa ryhtyä toimenpiteisiin, joilla rajoitetaan tai ehkäistään ympäristölle haitallisia vaikutuksia, kuten:

- rakentamisen aiheuttama maaperän tai viereisten rakenteiden liikkuminen
- pohjaveden virtauksen muutokset, joita ei voida hyväksyä (SFS-EN 14475:2006)

Täytön rakennusjärjestys pehmeään tai erittäin pehmeään maaperän päälle voidaan määrittellä suunnitelmassa. Ellei näin ole tehty, tulisi huolellisesti varmistaa, että täytöjärjestys, mukaan lukien rakennuskoneiden liikkuminen, ei missään vaiheessa ylitä alla olevan maaperän kantokykyä. (SFS-EN 14475:2006)

12.4 Lujitettujen penkereiden rakentaminen

12.4.1 Lujitteiden asentaminen

Edellä tukimuurien ja lujitettujen luiskien rakentamisesta esitetty pätee myös lujitettujen penkereiden rakentamiseen (pinnoitteiden asentamista yms. lukuun ottamatta).

Geolujitteet tulee asentaa suunnitelmissa määritellyn suuntaisesti. (SFS-EN 14475:2006)

Lujitteen asentaminen matalaan veteen edellyttää polymeerimateriaalin painottamista erityisillä painoilla. Asentaminen syvään veteen saattaa lisäksi edellyttää matalakulkuisten alusten tai veneiden käyttöä köysivetotekniikalla. (SFS-EN 14475:2006)

12.4.2 Täyttömaan asentaminen ja tiivistys

Täytön rakentamisessa ja tiivistämisessä tulisi yleensä noudattaa tukimuurirakenteille ja lujitetuille penkereille hyväksytyjä menettelyjä, paitsi jos täyttö rakennetaan syvien pehmeiden tai erittäin pehmeiden maakerrosten päälle. Täytön rakennusjärjestys pehmeän tai erittäin pehmeän maaperän päälle tulisi määritellä suunnitelmassa. Ellei näin ole tehty, tulisi huolellisesti varmistaa, että täyttöjärjestys, mukaan lukien rakennuskoneiden liikenne, ei missään vaiheessa ylitä alla olevan maaperän kantokykyä. (SFS-EN 14475:2006)

Jos täyttömaata kerrostetaan päätypengerryksenä, tulisi erittäin huolellisesti varmistaa, että alla olevaan maahan mahdollisesti syntyvät keula-aallot eivät liikuta tai mura-lujitetta. Jos täytön rakentamisessa edetään penkereen pitkästä akselista suuntaisesti, epätoivottuja muodonmuutoksia pohjamaassa voidaan vähentää etenemällä keskiosasta penkereen ääripäihin. Keula-aaltojen syntymistä voidaan myös vähentää rajoittamalla ensimmäisten täyttökerrosten vähimmäispaksuutta, jota kevyillä, vähän kuormittavilla rakennuskoneilla tapahtuva liikenne edellyttää. Leveissä penkereissä voidaan harkita täytön rakentamista ensin penkereen kahdelle reunalle muodostaamaan maavallit, joita seuraava täydentäminen voi edetä kohti penkereen keskikohtaa. (SFS-EN 14475:2006)

12.5 Laadunvarmistus ja rakentamisen valvonta

Rakentamiseen liittyy oleellisena osana valvonta, joka sisältää työmaavalvonnan lisäksi lujitemateriaalien laadunvalvonnan sekä tarkkailumittaukset. Valvonnan, seurannan ja testauksen tason tulee olla suunnitelman materiaali- ja laatuvaatimusten mukaisia. Seurannan tyyppi, laajuus ja tarkkuus sekä testausvaatimukset rakennuspaikalla ja sen ulkopuolella tulisi ilmoittaa selkeästi materiaali- ja laatuvaatimuksissa ja järjestää ennen töiden aloittamista rakennuspaikalla. (SFS-EN 14475:2006)

Geolujitettujen rakenteiden laadunvalvonta työmaalla suositellaan tehtäväksi CEN Tekninen raportti CEN/TR 15019:2005 ”*Geotextiles and geotextile-related products. On-site quality control*” mukaisesti:

- tarkistetaan, että työmaalle on toimitettu oikea, suunnitelmien mukainen tuote;
- tuote varastoidaan ja sitä käsitellään huolellisesti;
- tuote asennetaan oikein;
- vaatimukset tuotteen osalta täyttyvät.

Riittävän pätevän ja kokeneen henkilön tulee vastata tarkistuksista siten, että rakentaminen noudattaa suunnitelmaa ja kaikkia muita sopimusasiakirjoja. Lujitetun rakenteen kaikkia toteutusvaiheita tulee seurata suunnitelman toteuttamista koskevan menetelmäkuvausten ja projektin laatuvaatimusten mukaisesti. (SFS-EN 14475:2006)

Lujitteille tehdään työmaalla vastaanottotarkastus, jossa tuotteet todetaan tilatun mukaiseksi. Vastaanottotarkastus tehdään silmämääräisesti.

Vastaanottotarkastuksen jälkeen lujite testataan seuraavasti:

- Lujite:
 - Tavanomaisissa rakenteissa testi tehdään jokaista käytettyä 10 000 m²:n tuote-erää kohti. Jos käytettävä määrä on yli 1000 m², testataan vähintään yksi näyte-erä.
 - Vaikeusluokaltaan merkittävässä rakenteissa testaus tulee tehdä jokaista käytettyä 6000 m²:n tuote-erää kohti. Jos käytettävä määrä on yli 1000 m², testataan vähintään kaksi näyte-erää.
- Lujitekankaan sauma:
 - Tehdasvalmisteinen sauma testataan jokaista asennetun kankaan sauman 2000:ta saumametriä kohti. Jos käytettävä määrä on yli 200 m, testataan vähintään yksi näyte-erä.
 - Työmaalla tehtävän lujitekangasrakenteen saumasta otetaan näyte-erä jokaista työmaalla tehtyä 1000:ta saumametriä kohti. Jos käytettävä määrä on yli 100 m, otetaan vähintään yksi näyte-erä.

Teräslujitteiden osalta on tarkastettava ainakin seuraavat ominaisuudet:

- langan paksuus
- solmupisteet
- pinnoitepaksuus

Tilaaajan vastuulla on lisäksi teettää synteettisen lujitteen kontrollitestausta. Kontrollitestauksen näytteet ottaa tilaaajan edustaja.

- Tavanomaisissa rakenteissa kontrollitestausta tulee tehdä jokaista käytettyä 50 000 m²:n muoviverkkoerää kohti. Jos käytettävä määrä on yli 10 000 m², testataan vähintään yksi näyte-erä.
- Vaikeusluokaltaan merkittävässä rakenteissa kontrollitestausta tulee tehdä jokaista käytettyä 30 000 m²:n muoviverkkoerää kohti. Jos käytettävä määrä on yli 1000 m², testataan vähintään yksi näyte-erä.

Lujitteiden ja lujitteiden saumojen tarkistusvetokokeet on tehtävä ennen lujitteiden päälle pengertämistä. Mikäli tarkistusvetokokeiden tulokset alittavat vaaditut testiarvot, määrittää suunnittelija lisälujitteiden tarpeen.

Kaikki lujitekerrokset on valokuvattava ennen kerrosten peittämistä siten, että valokuvat ovat paikallistettavissa. Valokuvat toimitetaan valvojalle ennen ko. lujitekerroksen peittämistä kuitenkin viimeistään jokaisen työvuoron päätteeksi (ellei valvojan kanssa sovita muuta menettelyä työn edistyessä).

Valmiissa rakenteessa lujiteverkot tulee olla suunnattuna oikein ja sijainti olla suunnitelma-asiakirjojen mukainen. Kelpoisuusasiakirjaa varten piirretyissä rakenteen pituus- ja poikkileikkauksissa tulee esittää lujitteen toteutunut sijainti. Kuormakirja ja rakentamisen aikana tehdyt valvontamittausten tiedot liitetään kelpoisuusasiakirjoihin. Laatutiedot tulee merkitä myös piirustuksiin. (InfraRYL 2010)

Lujitettuja täyttörakenteita tulee testata standardin EN 1997-1 tai suunnitelman materiaali- ja laatuvaatimusten mukaisesti. Testaustallenteiden tulee kertoa testausmenetelmä ja menetelmäkuvaus, testitulokset ja johtopäätökset sekä niiden merkityksellisyys lujitetun täyttörakenteen kannalta. (SFS-EN 14475:2006)

Ellei suunnittelussa toisin määritellä, valvonnan tulisi liittyä seuraaviin seikkoihin:

- a) rakennuspaikan valmistelu: topografia, pohjatutkimustiedot, kalusto, kaivantojen ja leikkausten muoto, perustuksen alapuolinen täyttö, mahdollinen pohjanvahvistus,
- b) täyttömaa: suunnitelman mukaisuus; ominaisuudet, asentaminen ja tiivistäminen, seuranta ja testaus tarvittaessa
- c) lujite: suunnitelman mukaisuus, vastaanotto, käsittely, varastointi, asentaminen, asentamisen aikaiset vauriot, mahdollinen lujitteiden esijännittäminen, seuranta ja testaus tarvittaessa
- d) pinnoitusmateriaalit: suunnitelman mukaisuus; pinnoituksen/pinnoituselementtien asentaminen, kohdistaminen ja siirtymät, viimeistelyt, seuranta ja testaus tarvittaessa
- e) kuivatus: pohja ja perustus, takarinne ja taustatäyttö, kerrosten kuivatus asentamisen aikana, muut tarvittavat kuivatusjärjestelmät. (SFS-EN 14475:2006)

12.6 Dokumentointi

Rakentamistyön aikana dokumentoidaan merkitykselliset rakentamiskohdat, joihin sisältyvät: sääolosuhteet, töiden eteneminen, valvonta, testit ja havainnot. (SFS-EN 14475:2006)

Töiden valmistuttua tulee laatia rakennettuja kohteita koskevat tallenteet, joihin sisältyvät:

- lujitetun rakenteen yksityiskohtaiset tiedot, joissa esitetään erityisesti kaikki muutokset alkuperäisiin piirustuksiin, materiaali- ja laatuvaatimuksiin
- käytettyjen materiaalien tiedot
- kaikkien muiden rakenteiden (tierumpujen, kaapeleiden, putkien, yms.) sijainti
- perustuksen maa-aineksen tiedot ja olosuhteet sekä muut asiaan kuuluvat geotekniset olosuhteet
- mahdolliset rajoitukset, jotka liittyvät rakenteen kestämiin kuormituksiin
- mahdolliset erityispiirteet tai varoitoimenpiteet, joita saatetaan tarvita, jos rakenne täytyy purkaa

- tiedot mahdollisesti asennetuista säilyvyysnäytteistä ja niiden sijainti sekä suositukset niiden poistamismenetelmästä ja -ajasta ja testauksesta
- erityiset tarkastusta ja kunnossapitoa koskevat suositukset.

Tallenteita tulisi säilyttää töiden päättymisen jälkeen projektin materiaali- ja laatuvaatimuksissa määritelty aika. (SFS-EN 14475:2006)

12.7 Kivikorit

12.7.1 Kivikorimuurin rakentaminen

Kivikorirakenteiden rakentamisessa sovelletaan edellä kohdissa 12.1...12.6 esitettyjä ohjeita siltä osin kuin ne ovat kivikorirakenteille mielekkäitä.

Kivikorit toimitetaan osittain koottuna levyksi taitettuna. Toimitukseen kuuluu sidelanka ja lukkotapit. Kivikorit kootaan tuotteen valmistajan ohjeiden mukaan. Korien päädyt ja väliseinät nostetaan pystyyn ja sidotaan lujasti erityisellä sidelangalla. Sitominen on tehtävä erittäin huolellisesti, koska siitä riippuu rakenteen lujuus ja myös ulkonäkö. Kivikorit jäykistetään tuotekohtaisten ohjeiden mukaan tukisiteillä, jotka estävät seinämien pullistumisen. (Tiehallinto 2003)

Jos perusmaassa on soraa hienompia maa-aineksia, kivikorirakenteen alle ja taakse asennetaan suodatinkangas N3 tai N4. (Tiehallinto 2003)

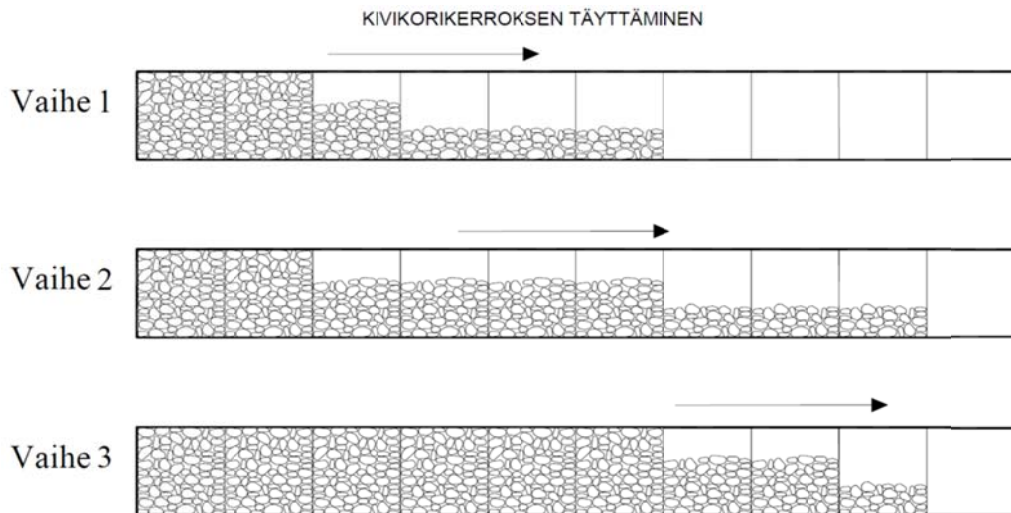
Kivikorit asennetaan paikoilleen joko tyhjinä tai kivillä täytettyinä. Veden alle kivikorit voidaan asentaa tyhjinä, kun korin kansi jää enintään 30 cm vedenpinnan alapuolelle. Syvemmälle korit on asennettava kivitäytteisinä. Veden alle tehtävän tukimuurin korien väleihin ei saa jäädä rakennetta vaarantavia onkaloita. (Tiehallinto 2003)

Kivikorin muoto säilyy säännöllisempänä, jos korin reunat jäykistetään työn ajaksi laudoilla tai soiroilla. Kivikoriryhmän etuseinät jännitetään, jotta korien muoto saadaan säännöllisemmäksi. Jännittäminen tehdään kangilla, jotka työnnetään kulmista vinosti korin pohjan läpi siten, että ne painuvat noin 15 cm perusmaahan. Kanget oikaistaan vetämällä ne pystysuoriksi taljojen avulla. (Tiehallinto 2003)

Korin lokeroiden täyttöpintojen korkeusero ei saa olla täytön aikana suurempi kuin 1/3 korin korkeudesta (kuva 12.1). Näkyviin jäävien pintojen kivet asetellaan käsityönä tasaisen pinnan saavuttamiseksi. Kivikorirakenteen asema ja muoto on määritettävä tarkasti kulmapaalujen ja tarvittaessa luiskamallien avulla. (Tiehallinto 2003)

Kivikoritukimuuuri tehdään yleensä niin, että alemman kerroksen korit täytetään, jonka jälkeen seuraavan kerroksen korit sidotaan tyhjinä toisiinsa ja alempaan kerrokseen ja täytetään kivillä. (Tiehallinto 2003)

Verkon pintakäsittelyä ei saa vaurioittaa. Kivikoriverkkoja ei saa käsitellä alle -20 °C:n lämpötilassa. (Tiehallinto 2003)



Kuva 12.1. Kivikorikerroksen täyttämisen periaate. (Maccaferri 2011a)

12.7.2 Kivikoripatjan rakentaminen

Kivikoripatjaverhouksen jyrkin sallittu kaltevuus on 1:1,25. Jos luiska on jyrkempi kuin 1:1,5, kivikoripatja on ankkuroitava. Kivikoripatjan ankkurointi jyrkissä luiskissa tehdään terästangoilla. Jos verhoukset ulottuu maatuen tai muun ankkurointiin käytettävissä olevan betonirakenteen etureunaan, kiinnitetään kivikoripatja \varnothing 25 mm:n tangon avulla etumuurin metrin välein asennettuihin \varnothing 15 mm:n teräslenkkeihin. Maatuen ulkopuolella kivikoripatjan yläreuna kiinnitetään korin läpi maahan metrin välein lyötävillä \varnothing 15 mm:n terästangoilla. Verhouksen muilla osilla lyödään yksi kiinnitystanko kutakin kahta neliometriä kohti.

Kivikoripatjan kivien koko ei saa olla verkon silmäkoko pienempi eikä suurempi kuin 2/3 patjan paksuudesta. Kivikoripatjaverhouksen paksuuden tulee olla vähintään 300 mm. Helppoissa olosuhteissa voidaan käyttää kivikorimattoa, jonka korkeus on 150 mm.

Työnaikaisina laadunvarmistustoimenpiteinä:

- todetaan kivikoriverkon langan laatu ja paksuus,
- todetaan kivikoriverkon oikea kokoamistapa,
- tarkastetaan tukimuurin perustuksen tasaisuus,
- todetaan suodatinkankaan laatu,
- mitataan kivikoripatjaverhouksen paksuus,
- todetaan verhouksen riittävä leveys.

Laaturaporttiin kirjataan

- suoritettavat laadunvarmistustoimenpiteet
- laatuvaatimusten täytyminen.

Laaturaportti luovutetaan tilaajan edustajalle työn vastaanottotarkastuksessa.

13 Jälkiseuranta

Lujitemaarakenteiden jälkiseurannan pääasiallinen tehtävä on varmistaa rakenteen suunniteltu toiminta ja täsmentää suunnittelussa käytettyjä lähtötietoja rakenteiden todellisen käyttäytymisen perusteella. Jälkiseurantaan sisältyy rakenteen painumien ja siirtymien seuranta sekä erityistapauksissa lujitemateriaalin pitkäaikaisominaisuuksien seuranta.

Painumat

Painumaseuranta toteutetaan yleensä asentamalla rakenteeseen painumalevyjä, painumaletkuja (esim. penkereet) tai siirtymämittauspisteitä (esim. tukimuurit). Laaja-alaisten rakenteiden painumia (tai siirtymiä) voidaan seurata myös eri ajankohtina tehtävillä laserkeilauksilla.

Painumalevyinä käytetään tavallisesti teräksisiä 300 x 300 mm² levyjä, joihin on hitsattu kierteillä varustettu mittaustanko. Painumamittaukset aloitetaan heti levyjen asentamisen jälkeen. Mittausväli voi olla alussa esimerkiksi kerran viikossa ensimmäisten kuukausien aikana ja mittauksia voidaan harventaa painumanopeuden hidastuessa. Painumamittauspisteiden suojaukseen on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Painumamittauksilla voidaan seurata rakenteen painumisnopeutta, toteutuneita täytötasoja sekä korotustäyttöjen tarvetta.

Siirtymät

Lujiterakenteen vaakasiirtymiä voidaan seurata sivusiirtymäputkilla (inklinometri) tai rakentamalla tarkkailumittauspisteitä. Inklinometriputkina käytetään profiiliputkia, jotka asennetaan pystysuoraan porakonekalustoa käyttäen. Siirtymämittauksilla voidaan tarkkailla lujiterakenteen ja maapohjan liikkeitä.

Lujitemateriaalin pitkäaikaisominaisuudet

Lujitemateriaalien pitkäaikaisominaisuudet ovat vaikeasti arvioitavissa pelkästään laboratoriokokeiden perusteella. Erikoistapauksissa ja uusien materiaalien tai materiaaliyhdistelmien kanssa toimittaessa laboratoriotulosten varmistamiseksi on hyödyllistä seurata materiaalin pitkäaikaisominaisuuksia varsinaisessa käyttökohteessa. Seurannan tulisi sisältää lujitteen lujuus-muodonmuutosominaisuuksien tarkkailun lisäksi biologisten ja kemiallisten tekijöiden vaikutuksen arvioinnin. Seuranta voidaan toteuttaa esimerkiksi kaivamalla esiin näytteitä lujiterakenteesta laboratorioissa analysoitavaksi.

Kirjallisuus

Aalto, A., Slunga, E., Tanska, H., Forsman, J., Lahtinen, P. (1998). *Synteettiset geovahvisteet. Suunnittelu ja rakentaminen*. Rakennustieto Oy. 138 s.

Agostini, R., Cesario, L., Conte, A., Masetti, M., Papetti, A. (1987). *Flexible gabion structures in earth retaining works*. Officine Maccaferri, Bologna, Italy. 126 s.

BS 8002:1994 (1994). *Code of practice for Earth retaining structures*. British Standard. BSI Standards Publication. 112 s.

BS 8006-1:2010 (2010). *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*. British Standard. BSI Standards Publication. 255 s.

Carlsson, B. (1987). *Armerad Jord*. Linköping, Terranova Distribution. 31 s.

Castelli, F., Cavallaro, A. ja Maugeiri, M. (2001). *Laboratory test for estimation of static and dynamic interface characteristics of geosynthetic*. Proceedings of Sardinia 2001. 8th International waste management and landfill symposium. CISA. Italy.

CEN/TR 15019:2005 *Geotextiles and geotextile-related products. On-site quality control*.

Debon, L. 2000. *Interaction between steel net reinforcement and unbound granular material*. Diplomityö, TTY, Tampere, 143 s.

DGGT (2011). *Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements – EBGeo*. The German Geotechnical Society. 313 s.

EN ISO 10319:2008 *Geosynthetics. Wide-width tensile test*. 8.9.2008. 15 s.

EN ISO 10321:2008 (2011) *Geosynthetics -- Tensile test for joints/seams by wide-width strip method*. 1.4.2008. 10 s.

EN ISO 13431:1999 (2010) *Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of tensile creep and creep rupture behaviour*. 26.8.1999. 16 s.

Environmental Protection Inc. (2000). *PGI Technical Bulletin. PVC Geomembrane / Geosynthetic Interface Strengths*.
www-sivut: <http://www.geomembrane.com/PGI%20Tech%20Bull/00-04.htm>

Enviromesh (2007a). *Designing with Gabions, Volume 1. A Reference Guide for the Designing of Mass Gravity Gabion Walls*. 45 s.

Enviromesh (2007b). *Designing with Gabions, Volume 2. A Reference Guide for Architectural Gabion Cladding and Free Standing Walls*. 30 s.

Enviromesh (2007c). *Designing with Gabions and Mattresses, Volume 3. A Reference Guide for the Designing of River and Coastal Gabion Protection Works*. 34 s.

Exxon Chemical Geopolymers Ltd. (1992). *Designing for Soil Reinforcement*. 133 s.

Forsman, J. & Slunga, E. (1996). *Synteettisen geovahvisteen ja maan välinen kitka sekä vahvisteiden ankkuroituminen*. TKK, Rakennetekniikan laitos, Pohjarakennus ja maamekaniikka. 140 s. + liitt.15 s.

Forsman, J. (2001). *Geovahvistetutkimus. Koerakenteiden loppuraportti 1996...2001*. Tiehallinnon selvityksiä 75/2001. 118 s.

Höynälä, H. & Mäkelä, H. (2004). *Teräsverkkojen käyttö lujitteina tie- ja katurakenteissa*. 1999. Tammet Oy.

InfraRYL 2010 (2010). *Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 1 Väylät ja alueet*. Rakennustieto Oy. 555 s.

ISO/TR 20432:2007(E). *Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement*. Technical report. International Standard Organisation. 31 s.

Jewell, R.A. (1991). *Application of revised design charts for steep reinforced slopes*. Geotextiles and geomembranes. Vol.10, N:o 3. ss .203-233.

Jewell, R.A. (1987). *The Mechanics of Reinforced Embankments on Soft Soils*. University of Oxford, Report OUEL 1694/87 & published in Geotextiles and Geomembranes, Elsevier, Vol. 7, 3, 1988.

Koerner, R. (1994). *Designing with geosynthetics*. Third Edition. Prentice-Hall Inc. USA.

Leino, T., Häkkä-Rönholm, E., Nieminen, J., Koukkari, H., Hieta, J., Vesikari, E. & Törnqvist, J. (1998). *Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu*. VTT Tiedotteita 1937. 119 s. + liitt. 11 s.

Leppänen, M. (1992). *Teräspaaluksen korroosio*. TTKK Geotekniikan laboratorio.

Leroueil, S., Magnan, J-P., Tavenas, F. (1990). *Embankments on soft clays*. Ellis Horwood Ltd. 360 s.

Liikennevirasto (2012a). *Teräspuutisillat. Suunnitteluohje*. Liikenneviraston ohjeita 2/2012. 64 s. + liitteet.

Liikennevirasto (2012b). *Tien geotekninen suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet*. Lausuntoversio 19.1.2012. Liikenneviraston ohjeita 10/2012. 83 s.

Liikennevirasto (2012c). *Sillan geotekninen suunnittelu. Sillat ja muut taitorakenteet*. Lausuntoversio 2.3.2012. Liikenneviraston ohjeita 11/2012. __ s + liitteet.

Liikennevirasto (2011a). *Eurokoodin soveltamisohje. Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1*. Liikenneviraston ohjeita 20/2011. 20.12.2011. 97 s + liitteet.

Liikennevirasto (2011b). *Eurokoodin soveltamisohje. Geotekninen suunnittelu – NCCI 7*. Liikenneviraston ohjeita 12/2011. 26.6.2011. 70 s. + liitteet.

Liikennevirasto (2010a). *Eurokoodin sovellusohje. Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2*. Liikenneviraston ohjeita 24/2010. 5.11.2010. 83 s. + liitteet.

Liikennevirasto (2010b). *Syvästabiloinnin suunnittelu*. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikenneviraston ohjeita 11/2010. 76 s.

Liu, C. (2000). *Tension of geosynthetic material regarding soils on landfill liner slopes*. Proceedings of the National Science Council / Republic of China.

Luomala, H. (2005). *Kolmilankaisten teräsverkkojen vetokokeet*. Tutkimusraportti. TTY.

Länsivaara, T. (2001). *Painuman ennustaminen painumahavaintojen perusteella*. Tiehallinnon selvityksiä 49/2001. 87 s. + liitt. 289 s.

Maccaferri (2012) *Historia*. <http://www.maccaferri.com/history/13190-2.html>. Luettu 23.1.2012.

Maccaferri (2011a) *Asennusohje*. <http://www.viapipe.fi/PDF/Maccaferri.Asennusohje.pdf>. Luettu 28.12.2011.

Maccaferri (2011b) *Gawacwin-mitoitusohjelman käyttöohje. Part 1 – Reference manual*. Luettu 26.8.2011. 76 s.

Mansikkamäki, J. (2011) *Lujitetun maarakenteen mitoitus GeoCalcilla - geolujitettu penger ja luiska*. Esitys Geosynteettikoulutuksessa 13.5.2011.

Möller, L. 1992. *Jordarmering I teori och praktik*. JB Reklam AB, Vemdalen. 89 s.

NF P 94-220 (1998). Norme NF P 94-220-0 *Ouvrages en sols rapportés renforcés par armatures ou nappes peu extensibles et souples*.

Nordic Geosynthetic Group (2005). *Nordic guidelines for reinforced soils and fills*. The Nordic Geotechnical Societies, Nordic Industrial Fund. 138 s. + liitteet 50 s.

Rakennustieto Oy (2005). *RT K-36951, RT/KH 373-36951, Leca-Sora*. Huhtikuu 2005. 4 s. <http://shop.e-weber.fi/kronodocs/3191.pdf>

RIL 207-2009. *Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje*. Suomen Rakennusinsinöörin liitto RIL ry. 244 s.

RIL 121-2004. *Pohjarakennusohjeet*. Suomen Rakennusinsinöörin liitto RIL ry.

RIL 253-2010. *Rakentamisen aiheuttamat tärinät*. Suomen Rakennusinsinöörin liitto RIL ry. 122 s.

RIL 254-2011. *Paalutusohje 2011. PO-2011. Osa 1: suunnittelun perusteet. Osa 2: paalutusohje*. Suomen Rakennusinsinöörin liitto RIL ry. Suomen Geoteknillinen Yhdistys SGY ry. 261 s.

SFS 1257 (1996). *Betoniteräkset. Kylmämuokattu harjatanko B500K*. Suomen standardisoimisliitto. 26.8.1996. 6 s.

SFS 1260 (1998). *Betoniteräkset. Kylmämuokattu harjatanko B700K*. Suomen standardisoimisliitto. 28.9.1998. 6 s.

SFS-EN 14475 + AC (2008). *Pohjarakennustyöt. Lujitettu täyttö*. Suomen standardisoimisliitto. 6.3.2006. 46 s.

SFS-EN 1990 + A1 + AC (2009). *Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet*. Suomen standardisoimisliitto. 26.6.2006. 185 s.

SFS-EN 1991:

SFS-EN 1991-1-1 + AC (2003). *Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat*. Suomen standardisoimisliitto. 21.10.2002. 72 s.

SFS-EN 1991-1-6 + AC (2007). *Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: Yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat*. Suomen standardisoimisliitto. 15.8.2005. 52 s.

SFS-EN 1991-2 (2009). *Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 2: Siltojen liikennekuormat*. Suomen standardisoimisliitto. 29.3.2004. 144 s.

SFS-EN 1993-1-1 (2006). *Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1.1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. Suomen standardisoimisliitto. 15.8.2005. 99 s.

SFS-EN 1997-1 + AC (2009). *Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt*. Suomen standardisoimisliitto. 18.4.2005. 156 s.

SFS-EN 12224:en (2001). *Geotextiles and geotextile-related products. Determination of the resistance to weathering*. Suomen standardisoimisliitto. 23.4.2001. 10 s.

SFS-EN 13251 (2002) *Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Toiminnalliset vaatimukset maanrakennustöissä sekä perustusten ja tukirakenteiden tekemisessä*. Suomen standardisoimisliitto. 11.6.2001. 29 s.

SFS-EN ISO 10320 (2001) *Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Tunnistaminen työmaalla*. Suomen standardisoimisliitto. 25.10.1999. 8 s.

SFS-EN ISO 14713 (1999). *Teräs- ja rautarakenteiden korroosionesto. Sinkki- ja alumiinipinnoitteet*. Suomen standardisoimisliitto. 23.8.1999. 64 s.

Statens vegvesen (2008). *Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger*. Håndbok 274. Statens vegvesen, Vegdirektoratet – Teknologiavdelingen. Oslo. 326 s.

Tanska, H., Slunga, E., Forsman, J., Hoikkala, S. & Saarinen, R. (1995). *Geovahvistaiden käyttö – Suunnittelu ja rakentaminen*. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, Rakennetekniikan laitos, Pohjarakennus ja Maamekaniikka. Otaniemi. 120 s.

Tanska, H. (1993). *Suljetun leikkauslujuuden kasvu primaarisen ja sekundaarisen konsolidaation aikana*. Diplomityö. TKK. Espoo. 127 s.

Tarkkala, J. (1990), *Kevytsora-asfaltti ja verkkovahvisteet tien päällysrakenteessa Mankkaanväylällä*. Diplomityö, TKK, Pohjarakennus ja maamekaniikka. Espoo. 152 s.

Tensar (2002). *Ground Stabilisation. Reinforcing unbound layers in roads and trafficked areas*. Tensar international. 7 s.

Terra Aqua. *Terra Aqua Gabions, Standard Drawings – Gabion Gravity Wall*. Luettu 5.10.2011. 14 s.

<http://www.terraaqua.com/Terra%20Aqua%20Gabions%20Standard%20Drawings%20-Gabion%20Gravity%20Wall.pdf>

Tiehallinto (2008). *Geotekniset tutkimukset ja mittaukset (TIEH 2100057-08)*

Tiehallinto (2003). *SILKO 2.919 5/03. Siltaan liittyvät rakenteet, kiviakorirakenteiden teko, työkohtaiset laatuvaatimukset*, Tiehallinto, Siltatekniikka.

Tielaitos (1995). *Tietoa tiensuunnitteluun, nro 17*. Tielaitos, kehittämiskeskus. 6.4.1995. 10 s.

Törnqvist, J. (2004). *Teräsputkipaalujen korroosio. Mitoitus empiiriseen aineistoon pohjautuen*. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.42 s.

Uotinen, V-M. (1996), *Geovahvisteet tiepenkereen leventämisessä pehmeiköllä*. Diplomityö, TKK, Pohjarakennus ja maamekaniikka. Espoo. 132 s.

van Eekelen, S. (2011). *Lujitetun maarakenteen mitoitus ja koerakennekokemuksia. Geolujitettu paalutettu rakenne (Piled embankments; Design reinforcement)*. Luento Geosynteettikoulutuksessa SYKE:llä 12.5.2011.

van Zanten, R.V. (1986). *Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering*. Rotterdam, The Netherlands. 642 s.

Vepsäläinen, P. (1994). *Maanvarainen tiepenger savikolla, Suunnitteluohje*. Tielaitoksen selvityksiä 67/1994. Geokeskus. Helsinki. 52 s.

Liikenneviraston (Tiehallinnon) teräsverkko-ohjeita

Taulukko 8. Tiehallinnon teräsverkkojen käyttöä koskevat ohjejulkaisut.

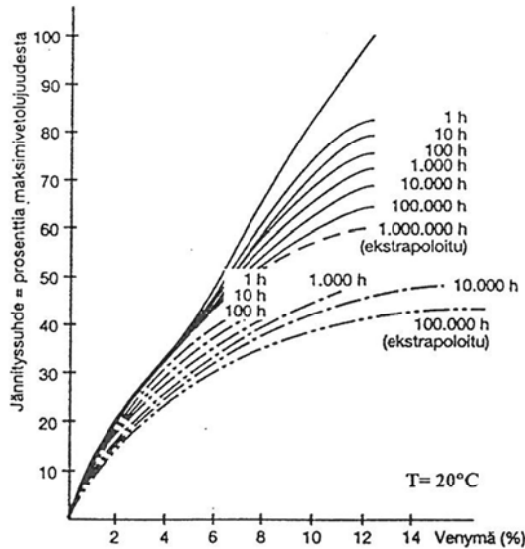
Julkaisu	Ohjenumero	Julkaisuvuosi
Tierakenteen suunnittelu	TIEH 2100029-04	2005
Tien perustamistavan valinta	TIEH 2100019-03	2003
Päällysteiden suunnittelu	TIEL 214011	1997
Rakenteen parantamisen suunnittelu	TIEH 2100035-05	2006

Taulukko 9. Tiehallinnon julkaisuissa esiintyviä teräsverkkojen suunnittelua ja asentamista koskevia suosituksia.

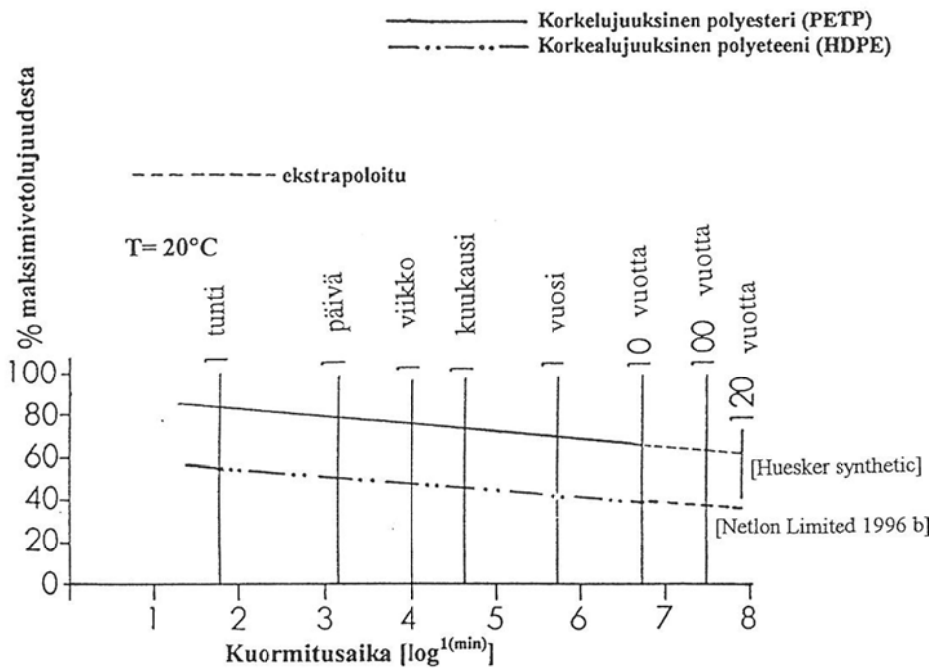
Julkaisu	Julkaisuvuosi	Aihealue
Heikkokuntoisen päällystetyn alemman tieverkon ylläpito, loppuraportti	2005	Korjausmenetelmän valinta
Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen	2005	Korjausmenetelmän valinta
Kevytpäällysteisten teiden rakenteen parantaminen	2002	Korjausmenetelmän valinta
Pyöriteiden routavauriotutkimus	2000	Suunnittelun perusteita
Teräsverkon käyttö tierakenteiden koerakennuskohteissa; synteesi STEELSYNT	2003	Kokemuksia koerakenteista ja suunnittelusta
Teräsverkkojen asentaminen: käytännön ohjeita	1991	Asennustyö
Tierakenteen suunnittelu ja mitoitus, suunnittelujärjestelmän kuvaus, TPPT	2002	Suunnitteluohjeita

Jännitys -venymäkäyrät ajan funktiona ja ajan vaikutus vetolujuuteen polyesteri- ja polyeteenikuiduilla

a



b



a) Jännitys -venymäkäyrät ajan funktiona (isokroonikäyrät) ja b) ajan vaikutus vetolujuuteen korkealujuuksisilla polyesteri- ja polyeteenikuiduilla (alempi 95 % luotettavuusraja, T= 20 °C).

Metallilujitteiden kanssa käytettävien täyttömaiden sähkökemialliset ominaisuudet

(SFS-EN 14475:2006)

TERÄSRAUDOITTEET				Nauhat				Hitsatut verkot, kehikot, tangot		Punotut verkot		
Korroosioon perustuvat kriteerit				Pinnottamaton "musta" teräs	Jatkuvasti kuumasinkitty (35 µm)	Kuumasinkitty (70 µm)	Sinkki-alumiinipinnoitettu (Zn85Al15, termi- nen ruiskupinnoitus 70 µm))	Pinnottamaton "musta" teräs	Kuumasinkitty (70 µm)	Sinkki-alumiinipinnoitettu (Zn95Al5, kuumakastopinnoitus 35 µm)	Sinkki-alumiinipinnoitettu (Zn85Al15, kuumakastopinnoitus 35 mm), polymeeri-pinnoitettu (PVC/U tai PE, 0,5 µm)	
												Huomautukset
Yleisesti käytetyt koot				3...6 mm	paksuus 3 mm	paksuus 4...6 mm		tangot Ø 8 mm...12 mm		lanka Ø 2 mm...3 mm		
Tavallinen käyttösovellus – Rakenneluokka (suunniteltuun käyttöikään liittyvä)				(1) Luokka 3 tai 4	Luokka 4	Luokka 4 tai 5	Luokka 4 tai 5	Luokka 4	Luokka 4 tai 5	Luokka 1	Luokka 4 jyrkille rinteille kulmaan 70°	
Sähkökemialliset ominaisuudet tavanomaisen suunnittelun yhteydessä				(2)								
YMPÄRISTÖ	Maapohja, ei vedessä	pH	(3)	5...10	5...10	5...10	A (9)	5...10	5...10	5...10	3...10	
		Resistiivisyys	Ω cm	(4)	> 1000	> 1000	> 1000		> 1000	> 1000	> 1000	B (7)
		Kloridit Cl	ppm	(5)	< 200	< 200	< 200		< 200	< 200	< 200	
		Sulfaattit SO ₄	ppm	(6)	< 1000	< 1000	< 1000		< 1000	< 1000	< 1000	
	Makeassa vedessä (8)	pH	(3)	5...10	5...10	5...10	A (9)	5...10	5...10	5...10	3...10	
		Resistiivisyys	Ω cm	(4)	> 3000	> 3000	> 3000		> 3000	> 3000	> 3000	B (7)
		Kloridit Cl	ppm	(5)	< 100	< 100	< 100		< 100	< 100	< 100	
		Sulfaattit SO ₄	ppm	(6)	< 500	< 500	< 500		< 500	< 500	< 500	
Ei rutiiniluontoinen, epätavallinen suunnitelma												
YMPÄRISTÖ	Meriympäristö, tai merellistä alkuperää oleva täyttö			Edellytetään erillistä tutkimusta. Yleensä tarvitaan paksumpia nauhoja tai suurempia tankoja				ph 5...10 Ei muita vaatimuksia	Edellytetään erillistä tutkimusta. Yleensä tarvitaan suurempia tankoja		C	Edellytetään erillistä tutkimusta
	Teollisuusjätetäyttö & erittäin aggressiiviset ympäristöt			Edellytetään erillistä tutkimusta				Edellytetään erillistä tutkimusta		Edellytetään erillistä tutkimusta		

Merkinnät:



Materiaalia ei tavallisesti käytetä



Testi ei ole olennainen



Materiaalia ei tavallisesti voida soveltaa

HUOM. 1 Ks. SFS-EN 1990, kohta 2.3. Tässä esitetyt luokat ovat yleisimmin käytettyjä, mutta niitä ei ole tarkoitettu rajoituksiksi. (kts. tämän käsikirjan taulukko 2.4, suunnittelun käyttöikä luokka / viitteellinen suunniteltu käyttöikä)

HUOM. 2 Tavanomainen suunnittelu, tavalliset sovellukset aggressiivisuudeltaan normaaleissa ympäristöissä.

HUOM. 3 Kaikissa tapauksissa pH tulisi mitata standardin NF A05-252 liitteen C ja standardin NF T01-013, standardin BS 1377 osan 3, 1990, testin 9 tai vastaavan kansallisen standardin mukaisesti.

HUOM. 4 Kaikissa tapauksissa kyllästetyn näytteen resistiivisyys tulisi mitata standardin NF A05-252 liitteen B, standardin BS 1377 osan 3, 1990, testin 10.4 tai vastaavan kansallisen standardin mukaisesti.

HUOM. 5 Vesiliukoisten kloridien mittausta edellytetään vain, jos resistiivisyys on alle 5000 ohm.cm. Tässä tapauksessa sopivat menetelmät on kuvattu standardin NF *A05-252 liitteessä C ja standardissa NF T90-009, standardin BS 1377 osan 3, 1990, testissä 7.2 tai vastaavissa kansallisissa standardeissa.

HUOM. 6

i) Vesiliukoisten sulfaattien SO_4 mittausta edellytetään vain, jos resistiivisyys on alle 5000 ohm.cm. Tässä tapauksessa sopivat menetelmät on kuvailtu standardin NF A05-252 liitteessä C ja standardissa NF T90-014, standardin BS 1377 osan 3, 1990, testissä 5, jossa tulos ilmoitetaan muodossa SO_3 kerrottuna kertoimella 1,2, tai vastaavissa kansallisissa standardeissa.

ii) Sulfaattipitoisuuden tulisi sisältää kolminkertaisesti mahdollinen rikki-pitoisuus S-. S—pitoisuus tulisi mitata, mikäli täyttömaan alkuperä viittaa sen esiintymisen mahdollisuuteen. Mittaus tulisi suorittaa pätevässä laboratorioissa käyttäen esimerkiksi julkaisussa Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis esitettyä menetelmää.

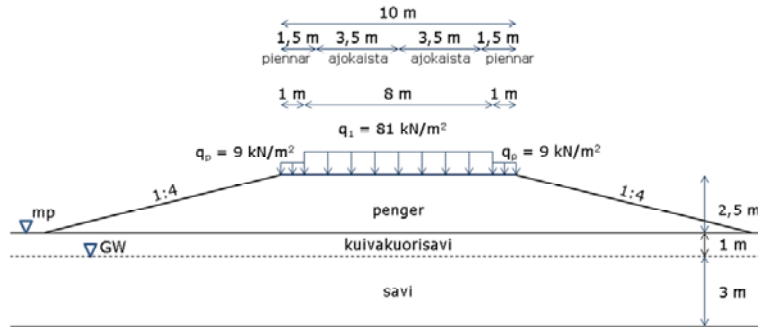
iii) Sulfaattipitoisuuden rajaan liittyy oletus, ettei klorideja ole. Samoin kloridien rajaan liittyy oletus, ettei sulfaatteja ole. Jos molempia suoloja esiintyy yhtäaikaisesti, rajat voidaan johtaa yhtälöstä $(\text{Cl})^{0,86} + 13(\text{SO}_4)^{0,32} = k$, jossa Cl ja SO_4 ovat yksiköissä ppm, $(\text{Cl}) \geq 1$, $(\text{SO}_4) \geq 5$ ja $k = 120$, kun rakenne ei ole vedessä, $k = 95$, kun osa rakenteesta on makeassa vedessä.

HUOM. 7 Ks. asiaan kuuluvat polymeerimateriaalien vaatimukset

HUOM. 8 Makeassa vedessä tai säännöllisesti veden peittämänä, esim. joen seinämien alaosat tavallisten tulvatasojen alapuolella.

HUOM. 9 Ei yleensä käytetä aggressiivisuudeltaan normaaleissa ympäristöissä, mutta käytettäessä $5 < \text{pH} < 10$. Muuten testit eivät ole olennaisia.

LIITE 4 - Geolujitettu maanvarainen pengerrus pehmeiköllä, esimerkkilaskelma



1. Esimerkkirakenteen lähtötiedot

1.1 Penkereen geometria ja maaparametrit:

Penkereen korkeus:		$H_p = 2.5 \text{ m}$
Penkereen harjan leveys:		$L_m = 10 \text{ m}$
Luiskakaltevuus 1:4 => luiskakaltevuuden suhdeluku:		$n = 4$
Luiskan leveys:	$L_s = n \cdot H_p$	$L_s = 10 \text{ m}$
Luiskan keskimääräinen korkeus:	$h_s = \frac{H_p}{2}$	$h_s = 1.25 \text{ m}$
Penkereen leveys:	$B = L_m + 2 \cdot L_s$	$B = 30 \text{ m}$
Pientareen leveys:		$L_{piennar} = 1.0 \text{ m}$
Pengermateriaalin tilavuuspaino:		$\gamma_{pengerrus} = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Kriittisen tilan leikkauskestävyysskulma:		$\phi_{cI} = 32^\circ$
Pengermateriaalin ja lujitteen välisen liukumisvastuksen korjauskerroin:		$\alpha_1 = 0.8$

1.2 Pohjamaan geometria ja maaparametrit:

Kerros nro <i>i</i>	Maalaji	Kerros-paksuus z_i m	Tilavuus-paino γ_i kN/m ³	Tehokas tilavuuspaino γ'_i kN/m ³	Suljettu leikkauslujuus* c_{ui} kN/m ²
2	Kuivakuorisavi	1	18		20
3	Savi	3	16	6	12

*redusoitu

Vesipitoisuus:	$w = 60\%$
Leikkauslujuuden kasvu syvyyden kasvaessa:	$\xi = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Pohjamaan ja lujitteen välisen liukumisvastuksen korjauskerroin:	$\alpha_2 = 0.8$

1.3 Eurokoodin soveltamisohjeen NCCI7:n LM1 mukaiset liikennekuormat

Muuttuva kuorma (ajokaistalla):	$q_I = 81 \text{ kPa}$
Muuttuva kuorma (pientareella):	$q_p = 9 \text{ kPa}$
Liikennekuorma LM1 penkereen pohjalla (nomogrammi alla):	$q_{Qpp} = 31 \text{ kPa}$

1.4 Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut (STR/GEO), mitoitus tapa DA2*, NCCI 7, taulukko A.3a(FI)

Epäedulliset kuormat:

	<u>Yhtälö 6.10a:</u>	<u>Yhtälö 6.10b:</u>
Pysyvä kuorma:	$\gamma_{G_a} = 1.35$	$\gamma_{G_b} = 1.15$
Määrävä muuttuva kuorma (tieliikennekuorma):	$\gamma_{Q_a} = 0$	$\gamma_{Q_b} = 1.35$

Edulliset kuormat:

	<u>Yhtälö 6.10a:</u>	<u>Yhtälö 6.10b:</u>
Pysyvä kuorma:	$\gamma_{G.e_a} = 0.9$	$\gamma_{G.e_b} = 0.9$

1.5 Maaparametrien osavarmuusluvut
(STR/GEO), NCCI 7, taulukko A.4 (FI)

	Sarja M1 (DA2*)	Sarja M2 (DA3)
Leikkauskestävyyskulma:	$\gamma_{\phi_{c1}} = 1.0$	$\gamma_{\phi_{c2}} = 1.25$
Suljettu leikkauslujuus:	$\gamma_{cu_{c1}} = 1.0$	$\gamma_{cu_{c2}} = 1.4$
Tilavuuspaino:	$\gamma_{\gamma_{c1}} = 1.0$	$\gamma_{\gamma_{c2}} = 1.0$

1.6 Geolujitteen ominaisuudet ja osavarmuusluvut (NCCI 7)

Lujitteen muodonmuutosmoduli $J_v = 1000 \frac{kN}{m}$
(Määritetään lujitteen muodonmuutoskuvaajasta mitoituksesta saatavan lujitevoiman perusteella rakenteen mitoituskätkää vastaavalta venymä-lujitevoima-kuvaajalta)

Lujitteen materiaalikerroin: $\gamma_{re} = 1.0$

Lujitteen ominaislujuus määritetään mitoituslujuudesta käsikirjan kohdan 4.9 mukaisesti.

Liukuminen lujitteen pintaa pitkin: $\gamma_s = 1.1$

Lujitteen ulosvetovastus (ankkuroituminen): $\gamma_p = 1.1$

1.7 Mitoitusikä

Tiepenkereen mitoituskätkä normaalin pohjarakenteen tapauksessa on 100 v.

1.8 Aktiivimaanpainekerroin:

Määritetään joko kohdan 1.8.1 tai 1.8.2 mukaisesti.

1.8.1 VE1) NCCI7, liite 2, kuva C.1.1:

Pengermateriaali: $K_{a_NCCI7} = 0.28$

1.8.2 VE2) Supistettu Coulombin kaava:

Aktiivi seinäkitkikulma: $\delta_a = \frac{2}{3} \cdot \phi_{c1} = 21.33^\circ$

$$K_{ad} = \frac{\cos(\phi_{c1})^2}{\cos(\delta_a) \left(1 + \frac{\sin(\phi_{c1} + \delta_a) \cdot \sin(\phi_{c1})}{\cos(\delta_a)} \right)^2} = \frac{\cos(32^\circ)^2}{\cos(21.3^\circ) \left(1 + \frac{\sin(32^\circ + 21.3^\circ) \cdot \sin(32^\circ)}{\cos(21.3^\circ)} \right)^2} = 0.275$$

2. Vaakasuuron maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima (T_{ds}), STR/GEO DA2*

Lujitteen ja pengermateriaalin välinen leikkauskestävyys luiskan alla:

$$R_{ds} = h \cdot L_e \cdot \alpha_I \cdot \gamma_{peng} \cdot \tan(\phi_{c1})$$

Lujitteen ja pengermateriaalin välisen leikkauskestävyyden tulee täyttää ehto:

$$T_{ds1} \leq \frac{R_{ds1}}{\gamma_s}$$

Yhtälöt yhdistämällä saadaan pienin tartuntapituus:

$$L_e = \frac{T_{ds} \cdot \gamma_s}{h \cdot \alpha_I \cdot \gamma_{peng} \cdot \tan(\phi_{c1})}$$

Tartuntapituuden tulee täyttää reunaehto:

$$L_s \geq L_e \quad \text{missä luiskan leveys} \quad L_s = 10m$$

2.1 Kuorma 9 kPa luiskan reunalla

2.1.1 Lujitteeseen maanpainekuorman vaikutuksesta mobilisoituva voima (pintakuorma ja maan paino)

Yhtälö 6.10a:

$$T_{ds_a1} = H_p \cdot K_{ad} \cdot (q_p \cdot \gamma_{Q_a} + 0.5 \cdot H_p \cdot \gamma_{peng} \cdot \gamma_{G_a}) = 2.5m \cdot 0.275 \left(9 \text{ kPa} \cdot 0 + 0.5 \cdot 2.5m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.35 \right) = 23.2 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{ds_b1} = H_p \cdot K_{ad} \cdot (q_p \cdot \gamma_{Q_b} + 0.5 \cdot H_p \cdot \gamma_{peng} \cdot \gamma_{G_b}) = 2.5m \cdot 0.275 \left(9 \text{ kPa} \cdot 1.35 + 0.5 \cdot 2.5m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.15 \right) = 28.1 \frac{kN}{m}$$

2.1.2. Lujitteen pienin tartuntapitoisuus ja reunaehdon täytyminen, kun $L_s = 10m$

Yhtälö 6.10a:

$$L_{e_a1} = \frac{T_{ds_a1} \cdot \gamma_s}{h_s \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_{penger} \cdot \tan(\phi_{c1})}$$

$$= \frac{23.2 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{1.25m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ)} = 2.04m$$

Leveys_{a1} = "OK"

Yhtälö 6.10b:

$$L_{e_b1} = \frac{T_{ds_b1} \cdot \gamma_s}{h_s \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_{penger} \cdot \tan(\phi_{c1})}$$

$$= \frac{28.1 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{1.25m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ)} = 2.47m$$

Leveys_{b1} = "OK"

2.2 Kuorma 81 kPa pientareen leveyden etäisyydellä luiskan reunasta

Kuorma sijaitsee pientareen leveyden (1 m) etäisyydellä luiskan reunasta, joten lujitteen tarkastelupituus tässä tapauksessa on 11 m (10 m luiska + 1 m piennar).

2.2.1 Lujitteeseen maanpainekuorman vaikutuksesta mobilisoituva voima

Yhtälö 6.10a:

$$T_{ds_a2} = H_p \cdot K_{ad} \cdot (q_1 \cdot \gamma_{Q_a} + 0.5 \cdot H_p \cdot \gamma_{penger} \cdot \gamma_{G_a})$$

$$= 2.5m \cdot 0.275 \left(81 kPa \cdot 0 + 0.5 \cdot 2.5m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.35 \right) = 23.2 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{ds_b2} = H_p \cdot K_{ad} \cdot (q_1 \cdot \gamma_{Q_b} + 0.5 \cdot H_p \cdot \gamma_{penger} \cdot \gamma_{G_b})$$

$$= 2.5m \cdot 0.275 \left(81 kPa \cdot 1.35 + 0.5 \cdot 2.5m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.15 \right) = 95 \frac{kN}{m}$$

2.2.2. Lujitteen pienin tartuntapitoisuus ja reunaehdon täytyminen, kun $L_s = 10m$

Lujitteen ja pengermateriaalin välinen kestävyys pientareen osuudella:

$$R_{ds_piennar} = H_p \cdot L_{piennar} \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_{penger} \cdot \tan(\phi_{c1})$$

$$= 2.5m \cdot 1m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ) = 24.99 \frac{kN}{m}$$

Lujitteeseen pientareen osuudella mobilisoituva lujitevoima voi olla enintään:

$$T_{ds_piennar} = R_{ds_piennar} \cdot \frac{1}{\gamma_s} = 24.99 \frac{kN}{m} \cdot \frac{1}{1.1} = 22.72 \frac{kN}{m}$$

Luiskan osuudelle mobilisoituva lujitevoima:

$$T_{ds_lui} = T_{ds} - T_{ds_piennar}$$

Yhtälö 6.10a:

$$T_{ds_lui_a2} = 23.2 \frac{kN}{m} - 22.72 \frac{kN}{m} = 0.48 \frac{kN}{m}$$

$$L_{e_a2} = \frac{T_{ds_lui_a2} \cdot \gamma_s}{h_s \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_{penger} \cdot \tan(\phi_{c1})}$$

$$= \frac{0.48 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{1.25m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ)} = 0.04m$$

Leveys_{2_a} = "OK"

Yhtälö 6.10b:

$$T_{ds_lui_b2} = 95 \frac{kN}{m} - 22.72 \frac{kN}{m} = 72.28 \frac{kN}{m}$$

$$L_{e_b2} = \frac{T_{ds_lui_b2} \cdot \gamma_s}{h_s \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_{penger} \cdot \tan(\phi_{c1})}$$

$$= \frac{72.28 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{1.25m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ)} = 6.36m$$

Leveys_{2_b} = "OK"

Valitaan suurempi lasketuista lujitevoimista maanpaineen aiheuttamaksi lujitevoimaksi:

Kuorma	6.10a	6.10b
9 kPa	$T_{ds_a1} = 23.2 \frac{kN}{m}$	$T_{ds_b1} = 28.1 \frac{kN}{m}$
81 kPa	$T_{ds_a2} = 23.2 \frac{kN}{m}$	$T_{ds_b2} = 95 \frac{kN}{m}$
=>	$T_{ds_a} = 23.2 \frac{kN}{m}$	$T_{ds_b} = 95 \frac{kN}{m}$

3. Pohjamaan puristuminen sivulle, DA2*

Pohjamaan stabiiliiteetin takaamiseksi tulee pohjamaassa vaikuttavien voimien täyttää ehto:

$$R_{ha} \leq \frac{R_{hp} + R_s + R_R}{\gamma_s}$$

missä

R_{ha} on penkereen kuormituksen aiheuttama vaakavoima

R_{hp} on passivisen maanpaineen aikaansaama vaakavoima

R_s on syvyydellä z_D vaikuttava pohjamaan leikkauskestävyys

R_R on lujitteen ja pohjamaan rajapinnan leikkauskestävyys luiskan alla

Lujitteen alapinnan ja liukupinnan välisen savikerroksen ominaisuudet (painotetut keskiarvot). Kuivakuori ja pehmeä savikerros oletetaan yhdeksi homogeeniseksi savikerrokseksi:

Syvyys z_D on enintään 1,5 x penkereen korkeus: Alemman savikerroksen osuus syvyydestä z_D :

$$z_D = 1.5 H_p = 3.75 m$$

$$z'_3 = z_D - z_2 = 2.75 m$$

$$\gamma_{mono} = \frac{z_2 \cdot \gamma_2 + z'_3 \cdot \gamma_3}{z_D} = 16.53 \frac{kN}{m^3}$$

$$c_{u_mono} = \frac{z_2 \cdot c_{u2} + z'_3 \cdot c_{u3}}{z_D} = 14.13 kPa$$

Kuorma:

Yhtälö 6.10a:

$$R_{ha_a} = z_D \left[q_{Qpp} \cdot \gamma_{Q_a} - \gamma_{G.e_a} (2 \cdot c_{u_mono} + \xi \cdot z_D) + H_p \cdot \gamma_{peng} \cdot \gamma_{G_a} + \frac{\gamma_{mono} \cdot \gamma_{G_a} \cdot z_D}{2} \right]$$

$$R_{ha_a} = 3.75 m \left[31 kPa \cdot 0 - 0.9 \left(2 \cdot 14.13 \frac{kN}{m^2} + 0.3.75 m \right) + 2.5 m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.35 + \frac{16.53 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.35 \cdot 3.75 m}{2} \right]$$

$$R_{ha_a} = 314.66 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b:

$$R_{ha_b} = z_D \left[q_{Qpp} \cdot \gamma_{Q_b} - \gamma_{G.e_b} (2 \cdot c_{u_mono} + \xi \cdot z_D) + H_p \cdot \gamma_{peng} \cdot \gamma_{G_b} + \frac{\gamma_{mono} \cdot \gamma_{G_b} \cdot z_D}{2} \right]$$

$$R_{ha_b} = 3.75 m \left[31 kPa \cdot 1.35 - 0.9 \left(2 \cdot 14.13 \frac{kN}{m^2} + 0.3.75 m \right) + 2.5 m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.15 + \frac{16.53 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.15 \cdot 3.75 m}{2} \right]$$

$$R_{ha_b} = 410.85 \frac{kN}{m}$$

Kestävyys:

$$R_{hp} = \left[(2c_{u_mono} + \xi \cdot z_D) + \frac{\gamma_{mono} \cdot z_D}{2} \right] \cdot z_D = \left(2 \cdot 14.13 \frac{kN}{m^2} + 0.3.75 m + \frac{16.53 \frac{kN}{m^3} \cdot 3.75 m}{2} \right) \cdot 3.75 m$$

$$R_{hp} = 222.25 \frac{kN}{m}$$

$$R_R = \alpha_2 \cdot c_{u2} \cdot L_e$$

$$R_s = (c_{u3} + \xi \cdot z_D) \cdot L_e$$

3.1 Lujitteen tartuntapituus

Sijoittamalla pohjamaassa vaikuttavat voimat ja kestävyudet ehtolausekkeeseen, voidaan laskea tarvittava tartuntapituus. Tartuntapituuden tulee täyttää reunaehto:

$$L_s \geq L_e \quad \text{missä luiskan leveys} \quad L_s = 10 m$$

Yhtälö 6.10a:

$$L_{e_a3} = - \frac{R_{hp} - R_{ha_a} \cdot \gamma_s}{c_{u3} + c_{u2} \cdot \alpha_2 + \xi \cdot z_D} = - \frac{222 \frac{kN}{m} - 314 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{12 kPa + 20 kPa \cdot 0.8 + 0.3.75 m}$$

$$L_{e_a3} = 4.42 m$$

$$\text{Leveys}_{3_a} = \text{"OK"}$$

Yhtälö 6.10b:

$$L_{e_b3} = - \frac{R_{hp} - R_{ha_b} \cdot \gamma_s}{c_{u3} + c_{u2} \cdot \alpha_2 + \xi \cdot z_D} = - \frac{222 \frac{kN}{m} - 410 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{12 kPa + 20 kPa \cdot 0.8 + 0.3.75 m}$$

$$L_{e_b3} = 8.2 m$$

$$\text{Leveys}_{3_b} = \text{"OK"}$$

3.2 Lujitteeseen kehittyvä vetovoima

Yhtälö 6.10a:

$$T_{rf_a} = \alpha_2 \cdot c_{u2} \cdot L_{e_a3}$$

$$= 0.820 \frac{kN}{m^2} \cdot 4.42m = 70.72 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{rf_b} = \alpha_2 \cdot c_{u2} \cdot L_{e_b3}$$

$$= 0.820 \frac{kN}{m^2} \cdot 8.2m = 131.2 \frac{kN}{m}$$

4. Lujitetun penkereen painumasta aiheutuva lisävoima SLS:

Lujittamattoman penkereen maksimipainuma

$$S_{max} = 0.712m$$

Lujitetun penkereen painuma

$$S_v = 1 \cdot S_{max} = 0.712m$$

Lujitteen pituudenmuutos

$$\Delta l = \sqrt{S_v^2 + n^2 \cdot H_p^2} - n \cdot H_p = \sqrt{(0.712m)^2 + 4^2 \cdot (2.5m)^2} - 4 \cdot 2.5m = 25.32mm$$

Pituudenmuutosta vastaava venymä

$$\varepsilon_d = \frac{2}{B - n \cdot H_p} \cdot \Delta l = \frac{2}{30m - 4 \cdot 2.5m} \cdot 25.32mm = 0.25\%$$

Epätasaisesta painumasta johtuva lisävoima

$$T_{rs} = \varepsilon_d \cdot J_v = 0.25\% \cdot 1000 \frac{kN}{m} = 2.5 \frac{kN}{m}$$

5. Stabiiliteettitarkastelu DA3 (GeoCalc)

Rakenteellinen mitoituslujuus:

$$T_{ro} = 30 \frac{kN}{m}$$

Luiskan pituus:

$$L_{ro} = 10m$$

6. Vetovoima lujitteessa murtorajatilassa DA 2*

Mitoitava lujitevoima T_{da} on joko kokonaisstabiiliteettitarkastelusta saatu mitoituslujuus tai liukumisesta ja pohjamaan puristumisesta saatujen mitoituslujuuksien summa sen mukaan, kumpi on suurempi:

Stabiiliteetti: $T_{ro} = 30 \frac{kN}{m}$

Liukuminen + pohjamaan puristuminen:

Yhtälö 6.10a:

$$T_{ds_a} + T_{rf_a}$$

$$= 23.2 \frac{kN}{m} + 70.72 \frac{kN}{m} = 94 \frac{kN}{m}$$

Liukuminen + pohjamaan puristuminen on suurempi =>

$$T_{d_a} = T_{ds_a} + T_{rf_a} = 94 \frac{kN}{m}$$

$$\Rightarrow T_d = T_{d_b} = 226 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{ds_b} + T_{rf_b}$$

$$= 95 \frac{kN}{m} + 131.2 \frac{kN}{m} = 226 \frac{kN}{m}$$

$$T_{d_b} = T_{ds_b} + T_{rf_b} = 226 \frac{kN}{m}$$

Epätasaisesta painumasta johtuvan lisävoiman huomioiminen:

Tavallisesti epätasaisesta painumasta johtuvaa lisävoimaa ja tilapäistä kuormitusta ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti kuormitusyhdistelmissä. Lujitteen mitoituslujuuden tulee kuitenkin täyttää seuraavat ehdot:

$$f_d \geq T_d + T_{rs} \quad \text{kun} \quad T_{rs} \geq T_d$$

$$f_d \geq T_d \quad \text{kun} \quad T_{rs} < T_d$$

$$T_{rs} = 2.53 \frac{kN}{m} < T_d = 226.2 \frac{kN}{m}$$

$$\Rightarrow f_d = 226 \frac{kN}{m}$$

7. Laskennan yhteenveto:

1. Lähtötiedot

Penkereen korkeus:	$H_p = 2.5 \text{ m}$
Kriittisen tilan leikkauskestävyyskulma:	$\phi_{cI} = 32^\circ$
Kuivakuorikerroksen suljettu leikkauslujuus:	$c_{u2} = 20 \text{ kPa}$
Saven suljettu leikkauslujuus:	$c_{u3} = 12 \text{ kPa}$
Luiskan leveys:	$L_s = 10 \text{ m}$
Muuttuvat kuormat:	$q_p = 9 \text{ kPa}$ $q_I = 81 \text{ kPa}$
Liikennekuorma LM1 penkereen pohjalla:	$q_{Qpp} = 31 \text{ kPa}$

2. Lujitevoimat ja tartuntapituudet DA2*:

Luiskan leveys:

$$L_s = 10 \text{ m}$$

	Muuttuva kuorma [kN/m]	Lujitevoima T_d [kN/m]		Tartuntapituus L_e [m]		Lujitepituuden riittävyys
		Yhtälö 6.10a	Yhtälö 6.10b	Yhtälö 6.10a	Yhtälö 6.10b	
Vaakasوران maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima	9	23,2	28,1	2,04	2,48	OK
	81	23,2	95,0	0,04	6,36	OK
Pohjamaasta aiheutuva lujitevoima	31	70,8	131,2	4,42	8,20	OK
Vetovoima lujitteessa murtorajatilassa		94,0	226,2			
Epätasaisesta painumasta aiheutuva lisävoima		2,5				

3. Stabiilitteettitarkastelu DA3 (GeoCalc):

Rakenteellinen mitoituslujuus:	$T_{ro} = 30 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Lujitteen pituus luisassa GeoCalc-laskelmassa:	$L_{ro} = 10 \text{ m}$
4. Mitoituksen lopputulos:	
Lujitteen mitoituslujuus on vähintään	$f_d = 226 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Lujitteen ankkuripituus luisassa	$L_s = 10 \text{ m}$

8. Lujitteen valinta

8.1 Pitkäaikaisen ja lyhytaikaisen mitoituslujuuden määrittäminen

Maanvaraisessa lujitetussa penkereessä ja tien geolujitetussa levennyksessä lujitevoimaa optimoitaessa voidaan liikennekuorman aiheuttama lujitevoima olettaa lyhytaikaiseksi ja penkereen (ja muiden pysyvien kuormien) aiheuttama lujitevoima pitkäaikaiseksi.

Pitkäaikaisen mitoituslujuuden arvo saadaan yhtälön 6.10a perusteella:

$$f_{d_pit} = 94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lyhytaikainen mitoituslujuus (pelkän liikennekuorman vaikutus) saadaan korjaamalla yhtälön 6.10a lopputulosta pysyvän kuorman osavarmuuskertoimien (6.10b/6.10a) suhteella:

$$f_{d_lyh} = T_{d_b} - \frac{1.15}{1.35} \cdot T_{d_a} = 226 \frac{\text{kN}}{\text{m}} - \frac{1.15}{1.35} \cdot 94 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 146 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

8.2 Ominaislujuuden määrittäminen

Esimerkkitapauksessa on saatavilla vain lyhyen ajan vetokokeen tuloksia.

Pitkäaikainen kuorma

Lujitteeksi valittavan materiaalin mitoituslujuuden on oltava vähintään Mitoitusikä on 100 vuotta.

$$f_{d_pit} = 94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Materiaali on polyesteriä => materiaalikerroin taulukosta 4.1:

$$RF_{CR_pit} = 2.5$$

Materiaaliominaisuuksien hajonnan ja ekstrapoloinnin varmuusluku taulukosta 4.6:

$$\eta_{s_pit} = 1.4$$

Penger materiaali on hiekkaa => rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin taulukosta 4.2:

$$RF_{ID} = 1.2$$

Lujitetta ympäröivän maan pH = 7 => ympäristötekijöiden materiaalikerroin taulukosta 4.5:

$$RF_{CH_pit} = 1.2$$

$$f_{m_pit} = f_{d_pit} \cdot RF_{CR_pit} \cdot RF_{ID} \cdot RF_{CH_pit} \cdot \eta_{s_pit} = 94 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2.5 \cdot 1.2 \cdot 1.2 \cdot 1.4 = 474 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lyhytaikainen kuorma

Liikennekuorman vaikutus on lyhytaikainen, joten oletetaan kuorman vaikutusajaksi (mitoitus aika) 1 vuosi.

Lujitteeksi valittavan materiaalin mitoituslujuuden on oltava vähintään

$$f_{d_lyh} = 146 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Materiaali on polyesteriä => materiaalikerroin taulukosta 4.1:

$$RF_{CR_lyh} = 2.33$$

Materiaaliominaisuuksien hajonnan ja ekstrapoloinnin varmuusluku taulukosta 4.6:

$$\eta_{s_lyh} = 1.2$$

$$\varepsilon_{sall.virumaa} \leq 2\%$$

Pengermateriaali on hiekkaa => rakennusaikaisen vaurioitumisen materiaalikerroin taulukosta 4.2:

$$RF_{ID} = 1.2$$

Lujitetta ympäröivän maan pH = 7 => ympäristötekijöiden materiaalikerroin taulukosta 4.5:

$$RF_{CH_lyh} = 1.0$$

$$f_{m_lyh} = f_{d_lyh} \cdot RF_{CR_lyh} \cdot RF_{ID} \cdot RF_{CH_lyh} \cdot \eta_{s_lyh} = 146 \frac{kN}{m} \cdot 2.331 \cdot 21.01 \cdot 2 = 490 \frac{kN}{m}$$

$$f_m = f_{m_pit} + f_{m_lyh} = 474 \frac{kN}{m} + 490 \frac{kN}{m} = 964 \frac{kN}{m}$$

Lujitteen vetolujuuden on siis oltava vähintään 964 kN/m. Lisäksi on vielä tarkistettava täyttääkö saatu lujuussuhde mitoitusiän venymäkriteerin:

$$\frac{(f_{d_pit} + f_{d_lyh}) \cdot RF_{ID} \cdot RF_{CH_pi}}{f_m} = \frac{\left(94 \frac{kN}{m} + 146 \frac{kN}{m}\right) \cdot 1.21.2}{964 \frac{kN}{m}} = 36\%$$

Tarkistus tehdään valittua lujitetyyppiä vastaavalla aika-venymä -kuvaajalla (vrt. kuva 4.9 ja Liite 2 a). Lujitteen venymä mitoitusajalla ei saa ylittää viittä prosenttia. Jos lujitetyyppi ei täytä vaadittuja ehtoja, on valittava lujempi lujite.

Lujitteen venymä on 4,7 % < 5 % => OK!

9. Ominaisuuksien määrittely työselostusta varten

Lujitteen ominaisuudet

Lujitteen muodonmuutosmoduli: $J_v = 1000 \frac{kN}{m}$

Lujitteen mitoituslujuus: $f_d = 226 \frac{kN}{m}$

Lujitteen ankkurointipituus: $L_s = 10m$

Lujitteen sallittu kokonaisvenymä, $\varepsilon_{sall} \leq 5\%$
josta virumaa saa olla

Mitoituksessa käytetyt maaparametrit

Mikäli jokin ympäristöominaisuuksista muuttuu myöhemmin suunnittelun tai rakentamisen

Maalaji	Tilavuus-paino γ kN/m ³	Tehokas tilavuuspaino γ' kN/m ³	Leikkauskestävyyskulma ϕ' kN/m ³	Suljettu leikkauslujuus* c_u kN/m ²
Penger	20		32	
Kuivakuorisavi	18		-	20
Savi	16	6	-	12

*redusoitu

yhteydessä, tulee lujitteen ominaislujuus ja lujitetyyppi (laskennan kohta 8) määrittää uudelleen.

Rajapintojen korjauskertoimet

Ulosvetovastuksen korjauskerroin:

- pengermateriaali/lujite $\alpha_b = 0.8$

- pohjamaa/lujite $\alpha_b = 0.8$

Maamateriaalin ja lujitteen välisen koheesion liukuvastuksen korjauskerroin:

- pengermateriaali/lujite $\alpha_c = 0.8$

- pohjamaa/lujite $\alpha_c = 0.8$

Maamateriaalin ja lujitteen välisen leikkauskestävyyskulman liukuvastuksen korjauskerroin:

- pengermateriaali/lujite $\alpha_{ds} = 0.8$

- pohjamaa/lujite $\alpha_{ds} = 0.8$

Kokonaisvarmuusluku sortumaa vastaan

$F \geq 1,0$ käytettäessä Eurokoodin mitoistavan DA3 osavarmuuskertoimia

$F \geq 1,8$ käytettäessä kuormien ja parametrien ominaisarvoja

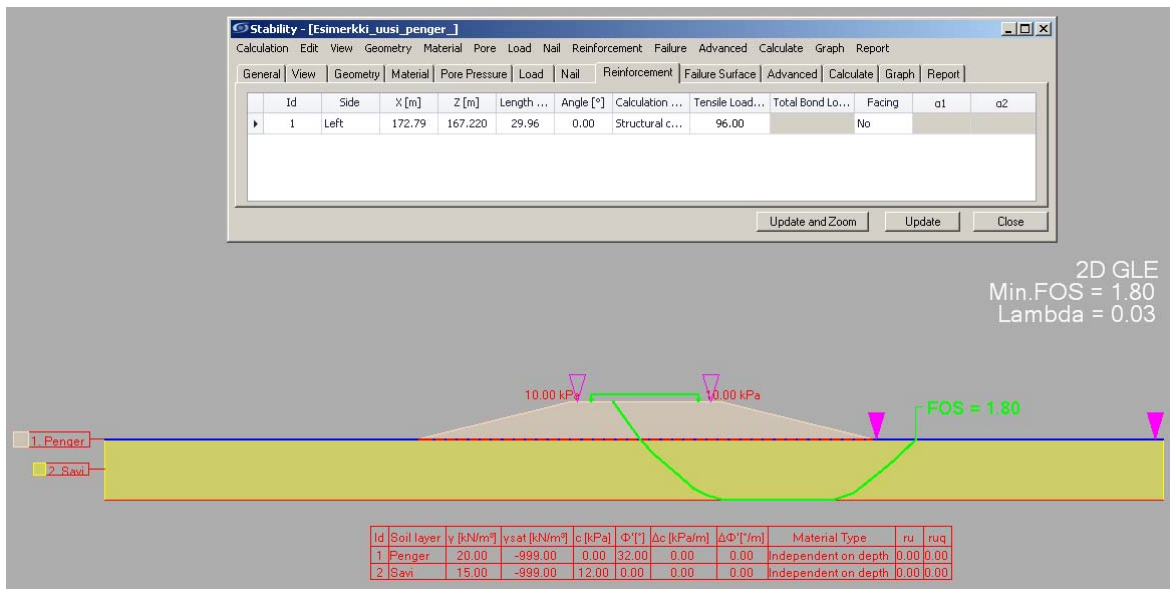
Lujitteen ympäristöominaisuudet

Lujitemateriaali: polyesteri
Pengermateriaali: hiekka
Maapohjan pH: välillä 4,0..8,0
Suunnitteluikä: 100 vuotta

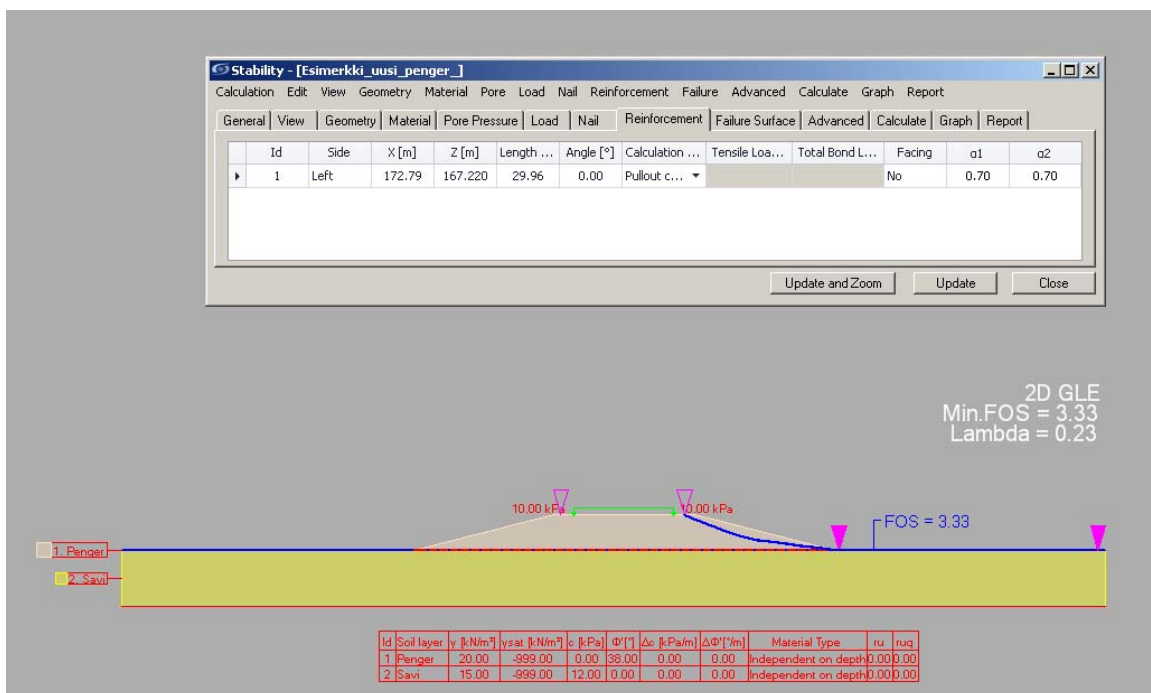
UV-kuormituksen vaikutusajaksi on mitoituslujuutta määritettäessä oletettu enintään 24 h.

Liite 4-A

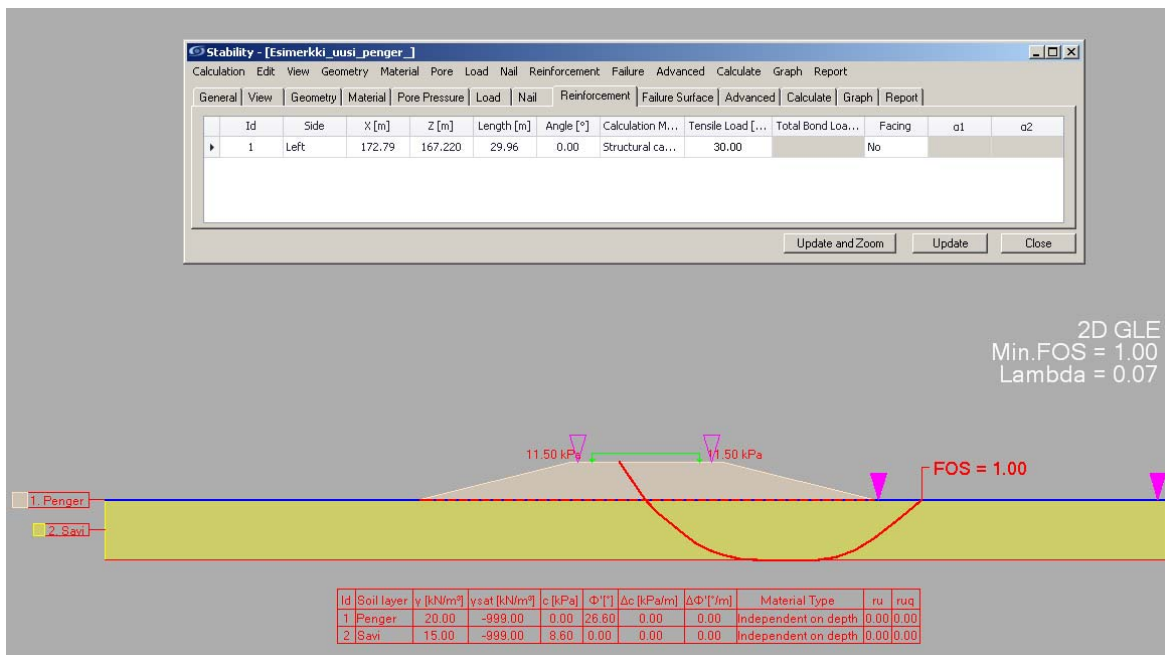
Geolujitettu maanvarainen pengerrys, kokonaisstabiilitetti



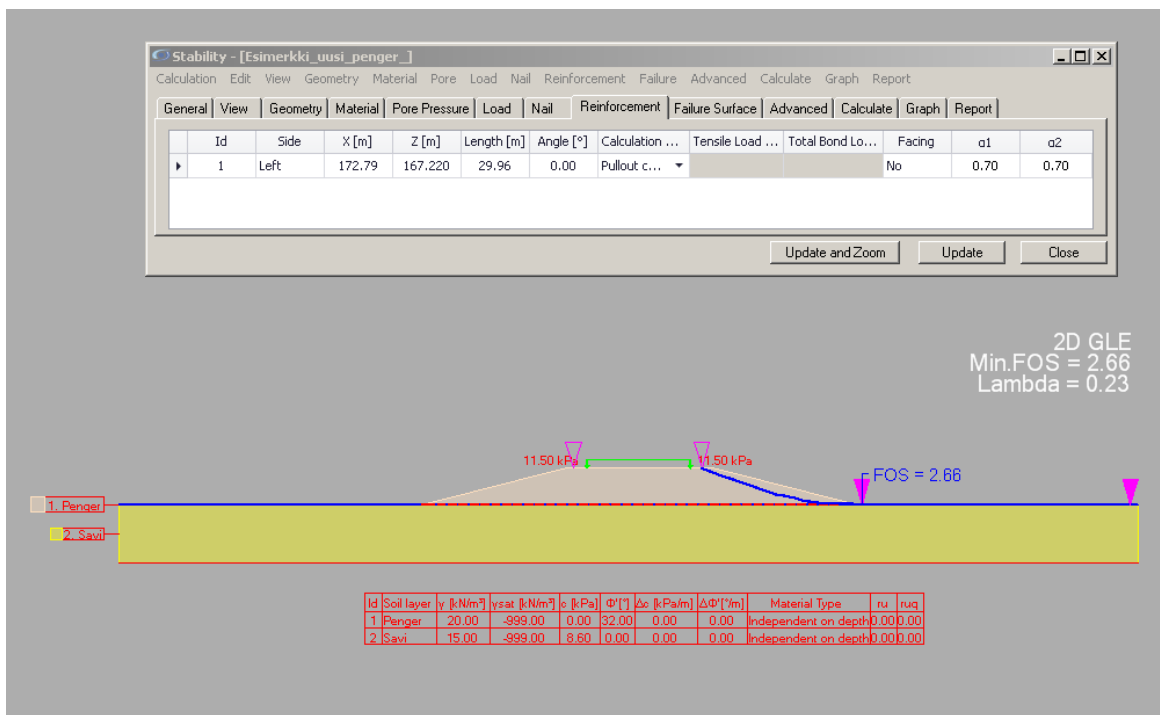
Kuva 1. Ominaisarvolaskenta, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



Kuva 2. Ominaisarvolaskenta, lujitteen ankkurointikapasiteetti (GLE)

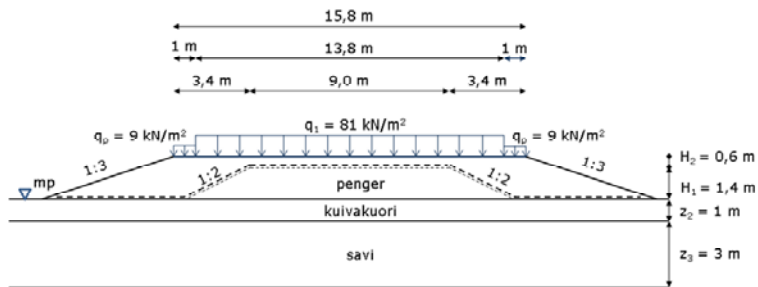


Kuva 3. DA3, Murtorajatila, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



Kuva 4. DA3, Murtorajatila, lujitteen ankkurointikapasiteetti (GLE)

LIITE 5 - Geolujitettu leveä tien levennys pehmeiköllä, esimerkkilaskelma



Pohjavesi on syväällä

1. Esimerkkirakenteen lähtötiedot

1.1 Geometria ja maaparametrit

Vanhan penkereen korkeus:		$H_1 = 1.4 \text{ m}$
Penkereen korotus:		$H_2 = 0.6 \text{ m}$
Penkereen korkeus:	$H_p = H_1 + H_2$	$H_p = 2 \text{ m}$
Vanhan penkereen harjan leveys:		$L_1 = 9 \text{ m}$
Penkereen levennys kummallekin sivulle:		$L_2 = 3.4 \text{ m}$
Penkereen harjan leveys:	$L_{penger} = L_1 + 2 \cdot L_2$	$L_{penger} = 15.8 \text{ m}$
Luiskakaltevuus 1:n => luiskakaltevuuden suhdeluku:		$n = 3$
Vanhan penkereen luiskakaltevuuden suhdeluku:		$n_1 = 2$
Luiskan leveys:	$L_s = n \cdot H_p$	$L_s = 6 \text{ m}$
Luiskan keskimääräinen korkeus:	$h_s = \frac{H_p}{2}$	$h_s = 1 \text{ m}$
Penkereen leveys:	$B = L_{penger} + 2 \cdot L_s$	$B = 27.8 \text{ m}$
Pientareen leveys:		$L_{piennar} = 1.0 \text{ m}$

Taulukko 1. Penkereen ja pohjamaan parametreja

Kerros nro	Maalaji	Kerros-paksuus	Tilavuus-paino	Leikkaus-kestävyyss-kulma	Suljettu leikkauslujuus *
<i>i</i>		Z_i	γ_i	ϕ_{ci}	c_{ui}
		m	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²
1	Vanha penger		21	36	-
2	Uusi penger		20	32	-
3	Kuivakuorisavi	1	18	-	20
4	Savi	3	16	-	13

*redusoitu

Savikerroksen leikkauslujuuden kasvu syvyyden kasvaessa:	$\xi = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Kuivakuorikerroksen vesipitoisuus:	$w_3 = 37 \%$
Savikerroksen vesipitoisuus:	$w_4 = 60 \%$
1.2 Eurokoodin soveltamisohjeen NCCI 7:n LM1 mukaiset liikennekuormat	
Muuttuva kuorma (ajokaistalla):	$q_1 = 81 \text{ kPa}$
Muuttuva kuorma (pientareella):	$q_p = 9 \text{ kPa}$
Liikennekuorma LM1 penkereen pohjalla (ohjeen kuvasta 3.5):	$q_{Qpp} = 35 \text{ kPa}$

1.3 Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut (STR/GEO), mitoitustapa DA2(*), NCCI 7, taulukko A.3a(FI)

<u>Epäedulliset kuormat:</u>	Yhtälö 6.10a:	Yhtälö 6.10b:
Pysyvä kuorma:	$\gamma_{G,a} = 1.35$	$\gamma_{G,b} = 1.15$
Määräävä muuttuva kuorma (tieliikennekuorma):	$\gamma_{Q,a} = 0$	$\gamma_{Q,b} = 1.35$
<u>Edulliset kuormat:</u>	Yhtälö 6.10a:	Yhtälö 6.10b:
Pysyvä kuorma:	$\gamma_{G,e,a} = 0.9$	$\gamma_{G,e,b} = 0.9$

1.4 Maaparametrien osavarmuusluvut
(STR/GEO), NCCI 7, taulukko A.4 (F1)

	Sarja M1 (DA2*)	Sarja M2 (DA3)
Leikkauskestävyyskulma:	$\gamma_{\phi'_1} = 1.0$	$\gamma_{\phi'_2} = 1.25$
Suljettu leikkauslujuus:	$\gamma_{cu_1} = 1.0$	$\gamma_{cu_2} = 1.4$
Tilavuuspaino:	$\gamma_{\gamma_1} = 1.0$	$\gamma_{\gamma_2} = 1.0$

1.5 Geolujitteen ominaisuudet ja osavarmuusluvut (NCCI 7)

Pengermateriaalin ja lujitteen välisen liukumisvastuksen korjauskerroin:	$\alpha_2 = 0.8$
Pohjamaan ja lujitteen välisen liukumisvastuksen korjauskerroin:	$\alpha_3 = 0.8$
Lujitteen muodonmuutosmoduli	$J_v = 1000 \frac{kN}{m}$

(Määritetään lujitteen muodonmuutoskuvaajasta mitoitukselta saatavan lujitevoiman perusteella rakenteen mitoitusikää vastaavalta venymä-lujitevoima-kuvaajalta)

Lujitteen materiaalikerroin: $\gamma_{re} = 1.0$

Lujitteen ominaislujuus määritetään mitoituslujuudesta käsikirjan kohdan 4.9 mukaisesti.

Liukuminen lujitteen pintaa pitkin: $\gamma_s = 1.1$

Lujitteen ulosvetovastus (ankkuroituminen): $\gamma_p = 1.1$

1.6 Mitoitusikä:

Tiepenkereen mitoitusikä normaalin pohjarakenteen tapauksessa on 100 v.

1.7 Aktiivimaanpaine kerroin (NCCI7, liite2, kuva C.1.1)

Uusi pengeri: $K_{a2} = 0.28$

Aktiivimaanpaine kerroin voidaan myös määrittää Coulombin kaavalla, kuten Liitteen 4 esimerkkilaskelman "Geolujitettu maanvarainen pengeri" kohdassa 1.8.2 on tehty.

2. Vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima (T_{ds}), STR/GEO DA2*

Lujitteen ja pengermateriaalin välisen leikkauskestävyyden tulee täyttää ehto:

$$T_{ds1} \leq \frac{R_{ds1}}{\gamma_s}$$

Tartuntapituuden tulee täyttää reunaehto:

$$L_s \geq L_e \quad \text{missä luisan leveys} \quad L_s = 6m$$

2.1 Kuorma 9 kN/m² luiskan reunalla

2.1.1 Lujitteeseen maanpaine kuorman vaikutuksesta mobilisoituva voima

Yhtälö 6.10a:

$$T_{ds_a1} = H_p \cdot K_{a2} \cdot (q_p \cdot \gamma \cdot Q_{-a} + 0.5 \cdot H_p \cdot \gamma \cdot 2 \cdot \gamma \cdot G_{-a})$$

$$= 2m \cdot 0.28 \left(9kPa \cdot 0 + 0.5 \cdot 2m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.35 \right) = 15.12 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{ds_b1} = H_p \cdot K_{a2} \cdot (q_p \cdot \gamma \cdot Q_{-b} + 0.5 \cdot H_p \cdot \gamma \cdot 2 \cdot \gamma \cdot G_{-b})$$

$$= 2m \cdot 0.28 \left(9kPa \cdot 1.35 + 0.5 \cdot 2m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.15 \right) = 19.68 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10a:

$$L_{e_a1} = \frac{T_{ds_a1} \cdot \gamma_s}{h_s \cdot \alpha_2 \cdot \gamma \cdot 2 \cdot \tan(\phi_{c2})}$$

$$= \frac{15.12 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{1m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ)} = 1.66m$$

Leveys_{a1} = "OK"

Yhtälö 6.10b:

$$L_{e_b1} = \frac{T_{ds_b1} \cdot \gamma_s}{h_s \cdot \alpha_2 \cdot \gamma \cdot 2 \cdot \tan(\phi_{c2})}$$

$$= \frac{19.68 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{1m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ)} = 2.17m$$

Leveys_{b1} = "OK"

2.2 Kuorma 81 kN/m² pientareen leveyden etäisyydellä luiskan reunasta

Johtuen siitä, että kuorma sijaitsee pientareen leveyden (1 m) etäisyydellä luiskan reunasta, on lujitteen tarkastelupituus tässä tapauksessa 11 m (10 m luiska + 1 m piennari).

2.2.1 Lujitteeseen maanpaine kuorman vaikutuksesta mobilisoituva voima

Yhtälö 6.10a:

$$T_{ds_a2} = H_p \cdot K_{a2} \cdot (q_1 \cdot \gamma \cdot Q_{-a} + 0.5 \cdot H_p \cdot \gamma \cdot 2 \cdot \gamma \cdot G_{-a})$$

$$= 2m \cdot 0.28 \left(81kPa \cdot 0 + 0.5 \cdot 2m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.35 \right) = 15.12 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{ds_b2} = H_p \cdot K_{a2} \cdot (q_1 \cdot \gamma \cdot Q_{-b} + 0.5 \cdot H_p \cdot \gamma \cdot 2 \cdot \gamma \cdot G_{-b})$$

$$= 2m \cdot 0.28 \left(81kPa \cdot 1.35 + 0.5 \cdot 2m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.15 \right) = 74.12 \frac{kN}{m}$$

2.2.2. Lujitteen pienin tartuntapitoisuus ja reunaehdon täytyminen, kun $L_s = 6m$

Lujitteen kestävyys pientareen osuudella:

$$R_{ds_piennar} = H_p \cdot L_{piennar} \cdot \alpha_2 \cdot \gamma_2 \cdot \tan(\phi_{c2}) = 2m \cdot 1m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ) = 20 \frac{kN}{m}$$

Lujitevoima pientareen osuudella voi olla enintään:

$$T_{ds_piennar} = \frac{R_{ds_piennar}}{\gamma_s} = \frac{20 \frac{kN}{m}}{1.1} = 18.18 \frac{kN}{m}$$

Luiskan osuudele mobilisoituvaa lujitevoimaa:

$$T_{ds_lui} = T_{ds} - T_{ds_piennar}$$

Yhtälö 6.10a:

$$T_{ds_lui_a2} = 15.12 \frac{kN}{m} - 18.18 \frac{kN}{m} = -3.06 \frac{kN}{m}$$

$$L_{e_a2} = \frac{T_{ds_lui_a2} \cdot \gamma_s}{h_s \cdot \alpha_2 \cdot \gamma_2 \cdot \tan(\phi_{c2})} = \frac{\left(-3.06 \frac{kN}{m}\right) \cdot 1.1}{1m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ)} = -0.34m$$

$$\Rightarrow L_{e_a2} = 0m$$

Leveys z_a = "OK"

Yhtälö 6.10b:

$$T_{ds_lui_b2} = 74.12 \frac{kN}{m} - 18.18 \frac{kN}{m} = 55.94 \frac{kN}{m}$$

$$L_{e_b2} = \frac{T_{ds_lui_b2} \cdot \gamma_s}{h_s \cdot \alpha_2 \cdot \gamma_2 \cdot \tan(\phi_{c2})} = \frac{55.94 \frac{kN}{m} \cdot 1.1}{1m \cdot 0.820 \frac{kN}{m^3} \cdot \tan(32^\circ)} = 6.15m$$

Leveys z_b = "EI RIITÄ"

\Rightarrow Lujitteen häntä on ankkuroitava "mutkalle" penkereeseen riittävän tartuntapitoisuuden saavuttamiseksi.

Valitaan suurempi lasketuista lujitevoimista maanpaineen aiheuttamaksi lujitevoimaksi:

Kuorma 6.10a

9 kPa $T_{ds_a1} = 15.12 \frac{kN}{m}$

81 kPa $T_{ds_a2} = 15.12 \frac{kN}{m}$

$\Rightarrow T_{ds_a} = 15.12 \frac{kN}{m}$

6.10b

$T_{ds_b1} = 19.68 \frac{kN}{m}$

$T_{ds_b2} = 74.12 \frac{kN}{m}$

$T_{ds_b} = 74.12 \frac{kN}{m}$

3. Pohjamaan puristuminen sivulle, DA2*:

Pohjamaan stabiileetin takaamiseksi tulee pohjamaassa vaikuttavien voimien täyttää ehto:

$$R_{ha} \leq \frac{R_{hp} + R_s + R_R}{\gamma_s}$$

Syvyys z_D on enintään 1,5 x penkereen korkeus: Alemman savikerroksen osuus syvyydestä z_D :

$$z_D = 1.5H_p = 3m$$

$$z'_3 = z_D - z_2 = 2m$$

Lujitteen alapinnan ja liukupinnan välisen savikerroksen ominaisuudet (painotetut keskiarvot). Kuivakuori ja pehmeä savikerros oletetaan yhdeksi homogeeniseksi savikerrokseksi:

$$\gamma_{mono} = \frac{z_2 \cdot \gamma_3 + z'_3 \cdot \gamma_4}{z_D} = \frac{16.67 \frac{kN}{m^3}}{3m}$$

$$c_{u_mono} = \frac{z_2 \cdot c_{u3} + z'_3 \cdot c_{u4}}{z_D} = 15.33kPa$$

Kuorma:

Yhtälö 6.10a:

$$R_{ha_a} = z_D \left[q_{Qpp} \cdot \gamma_{Q_a} - \gamma_{G.e_a} \cdot (2 \cdot c_{u_mono} + \xi \cdot z_D) + H_p \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_{G_a} + \frac{\gamma_{mono} \cdot \gamma_{G_a} \cdot z_D}{2} \right]$$

$$= 3m \left[35kPa \cdot 0 - 0.9(2 \cdot 15.33kPa + 0.3m) + 2m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.35 + \frac{1}{2} \cdot 16.67 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.353m \right] = 180.49 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b:

$$R_{ha_b} = z_D \left[q_{Qpp} \cdot \gamma_{Q_b} - \gamma_{G.e_b} \cdot (2 \cdot c_{u_mono} + \xi \cdot z_D) + H_p \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_{G_b} + \frac{\gamma_{mono} \cdot \gamma_{G_b} \cdot z_D}{2} \right]$$

$$= 3m \left[35kPa \cdot 1.35 - 0.9(2 \cdot 15.33kPa + 0.3m) + 2m \cdot 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.15 + \frac{1}{2} \cdot 16.67 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.153m \right] = 283.24 \frac{kN}{m}$$

Kestävyys:

$$R_{hp} = \left[(2c_{u_mono} + \xi \cdot z_D) + \frac{\gamma_{mono} \cdot z_D}{2} \right] \cdot z_D = \left(2 \cdot 15.3 \text{ kPa} + 0.3 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot 16.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 3 \text{ m} \right) \cdot 3 \text{ m} = 167 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$R_R = \alpha_3 \cdot c_{u3} \cdot L_e$$

$$R_S = (c_{u4} + \xi \cdot z_D) \cdot L_e$$

3.1 Lujitteen tartuntapituus

Tartuntapituuden tulee täyttää reunaehto:

$L_{se} \geq L_e$ missä L_{se} on vahvisteen sen osan pituus, joka on pohjamaan pinnalla:

$$L_{se} = L_s + (L_2 - n_1 \cdot H_1) = 6.6 \text{ m}$$

Yhtälö 6.10a:

$$L_{e_a3} = -\frac{R_{hp} - R_{ha_a} \cdot \gamma_s}{c_{u4} + c_{u3} \cdot \alpha_3 + \xi \cdot z_D}$$

$$= -\frac{167 \frac{\text{kN}}{\text{m}} - 180.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.1}{13 \text{ kPa} + 20 \text{ kPa} \cdot 0.8 + 0.3 \text{ m}} = 1.09 \text{ m}$$

Leveys_{3_a} = "OK"

Yhtälö 6.10b:

$$L_{e_b3} = -\frac{R_{hp} - R_{ha_b} \cdot \gamma_s}{c_{u4} + c_{u3} \cdot \alpha_3 + \xi \cdot z_D}$$

$$= -\frac{167 \frac{\text{kN}}{\text{m}} - 283.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.1}{13 \text{ kPa} + 20 \text{ kPa} \cdot 0.8 + 0.3 \text{ m}} = 4.98 \text{ m}$$

Leveys_{3_b} = "OK"

3.2 Lujitteeseen kehittyvä vetovoima

Yhtälö 6.10a:

$$T_{rf_a} = \alpha_3 \cdot c_{u3} \cdot L_{e_a3}$$

$$= 0.820 \text{ kPa} \cdot 1.09 \text{ m} = 17.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{rf_b} = \alpha_3 \cdot c_{u3} \cdot L_{e_b3}$$

$$= 0.820 \text{ kPa} \cdot 4.98 \text{ m} = 79.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4. Vahvistetun penkereen painumasta aiheutuva lisävoima SLS

Esimerkissä käytetyn penkereen maksimipainuman laskenta on esitetty "Synteettiset geovahvistet" -ohjeen (Aalto et al. 1998) liitteessä 5.

Vahvistamattoman penkereen maksimipainuma $S_{max} = 0.712 \text{ m}$

Vahvistetun penkereen painuma $S_v = 1 \cdot S_{max} = 0.712 \text{ m}$

Vahvisteen pituudenmuutos $\Delta l = \sqrt{S_v^2 + n^2 \cdot H_p^2} - n \cdot H_p = 0.04 \text{ m}$

Pituudenmuutosta vastaava venymä, suurempi arvoista ϵ_1 ja ϵ_2 :

$$\epsilon_1 = \frac{2}{B - n \cdot H_p} \cdot \Delta l = 0.39 \%$$

$$\epsilon_2 = \sqrt{1 + \left(\frac{S_{max}}{n \cdot H_p} \right)^2} - 1 = 0.7 \%$$

=> $\epsilon_d = 0.7 \%$

Epätasaisesta painumasta johtuva lisävoima $T_{rs} = \epsilon_d \cdot J_v = 0.7 \% \cdot 1000 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

5. Stabiilitteettitarkastelu DA3 (GeoCalc)

Rakenteellinen mitoituslujuus: $T_{ro} = 30 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Luiskan pituus: $L_{ro} = 6 \text{ m}$

6. Vetovoima lujitteessa murtorajatilassa DA 2*

Mitoitettava lujitevoima T_{da} on joko kokonaisstabiilitteettitarkastelusta saatu mitoituslujuus tai liukumisesta ja pohjamaan puristumisesta saatujen mitoituslujuuksien summa sen mukaan, kumpi on suurempi:

Stabiilitteetti: $T_{ro} = 30 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Liukuminen + pohjamaan puristuminen:

Yhtälö 6.10a:

$$T_{ds_a} + T_{rf_a} = 15.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 17.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Liukuminen + pohjamaan puristuminen on suurempi =>

$$T_{d_a} = 33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

=> $T_d = T_{d_b} = 154 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{ds_b} + T_{rf_b} = 74.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 79.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 154 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{d_b} = 154 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Epätasaisesta painumasta johtuvan lisävoiman huomioiminen:

Tavallisesti epätasaisesta painumasta johtuvaa lisävoimaa ja tilapäistä kuormitusta ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti kuormitusyhdistelmissä. Lujitteen mitoituslujuuden tulee kuitenkin täyttää seuraavat ehdot:

$$f_d \geq T_d + T_{rs} \quad \text{kun} \quad T_{rs} \geq T_d$$

$$f_d \geq T_d \quad \text{kun} \quad T_{rs} < T_d$$

$$\Rightarrow f_d = 154 \frac{kN}{m}$$

7. Laskennan yhteenveto:

1. Lähtötiedot

Penkereen korkeus

$$H_p = 2m$$

Vanhan penkereen korkeus

$$H_1 = 1.4m$$

Penkereen korotus

$$H_2 = 0.6m$$

Penkereen harjan leveys

$$L_{penger} = 15.8m$$

Vanhan penkereen harjan leveys

$$L_1 = 9m$$

Penkereen levennys kummallekin sivulle

$$L_2 = 3.4m$$

Pientareen leveys

$$L_{piennar} = 1m$$

Luiskan leveys

$$L_s = 6m$$

Muuttuvat kuormat

$$q_p = 9kPa$$

$$q_1 = 81kPa$$

Liikennekuorma LM1 penkereen pohjalla

$$q_{Qpp} = 35kPa$$

2. Lujitevoimat ja tartuntapituudet DA2*

Luiskan leveys:

$$L_s = 6m$$

	Muuttuva kuorma [kN/m]	Lujitevoima T_d [kN/m]		Tartuntapituus L_e [m]		Lujitepituuden riittävyys
		Yhtälö 6.10a	Yhtälö 6.10b	Yhtälö 6.10a	Yhtälö 6.10b	
Vaakasuoaran maanpaineen vastanoittamiseen vaadittava lujitevoima	9	15,1	19,7	1,66	2,17	OK
	81	15,1	74,1	0,00	6,15	Lujitteen häntä on ankuroitava "mutkalle" penkereeseen riittävän ankkuripituuden saavuttamiseksi
Pohjamaasta aiheutuva lujitevoima	35	17,4	79,7	1,09	4,98	OK
Vetovoima lujitteessa murtorajatilassa		33	154			
Epätasaisesta painumasta aiheutuva lisävoima		7,0				

3. Stabiiliteettitarkastelu DA3 (GeoCalc)

Rakenteellinen mitoituslujuus:

$$T_{ro} = 30 \frac{kN}{m}$$

Lujitteen pituus luiskassa GeoCalc-laskelmassa:

$$L_{ro} = 6m$$

4. Mitoituksen lopputulos

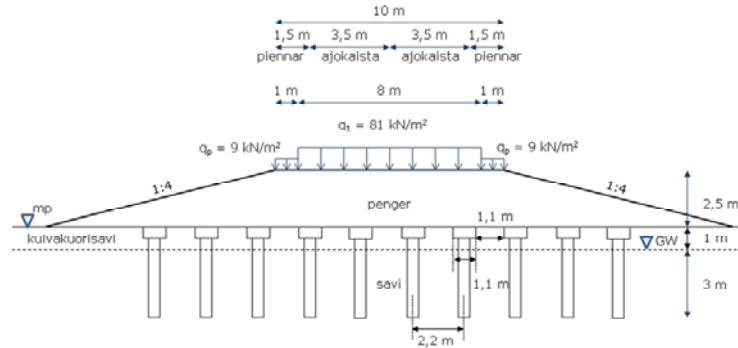
Lujitteen mitoituslujuus on vähintään:

$$f_d = 154 \frac{kN}{m}$$

Lujitteen ankkuripituus luiskassa:

$$L_s = 6m$$

LIITE 6 - Geolujitettu paalutettu penger pehmeiköllä, esimerkkilaskelma



Kuva 1 Esimerkkirakenne

1. Esimerkkirakenteen lähtötiedot

1.1 Geometria

Penkereen korkeus:	$H_p = 2.5 \text{ m}$	Penkereen leveys:	$L_{penger} = 10 \text{ m}$
Penkereen luiska- kaltevuus 1:n	$n = 4$		
Luiskan leveys:	$L_s = n \cdot H_p = 10 \text{ m}$	Paalujen k/k väli (sis. toleranssin):	$s_{kk} = 2.2 \text{ m}$
Luiskan keskimää- räinen korkeus:	$h_s = \frac{H_p}{2} = 1.25 \text{ m}$	Paaluhattun leveys:	$a = 1.1 \text{ m}$
Pientareen leveys:	$L_{piennar} = 1.0 \text{ m}$	Paaluhattujen väli:	$s_{kk} - a = 1.1 \text{ m}$

1.2 Penkereen ja pohjamaan parametrit

Penkermateriaalin tilavuuspaino:	$\gamma_I = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Penkermateriaalin kriittisen tilan leikkauskestävyyskulma:	$\phi_{cI} = 32^\circ$
Penkermateriaalin ja lujitteen välisen liukuvastuksen / ulosvetovastuksen korjauskerroin:	$\alpha_I = 0.9$

Taulukko 1 Pohjamaan geometria ja maaparametrit

Kerros nro <i>i</i>	Maalaji	Kerros- paksuus Z_i m	Tilavuus- paino γ_i kN/m ³	Tehokas tilavuuspaino γ'_i kN/m ³	Suljettu leikkauslujuus* c_{ui} kN/m ²
2	Kuivakuorisavi	1	18		20
3	Savi	12	16	6	15

*redusoitu

1.4 Eurokoodin soveltamishojen NCCI7:n LM1 mukaiset liikennekuormat

Muuttuva kuorma (ajokaistalla): $q_I = 81 \text{ kPa}$

Muuttuva kuorma (pientareella): $q_p = 9 \text{ kPa}$

1.5 Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut

(STR/GEO) DA2*, NCCI 7, taulukko A.3a(FI)

NCCI 7:
Yhtälö 6.10a

NCCI 7:
Yhtälö 6.10b

Pysyvä kuorma: $\gamma_{G,a} = 1.35$ $\gamma_{G,b} = 1.15$

Määräävä muuttuva kuorma (tieliikennekuorma): $\gamma_{Q,a} = 0$ $\gamma_{Q,b} = 1.35$

1.6 Maaparametrien osavarmuusluvut
(STR/GEO), NCCI 7, taulukko A.4 (FI)

Saria M1 (DA2*)

Leikkauskestävyyskulma: $\gamma_{\phi^*} = 1.0$

Tilavuuspaino: $\gamma_{\gamma} = 1.0$

1.7 Geolujitteen parametrit ja osavarmuusluvut (NCCI7)

Lujitteen materiaalikerroin: $\gamma_{re} = 1$

Lujitteen ominaislujuus määritetään mitoituslujuudesta käsikirjan kohdan 4.9 mukaisesti.

Liukuminen lujitteen pintaa pitkin: $\gamma_s = 1.1$

Lujitteen ulosvetovastus (ankkuroituminen): $\gamma_p = 1.1$

Geolujitteen alkumuodonmuutos: $\epsilon_v = 0.04$

1.8 Mitoitusikä

Tiepenkereen mitoitusikä Liikenneviraston kohteissa on 100 v.

1.9 Aktiivimaanpaine kerroin (NCCI7, liite2, kuva C.1.1)

Pengeräyttö: $K_{ad} = 0.28$

Aktiivimaanpaine kerroin voidaan myös määrittää Coulombin kaavalla, kuten Liitteen 4 esimerkkilaskelman "Geolujitettu maanvarainen penger" kohdassa 1.8.2 on tehty.

2. Laskentamallin soveltuvuus esimerkitapaukseen

Paalutetun penkereen paikallismurtumaehto

$$H_p = 2.5 \text{ m} \geq 0.7 \cdot (s_{kk} - a) = 0.7 \cdot (2.2 \text{ m} - 1.1 \text{ m}) = 0.77 \text{ m} \Rightarrow \text{OK}$$

3. Pystysuoran kuorman vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima (T_{rp})

3.1 Teräksiset ja betoniset tukipaalut

$$e_p = 1.95 \quad f = 0.18$$

3.2 Holvaantumiskerroin

$$C_c = \frac{e_p \cdot H_p}{a} - f = \frac{1.95 \cdot 2.5 \text{ m}}{1.1 \text{ m}} - 0.18 = 4.25$$

3.3 Jännitysten suhde

$$\frac{p'_c}{\sigma'_v} = \left(\frac{C_c \cdot a}{H_p} \right)^2 = \left(\frac{4.25 \cdot 1.1 \text{ m}}{2.5 \text{ m}} \right)^2 = 3.5$$

3.4 Paaluhattujen välinen tasainen kuorma (korkea penger)

$$H_p = 2.5 \text{ m} > 1.4 \cdot (s_{kk} - a) = 1.4 \cdot (2.2 \text{ m} - 1.1 \text{ m}) = 1.54 \text{ m}$$

=> Liikennekuormalla ei ole vaikutusta paaluhattujen väliseen tasaiseen kuormaan

$$w_t = \frac{1.4 \gamma_I \cdot s_{kk} \cdot (s_{kk} - a)}{s_{kk}^2 - a^2} \cdot \left(s_{kk}^2 - a^2 \cdot \frac{p'_c}{\sigma'_v} \right)$$

$$= \frac{1.420 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 2.2 \text{ m} \cdot (2.2 \text{ m} - 1.1 \text{ m})}{(2.2 \text{ m})^2 - (1.1 \text{ m})^2} \cdot [(2.2 \text{ m})^2 - (1.1 \text{ m})^2 \cdot 3.5] = 11.29 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yhtälö 6.10a

$$w_{t_a} = \gamma_{G_a} \cdot w_t = 1.35 \cdot 11.29 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 15.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yhtälö 6.10b

$$w_{t_b} = \gamma_{G_b} \cdot w_t = 1.15 \cdot 11.29 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 12.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

3.5 Kuormasta muodostuva lujitevoima

Yhtälö 6.10a:

$$T_{rp_a} = \frac{w_{t_a} \cdot (s_{kk} - a)}{2 \cdot a} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{6 \cdot e_v}}$$

$$= \frac{15.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (2.2 \text{ m} - 1.1 \text{ m})}{2 \cdot 1.1 \text{ m}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{6 \cdot 0.04}}$$

$$T_{rp_a} = 17.33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yhtälö 6.10b:

$$T_{rp_b} = \frac{w_{t_b} \cdot (s_{kk} - a)}{2 \cdot a} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{6 \cdot e_v}}$$

$$= \frac{12.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (2.2 \text{ m} - 1.1 \text{ m})}{2 \cdot 1.1 \text{ m}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{6 \cdot 0.04}}$$

$$T_{rp_b} = 14.76 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4. Vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima (T_{ds})

Vaakasuoran maanpaineen vastaanottamiseen vaadittavan lujitevoiman laskenta tehdään kuten Liitteen 4 esimerkilaskelman "Geolujitettu maanvarainen penger" kohdassa 2.

Yhtälö 6.10a

Lujitteeseen liikennekuormasta 9 kPa mobilisoituva voima ja pienin tartuntapituus:

$$T_{ds_a1} = 23.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_{e_a1} = 1.85 \text{ m}$$

Yhtälö 6.10b

$$T_{ds_b1} = 28.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_{e_b1} = 2.24 \text{ m}$$

Lujitteeseen liikennekuormasta 81 kPa mobilisoituva voima ja pienin tartuntapituus:

$$T_{ds_a2} = 23.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_{e_a2} = 0 \text{ m}$$

$$T_{ds_b2} = 96.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_{e_b2} = 5.56 \text{ m}$$

Valitaan mitoittavaksi kuormaksi suurempi yllä lasketuista lujitevoimista.

$$T_{ds_a} = 23.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_{e_a} = 1.85 \text{ m}$$

$$T_{ds_b} = 96.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$L_{e_b} = 5.56 \text{ m}$$

5. Tarvittava tartuntapituus ulosvetovoimalle

Oloimman paaluhatun ulkopuolelle jäävän luiskaleveyden L_p tulee olla suurempi kuin tarvittava tartuntapituus L_b .

$$L_p > L_b \quad L_p = 4.55m$$

Yhtälö 6.10a

$$L_{b_a} = \frac{(T_{rp_a} + T_{ds_a}) \cdot \gamma_p}{\gamma_I \cdot h_s \cdot \alpha_I \cdot \tan(\phi_{cI})} \cdot 1.1$$

$$= \frac{\left(17.33 \frac{kN}{m} + 23.63 \frac{kN}{m}\right) \cdot 1.1}{20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.25m \cdot 0.9 \cdot \tan(32^\circ)} = 3.2m$$

Leveys $b_a = \text{"OK"}$

Yhtälö 6.10b

$$L_{b_b} = \frac{(T_{rp_b} + T_{ds_b}) \cdot \gamma_p}{\gamma_I \cdot h_s \cdot \alpha_I \cdot \tan(\phi_{cI})} \cdot 1.1$$

$$= \frac{\left(14.76 \frac{kN}{m} + 96.67 \frac{kN}{m}\right) \cdot 1.1}{20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.25m \cdot 0.9 \cdot \tan(32^\circ)} = 8.72m$$

Leveys $b_b = \text{"EI RIITÄ"}$

=> Lujitteen häntä on ankuroitava "mutkalle" penkereeseen riittävän tartuntapituuden saavuttamiseksi.

6. Murtorajatilassa lujitteeseen kohdistuva kokonaislujitevoima penkereen pysty- ja vaakakuormasta

Yhtälö 6.10a

Penkereen pituussuunnassa:

$$T_{d_1a} = T_{rp_a} = 17.33 \frac{kN}{m}$$

Penkereen poikkisuunnassa:

$$T_{d_2a} = T_{rp_a} + T_{ds_a}$$

$$= 17.33 \frac{kN}{m} + 23.63 \frac{kN}{m} = 40.96 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b

$$T_{d_1b} = T_{rp_b} = 14.76 \frac{kN}{m}$$

$$T_{d_2b} = T_{rp_b} + T_{ds_b}$$

$$= 14.76 \frac{kN}{m} + 96.67 \frac{kN}{m} = 111.43 \frac{kN}{m}$$

7. Laskennan yhteenveto

$$L_e = 8.7m$$

1. Lähtötiedot

Korkeus: $H_p = 2.5m$

Penkereen luiskakaltevuus: $n = 4$

Luiskan leveys (1:n): $L_s = 10m$

Pientareen leveys: $L_{piennar} = 1m$

Kriittisen tilan leikkauskestävyyskulma: $\phi_{cI} = 32^\circ$

Pengermateriaalin tilavuuspaino: $\gamma_I = 20 \frac{kN}{m^3}$

Muuttuvat kuormat: $q_p = 9kPa \quad q_I = 81kPa$

2. Lujitevoimat ja tartuntapituudet:

	Muuttuva kuorma [kN/m]	Lujitevoima T_d [kN/m]		Tartuntapituus L_e [m]		Lujitepituuden riittävyys
		Yhtälö 6.10a	Yhtälö 6.10b	Yhtälö 6.10a	Yhtälö 6.10b	
Vaakasوران maanpaineen vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima	9	23,6	28,6	1,8	2,2	OK
	81	23,6	96,7	0,0	5,6	OK
Pystysوران kuorman vastaanottamiseen vaadittava lujitevoima		17,3	14,8			
Kokonaisvetovoima lujitteessa murtorajatilassa	pituussuunta	17,3	14,8			Lujitteen häntä on ankuroitava "mutkalle" penkereeseen riittävän ankkuripituuden saavuttamiseksi
	leveys-suunta	41,0	111,4	3,2	8,7	

3. Mitoituksen lopputulos:

Lujitteen mitoituslujuus:

penkereen pituussuunnassa vähintään

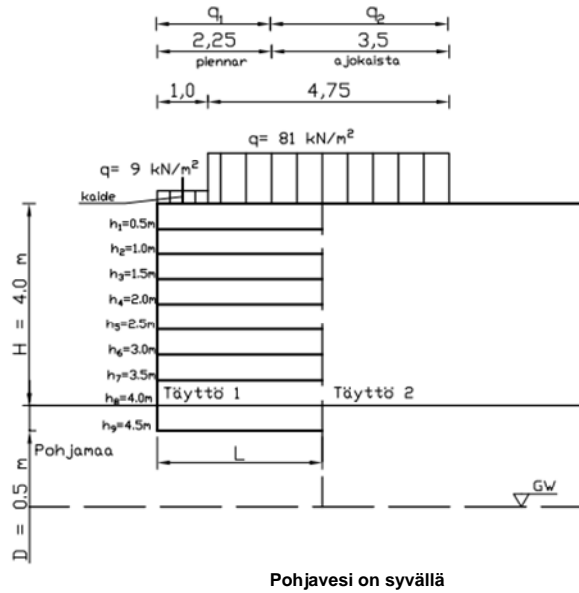
$$f_{d_pit} = 17 \frac{kN}{m}$$

penkereen poikkisuunnassa vähintään

$$f_d = 111 \frac{kN}{m}$$

Lujitteen pituus luiskan alla on vähintään

LIITE 7 - Geolujitettu tukimuuri, esimerkkilaskelma



Pohjavesi on syvällä

Kuva 1 Esimerkkirakenne

1. Esimerkkirakenteen lähtötiedot

1.1 Geometria ja maaparametrit

Muurin korkeus:	$H_m = 4.0 \text{ m}$	Alimman geolujitteen perustamissyvyys maan pinnasta:	$D = 0.5 \text{ m}$
Pientareen leveys	$L_{piennar} = 2.25 \text{ m}$	Lujiteväli	$S_v = 0.5 \text{ m}$
Ajokaistan leveys	$L_{kaista} = 3.5 \text{ m}$	Lujitekerrosten määrä	$lj = \frac{(H_m + D)}{S_v} = 9 \quad j = 0..lj - 1$

Taulukko 1. Täyttökerrosten ja maapohjan parametrit

Maa-kerros nro	Maalaji	Tilavuuspaino	Leikkauskestävyyskulma (huippu)	Koheesio	Maalajin ja lujitteen välisen liukumis-/ulosvetovastuksen korjauskerroin: leikk.kest.kulma/koheesio
<i>i</i>		γ_i kN/m ³	ϕ_{pi} °	c_i kN/m ²	α_i / α_{ei}
1	Lujitettu täyttö	20	35	0	0,9 / -
2	Taustatäyttö	20	35	0	0,9 / -
3	Pohjamaa	20	30	5	0,8 / 0,8

1.2 Eurokoodin soveltamisohjeen NCCI7:n LM1 mukaiset liikennekuormat
(NCCI7, s.33)

Muuttuva pystykuorma (piennar):	$q_p = 9 \text{ kPa}$
Muuttuva pystykuorma lujitetun blokin kohdalla:	$q_1 = 81 \text{ kPa}$
Muuttuva pystykuorma blokin takana:	$q_2 = 81 \text{ kPa}$

Tässä mitoitus tehdään olettaen muuttuvan pystykuorman olevan 81 kPa muurin koko yläpinnan alueella!

1.3 Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut
(STR/GEO), mitoitustapa DA2*, NCCI 7, taulukko A.3a(FI)

	NCCI 7: Yhtälö 6.10a	NCCI 7: Yhtälö 6.10b
Pysyvä kuorma:	$\gamma_{G_a} = 1.35$	$\gamma_{G_b} = 1.15$
Määräävä muuttuva kuorma (tieliikennekuorma):	$\gamma_{Q_a} = 0$	$\gamma_{Q_b} = 1.35$
Luotettavuusluokka CC2 => Kuormakerroin	$K_{FI} = 1$	

1.4 Maaparametrien osavarmuusluvut
(STR/GEO), NCCI7, taulukko A.4 (FI):

	Sarja M1 (DA2*)
Leikkauskestävyyskulma:	$\gamma_{\phi} = 1.0$
Tehokas koheesio:	$\gamma_{c'} = 1.0$
Suljettu leikkauslujuus:	$\gamma_{cu} = 1.0$
Tilavuuspaino:	$\gamma_{\gamma} = 1.0$

1.5 Antura- ja laattaperustusten kestävyden osavarmuusluvut (NCCI 7, taulukko A.5 (FI))

Anturaperustuksen osavarmuusluku:	$\gamma_{R,v} = 1.55$
-----------------------------------	-----------------------

1.6 Geolujitteiden parametrit ja osavarmuusluvut (NCCI7)

Lujitteen materiaalikerroin: $\gamma_{re} = 1.0$

Lujitteen ominaislujuus määritetään mitoituslujuudesta ohjeen kohdan 4.9 mukaisesti.

Lujitteen liukumiskestävyys: $\gamma_s = 1.1$

Lujitteen ulosvetovastus (ankkuroituminen): $\gamma_p = 1.1$

Kitkakerroin, lujite/lujite -rajapinta $\mu_{gg} = 0.2$

1.7 Aktiivimaanpaine kerroin (NCCI7, liite2, kuva C.1.1)

Täyttö: $K_{a1} = 0.24$ Taustatäyttö: $K_{a2} = 0.24$

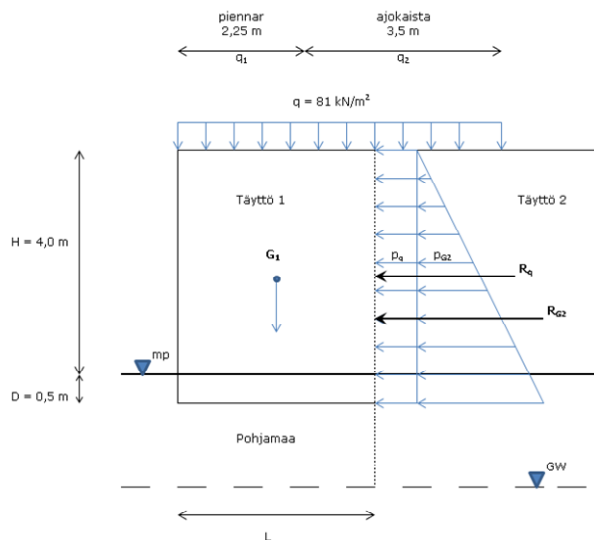
Aktiivimaanpaine kerroin voidaan myös määrittää Coulombin kaavalla, kuten Liitteen 4 esimerkkilaskelman "Geolujitettu maanvarainen pengeri" kohdassa 1.8.2 on tehty.

1.8 Mitoitusikä

Tukimuurin mitoitusikä on 100 v.

2. Kantokestävyystarkastelu (nauha-antura)

2.1 Lähtötiedot kantokestävyystarkastelulle



Kuva 2 Periaatekuva kantokestävyystarkastelussa vaikuttavista voimista.

Huom! Tukimuurin alapinta on perustamissyvyys => alapinta maanpinnasta

Olkoon nauha-anturan pituus ääretön:

$$L_{antura} = \infty \text{ m}$$

Huom! Kantokestävyyslaskennassa tukimuurin leveysuuntaa merkitään B:llä!

Pohjavesi on syvällä: $\gamma' = \gamma_3$ $\gamma' = 20 \frac{kN}{m^3}$

2.2 Epäkeskisyuden määrittäminen kantavuustarkastelua varten

2.2.1 Maanpaineesta aiheutuvien pysty- ja vaakakuormien resultantit ja niiden paikat

pysyvän kuorman osavarmuusluku 1,0 ja muuttuvan epäedullisen kuorman 1,0

Aktiivipaineen oletetaan tässä tapauksessa vaikuttavan horisontaalisesti lepoppaineen tavoin (vaikka teoreettisesti väärin), jolloin saadaan varmalla puolella olevia tuloksia.

Epäkeskisyyttä määritettäessä on jätetty huomioimatta muurin edessä syvyydellä 0- D sijaitseva maakerroksen passiivinen maanpaine.

Vaakakuorman suuruus on kantokestävyysmitoituksessa hyvin merkitsevä, joten mitoituksessa vaakakuorma pidetään maksimissa sekä yhtälöllä 6.10a että 6.10b. Tällöin oletetaan taustatäytön päällä vaikuttavan muuttuva pystykuorma molemmissa tapauksissa.

=> Epäkeskisyuden laskenta on yhtenevä NCCI 7:n yhtälöillä 6.10a ja 6.10b

Taustatäytön aiheuttaman vaakakuormitus (maanpaine ja liikennekuorma):

Maanpaineet:

$$p_q = K_{a2} \cdot q_2 = 0.2481 \text{ kPa} = 19.44 \text{ kPa}$$

Maanpaine tukimuurin päällä ja alimman lujitteen tasossa:

$$p_y = p_q = 19.44 \text{ kPa}$$

$$p_a = K_{a2} \cdot \left[\gamma_2 \cdot (H_m + D) + q_2 \right] = 0.24 \left[20 \frac{kN}{m^3} \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) + 81 \text{ kPa} \right] = 41.04 \text{ kPa}$$

Maanpaineen resultantti:

$$P_q = p_q \cdot (H_m + D) = 0.2481 \text{ kPa} \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) = 87.48 \frac{kN}{m}$$

$$P_{G2} = \frac{1}{2} \cdot (p_a - p_y) \cdot (H_m + D) = \frac{1}{2} \cdot (41.04 \text{ kPa} - 19.44 \text{ kPa}) \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) = 48.6 \frac{kN}{m}$$

$$P_H = P_q + P_{G2} = 87.48 \frac{kN}{m} + 48.6 \frac{kN}{m} = 136.08 \frac{kN}{m}$$

Etäisyys alimman lujitteen tasosta:

$$e_H = \frac{H_m + D}{P_H} \left(P_q \cdot \frac{1}{2} + P_{G2} \cdot \frac{1}{3} \right) = \frac{4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}}{136.08 \frac{kN}{m}} \left(87.48 \frac{kN}{m} \cdot \frac{1}{2} + 48.6 \frac{kN}{m} \cdot \frac{1}{3} \right) = 1.98 \text{ m}$$

2.2.2 Epäkeskisyyden laskenta (Ominaisarvot)

Laskenta-arvot liikennekuormasta ja maanpainosta epäkeskisyyden laskentaa varten:

Arvataan geolujitteen pituus (pituutta muutetaan kunnes mitoitusehto $\frac{R_d}{V_d} \geq 1.0$ täyttyy!):

Geolujitteen pituus: $B_k = 5 \text{ m}$

Lujitetun maablokin paino:

$$G_I = \gamma_I \cdot (H_m + D) \cdot B_k = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) \cdot 5 \text{ m} = 450 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vaakakuorman resultantin kulma L_{antura} :n kanssa: $\theta = 90^\circ$

Pysyvän kuorman osavarmuusluku 1, epäedullisen muuttuvan kuorman 1 ja edullisen muuttuvan kuorman 0

Epäkeskisyyden ja kantavuuskertoimet lasketaan käyttäen kuormien ominaisarvoja mahdollisilla kuormien yhdistelykertoimilla kerrottuna. Laskenta tulee kuitenkin tehdä vaarallisimmalla tilanteella, jolloin edullisten muuttuvien kuormien kertoimena on 0.

Pystykuormia laskettaessa muurin päällä vaikuttava liikennekuorma on edullinen (kerroin 0).

Vaakakuormia laskettaessa taustatäytön päällä vaikuttava liikennekuorma on epäedullinen (kerroin 1).

Pystykuormat:

$$V_I = G_I = 450 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vaakakuormat:

$$H_I = P_H = 136.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Anturan pohjan epäkeskisyyden:

$$e_I = \frac{H_I \cdot e_H}{V_I} = \frac{136.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 1.98 \text{ m}}{450 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = 0.61 \text{ m}$$

2.2.3 Voimakkaasti epäkeskisen kuorman tarkistus

$$\frac{B_k}{3} = 1.67 \text{ m} \geq e_I = 0.61 \text{ m} \implies \text{OK!}$$

2.3 Kantokestävyystarkastelun mitoitus, DA2*

$$R = A' \cdot (c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma)$$

Vaakasuoran kuormituksen myötä $b_q = b = b_c$

ja äärettömän nauha-anturan tapauksessa $s_q = s = s_c = 1$

2.3.1 Anturan pohjan tehokkaat dimensiot ($B_k =$ lujitteen pituus)

$$B' = B_k - 2 \cdot e_I = 5 \text{ m} - 2 \cdot 0.61 \text{ m} = 3.78 \text{ m}$$

$$L' = L_{antura}$$

2.3.2 Kantavuuskertoimet:

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\phi' p3)} \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi' p3}{2}\right)^2 = e^{\pi \cdot \tan(30^\circ)} \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{30^\circ}{2}\right)^2 = 18.4$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \frac{1}{\tan(\phi' p3)} = (18.4 - 1) \cdot \frac{1}{\tan(30^\circ)} = 30.14$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi' p3) = 2 \cdot (18.4 - 1) \cdot \tan(30^\circ) = 20.09$$

$$q' = \gamma_3 \cdot D = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0.5 \text{ m} = 10 \text{ kPa}$$

2.3.3 Vaikutuskerroin m i-parametriä varten

$$m_B = \frac{2 + \left(\frac{B'}{L'}\right)}{1 + \left(\frac{B'}{L'}\right)} = \frac{2 + \frac{3.78 \text{ m}}{\infty \text{ m}}}{1 + \frac{3.78 \text{ m}}{\infty \text{ m}}} = 2 \qquad m_L = \frac{2 + \left(\frac{L'}{B'}\right)}{1 + \left(\frac{L'}{B'}\right)} = \frac{2 + \frac{\infty \text{ m}}{3.78 \text{ m}}}{1 + \frac{\infty \text{ m}}{3.78 \text{ m}}} = 1$$

$$m_I = m_B \sin(\theta)^2 + m_L \cos(\theta)^2 = 2 \sin(90^\circ)^2 + \cos(90^\circ)^2 = 2$$

2.3.4 I-kertoimet

$$i_q = \left(1 - \frac{H_I}{V_I + B' c_3 \frac{1}{\tan(\phi' p3)}}\right)^{m_I} = \left(1 - \frac{136.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{450 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 3.78 \text{ m} \cdot 5 \text{ kPa} \cdot \frac{1}{\tan(30^\circ)}}\right)^2 = 0.51$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H_I}{V_I + B' c_3 \frac{1}{\tan(\phi' p3)}}\right)^{m_I+1} = \left(1 - \frac{136.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{450 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 3.78 \text{ m} \cdot 5 \text{ kPa} \cdot \frac{1}{\tan(30^\circ)}}\right)^{2+1} = 0.36$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan(\phi' p3)} = 0.51 - \frac{1 - 0.51}{30.14 \tan(30^\circ)} = 0.48$$

2.3.5 Supistettu kantokestävyyden ominaisarvo DA2*

$$R_k = B \cdot (c_3 \cdot N_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma)$$

$$= 3.78 \text{ m} \cdot \left(5 \text{ kPa} \cdot 30.140.48 + 10 \text{ kPa} \cdot 18.40.51 + 0.5 \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 3.78 \text{ m} \cdot 20.090.36 \right) = 1661.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.3.6 Kestävyyden mitoitusarvo DA2*, kun $\gamma_{R,v} = 1.55$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{R,v}} = 1107.06 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.3.7 Kuormitus murtorajatilassa DA2*

Yhtälö (6.10a):

$$V_{d_a} = \gamma_{G_a} \cdot \gamma_I \cdot B_k \cdot (H_m + D) = 1.3520 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 5 \text{ m} \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) = 608 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yhtälö (6.10b):

$$V_{d_b} = \gamma_{G_b} \cdot \gamma_I \cdot B_k \cdot (H_m + D) + \gamma_{Q_b} \cdot q_I \cdot B_k$$

$$= 1.1520 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 5 \text{ m} \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) + 1.3581 \text{ kPa} \cdot 5 \text{ m} = 1064.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.3.8 Mitoitusehto

$$V_{d_a} = 608 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < R_d = 1107 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad V_{d_b} = 1064 \frac{\text{kN}}{\text{m}} < R_d = 1107 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\frac{R_d}{V_{d_a}} = 1.82 \Rightarrow \text{OK!} \quad \frac{R_d}{V_{d_b}} = 1.04 \Rightarrow \text{OK!}$$

Lujitteen pituus $L_k = B_k = 5 \text{ m}$

3. Kaatumistarkastelu (välttämätön vain kalliolla tms.)

Kuten kohdassa "2.4.2 Voimakkaasti epäkeskisen kuorman tarkistus" on esitetty:

$$\frac{L_k}{3} = 1.67 \text{ m} \geq e_I = 0.6 \text{ m} \Rightarrow \text{Varmuus kaatumista vastaan on OK!}$$

4. Liukuminen tukimuurin alapintaa pitkin, DA2*

L_S muutetaan, kunnes mitoitusehto $\frac{R_{ds}}{H_d} \geq 1.0$ täyttyy, riippumatta siitä mitä kantokyky- tarkastelussa on saatu lujitepituudeksi!

Liukuminen pohjamaata pitkin, lujitepituus liukumalle:

$$L_s = 4.3 \text{ m}$$

4.1 Liukumiskestävyyden mitoitusarvo R_{ds} , DA2*

Pystykuorma lujitetun blokin alapinnassa:

Laskettaessa liukumiskestävyyteen vaikuttavaa pystykuormaa, liikennekuormasta aiheutuvan muuttuvan kuorman vaikutus on edullinen, ja sen osavarmuusluku on 0.

(pysyvä kuorma 1.0 ja muutuva edullinen kuorma 0)

$$V_I = \gamma_I \cdot L_S \cdot (H_m + D) = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 4.3 \text{ m} \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) = 387 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Liukumiskestävyyden alimman lujitteen yläpintaa pitkin (pitkän ajan tilanne):

$$R_{s_yp} = V_I \cdot \alpha_I \cdot \tan(\phi'_{pI}) = 386 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0.9 \cdot \tan(35^\circ) = 243.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Liukumiskestävyyden alimman lujitteen alapintaa pitkin (pitkän ajan tilanne):

$$R_{s_ap} = L_S \cdot c_3 \cdot \alpha_{c3} + V_I \cdot \alpha_3 \cdot \tan(\phi'_{p3}) = 4.3 \text{ m} \cdot 5 \text{ kPa} \cdot 0.8 + 386 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0.8 \cdot \tan(30^\circ) = 195.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Mitoitusarvot:

Liukumiskestävyyden lujitteen ylä- ja alapintaa pitkin, kun $\gamma_s = 1.1$:

$$R_{ds_yp} = \frac{R_{s_yp}}{\gamma_s} = 221.71 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad R_{ds_ap} = \frac{R_{s_ap}}{\gamma_s} = 178.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4.2 Liukumista estävät kuormat

Ei ole

4.3 Vaakakuorman mitoitusarvo lujiteblokin takana DA2*

Yhtälö 6.10a

$$H_{d_a} = 0.5 K_{a2} \cdot (H_m + D) \cdot \gamma_{G_a} \cdot \gamma_2 \cdot (H_m + D)$$

$$= 0.5 \cdot 0.24 \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) \cdot 1.3520 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) = 65.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yhtälö 6.10b

$$H_{d_b} = 0.5 K_{a2} \cdot (H_m + D) \cdot [\gamma_{G_b} \cdot \gamma_2 \cdot (H_m + D) + 2 \cdot \gamma_{Q_b} \cdot q_2]$$

$$= 0.5 \cdot 0.24 \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) \cdot \left[1.1520 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (4 \text{ m} + 0.5 \text{ m}) + 2 \cdot 1.3581 \text{ kPa} \right] = 173.99 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4.4 Liukuminen alimman lujitteen ylä- ja alapintaa pitkin (pitkän ajan tilanne)

$$H_d \leq R_{ds_{ap}} \quad H_d \leq R_{ds_{yp}}$$

Taulukko 2. Tukimuurin liukumiskestävyys

	H _d * kN/m	R _{ds} ** kN/m	Varmuus	Tila
Liukuminen alimman lujitteen yläpintaa pitkin (pitkän ajan tilanne)				
6.10a	65,6	221,7	3,38	OK
6.10b	174,0	221,7	1,27	OK
Liukuminen alimman lujitteen alapintaa pitkin (pitkän ajan tilanne)				
6.10a	65,6	178,1	2,72	OK
6.10b	174,0	178,1	1,02	OK

* 6.10a (pysyvä kuorma 1,35 ja muuttuva kuorma 0)
6.10b (pysyvä kuorma 1,15 ja muuttuva kuorma 1,35)

**pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0

5. Kokonaisstabiileetti (GeoCalc-laskelmat, DA3)

Kokonaisstabiileetin mitoituslaskelmat on esitetty liitteessä 7-B

Lujitteen mitoituslujuus: $T_{ro} = 31 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Lujitteen pituus tukimuurin alaosassa murtorajatilassa: $L_{LP} = 2.0 \text{ m}$

Tukimuurin mitoituksen jälkeen (kohdat 1-10) tehdään tarvittaessa liukupintatarkastelu, jossa tarkistetaan, että mitoituksessa saatu lujitteen mitoituslujuus on riittävä kokonaisstabiileetin kannalta (= vaarallisin liukupinta kiertää lujitetun blokin ali tai lujitteilla on riittävä kapasiteetti mikäli liukupinta kulkee lujiteblokin läpi). Ko. tarkastelu on esitetty liitteessä 7-C

6. Yhteenveto ulkoisen stabiileetin tarkasteluista

Mitoittavin lujitepituus (kantavuus-, liukumis- ja kokonaisstabiileettitarkastelusta):

Kantavuustarkastelu: $L_k = 5 \text{ m}$

Liukumistarkastelu: $L_s = 4.3 \text{ m}$

Kokonaisstabiileetti: $L_{LP} = 2 \text{ m}$

=> Mitoittavin lujitepituus: $L = 5 \text{ m}$

7. Sisäinen stabiileetti, lujitevoima

7.1 Lujitevoima

7.1.1 Yhtälöt ja merkinnät

Lujitevoima lujitteessa j syvyvyydellä h_j (0...4,5m):

$$T_j = T_{pj} + T_{sj} + T_{fj}$$

T_j on lujitteen vastaanottama lujitevoima kerroksessa j
 T_{pj} pystykuorman aiheuttama (maakerrokset + liikennekuorma) lujitevoima kerroksessa j
 T_{sj} nauhakuorman aiheuttama lujitevoima (Lujitekerros j)
 T_{fj} muurin yläpinnalla vaikuttavan vaakakuorman aiheuttama lujitevoima (Lujitekerros j)

Ei antura- eikä vaakakuormaa muurin päällä tässä mitoitus esimerkissä:

$$\Rightarrow T_{sj} = T_{fj} = 0 \quad \Rightarrow T_j = T_{pj}$$

7.1.2 Lujitevoima lujitekerroksittain

Lujitteen syvyys tukimuurin yläpinnasta: $h_j = (j + 1) \cdot S_v$

Maanpaineen pysty- ja vaakaresultantin sijainti, ominaisarvolaskenta (pysyvä kuorma ja muuttuva epäedullinen kuorma 1.0)

Vaakakuorman suuruus vaikuttaa laskentaan merkittävästi, joten mitoituksessa vaakakuorma pidetään maksimissa sekä yhtälöllä 6.10a että 6.10b. Tällöin oletetaan taustatäytön päällä vaikuttavan muuttuva pystykuorma molemmissa tapauksissa.

=> Epäkeskisyyden laskenta on yhtenevä yhtälöillä 6.10a ja 6.10b

Huom! Taustatäytön pinnalla voi vaikuttaa muuttuva pystykuorma riippumatta siitä vaikuttaako lujitetun blokin päällä muuttuva pystykuorma!

Taustatäytön päällä vaikuttavasta kuormasta aiheutuva maanpaine: $p_q = 19.44kPa$

Maanpaine laskettavan kerroksen ylä- ja alaosassa: $p_y = 19.44kPa$

$$p_{aj} = K_{a2} \cdot (\gamma \cdot 2 \cdot h + q_2)$$

Maanpaineen resultantti muuttuvasta kuormasta: $R_{qj} = p_q \cdot h$

Maanpaineen resultantti pysyvistä kuormasta: $R_{G2j} = \frac{1}{2} \cdot (p_{aj} - p_y) \cdot h$

Resultantti ja sen etäisyys laskentatasosta:

$$R_{Hj} = R_{qj} + R_{G2j} \quad e_{Hj} = \frac{\frac{1}{2} \cdot R_{qj} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot R_{G2j} \cdot h}{R_{Hj}}$$

Lujitevoiman laskenta kerroksittain (DA2*), julkisivuun kerroksesta j kohdistuva maanpaine

Oletetaan julkisivu osittain deformoituvaksi.

Kuorman tarkastelu kohta kerroksen keskellä: $H_f = h_j - 0.5 \cdot S_v$

Julkisivun korrelaatiokerroimet: $\eta_q = 1.0$ $g =$ syvyydestä riippuva

Maanpaine: $G_j = \gamma \cdot L \cdot H_f$

Yhtälö 6.10a
(pysyvä kuorma 1.35 ja muuttuva kuorma 0)

Pystykuorma (maanpaine):

$$V_a = \eta_g \cdot \gamma \cdot G_a \cdot G_j$$

Yhtälö 6.10b
(pysyvä kuorma 1.15 ja muuttuva kuorma 1.35)

Pystykuorma (maanpaine ja liikennekuorma):

$$V_b = \eta_g \cdot \gamma \cdot G_b \cdot G_j + \eta_q \cdot \gamma \cdot Q_b \cdot q_1 \cdot L$$

Pystykuorman epäkeskisyyden:

$$e_{s_a} = \frac{R_{Hj} \cdot e_{Hj}}{G_j} \quad e_{s_b} = \frac{R_{Hj} \cdot e_{Hj}}{G_j + q_1 \cdot L}$$

Pystyjännitys:

$$\sigma_{va} = \frac{V_a}{L - 2e_{s_a}} \quad \sigma_{vb} = \frac{V_b}{L - 2e_{s_b}}$$

Lujitevoima:

$$T_a = K_{a1} \cdot \sigma_{va} \cdot S_v \quad T_b = K_{a1} \cdot \sigma_{vb} \cdot S_v$$

Taulukko 3. Kuormat, jännitykset ja lujitevoimat lujitekerroksittain

Lujitteen syvyys tukimuurin yläpinnasta	Kuorman vaikutus kohta kerroksen keskellä	η_g	Lujitteeseen vaikuttava pystykuorma		Epäkeskisyyden jännitys		Kerroksen pystyjännitys		Pystykuorman aiheuttama lujitevoima	
			6.10a/6.10b	6.10a/6.10b	6.10a/6.10b	6.10a/6.10b	6.10a/6.10b	6.10a/6.10b		
h m	H_f m		V_a kN/m	V_b kN/m	e_{s_a} m	e_{s_b} m	σ_{va} kPa	σ_{vb} kPa	T_a kN/m	T_b kN/m
0,5	0,25	1,0	33,8	575,5	0,10	0,01	7,0	115,4	0,8	13,8
1,0	0,75	1,0	101,3	633,0	0,14	0,02	21,5	127,7	2,6	15,3
1,5	1,25	1,0	168,8	690,5	0,20	0,05	36,6	140,7	4,4	16,9
2,0	1,75	0,7	165,4	687,6	0,26	0,08	36,9	142,0	4,4	17,0
2,5	2,25	0,7	212,6	727,9	0,33	0,12	48,9	152,7	5,9	18,3
3,0	2,75	0,7	259,9	768,1	0,40	0,16	61,8	164,2	7,4	19,7
3,5	3,25	0,7	307,1	808,4	0,47	0,21	75,7	176,5	9,1	21,2
4,0	3,75	0,7	354,4	848,6	0,55	0,27	90,9	189,9	10,9	22,8
4,5	4,25	0,7	401,6	888,9	0,63	0,32	107,7	204,3	12,9	24,5

7.2 Lujitteen ankkurikestävyys kerroksittain

Tarkistetaan ankkurikestävyys riittävyys lujitepituudella L, joka on määritetty ulkoisen stabiliteetin tarkastelujen yhteenvedossa kohdassa 6.

Ankkurikestävyyttä määrittäessä otetaan huomioon vain pysyvät kuormat (liikennekuorma on muuttuva edullinen kuorma, joten sitä ei huomioida)

Tarkasteltava kaista muurin pituussuunnassa

$$kaista = 1 m$$

Lujitteen ylä- ja alapinnan pituus muurin leveysuunnassa 1 m kaistaa kohden, jatkuva rakenne:

$$l_j = 2 \cdot kaista = 2 m$$

Lujitteen ja täytön välinen kitkakerroin: $\mu_t = \alpha_t \cdot \tan(\phi'_{pI}) = 0.9 \tan(35^\circ) = 0.63$

Liukupinnan ja pystysuunnan välinen kulma: $\beta = 45^\circ - \frac{\phi'_{pI}}{2} = 45^\circ - \frac{35^\circ}{2} = 27.5^\circ$

Geolujitteen pituus: $L = 5 \text{ m}$

Ankkurikestävyys ominaisarvo: (pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0)

Ankkuroivan vyöhykkeen pituus passiivialueella:

$$L_e = L - \tan\left(45^\circ - \frac{\phi'_{pI}}{2}\right) \cdot (H_m - h)$$

$$T_{AVj} = \frac{l_j \mu_t L_e (\gamma_1 \cdot h)}{\text{kaista}}$$

Ankkurikestävyys mitoitusarvo, kun: $\gamma_p = 1.1$

$$T_{AVdj} = \frac{T_{AVj}}{\gamma_p}$$

Lujitteen ankkurikestävyys \geq lujitteen vastaanottama lujitevoima (kohdasta 7.1.2)

Jos $T_{AVdj} \geq T_a \wedge T_b \Rightarrow$ ankkurivoima on riittävä

Taulukko 4. Lujitteiden ankkurikestävyys kerroksittain

Lujitteen syvyys tukimuurin yläpinnasta	Ankkuroivan vyöhykkeen pituus passiivialueella	Lujitteen ankkurikestävyys	Lujitteen vastaanottama lujitevoima (yhtälö 6.10a)	Lujitteen vastaanottama lujitevoima (yhtälö 6.10b)	Ankkurivoiman riittävyys
h m	L _e m	T _{AVdj} kN/m	T _a kN/m	T _b kN/m	
0,5	3,2	36,4	0,8	13,8	OK
1	3,4	78,8	2,6	15,3	OK
1,5	3,7	127,1	4,4	16,9	OK
2	4,0	181,4	4,4	17,0	OK
2,5	4,2	241,7	5,9	18,3	OK
3	4,5	308,0	7,4	19,7	OK
3,5	4,7	380,2	9,1	21,2	OK
4	5,0	458,3	10,9	22,8	OK
4,5	5,3	542,4	12,9	24,5	OK

7.3 Kiilan stabiileetti

7.3.1 Kiilan stabiileetti, lujitteen mitoituslujuus

Yhtälö 6.10a

$$T_{dj_a} \geq T_a \cdot K_{FI}^{\gamma_{re}} = T_a \cdot 1.0 \cdot 1.0 = T_a$$

$$T_{da} = \sum_j (T_{a_j} \cdot K_{FI}^{\gamma_{re}})$$

$$T_{da} = 58 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Yhtälö 6.10b

$$T_{dj_b} \geq T_b \cdot K_{FI}^{\gamma_{re}} = T_b \cdot 1.0 \cdot 1.0 = T_b$$

$$T_{db} = \sum_j (T_{b_j} \cdot K_{FI}^{\gamma_{re}})$$

$$T_{db} = 170 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

7.3.2 Kiilan stabiileetti, ankkurikestävyys mitoitusarvo

$$T_{AVd} = \sum_j T_{AVdj} = 2354 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \geq T_{da} = 58 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$T_{db} = 170 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Ankkurikapasiteetti = "OK"

8. Kokonaisstabiileetti, lujitteen mitoituslujuuden tarkistus

Mikäli sisäisen stabiileetin mitoituksessa (kohta 7) määritetty lujitteen mitoituslujuus on muurin alaosassa pienempi kuin kokonaisstabiileetin laskennassa (kohta 5) käytetty lujitevoima, tehdään stabiileettitarkastelu uudelleen tarkemmin käyttäen sisäisen stabiileetin mitoituksessa (kohta 7) määritettyjä mitoituslujuuksia tai mitoituslujuuksien perusteella valittuja vahvisteen mitoituslujuuksia ($> T_d$). Mikäli vaarallisin (vaatimukset alittava) liukupinta ohjautuu lujitetuun blokkiin, ja liukupintaa ei ohjata pohjavahvistuksella (esim. massanvaihto) pois lujitetusta blokista, on lujitteiden mitoitus liukupintasortumaa vastaan tehtävä DA2" mukaisilla kuormilla.

9. Käyttörajatilatarkistus

Tukimuurin ja pohjamaan siirtymä ja muodonmuutostarkastelulla varmistetaan, että siirtymät ja muodonmuutokset ovat hyväksyttävällä tasolla. (Ei ole tehty tässä)

10. Täyttökerroksen ympäri taivutetun lujitteen (wrap-around) mitoitus ankkuroinnille

10.1 Taivutetun lujitteen mitat

L_w lyhennetään, kunnes mitoitusehto $\frac{T_{AVd_w}}{Z} \geq 1.0$ täyttyy.

Määritetään taivutetun lujitteen mitat lujitekerroksille ja erilliset mitat lujitteen 1. kerrokselle, joka taivutetaan rakenteen päälle

1. Lujitekerros:

Lujitteen "hännän" syvyys kerroksen yläpinnasta:

$$h_{wI} = 0.1 \text{ m}$$

Taivutetun lujitteen (wrap-around) lujitepituus:

$$L_{wI} = 2.4 \text{ m}$$

Määritetään taivutetun lujitteen alkuosan ja häntäosan pituudet:

$$L_{wI_alku} = 0.3 \text{ m}$$

$$L_{wI_häntä} = L_{wI} - L_{wI_alku} = 2.1 \text{ m}$$

Muut lujitekerrokset:

Lujitteen "hännän" syvyys kerroksen yläpinnasta:

$$h_{wj} = 0 \text{ m}$$

Taivutetun lujitteen (wrap-around) lujitepituus:

$$L_{wj} = 1 \text{ m}$$

Määritetään taivutetun lujitteen alkuosan ja häntäosan pituudet:

$$L_{wj_alku} = 1 \text{ m}$$

$$L_{wj_häntä} = L_{wj} - L_{wj_alku} = 0 \text{ m}$$

10.2 Ankkurikestävyysmitoitussarvo T_{AVd_w} kerroksittain, DA2*

Aktiivivöhykkeen pituus lujitteen taivutetulla osalla:

$$L_a = \tan\left(45^\circ - \frac{\phi'_{pI}}{2}\right) \cdot S_v = 0.26 \text{ m}$$

Taivutetun lujitteen osan päällä vaikuttava pystykuorma:

Laskettaessa ankkurikestävyteen vaikuttavaa pystykuormaa, liikennekuormasta aiheutuvan muuttuvan kuorman vaikutus on edullinen, ja sen osavarmuusluku on 0.

(pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0)

$$V_w = \gamma \cdot (L_w - L_a) \cdot (h - S_v + h_w)$$

Taulukko 5. Taivutetun lujitteen osan päällä vaikuttava pystykuorma

Kerros	Lujitteen alkuosalla	Lujitteen hännän osalla
	V_{w_alku} kN/m	$V_{w_häntä}$ kN/m
1	0,0	4,2
2	7,4	0,0
3	14,8	0,0
4	22,2	0,0
5	29,6	0,0
6	37,0	0,0
7	44,4	0,0
8	51,8	0,0
9	59,2	0,0

Ankkurikestävyys lujitteen / taivutetun osan yläpintaa pitkin (pitkän ajan tilanne):

Ankkurikestävyys lujite/lujite ja lujite/maamateriaali -rajapinnoilla

$$T_{AV_yp} = V_{wI} \cdot \mu_{gg} + V_{w2} \cdot \alpha_I \cdot \tan(\phi'_{pI})$$

Ankkurikestävyys lujitteen / taivutetun osan alapintaa pitkin (pitkän ajan tilanne):

Ankkurikestävyys lujite/maamateriaali -rajapinnalla

$$T_{AV_ap} = \alpha_I \cdot \tan(\phi'_{pI}) \cdot (V_{wI} + V_{w2})$$

Lujitteen / taivutetun osan ankkurikestävyys ja ankkurikestävyysmitoitussarvo (pitkän ajan tilanne):

$$T_{AV_w} = T_{AV_yp} + T_{AV_ap} \qquad T_{AVd_w} = \frac{T_{AV_w}}{\gamma_p}$$

10.3 Lujitteen / taivutettuun osaan mobilisoituvat lujitevoimat (kohdasta 7.3.1)

Yhtälö 6.10a

$$Z_a = \frac{T_{dj_a}}{3}$$

Yhtälö 6.10b

$$Z_b = \frac{T_{dj_b}}{3}$$

10.4 Mitoitusehto

$$Z \leq T_{AVd_w}$$

Taulukko 6. Lujitteen taivutetun osan ankkurikestävyys

Kerros	$T_{Avd,w}^*$	Yhtälö 6.10a			Yhtälö 6.10b		
		Z** kN/m	Varmuus	Tila	Z*** kN/m	Varmuus	Tila
0	4,8	0,3	17,10	OK	4,6	1,04	OK
1	5,6	0,9	6,51	OK	5,1	1,09	OK
2	11,2	1,5	7,62	OK	5,6	1,98	OK
3	16,7	1,5	11,35	OK	5,7	2,95	OK
4	22,3	2,0	11,42	OK	6,1	3,66	OK
5	27,9	2,5	11,30	OK	6,6	4,25	OK
6	33,5	3,0	11,06	OK	7,1	4,74	OK
7	39,1	3,6	10,75	OK	7,6	5,15	OK
8	44,7	4,3	10,37	OK	8,2	5,46	OK

* pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0

** 6.10a (pysyvä kuorma 1,35 ja muuttuva kuorma 0)

*** 6.10b (pysyvä kuorma 1,15 ja muuttuva kuorma 1,35)

11. Laskennan yhteenvedo

1. Lähtötiedot

Geometria:

Tukimuurin korkeus	4,0 m
Tukimuurin alapinnan syvyys	0,5 m
Pientareen leveys	2,25 m
Ajokaistan leveys	3,5 m

Parametrit:

	Täyttö 1	Täyttö 2	Pohjamaa
tilavuuspaino [kN/m ³]	20,0	20	20
leikkauskestävyyskulma [°]	35,0	35	30
koheesio kN/m ²	0	0	5
muuttuva liikennekuorma kN/m ²	81	81	-

6. Ulkoinen stabiiliteetti:

	Kanto- kestävyys	Liukumis- kestävyys	Kok. stabiiliteetti (MRT)
alimman lujitteen pituus L [m]	5	4,3	2
lujitteen mitoituslujuus [kN/m]			31

mitoitettava

7.1 + 7.2 Sisäinen stabiiliteetti:

	Lujitevoima T_p [kN/m]		Ankkuri- kestävyys T_{AV} [kN/m]	Lujitteen mitoituslujuus (min) $T_d (K_{FI} \times \gamma_{re})$ [kN/m]	
	6.10a	6.10b		6.10a	6.10b
Syvyys tukimuurin yläpinnasta					
h = 0,5 m	0,8	13,8	36,4	0,8	13,8
h = 1,0 m	2,6	15,3	78,8	2,6	15,3
h = 1,5 m	4,4	16,9	127,1	4,4	16,9
h = 2,0 m	4,4	17,0	181,4	4,4	17,0
h = 2,5 m	5,9	18,3	241,7	5,9	18,3
h = 3,0 m	7,4	19,7	308,0	7,4	19,7
h = 3,5 m	9,1	21,2	380,2	9,1	21,2
h = 4,0 m	10,9	22,8	458,3	10,9	22,8
h = 4,5 m	12,9	24,5	542,4	12,9	24,5
Yhteensä Σ	58	170	2354	58	170

7.3 Kiilan stabiiliteetti:

lujitevoima (6.10a) $\Sigma = 58$ < $\Sigma = 2354$ ok!
lujitevoima (6.10b) $\Sigma = 170$ ok!

10. Täyttökerroksen ympäri taivutettu lujite (wrap-around)

	Kerroksen päällä kulkevan lujitteen pituus [m]	Kerroksen sisällä kulkevan lujitteen pituus [m]	Kerroksen päälle tulevan lujiteosan kokonaispituus [m]
1. kerroksen ympäri	0,3	2,1	2,4
Muiden kuin 1. kerr. ympäri	1	0	1

Tässä esitetyt lujitteen taivutetun osan mitat ovat ehdottomia minimipituuksia. Tosiasiassa kerrosten päälle tulevien lujiteosien kokonaispituudet ovat huomattavasti tätä suurempia!

LIITE 7-A

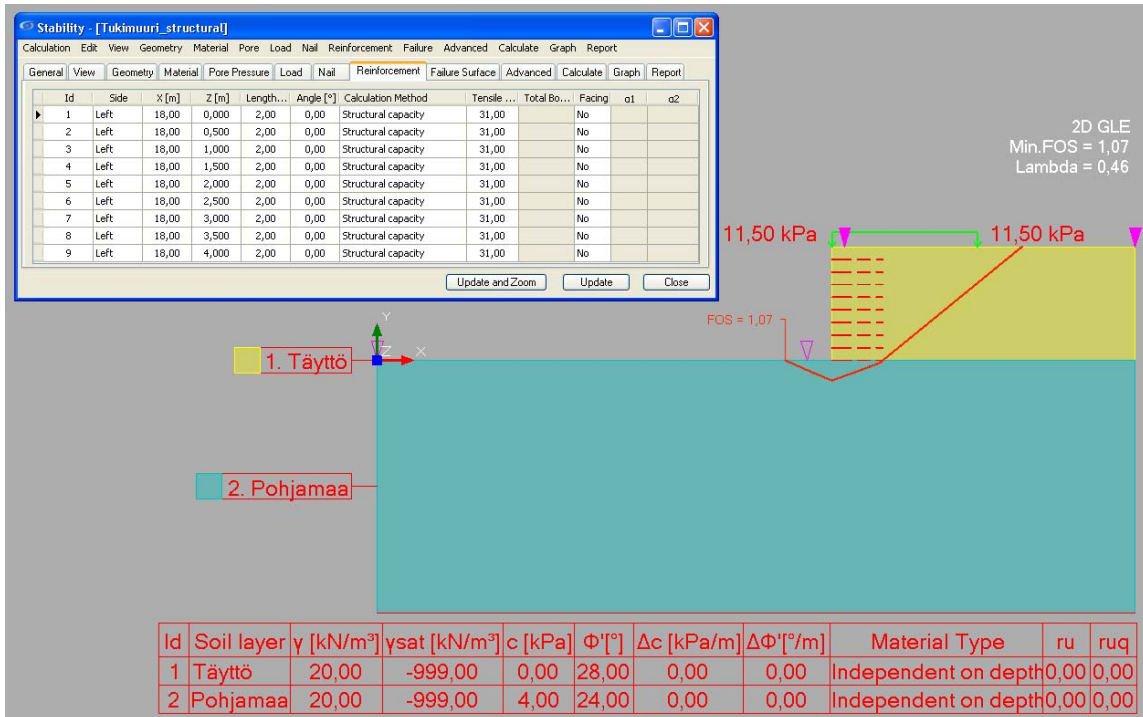
Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut eri tarkasteluvaiheissa ja -tilanteissa

<p>1. Merkinät</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">muuttuva pystykuorma q_1</th> <th style="text-align: center;">muuttuva pystykuorma q_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">täyttö 1</td> <td style="text-align: center;">täyttö 2 (taustatäyttö)</td> </tr> </tbody> </table> <p>Pohjamaa</p>		muuttuva pystykuorma q_1	muuttuva pystykuorma q_2		täyttö 1	täyttö 2 (taustatäyttö)							
	muuttuva pystykuorma q_1	muuttuva pystykuorma q_2											
	täyttö 1	täyttö 2 (taustatäyttö)											
<p>2. Kantokestävyys (DA2*) Pystykuorma (6.10a / 6.10b):</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>γ_Q</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0 / 1,35</td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td style="text-align: center;">1,35 / 1,15</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	γ_Q	0 / 1,35		γ_G	1,35 / 1,15		<p>Anturan pohjan epäkeskisyyks ja l-kantavuuskertoimet</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>γ_Q</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> </tr> </tbody> </table>	γ_Q	0	1,0	γ_G	1,0	1,0
γ_Q	0 / 1,35												
γ_G	1,35 / 1,15												
γ_Q	0	1,0											
γ_G	1,0	1,0											
<p>4. Liukuminen (DA2*) Vaakakuorma (6.10a / 6.10b)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>γ_Q</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0/1,35</td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1,35 / 1,15</td> </tr> </tbody> </table>	γ_Q		0/1,35	γ_G		1,35 / 1,15	<p>Liukumiskestävyys</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>γ_Q</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	γ_Q	0		γ_G	1,0	
γ_Q		0/1,35											
γ_G		1,35 / 1,15											
γ_Q	0												
γ_G	1,0												
<p>5. Kokonaisstabiiteetti (DA3, kun liukupinta lujitteiden ulkopuolella) MRT:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>γ_Q</td> <td style="text-align: center;">1,15</td> <td style="text-align: center;">1,15</td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> </tr> </tbody> </table>	γ_Q	1,15	1,15	γ_G	1,0	1,0	<p>Ominaiskuormat</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>γ_Q</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> </tr> </tbody> </table>	γ_Q	1,0	1,0	γ_G	1,0	1,0
γ_Q	1,15	1,15											
γ_G	1,0	1,0											
γ_Q	1,0	1,0											
γ_G	1,0	1,0											

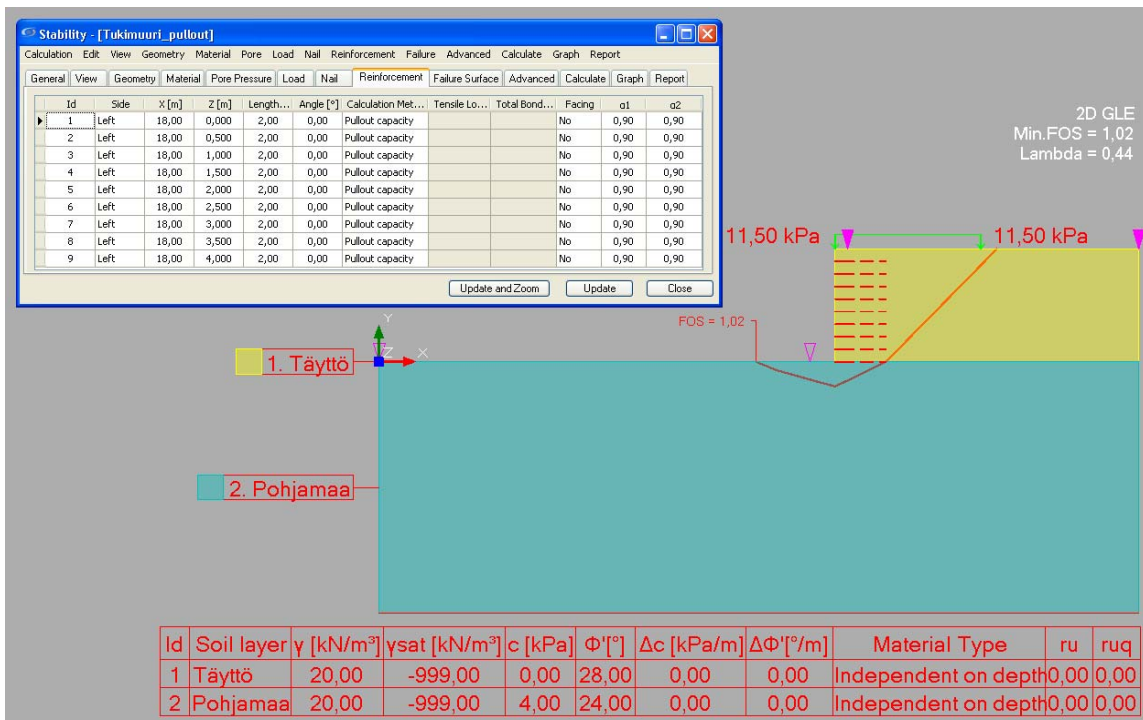
<p>6. Sisäinen stabiliteetti (DA2*) Lujitevoima lujitekerroksittain (6.10a / 6.10b)</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%;">γ_Q</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">0 / 1,35</td> <td style="width: 55%;"></td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td style="text-align: center;">1,35 / 1,15</td> <td></td> </tr> </table>	γ_Q	0 / 1,35		γ_G	1,35 / 1,15		<p>Taustatäytön aiheuttama pystykuorman epäkeskisyys</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%;">γ_Q</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 55%; text-align: center;">1,0</td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1,0</td> </tr> </table>	γ_Q		1,0	γ_G		1,0
γ_Q	0 / 1,35												
γ_G	1,35 / 1,15												
γ_Q		1,0											
γ_G		1,0											
<p>Ankurikapasiteetti lujitekerroksittain, $\gamma_s = 1,1$</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%;">γ_Q</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">0</td> <td style="width: 55%;"></td> </tr> <tr> <td>γ_G</td> <td style="text-align: center;">1,0</td> <td></td> </tr> </table>	γ_Q	0		γ_G	1,0								
γ_Q	0												
γ_G	1,0												
<p>6.3 Kiilan stabiliteetti (DA2*) Lujitevoima γ_G ja γ_Q kuten yllä $\gamma_{re} = 1,0$</p>	<p>Ankurikapasiteetti γ_G ja γ_Q kuten yllä $\gamma_s = 1,1$</p>												
<p>9. Täyttökerroksen ympäri taivutettu lujite (DA2*) Lujitevoima lujitekerroksittain (6.10a / 6.10b) γ_G ja γ_Q kuten kohdassa 6.</p>	<p>Taustatäytön aiheuttama pystykuorman epäkeskisyys γ_G ja γ_Q kuten kohdassa 6.</p>												
<p>Ankurikapasiteetti lujitekerroksittain γ_G ja γ_Q kuten kohdassa 6.</p>													

LIITE 7-B

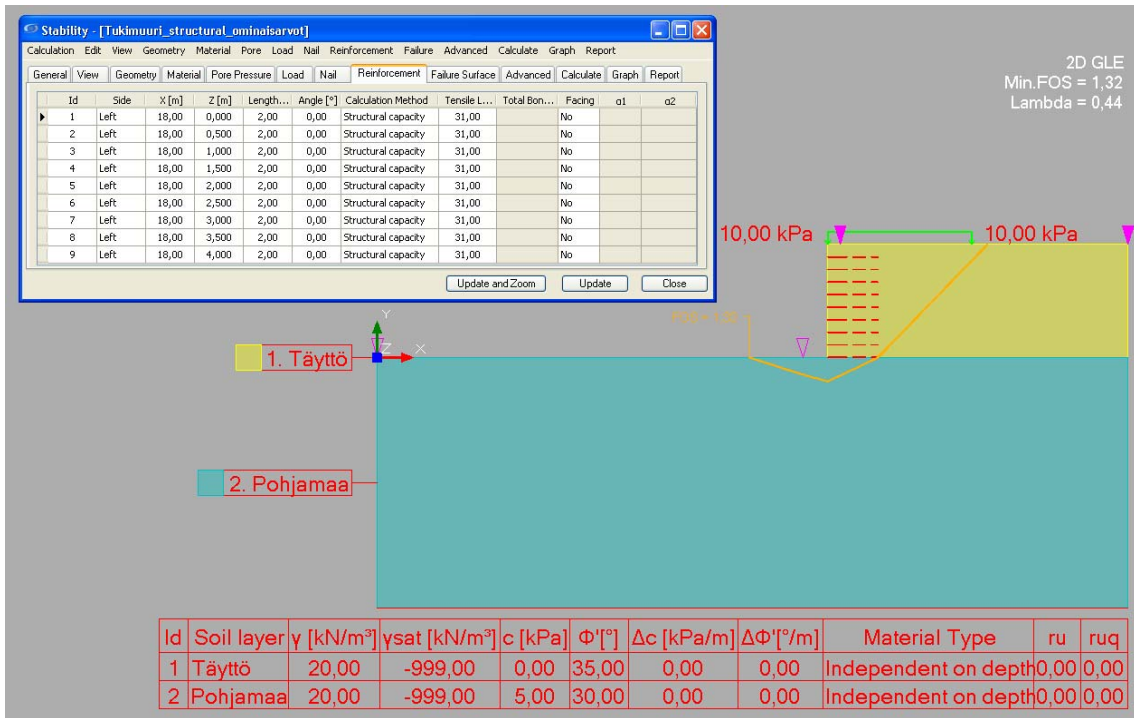
Kokonaisstabiileetti



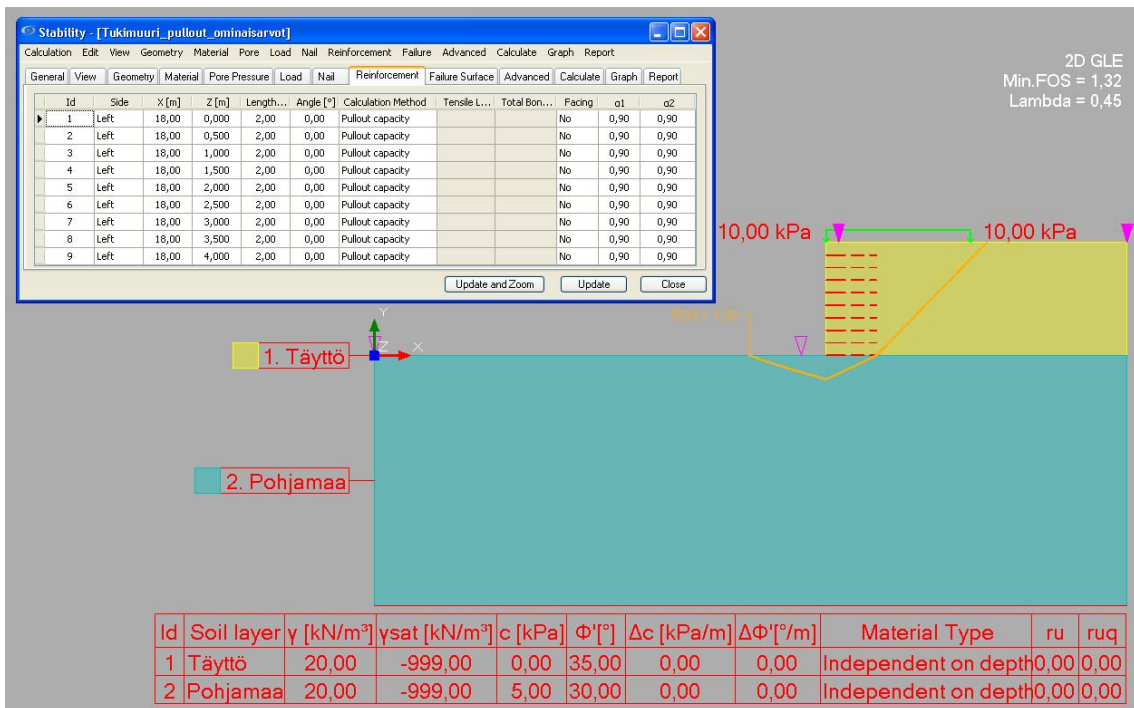
Kuva 1. DA3, Murtorajatila, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



Kuva 2. DA3, Murtorajatila, lujitteen ankkurointikapasiteetti (GLE)



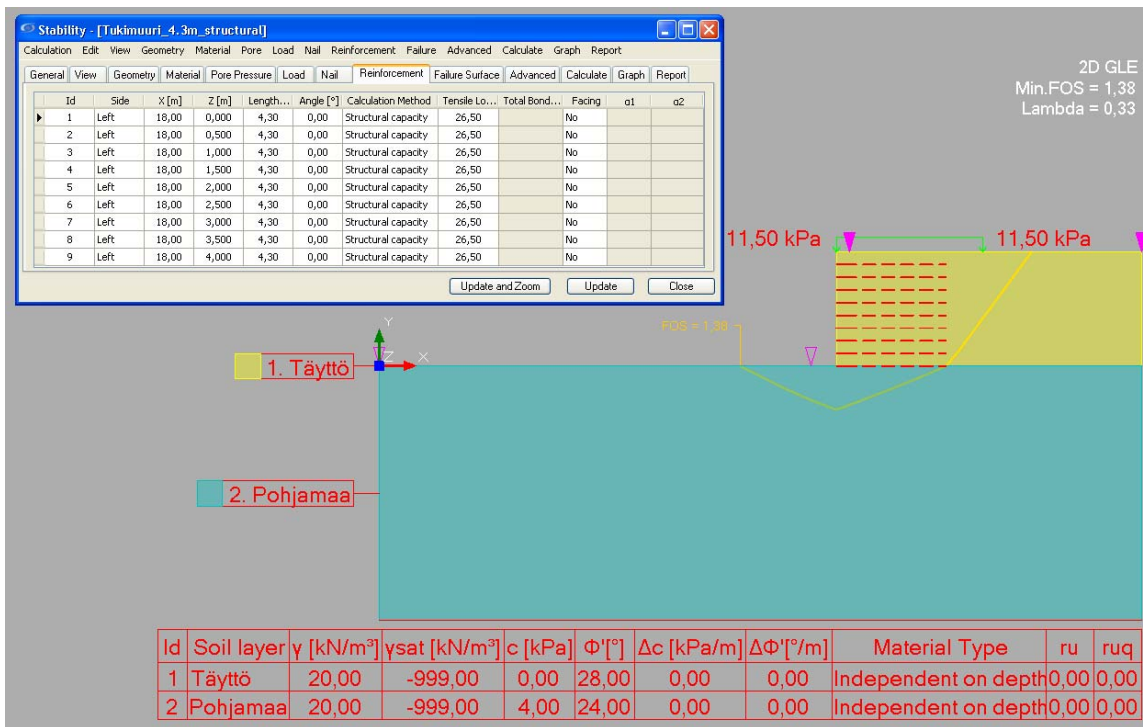
Kuva 3. Ominaisarvolaskenta, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



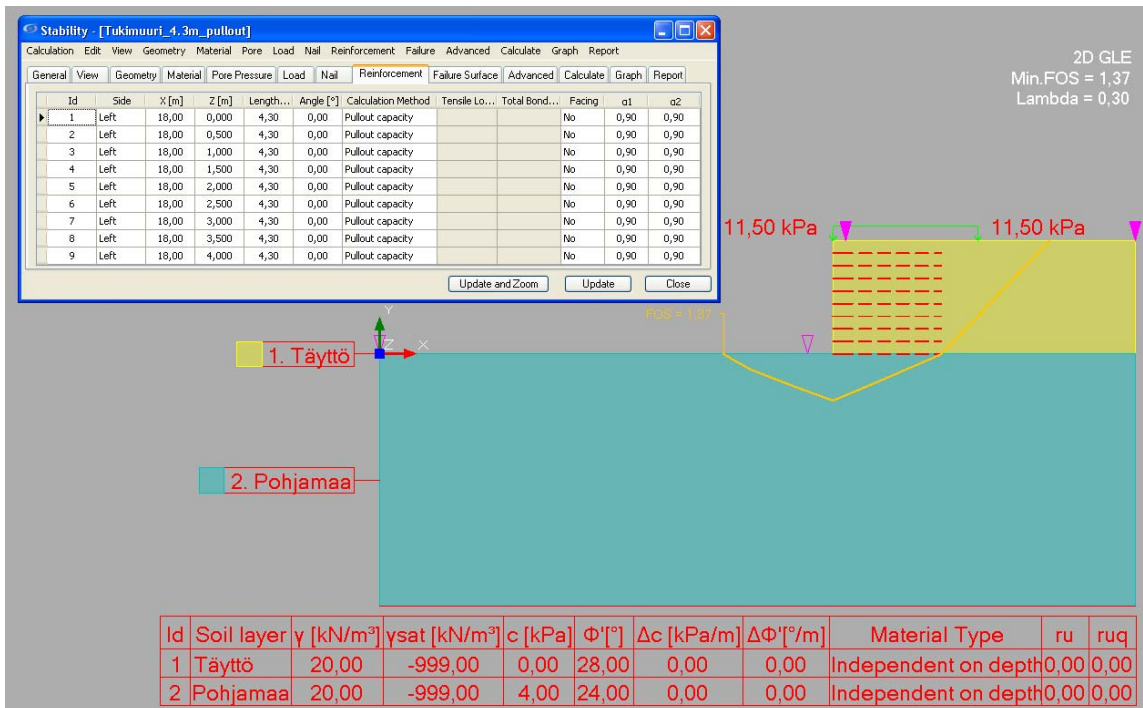
Kuva 4. Ominaisarvolaskenta, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)

LIITE 7-C

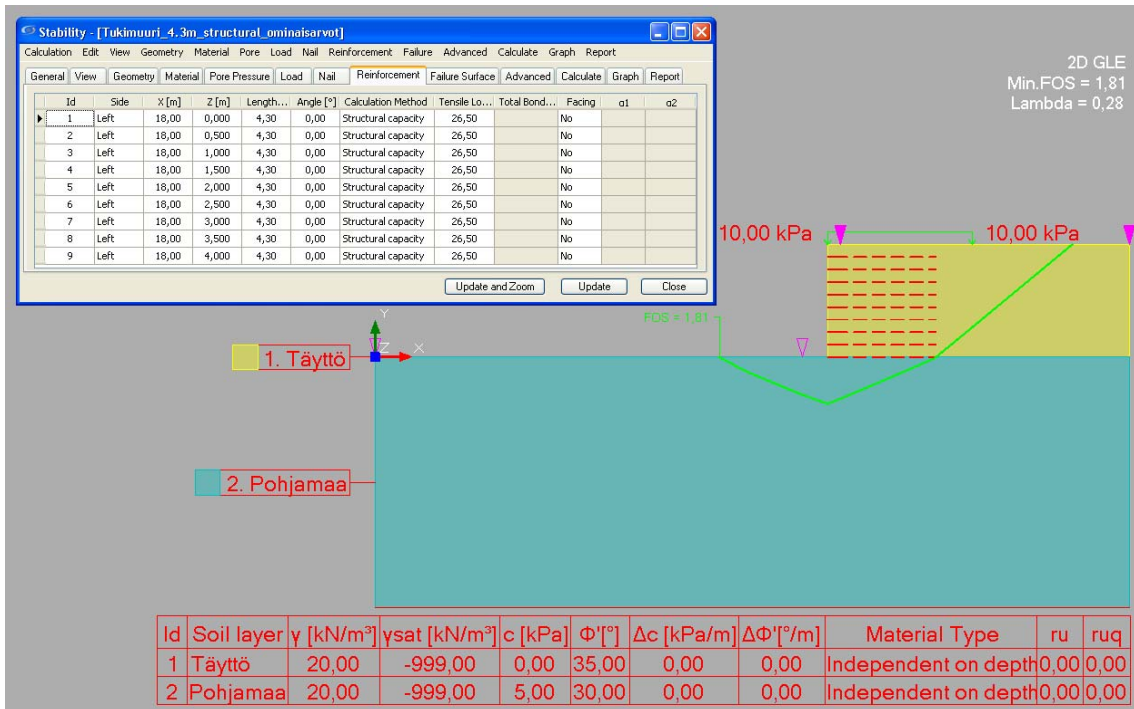
Mitoituksen perusteella suunnitellun rakenteen kokonaisstabiilitetti



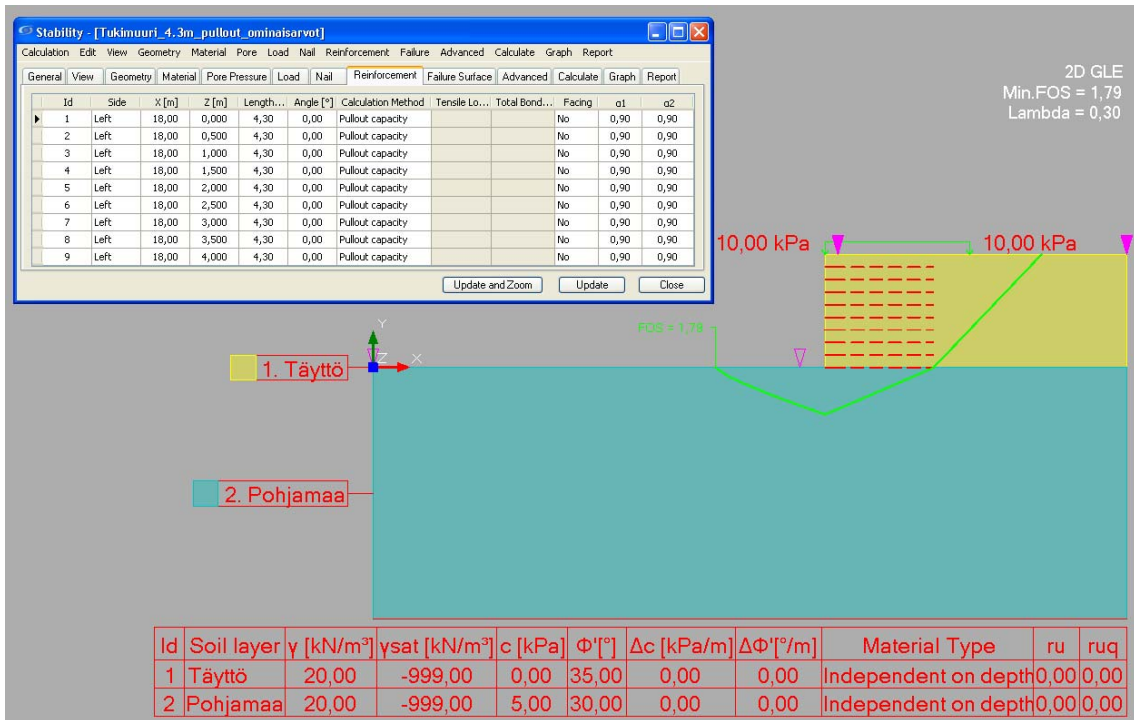
Kuva 1. DA3, Murtorajatila, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



Kuva 2. DA3, Murtorajatila, lujitteen ankkurointikapasiteetti (GLE)

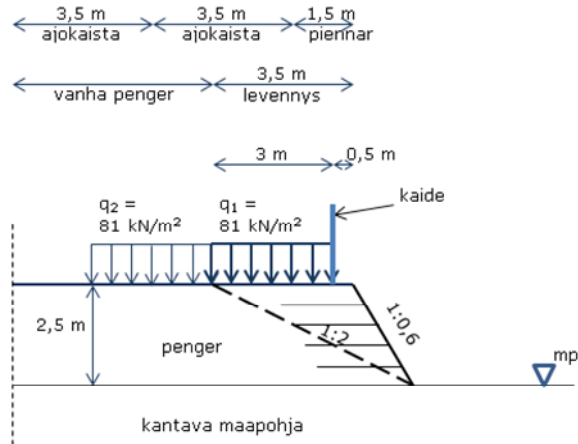


Kuva 3. Ominaisarvolaskenta, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



Kuva 4. Ominaisarvolaskenta, lujitteen ankkurointikapasiteetti (GLE)

LIITE 8 - Geolujitettu jyrkkä tien levennys, esimerkkilaskelma



Pohjavesi on syvällä

Kuva 1 Esimerkkirakenne

1. Esimerkkirakenteen lähtötiedot

1.1 Geometria ja maaparametrit

Penkereen korkeus:	$H_m = 2.5 \text{ m}$	Alimman geolujitteen perustamissyvyys maan pinnasta:	$D = 0 \text{ m}$
Pientareen leveys	$L_{piennar} = 1.5 \text{ m}$	Lujiteväli	$S_v = 0.5 \text{ m}$
Ajokaistan leveys	$L_{kaista} = 3.5 \text{ m}$	Lujitekerrosten määrä	$lj = \frac{(H_m + D)}{S_v} = 5 \quad j = 0..lj - 1$
Luiskan kaltevuus 1:n	$n = 0.6$		

Taulukko 1. Täyttökerrosten ja maapohjan parametrit

Maa-kerros nro	Maalaji	Tilavuuspaino	Leikkauskestävyyss-kulma (huippu)	Koheesio	Maalajin ja lujitteen välisen liukumis-/ulosvetovastuksen korjauskertoimen: leikk.kest.kulma/koheesio
i		γ_i kN/m ³	ϕ_{pi} °	c_i kN/m ²	α_i / α_{ci} -
1	Lujitettu täyttö	20	35	0	0,9 / -
2	Taustatäyttö	21	37	0	0,9 / -
3	Pohjamaa	20	30	5	0,8 / 0,8

1.2 Eurokoodin soveltamisohjeen NCCI7:n LM1 mukaiset liikennekuormat (NCCI7, s.33)

Muuttuva pystykuorma lujitetun blokin kohdalla: $q_1 = 81 \text{ kPa}$

Muuttuva pystykuorma blokin takana: $q_2 = 81 \text{ kPa}$

Tässä mitoitus tehdään olettaen muuttuvan pystykuorman olevan 81 kPa levennyksen koko yläpinnan alueella!

1.3 Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut (STR/GEO), mitoituslata DA2*, NCCI 7, taulukko A.3a(FI)

	<u>NCCI 7:</u> <u>Yhtälo 6.10a</u>	<u>NCCI 7:</u> <u>Yhtälo 6.10b</u>
Pysyvä kuorma:	$\gamma_{G_a} = 1.35$	$\gamma_{G_b} = 1.15$
Määrävä muuttuva kuorma (tieliikennekuorma):	$\gamma_{Q_a} = 0$	$\gamma_{Q_b} = 1.35$
Luotettavuusluokka RC2 => Kuormakerroin	$K_{FI} = 1$	

1.4 Maaparametrien osavarmuusluvut (STR/GEO), NCCI7, taulukko A.4 (FI)

	<u>Sarja M1 (DA2*)</u>
Leikkauskestävyyss-kulma:	$\gamma_{\phi'} = 1.0$
Tehokas koheesio:	$\gamma_{c'} = 1.0$
Suljettu leikkauslujuus:	$\gamma_{cu} = 1.0$
Tilavuuspaino:	$\gamma_{\gamma} = 1.0$

1.5 Geolujitteiden osavarmuusluvut (NCCI 7)

Lujitteen materiaalikerroin:	$\gamma_{re} = 1.0$
<u>Lujitteen ominaislujuus määritetään mitoituslujuudesta ohjeen kohdan 4.9 mukaisesti.</u>	
Lujitteen liukumiskestävyys:	$\gamma_s = 1.1$
Lujitteen ulosvetovastus (ankkuroituminen):	$\gamma_p = 1.1$

1.6 Aktiivimaanpainekerroin (NCCI7, liite2, kuva C.1.1)

Täyttö: $K_{a1} = 0.24$ Taustatäyttö: $K_{a2} = 0.23$

Aktiivimaanpainekerroin voidaan myös määrittää Coulombin kaavalla, kuten Liitteen 4 esimerkkilaskelman "Geolujitettu maanvarainen penger" kohdassa 1.8.2 on tehty.

1.7 Mitoitusikä

Tiepenkereen mitoitusikä on 100 v.

2. Kantokestävyystarkastelu, DA2*

Kantokestävyystarkastelu tehdään kuten liitteen 7 "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa 2.

Lujitteen vaadittu pituus kantokestävyystarkastelun perusteella $L_k = 4.3 \text{ m}$

3. Liukuminen luiskan alapintaa pitkin, DA2*

Liukumiskestävyystarkastelu tehdään kuten liitteen 7 "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa 4.

Vaadittu lujitepituus liukumiskestävyystarkastelun perusteella $L_s = 3.9 \text{ m}$

4. Kokonaisstabiileetti, DA3

Lujitteen mitoituslujuus: $T_{ro} = 31 \frac{kN}{m}$

Lujitteen pituus levennyksen
alaosassa murtorajatilassa: $L_{LP} = 2.0 \text{ m}$

Levennyksen mitoituksen jälkeen (kohdat 1-10) tehdään tarvittaessa liukupintatarkastelu, jossa tarkistetaan, että mitoituksessa saatu lujitteen mitoituslujuus on riittävä kokonaisstabiileetin kannalta (= vaarallisin liukupinta kiertää lujitetun blokin ali tai lujitteilla on riittävä kapasiteetti mikäli liukupinta kulkee lujiteblokin läpi).

5. Yhteenveto ulkoisen stabiileetin tarkasteluista

Mitoittavin lujitepituus (kantavuus-, liukumis- ja kokonaisstabiileettitarkastelusta):

Kantavuustarkastelu: $L_k = 4.3 \text{ m}$

Liukumistarkastelu: $L_s = 3.9 \text{ m}$

Kokonaisstabiileetti: $L_{LP} = 2 \text{ m}$

Mitoittavin lujitepituus: **$L = 4.3 \text{ m}$**

6. Sisäisen stabiileetti

Sisäisen stabiileetin tarkastelu tehdään olettaen levennyksen luiska pystysuoraksi, jolloin mitoitus voidaan tehdä tukimuurin kiilamenetelmällä. Mitoituksen lopuksi tarkastelussa määritetyt lujitepitouksia kasvatetaan luiskan syvyyden ja kaltevuuden suhteessa.

6.1 Lujitevoima tasan jakaantuneella kuormalla

Sisäisen stabiileetin tarkastelu jyrkälle levennykselle tasan jakaantuneella kuormalla tehdään pääosiltaan kuten liitteen 7 "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa 7.

6.1.1 Lujitevoima lujitekerroksittain

Lujitteen pituutta L_j muutetaan, kunnes mitoitusehto lujitekerrokselle täyttyy:

$$T_{AVd} \geq T_t$$

Taulukko 2. Lujitepituus kerroksittain

L_j [m]
2,3
1,6
1,6
1,7
1,9

Lujitteen syvyys tukimuurin yläpinnasta:

$$h_j = (j + 1) \cdot S_v$$

Maanpaineen pysty- ja vaakaresultantin sijainti, ominaisarvolaskenta
(pysyvä kuorma ja muuttuva epäedullinen kuorma 1.0)

Taustatäytön päällä vaikuttavasta kuormasta aiheutuva maanpaine

$$p_q = K_{a2} \cdot q_2 = 18.63 \text{ kPa}$$

Maanpaine laskettavan kerroksen ylä- ja alaosassa

$$p_y = p_q = 18.63 \text{ kPa}$$

$$p_{aj} = K_{a2} \cdot (\gamma \cdot z \cdot h + q_2)$$

Maanpaineen resultantti muuttuvasta kuormasta:

$$R_{qj} = p_q \cdot h$$

Maanpaineen resultantti pysyvistä kuormasta:

$$R_{G2j} = \frac{1}{2} \cdot (p_{aj} - p_y) \cdot h$$

Resultantti ja sen etäisyys laskentatasosta:

$$R_{Hj} = R_{qj} + R_{G2j} \quad e_{Hj} = \frac{\frac{1}{2} \cdot R_{qj} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot R_{G2j} \cdot h}{R_{Hj}}$$

Lujitevoiman laskenta kerroksittain (DA2*), julkisivuun kerroksesta j kohdistuva maanpaine

Oletetaan julkisivu osittain deformoituvaksi.

Kuorman tarkastelu kohta kerroksen keskellä:

$$H_{fj} = h_j - 0.5 \cdot S_v$$

Julkisivun korrelaatiokerroimet:

$$\eta_q = 1.0 \quad \eta_g = \text{syvyydestä riippuva}$$

Maanpaino kerroksittain

$$G_j = \gamma_I \cdot L_i \cdot H_j$$

Yhtälö 6.10a

(pysyvä kuorma 1.35 ja muuttuva kuorma 0)

Pystykuorma (maanpaino):

$$V_a = \eta_g \cdot \gamma \cdot G_a \cdot G_j$$

Pystykuorman epäkeskisyyks:

$$e_{s_a} = \frac{R_{Hj} \cdot e_{Hj}}{G_j}$$

Pystyjännitys:

$$\sigma_{va} = \frac{V_a}{L_i - 2e_{s_a}}$$

Lujitevoima:

$$T_{a_t} = K_{aI} \cdot \sigma_{va} \cdot S_v$$

Yhtälö 6.10b

(pysyvä kuorma 1.15 ja muuttuva kuorma 1.35)

Pystykuorma (maanpaino ja liikennekuorma):

$$V_b = \eta_g \cdot \gamma \cdot G_b \cdot G_j + \eta_q \cdot \gamma \cdot Q_b \cdot q_I \cdot L_i$$

$$e_{s_b} = \frac{R_{Hj} \cdot e_{Hj}}{G_j + q_I \cdot L_i}$$

$$\sigma_{vb} = \frac{V_b}{L_i - 2e_{s_b}}$$

$$T_{b_t} = K_{aI} \cdot \sigma_{vb} \cdot S_v$$

Liukupinnan ja pystysuunnan välinen kulma: $\beta = 45 \text{ deg} - \frac{\phi' \cdot pI}{2}$ $\beta = 27.5^\circ$

Ankkurikestävyden ominaisarvo (pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0)

Ankkuroivan vyöhykkeen pituus passiivialueella:

$$L_e = L_i - \tan\left(45^\circ - \frac{\phi' \cdot pI}{2}\right) \cdot (H_m - h) \quad T_{AVj_t} = \frac{l_j \mu_t \cdot L_e \cdot \gamma \cdot l \cdot h}{\text{kaista}}$$

Taulukko 4. Vyöhykkeet kiilastabiliteettilaskennassa tasaisella liikennekuormalla.

Lujitteen syvyys penkereen yläpinnasta	Aktiivi-vyöhykkeen leveys	Min. ankkuripituus	Ankkuroivan vyöhykkeen pituus passiivialueella
h m	l_a m	l_{ank} m	L_e m
0,5	1,0	1,1	1,3
1	0,8	0,7	0,8
1,5	0,5	0,5	1,1
2	0,3	0,6	1,4
2,5	0,0	0,6	1,9

Taulukko 3. Kuormat, jännitykset ja lujitevoimat lujitekerroksittain

Lujitteen syvyys penkereen yläpinnasta	Kuorman vaikutus kohtakerroksen keskeillä	η_g	Lujitteeseen vaikuttava pystykuorma 6.10a/6.10b		Epäkeskisyyks 6.10a/6.10b		Kerroksen pystyjännitys 6.10a/6.10b		Pystykuorman aiheuttama lujitevoima 6.10a/6.10b	
			V_a kN/m	V_b kN/m	e_{s_a} m	e_{s_b} m	σ_{va} kPa	σ_{vb} kPa	T_a kN/m	T_b kN/m
0,5	0,25	1,0	15,5	264,7	0,21	0,01	8,3	116,3	1,0	14,0
1,0	0,75	1,0	32,4	202,6	0,42	0,07	42,8	138,0	5,1	16,6
1,5	1,25	0,7	37,8	207,2	0,59	0,14	90,8	156,8	10,9	18,8
2,0	1,75	0,7	56,2	233,8	0,73	0,22	243,3	186,0	29,2	22,3
2,5	2,25	0,7	80,8	276,6	0,83	0,30	331,2	211,4	39,7	25,4

6.1.2 Lujitteen ankkurikestävyys kerroksittain

Ankkurikestävyttä määrittäessä otetaan huomioon vain pysyvät kuormat (liikennekuorma on muuttuva edullinen kuorma, joten sitä ei huomioida)

Tarkasteltava kaista penkereen pituussuunnassa

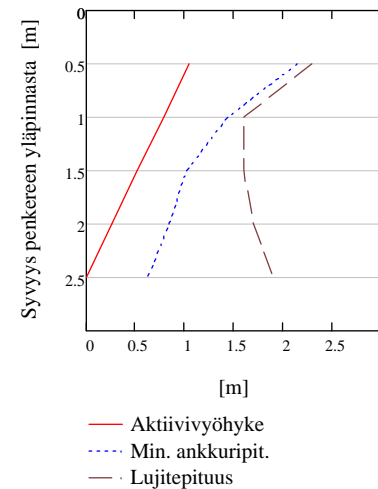
$$\text{kaista} = 1m$$

Lujitteen ylä- ja alapinnan pituus penkereen leveysuunnassa 1 m kaistaa kohden, jatkuva rakenne:

$$l_j = 2 \cdot \text{kaista} = 2m$$

Lujitteen ja täytön välinen kitkeroin:

$$\mu_t = \alpha_I \cdot \tan(\phi' \cdot pI) \quad \mu_t = 0.63$$



Kuva 2. Vyöhykkeet kiilastabiliteettilaskennassa tasaisella liikennekuormalla.

Ankkurikestävyysmitoitussarvo, kun : $\gamma_p = 1.1$ $T_{AVdj_t} = \frac{T_{AVj_t}}{\gamma_p}$

Lujitteen ankkurikestävyys \geq lujitteen vastaanottama lujitevoima (kohdasta 6.1.1)

Jos $T_{AVdj_t} \geq T_{a_t} \wedge T_{b_t}$ => ankkurivoima on riittävä

Taulukko 5. Lujitteiden ankkurikestävyys kerroksittain tasaisella liikennekuormalla

Lujitteen syvyys penkereen yläpinnasta h m	Lujitteen ankkurikestävyys T_{AVej} kN/m	Lujitteen vastaanottama lujitevoima (yhtälö 6.10a) T_{a_t} kN/m	Lujitteen vastaanottama lujitevoima (yhtälö 6.10b) T_{b_t} kN/m	Ankkurivoiman riittävyys
0,5	14,4	1,0	14,0	OK
1	18,8	5,1	16,6	OK
1,5	37,1	10,9	18,8	OK
2	66,0	29,2	22,3	OK
2,5	108,9	39,7	25,4	OK

6.1.3 Kiilan stabiileetti

Lujitteen mitoituslujuus

Yhtälö 6.10a

$$T_{dj_t_a} \geq T_{a_t} \cdot K_{FI}^{\gamma_{re}} = T_{a_t} \cdot 1.0 \cdot 1.0 = T_{a_t}$$

$$T_{da_t} = \sum_j (T_{a_t_j} \cdot K_{FI}^{\gamma_{re}})$$

$$T_{da_t} = 86 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b

$$T_{dj_t_b} \geq T_{b_t} \cdot K_{FI}^{\gamma_{re}} = T_{b_t} \cdot 1.0 \cdot 1.0 = T_{b_t}$$

$$T_{db_t} = \sum_j (T_{b_t_j} \cdot K_{FI}^{\gamma_{re}})$$

$$T_{db_t} = 97 \frac{kN}{m}$$

Ankkurikestävyysmitoitussarvo

(pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0)

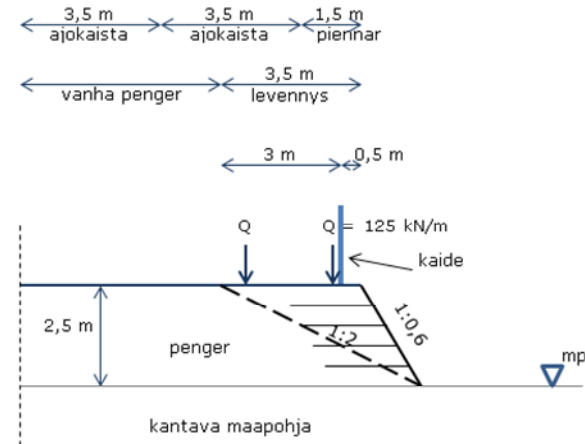
$$T_{AVdj_t} = \sum_j T_{AVdj_t_j} = 245 \frac{kN}{m} \geq T_{da_t} = 86 \frac{kN}{m} \quad \text{ja} \quad T_{db_t} = 97 \frac{kN}{m}$$

Ankkurikapasiteetti = "OK"

Lujitepituudet luiskatulla penkereellä

2.3	$L_t = L_i + h \cdot n \Rightarrow$	2.6
1.6		2.2
1.6		2.5
1.7		2.9
1.9		3.4

6.2 Lujitevoima puolikkailla telikuormilla



Kuva 3. Esimerkkirakenne kuormittuna puolikkailla telikuormilla.

6.2.1 Lujitevoima lujitekerroksittain

Taulukko 6. Lujitepituus kerroksittain

L_i [m]
2,8
1,7
1,1
0,8
0,8

Muuttuvat pystykuormat lujitetun blokin kohdalla:

$$Q = 125 \frac{kN}{m}$$

Maanpaineen pysty- ja vaakaresultantin sijainti, ominaisarvolaskenta (pysyvä kuorma 1.0)

Maanpaine laskettavan kerroksen ylä- ja alaosassa

$$p_y = 0 \text{ kPa}$$

$$p_{aj} = K_a \cdot \gamma \cdot z \cdot h$$

Maanpaineen resultantti

$$R_{Hj} = \frac{1}{2} \cdot (p_{aj} - p_y) \cdot h$$

Resultantin etäisyys laskentatasosta

$$e_{Hj} = \frac{\frac{1}{3} \cdot R_{Hj} \cdot h}{R_{Hj}}$$

Lujitevoiman laskenta kerroksittain (DA2*), julkisivuun kerroksesta i kohdistuva maanpaine

Maanpaine

$$G_j = \gamma_I \cdot L_i \cdot H_j$$

Yhtälö 6.10a

(pysyvä kuorma 1.35 ja muuttuva kuorma 0)

Yhtälö 6.10b

(pysyvä kuorma 1.15 ja muuttuva kuorma 1.35)

Pystykuorma (maanpaine):

$$V_a = \eta_g \cdot \gamma \cdot G_{a,i} \cdot G_j$$

$$V_b = \eta_g \cdot \gamma \cdot G_{b,i} \cdot G_j$$

Pystykuorman epäkeskisyyys:

$$e_s = \frac{R_{Hf} \cdot e_{Hj}}{G_j}$$

Pystyjännitys:

$$\sigma_v = \frac{V}{L_i - 2e_s}$$

Lujitevoima:

$$T_{p,r} = K_{a1} \cdot \sigma_v \cdot S_v$$

Nauhakuorman aiheuttama lujitevoima

Nauhakuorman kosketuspinta:

$$b = 0.4 \text{ m}$$

Nauhakuormien etäisyydet:

$$d_1 = 0.7 \text{ m} \quad d_2 = 2.7 \text{ m}$$

Mikäli $H_f \leq 2 \cdot d - b$ on nauhakuorman geometrinen tekijä

$$D = H_f + b$$

$$\text{muutoin } D = \frac{H_f + b}{2} + d$$

Nauhakuorma huomioidaan kuormittavana voimana, mikäli se sijoittuu kiilaliukupinnan aktiivipuolelle.

Nauhakuormat:

$$T_s = \gamma \cdot Q \cdot K_{a1} \cdot S_v \cdot \frac{Q}{D}$$

Lujitevoimat:

$$T_{a,r} = T_{pa,r}$$

$$T_{b,r} = T_{pb,r} + T_{s1} + T_{s2}$$

Taulukko 7. Pystykuormat, -jännitykset ja kuorman aiheuttamat lujitevoimat lujitekerroksittain.

Lujitteen syvyys penkereen yläpinnasta	Kuorman vaikutus kohta kerroksen keskeällä	η_g	Lujitteeseen vaikuttava pystykuorma 6.10a/6.10b		Epäkeskisyydet 6.10a/6.10b		Kerroksen pystyjännitys 6.10a/6.10b		Pystykuorman aiheuttama lujitevoima 6.10a/6.10b	
			V_a kN/m	V_b kN/m	$e_{s,a}$ m	$e_{s,b}$ m	σ_{va} kPa	σ_{vb} kPa	$T_{pa,r}$ kN/m	$T_{pb,r}$ kN/m
0,5	0,25	1,0	18,9	16,1	0,01	0,01	6,8	5,8	0,8	0,7
1,0	0,75	1,0	34,4	29,3	0,03	0,03	21,0	17,9	2,5	2,1
1,5	1,25	0,7	26,0	22,1	0,10	0,10	28,8	24,5	3,5	2,9
2,0	1,75	0,7	26,5	22,5	0,23	0,23	77,8	66,3	9,3	8,0
2,5	2,25	0,7	34,0	29,0	0,35	0,35	336,1	286,3	40,3	34,4

Taulukko 8. Nauhakuormat, nauhakuormien aiheuttamat lujitevoimat ja kokonaislujitevoimat lujitekerroksittain.

Lujitteen syvyys penkereen yläpinnasta	Kuorman vaikutus kohta kerroksen keskeällä	Nauhakuormien geometriset tekijät		Nauhakuormien aiheuttamat lujitevoimat		Lujitteen vastaanottama lujitevoima 6.10a/6.10b	
		D_1 m	D_2 m	T_{s1} kN/m	T_{s2} kN/m	$T_{a,r}$ kN/m	$T_{b,r}$ kN/m
0,5	0,25	0,7	0,7	31,2	0,0	0,8	31,8
1,0	0,75	1,2	1,2	17,6	0,0	2,5	19,8
1,5	1,25	1,5	1,7	13,3	0,0	3,5	16,2
2,0	1,75	1,8	2,2	11,4	0,0	9,3	19,4
2,5	2,25	2,0	2,7	10,0	0,0	40,3	44,4

6.2.2 Lujitteen ankkurikestävyys kerroksittain

Ankkurikestävyttä määrittäessä otetaan tässä tapauksessa pysyvien kuormien lisäksi huomioon myös ankkurikestävyttä lisäävä akselikuorma (nauhakuorma T_{s2}), sillä kuormittavaa pyöräkuormaa ei voi olla ilman myös kapasiteettia lisäävää pyöräkuormaa (normaalisti liikennekuorma olisi muuttuva edullinen kuorma, joten sitä ei huomioitaisi)

Ankkurikestävyden ominaisarvo

(pysyvä kuorma 1.0 ja **tässä tapauksessa** muuttuva kuorma 1.0)

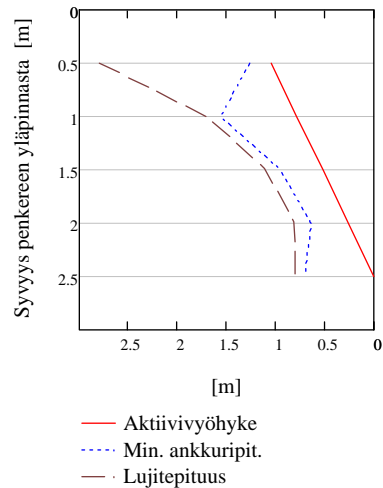
Ankkuroivan vyöhykkeen pituus passiivialueella:

$$L_e = L_i - \tan\left(45\text{deg} - \frac{\phi^* pL}{2}\right) \cdot (H_m - h)$$

$$T_{AVj,r} = \frac{I_j \mu_t}{\text{kaista}} \left[L_e \cdot (\gamma_I \cdot h) + K_{a1} \cdot S_v \cdot \frac{Q}{D_2} \right]$$

Taulukko 9. Vyöhykkeet kiilastabiiteettilaskennassa puolikkailla telikuormilla.

Lujitteen syvyys penkereen yläpinnasta	Aktiivi-vyöhykkeen leveys	Min. ankkuripituus	Ankkuroivan vyöhykkeen pituus passiivialueella
h m	l_a m	l_{ank} m	L_e m
0,5	1,0	0,2	1,8
1	0,8	0,8	0,9
1,5	0,5	0,4	0,6
2	0,3	0,4	0,5
2,5	0,0	0,7	0,8



Kuva 4. Vyöhykkeet kiilastabiiteettilaskennassa puolikkailla telikuormilla.

Ankkurikestävyden mitoitusarvo, kun: $\gamma_p = 1.1$ $T_{AVdj_r} = \frac{T_{AVj_r}}{\gamma_p}$

Lujitteen ankkurikestävyys \geq lujitteen vastaanottama lujitevoima (kohdasta 6.2.1)

Jos $T_{AVdj_r} \geq T_{a_r} \wedge T_{b_r}$ \Rightarrow ankkurivoima on riittävä

Taulukko 10. Lujitteiden ankkurikestävyys kerroksittain puolikkailla telikuormilla.

Lujitteen syvyys penkereen yläpinnasta	Lujitteen ankkurikestävyys	Lujitteen vastaanottama lujitevoima (yhtälö 6.10a)	Lujitteen vastaanottama lujitevoima (yhtälö 6.10b)	Ankkurivoiman riittävyys
h m	T_{AVdj} kN/m	T_{a_t} kN/m	T_{b_t} kN/m	
0,5	46,6	0,8	31,8	OK
1	21,1	2,5	19,8	OK
1,5	19,9	3,5	16,2	OK
2	24,7	9,3	19,4	OK
2,5	45,8	40,3	44,4	OK

6.2.3 Kiilan stabiiteetti

Lujitteen mitoituslujuus

Yhtälö 6.10a

$$T_{djr_a} \geq T_{a_r} \cdot K_{FF}^{\gamma_{re}} = T_{a_r} \cdot 1.0 \cdot 1.0 = T_{a_r}$$

$$T_{da_r} = \sum_j (T_{a_r_j} \cdot K_{FF}^{\gamma_{re}})$$

$$T_{da_r} = 56 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b

$$T_{djr_b} \geq T_{b_r} \cdot K_{FF}^{\gamma_{re}} = T_{b_r} \cdot 1.0 \cdot 1.0 = T_{b_r}$$

$$T_{db_r} = \sum_j (T_{b_r_j} \cdot K_{FF}^{\gamma_{re}})$$

$$T_{db_r} = 132 \frac{kN}{m}$$

Ankkurikestävyden mitoitusarvo

(pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0)

$$T_{AVdj_r} = \sum_j T_{AVdj_r_j} = 158 \frac{kN}{m} \geq T_{da_r} = 56 \frac{kN}{m}$$

$$T_{db_r} = 132 \frac{kN}{m}$$

Ankkurikapiteetti = "OK"

Lujitepituudet luiskatulla penkereellä

$$L_i = \begin{matrix} 2.8 \\ 1.7 \\ 1.1 \\ 0.8 \\ 0.8 \end{matrix} m \quad L_r = L_i + h \cdot n \quad \Rightarrow \quad L_r = \begin{matrix} 3.1 \\ 2.3 \\ 2 \\ 2 \\ 2.3 \end{matrix} m$$

7. Kokonaisstabiileetti, lujitteen mitoituslujuuden tarkistus

Mikäli sisäisen stabiileetin mitoituksessa (kohta 6) määritetty lujitteen mitoituslujuus on muurin alaosassa pienempi kuin kokonaisstabiileetin laskennassa (kohta 4) käytetty lujitevoima, tehdään stabiileettitarkastelu uudelleen tarkemmin käyttäen sisäisen stabiileetin mitoituksessa (kohta 6) määritettyjä mitoituslujuuksia tai mitoituslujuuksien perusteella valittuja vahvisteen mitoituslujuuksia ($> T_d$). Mikäli vaarallisin (vaatimukset alittava) liukupinta ohjautuu lujitettuun blokkiin, ja liukupintaa ei ohjata pohjavahvistuksella (esim. massanvaihto) pois lujitetusta blokista, on lujitteiden mitoitus liukupintasortumaa vastaan tehtävä DA2* mukaisilla kuormilla.

8. Käyttörajalatarkistus

Penkereen ja pohjamaan siirtymä ja muodonmuutostarkastelulla varmistetaan, että siirtymät ja muodonmuutokset ovat hyväksyttävällä tasolla. (Ei ole tehty tässä)

9. Täyttökerroksen ympäri taivutetun lujitteen (wrap-around) mitoitus ankkuroinnille, DA2*

Täyttökerroksen ympäri taivutetun lujitteen mitoitus tehdään kuten liitteen 7 "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa 10.

10. Laskennan yhteenveto

1. Lähtötiedot

Geometria:

Penkereen korkeus	2,5 m
Penkereen alapinnan syvyys	0,0 m
Pientareen leveys	1,5 m
Ajokaistan leveys	3,5 m
Penkereen luiskakaltevuus	1:10,6

Parametrit:

	Täyttö 1	Täyttö 2	Pohjamaa
tilavuuspaino [kN/m ³]	20,0	21	20
leikkauskestävyyskulma [°]	35,0	37	30
koheesio kN/m ²	0	0	5
muuttuva liikennekuorma kN/m ²	81	81	-

5. Ulkoinen stabiileetti:

	Kanto-kestävyys	Liukumis-kestävyys	Kok. stabiileetti (MRT)
alimman lujitteen pituus L [m]	4,3	3,9	2
lujitteen mitoituslujuus [kN/m]			31

mitoitava

6.1.1 + 6.1.2 + 6.2.1 + 6.2.2 Sisäinen stabiileetti:

Syvyys penkereen yläpinnasta	Lujitevoima T _p [kN/m]		Ankkurikestävyys T _{AV} [kN/m]		Lujitteen mitoituslujuus (min) T _d (K _{FI} × γ _m) [kN/m]		Lujitepituus luiskatassa penkereessä [m]	
	81 kN/m ²	125 kN/m ²	81 kN/m ²	125 kN/m ²	81 kN/m ²	125 kN/m ²	81 kN/m ²	125 kN/m ²
h = 0,5 m	14,0	31,8	14,4	46,6	14,0	31,8	2,6	3,1
h = 1,0 m	16,6	19,8	18,8	21,1	16,6	19,8	2,2	2,3
h = 1,5 m	18,8	16,2	37,1	19,9	18,8	16,2	2,5	2,0
h = 2,0 m	29,2	19,4	66,0	24,7	29,2	19,4	2,9	2,0
h = 2,5 m	39,7	44,4	108,9	45,8	39,7	44,4	3,4	2,3
Yhteensä Σ	118	132	245	158	118	132		

6.1.3 + 6.2.3 Kiilan stabiileetti:

81 kN/m²

lujitevoima (6.10a) Σ = 86 < Σ = 245 ok!
lujitevoima (6.10b) Σ = 97 < Σ = 245 ok!

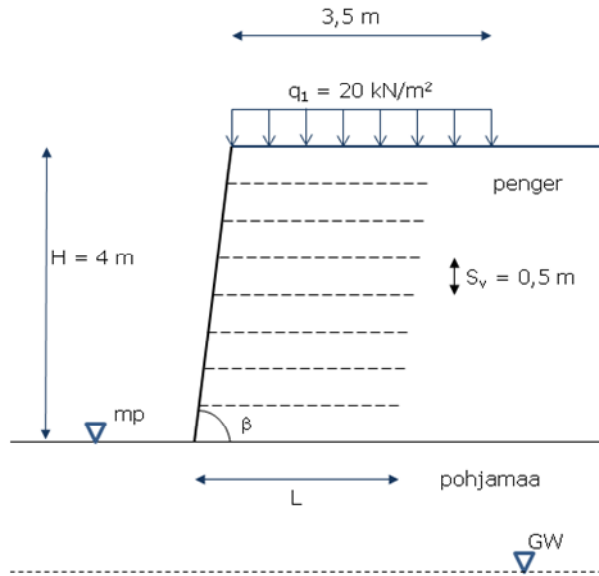
125 kN/m

lujitevoima (6.10a) Σ = 56 < Σ = 158 ok!
lujitevoima (6.10b) Σ = 132 < Σ = 158 ok!

Mitoittavat lujitevoimat ja lujitepituudet

Syvyys penkereen yläpinnasta	Lujitteen mitoituslujuus (min) f _d [kN/m]	Lujitepituus (min) luiskatassa penkereessä [m]
h = 0,5 m	32	3,1
h = 1,0 m	31	2,3
h = 1,5 m	31	2,5
h = 2,0 m	31	2,9
h = 2,5 m	44	4,3

LIITE 9 - Geolujitettu jyrkkä luiska, esimerkkilaskelma



Kuva 1 Esimerkkirakenne

1. Esimerkkirakenteen lähtötiedot

1.1 Geometria ja maaparametrit

Penkereen korkeus:	$H_m = 4 \text{ m}$	
Luiskan kaltevuus:	$\beta = 80^\circ$	
Lujiteväli	$S_v = 0,5 \text{ m}$	
Lujitekerrosten määrä	$lj = \frac{H_m}{S_v} = 8$	$j = 0..lj - 1$
Lujitteen syvyys luiskan yläpinnasta:	$h_j = S_v + j \cdot S_v$	

Tässä esimerkissä luiska rakennetaan kantavalle ja routimattomalle pohjalle.

Taulukko 1. Täytön parametrit

Maa-kerros nro	Maalaji	Tilavuuspaino γ_i kN/m³	Leikkauskestävyysskulma (kriittinen tila) ϕ'_{ci}	Huokospainokerroin r_u	Maalajin ja lujitteen välisen liukumis-/ulosvetovastuksen korjauskerroin: leikk.kest.kulma/koheesio α_i / α_{ci}
1	Pengertäyttö	20	32	0	0,9 / -

1.2 Eurokoodin soveltamisohjeen NCCI 1:n huoltoajoneuvon kuorma (NCCI 1, s.19)

Muuttuva kuorma: $q_1 = 20 \text{ kPa}$

1.3 Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut (STR/GEO), mitoitustapa DA2(*), NCCI 7, taulukko A.3a(FI)

Epäedulliset kuormat:

NCCI 7:
Yhtälö 6.10a

NCCI 7:
Yhtälö 6.10b

Pysyvä kuorma:

$\gamma_{G_a} = 1.35$

$\gamma_{G_b} = 1.15$

Määräävä muuttuva kuorma (tieliikennekuorma):

$\gamma_{Q_a} = 0$

$\gamma_{Q_b} = 1.35$

1.4 Maaparametrien osavarmuusluvut (STR/GEO), NCCI 7, taulukko A.4 (FI)

Sarja M1 (DA2*)

Leikkauskestävyysskulma:

$\gamma_{\phi_{-I}} = 1.0$

Suljettu leikkauslujuus:

$\gamma_{cu_{-I}} = 1.0$

Tilavuuspaino:

$\gamma_{\gamma_{-I}} = 1.0$

1.5 Geolujitteen osavarmuusluvut (NCCI7)

Lujitteen ulosvetovastus (ankkuroituminen):

$\gamma_p = 1.1$

Lujitteen ominaislujuus määritetään mitoituslujuudesta ohjeen kohdan 4.9 mukaisesti.

1.6 Mitoitusikä

Meluvallin mitoitusikä Liikenneviraston kohteissa on 50 v.

2. Kantokestävyystarkastelu, DA2*

Kantokestävyystarkastelu tehdään kuten liitteen 7 "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa 2.

Lujitteen vaadittu pituus kantokestävyystarkastelun perusteella

$L_k = 3 \text{ m}$

3. Jyrkän luiskan mitoitus nomogrammien pohjalta, ankkurikestävyys, DA2*

Arvataan lujitteen mitoitussujuus kunnes mitoitusehto $\frac{\sigma_{AVd}}{\sigma_{hzd}} \geq 1.0$ täyttyy!

Lujitteen mitoitussujuus:

$$f_d = 15 \frac{kN}{m}$$

Tarkastelualue pituussuunnassa:

$$\begin{aligned} \text{kaista} &= 1 \text{ m} \\ l_j &= 2 \cdot \text{kaista} = 2 \text{ m} \end{aligned}$$

Tehollinen pengerkorkeus:

Yhtälö 6.10a

$$\begin{aligned} H'_a &= H_m + \frac{\gamma Q_a \cdot q_l}{\gamma_1} \\ &= 4 \text{ m} + \frac{0.20 \text{ kPa}}{20 \frac{kN}{m^3}} = 4 \text{ m} \end{aligned}$$

Lujitteen ankkurointipituus:

Yhtälö 6.10a

$$L_{b_a} = \left(\frac{f_d \cdot \text{kaista}}{\gamma_1 \cdot H'_a \cdot l_j} \right) \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot \tan(\phi_{c1})} \right) \left(\frac{1}{1 - r_u} \right) \cdot \gamma_p = \frac{15 \frac{kN}{m} \cdot 1 \text{ m}}{20 \frac{kN}{m^3} \cdot 4 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}} \cdot \frac{1}{0.8 \tan(32^\circ)} \cdot \frac{1}{1 - 0} \cdot 1.1 = 0.206 \text{ m}$$

Yhtälö 6.10b

$$L_{b_b} = \left(\frac{f_d \cdot \text{kaista}}{\gamma_1 \cdot H'_b \cdot l_j} \right) \left(\frac{1}{\alpha_1 \cdot \tan(\phi_{c1})} \right) \left(\frac{1}{1 - r_u} \right) \cdot \gamma_p = \frac{15 \frac{kN}{m} \cdot 1 \text{ m}}{20 \frac{kN}{m^3} \cdot 5.35 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}} \cdot \frac{1}{0.8 \tan(32^\circ)} \cdot \frac{1}{1 - 0} \cdot 1.1 = 0.15 \text{ m}$$

Lujitteeseen kuormituksesta mobilisoituvan jännityksen laskenta:

Liitteen 9-A kuvaajista saadaan:

Maanpaine kerroin: $K_{req} = 0.23$
Kokonaisstabiileetti, minimilujitepituus: $LH_{ovrl} = 0.54$
Suoran liukumisen estäminen, minimilujitepituus: $LH_{ds} = 0.25$

Koska $LH_{ovrl} > LH_{ds}$, niin lujitteen minimilujitepituus $L_e = LH_{ovrl} \cdot H$

Yhtälö 6.10a

$$L_{e_a} = LH_{ovrl} \cdot H'_a = 0.544 \text{ m} = 2.16 \text{ m}$$

Mitoitava maanpaine kerroin:

$$K_{ad_a} = \frac{K_{req}}{1 - \frac{L_{b_a}}{L_{e_a}}} = \frac{0.23}{1 - \frac{0.206 \text{ m}}{2.16 \text{ m}}} = 0.254$$

Tehollinen syvyys kerroksittain:

$$z'_a = h + \frac{\gamma Q_a \cdot q_l}{\gamma_1}$$

Lujitteeseen kohdistuva maanpaine kerroksittain:

$$\sigma_{hz_a} = \gamma_1 \cdot z'_a \cdot K_{ad_a}$$

Kriittinen syvyys, jota pienemmällä arvolla tartunta tulee ongelmaksi:

$$z_{c_a} = H'_a \cdot \frac{L_{b_a}}{L_{e_a}} = 4 \text{ m} \cdot \frac{0.206 \text{ m}}{2.16 \text{ m}} = 0.381 \text{ m}$$

Tehollinen kriittinen syvyys:

$$\begin{aligned} z'_{c_a} &= z_{c_a} + \frac{\gamma Q_a \cdot q_l}{\gamma_1} \\ &= 0.381 \text{ m} + \frac{0.20 \text{ kPa}}{20 \frac{kN}{m^3}} = 0.38 \text{ m} \end{aligned}$$

Lujitteeseen syvyyttä z_c pienemmällä syvyyksillä kohdistuva minimimaanpaine:

$$\begin{aligned} \sigma_{hmin_a} &= \gamma_1 \cdot z'_{c_a} \cdot K_{ad_a} \\ &= 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 0.38 \text{ m} \cdot 0.254 = 1.9 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Yhtälö 6.10b

$$L_{e_b} = LH_{ovrl} \cdot H'_b = 0.545 \cdot 3.5 \text{ m} = 2.89 \text{ m}$$

$$K_{ad_b} = \frac{K_{req}}{1 - \frac{L_{b_b}}{L_{e_b}}} = \frac{0.23}{1 - \frac{0.15 \text{ m}}{2.89 \text{ m}}} = 0.243$$

$$z'_b = h + \frac{\gamma Q_b \cdot q_l}{\gamma_1}$$

$$\sigma_{hz_b} = \gamma_1 \cdot z'_b \cdot K_{ad_b}$$

$$z_{c_b} = H'_b \cdot \frac{L_{b_b}}{L_{e_b}} = 5.35 \text{ m} \cdot \frac{0.15 \text{ m}}{2.89 \text{ m}} = 0.28 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} z'_{c_b} &= z_{c_b} + \frac{\gamma Q_b \cdot q_l}{\gamma_1} \\ &= 0.28 \text{ m} + \frac{1.3520 \text{ kPa}}{20 \frac{kN}{m^3}} = 1.63 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{hmin_b} &= \gamma_1 \cdot z'_{c_b} \cdot K_{ad_b} \\ &= 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 1.63 \text{ m} \cdot 0.243 = 7.9 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Lasketuista maanpainearvoista σ_{hz} ja σ_{hmin} valitaan suurempi mitoituksessa käytettäväksi lujitteella vastaanotettavaksi maanpainejännitykseksi σ_{hzd}

Taulukko 2. Tehollinen syvyys ja lujitteeseen kohdistuva maanpaine

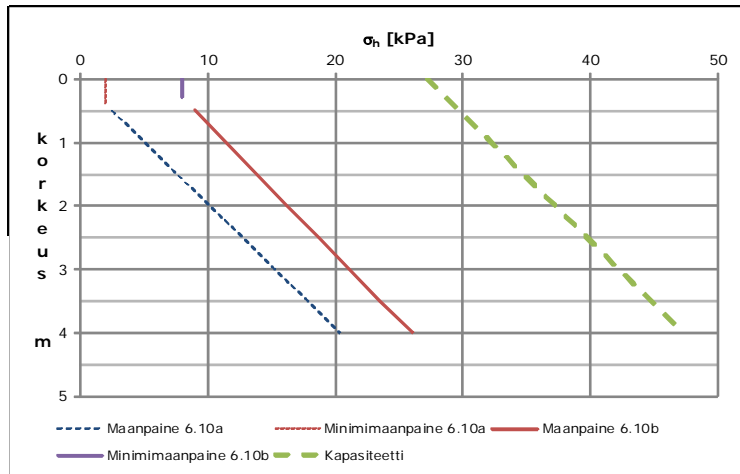
Syvyys luiskan yläpin- nasta h m	Tehollinen syvyys 6.10a/6.10b		Lujitteeseen kohdistuva maanpaine 6.10a/6.10b		Mitoituksessa käytettävä lujitteeseen kohdistuva maanpaine	
	Z ^a m	Z ^b m	σ_{hz_a} kPa	σ_{hz_b} kPa	σ_{hzd_a} kPa	σ_{hzd_b} kPa
0,5	0,5	1,9	2,5	9,0	2,5	9,0
1,0	1,0	2,4	5,1	11,4	5,1	11,4
1,5	1,5	2,9	7,6	13,8	7,6	13,8
2,0	2,0	3,4	10,2	16,3	10,2	16,3
2,5	2,5	3,9	12,7	18,7	12,7	18,7
3,0	3,0	4,4	15,3	21,1	15,3	21,1
3,5	3,5	4,9	17,8	23,6	17,8	23,6
4,0	4,0	5,4	20,3	26,0	20,3	26,0

Kapasiteetti ja mitoitusehto:

$$\sigma_{AVd} = \frac{f_d}{S_v \cdot \gamma_p} = \frac{15 \frac{kN}{m}}{0,5 m \cdot 1,1} = 27,27 kPa > \begin{matrix} \sigma_{hzd_a_max} = 20,34 kPa \\ \sigma_{hzd_b_max} = 26 kPa \end{matrix}$$

Kapasiteetti = "OK"

Vaadittu minimilujitepituus $L_e = 2,89 m$



Kuva 2 Lujitteeseen kohdistuvat maanpaineet ja kapasiteetti.

4. Liukuminen luiskan alapintaa pitkin, DA2*

Liukumiskestävyystarkastelu tehdään kuten liitteen 7 "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa 4.

Vaadittu lujitepituus liukumiskestävyystarkastelun perusteella $L_s = 2,3 m$

5. Kokonaisstabiileetti, DA3

Kokonaisstabiileetitarkastelu tehdään kuten liitteen 7 "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa 5 ja 8.

Lujitteen mitoituslujuus: $T_{ro} = 26 \frac{kN}{m}$

Lujitteen pituus luiskan alaosassa murtorajatilassa: $L_{LP} = 2,6 m$

6. Täyttökerroksen ympäri taivutetun lujitteen (wrap-around) ankkuroinnille, DA2*

Täyttökerroksen ympäri taivutetun lujitteen mitoitus tehdään kuten liitteen 7 "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa 10.

7. Laskennan yhteenveto

1. Lähtötiedot

Geometria:

Luiskan korkeus	4,0 m
Luiskan alapinnan syvyys	0,0 m
Luiskan kaltevuus	80°
Lujiteväli	0,5 m
Lujitekerrosten määrä	8 kpl

Parametrit:

	Täyttö 1
tilavuuspaino [kN/m ³]	20
leikkauskestävyysskulma [°]	32
huokospainekerroin [-]	0
muuttuva liikennekuorma kN/m ²	20

2. Tulokset

	Kanto- kestävyys	Liukumis- kestävyys	Ankkuri- kestävyys	Kok. stabiileetti (MRT)
lujitteen mitoituslujuus [kN/m]			15	26
alimman lujitteen pituus L [m]	3	2,3	2,9	2,6

mitoitettava

Sisäinen stabiileetti

	Suurin lujitteeseen kohdistuva maanpaine [kPa]		Lujitteen ankkurikapasiteetti [kPa]	
(6.10a)	20	<	27	ok!
(6.10b)	26			ok!

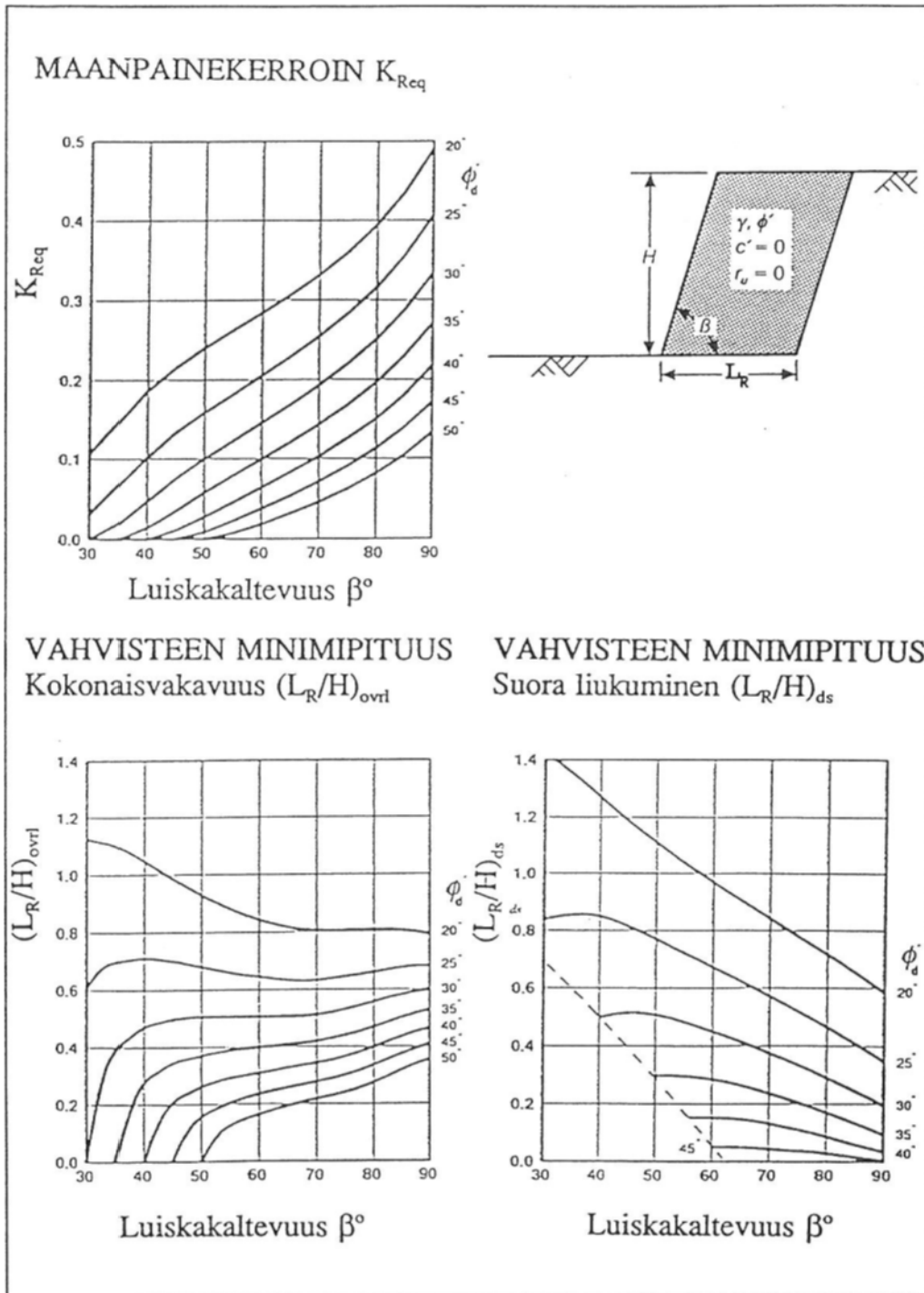
3. Mitoituksen lopputulos:

Lujitteen mitoituslujuus on vähintään $f_d = 26 \frac{kN}{m}$

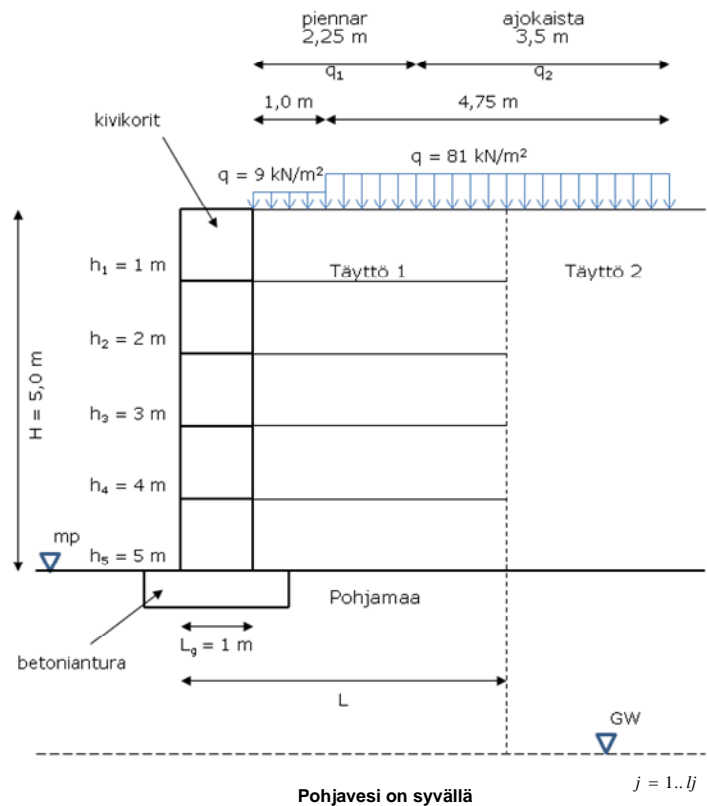
Lujitteen pituus on vähintään $L = 3 m$

LIITE 9-A

Nomogrammit lujitteen maanpainekertoimen ja minimipituuden määrittämiseen



LIITE 10 - Geolujitettu kivikoritukimuurirakenne, esimerkkilaskelma



Kuva 1 Esimerkkirakenne

1. Esimerkkirakenteen lähtötiedot

1.1 Geometria ja maaparametrit

Muurin korkeus	$H_m = 5.0 \text{ m}$	Alimman geolujitteen perustamissyvyys maan pinnasta	$D = 0 \text{ m}$
Kivikorien leveys	$L_g = 1.0 \text{ m}$	Lujiteväli	$S_v = 1.0 \text{ m}$
Pientareen leveys	$L_{piennar} = 2.25 \text{ m}$	Lujitekerrosten määrä	$lj = \frac{(H_m + D)}{S_v} = 5$
Ajokaistan leveys	$L_{kaista} = 3.5 \text{ m}$		

Taulukko 1. Täyttökerrosten ja maapohjan parametrit

Maa-kerros nro	Maalaji	Tilavuuspaino	Leikkauskestävyyskulma (huippu)	Koheesio	Maalajin ja lujitteen välisen liukumis-/ulosvetovastuksen korjauskerroin: leikk.kest.kulma/koheesio
<i>i</i>		γ_i kN/m ³	ϕ_{pi}	c_i kN/m ²	α_i / α_{ei}
1	Lujitettu täyttö	20	35	0	0,9 / -
2	Taustatäyttö	20	35	0	0,9 / -
3	Pohjamaa	20	30	5	0,8 / 0,8

1.2 Kivikorien parametrit

Kivikoreissa käytetyn kivimateriaalin tiheys $\rho_s = 2600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Kivikorien tilavuuspaino: $\gamma_{gabion} = \rho_s \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 60\% = 15.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

1.3 Eurokoodin soveltamisohteen NCCI7:n LM1 mukaiset liikennekuormat (NCCI7, s.33)

Muuttuva pystykuorma (piennar):	$q_p = 9 \text{ kPa}$
Muuttuva pystykuorma lujitetun blokin kohdalla:	$q_1 = 81 \text{ kPa}$
Muuttuva pystykuorma blokin takana:	$q_2 = 81 \text{ kPa}$

Tässä mitoitus tehdään olettaen muuttuvan pystykuorman olevan 81 kPa muurin koko yläpinnan alueella!

1.4 Kuormien tai kuorman vaikutusten osavarmuusluvut (STR/GEO), mitoistapa DA2*, NCCI 7, taulukko A.3a(FI)

	NCCI 7: Yhtälö 6.10a	NCCI 7: Yhtälö 6.10b
Pysyvä kuorma:	$\gamma_{G_a} = 1.35$	$\gamma_{G_b} = 1.15$
Määräävä muuttuva kuorma (tieliikennekuorma):	$\gamma_{Q_a} = 0$	$\gamma_{Q_b} = 1.35$
Luotettavuusluokka CC2 => Kuormakerroin	$K_{FI} = 1$	

2.2 Epäkeskisyiden määrittäminen kantavuustarkastelua varten (Ominaisarvot)

2.2.1 Maanpaineesta aiheutuvien pysty- ja vaakakuormien resultantit ja niiden paikat pysyvän kuorman osavarmuusluku 1,0 ja muuttuvan epäedullisen kuorman 1,0

Taustatäytön aiheuttaman vaakakuormitus (maanpaine ja liikennekuorma):

Maanpaineet: Maanpaine tukimuurin päällä ja alimman lujitteen tasossa:

$$p_q = K_{a2} \cdot q_2 = 19.44 \text{ kPa}$$

$$p_y = p_q = 19.44 \text{ kPa}$$

$$p_a = K_{a2} \cdot [\gamma_2 \cdot (H_m + D) + q_2] = 43.44 \text{ kPa}$$

Maanpaineen resultantti:

$$P_q = p_q \cdot (H_m + D) = 97.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_{G2} = \frac{1}{2} (p_a - p_y) (H_m + D) = 60 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$P_H = P_q + P_{G2} = 157.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Etäisyys alimman lujitteen tasosta:
$$e_H = \frac{1}{P_H} \left[P_q \cdot \frac{1}{2} (H_m + D) + P_{G2} \cdot \frac{1}{3} (H_m + D) \right] = 2.18 \text{ m}$$

2.2.2 Epäkeskisyiden laskenta (Ominaisarvot)

Laskenta-arvot liikennekuormasta ja maanpainosta epäkeskisyiden laskentaa varten

Geolujitteen pituus:

$$B_k = 5.7 \text{ m}$$

Lujitetun maablokin paino:

$$G_I = \gamma_I \cdot (H_m + D) \cdot (B_k - B_g) + \gamma_{gabion} \cdot (H_m + D) \cdot B_g = 546.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vaakakuorman resultantin kulma L_{antura} :n kanssa:

$$\theta = 90^\circ$$

Pysyvän kuorman osavarmuusluku 1, epäedullisen muuttuvan kuorman 1 ja edullisen muuttuvan kuorman 0

Pystykuormat:

$$V_I = G_I = 546.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vaakakuormat:

$$H_I = P_H = 157.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Anturan pohjan epäkeskisyys:

$$e_I = \frac{H_I \cdot e_H}{V_I} = 0.63 \text{ m}$$

2.2.3 Voimakkaasti epäkeskisen kuorman tarkistus

$$\frac{B_k}{3} = 1.9 \text{ m} \geq e_I = 0.63 \text{ m} \implies \text{OK!}$$

2.3 Kantokestävyystarkastelun mitoitus, DA2*

$$R = A \cdot (c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma)$$

Vaakasuoran kuormituksen myötä $b_q = b = b_c$

ja äärettömän nauha-anturan tapauksessa $s_q = s = s_c = 1$

2.3.1 Anturan pohjan tehokkaat dimensiot ($B_k =$ lujitteen pituus):

$$B' = B_k - 2 \cdot e_I = 4.44 \text{ m}$$

$$L' = L_{antura}$$

2.3.2 Kantavuuskertoimet:

$$N_c = 30.14$$

$$N_q = 18.4$$

$$N_\gamma = 20.09$$

$$q' = 0$$

$$m_B = 2$$

$$m_L = 1$$

$$m_I = 2$$

$$i_c = 0.51$$

$$i_q = 0.53$$

$$i_\gamma = 0.39$$

2.3.3 Supistettu kantokestävyiden ominaisarvo DA2*

$$R_k = B' \cdot (c_3 \cdot N_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot i_\gamma) = 1892 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.3.4 Kantokestävyiden mitoitusarvo DA2*, kun $\gamma_{R,v} = 1.55$:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{R,v}} = 1221 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2.3.5 Kuormitus murtorajatilassa DA2*

Yhtälö (6.10a)

$$\begin{aligned} V_{d,a} &= \gamma_{G,a} \cdot [\gamma_I \cdot (B_k - B_g) + \gamma_{gabion} \cdot B_g] \cdot (H_m + D) \\ &= 1.35 \left[20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (5.7 \text{ m} - 1 \text{ m}) + 15.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1 \text{ m} \right] \cdot (5 \text{ m} + 0 \text{ m}) = 738 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Yhtälö (6.10b)

$$\begin{aligned} V_{d,b} &= \gamma_{G,b} \cdot [\gamma_I \cdot (B_k - B_g) + \gamma_{gabion} \cdot B_g] \cdot (H_m + D) + \gamma_{Q,b} \cdot q_I \cdot (B_k - B_g) \\ &= 1.15 \left[20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (5.7 \text{ m} - 1 \text{ m}) + 15.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 1 \text{ m} \right] \cdot (5 \text{ m} + 0 \text{ m}) + 1.3581 \text{ kPa} \cdot (5.7 \text{ m} - 1 \text{ m}) = 1142 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

2.3.6 Mitoitusehto

$$V_{d_a} = 738 \frac{kN}{m} < R_d = 1221 \frac{kN}{m} \quad V_{d_b} = 1142 \frac{kN}{m} < R_d = 1221 \frac{kN}{m}$$

$$\frac{R_d}{V_{d_a}} = 1.65 \Rightarrow \text{OK!} \quad \frac{R_d}{V_{d_b}} = 1.07 \Rightarrow \text{OK!}$$

Lujitteen pituus $L_k = B_k \quad L_k = 5.7m$

3. Liukumisen tukimuurin alapintaa pitkin

Liukumiskestävyystarkastelu on esitetty yksityiskohtaisesti Liitteen 7 esimerkkilaskelman "Geolujitettu tukimuri" kohdassa 4. Tässä on esitetty laskennan pääkohdat niiltä osin, kuin kivikorirakenne vaikuttaa lasketaan.

Liukuminen pohjamaata pitkin, lujitepituus liukumalle:

$$L_s = 4.7m$$

3.1 Liukumiskestävyuden mitoitusarvo R_{ds} , DA2*

Pystykuorma lujitetun blokin alapinnassa:

Laskettaessa liukumiskestävyys vaikuttavaa pystykuormaa, liikennekuormasta aiheutuvan muuttuvan kuorman vaikutus on edullinen, ja sen osavarmuusluku on 0.

(pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0)

$$V_I = \gamma_1 \cdot (L_s - L_g) \cdot (H_m + D) + \gamma_{gabion} \cdot L_g \cdot (H_m + D)$$

$$= 20 \frac{kN}{m^3} \cdot (4.7m - 1m) \cdot (5m + 0m) + 15.3 \frac{kN}{m^3} \cdot 1m \cdot (5m + 0m) = 446.5 \frac{kN}{m}$$

Liukumiskestävyys alimman lujitteen ylä- ja alapintaa pitkin (pitkän ajan tilanne):

$$R_{s_yp} = 281.34 \frac{kN}{m} \quad R_{s_ap} = 225 \frac{kN}{m}$$

Mitoitusarvot:

Liukumiskestävyys lujitteen ylä- ja alapintaa pitkin, kun $\gamma_s = 1.1$:

$$R_{ds_yp} = \frac{R_{s_yp}}{\gamma_s} = 255.76 \frac{kN}{m} \quad R_{ds_ap} = \frac{R_{s_ap}}{\gamma_s} = 204.55 \frac{kN}{m}$$

3.2 Liukumista estävät kuormat:

Ei ole

3.3 Vaakakuorman mitoitusarvo lujiteblokin takana DA2*:

Yhtälö 6.10a

$$H_{d_a} = 0.5 \cdot K_{a2} \cdot (H_m + D) \cdot \gamma_{G_a} \cdot \gamma_2 \cdot (H_m + D) = 81 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b

$$H_{d_b} = 0.5 \cdot K_{a2} \cdot (H_m + D) \cdot [\gamma_{G_b} \cdot \gamma_2 \cdot (H_m + D) + 2 \cdot \gamma_{Q_b} \cdot q_2] = 200.22 \frac{kN}{m}$$

3.4 Liukuminen alimman lujitteen ylä- ja alapintaa pitkin (pitkän ajan tilanne):

$$H_d \leq R_{ds_ap} \quad H_d \leq R_{ds_yp}$$

Taulukko 2. Tukimuurin liukumiskestävyys

	H_d^* kN/m	R_{ds}^{**} kN/m	Varmuus	Tila
Liukuminen alimman lujitteen yläpintaa pitkin (pitkän ajan tilanne)				
6.10a	81,0	255,8	3,16	OK
6.10b	200,2	255,8	1,28	OK
Liukuminen alimman lujitteen alapintaa pitkin (pitkän ajan tilanne)				
6.10a	81,0	204,5	2,53	OK
6.10b	200,2	204,5	1,02	OK

* 6.10a (pysyvä kuorma 1,35 ja muuttuva kuorma 0)
6.10b (pysyvä kuorma 1,15 ja muuttuva kuorma 1,35)

**pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0

4. Kokonaisstabiileetti (GeoCalc-laskelmat, DA3)

Kokonaisstabiileetin mitoituslaskelmat on esitetty liitteessä 10-A

Lujitteen mitoituslujuus: $T_{ro} = 44 \frac{kN}{m}$

Lujitteen pituus tukimuurin alaosassa: $L_{LP} = 2.0m$

Tukimuurin mitoituksen jälkeen (kohdat 1-9) tehdään tarvittaessa liukupintatarkastelu, jossa tarkistetaan, että mitoituksessa saatu lujitteen mitoituslujuus on riittävä kokonaisstabiileetin kannalta (= vaarallisin liukupinta kiertää lujitetun blokin ali tai lujitteilla on riittävä kapasiteetti mikäli liukupinta kulkee lujiteblokin läpi).

5. Yhteenveto ulkoisen stabiiliteetin tarkasteluista

Mitoittavin lujitepituus (kantavuus-, liukumis- ja kokonaisstabiiliteettitarkastelusta):

Kantavuustarkastelu:	$L_k = 5.7m$
Liukumistarkastelu:	$L_s = 4.7m$
Kokonaisstabiiliteetti:	$L_{LP} = 2m$
Mitoittavin lujitepituus:	$L = 5.7m$

6. Sisäinen stabiiliteetti

Sisäisen stabiiliteetin tarkastelu on esitetty yksityiskohtaisesti Liitteen 7 esimerkkilaskelman "Geolujitettu tukimuuri" kohdassa. Tässä on esitetty laskennan pääkohdat niiltä osin, kuin kivikorirakenne vaikuttaa lasketaan.

6.1 Lujitevoima lujitekerroksittain

Lujitteen syvyys tukimuurin yläpinnasta: $h_{j-1} = j \cdot S_v$

Maanpaineen resultantin sijainti kerroksittain, ominaisarvolaskenta (pysyvä kuorma ja muuttuva epäedullinen kuorma 1.0)

Taustatäytön päällä vaikuttavasta kuormasta aiheutuva maanpaine

$p_q = 19.44kPa$ $p_y = 19.44kPa$
 $p_{aj} = K_{a2} \cdot (\gamma \cdot 2 \cdot h + q_2)$

Maanpaineen resultantti $R_{qj} = p_{qj} \cdot h$ $R_{G2j} = \frac{1}{2} \cdot (p_{aj} - p_y) \cdot h$ $R_{Hj} = R_{qj} + R_{G2j}$

Resultantin etäisyys laskentatasosta $e_{Hj} = \frac{\frac{1}{2} \cdot R_{qj} \cdot h + \frac{1}{3} \cdot R_{G2j} \cdot h}{R_{Hj}}$

Lujitevoiman laskenta kerroksittain (DA2*), kivikorijulkisivuun kerroksesta j kohdistuva maanpaine

Kuorman tarkastelu kohta kerroksen keskellä: $H_{fj-1} = h_{j-1} - 0.5 \cdot S_v$

Julkisivun korrelaatiokertoimet $\eta_q = 1.0$ $\eta_g =$ syvyydestä riippuva

Maanpaine $G_j = \gamma_j \cdot (L - L_g) \cdot H_f$

Yhtälö 6.10a

Pystykuorma

$V_a = (\eta_g \cdot \gamma \cdot G_{-a} \cdot G_j)$

Pystykuorman epäkeskisyyks:

$e_{s-a} = \frac{R_{Hj} \cdot e_{Hj}}{G_j}$

Pystyjännitys:

$\sigma_{va} = \frac{V_a}{L - 2e_{s-a}}$

Lujitevoima:

$T_a = K_{a1} \cdot \sigma_{va} \cdot S_v$

Yhtälö 6.10b

Pystykuorma

$V_b = (\eta_g \cdot \gamma \cdot G_{-b} \cdot G_j + \eta_q \cdot \gamma \cdot Q_{-b} \cdot q_1 \cdot L)$

$e_{s-b} = \frac{R_{Hj} \cdot e_{Hj}}{G_j + q_1 \cdot L}$

$\sigma_{vb} = \frac{V_b}{L - 2e_{s-b}}$

$T_b = K_{a1} \cdot \sigma_{vb} \cdot S_v$

Taulukko 3. Kuormat, jännitykset ja lujitevoimat lujitekerroksittain

Lujitteen syvyys tukimuurin yläpinnasta h m	Kuorman vaikutus kohta kerroksen keskellä Hf m	η_g	Lujitteeseen vaikuttava pystykuorma 6.10a/6.10b		Epäkeskisyyks 6.10a/6.10b		Kerroksen pystyjännitys 6.10a/6.10b		Pystykuorman aiheuttama lujitevoima 6.10a/6.10b	
			V_a	V_b	e_{s-a}	e_{s-b}	σ_{va}	σ_{vb}	T_a	T_b
			kN/m	kN/m	m	m	kPa	kPa	kN/m	kN/m
1,0	0,5	1,0	63,5	677,3	0,2	0,0	12,1	119,7	2,9	28,7
2,0	1,5	1,0	190,4	785,4	0,3	0,1	37,6	141,5	9,0	34,0
3,0	2,5	0,7	222,1	812,5	0,5	0,2	46,5	150,8	11,2	36,2
4,0	3,5	0,7	310,9	888,1	0,6	0,3	70,0	171,6	16,8	41,2
5,0	4,5	0,7	399,7	963,8	0,8	0,4	98,0	195,7	23,5	47,0

6.2 Lujitteen ankkurikestävyys kerroksittain

Tarkistetaan ankkurikestävyys lujitepituudella L, joka on määritetty ulkoisen stabiiliteetin tarkastelujen yhteenvedossa kohdassa 5.

Ankkurikestävyttä määrittäessä otetaan huomioon vain pysyvät kuormat (liikennekuorma on muuttuva edullinen kuorma, joten sitä ei huomioida)

Tarkasteltava kaista muurin pituussuunnassa

$kaista = 1 m$

Lujitteen ylä- ja alapinnan pituus muurin leveysuunnassa muurin pituussuuntaista kaistaa kohden, jatkuva rakenne:

$L_j = 2 \cdot kaista = 2m$

Lujitteen ja täytön välinen kitkakerroin: $\mu_t = \alpha_f \cdot \tan(\phi'_{pl}) \quad \mu_t = 0.63$

Liukupinnan ja pystysuunnan välinen kulma: $\beta = 45deg - \frac{\phi'_{pl}}{2} \quad \beta = 27.5^\circ$

Geolujitteen pituus: $L = 5.7m$

Ankkurikestävyuden ominaisarvo: (pysyvä kuorma 1.0 ja muuttuva edullinen kuorma 0)

Ankkuroivan vyöhykkeen pituus passiivialueella kerroksittain:

$$L_e = (L - L_g) - \tan\left(45deg - \frac{\phi'_{pl}}{2}\right) \cdot (H_m - h)$$

$$T_{AVj} = \frac{l_j \mu_t \cdot L_e \cdot (\gamma_l \cdot h)}{\text{kaista}}$$

Ankkurikestävyuden mitoitusarvo, kun: $\gamma_p = 1.1 \quad T_{AVdj} = \frac{T_{AVj}}{\gamma_p}$

Lujitteen ankkurikestävyys \geq lujitteen vastaanottama lujitevoima (kohdasta 6.1)

Jos $T_{AVdj} \geq T_a \wedge T_b \Rightarrow$ ankkurovoima on riittävä

Taulukko 4. Lujitteiden ankkurikestävyys kerroksittain

Lujitteen syvyys tukimuurin yläpinnasta	Ankkuroivan vyöhykkeen pituus passiivialueella	Lujitteen ankkurikestävyys	Lujitteen vastaanottama lujitevoima (yhtälö 6.10a)	Lujitteen vastaanottama lujitevoima (yhtälö 6.10b)	Ankkurovoiman riittävyys
h m	L _e m	T _{AVdj} kN/m	T _a kN/m	T _b kN/m	
1	2,6	60,0	2,9	28,7	OK
2	3,1	143,8	9,0	34,0	OK
3	3,7	251,5	11,2	36,2	OK
4	4,2	383,1	16,8	41,2	OK
5	4,7	538,5	23,5	47,0	OK

6.3 Kiilan stabiliteetti

6.3.1 Kiilan stabiliteetti, lujitteen mitoituslujuus:

Yhtälö 6.10a

$$T_{dj_a} \geq T_a \cdot K_{FR}^{\gamma_{re}} = T_a \cdot 1.0 \cdot 1.0 = T_a$$

$$T_{da} = \sum_j (T_{a_{j-1}} \cdot K_{FR}^{\gamma_{re}})$$

$$T_{da} = 63 \frac{kN}{m}$$

Yhtälö 6.10b

$$T_{dj_b} \geq T_b \cdot K_{FR}^{\gamma_{re}} = T_b \cdot 1.0 \cdot 1.0 = T_b$$

$$T_{db} = \sum_j (T_{b_{j-1}} \cdot K_{FR}^{\gamma_{re}})$$

$$T_{db} = 187 \frac{kN}{m}$$

6.3.2 Kiilan stabiliteetti, ankkurikestävyuden mitoitusarvo

$$T_{AVd} = \sum_j T_{AVdj_{j-1}} = 1377 \frac{kN}{m} \geq T_{da} = 63 \frac{kN}{m}$$

$$T_{db} = 187 \frac{kN}{m}$$

Ankkurikapasiteetti = "OK"

7. Kokonaisstabiliteetti, lujitteen mitoituslujuuden tarkistus

Mikäli sisäisen stabiliteetin mitoituksessa (kohta 6) määritetty lujitteen mitoituslujuus on muurin alaosassa pienempi kuin kokonaisstabiliteetin laskennassa (kohta 4) käytetty lujitevoima, tehdään stabiliteettitarkastelu uudelleen tarkemmin käyttäen sisäisen stabiliteetin mitoituksessa (kohta 6) määritettyjä mitoituslujuuksia tai mitoituslujuuksien perusteella valittuja vahvisteen mitoituslujuuksia ($> T_d$). Mikäli vaarallisin (vaatimukset alittava) liukupinta ohjautuu lujitettuihin blokkiin, ja liukupintaa ei ohjata pohjavahvistuksella (esim. massanvaihto) pois lujitetusta blokista, on lujitteiden mitoitus liukupintasortumaa vastaan tehtävä DA2* mukaisilla kuormilla.

8. Käyttörajatitarkistus

Tukimuurin ja pohjamaan siirtymä ja muodonmuutostarkastelulla varmistetaan, että siirtymät ja muodonmuutokset ovat hyväksyttävällä tasolla. (Ei ole tehty tässä.)

9. Lujitteen ankkuroituminen / kiinnitys kivikorien väliin

Tarkistetaan ankkuroituminen / kiinnitys. (Ei ole tehty tässä.)

10. Laskennan yhteenveto

1. Lähtötiedot

Geometria:

Tukimuurin korkeus	5,0 m
Tukimuurin alapinnan syvyys	0,0 m
Pientareen leveys	2,25 m
Ajokaistan leveys	3,5 m
Kivikorien leveys	1 m

Parametrit:

	Täyttö 1	Täyttö 2	Pohjamaa
tilavuuspaino [kN/m ³]	20	20	20
leikkauskestävyysskulma [°]	35	35	30
koheesio kN/m ²	0	0	5
muuttuva liikennekuorma kN/m ²	81	81	-

5. Ulkoinen stabiileetti:

	Kanto- kestävyys	Liukumis- kestävyys	Kok. stabiileetti (MRT)
alimman lujitteen pituus L [m]	5,7	4,7	2
lujitteen mitoituslujuus [kN/m]			44

mitoitettava

6.1 + 6.2 Sisäinen stabiileetti:

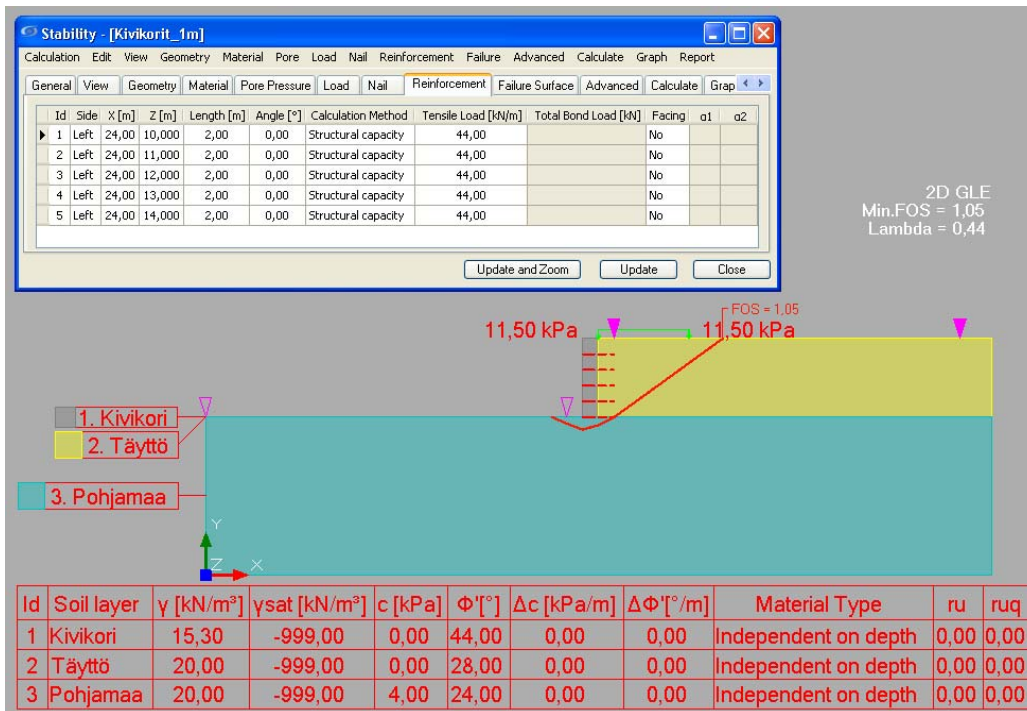
	Lujitevoima T _p [kN/m]		Ankkuri- kestävyys T _{AV} [kN/m]	Lujitteen mitoituslujuus (min) T _d (K _{F1} × γ _{re}) [kN/m]	
	6.10a	6.10b		6.10a	6.10b
Syvyys tukimuurin yläpinnasta					
h = 1,0 m	3,0	29,3	43,9	3,0	29,3
h = 2,0 m	9,4	34,7	111,8	9,4	34,7
h = 3,0 m	11,9	37,3	203,4	11,9	37,3
h = 4,0 m	18,5	43,0	318,9	18,5	43,0
h = 5,0 m	27,2	50,0	458,3	27,2	50,0
Yhteensä Σ	70	194	1136	70	194

6.3 Kilan stabiileetti:

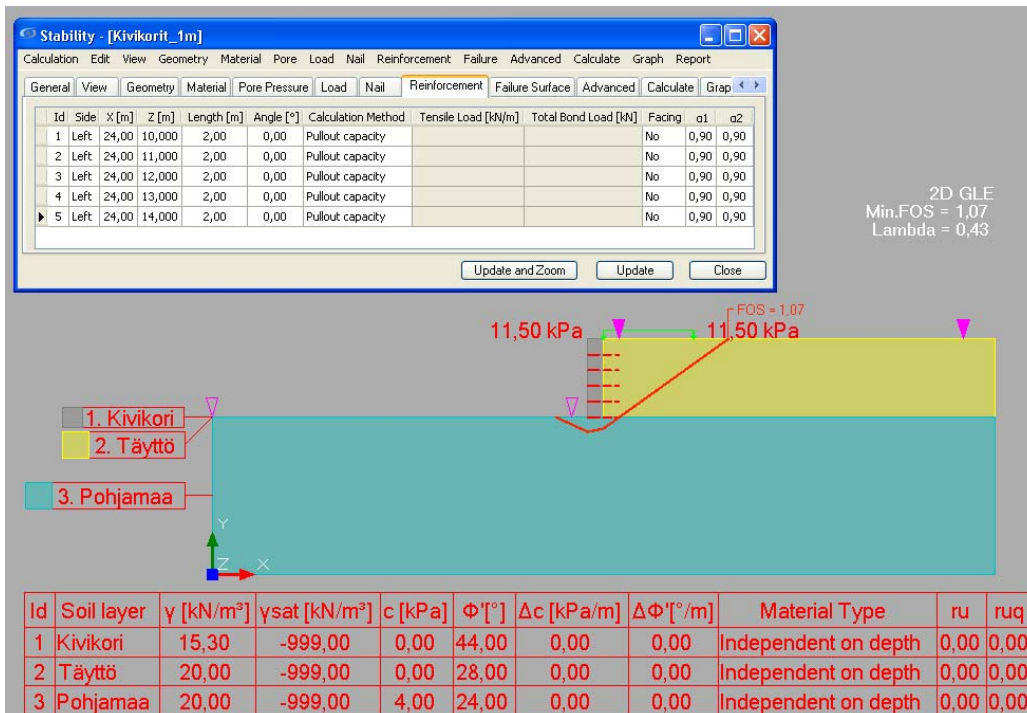
lujitevoima (6.10a) Σ = 63 < Σ = 1377 ok!
 lujitevoima (6.10b) Σ = 187 ok!

LIITE 10-A

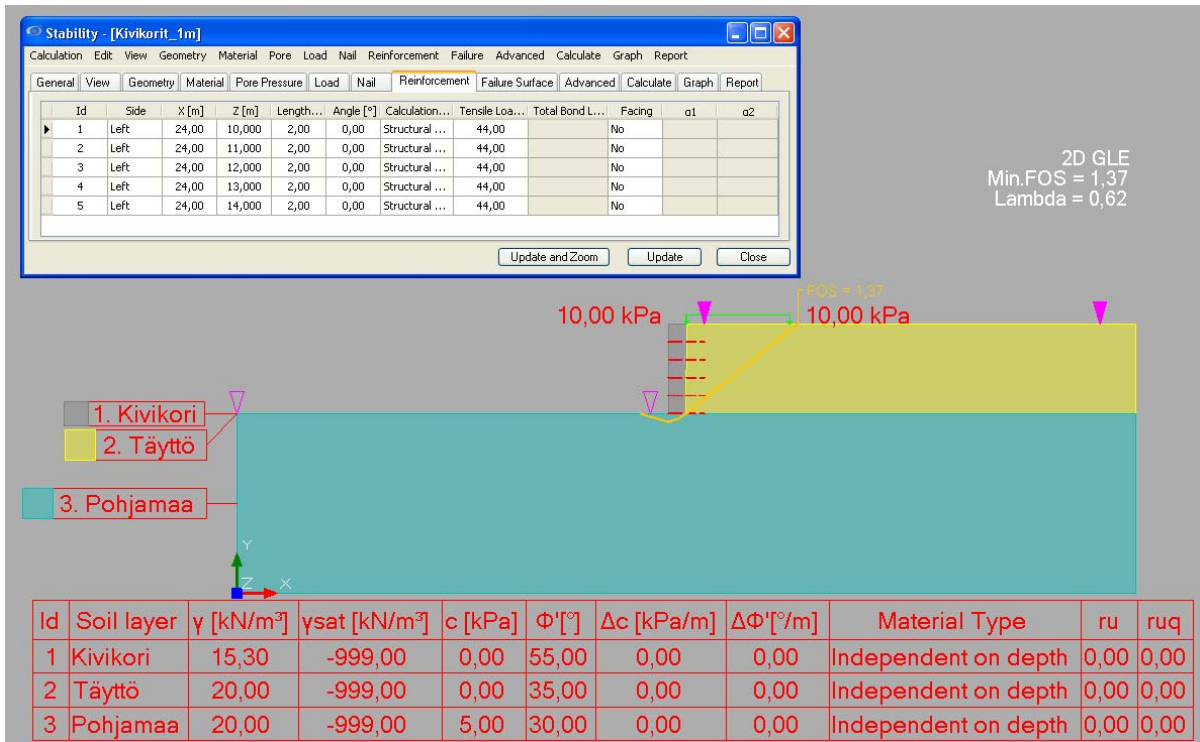
Geolujitettu kivikorivalli, kokonaisstabiilitetti



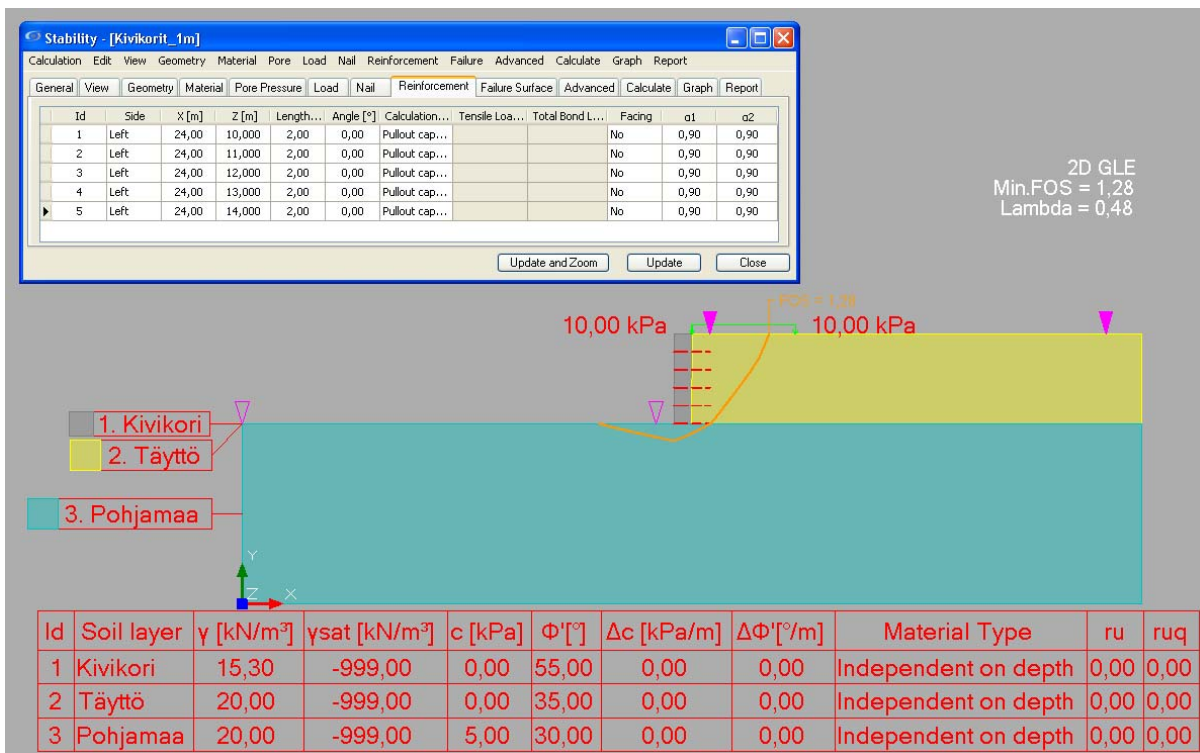
Kuva 1. DA3, murtorajatila, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



Kuva 2. DA3, murtorajatila, lujitteen ankkurikapasiteetti (GLE)



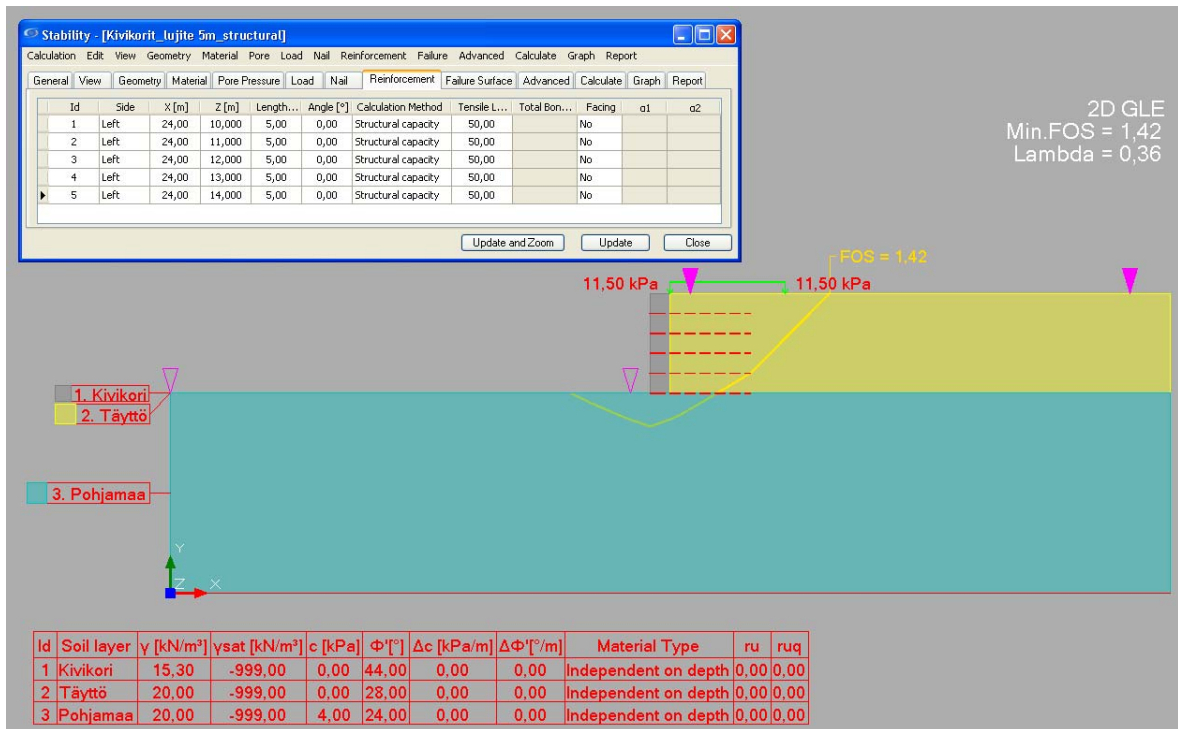
Kuva 3. Ominaisarvot, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



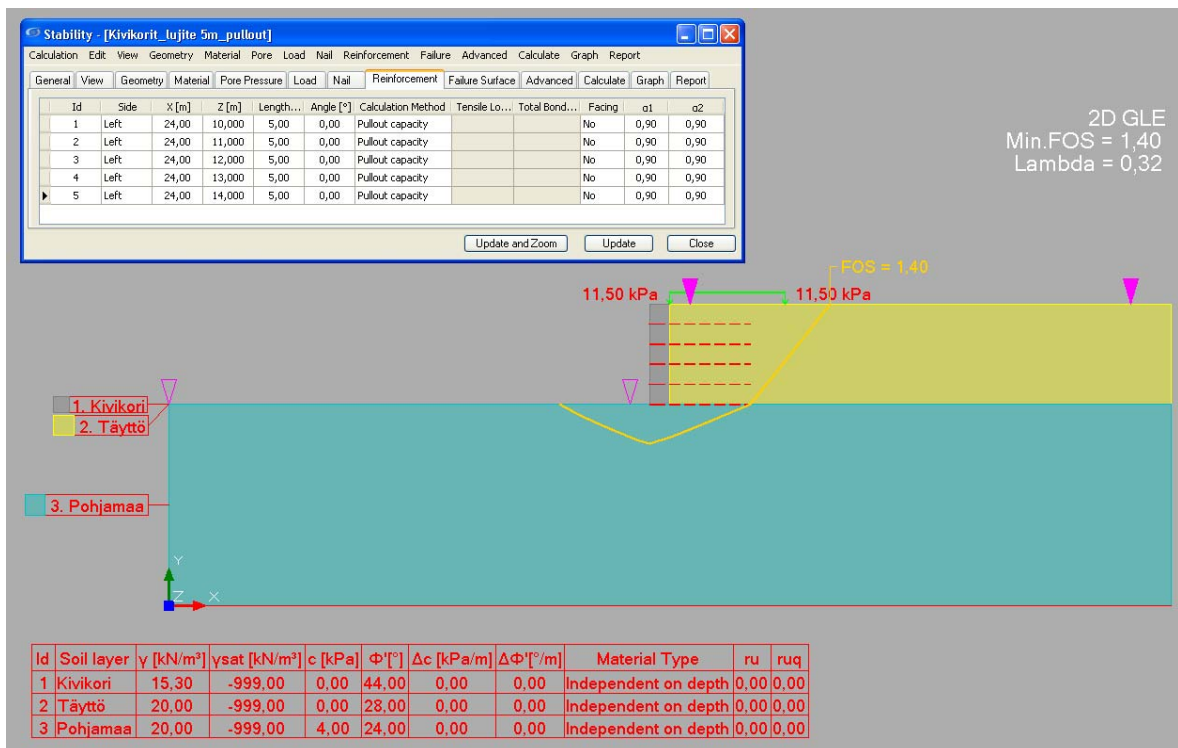
Kuva 4. Ominaisarvot, lujitteen ankkurikapasiteetti (GLE)

LIITE 10-B

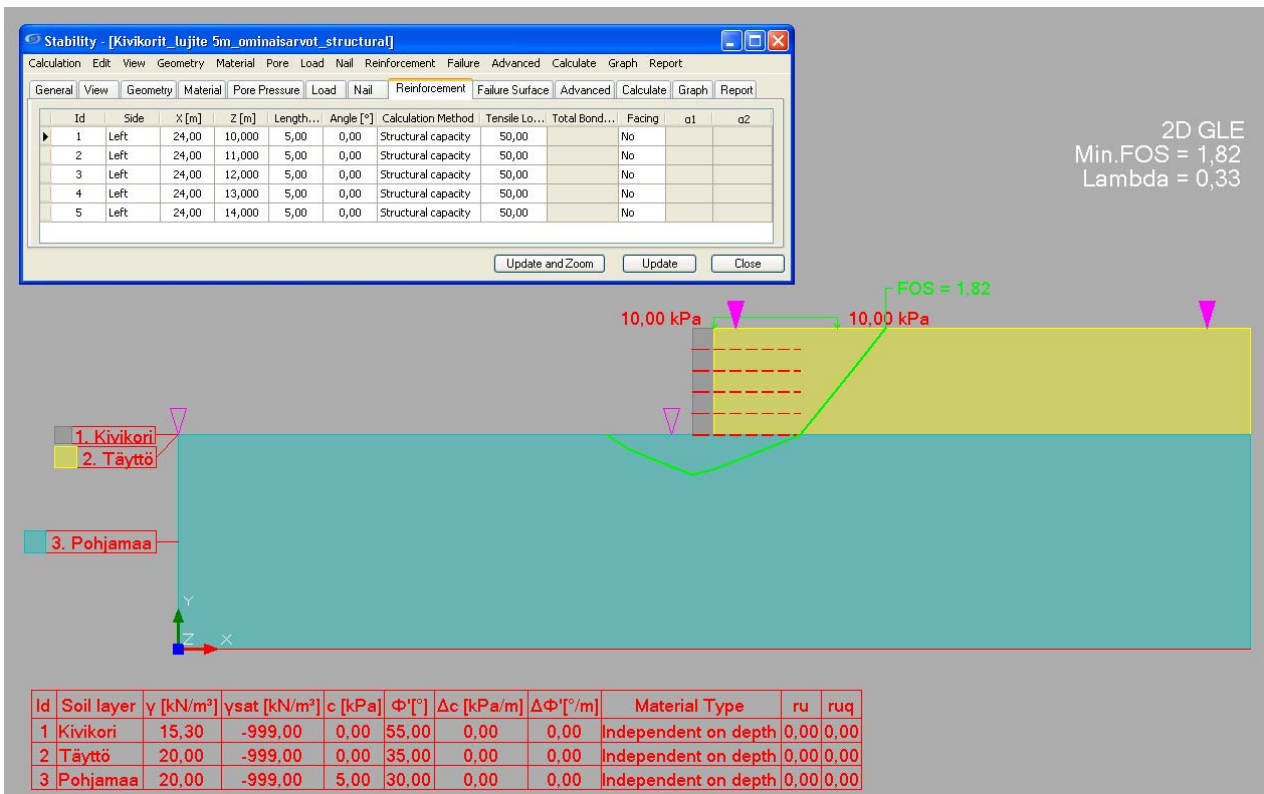
Mitoituksen tuloksena suunnitellun rakenteen kokonaisstabiileetti



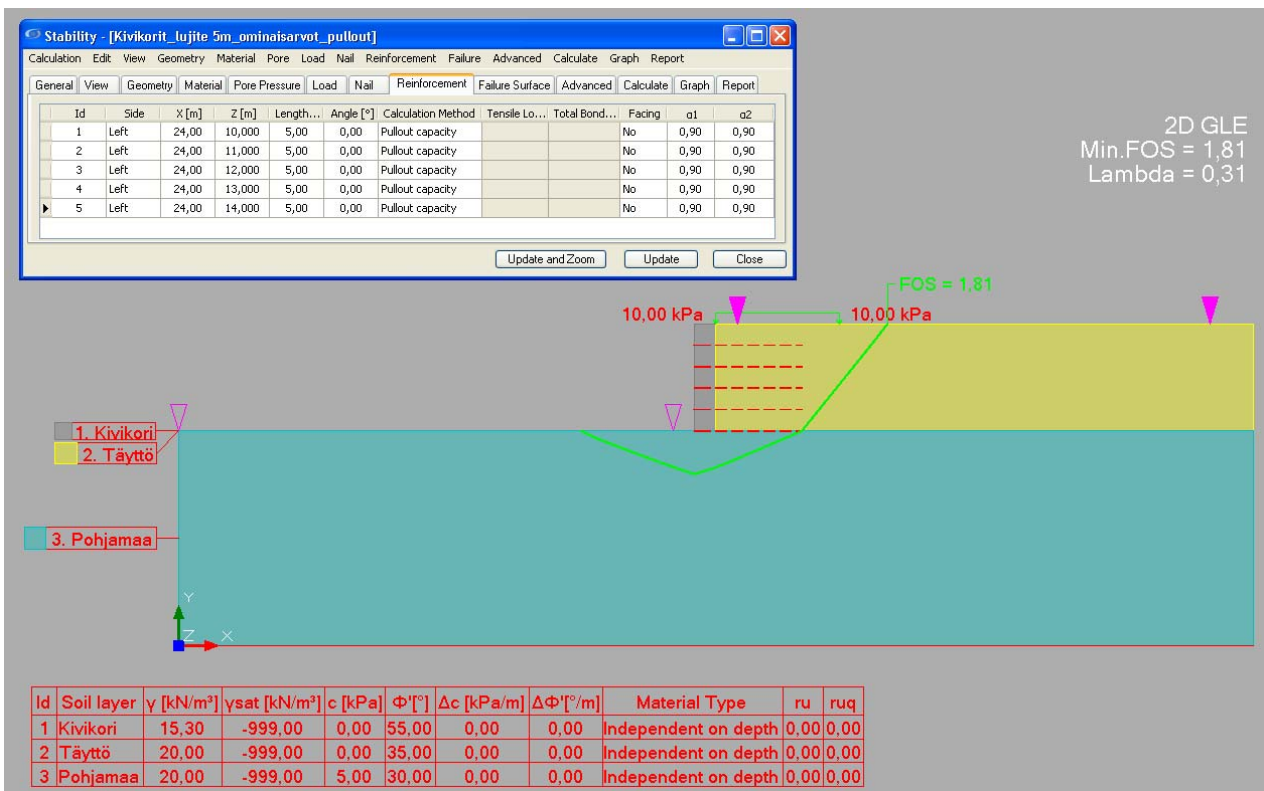
Kuva 1. DA3, Murtorajatila, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



Kuva 2. DA3, Murtorajatila, lujitteen ankkurointikapasiteetti (GLE)



Kuva 3. Ominaisarvolaskenta, lujitteen rakenteellinen lujuus (GLE)



Kuva 4. Ominaisarvolaskenta, lujitteen ankkurointikapasiteetti (GLE)

