



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

PAINUMA-, VAKAVUUS- JA STABILOINTILASKENTA GEOCALC – OHJELMISTOLLA

Taru Anttolainen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

ANTTOLAINEN TARU

Painuma-, vakavuus- ja stabilointilaskenta GeoCalc-ohjelmistolla

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 114 sivua
Toukokuu 2016

Maa- ja pohjarakenteet on suunniteltava ja toteutettava siten, että niillä säilyy riittävä lujuus ja vakavuus murtumista vastaan koko suunnitellun käyttöajan ajan. Rakenteiden painumien, siirtymien, kiertymien ja muodonmuutosten on pysyttävä niin pieninä, etteivät rakenteet rikkoonnu haitallisesti, eivätkä aiheuta vaaraa käyttäjilleen tai ympäristölle. Suunnittelussa on huomioitava rakennuspaikalla ja sen ympärillä vallitsevat olosuhteet ja rakenteet. Pohjarakenteita suunniteltaessa tämä tarkoittaa rakennuspaikan pohjaolosuhteiden tunnistamista ja pohjarakenteiden mitoittamista ko. pohjaolosuhteet huomioiden yleisesti hyväksytyillä laskentamenetelmillä.

Mitoituksessa käytettävät geotekniset laskentamenetelmät ovat käsin laskettuina usein raskaita ja aikaa vieviä, joten laskelmat suoritetaan yleensä laskentaohjelmistojen avulla. Tampereen ammattikorkeakoululla on käytössään GeoCalc 3.1-ohjelmisto. Kuitenkin ohjelmiston opetuskäyttöön tehdyt laskentaesimerkit ovat ohjelman uudistumisen myötä osin vanhentuneita ja vaativat päivittämistä. Tässä työssä tehdään laskentaesimerkkejä ko. ohjelmaa käyttäen. Työn tavoitteena on, että opinnäytetyötä tai sen osia voidaan käyttää opetellessa ohjelman käyttöä.

Opinnäytetyössä selvitetään ensin vakavuus-, painuma- ja stabilointilaskennan teoreettisia taustoja ja laskentamenetelmiä siinä laajuudessa, että GeoCalc-ohjelmistossa tehdyt valinnat ja vaihtoehdot tulevat helpommin ymmärrettäviksi.

Opinnäytetyön liiteosaan on koottu yksityiskohtaiset ohjeet vakavuus-, painuma- ja stabilointilaskennan suorittamiseen. Pääpaino on vakavuus- ja painumalaskennan käsittelyllä. Stabilointia käsitellään työssä vakavuus- ja painumalaskentaa vähemmän. Laskentaesimerkkien mitoittamisessa noudatetaan eurokoodia, sen kansallista liitettä ja ohjeita, joita on annettu käsiteltyjen mitoitusilanteiden laskentaan.

GeoCalc on vakavuus- ja painumalaskennan suorittamiseen selkeä ja johdonmukainen ohjelma. Luonnollisesti ohjelman käyttö vaatii tiettyjen käsitteiden ja geotekniikan perusteiden hallintaa laskennan suorittamiseen ja laskentatulosten oikeellisuuden arviointiin. Syvästabiloinnin mitoitus ohjelmistolla on suhteellisen yksinkertaista, mutta on jäänyt käytettävyydeltään kuitenkin vielä kankeaksi ja keskeneräiseksi.

Asiasanat: vakavuus, painuminen, syvästabilointi, mitoittaminen, GeoCalc

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

ANTTOLAINEN TARU:

Calculation of Settlement, Stability and Deep Stabilization by Using GeoCalc - Application

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 114 pages
August 2016

All constructions must be designed and built with sufficient safety against the fraction. The stability, settlements and other deformations must be so minimal that the built construction doesn't crack and cause any danger to inhabitants or to the environment.

The strength against the fraction of soil and constructions must be high enough in order to last at least it's designed service time. The circumstances at building site must be considered in designing of construction. This means the design of foundations the geotechnical features of the soil at the building area must be recognized. Also the used calculation method must be widely accepted.

The calculations are often difficult and time-consuming when using calculators and therefore generally they are done by using different calculation applications. The University of Applied Sciences of Tampere has the program called GeoCalc, which is used in different geotechnical calculations and taught to students. However, the renovation of GeoCalc – application formerly used calculation examples are outdated. This thesis applies geotechnical calculations by using GeoCalc – application. The purpose of this study was to produce new calculation examples in educational purpose to help studying the use of GeoCalc – application.

The theoretical section concerns the theory of the calculation of stability, settlement and deep stabilization to clarify functions of the GeoCalc – application. The appendixes of the thesis include detailed instructions to calculate stability, settlements and deep stabilization. All calculation examples follow Eurocode and Finnish National Annexes.

As a conclusion when using the GeoCalc – application, it is explicit to use in calculations of stability and settlements. Nevertheless, the deep stabilization - calculation module isn't yet completed and the usability of the applications is not as well as it could be.

Key words: stability, settlement, deep stabilization, calculation, GeoCalc

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	GEOCALC	9
2.1	Yleistä	9
2.2	Viasys VDC Oy	9
2.3	GeoCalc 3.1	10
3	MAAPOHJAN VAKAVUUSLASKENNAN TEORIA.....	11
3.1	Maapohjan kantavuuden ja vakavuuden laskenta.....	11
3.2	Kantavuus- ja vakavuuslaskennan lähtötiedot	18
3.3	Kokonaisvarmuusmenetelmä.....	18
3.4	Eurokoodien mukainen mitoitus osavarmuusmenetelmällä	19
3.4.1	Murtorajatila.....	19
4	VAKAVUUSLASKENNAN LASKENTAESIMERKIT	22
4.1	Penkereen vakavuus pehmeiköllä.....	23
4.1.1	Laskentamalli	23
4.1.2	Laskentateoria	23
4.1.3	Raja-arvot.....	23
4.2	Luiskattu kaivanto.....	24
4.2.1	Laskentamalli	25
4.2.2	Laskentateoria	26
4.2.3	Raja-arvot.....	27
5	PAINUMALASKENNAN TEORIA	28
5.1	Painumalajit	28
5.2	Konsolidaatiopuristumisen riippuvuus ajasta	33
5.3	Painumalaskennan lähtötiedot	34
5.4	Eurokoodien mukainen mitoitus osavarmuusmenetelmällä	35
5.4.1	Käyttörajatila.....	35
6	PAINUMALASKENNAN LASKENTAESIMERKIT	37
6.1	Penkereen painuma pehmeiköllä	38
6.1.1	Laskentamalli	38
6.1.2	Laskentateoria	38
6.1.3	Mitoituskriteerit	39
6.2	Anturan painuma.....	40
6.2.1	Laskentamalli	40
6.2.2	Laskentateoria	40
6.2.3	Mitoituskriteerit	41
7	SYVÄSTABILOINNIN LASKENTATEORIA	42

7.1	Pilarisyvästabiloinnin suunnittelu	43
7.2	Massasyvästabiloinnin suunnittelu	51
7.3	Syvästabiloinnin laskennan lähtötiedot	53
7.4	Eurokoodin mukainen mitoitus.....	53
7.4.1	Murtorajatila.....	54
7.4.2	Käyttörajatila.....	54
8	SYVÄSTABILOINNIN LASKENTAESIMERKKI.....	55
8.1	Pilarisyvästabilointi	55
8.1.1	Laskentamalli	55
8.1.2	Laskentateoria	56
8.1.3	Mitoituskriteerit	56
9	POHDINTA.....	57
10	LÄHTEET	58
	LIITTEET	60
	Liite 1. Ohjelmiston perustoiminnot	60
	Liite 2. Vakavuuslaskenta: Penkereen vakavuus.....	64
	Liite 3. Kaivannon vakavuus.....	90
	Liite 4. Penkereen painumat pehmeiköllä	115
	Liite 5. Anturan painumat	133
	Liite 6. Pilaristabilointi.....	155

ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

A'	tehokkaan pohjan ala [m^2]
B	perustuksen leveys [m]
C_d	Kuormien vaikutusta rajoittava mitoitusarvo
b_c, b_q, b_γ	perustuksen pohjan kaltevuuden vaikutuskertoimia
c	koheesio [kN/m^2]
c_{krit}	pilarien kriittinen leikkausjännitys)
D	perustamissyvyys [m]
E_d	Kuormien vaikutuksen mitoitusarvo
E_{pil}	pilarien muodonmuutosmoduuli
i_c, i_q, i_γ	kuormitusresultantin kaltevuuden vaikutuskertoimia
k_h	horisontaalijännityksen kerroin (= 1)
m	moduuliluku
M_a	aktiivimomentti
M_p	passiivimomentti
N	Normaalivoima
N_c, N_q, N_γ	kantavuuskertoimia
R	kestävyys [kN], tai säde [m]
R_d	Kestävyuden mitoitusarvo
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry.
S	Kokonaispainuma
S_i	Alkupainuma
S_k	Konsolidaatiopainuma
S_τ	Sivusiirtymien aiheuttama painuma
S_s	Jälkipainuma, ts. sekundääripainuma
s_u	suljettu leikkauslujuus [kN/m^2]
s_c, s_q, s_γ	perustuksen muodon vaikutuskertoimia
s_{pil}	pilarille siirtyvän kuormaosuuden aiheuttama painuma
q	kuormitus
q_{liik}	tasainen muuttuva kuorma
q_{pil}	pilareille tuleva osa kokonaiskuormasta

τ_f	leikkauslujuus [kN/m ²]
τ_{pil}	pilarin leikkauslujuus
σ'	tehokas jännitys, raepaine murtopinnalla [kN/m ²]
φ	maan sisäinen kitkakulma [°]
γ	maan tilavuuspaino [kN/m ³]
β	moduuliekspONENTTI tai jännityseksponentti
σ	pystyjännitys
σ_v	vertailujännitys 100 kN/m ² (vakio)
σ_h	pilareihin vaikuttava maan tehokas horisontaalijännitys
σ_{pil}	pilarille tuleva puristusjännitys
σ_{murto}	pilarin puristuskapasiteetti
μ	reduointikerroin

1 JOHDANTO

Pohjarakenteiden suunnittelussa geotekniset laskelmat ovat usein raskaita ja aikaa vieviä käsin laskettuina, miksi tarkastelut tehdään yleensä laskentaohjelmistojen avulla. Tampereen ammattikorkeakoululla on käytössään GeoCalc – ohjelmisto, jonka käyttöä opetellaan esimerkiksi infran ja talonrakentamisen pohjarakenteiden kursseilla. Kuitenkin opetuskäyttöön soveltuvat laskentaesimerkit ja ohjeet ovat ohjelman uudistuessa vanhentuneita ja vaativat päivittämistä. Ohjelmassa on myös mahdollisuus 3D – laskentaan, jonka soveltamista ei opetuskäyttöön ole testattu.

Tämän työn tarkoitus on tuottaa selkeät, päivitetty laskentaesimerkit GeoCalc – ohjelmiston käytöstä painuma-, vakavuus- ja stabilointilaskentaan. Esimerkit toimivat apuna ohjelmiston eri laskentamoduulien opettelussa ja perehdyttävät samalla ohjelman käytön perustoimintoihin.

Työn tavoitteena on helpottaa ohjelmiston käytön opettelua ja tehdä ohjelmistossa tehtävät valinnat helpommin ymmärrettävämmiksi.

Työssä käsitellään laskentaohjelmiston taustan lisäksi vakavuus-, painuma- ja stabilointilaskennan teoreettisia taustoja ja laskentamenetelmiä niin, että GeoCalc – ohjelmistossa tehdyt valinnat ja vaihtoehdot tulevat ymmärrettävämmiksi.

Aihe on rajattu koskemaan stabiliteetti- ja painumalaskelmien lisäksi stabilointeja. Työssä ei siis käsitellä tuettujen kaivantojen tai paaluperustuksien mitoitusta GeoCalc – ohjelmistolla.

2 GEOCALC

GeoCalc on suunnittelijoiden päivittäinen työkalu geoteknisten laskelmien suorittamiseen. Ohjelmalla pystytään tekemään stabiliteetti- ja painumalaskentaa sekä mitoittamaan tukiseiniä, paaluja ja syvästabilointia.

2.1 Yleistä

GeoCalc on geoteknisiin laskelmiin tarkoitettu suunnitteluohjelmisto ja tulosta vuonna 2002 käynnistyneestä GeoSuite – projektista, missä geoalan eri toimijat ja asiantuntijat halusivat kehittää yhden nykyaikaisen laskentaohjelman. Aiemmin ongelmana oli, että geotekniset laskelmat oli tehtävä hajautettuna usealla eri laskentaohjelmistolla, jotka olivat osittain vanhentuneita ja vaikeakäyttöisiä. (Vianova Systems Finland Oy: Geoala yhdisti osaamisensa...).

GeoCalcin tuli korvata siis aiemmat useat eri ohjelmat ja täyttää keskeiset geotekniset vaatimukset, jotta sitä voidaan pitää yleisesti hyväksyttynä laskentamenetelmänä. Projektin koordinoinnista ja käytännön ohjelmistokehityksestä vastasi Vianova Systems Oy, joka huolehtii ohjelmiston nykyisestä myynnistä, tuotekehityksestä ja koulutuspalvelusta. (Vianova Systems Finland Oy: Geoala yhdisti osaamisensa...).

2.2 Viasys VDC Oy

Kerrotaan hieman GeoCalc – ohjelmistoa jakavasta yrityksestä. Vianova Systems Finland Oy on perustettu vuonna 1989 rakennusalan ohjelmistotaloksi. Yritys palvelee rakennus- ja yhdyskuntatekniikan alan toimijoita Suomessa tarjoamalla asiakkailleen tukipalveluja ja koulutusta erilaisten kurssien muodossa. (Vianova Systems Finland Oy, 2016).

Vianova Systems Finland Oy jakautui kuitenkin 1.1.2016 kahdeksi yhtiöksi. Vianova Systems Finland Oy on erikoistunut infrastruktuurisuunnittelu ja –ohjelmisto – toimintaan. Uutena yrityksenä muodostui Viasys VDC Oy, joka on jatkossa kiinteistö- ja rakennusalan elinkaarenaikaiseen malli- ja tiedonhallinta – liiketoimintaan erikoistunut

yritys. Jakaantumisella yhtiö pyrkii vastaamaan paremmin sen nykyisten ja tulevien asiakkaiden tarpeisiin ja vastaamaan alan nopeaan kehitykseen (Vianova Systems Finland Oy, 2016).

Yhtiön jakaantumisesta ilmoittavassa tiedotteessa kerrotaan GeoCalc - ohjelmiston kuuluvan nykyisin Viasys VDC Oy:n tuotteisiin. Tällöin myös ohjelmiston tukipalvelut tarjoavat Viasys VDC Oy. Novapoint – tuoteperheestä vastaa taas Vianova Systems Finland Oy. (Vianova Systems Finland Oy jakautui...2016).

Kuitenkin tietoa GeoCalc – ohjelmasta löytyy vielä vain Vianova Systems Finland Oy:n verkkosivuilta.

2.3 GeoCalc 3.1

Ohjelmistossa eri laskentamenetelmät ovat erillisissä laskentamoduuleissa, jotka toimivat yhteisen piirtoalustan päällä. Tämä mahdollistaa sen, että eri tarkasteluille voidaan käyttää samaa piirtoalustalla olevaa laskentamallia. (Vianova Systems Finland Oy 2010, 3).

Laskentamoduulit toimivat pääasiassa eri yliopistojen kehittämien ja ohjelmoimien laskentamallien avulla, joista Vianova Systems Oy on kehittänyt laskentamoottorit. Esimerkiksi tukiseinä-laskentamoottorin laskentamalli on kehitetty Tampereen Teknisessä yliopistossa. (Vianova Systems Finland Oy, 2010,3).

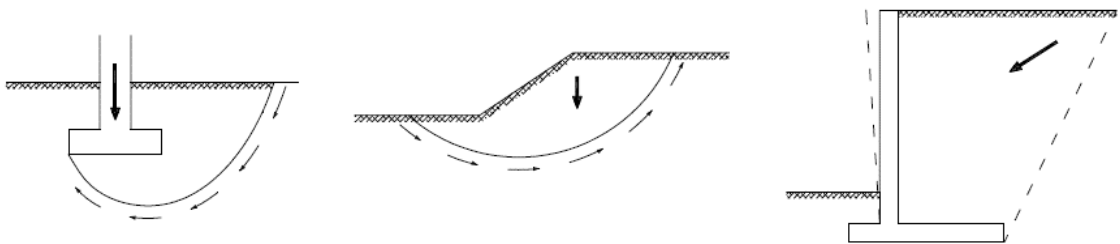
Tämän opinnäytetyön kirjoittamishetkellä uusin versio on GeoCalc 3.1, mille ohjelman tuottaja on ilmoittanut uudeksi ominaisuudeksi esimerkiksi sen, että pilaristabilointilaskennasta voidaan tuottaa lähtötiedot stabiliteettilaskentaa varten, jonka jälkeen vakavuustarkastelu tehdään stabiliteettimoduulilla (Vianova Finland Oy: GeoCalc 3.1 uudet ominaisuudet, 2016).

3 MAAPOHJAN VAKAVUUSLASKENNAN TEORIA

Pohjarakenteille geotekninen kantavuus on määriteltävä yleensä kantokyky- ja painumalaskelmiin perustuen. Maapohjalle rakennettaessa on sille määriteltävä geotekniset maakerrokset ja niiden geotekniset mitoitusarvot ennen suunnittelua ja rakentamista. Maapohjaksi luetaan luonnonmaapohja, täyttömaapohja, vaihdettu maapohja sekä vahvistettu maapohja. (RIL 121-2004,67,68).

3.1 Maapohjan kantavuuden ja vakavuuden laskenta

Maarakenteet, perustukset ja jännitykset maaperässä aiheuttavat siihen leikkausjännityksiä. Jos maapohjaa kuormitetaan niin raskaalla rakenteella, että kuormituksesta aiheutuvat leikkausvoimat ylittävät maan leikkauslujuuden, maapohja murtuu ja rakenne joko painuu maan sisään tai liukuu sivulle määrättyä liukupintaa pitkin. Maakerrostuman leikkauslujuus määrää siis mm. maapohjan kantavuuden, maaluisien vakavuuden ja maanpaineen suuruuden. Tämän vuoksi leikkauslujuus on ehkä keskeisin maaperän lujuusominaisuuksista. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1986, 122; Helenelund 1974, 88).



KUVA 1. Maakerroksen leikkauslujuus määrää mm. maapohjan kantavuuden, maaluisien vakavuuden ja maanpaineen suuruuden

Leikkauslujuuden katsotaan koostuvan kahdesta päätekijästä:

1. **Sisäisestä kitkasta**, joka aiheutuu maakeiden hankauksesta toisiaan vastaan. Karkearakeisissa maissa (esim. hiekka, sora, murske) leikkauslujuus aiheutuu pääasiassa kitkasta, jolloin koheesio otaksutaan nollassi.
2. **Koheesiosta**, joka aiheutuu maahiukkasten välisistä kiinnevoimista, sekä mineraalihiukkasia ympäröivien vesivaipojen välisistä sähköstaattisista

voimista. Saven leikkauslujuus muodostuu pääasiassa vain koheesiosta, jolloin kitka otaksutaan nolaksi.

Lisäksi on välimuotomaalajeja, esim. siltti ja moreeni, joiden leikkauslujuus muodostuu sekä kitkasta, että koheesiosta. Yleisesti leikkauslujuus voidaan ilmaista myös kaavalla:

$$\tau_f = c + \sigma' \cdot \tan \varphi \quad (1)$$

missä,

τ_f	leikkauslujuus [kN/m ²]
c	koheesio [kN/m ²]
σ'	tehokas jännitys, raepaine murtopinnalla [kN/m ²]
φ	maan sisäinen kitkakulma [°]

(Helenelund 1974,88; Jääskeläinen 2014, 100; Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1986, 123).

Kantavuuskaavat

Tarkasteltaessa esimerkiksi kaavaa, mitä käytetään Liikenneviraston kohteissa maavaraisia siltaperustuksia laskiessa, on siitäkin eroteltavissa koheesion (c), murtopinnalla vallitsevan raepaineen (σ , kaavassa q) ja maan sisäisen kitkan huomioivat osat (Kaava 2). Kitka, ts. kitkakulma (φ) huomioidaan kaavassa yksiköttömissä kertoimissa (b, N, i):

$$\frac{R'}{A'} = c' \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \quad (2)$$

missä,

R	kestävyys [kN]
A'	tehokkaan pohjan ala [m ²]
c'	tehokas koheesio [kN/m ²]
q'	perustamistasossa vallitseva jännitys [kN/m ²], mikä puolestaan voidaan laskea kuten kaavassa 3:

$$q' = D \cdot \gamma \quad (3)$$

	missä,
D	perustamissyvyys [m]
γ	maan tilavuuspaino perustamistason yläpuolella [kN/m ³]
B'	perustuksen tehokas leveys [m]
b_c, b_q, b_γ	perustuksen pohjan kaltevuuden vaikutuskertoimia
N_c, N_q, N_γ	kantavuuskertoimia
s_c, s_q, s_γ	perustuksen muodon vaikutuskertoimia
i_c, i_q, i_γ	kuormitusresultantin kaltevuuden vaikutuskertoimia
γ'	maan tehokas tilavuuspaino perustamistason alapuolella [kN/m ³]

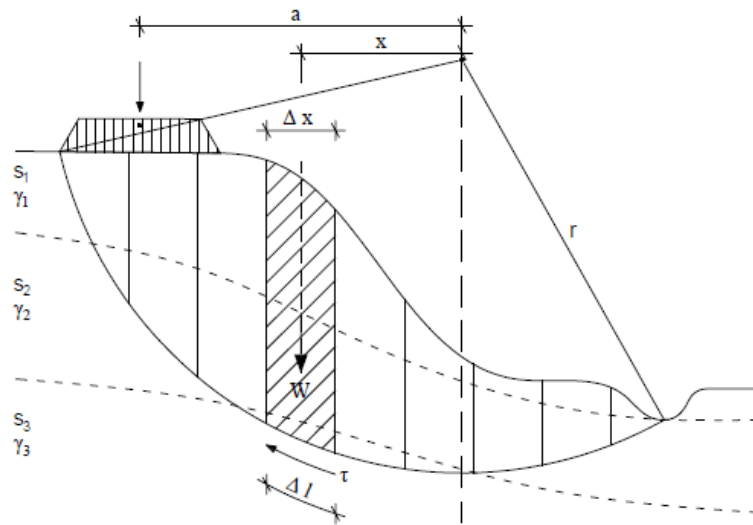
Kantavuuden laskentaa kaavan 2 mukaisesti ei ole tarkoitus käsitellä tässä työssä syvemmin. Ohjeet maavaraisen perustamisen kantokestävyyden laskentaan löytyvät esimerkiksi Liikenneviraston ohjejulkaisusta: *Eurokoodien soveltamisohje Geotekninen suunnittelu NCCI7*. Vastaavasti talokohteissa käytetään RIL:n julkaisua *RIL 207-2009 Geotekninen suunnittelu*. Eurokoodi yhdessä RIL:n julkaisun ”RIL 201-2008 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodi” kanssa. (Liikennevirasto 35/2013, 47; RIL ry 2016).

Rakenteiden kantokyky voidaan laskea kantavuuskaavan avulla silloin, kun kantavuuskaavan edellyttämä murtokuvio ts. leikkauspinta, voi muodostua homogeenisessä maapohjassa. Muissa tapauksissa pohjarakenteen kantokyky määritetään liukupintojen avulla tai koekuormituksien perusteella. Laskentamallin ollessa monimutkainen, tai geoteknisen käyttäytymisen ollessa laskennallisesti vaikeaa, voidaan mitoitusta myös täydentää työnaikaisilla seurantamittauksilla. (RIL 121-2004, 73; Liikennevirasto 35/2013, 17).

Liukupinta-analyysi

Liukupinta-analyysi on Suomessa yleisesti käytössä oleva kantavuus- ja vakavuuslaskennan menetelmä. Sitä pidetään yleismenetelmänä, jolla voidaan laskea kantavuus- ja vakavuuslaskelmat monimutkaisissakin tilanteissa. Menetelmässä sortuman oletetaan tapahtuvan maassa pitkin tiettyä liukupintaa, jonka sijainti ja muoto tunnetaan. Tyypillisesti lamellimenetelmällä tehtävässä liukupintatarkastelussa

liukupinnan yläpuolinen osa jaetaan pystysuoriin lamelleihin, joiden tasapainoa tutkitaan (Kuva 2). Menetelmässä haetaan kriittisintä liukupintaa ja sen löytämiseksi suoritetaan lukuisia tarkasteluja erilaisilla liukupinnoilla. (Jääskeläinen 2014, 213).



KUVA 2. Liukupinta-analyysin periaate koheesiomaassa

Laskennassa tulee huomioida kerrokset, joiden leikkauslujuus on merkittävästi muita kerroksia heikompi. Tämä johtuu siitä, että vaarallisin liukupinta pyrkii leikkaamaan lujimmat kerrokset ohuimmilta kohdin lyhyesti ja pehmeimmissä kerroksissa mahdollisimman pitkästi. Liukupinnan muoto voi olla periaatteessa täysin vapaa, mutta laskelmissa se oletetaan yleensä ympyräksi. (Mansikkamäki 2009, 14; Liikennevirasto 35/2010, 67,68).

Käsinlaskennassa tyypillisin etenemisjärjestys olisi:

- 1) Määrittää maaperän kerrosrajat, penkereen tai leikkauksen sijainti
- 2) Määrittää maalajit, niiden tilavuuspainot, kitkakulma, koheesio ja suljettu leikkauslujuus
- 3) Määrittää:
 - a) pohjaveden pinta
 - b) kallion pinta
 - c) kuormat
- 4) Määrittää ensimmäinen liukupinta arvioimalla suurinta epätasapainoa ja maakerroksien heikkoutta.
- 5) Jakaa liukuympyrän yläpuolinen osa pystylamelleihin
- 6) Laskea paikallaan pitävä eli passiivimomentti lamelli kerrallaan (Kaava 4):

$$M_p = R \cdot \Delta l \cdot s \quad (4)$$

missä,

M_p passiivimomentti

R liukuympyrän säde

Δl liukupinnan pituus tarkasteltavan lamellin leveydeltä (Kuva 2)

s leikkauslujuus [kN/m^2]

7) Laskea kaatava eli aktiivimomentti (Kaava 5):

$$M_a = Q \cdot a + W \cdot x \quad (5)$$

missä,

M_a aktiivimomentti

Q ulkoisesta kuormasta aiheutuva momentti (esim. penger)

a ulkoisen kuorman momenttivarsi liukuympyrän keskipisteeseen (Kuva 2)

W tarkasteltavan lamellin tilavuuspainosta aiheutuva pistekuormitus

x tarkasteltavan lamellin painopisteen momenttivarsi liukuympyrän keskipisteeseen (Kuva 2)

8) Laskea varmuuskerroin murtoa vastaan yhtälön (6) mukaisesti:

$$F = M_p / M_a \quad (6)$$

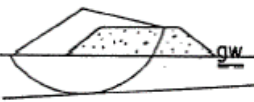


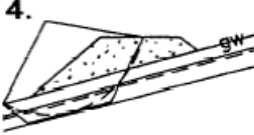
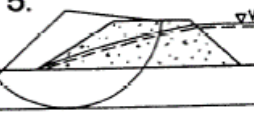
Lasku uusitaan niin monella liukupinnalla, että pienin varmuuskerroin saadaan haarukoitua suurempien varmuuksien sisälle. Tämä tulee huomioida myös, kun tarkastellaan laskentaohjelmilla saatuja tuloksia (Jääskeläinen 2014, 213).

Koheesio- ja kitkamaan liukupintojen laskenta eroaa leikkauslujuuden määrittämisessä. Koheesiomaalla leikkauslujuus on vakio, kun taas kitkamaalla se riippuu tarkasteltavan kohdan liukupintaa vastaan kohdistuvasta normaalijännityksestä. (Jääskeläinen 2014, 212,213,216; Rantamäki, Jääskeläinen & Tammirinne 1986, 195,196).

Laskentateoria

Liukupinta-analyysin laskennalle on olemassa useita laskentateorioita, joista ympyräliukupintoihin perustuva Bishopin yksinkertaistettu menetelmä on yksi käytetyimmistä varmatoimisuutensa ja nopeutensa ansiosta. Menetelmällä saatavat tulokset katsotaan olevan riittävän tarkkoja. Sen käyttöä olisi kuitenkin harkittava tilanteessa, missä malliin vaikuttaa suuria vaakasuuntaisia voimia. Samoin, jos maapohjassa on ohut, pehmeä savikerros, jota pitkin liukuminen tapahtuu, on sopivampi käyttää liukupintoja, jotka eivät ole ympyränmuotoisia, esim. kiilamenetelmää tai Janbun menetelmää. Alla olevassa taulukossa (1) on Liikenneviraston ohjeen 9/2010 Tiepenkereiden ja leikkausten suunnittelu mukainen esitys eri tilanteisiin soveltuvista laskentamenetelmistä. (Liikennevirasto 9/2010, 25; Mansikkamäki 2009, 14).

TAULUKKO 1: Eri tapauksissa käytettäviä laskentamenetelmiä (Liikenneviraston ohje 9/2010, Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu, 25).

TAPAAUS	KUVAUS	ANALYYTTINEN MENETELMÄ
1. 	Tavanomainen tapaus	1. Yksinkertaistettu Bishopin menetelmä *
2. 	Kaivanto tms. penkereen vieressä	1. Yksinkertaistettu Bishopin menetelmä *
3. 	Ohut, pehmeä maakerros, jossa liukuminen tapahtuu	1. Kiilamenetelmä 2. Janbun menetelmä
4. 	Penger rinteessä	1. Kiilamenetelmä 2. Janbun menetelmä 3. Yksinkertaistettu Bishopin menetelmä
5. 	Penger toimii maapatona. suotopaine-kuormitus, märkäviiva.	1. Yksinkertaistettu Bishopin menetelmä *

3.2 Kantavuus- ja vakavuuslaskennan lähtötiedot

Vakavuuslaskennassa tarvittavia lähtötietoja ovat:

- Olemassa olevat rakenteet, jotka vaikuttavat paitsi passiivisena tai aktiivisena kuormana, myös käytettävien varmuuskertoimien suuruuteen.
- Ojat, painanteet, koska liukupinta pyrkii leikkaamaan maanpinnan ojien yms. painanteiden pohjien läpi.
- Maalajikerrokset, joissa kiinnitetään huomiota varsinkin todella pehmeisiin, herkkiin kerroksiin. Liukupinta pyrkii leikkaamaan nämä mahdollisimman pitkältä matkalta.
- Penkereet, jotka aiheuttavat maapohjalle lisäkuormitusta ja voivat aiheuttaa maapohjan murtumisen.
- Kaivannot, joiden luiskan kaltevuus määritellään vakavuus- eli stabiliteetilaskennan perusteella.
- Pohjaveden esiintyminen
- Maakerrosten tilavuuspainot, γ [kN/m³], määrittää leikkauspinnalle tulevan kuormituksen.
- Koheesio, c [kN/m²] ts. suljettu leikkauslujuus, s_u [kN/m²], mikä määrittää erityisesti koheesiomaan kestävyysleikkausmurtumaa vastaan.
- Kitkakulma, φ [°], mikä määrittää erityisesti kitkamaan kestävyysleikkausmurtumaa vastaan.

3.3 Kokonaisvarmuusmenetelmä

Kokonaisvarmuusmenetelmä on ollut Suomessa käytössä pohjarakenteiden suunnittelussa ennen eurokoodin käyttöönottoa. Menetelmässä laskenta suoritetaan käyttämällä sekä kuormien että rakenteen lujuusominaisuuksien ominaisarvoja. (Jaakkonen 2013,37).

Kokonaisvarmuusmenetelmässä mitoitettavan rakenteen lujuus on oltava riittävän suuri verrattuna murtavien voimien suuruuteen, ts. rakenteen ominaislujuuden on oltava suurempi kuin yksi. Kokonaisvarmuuskerroin (F_{kok}) saadaan, kun rakenteen lujuus jaetaan sitä rasittavilla kuormilla alla olevan kaavan mukaisesti.

$$F_{kok} = \frac{\text{Rakenteen lujuus}}{\text{Rasittavat voimat}} \quad (8)$$

Keskeistä kokonaisvarmuusmenetelmässä on kokonaisvarmuuskertoimen määrittäminen. Pohjarakenteiden mitoituksessa vaatimus on yleensä ollut $F_{kok} \geq 1,5$ ja vaativissa kohteissa suurempi. Esimerkiksi Suomen Rakennusinsinööriliiton julkaisun *RIL 121-2004: Pohjarakennusohjeet* mukaan varmuusluvun arvo on 1,8 rakennusaikaisen kaivannon liukusortumaa vastaan, kun sen vaikutusalueella on muita kuin työnaikaisia rakenteita (Jaakkonen 2013, 37; RIL 2014, 137).

3.4 Eurokoodien mukainen mitoitus osavarmuusmenetelmällä

Geotekniset mitoitukset suoritetaan eurokoodien osan 7, eli standardin *EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu* ja sen kansallisen liitteen mukaisesti. Laskelmien tekemiseen käytetään kohteesta riippuen joko Liikenneviraston tai RIL:n julkaisemia soveltamisohjeita. Eurokoodit sisältävät periaatteet sekä kokonaisvarmuuden määrittämiselle, että osavarmuuksien määrittämisen eri kuormituksille ja lujuusominaisuuksille.

Osavarmuusmenetelmä ominaiskuormista ja –lujuuksista saadaan mitoitusarvoja huomioimalla ne eurokoodin mukaisilla osavarmuusluvuilla. Eurokoodien mukainen mitoitus perustuu rajatiloihin, jotka voidaan jakaa murto- ja käyttörajatiloihin. Käytettävät osavarmuusluvut riippuvat tarkasteltavasta rajatilasta ja laskentaan käytettävästä mitoitusmenetelmästä (Bond & Schuppener 2013, 10,11)

3.4.1 Murtorajatila

Murtorajatilaksi luokitellaan esimerkiksi ihmisten turvallisuuteen liittyvät ja rakenteen sortumista edeltävät tilat (SFS 1990, 16/46). Murtorajatilassa osoitetaan, että kuormien vaikutusten mitoitusarvo (E_d) on enintään yhtä suuri, kuin kestävyuden mitoitusarvo (R_d) (Kaava 8). Kun vakavuus lasketaan tavanomaisella lamellimenetelmällä, tarkoittaa tämä, että E_d on kaatavan aktiivimomentin arvo ja R_d taas passiivimomentin (Liikennevirasto 2013,68).

$$E_d \leq R_d \quad (9)$$

missä,

E_d Kuormien vaikutuksen mitoitusarvo

R_d Kestävyyden mitoitusarvo

Murtorajatilamitoituksen tuloksena saadaan kaavan (10) mukaan laskettuna ylimitoituserroin (ODF). Vaatimuksena on, että $ODF \geq 1,0$ (Liikennevirasto 35/2013, 68).

$$ODF = \frac{R_d}{E_d} \geq 1,0 \quad (10)$$

Murtorajatilatarkastelu voidaan tehdä Suomessa joko DA2 tai DA3 – menetelmällä. Menetelmät huomioivat osavarmuusluvut eri vaiheissa laskentaa. On olemassa myös menetelmä DA 1, mutta sitä ei käytetä Suomessa (Jääskeläinen 2011, 346).

DA 2 – menetelmää käytetään antura- ja laattaperustusten, ankkurien ja tukirakenteiden mitoituksessa ja siitä on olemassa vaihtoehtoinen DA 2* - menetelmä (Jääskeläinen 2011, 346).

Vakavuutta eli stabiliteettia laskiessa käytetään Suomessa menetelmää DA3, missä osavarmuusluvut kohdistetaan heti alussa kuormiin ja maaparametreihin (Jääskeläinen 2011, 346). Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty osavarmuusluvut, joita käytetään menetelmällä DA3 laskiessa (Liikennevirasto 35/2013, Liite 1).

TAULUKKO 3. Kuormien ja kuorman vaikutusten osavarmuusluvut laskettaessa DA3 -menetelmällä (Liikenneviraston ohjeita 35/2013: Eurokoodien soveltamisohje, Geotekninen suunnittelu - NCCI7, Liite 1)

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

TAULUKKO 2. Maaparametrien osavarmuusluvut maanvaraisia penkereitä ja leikkauksia laskiessa käytetään M2 – sarjan arvoja (Liikennevirasto 35/2013, Liite 1)

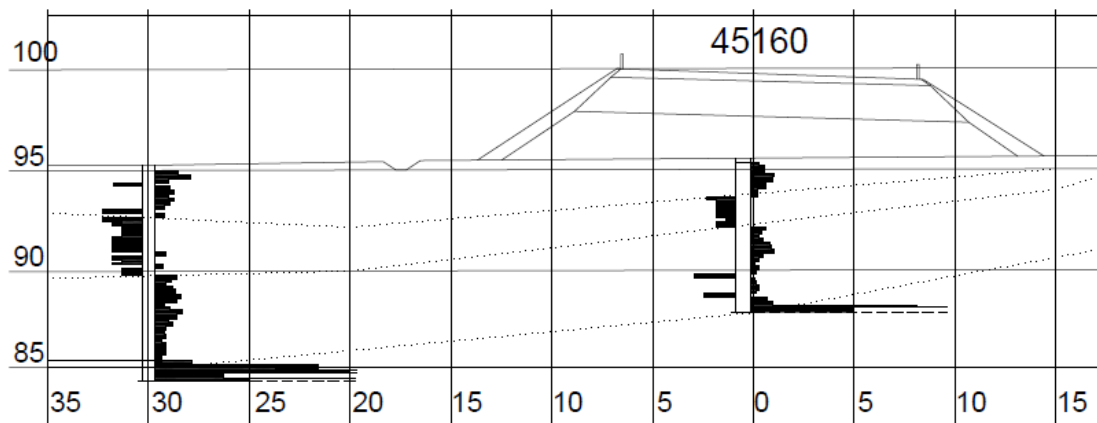
Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		M1	M2
Leikkauskestävyyskulma ^a	γ_{ϕ}	1,0	1,25
Tehokas koheesio	γ_c	1,0	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,0	1,4
Yksiaksiaalinen puristuskoe	γ_{qu}	1,0	1,4
Tilavuuspaino	γ_s	1,0	1,0

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

4 VAKAVUUSLASKENNAN LASKENTAESIMERKIT

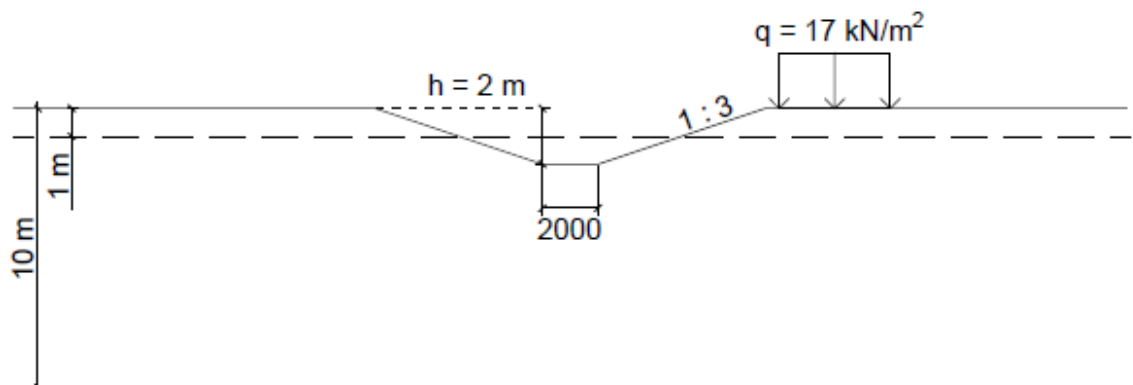
Laskentaesimerkeissä tarkastellaan pehmeikölle rakennetun penkereen ja savikolla olevan putkijohtokaivannon vakavuutta. Tehdessä eurokoodien mukaista mitoitus, tulee vakavuustarkastelu tehdä sekä murto- että käyttörajatilassa.

Laskentaesimerkeissä tarkastellaan ensin alapuolisen kuvan mukaista tilannetta. Mitoitettavana tilanteena on pehmeikölle perustettava n. 2,5 metriä korkea pengerr.



KUVA 4. Laskentaesimerkissä tarkasteltava tilanne

Toisena laskentaesimerkkinä vakavuuslaskennasta toimii luiskattu putkikaivanto. Kaivanto on noin 2 metriä syvä ja tehdään tasalaatuiselle savikolle, kuten alla olevassa kuvassa on esitetty.



KUVA 5. Laskentaesimerkissä tarkasteltava putkikaivanto

4.1 Penkereen vakavuus pehmeiköllä

Laskentaesimerkissä tarkastellaan pehmeikölle perustettua penkerettä (Kuva 4) ja sille tehdään tarkastelut sekä murto- että käyttörajatilassa. Maanvaraista penkerettä tai luiskaa mitoittaessa käytetään laskentatapaa DA3, jolloin osavarmuusluvut kohdistetaan heti laskennan alusta maaparametreihin ja muuttuviin kuormiin aiemmin esitettyjen taulukoiden 2 ja 3 mukaisesti. Maaparametrien osavarmuusluvut tulevat sarakkeesta M2 (Liikennevirasto 35/2013,67). Lisäksi tässä laskentaesimerkissä tarkastellaan penkereen vakavuutta kokonaisvarmuuslukumenetelmällä.

4.1.1 Laskentamalli

Laskentamallin geometriaan ei kohdisteta varmuuksia, vaan laskentamallissa käytetään tunnettujen tietojen nimellisarvoja. Olemassa olevien rakenteiden osalta siis mittaustietoihin, uusien rakenteiden osalta suunnitelmiin ynnä pohjatutkimuksiin perustuen. (Liikennevirasto 35/2013, 24).

Pohjaveden- ja vapaanvedenpinnan taso valitaan laskentamallissa niin, että ne edustavat mitoitustilanteessa epäedullisimpia mahdollisia tasoja rakenteen käyttöaikana. Lisäksi laskentamallissa tulee huomioida erityisesti kerrokset, joiden leikkauslujuus on huomattavasti muita kerroksia heikommat. (Liikennevirasto 35/2013,67).

4.1.2 Laskentateoria

Penkereen poikkileikkaus suunnitellaan ja mitoitetaan pehmeikköalueilla vakavuuslaskelmien avulla. Koheesiomaan varaan rakennettavan penkereen lyhytaikainen vakavuus lasketaan $\varphi = 0$ -menetelmällä ja pitkäaikainen $c - \varphi$ -menetelmällä. Laskennassa käytettävät leikkaukset valitaan siten, että vakavuus vaarallisimmassa suunnassa tulee selvitettyksi. Lisäksi liukupintoja lasketaan sellainen määrä, että heikoin liukupinta rajautuu kahden vahvemman väliin. (Tielaitos 2003, 20).

4.1.3 Raja-arvot

Osavarmuuslukumenetelmällä laskettaessa on pienimmän varmuuskertoimen oltava arvoltaan $\geq 1,0$.

Rakentamismääräyskokoelman osan B3 Pohjarakenteet (2004,14) mukaan kokonaisvarmuuslukumenetelmällä laskettuna on pienimmän varmuuskertoimen oltava arvoltaan $\geq 1,8$.

Penkereen vakavuutta voidaan parantaa esimerkiksi:

- Vähentämällä maapohjaan kohdistuvaa kuormitusta esim. madaltamalla pengertä tai kevennerakenteilla
- Käyttämällä vastapengertä
- Vahvistamalla maapohjaa esim. massanvaihdoilla tai käyttämällä syvästabilointia
- Siirtämällä kuormat kantavaan pohjaan paaluilla

Penkereen vakavuuden laskentaa Novapoint GeoCalc- ohjelmistolla käsitellään tarkemmin Liitteessä 2.

4.2 Luiskattu kaivanto

Laskentaesimerkissä tarkastellaan homogeeniselle savikolle luiskaamalla tehtävää kaivantoa. Laskennassa huomioidaan vieressä työskentelevän työkoneen aiheuttama kuormitus. Tarkastelut tehdään sekä osavarmuuslukumenetelmällä että kokonaisvarmuusmenetelmällä.

Kaivantotyöt määritellään Suomen lainsäädännössä vaarallisiksi töiksi ja niiden sortuminen aiheuttaakin vuosittain lukuisien loukkaantumisien ja tapaturmien lisäksi 1 – 3 kuolemaa. Rakennustyön turvallisuutta koskevassa Valtioneuvoston asetuksessa 205/2009 on useita kaivantojen turvallisuuteen liittyviä säädöksiä. Asetus velvoittaa ottamaan selvää maan ja kallioperän geoteknisistä ominaisuuksista ennen maa- ja vesirakennustyön aloittamista. Kaivanto voidaan tehdä luiskattuna tai porrastamalla sen perustuessa luotettaviin suunnitelmiin (VNA 205/2009 §34). Kaivantoja suunniteltaessa on siis arvioitava niiden sortumavaaraa ja maamassojen kantavuutta (Liikennevirasto: Vaara vaanii kaivannossa, 6,14).

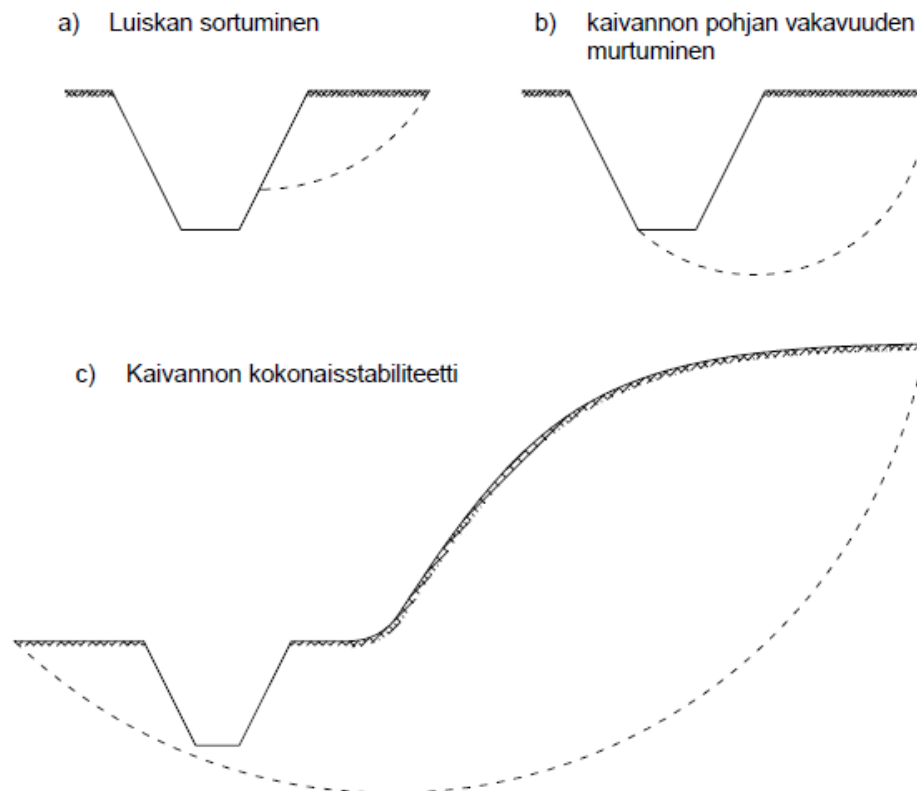
4.2.1 Laskentamalli

Kaivannon luiskan kaltevuus (ja näin ollen kaivannon tilantarve) määritellään vakavuuslaskujen perusteella. Luiskan minimikaltevuus on kuitenkin 2:1 erityisesti työturvallisuuden vuoksi.

Kaivantopoikkileikkauksen valinnassa on huomioitava:

- riittävä varmuus kaivannon luiskien sortumista vastaan
- riittävä varmuus pohjamaan heikkojen kerrosten kautta tapahtuvaa laaja-alaista sortumaa vastaan
- työturvallisuus
- kaivannon pohjan vakavuus
- pohjaveden hallinta (hydraulisen murtuman vaara)

(RIL263-2014, 133).



KUVA 6. Kaivannon murtumismekanismeja

4.2.2 Laskentateoria

Hienorakeisessa ja eloperäisessä maassa luiskatun kaivannon vakavuutta tarkastellaan sekä lyhytaikaisessa että pitkäaikaisessa tilanteessa. Lyhytaikaisella vakavuudella tarkoitetaan tilannetta, missä maassa vallitseva huokosvedenpaine on alkanut muuttua rakennustöiden aikana tai välittömästi niiden jälkeen (RIL 263-2014, 133).

Koheesiomaalajeilla lyhyen ajan vakavuus tarkastetaan $\varphi = 0$ – menetelmällä (eli kitkakulma merkitään nollassi). Pitkän ajan vakavuus on tehtävä $c - \varphi$ – menetelmällä. Karkearakeisilla maalajeilla vakavuus tarkistetaan aina $c - \varphi$ – menetelmällä, jolloin on huomioitava myös pohjaveden virtaustila. Menetelmässä käytettäviä lujuusparametreja voidaan arvioida kairausvastuksen perusteella alla olevasta taulukosta (4) (RIL 263-2014, 133).

TAULUKKO 4: Maalajien lujuus- ja muodonmuutosominaisuusparametrien arviointi kairausvastuksen perusteella (RIL 263-2014, Taulukko 7.3, 134).

Maalaji		Tilavuuspaino (kN/m ³) pohjavedenpinnan		Kitkakulma φ (°)	Janbun yhtälön muodonmuutos-parametri		Kairausvastus		
		Ylä- puolella	Ala- puolella		Moduuliluku m	Jännitys- eksponentti β	Puristin- kairaus q ^c (Mpa)	Paino- kairaus Pk / 0,2 m	Heijari- kairaus L / 0,2 m
Karkea siltti	Löyhä	14...16	9...	28	30...100	0,3	< 7	< 40	< 8
	Keskitiivis			30	70...150	0,3	7...15	40...100	8...25
	Tiivis	16...18	11	32	100...300	0,3	> 15	> 100	> 25
Hieno hiekka d ₁₀ < 0,06	Löyhä	15...17	9...	30	50...150	0,5	< 10	20...50	5...15
	Keskitiivis			33	100...200	0,5	10...20	50...100	15...30
	Tiivis	16...18	11	36	150...300	0,5	>20	> 100	> 30
Hiekka d ₁₀ > 0,06	Löyhä	16...18	10...	32	150...300	0,5	< 6	10...30	5...12
	Keskitiivis			35	200...400	0,5	6...14	30...60	12...25
	Tiivis	18...20	12	38	300...600	0,5	> 14	> 60	> 25
Sora	Löyhä	17...19	10...	34	300...600	0,5	< 5,5	10...25	5...10
	Keskitiivis			37	400...800	0,5	5,5 ... 12	25...50	10...20
	Tiivis	18...20	12	40	600...1200	0,5	> 12	> 50	> 20
Moreeni	Hyvin löyhä	16...19	10...12	...34	(≤100)* 300...600	0,5	< 10	< 40	< 20
	Löyhä	17...20	10...12	...36	(100 ... 250)* 600...	0,5	> 10	40...100	20...60
	Keskitiivis	18...21	11...13	...38	800...	0,5	x	> 100	60...140
	Tiivis	19...23	11...14	...40	1200...	0,5	x	lyömällä	> 140

4.2.3 Raja-arvot

Kaivannon vakavuuden pienimmän varmuusluvun on murtorajatilassa mitoittaessa oltava arvoltaan $\geq 1,0$.

Kokonaisvarmuusmenetelmällä tarkasteltaessa on kaivannon kokonaisvarmuuden oltava arvoltaan $\geq 1,5$, kun vaikutusalueella ei ole pysyviä rakenteita (RIL 263-2014, 137).

Kaivannon vakavuutta voidaan parantaa esimerkiksi:

- loiventamalla kaivannon luiskaa
- tekemällä kevennysleikkaus luiskan yläosaan
- tekemällä massanvaihto luiskan juuren tai kaivannon pohjalle
- alentamalla pohjavettä
- stabiloimalla maa kaivannon ympäristössä, luiskassa, kaivannon pohjalla
- käyttämällä erilaisia lujiterakenteita, kuten esim. maan naulausta

Mikäli em. ratkaisuille ei ole tilaa, tai niillä ei voida parantaa luiskan stabiiliteettia tarpeeksi suunnitellaan kaivanto tuettuna. Esimerkiksi Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisussa Kaivanto-ohje RIL 263-2014, on käsitelty tuetun kaivannon mitoittamista. (RIL 263-2014, 134,138).

Putkikaivannon vakavuuden laskentaa Novapoint GeoCalc – ohjelmistolla käsitellään tarkemmin liitteessä 3.

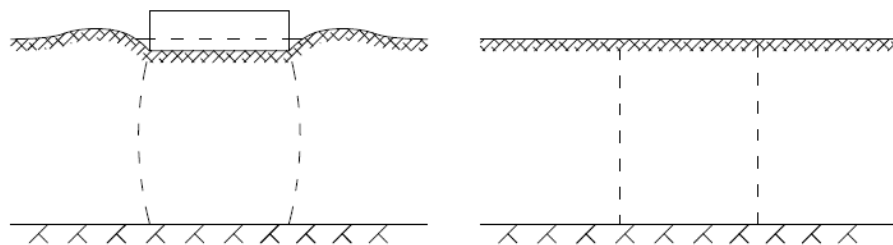
5 PAINUMALASKENNAN TEORIA

Jokainen rakenne jota ei ole perustettu kallion varaan, painuu ajan mittaan. Painuman suuruus ja nopeus riippuvat kuormituksesta ja maapohjan laadusta. Kitkamaalle perustettu rakenne painuu usein jo rakennusaikana ja kokonaispainuma voi olla joitain senttejä. Savimaalle perustettaessa taas painuman muodostuminen voi viedä vuosia ja olla lopulta jopa kymmeniä senttimetrejä. Suurta painumaa haitallisempaa on kuitenkin painuman epätasaisuus, mikä voi aiheuttaa esimerkiksi rakenteeseen haitallisia halkeamia. (Helenelund 1974, 245,246).

5.1 Painumalajit

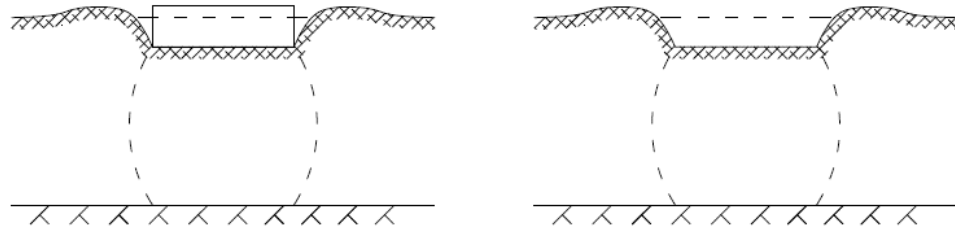
Maaperän painuminen liittyy maa-aineen kokoonpuristuvuus-ominaisuuteen, mistä voidaan erottaa kolme päälajia:

Kimmoinen painuminen (Kuva 5), missä tilanne palaa ennalleen rasituksen poistuessa ja on maa-aineksilla hyvin pientä.



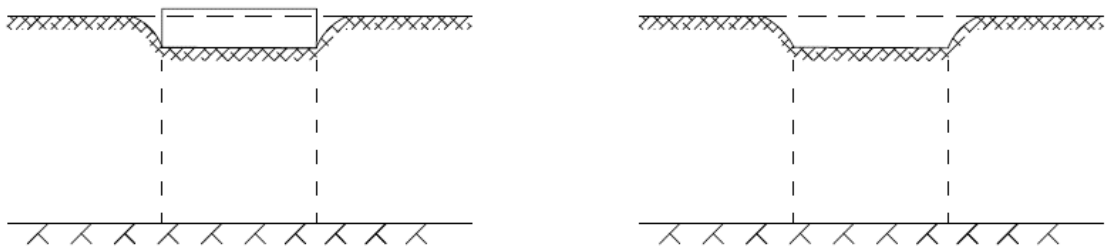
KUVA 7. Kimmoinen painuma

Plastinen painuminen (Kuva 6), missä maa-aineen leikkausvoimat ovat jo lähellä murtumisrajaa, mikä aiheuttaa maan sisällä liikkeitä, jotka voivat näkyä jo maan kohoamisena rasitetun kohdan ympärillä. Tilanne jää samaksi kuormituksen poistuessa. Plastisen painuman esiintyminen estetään yleensä käyttämällä riittävän suurta varmuutta kantavuusmitoituksessa maapohjan murtumista vastaan.



KUVA 8. Plastinen painuma

Konsolidaatiosta (ts. tiivistymisestä) aiheutuva painuminen (Kuva 7), missä kuormituksen alapuolella oleva maamassa puristuu kokoon niin, että maarakeet siirtyvät lähemmäs toisiaan ja maanpinta painuu ilman, että muita muodonmuutoksia ympärillä tapahtuisi. Toisin sanoen maapohja tiivistyy kuormituksen alla. Painuvan maakerroksen laatu, siihen kohdistuvan kuormituksen suuruus sekä maakerroksen paksuus kuormitetun alueen laajuuteen verrattuna vaikuttavat kokoonpuristuvuuden tyyppiin ja suuruuteen (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne, 1985,145).



KUVA 9. Konsolidaatiopainuma

Maavaraista rakennetta mitoitettaessa selvitetään painumien ja painumaerojen suuruus. Kokonaispainuman katsotaan koostuvan alkupainumasta, konsolidaatiopainumasta, sivusiirtymien aiheuttamasta painumasta sekä jälkipainumasta. Kokonaispainuma voidaan ilmaista myös kaavalla (11):

$$S = S_i + S_k + S_\tau + S_s \quad (11)$$

missä,

S	Kokonaispainuma
S_i	Alkupainuma
S_k	Konsolidaatiopainuma
S_τ	Sivusiirtymien aiheuttama painuma
S_s	Jälkipainuma, ts. sekundääripainuma

Näistä alkupainuma, konsolidaatiopainuma ja jälkipainuma ovat mitoituksessa yleisesti eriteltäviä painumalajeja. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1986, 207; Liikennevirasto 10/2012,26).

Alkupainuma käsittää kimmoisen muodonmuutoksen, mutta siihen sekoittuu myös muita painumisen lajeja. Alkupainuma tapahtuu yleensä nopeasti maapohjan tullessa kuormitetuksi ja ehtii muodostua jo rakennusaikana. **Konsolidaatiopainuma**, kuten edellä on kerrottu, johtuu maa-aineksen tiivistymisestä ja muodostaa suurimman osan maapohjan kokonaispainumasta. Karkearakeisessa maassa rakeet puristuvat toisiaan vasten jolloin huokostilan pienentyessä maasta poistuu ilmaa ja vettä. Hienorakeisessa maassa, kuten savessa, konsolidaatio tapahtuu hyvinkin hitaasti, mikä johtuu maa-aineksen huonosta vedenläpäisevyydestä. Koska hienorakeisessa maaperässä huokoisuus ja vesipitoisuus ovat suhteellisen suuria, muodostuvat painumat hitaasti ja ovat sitä suurempia mitä vesipitoisempi maakerros on. **Jälkipainuma** on konsolidaatiopainuman päätyttyä tapahtuvaa pientä vuodesta toiseen jatkuvaa painumaa. Tiepenkereiden painumamitoituksessa **sivusiirtymien aiheuttaman painuman** suuruus selvitetään, jos niillä on merkitystä tiepenkereen painumalle, päällysrakenteen kestävyydelle tai tien ympäristölle. Tavanomaisessa tapauksessa sivusiirtymien mahdollisuutta voidaan arvioida vakavuuslaskelmien yhteydessä. Tarkempi sivusiirtymien suuruus saadaan käyttämällä numeerisia FEM – laskentaohjelmia. (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1986, 145, 209, 210; Jääskeläinen 2011, 121,122; Liikennevirasto 10/2012, 26,31).

Maakerroksen konsolidoitumisaste saadaan selville painumakokeiden avulla, joista ödometrikoe on yleisin. Maanäytteistä selvitetään tarvittavia parametreja, jotka kuvaavat maakerroksen kokoonpuristuvuusominaisuuksia. Ödometri antaa näytteestä jännitys-muodonmuutoskäyrän. Yleensä käyrästä on havaittavissa taitekohta, mitä ennen painuma on ollut pientä. Taitekohta paljastaa konsolidaatiojännityksen (σ_c), eli suurimman jännityksen missä maakerros on ollut, ts. konsolidoitunut. Varsinainen konsolidaatiokokoonpuristuminen, eli painuminen alkaa, kun jännitys ylittää konsolidaatiojännityksen. (Jääskeläinen 2011,126. Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminen 1986, 148).

Kun verrataan toisiinsa painovoiman maakerrokseen aiheuttamaa esikuormitusta (σ_{vo}) ja maanäytteen tutkimuksessa saatua konsolidaatiokuormitusta, voidaan määrittää maakerroksen konsolidoitumistila (Kuva 10):

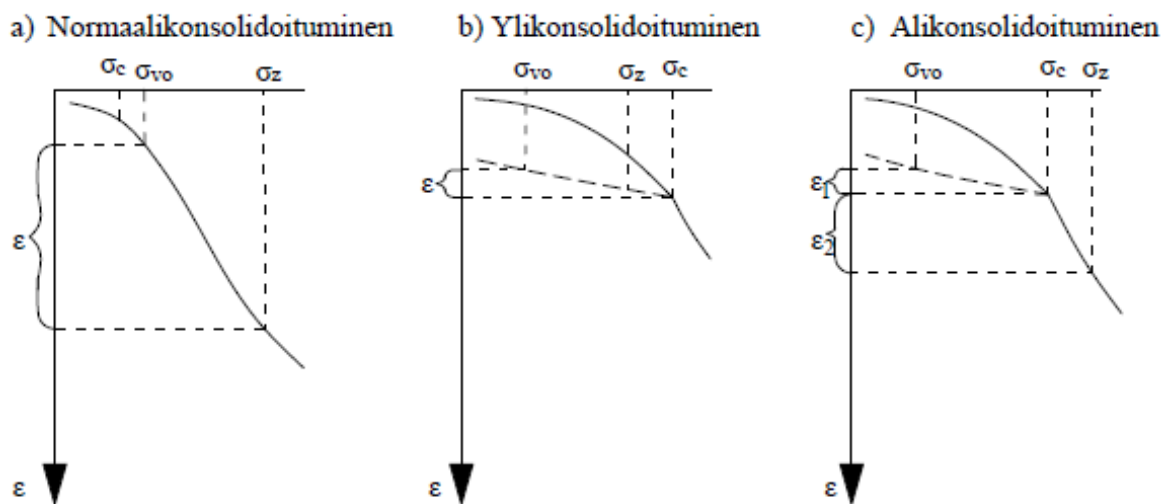
$\sigma_c = \sigma_{vo} \rightarrow$ maakerros on normaalikonsolidoitunut

$\sigma_c > \sigma_{vo} \rightarrow$ maakerros on ylikonsolidoitunut

$\sigma_c < \sigma_{vo} \rightarrow$ maakerros on alikonsolidoitunut

Suomalaiset savet ovat yleensä **normaalikonsolidoituneita**, tai lievästi ylikonsolidoituneita. Normaalikonsolidoitunut maa on yleisintä. **Ylikonsolidoitunutta** maata voisi olla esim. jääkauden aikana kilometrejä paksun jääkerroksen puristama pohjamooreni, jossa tarkisteluhetkellä vallitseva laskettu jännitys on pienempi. Maa on käytännössä harvoin **alikonsoolidoitunutta**, mutta sitä voisi esiintyä esimerkiksi tilanteessa, missä täytemaakerroksen alla oleva maakerros ei ole ehtinyt painua painumaansa loppuun.

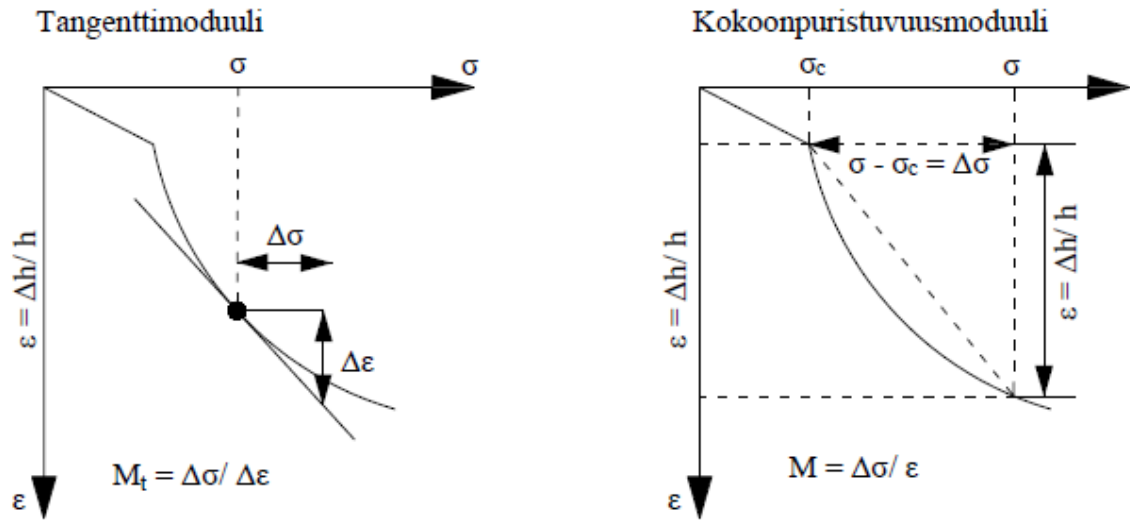
(Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne 1986, 156; Tielaitos 44/2000, 9).



KUVA 10. Eri konsolidoitumistilat jännitys – muodonmuutos - käyrillä

Painuman suuruus saadaan siis selville tulkitsemalla ödometrikokeesta saatua kokoonpuristuvuuskyrää. Painuminen alkaa, kun maakerrokseen kohdistuva kuormitus ylittää konsolidaatiojännityksen. Sitä seuraa melko säännöllisesti käyrä kuvaajaosa, minkä tulkinta toimii pohjana painuman laskennalle. Eri laskentamenetelmät eroavatkin tämän käyrän tulkitsemisessä (Rantamäki, Jääskeläinen & Tamminne 1986, 155,156).

Tangenttimoduulimenetelmää (ts. Ohde-Janbun menetelmää) käytetään Suomessa yleisesti painuman laskentaan. Menetelmä on tarkka, koska siinä laskenta seuraa kokoonpuristumakäyrän kaarevaa muotoa (Kuva 11).



KUVA 11. Tangenttimoduuli ja kokoonpuristuvuusmoduuli

Kokoonpuristuvuusmoduuli (M) määritellään konsolidaatiojännityksen ja sen ylittäneen lisäjännityksen ($\Delta\sigma$) välisenä suorana riippuvuutena. Tangenttimoduuli (M_t) määritellään taas kokoonpuristuvuusikäyrän kaltevuuden jännityksen σ määräämässä pisteessä (Kuva 11). Kaavana tangenttimoduuli voidaan ilmaista:

$$M_t = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = m \cdot \sigma_v \cdot \left[\frac{\sigma_c + \Delta\sigma}{\sigma_v} \right]^{1-\beta} \quad (12)$$

missä,

m	moduuliluku
β	moduuliekspONENTTI tai jännityseksponentti
σ	pystyjännitys
σ_v	vertailujännitys 100 kN/m^2 (vakio)

Tangenttimoduuli voidaan siis korvata kokoonpuristuvuusparametreilla. Laskentaan tarvitaan siis moduuliluku (m) ja jännityseksponentti (β). Nämä määritellään myös ödometrikokeessa. Jännityksen kasvaessa alkuarvosta (σ_c) lisäjännityksen ($\Delta\sigma$) verran, saadaan muodonmuutokselle yhtälöt seuraaville tapauksille:

Kun $\beta \neq 0$, eli maapohja on normaalisti konsolidoitunut ja kaikki uudet kuormat ovat maapohjalle lisäkuormaa:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} = \frac{1}{m\beta} \cdot \left[\left(\frac{\sigma_c + \Delta\sigma}{\sigma_v} \right)^\beta - \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_v} \right)^\beta \right] \quad (13)$$

Jos $\beta = 0,5$, voidaan kaavaa muuttaa yksinkertaisempaan muotoon:

$$\frac{\Delta h}{h} = \varepsilon = \frac{2}{m} \cdot \left(\sqrt{\frac{\sigma_c + \Delta\sigma}{\sigma_v}} - \sqrt{\frac{\sigma_c}{\sigma_v}} \right) \quad (14)$$

Jos $\beta = 0$, kuten yleensä savilla, saa kaava muodon:

$$\frac{\Delta h}{h} = \varepsilon = \frac{1}{m} \cdot \ln \frac{\sigma_c + \Delta\sigma}{\sigma_c} \quad (15)$$

(Jääskeläinen 2011, 126,127,130; Liikennevirasto 44/200;10,11).

Tangenttimoduulimenetelmän virheellinen käyttö antaa usein epärealistisen suuria laskettuja painumia. Usein laskentamenetelmän käytössä tehty virhe on, että moduulilukua ja jännitysekspONENTtia käytetään yleisinä parametreina huomioimatta miltä jännitysväliltä ne on määritetty. Laskennassa on tärkeää, että näitä parametreja käytetään yhdessä saatujen koetulosten perusteella. (Tielaitos 44/2000, 12).

5.2 Konsolidaatiopuristumisen riippuvuus ajasta

Johtuen mm. pehmeikköjen hitaasta konsolidoitumisesta, lasketaan teiden painumamitoituksessa rakenteen kokonaispainumien lisäksi rakenteen painuminen ajan funktiona. Mitoituksessa painuman vaikutus lasketaan tien pituus- ja poikkisuunnassa tien käyttöaikana. Tavanomaisissa tapauksissa tarkastelu tehdään ainakin viiden, 10 ja 50 vuoden kohdalla tien käyttöönotosta (Liikennevirasto 10/2012, 23).

Aika – painuma – kuvaajan saamiseksi tarvitaan muiden painumalaskennan lähtötietojen lisäksi konsolidaatiokerroin (c_v), mikä saadaan ödometrikoesta mittaamalla painuman etenemistä ajan funktiona lisäkuormituksen lisäyksen jälkeen.

5.3 Painumalaskennan lähtötiedot

Painumalaskennassa tarvittavia lähtötietoja ovat:

- Painuva rakenne, joka määrittelee sille sallittavat painumat ja kiertymiskulmat.
- Ympäröivät rakenteet, jotka vaikuttavat esimerkiksi sallittaviin painumiin (tekniset järjestelmät ym. kiinteät rakenteet)
- Maalajikerrokset, joissa kiinnitetään huomiota varsinkin paksuihin savikerrokseen, joilla painumat tapahtuvat hitaasti, mutta muodostuvat lopulta suhteellisen suuriksi.
- Penkereet, rakenteiden perusrakenteet sekä maapohjalle tehtävät täytöt, jotka aiheuttavat maapohjalle lisäkuormitusta ja aiheuttavat painumista.
- Maanleikkaukset ja pintamaan poistot jotka on huomioitava laskettavissa kuormituksissa rasitusta vähentävinä tekijöinä (maapohja on konsolidoitunut leikkaussyvyydeltä lujemmaksi, kuin maan pinnalta).
- Pohjaveden esiintyminen
- Maakerrosten tilavuuspainot, γ [kN/m²], mitkä vaikuttavat konsolidaatioasteen arviointiin eri syvyyksillä.
- Maakerrosten paksuudet, [m], mitkä vaikuttavat eri tilavuuspainoilla laskettaviin konsolidaatioasteiden arviointiin
- Moduuliluku, m , määritetään ödometrikokeen tuloksesta ja kuvaa laskennassa tangenttimoduulia yhdessä jännityseksponentin kanssa.
- Jännityseksponentti, β , määritetään ödometrikokeen tuloksesta ja käytetään yhdessä moduuliluvun kanssa.
- Konsolidaatiokerroin, c_v , mikä kuvaa maaperän painumista ajan funktiona ja tarvitaan aika – painuma – kuvaajaa laskiessa.

5.4 Eurokoodien mukainen mitoitus osavarmuusmenetelmällä

Eurokoodien mukaista mitoittamista käytiin yleisesti jo läpi kappaleessa 3.4 Eurokoodien mukainen mitoitus osavarmuusmenetelmällä. Painumien varmuustarkastelu tehdään vain käyttörajatilassa. Itse painumien suuruuden määrittämiseen ei anneta erityisiä ohjeita, millä laskentateorioilla ne tulisi suorittaa vaan laskentaan tulisi käyttää yleisesti hyväksytyjä menetelmiä.

5.4.1 Käyttörajatila

Käyttörajatilat liittyvät ihmisten mukavuuteen ja rakennuksen ulkonäköön tai rakennusosan toimintaan normaalissa käytössä. Geoteknisissä laskelmien kannalta merkittävämpiä käyttörajatilassa mitoitettavia asioita ovat kokonaisstabiilitetti ja painumat (SFS-EN 1990, 48).

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja, ts. osavarmuuskertoimena käytetään arvoa 1,0. Laskentaan sisällytetään sekä pysyvät että muuttuvat kuormat, jos niiden vaikutusaika on riittävän pitkä muodonmuutosten syntymisen kannalta. Esimerkiksi penkereen tai anturan maapohjaan aiheuttama pohjapaine huomioidaan, muttei esimerkiksi liikennekuormaa (Liikennevirasto 35/2010, 24).

Käyttörajatilatarkastelussa tulee osoittaa, että kuormien vaikutusten mitoitusarvo (E_d) on enintään yhtä suuri kuin kestävyuden mitoitusarvo (C_d), kuten alla olevassa kaavassa (11) on esitetty.

$$C_d \geq E_d \quad (10)$$

missä,

E_d Kuormien vaikutusten mitoitusarvo

C_d Kuormien vaikutusta rajoittava mitoitusarvo

Esimerkiksi penkereiden tapauksessa merkittävä muodonmuutoksen raja-arvo on penkereen painuma (Jaakkonen 2013, 42).

Kuten aiemmin on todettu, painumaan vaikuttaa oleellisesti rakenteen alapuolisten maakerrosten ominaisuudet. Standardin SFS-EN 1997 – 1 mukaan pehmeille saviille ja silteille perustettaessa tehdään aina painumalaskelmat. Painumalaskelmat sisältävät välittömän ja hitaasti tapahtuvan painuman (SFS-EN 1997-1, 60; RIL 207-2009, 111).

Kokonaan tai osittain vedellä kyllästyneessä maassa kokonaispainuma (s) muodostuu kolmesta eri painumaosasta, mikä kirjataan standardin mukaan kuten alla olevassa kaavassa (16):

$$s = s_0 + s_1 + s_2 \quad (16)$$

missä,

s	kokonaispainuma
s ₀	alkupainuma
s ₁	viruman aiheuttama painuma

(SFS-EN 1997-1,60)

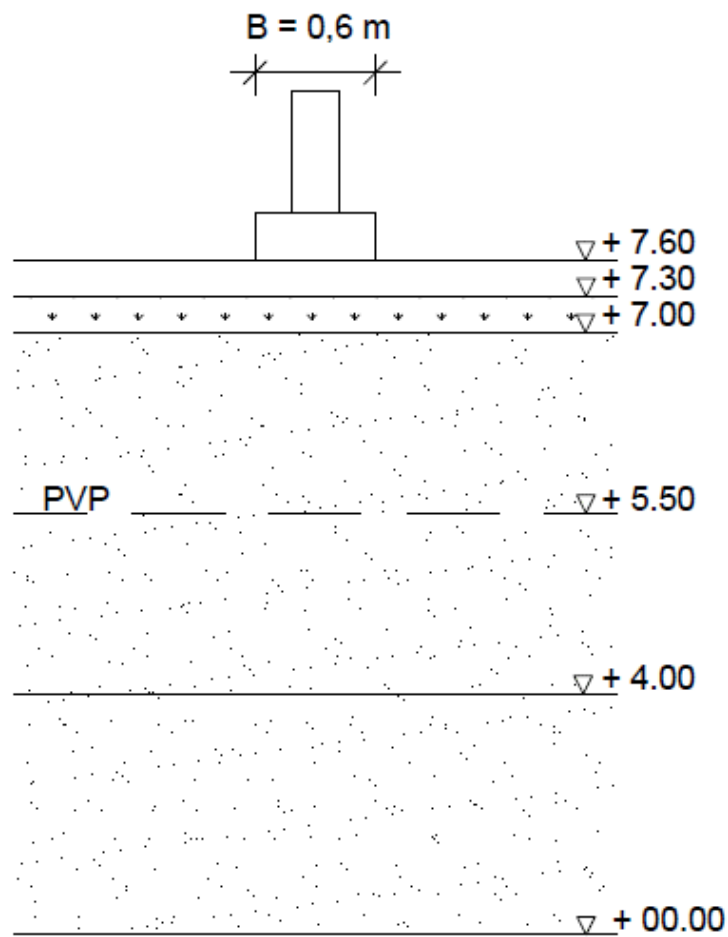
Painumien suuruus määritetään jollakin yleisesti hyväksytyllä laskentamenetelmällä, kuten tangenttimoduulilla.

Painumien raja-arvot ts. sallittujen painumien suuruus määritellään kohteen kriteerien mukaisesti käyttäen esimerkiksi rakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia, kuten InfraRYL 2010 – julkaisua infrakohteissa, tai RIL:n julkaisuja.

6 PAINUMALASKENNAN LASKENTAESIMERKIT

Laskentaesimerkeissä tarkastellaan penkereen painumaa pehmeiköllä sekä anturan painumaa hiekkamaalla. Painumien tarkastelut tehdään eurokoodien mukaisesti käyttörajatilassa. Penkere, jonka painumaa laskentaesimerkissä tarkastellaan on sama, mille tehtiin aiemmassa esimerkissä vakavuustarkastelu (Kuva 4).

Alla olevassa kuvassa (12) on esitetty anturalle tehtävän painumamitoituksen lähtötilanne:



KUVA 12. Tarkasteltava antura

6.1 Penkereen painuma pehmeiköllä

Tiepenkereen vakavuus on tarkistettava ennen painumalaskelmien aloittamista. Jollei vakavuuslaskennoista saatava varmuus ole riittävä eurokoodin, sen kansallisen liitteen ja annettujen ohjeiden mukaan, ei ole tarkoituksenmukaista tarkastaa painumaa alkuperäisessä tilanteessa, kun perustamistoimenpiteitä tarvitaan joka tapauksessa. (Liikennevirasto 2/2014, 36).

Painumalaskennassa selvitetään tyypillisesti ensin kokonaispainuma ja painumanopeus pohjaolosuhteiltaan heikoimmalta kohdalta. Tarvittaessa tarkastellaan erikseen sekundääri- eli jälkipainuman suuruus. Lasketun kokonaispainuman perusteella arvioidaan, ovatko painumat sallittujen arvojen rajoissa, vai joudutaanko miettimään esimerkiksi kevennerakenteita vähentämään painumien suuruutta. (Liikennevirasto 2/2014, 36).

Mitoituksessa lasketaan myös painuman kehittyminen penkereen käyttöaikana, ts. aika – painuma – kuvaaja. Tavanomaisissa kohteissa tarkastelu tehdään 5, 10 ja 50 vuoden kohdalla tien käyttöönotosta. (Liikennevirasto 10/2012, 23).

6.1.1 Laskentamalli

Laskentamalli muodostetaan, kuten vakavuuslaskentaa tehdessä, eli olemassa olevaan geometriaan ei kohdisteta varmuuksia, vaan laskentamallissa käytetään tunnettujen tietojen nimellisarvoja. Olemassa olevien rakenteiden osalta käytetään siis mittaustietoja ja uusien rakenteiden osalta suunnitelmiin ja pohjatutkimuksiin perustuvia mittoja. (Liikennevirasto, 35/2013, 24).

6.1.2 Laskentateoria

Eurokoodit eivät määrittele tarkemmin painumien suuruuden määrittämiseen käytettävää laskentamenetelmää. Laskentaan on kuitenkin käytettävä RIL:n julkaisujen ja Liikenneviraston ohjeiden mukaan yleisesti hyväksyttyä laskentamenetelmää. Tällaisia

ovat esimerkiksi aiemmin painumalaskennan teoriaosassa läpikäyty tangenttimoduulimenetelmä, ts. Ohde Janbun tangenttimoduulimenetelmä.

6.1.3 Mitoituskriteerit

Kokonaispainuman raja-arvot katsotaan toteutuvan Liikenneviraston ohjeen 10/2012 mukaan, kun konsolidaatiosta riittävän suuri osa muodostuu rakennusaikana. Käyttöaikana tulisi ensimmäisten 10 vuoden aikana muodostuvien painumien olla alle 40 %:a 50 vuoden kokonaispainumasta. (Liikennevirasto 10/2012, 24).

Painumien suositellut raja-arvot on esitetty taulukossa 5. Tiepenkereen painuman raja-arvoja määrittäessä, riippuu sallittavan kokonaispainuman suuruus tien vaatimusluokasta, joka määritetään tien toiminnallisen luokan ja keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) mukaan.

Sallitun painuman suuruutta voidaan kasvattaa, jos rakennetaan paksulle, yli 20 metrisen savikerroksen päälle. Arvot koskevat kaikkia maanvaraisia rakenteita ja pohjanvahvistusmenetelmiä, kun toteutetaan Liikenneviraston kohteita. (Liikennevirasto 10/2012, 26).

TAULUKKO 5. Pohjanvahvistustarpeen arvioinnissa ja mitoituksessa käytettävät tienpinnan sallitut painumat, painumaerot ja sivukaltevuuden muutokset käyttötilassa (Liikennevirasto 10/2012, 24)

Tien vaatimusluokka	Pituuskaltevuuden muutos 0...50 v ⁽²⁾ $p_{ksall} / 0/50 \leq$ [%] yksikköä	Kokonaispainuma 50 v aikana ⁽¹⁾ $S_{sall50v} \leq$ [mm]	Sivukaltevuuden muutos 50 v aikana ⁽²⁾ $sk_{sall50v} \leq$ [%] yksikköä	Sivukaltevuuden muutos 10 v aikana ⁽²⁾ $sk_{sall10v} \leq$ [%] yksikköä
V1	0,6	300	± 1,5	-1,0 tai +1,0
V2	0,8	400	± 1,5	-1,0 tai +1,0
V3	1,1	600	± 2,0	-1,0 tai +1,0
V4	1,6	800	± 2,0	-1,0 tai +1,5
V5	2,2	800	± 2,0	-1,5 tai +1,5
R1	0,6	200	± 1,5	-1,0 tai +1,0
R2	0,8	200	± 1,5	-1,0 tai +1,5
R3	1,1	200	± 1,5	-1,5 tai +1,5
K1	2,2	800	± 1,5	-1,0 tai +1,5
K2	Kuten ajorata			

(1) Kokonaispainuman sallittua arvoa tulee arvioida tämän ohjeen mukaisesti ja sitä täsmentää tarvittaessa. Lisäksi on huomioitava, että usein mitoittavana tekijänä on kaltevuuden muutos.

(2) Siirtymärakenteiden mitoituksessa käytetään enintään 50 % taulukon pituuskaltevuuden ja sivukaltevuuden muutoksien sallituista arvoista. (Kappale 7.10)

Penkereen aiheuttamaan painumaan voidaan vaikuttaa esim.

- Vähentämällä maapohjaan kohdistuvaa kuormitusta esim. tiepenkereen tasausviivaa madaltamalla tai kevennerakenteilla
- Vahvistamalla maapohjaa esim. syvästabiloinnilla
- Nopeuttamalla painuman muodostumista esim. pystysalaojilla
- Muodostaa painumat ennen varsinaista rakentamista ja käyttöä alkukuormituksella
- Siirtämällä kuormitukset suoraan kovaan pohjaan esim. paaluilla

6.2 Anturan painuma

Painuma on huomattava mitoituskriteeri ja määrittelee usein kohteen perustamistavan. Maanvaraisia perustuksia tarkasteltaessa, määritetään niiden kelpoisuus kokonaispainuman, painumaerojen sekä kulmakiertymän avulla.

6.2.1 Laskentamalli

Laskentamalli muodostetaan tunnettujen mittojen nimellisarvojen ts. pohjatutkimuksien ja suunnitelmien mukaisesti ilman mitään osavarmuuksia. Laskentamallin muodostamisessa on kiinnitettävä huomiota erityisesti maakerroksien paksuuksiin ja suurimman kuormituksen vaikutuspisteeseen.

6.2.2 Laskentateoria

Painumien suuruus määritellään käyttäen kuormitusten ja tunnettujen maaparametrien ominaisarvoja. Laskentateorianä käytetään jotain yleisesti hyväksyttyä menetelmää, kuten Ohde-Janbun tangenttimoduulia.

6.2.3 Mitoituskriteerit

Anturan sallittu kokonaispainuma, painumaero ja kulmakiertymä määritetään RIL:n julkaisun RIL 207-2009 mukaisesti. Alla olevassa taulukossa (6) näkyy erilaisille rakenteille sallittuja arvoja. Taulukosta huomataan esimerkiksi, että puurakenteille sallitaan 100 mm kokonaispainuma muurattujen rakenteiden kokonaispainuman rajoituksessa 40 millimetriin (RIL 207-2009, 56).

TAULUKKO 6. Perustusrakenteen sallitut painumat talonrakennuskohteessa (RIL 207-2009, 56)

Rakennetyyppi	Kokonaispainuman raja-arvoja (mm)	Kulmakiertymien raja-arvojen vaihteluväli	
		Moreeni tai karkearakeinen maapohja	Hienorakeinen maapohja
Massiiviset jäykät rakenteet	100	1/250-1/200	1/250-1/200
Staattisesti määrätyt rakenteet	100	1/400-1/300	1/300-1/200
Staattisesti määräämättömät rakenteet:			
-puurakenteet	100	1/400-1/300	1/300-1/200
-teräsrakenteet	80	1/500-1/200	1/500-1/200
-muuratut rakenteet	40	1/1000-1/600	1/800-1/400
-teräsbetonirakenteet	60	1/1000-1/500	1/700-1/350
-teräsbetonielementti-rakenteet	40	1/1200-1/700	1/1000-1/500
-teräsbetonikehä-rakenteet	30	1/2000-1/1000	1/1500-1/700

Anturan painumaa voidaan pienentää esim.

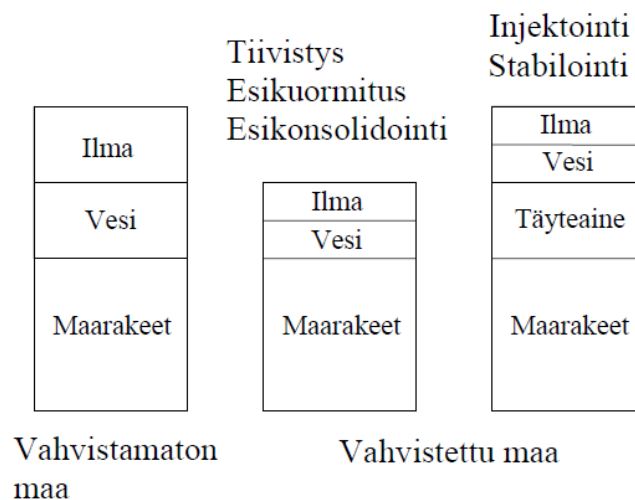
- Pienentämällä kuormitusta esim. kevyemmällä rakenneratkaisulla (vrt. puurunkoa ja betonielementtiä)
- Pienentämällä pohjapainetta esim. leventämällä anturaa
- Vahvistamalla maapohjaa esim. massanvaihdolla
- Siirtämällä kuormitukset suoraan kovaan pohjaan esim. paaluilla

7 SYVÄSTABILOINNIN LASKENTATEORIA

Maapohjan vahvistamisella tarkoitetaan sen geoteknisten ominaisuuksien parantamista, joilla pyritään:

- pienempiin painumiin
- parempaan kantavuuteen
- pienempään vedenläpäisevyyteen
- tärinän pienentämiseen
- juoksettumisvaaran pienentämiseen

Maapohja koostuu maa-aineksesta, vedestä ja ilmasta (Kuva 13). Koska maaraakeet itsessään ovat lujaa kiviainesta, vaikutetaan maan lujuuteen tehokkaimmin pienentämällä ilman ja veden tilavuusosuutta maa-aineksessa. Stabiloinnissa maahan sekoitetaan stabilointiainetta esim. kalkkia, minkä reaktio maa-aineksessa aiheuttaa leikkauslujuuden parantumista, kokoonpuristuvuuden pienentymistä ja vedenläpäisevyyden lisääntymistä. (RIL 157-2, 229).



KUVA 13. Pohjanvahvistuksen vaikutus maa-ainekseen

Syvästabilointi on siis menetelmä, missä maapohjaa lujitetaan sekoittamalla siihen sideainetta joko massastabilointia ja/tai pilaristabilointia käyttäen. Sideaineina käytetään mm. kalkkia, sementtiä, kipsiä, jauhettua masuunikuonaa lentotuhkaa ja muita teollisuuden sivutuotteita. Näistä eniten käytetään kalkin ja sementin yhdistelmää, jotka parantavat toistensa huonoja ominaisuuksia. Kalkki parantaa stabiloinnin sitkeysominaisuuksia, jatkaa lujittumista vielä käyttöaikana ja kompensoi hieman

epätasaista sekoitustyötä hyvän diffundoituvuutensa, eli hajaantuvuutensa ansiota. Sementti parantaa taas stabiloinnin puristuslujuutta ja lujittuu hyvin myös humuspitoisissa savikerroksissa. Suomessa sideaineen syöttö tehdään lähes täysin kuivamenettelynä, jossa sideainetta puhalletaan sekoitinlaitteeseen paineilman avulla (Liikennevirasto 11/2010, 11, 12).

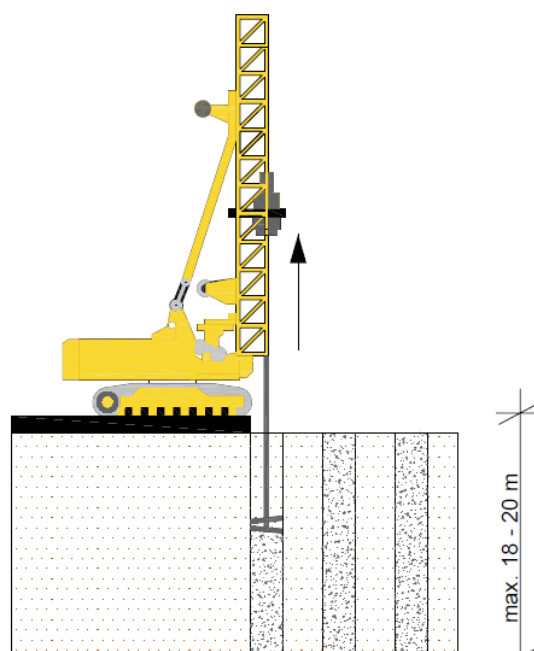
Stabilointi auttaa maapohjan painumissa ja vakavuudessa ja sen käyttösovelluksia ovat esim.

- maapohjan stabilointi penkererakenteelle
- putkipohjan vahvistus nauhamaisena stabilointina
- leikkauspohjan vahvistus työnaikaisesti
- tärinähaittojen lieventäminen (tiet, rautatiet)

(Forsman, Jyrävä, Lahtinen, Niemelin & Hyvönen 2014, 16).

7.1 Pilarisyvästabiloinnin suunnittelu

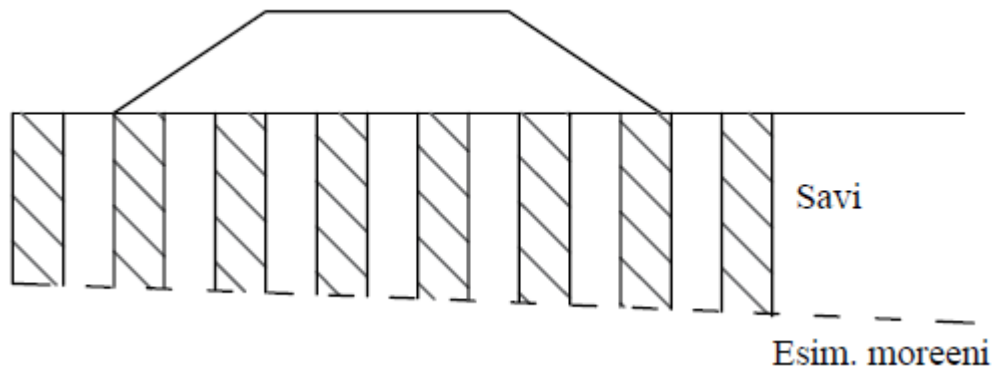
Pilaristabiloinnissa pilarointikoneen sekoitinkärki upotetaan suunniteltuun pilarin upotussyvyyteen ja vedettäessä kärkeä ylös aloitetaan sideaineen syöttäminen, että sekoittaminen maa-ainekseen (Kuva 14). Pilarin halkaisija on usein väliltä 600 – 800 mm ja tehtävä maksimisyvyys 18 – 20 m (jopa 24 m). Suurilla syvyyksillä stabiloinnin käyttö on jo harvemmin taloudellista (Liikennevirasto 2/2014; 31).



KUVA 14. Pilarisyvästabiloinnin periaate

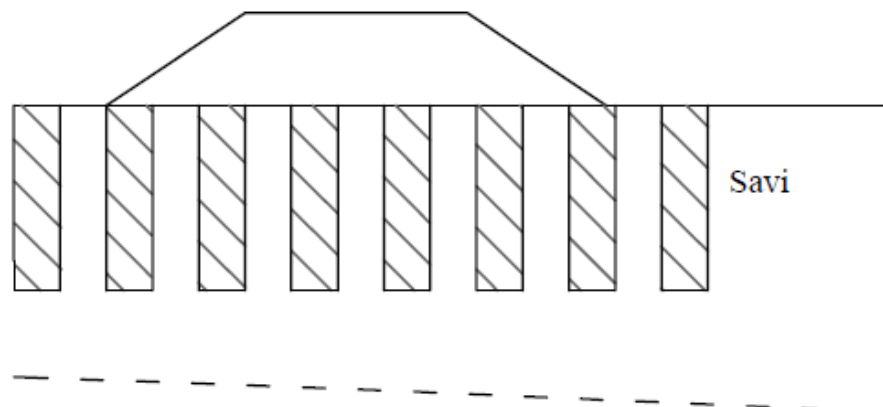
Pilarit voidaan mitoittaa kimmoisina, myötäävinä tai määrämittäisinä. **Kimmoisan pilaroinnin** käytössä optimoidaan pilareiden ja pohjamaan yhteistoimintaa. Pilareille tuleva kuormitus jää myötörajan alapuolelle (Kuva 17) ja pilarilujuudet jäävät maltillisiksi. Painumat jäävät pieniksi ja muodostuvat penkereen rakentamisen aikana. Kimmoista pilarointia käytetään eniten stabilointimenetelmistä penkereiden perustamiseen pehmeikölle. (Liikennevirasto 11/2010, 14).

Myötäävässä pilarissa pilarin myötökuorma ylittyy, jolloin ylijäävän kuormituksen oletetaan siirtyvän maan kannettavaksi ja pilareiden kantavan jatkuvasti myötökuorman suuruisen jännityksen. Pilarit toimivat pystyjien tapaan nopeuttaen painuvan maakerroksen konsolidaatiota, jolloin painumat muodostuvat kuukausissa. Myötääviä pilareita käytetään vain hankekohtaisella päätöksellä. (Liikennevirasto 11/2010, 14).



KUVA 15. Kimmoinen ja myötävä pilarointi tehdään kovaan pohjaan

Määrämittäinen pilari tehdään määräsyyvyyteen asti ja alapuolelle jätetään painuvia kerroksia. Kovan pohjan sijainnin vaihtelu muodostaa riskin painumien epätasaiselle muodostumiselle. Käyttö rajoittuu lähinnä siltojen siirtymärakenteisiin pehmeikölle rakennettaessa. (Liikennevirasto 11/2010, 14,15).



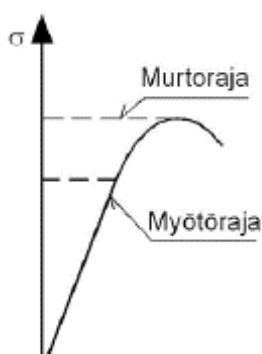
KUVA 16. Määrämittäinen pilarointi

Käsitellään yleisimmin käytetyn, kimmoisen pilaristabiloinnin mitoittamista Liikenneviraston julkaiseman ohjeen: Syvästabiloinnin suunnitteluohje 11/2010 mukaan. Novapoint GeoCalc:ssa on myös valittavissa ko. ohjeen mukainen laskenta. Läpikäytäviä vaihteita ovat:

- Stabiloidun maan vakavuus
- Stabiloidun maan painumamitoitus
- Pilaritiheyden tarkistaminen
- Pilarien keskinäinen sijoitus

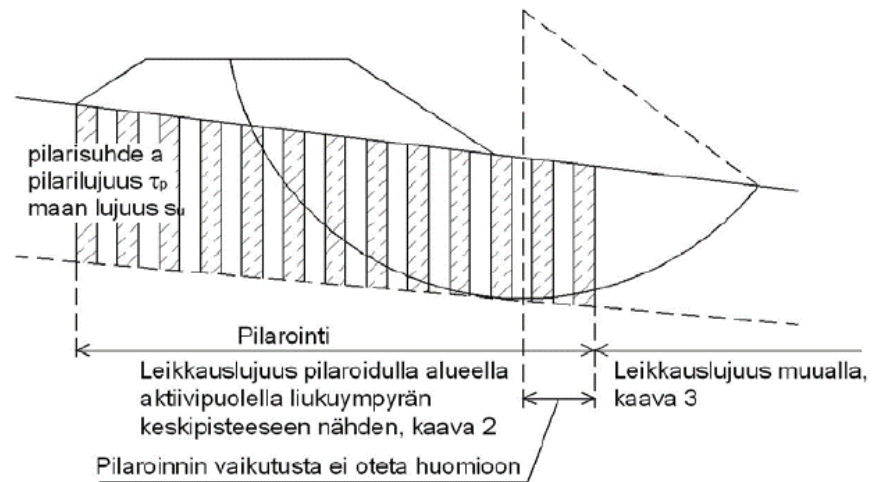
Jokaisessa stabiloinnille mitoittavassa kohteessa tarkistetaan ensin maarakenteen vakavuus ennen stabilointia normaalisti liukupintatarkastelun avulla. Tarkastelu vaikuttaa siihen, kuinka pilareiden ja maan voidaan olettaa toimivan yhdessä. Laskennassa huomioidaan mahdolliset vastapenkereet, kevennysleikkaukset, pengerkevennykset ja massanvaihdot, pois lukien geovahvisteet (Liikennevirasto 11/2010, 24).

Pilarin leikkauslujuus on enintään 200 kPa ja pilarin ja maan tavoitteellinen lujuussuhde on korkeintaan 15. Sideaineena käytetään ominaisuuksiltaan tunnettua seosta, esim. kalkkisementtiä. Pilarin kantavuus varmistetaan määrittämällä pilarille tulevan ominaiskuorman suuruus myötökuorman suuruiseksi, kuitenkin enintään 70 % murtokuormasta. Murto- ja myötökuorman määrittämisessä huomioidaan ympäröivän maan antama sivutuki. Kimmoisan pilarin mitoitus perustuu siihen, ettei kuormituksen aiheuttama jännitys ylitä myötörajaa. Myötörajaolettaus perustuu materiaaliikohtaiseen kuormitus-muodonmuutos-käyrään (Kuva 17), mikä saadaan kohteessa tehdyistä koepilaroinneista ja niihin tehdyistä kokeista (Liikennevirasto 11/2010, 29,30).



KUVA 17. Kuormitus - muodonmuutos - käyrä

Vakavuus tarkistetaan normaaleilla liukupintalaskelmilla. Stabiloidun rakenteen vakavuustarkasteluissa huomioidaan pilareiden sijainti liukuympyrän keskipisteeseen nähden ja passiivipuolella olevat pilarit jätetään huomioimatta. Yksinkertaisin tarkastelu saadaan, ns. keskimääräiseen leikkauslujuuteen perustuvalla menetelmällä ja jättämällä liukuympyrän passiivipuolella olevien pilareiden vaikutus huomioimatta (Kuva 18).



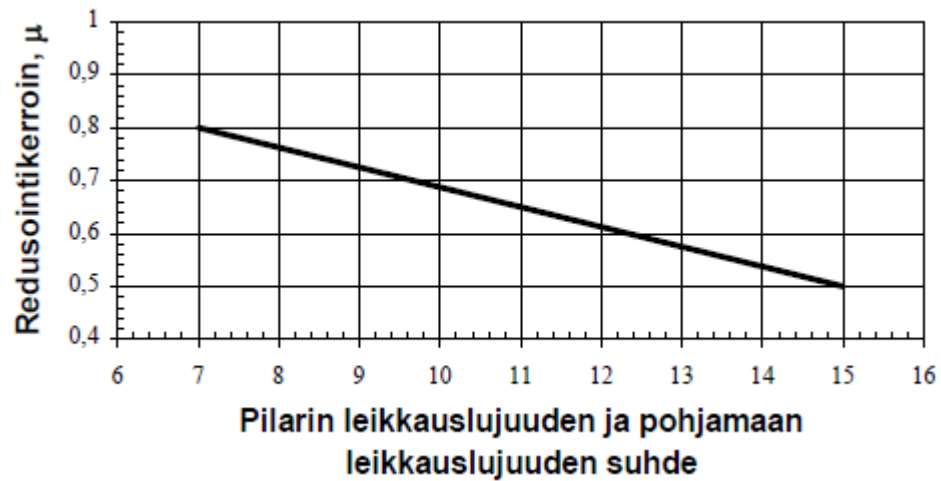
KUVA 18. Vakavuustarkastelun periaate pilaristabiloidussa maapohjassa

Maan keskimääräinen leikkauslujuus liukuympyrän aktiivipuolella (Kuva 18) keskipisteeseen nähden kaavalla (17) esitettynä:

$$s_{ua} = a \cdot \tau_{pil} + (1 - a) \cdot \mu \cdot s_u \quad (17)$$

missä,

s_{ua}	pilaroidun maan keskimääräinen leikkauslujuus aktiivipuolella
a	pilarisuhde (Kaava 18)
τ_{pil}	pilarin leikkauslujuus
s_u	pohjamaan leikkauslujuus
μ	reduointikerroin (Kuva 19)



KUVA 19. Redusointikertoimen riippuvuus pilarin ja pohjamaan leikkauslujuuksien suhteesta

Pilarien suhteellinen pinta-ala (Kaava 18):

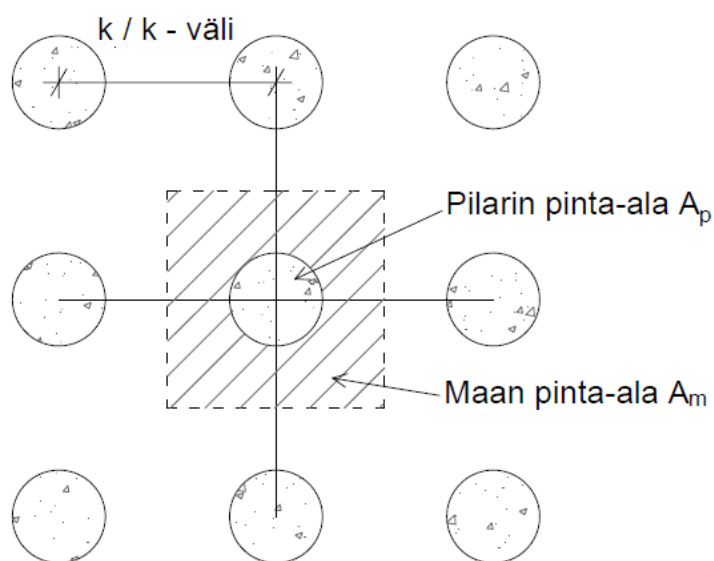
$$a = \frac{A_p}{A_p + A_m} \quad (18)$$

missä,

a pilarien suhteellinen pinta-ala

A_p pilarin pinta-ala

A_m maan pinta-ala (Kuva 20)



KUVA 20. Pilarien ja maan pinta-alan määräytyminen sekä keskeltä-keskelle-mitta

Maan leikkauslujuus pilaroimattomalla alueella ja vyöhykkeen passiivipuolella kaavana (19):

$$s_{up} = \mu \cdot s_u \quad (19)$$

missä,

s_{up}	maan leikkauslujuus pilaroimattomalla alueella ja passiivipuolella
s_u	pohjamaan suljettu leikkauslujuus
μ	reduointikerroin (Kuva 19)

Painumamitoitus tulee pilaristabiloinnin mitoituksessa pääsääntöisesti määrääviksi. Painumamitoituksessa maan ja pilarin oletetaan painuvan yhtä paljon (ns. yhtä suuren painuman periaate). Hyvänä lähtökohtana voidaan olettaa kokonaiskuormista 90 % menevän pilareille ja 10 % maa-aineelle.

Pilarien painuma voidaan laskea kaavalla (20):

$$s_{pil} = \frac{\Delta h \cdot q_{pil}}{a \cdot E_{pil}} \quad (20)$$

missä,

Δh	pilarin pituus
s_{pil}	pilarille siirtyvän kuormaosuuden aiheuttama painuma
q_{pil}	pilareille tuleva osa kokonaiskuormasta q_0 (ei liikennekuormaa)
a	pilarien suhteellinen pinta-ala (Kaava 18)
E_{pil}	pilarien muodonmuutosmoduuli

Pilarien muodonmuutosmoduuli kaavana (21):

$$E_{pil} = 20 \cdot c_{krit}^{1,6} \quad (21)$$

missä,

E_{pil} pilarien muodonmuutosmoduuli

c_{krit} pilarien kriittinen leikkausjännitys, eli myötörajaa vastaava leikkausjännitys (70 % pilarin leikkauslujuudesta)

Pilarin muodonmuutosmoduulina voidaan käyttää kalkkisementtipilareilla 100 – 200 - kertaista ja kalkkipilareilla 50 – 150 - kertaista arvoa pilarin leikkauslujuuteen nähden (Viljanen 2010, 18).

Maan painuma tehtäisiin erikseen laskettuna normaalisti tangenttimoduulia tms. yleisesti hyväksyttyä laskentamenetelmää käyttäen. Koska maan ja pilarin oletetaan painuvan yhtä paljon, voidaan maalle siirtyvä kuormitus laskea kaavalla (22):

$$q_{maa} = \left(\frac{(1-a) \cdot M}{a \cdot E_{pil} + (1-a) \cdot M} \right) \cdot q_0 \quad (22)$$

Tarkistetaan pilarijännityksen suhde pilarin myötörajaan. Kaavalla 23 lasketaan pilarille tuleva kuormitus tällä kertaa myös muuttuva kuorma huomioiden:

$$\sigma_{pil} = \frac{q_0 - q_{maa}}{a} + \frac{q_{liik}}{a} \quad (23)$$

missä,

σ_{pil} pilarille tuleva puristusjännitys (tarkastelusyvyys penkereen ja maanpinnan rajapinta)

q_{liik} tasainen muuttuva kuorma (liikennekuorma 10 kN)

Edellä laskettu pilarin puristusjännitys (σ_{pil}) edustaa maksimiarvoa. Jos penkereen alapuolella on kuivakuori, siirtyy kuormitus maanpinnassa pääosin maapohjalle, ja pilarijännityksen voidaan olettaa olevan maksimissaan kuivakuoren alapinnassa, jota käytetään tarkastelusyvyytensä.

Jos pilareiden ja penkereen välissä käytetään jotain lujitusta, on tarkastelusyvyys valittava kussakin tapauksessa erillisen tarkastelun perusteella, koska lujitteet tehostavat kuormituksen keskittymistä pilareille.

Lasketaan kaavalla 24 pilarin puristuskapasiteetti:

$$\sigma_{murto} = 2 \cdot \tau_{pil} + k_h \cdot \sigma_h \quad (24)$$

missä,

σ_{murto}	pilarin puristuskapasiteetti
τ_{pil}	pilarin leikkauslujuus
k_h	horisontaalijännityksen kerroin (= 1)
σ_h	pilareihin vaikuttava maan tehokas horisontaalijännitys

Huomataan, että pilarin puristuskapasiteetti muodostuu sen omasta leikkauslujuudesta ja maaperän antamasta sivutuesta (σ_h). Sivutuen suuruus riippuu luonnollisesti tarkastelusyvyydestä, joka määritellään penkereen alapuolisen rakenteen mukaan. Jos penkereen alapuolella on kuivakuori, pyrkii kuormitus keskittymään maalle ja tarkastelusyvyys valitaan kuivakuoren alapinnan tasolle. Jos taas penkereen ja pilareiden välillä käytetään lujitteita, esim. geovahvisteita, pyrkii kuormitus keskittymään pilareille. Tällöin tarkastelusyvyys valitaan erillisen tarkastelun perusteella.

Lasketaan kaavalla 25 pilareille maalta tuleva tuki:

$$\sigma'_h = \sigma'_v + \frac{\Delta\sigma'}{2} \quad (25)$$

missä,

σ'_v	maassa vallitseva konsolidaatiojännitys tarkastelusyvyydellä
$\Delta\sigma'$	kuormituslisäys (ilman muuttuvaa kuormaa)

Verrataan pilarille tulevaa puristusjännitystä (σ_{pil}) pilarin myötörajaan:

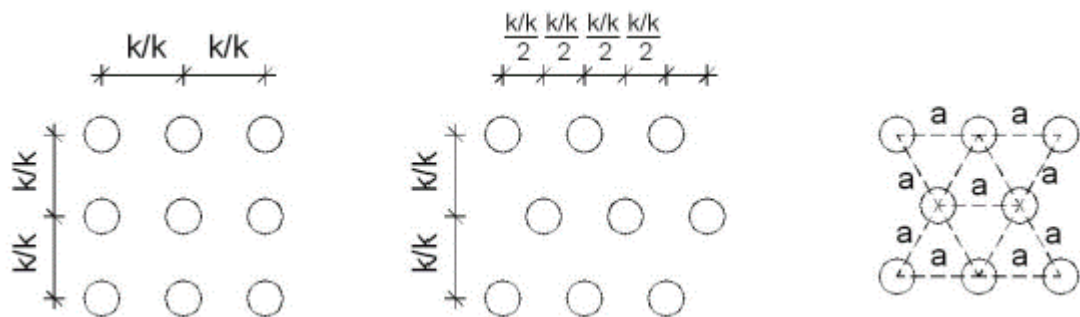
$$\sigma_{pil} \leq \sigma_{myötö} \leq 0,7 \cdot \sigma_{murto} \quad (26)$$

Pilarien k/k-väli (Kuva 20) on yleensä vähintään pilarin halkaisija + 0,2 m.

Pilaritiheyden riittävyyden tarkastelua tarvitaan, jos k/k-mitta on enemmän kuin pilarinhalkaisija + 0,7 metriä tai suurempi kuin pengerkorkeus. Jos penkereen alla on

kuivakuorikerros ($s_u \geq 30 \text{ kN/m}^2$), voidaan k/k-mittaa kasvattaa 0,1 metriä jokaista kuivakuorikerroksen 0,5 metrin paksuutta kohti (kuitenkin enintään 0,3 m). Liian suuri pilariväli aiheuttaa sen, ettei pilarin ja maan tasaisen painumisen periaate toteudu, vaan maa voi painua pilareita enemmän, mikä heijastuu penkereen pintaan (Liikennevirasto 11/2010, 34).

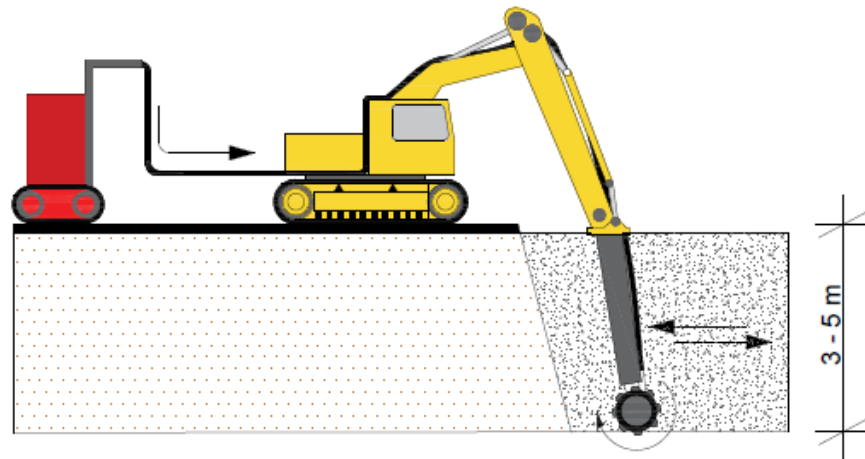
Pilareiden sijoittelu voidaan yleensä tehdä yksinkertaiseen neliöverkkoon. Pieni parannus erityisen harvoilla pilariväleillä saadaan aloittamalla joka toinen rivi ns. puolivälipisteestä. Pilarit voidaan sijoitella myös kolmioverkkoon, mikä on em. verrattuna tehokkain, mutta harvoin tarpeen (Kuva 21).



KUVA 21. Pilareiden keskinäisiä sijoittelutapoja

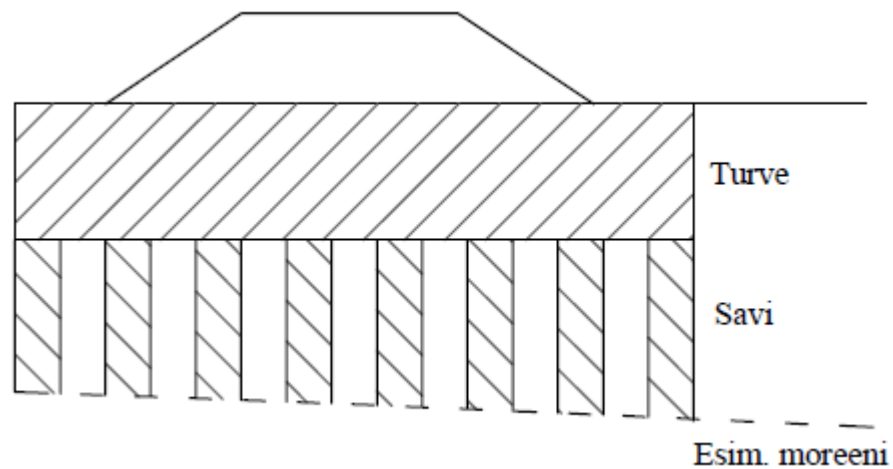
7.2 Massasyvästabiloinnin suunnittelu

Massastabilointi tehdään kaivinkoneella, johon on liitetty sekoitinyksikkö ja painesyötin. Painesyötin syöttää kuivaa sideainetta, joka sekoitetaan stabiloitavaan maamassaan sekoitinyksikön kärjellä. Sekoitus tapahtuu kärjessä pyörivien rumpujen avulla samanaikaisesti liikuttamalla sekoitinkärkeä käsiteltävässä kerroksessa pysty- ja vaakasuunnassa (Kuva 22). Tavoitteena on muodostaa yhtenäinen, mahdollisimman tasaisesti stabiloitu ”blokki”. Koneen ulottuvuus määrää pitkälti stabiloinnin maksimisyvyyden. Optimina pidetään 3 – 5 metriä, mutta hyvissä olosuhteissa voidaan ulottua 7 - 8 metriin. Syvempää massastabilointia voidaan tehdä pilaristabiloinnilla leikkaamalla pilareita toisillaan (Forsman, Jyrävä, Lahtinen, Niemelin, Hyvönen 2014, 8,9).



KUVA 22. Massasyvästabiloinnin periaate

Massasyvästabilointi on pehmeiden maa-aineiden lujitusmenetelmä ja käytetään usein maalajeissa, joiden stabiloitavuus on liian huono pilaristabiloinnille, esim. turpeessa. Menetelmää voidaan käyttää myös yhdessä pilaristabiloinnin kanssa (Kuva 23).



KUVA 23. Massa- ja pilarisyvästabiloinnin yhteiskäyttöperiaate

Massasyvästabiloidun rakenteen vakavuus voidaan määrittää ympyräliukupintojen avulla. Jos stabiloitavan kerroksen alapuolelle jää heikko tai vino stabiloimaton kerros, suositellaan vapaamuotoisten liukupintojen käyttöä. Jos stabilointi rajoitetaan kitkamaahan, on arvioitava, saadanko stabilointi ulotettua riittävästi kitkamaahan, vai jääkö välille heikkousvyöhyke. (Liikennevirasto 11/2010, 48).

Massasyvästabiloidun kerroksen painuma muodostuu alku- ja lopputiivistyksestä. Alkutiivistys tehdään kuormittamalla pengertä n. 0,5 - 1 m korkealla esitiivistyspenkereellä

tai joissain tapauksissa tela-alustaisella kaivinkoneella yliajaen. Massasyvästabiloinnin lujittuessa riittävästi rakennetaan varsinainen penger tiivistyspenkereen päälle. Stabiloinnin painuma määritetään pilaristabiloinnin painumaa vastaavalla tavalla, mutta sen tarkempi läpikäyminen ei ole tarkoituksenmukaista tässä opinnäytetyössä vaan keskitytään yleisimpään kimmoisen pilaristabiloinnin käsittelyyn. (Liikennevirasto 11/2010, 49).

7.3 Syvästabiloinnin laskennan lähtötiedot

- Maalajikerrokset, jotka määrittelevät esimerkiksi stabiloitavan syvyyden. Kiinnitetään huomiota erityisesti mahdolliseen kuivakuoreen, joka jakaa kuormituksia tehokkaasti maapohjaan.
- Penkereet ym. rakenteet jotka aiheuttavat maapohjaan kuormituksia
- Pohjaveden esiintyminen
- Maakerrosten tilavuuspainot, γ [kN/m³], mitkä vaikuttavat konsolidaatioasteen arviointiin eri syvyyksillä.
- Maakerrosten leikkauslujuudet, s_u [kN/m²]
- Stabiloidun maa-aineksen leikkauslujuus τ_{pil}
- Stabiloidun maa-aineksen kimmokerroin, E_{pil}
- Eri maakerroksissa vallitsevat konsolidaatioasteet
- Moduuliluku, m , määritetään ödometrikokeen tuloksesta ja kuvaa laskennassa tangenttimoduulia yhdessä jännityseksponentin kanssa.
- Jännityseksponentti, β , määritetään ödometrikokeen tuloksesta ja käytetään yhdessä moduuliluvun kanssa.
- Konsolidaatiokerroin, c_v , mikä kuvaa maaperän painumista ajan funktiona ja tarvitaan aika – painuma – kuvaajaa laskiessa.

7.4 Eurokoodin mukainen mitoitus

Pilarin oletetaan toimivan pohjanvahvistuksena yhteistoiminnassa maan kanssa, jos suunniteltaessa:

- Pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on enintään 200 kN/m²
- Maan ja pilarin leikkauslujuuksien suhde on enintään 15

ja valmiina

- Pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on enintään 300 kN/m^2
- Maan ja pilarin leikkauslujuuksien suhde on enintään 20

(Liikennevirasto 35/2013, 73).

Jolleivät em. ehdot toteudu, tarkastellaan pilaria itsenäisenä rakenteena ja arvioidaan yksittäisen pilarin kestävyyttä murtorajatilassa DA2 – menetelmän mukaisesti. Kuorman mitoitusarvo määräytyy tällöin samoin kuin paaluille ja pilareille. (Liikennevirasto 35/2010, 73).

7.4.1 Murtorajatila

Syvästabiloinnin vakavuutta tarkastellaan kuten stabiloimattoman maapohjan vakavuutta murtorajatilassa DA3 – menetelmällä, jolloin osavarmuuskertoimet kohdistetaan heti laskennan alussa muuttuviin kuormiin ja maaparametreihin. (Liikennevirasto 35/2013, 68).

7.4.2 Käyttörajatila

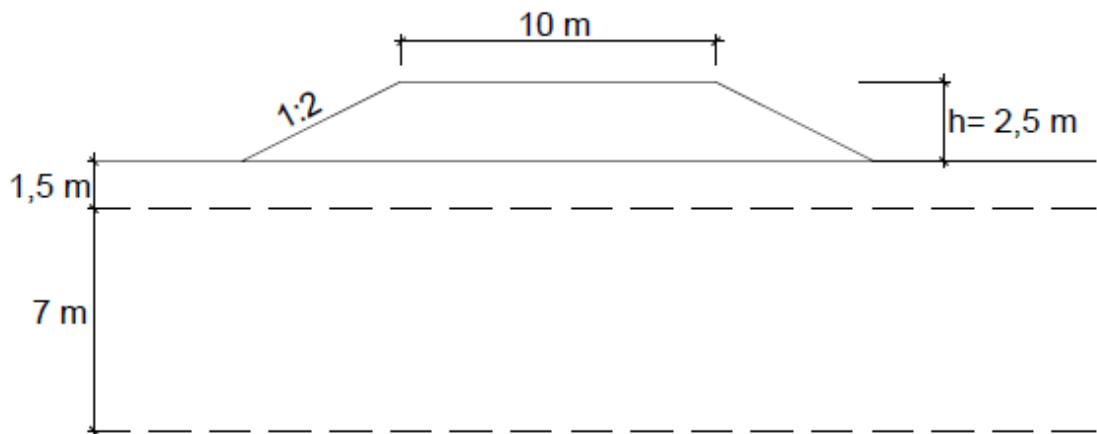
Syvästabiloinnin painumatarkastelu tehdään käyttörajatilassa kuten stabiloimattoman maapohjan painumia tarkasteltaessa. Näin ollen kuormitusten ja maaparametrien osavarmuuskertoimena käytetään arvoa 1,0. Painumamitoituksessa huomioidaan vain pysyvät kuormat, kuten esimerkiksi penkereen aiheuttama pohjapaine. Mitoitus etenee, kuten aiemmin kappaleessa 7.1 Syvästabiloinnin suunnittelu on esitetty. (Viljanen 2010, 18).

Stabilointia käytetään yleensä pohjanvahvistuksena, kun maapohjan luontainen vakavuus ei riitä tai painumat muodostuvat sallittuja suuremmaksi. Jollei stabilointi riitä, tai sen kustannukset muodostuvat liian suuriksi, voidaan vaihtoehtoisina menetelminä käyttää esim.

- Maapohjalle muodostuvan kuormituksen pienentämistä esim. kevennerakenteilla
- Maapohjan vahvistamista esim. massanvaihdolla
- Siirtämällä kuormitukset kovaan pohjaan esim. paaluilla

8 SYVÄSTABILOINNIN LASKENTAESIMERKKI

Laskentaesimerkissä tarkastellaan homogeeniselle savikolle perustettua pengertä, jonka pohjamaata joudutaan vahvistamaan pilaristabiloimalla. Tarkasteltava tilanne on esitetty alla olevassa kuvassa (24):



KUVA 24. Laskentaesimerkissä tarkasteltava tilanne pilaristabiloinnista

8.1 Pilarisväästabilointi

Laskentaesimerkissä pilaristabilointi toteutetaan kimmoisina pilareina, jolloin mitoitus alkaa painumamitoituksella. Kimmoisen pilaroinnin mitoitusta käsin laskettuna on käsitelty tässä opinnäytetyössä aiemmin (Kappale 7.1). (Viljanen 2010, 18).

8.1.1 Laskentamalli

Laskentamallin geometria muodostetaan olemassa olevien mittatietojen ja pohjatutkimuksien perusteella kohdistamatta niihin mitään varmuuskertoimia. Tärkeää on esimerkiksi kovan pohjan syvyyden tai kuivakuorikerroksen määrittäminen, jotta pilarointisyvyys voidaan määrittää. Lisäksi kuivakuorikerros jakaa kuormia tehokkaasti pilareiden välillä, minkä takia pilariväliä voidaan kasvattaa. (Liikennevirasto 11/2010, 34).

8.1.2 Laskentateoria

Pilarisyvästabiloinnin laskentateoriaa on käyty aiemmin läpi syvästabiloinnin teorian yhteydessä Liikenneviraston syvästabiloinnin suunnitteluohjeiden mukaisesti (kappale 7.1 Pilarisyvästabiloinnin suunnittelu). GeoCalc – ohjelmassa syvästabilointi voidaan suorittaa käyttäen joko Liikenneviraston tai KPO 2000 – ohjetta. KPO 2000 eli Kalkkipilariohje on Espoon kaupungin syvästabiloinnin mitoitusohjelma ja poikkeaa joissain määrin Liikenneviraston ohjeistuksesta. (SCC Viatek Oy, Espoon kaupungin koulutusesitys, 2002).

8.1.3 Mitoituskriteerit

Pilaristabiloidun maapohjan kokonaisvarmuuden ODF on oltava murtorajatilassa mitoitettuna vähintään arvoltaan 1,0.

Vastaavasti sallitut painumat määritetään kuten stabiloimattomalle maapohjalle perustetun penkereen painumat rakennuskohteesta riippuen esimerkiksi Liikenneviraston tai Ratahallinnon ohjeiden mukaisesti. Liikenneviraston ohjeistamia tien sallittuja painuma-arvoja löytyy esimerkiksi taulukosta 5. (Liikennevirasto 35/2013, 73).

9 POHDINTA

Vakavuus- ja painumalaskenta ovat kaikissa pohjarakenteissa vastaan tulevia perusominaisuuksia, jotka vaikuttavat keskeisesti rakennetun lopputuotteen säilyvyyteen ja käytettävyyteen. Siksi niiden hallinta on keskeistä maa- ja pohjarakenteita suunnittelevalle.

GeoCalc – ohjelmiston vakavuus- ja painumalaskentamoduulit ovat selkeitä ja johdonmukaisia käyttää. Suurimman haasteen ohjelman käyttöä opettelevalle tuottaakin todennäköisesti täytettävien parametrien ymmärtäminen ja laskentateorian valintaperusteet. Syvästabiloinnin laskentamoduuli on jäänyt käytettävyydeltään vielä kankeaksi, mutta paranee toivottavasti ohjelman jälleen kehittyessä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli helpottaa ohjelmaan tutustumista kertomalla teoriaosassa vakavuus-, painuma- ja syvästabilointilaskennan teoreettisia taustoja sekä muodostamalla yksityiskohtaiset ohjeet em. laskelmien suorittamisesta GeoCalc -ohjelmalla. Tavoitteen toteutumisesta voidaan sanoa, että laskelmien teoriaosa muodostui pitkäksi, eikä riittänyt todennäköisesti kuin laskentojen pintapuoliseen tarkasteluun. Toisaalta tehdyt laskentaesimerkit ovat monipuolisia ja käsittelevät melko kattavasti GeoCalc – ohjelmiston ehkä keskeisimpien laskentamoduulien käyttöä. Syvästabilointia työssä käsiteltiin vain yleisimmin käytetyn, kimmoisan pilaristabiloinnin osalta.

Geotekniset laskelmat vaativat tarkasteluja useasta eri tarkastelupisteestä ja mahdollisesti erilaisilla pohjaveden pinnan korkeustiedoilla, kuormituksilla jne. mikä teettää lukuisia eri tarkasteluja laskijalla. Koska eri laskentoja voidaan GeoCalc – ohjelmassa suorittaa samalle laskentamallille ja samassa laskentamoduulissa saadaan muutettua laskenta-asetuksia, auttaa ohjelma näiden lukuisten eri tarkastelujen tekemisessä ja näin ollen tehostaa laskijan työtä oleellisesti.

10 LÄHTEET

Andrew J.B., Schuppener B., Scarpelli G., Trevor L.L.O. 2013. Eurocode 7: Geotechnical Design Worked examples. [Verkkójulkaisu]. <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu>

Forsman J., Jyrävä H., Lahtinen P., Niemelin T. Hyvönen I. 2014. Massastabilointikäsikirja. [Verkkójulkaisu]. <http://www.uuma2.fi/>

Helenelund K.V., 1974. Geotekniikka. Teknillinen korkeakoulu.

Jääskeläinen, R. 2011. Geotekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka.

Liikennevirasto. 2013. Liikenneviraston ohjeluokaisuja 35/2013 Eurokoodien soveltamisohje: Geotekninen suunnittelu – NCCI7. [Verkkójulkaisu]. www.liikennevirasto.fi

Liikennevirasto. 2012. Liikenneviraston ohjeluokaisuja 10/2012 Tien geotekninen suunnittelu. [Verkkójulkaisu]. www.liikennevirasto.fi

Liikennevirasto. 2010. Liikenneviraston ohjeluokaisuja 09/2010 Tiepenkereiden ja –leikkausten suunnittelu – Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. [Verkkójulkaisu]. www.liikennevirasto.fi

Liikennevirasto. 2010. Liikenneviraston ohjeluokaisuja 11/2010 Syvästabiloinnin suunnittelu – Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. [Verkkójulkaisu]. www.liikennevirasto.fi

Liikennevirasto. 2014. Liikenneviraston oppaita 02/2014 Tien perustamistavan valinta – Tiegeotekniikan käsikirja. [Verkkójulkaisu]. www.liikennevirasto.fi

Liikennevirasto. Viljanen J. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 9/2013: Eurokoodin vaikutus pilaristabiloidun maan varaan perustetun ratapenkereen mitoitukseen. [Verkkójulkaisu]. www.liikennevirasto.fi

Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 16/2010: Vaara vaanii kaivannossa – Tutkimushanke kaivantojen turvallisuudesta. [Verkkójulkaisu]. www.liikennevirasto.fi

Rantamäki M., Jääskeläinen R., & Tammirinne M., 2009. 22.painos. Geotekniikka. Helsinki: Otatieto.

Ratahallinto. 2009. Ratahallintokeskuksen julkaisu A 9/2009: Olemassa olevien ratapenkereiden stabiliteetin laskenta elementtimenetelmällä.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1990. SFS-EN 1990.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1997. SFS-EN 1997-1.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014. RIL 263-2014: Kaivanto-ohje. Tampere: Tammerprint Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2009. RIL 207-2009: Geotekninen suunnittelu – eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje. Tampere: Tammerprint Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2004. RIL 121-2004: Pohjanrakennusohjeet. Tampere: Tammerprint Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 1990. RIL 157-2-1990: Geomekaniikka II. Rakennustieto Oy.

Tielaitoksen selvityksiä. 2000. 44/2000 Painumalaskentamenetelmien käyttökelpoisuuden arviointi.

Vianova Systems Finland Oy. 2016. Vianova Systems Finland Oy jakautui kahdeksi yhtiöksi. [Artikkeli]. Julkaistu 21.01.2016. Luettu 29.4.2016. <http://www.vianova.fi/yleinen/vianova-systems-finland-oy-jakautui-kahdeksi-yhtioksi>

Vianova Systems Finland Oy. [www-sivut]. Luettu 29.4.2016. <http://www.vianova.fi/tuki-koulutus/koulutus/geocalc-3-1-uudet-ominaisuudet/>

Vianova Systems Finland Oy. [www-sivut]. Luettu 29.4.2016. <http://www.vianova.fi/yhteystiedot/>

Vianova Systems Finland Oy. 2010. Novapoint GeoCalc: Peruskäyttöohje. [Ohje]. Julkaistu 3.9.2010.

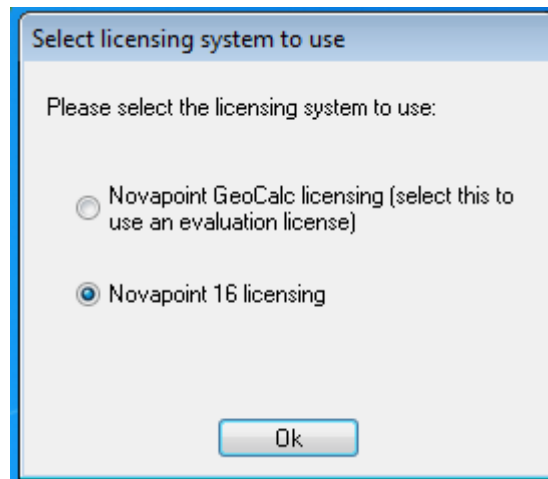
Vianova Systems Finland Oy. 2006. Geoala yhdisti osaamisensa ja tarpeensa: Nykyaikainen suunnittelutyökalu geotekniseen laskentaan. [Artikkeli]. Julkaistu 10.05.2006. Päivitetty 10.05.2006. Luettu 28.02.2016. <http://www.getunderground.fi/web/page.aspx?refid=99&newsid=35499&page=34>

Ympäristöministeriö. 2004. B3 Suomen rakentamismääräyskokoelma: Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista.

LIITTEET

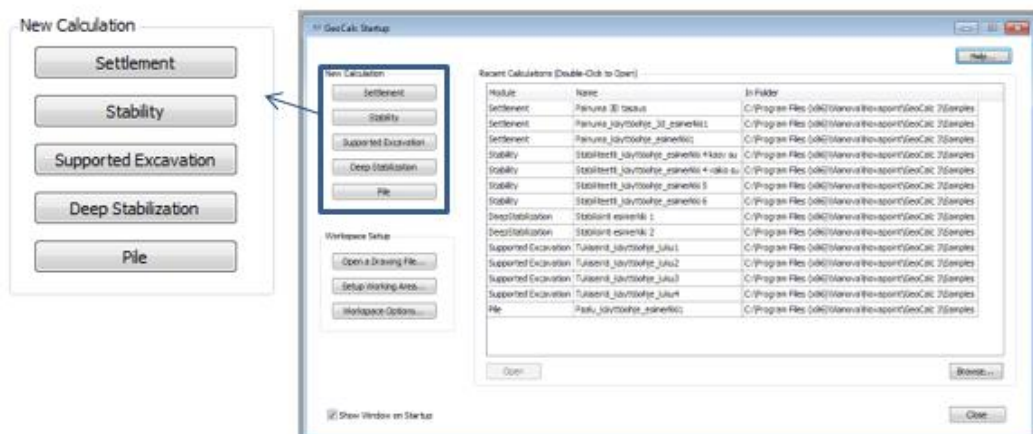
Liite 1. Ohjelmiston perustoiminnot

Ohjelmisto avataan Windows käynnistysvalikosta, jonka jälkeen se mahdollisesti varmistaa käyttäjän lisenssin avaamalla alla olevan kuvan näköisen ikkunan.

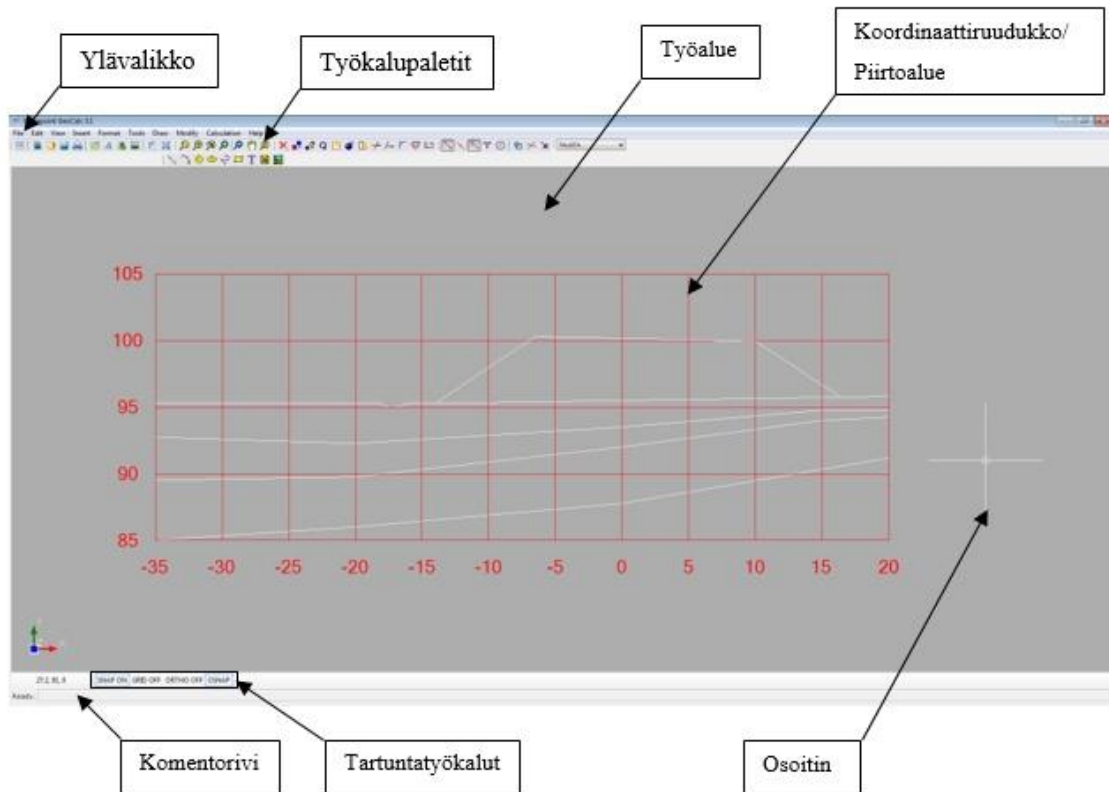


Oppilaitoskäytössä valitaan yleensä alempi vaihtoehto. Ohjelma on voitu asentaa myös niin, ettei lisenssin varmistusta kysytä. Ohjelman käyttökielenä on englanti, mutta viemällä hiiren eri komentojen kohdalle, tulee esiin komentojen suomenkieliset selitteet.

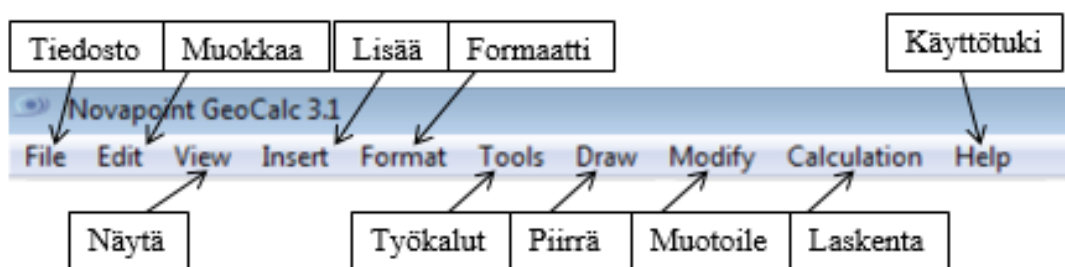
Ohjelman käynnistyessä se avaa työalueen ja Startup – ikkunan, mistä on mahdollista palata johonkin edellisistä laskennoista, asettaa työtila tai aloittaa kokonaan uusi laskenta. Kaikki toiminnot saa myöhemminkin auki ja Startup – ikkunan voi myös sulkea tekemättä mitään valintoja.



GeoCalc koostuu laskentamoduuleista, jotka toimivat yhteisen piirtoalustan päällä. Ohjelmassa muodostetaan ensin laskentamalli työalueelle, joko tuomalla esim. valmis dwg- tiedosto, tai piirtämällä malli itse. Tämän jälkeen mallille voidaan tehdä eri tarkasteluja laskentamoduulien avulla.



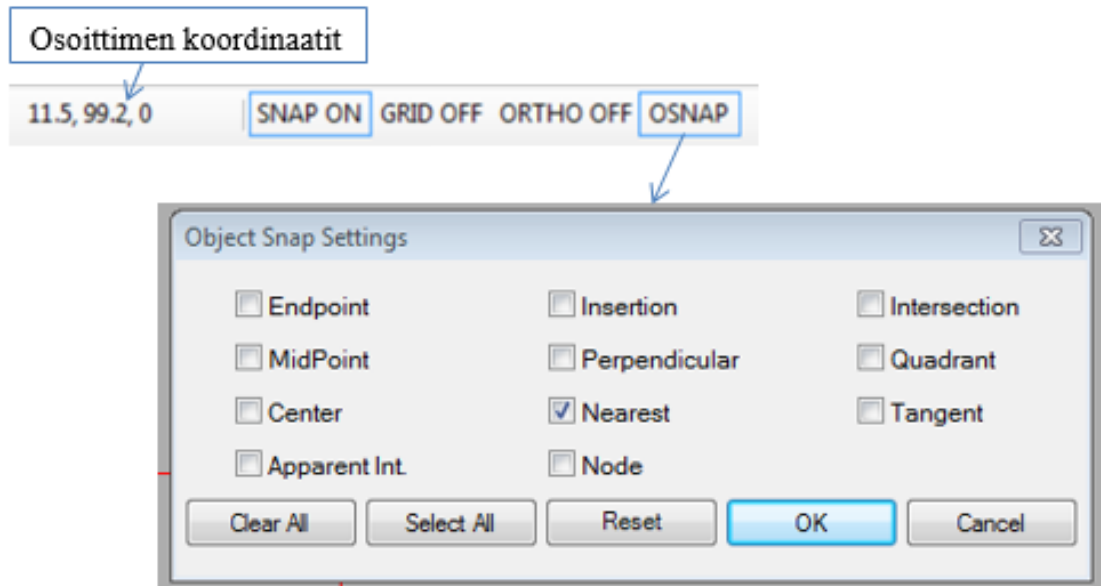
Ohjelmiston perustoiminnot sijaitsevat ikkunan ylä- ja alarivistöllä. Ylärivillä löytyvät eri **valikot** toimintoihin:



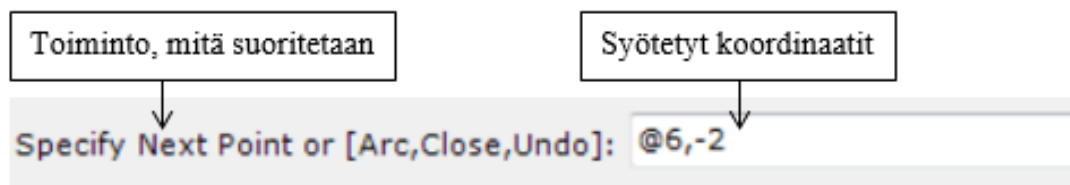
Työkalupaletit (engl. toolbar) ovat työalueelle asetettuja toimintokuvakkeita valikoista löytyville toiminnoille ja tekevät toimintojen valinnasta helpompaa ja nopeampaa. Työkalupaletteja voi poistaa ja lisätä näkyvistä Näytä (engl. View) -välilehdellä. Alla olevassa kuvassa on esimerkiksi eri piirtotyökaluja sisältävä työkalupaletti.



Tartuntatyökalut sijaitsevat työalueen alareunassa ja valitaan päälle/ pois päältä klikkaamalla. Osnap – tartunnasta avautuu tarkempi valintaikkuna, mistä voidaan määrittää osoittimen tartuntatapa. Tartuntatyökalupaletin edessä näkyy aina osoittimen sijainti koordinaatteina (järjestyksessä: x, y, z).

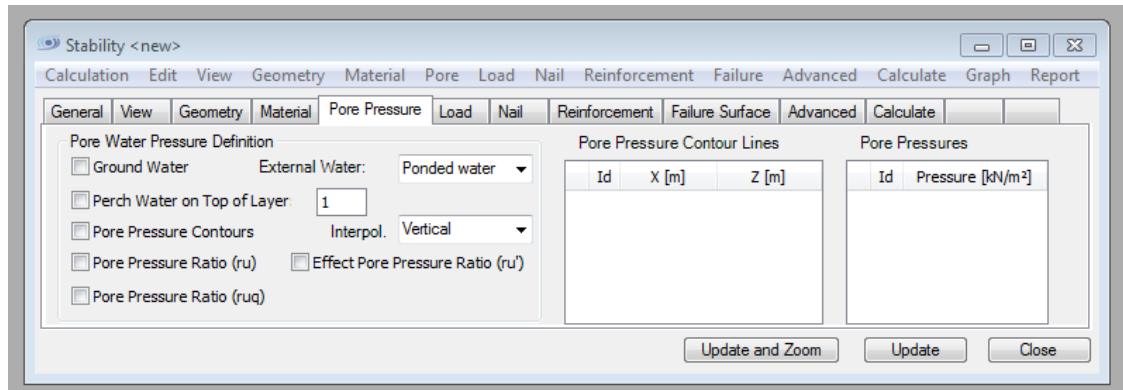


Komentoriville kirjoitetaan esimerkiksi eri komentoihin liittyen koordinaatteja. Rivin edessä näkyy myös aina ohjeet, mitä kuvasta pitää esimerkiksi määrittää.



Ohjelmistossa on laskentamoduulit stabiliteetin eli vakavuuden, painuman, stabiloinnin, tukiseinien ja paalujen mitoitukseen. Eri laskentamoduulit toimivat itsenäisesti ja käyttävät laskentamallia pohjanaan. Laskenta suoritetaan moduuleissa etenemällä välilehdillä vasemmalta oikealle ja täyttämällä tarvittavia parametreja välilehtien ja moduulin ylälavikon toimintojen avulla.

Alla olevassa kuvassa on esimerkki stabiliteetin laskentamoduulista:



Tässä työssä käsitellään vain stabiliteetti-, painuma- ja syvästabilointimoduulien käyttöä. Eri laskentamoduulien käyttöä käydään läpi tarkemmin tämän työn liitteiden laskentaesimerkeissä 2– 5.

Yleisesti laskentamoduuleissa edetään oikealta vasemmalle. Tietojen täyttäminen aloitetaan laskennan yleisten tietojen täyttämällä ja päättyy laskenta-sivulle, jossa varsinainen laskenta käynnistetään. Laskennan valmistuessa avautuvat Graph- ja Report – välilehdet, joista näkee laskennan tulokset graafisina käyriä, tai kirjallisena raporttina.

Liite 2. Vakavuuslaskenta: Penkereen vakavuus

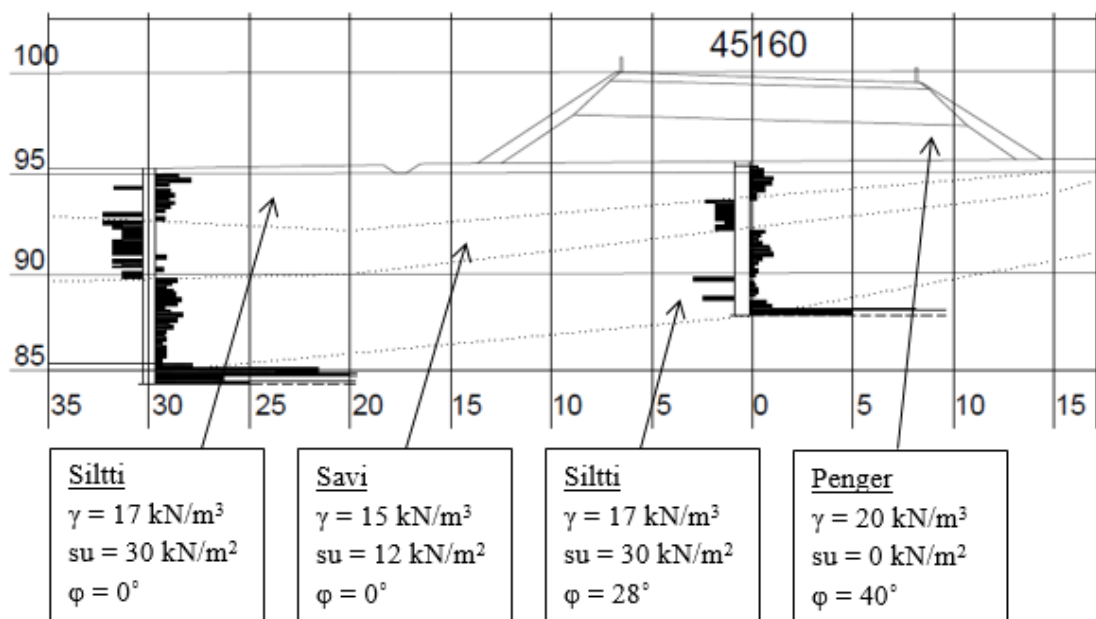
2.1 Lähtötiedot

Tässä laskentaesimerkissä käydään läpi vakavuuslaskennan suorittamista pehmeikölle rakennetulle penkereelle. Lähtötiedot on annettu alla olevassa kuvassa. Tehtävänä on tehdä tarkastelu

- Kokonaisvarmuuslukumenettelyllä
- Osavarmuuslukumenettelyllä

Aloitetaan laskenta kokonaisvarmuuslukumenettelyllä, jotta saadaan ensimmäisenä varmuutta stabiliteetin suuruusluokasta pelkkien ominaisarvojen perusteella.

Laskentaesimerkin lopussa tehdään johtopäätökset saaduista tarkasteluista ja käydään läpi tulosten tulostaminen.



- Pohjavedenpinta sijaitsee savikerroksen yläpinnassa
- Liikennekuorma 10 kN/m^2

2.2 Käynnistäminen

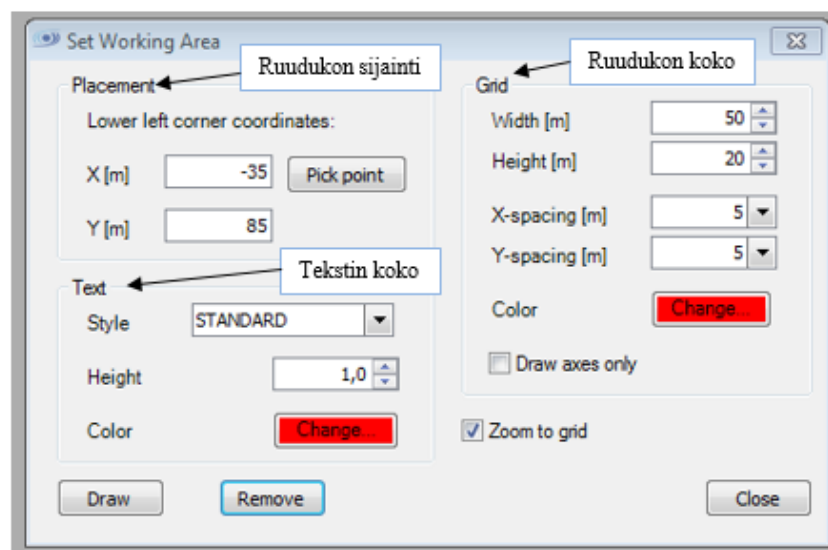
Käynnistetään Novapoint GeoCalc – ohjelma ja tehdään mahdollinen lisenssinvahvistus. Oppilaitoksissa valitaan yleensä vaihtoehto **Novapoint 16 licensing**.

Valitaan GeoCalc Startup – ikkunasta **New Calculation** → **Stability** (suom. Uusi stabiiliteetilaskenta). Ohjelma avaa Stability – laskentamoduulin, minkä voi pienentää ikkunan oikeasta yläkulmasta. Vaihtoehtoisesti Startup – ikkunan voi sulkea ja valita laskentamoduulin myöhemmin ylävalikosta **Calculation** → **Stability...**

Aloitetaan laskenta käymällä läpi ensin piirtoasetukset, joissa määritellään koordinaatti- ja piirtoruudukko, sekä tartuntapisteiden ja piirtoverkon pisteiden välit.

2.3 Koordinaattiruudukko

Ensimmäiseksi määritellään piirtoalueelle koordinaattiruudukko valitsemalla **Calculation** → **Set working area**.



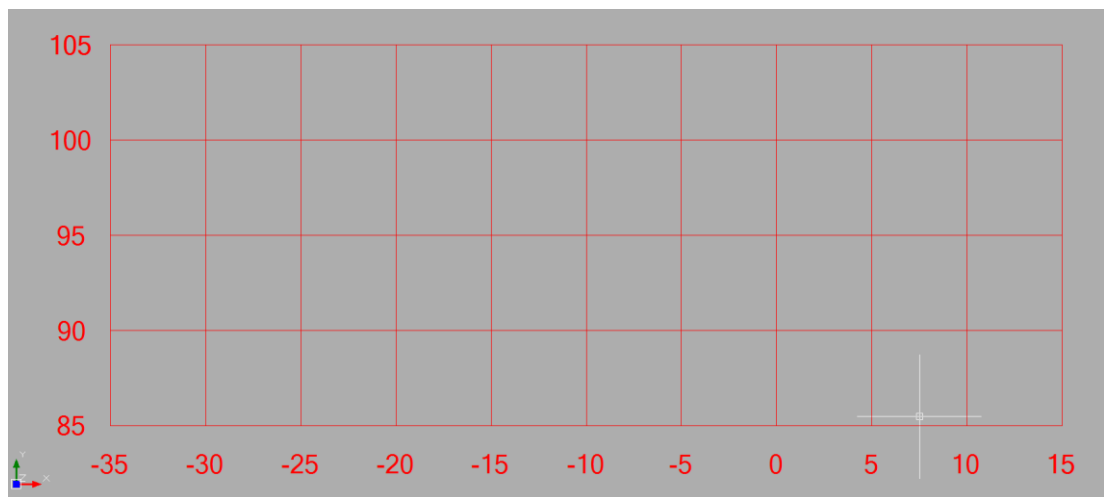
Placement – kohdasta määritetään koordinaattiruudukon vasen alakulma. Valitaan **Pick Point** ja kirjoitetaan alkutilanteen kuvan mukaisesti -35, 85, 0 (x, y, z). Vaihtoehtoisesti voidaan em. koordinaatit kirjoittaa suoraan **Placement** → **Lower left corner coordinates** – kohtaan.

Grid – kohdasta määritetään koordinaattiruudukon koko ja väri.

Text – kohdasta määritetään tekstin tyyli, koko ja väri.

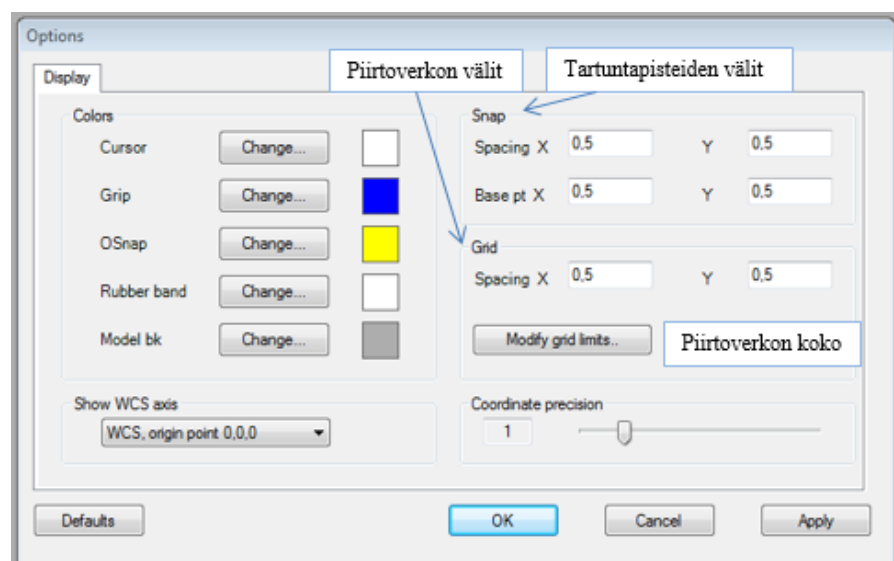
Piirrettyä koordinaattiruudukkoa voidaan tarvittaessa muokata **Set working area** – ikkunasta ja tarvittaessa poistettua painamalla **Remove** – painiketta.

Valitaan tässä harjoituksessa yllä olevan kuvan mukaiset arvot. Kun arvot on muutettu, painetaan **Draw** ja poistetaan ikkunasta painamalla **Close**. Työalueelle tulisi ilmestyä alla olevan kuvan mukainen ruudukko.



2.4 Piirtoasetukset

Seuraavaksi muokataan käytettävien tartuntapisteiden ja piirtoverkon pisteiden välit, valitsemalla grafiikkaikkunan ylävalikosta **Tools** → **Options**.



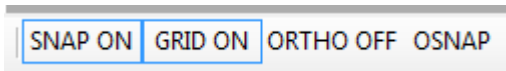
Options – näkymässä määritellään tartuntapisteiden välit (**Snap**) ja piirtoverkon välit (**Grid**). Näihin kannattaa asettaa samat arvot, esim. 0,5 tai 1, riippuen millä tarkkuudella osoittimen tartuntavälit halutaan.

Modify grid limits – kohdassa määritellään piirtoverkon koko. Piirtoverkko kannattaa yleensä asettaa saman kokoiseksi, kuin aiemmin määritetty koordinaattiruudukko. Tällöin piirtoverkon koko annetaan kirjoittamalla alapalkissa olevalle komentoriville ensin **vasemman alakulman koordinaatit** (-35, 85, 0) → **Enter** → **Oikean yläkulman koordinaatit** (15, 105, 0) → **Enter**.

Vaihtoehtoisesti piirtoruudukko voidaan antaa klikkaamalla koordinaattiruudukon kulmia tartuntatyökalujen **Osnap** -komento päällä. Jotta muutokset tulevat voimaan painetaan näkymästä **Apply** ja poistutaan painamalla **Ok**.

Näkymän ei tulisi muuttua tämän jälkeen.

Äsken määritellyt tartuntavälit (**Snap**) ja piirtoverkon välit (**Grid**) saadaan voimaan piirtotilassa klikkaamalla tartuntatyökalujen **Snap**- ja **Grid** – toiminnot aktiivisiksi.



Snap – ja **Grid** – toimintojen käyttö voi joissakin laskennan vaiheissa vaikeuttaa haluttujen pisteiden valintaa, koska tartunnat tehdään äsken **Options** – ikkunaan asetetuilla tarkkuuksilla.

Tämän vuoksi voi tartuntatyökaluista **Osnap** – tartunnan käyttö olla kätevämpää. Kun **Osnap** valitaan aktiiviseksi, avaa ohjelma erillisen ikkunan, mistä voidaan valita halutut tartuntapisteet (esim. kohta endpoint hakee tartunnan viivojen päätepisteistä).

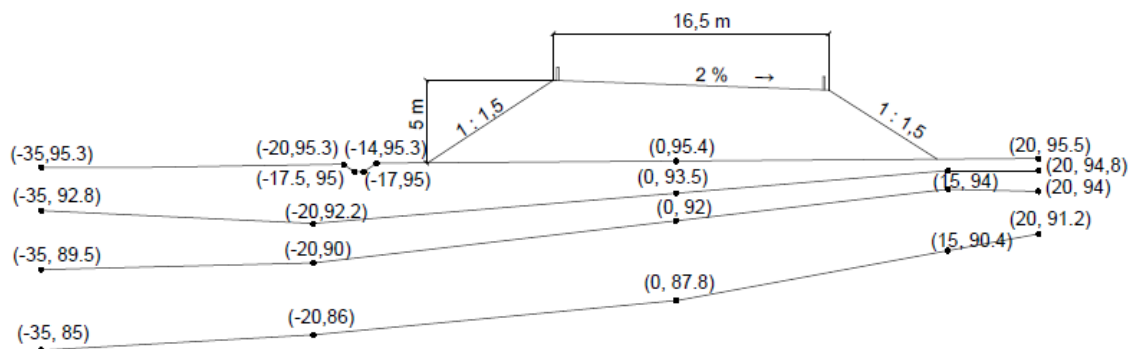
2.5 Laskentamallin piirtäminen


Piirtoasetuksien määrittämisen jälkeen voidaan tehdä laskentamalli tarkasteltavasta tilanteesta. GeoCalc:ssa piirretyt laskentamallit tallennetaan erikseen omaksi tiedostokseen (tiedostomuoto *.vdf) ja varsinainen laskenta suoritetaan laskentamallin ”päällä”. Samalle laskentamallille voidaan tehdä siis useampi tarkastelu, eikä sitä välttämättä tarvitse luoda aina erikseen.

Laskentamallin toimimisen kannalta on sen piirtämisessä tärkeää, että

- Mallin viivat esim. maakerrosrajat ovat piirretty polyline –komennolla. Ohjelma ei tunnista muita viivoja.
- Mallin viivat piirretään vasemmalta oikealle
- Mallin viivat eivät saa mennä ristiin. Viivat voivat olla päällekkäin.

Piirretään alla olevan esimerkkikuvan mukaiset maakerrokset koordinaattipisteiden avulla.



Valitaan työkalupaletista **Polyline** – komento  →, tai valikosta **Draw** → **Polyline**.

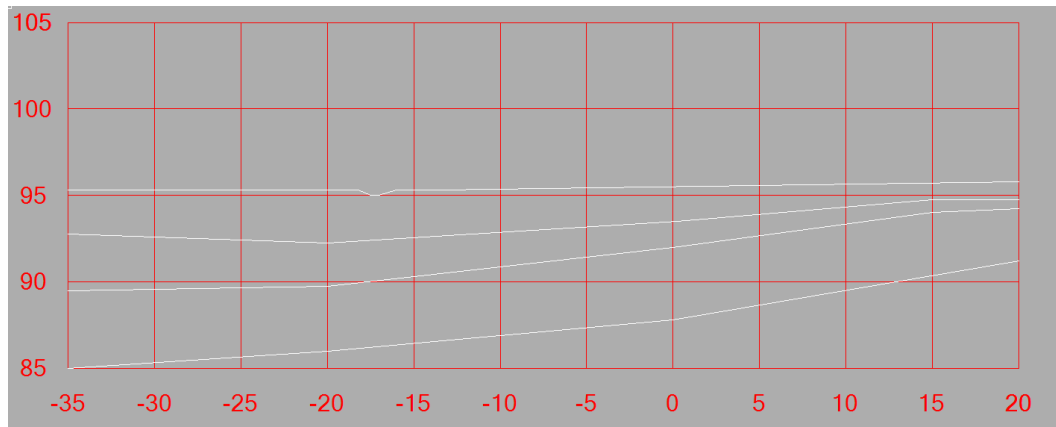
Jos **Polyline** – komentoa ei löydy suoraan valintaikkunan työkalurivistä, voidaan **Draw – toolbar** asettaa näkyville valitsemalla **View** → **Toolbars** → **Draw**.

Viiva voidaan piirtää valitsemalla sijaintipisteet suoraan koordinaattiruudukosta osoittimella, tai kirjaamalla sijaintipisteet komentoriville esim. **-35, 85** → **Enter** → **-20, 86** → **Enter**... jne. Viiva päätetään painamalla näppäimistöltä **Enter** tai **Esc** –painiketta. Toiminto aloitetaan uudelleen jokaisen viivan päätyttyä.

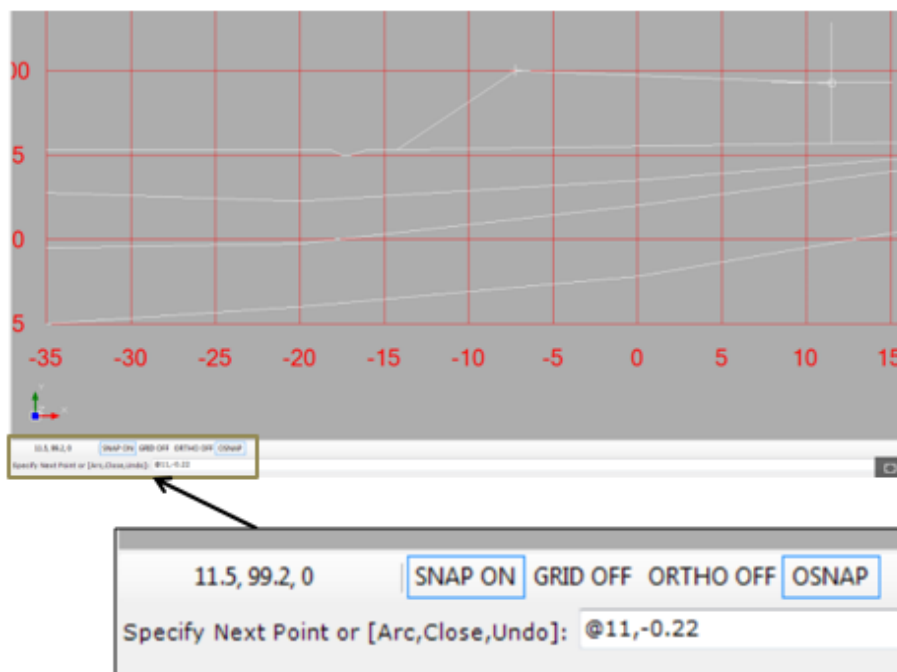
Huomaa, että koordinaatteja syöttäessä x-, y- ja z-koordinaatit erotetaan toisistaan pilkulla (esim. 0, 0, 0) ja koordinaattien desimaalit pisteellä (esim. 0, 1.5, 0).

Poikkileikkauksia piirtäessä ei z – koordinaatin käyttö ole kuitenkaan tarpeellista, miksi arvot voidaan syöttää pelkillä x- ja y – koordinaateilla.

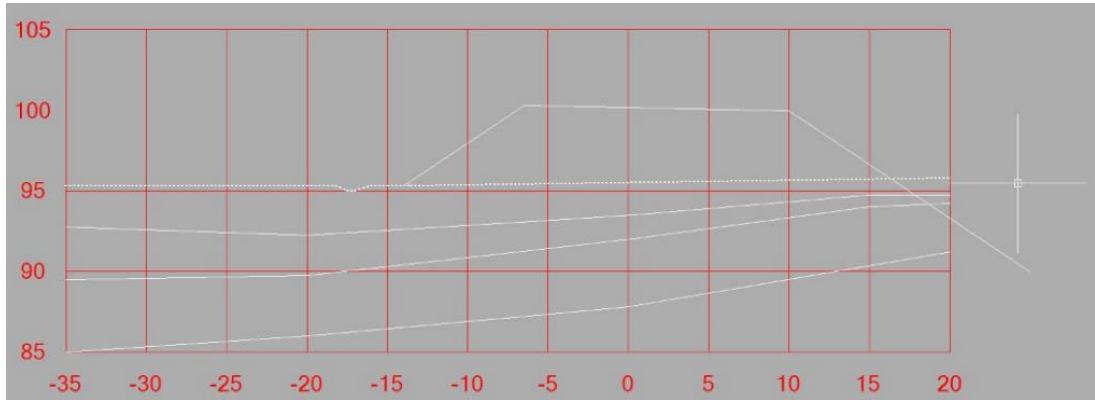
Maakerrosten tulisi valmiina näyttää seuraavalta:



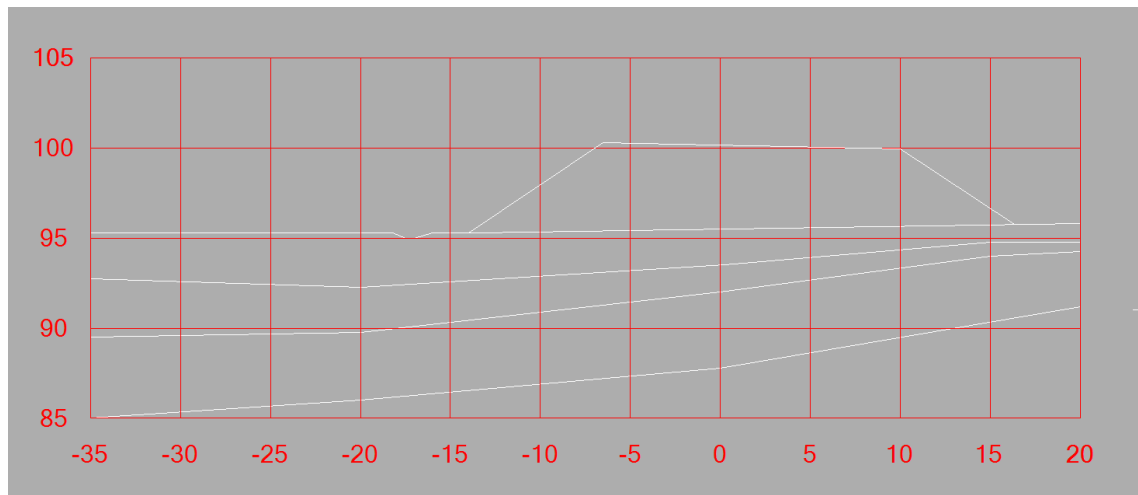
Luiskaa piirtäessä voi olla helpompaa määritellä seuraavan pisteen sijainti edelliseen sijaintipisteeseen nähden. Tartuntatyökaluista kannattaa ainakin **Osnap** → **Nearest** pitää aktiivisena. Aloitetaan valitsemalla aloituspiste komennolla **Polyline** → Valitse kohta ojan vierestä ylimmältä viivalta. Jatketaan antamalla komentoriville käsky painamalla **Alt Gr + @** → **7.5, 5** (luiskan vaakamitta, pystymitta). Penger on 2 % sivukaltevuudella, joten seuraava piste merkitään alla olevan kuvan mukaisesti:



Päätetään polyline – viiva piirtämällä se reilusti pitkäksi (luiskan kaltevuus on 1: 1,5) → **Esc/ Enter**, ja rajaamalla erillisellä **Trim** – käskyllä maanpintaan valitsemalla joko **Trim** työkalupaletista tai ylävalikosta **Modify** → **Trim** → **Valitse maanpinta** → **Valitse päätettävä viiva**.



Mallin ollessa valmis tallennetaan se valikosta **File** → **Save As**. Tarkistetaan, että tiedostomuoto on vdf – muotoa. Valmiin mallin tulisi näyttää alla olevan kuvan



mukaiselta:

Mallin piirtämisen sijaan voidaan GeoCalc – ohjelmaan myös avata olemassa oleva DWG – tiedosto (eli esim. AutoCad:lla piirretty tiedosto). Tällöinkin on huomioitava, että laskentamalli muodostuu polyline – viivoista. Lisäksi silloin määritellään koordinaatiston sijainti **Calculation** → **Set Coordinates** → kirjataan komentoriville 0,0,0.

2.6 Penkereen vakavuus kokonaisvarmuusmenetelmällä

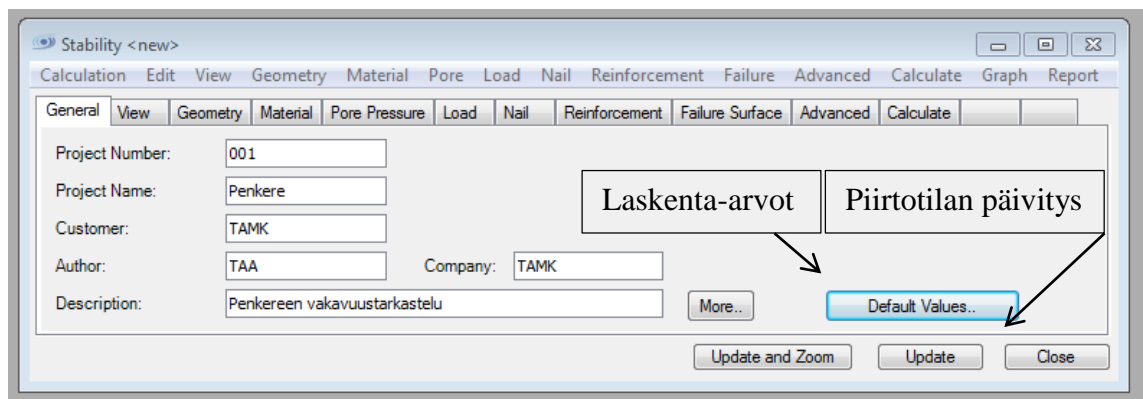
Kokonaisvarmuusmenetelmällä laskiessa käytetään kuormituksen ja maaparametrien ominaisarvoja, jotka on annettu laskentaesimerkin alussa.

Mallin piirtämisen jälkeen voidaan aloittaa varsinainen mitoittaminen. Avataan joko Start up – ikkunassa valittu stabiliteettimoduuli, tai valitaan moduuli piirtotilan ylävalikosta **Calculation** → **Stability**.

Stabiliteettimoduuli koostuu välilehdistä, joihin syötetään laskennassa käytettäviä lähtötietoja. Tiedot täytetään käymällä välilehdet järjestyksessä läpi vasemmalta oikealle, kunnes päästään laskennan tuloksiin. Laskentamoduulien eri kohdille saadaan melko kattavat suomenkieliset selitteet viemällä hiiri aina tarkasteltavan kohdan päälle.

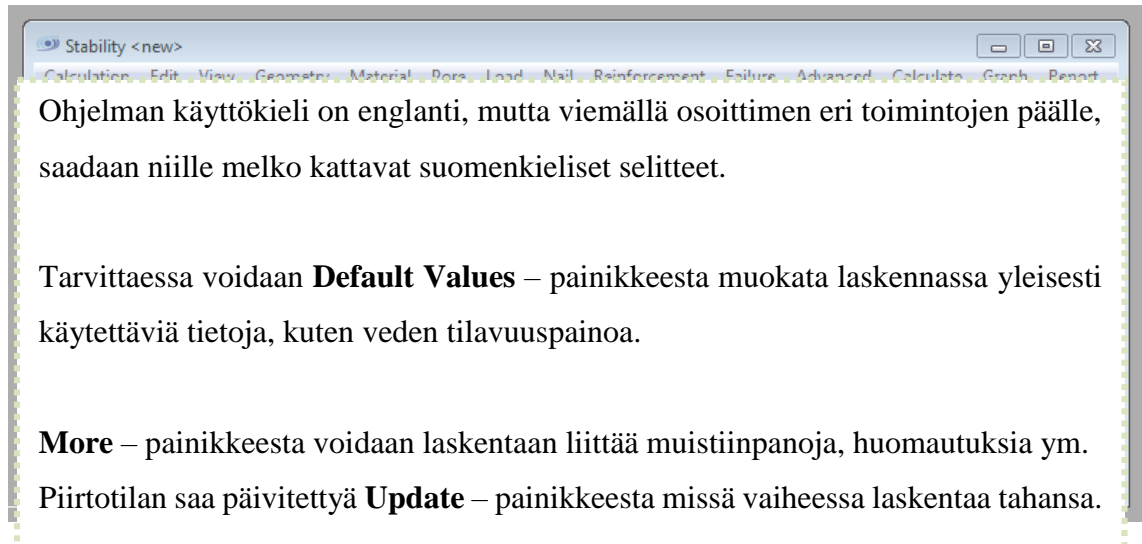
2.6.1 Laskennan yleiset tiedot

General – välilehdellä täytetään laskennan yleiset tiedot, kuten projektinumero, asiakas, laskija jne.



2.6.2 Piirtoasetukset

View – välilehdellä muokataan näyttöasetuksia, eli sitä, miten laskenta esitetään grafiikkaikkunassa ja tulostuksessa. Palataan näihin asetuksiin tarkemmin tulostusta tarkasteltaessa.



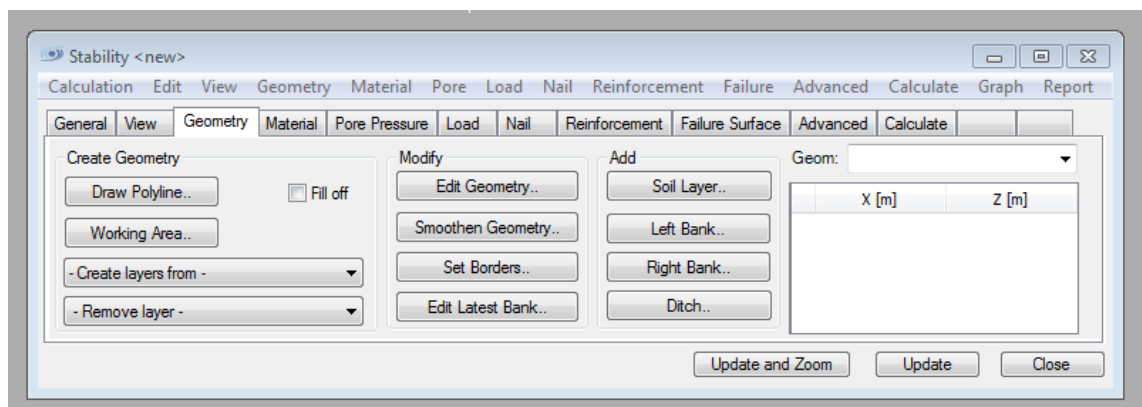
Ohjelman käyttökieli on englanti, mutta viemällä osoittimen eri toimintojen päälle, saadaan niille melko kattavat suomenkieliset selitteet.

Tarvittaessa voidaan **Default Values** – painikkeesta muokata laskennassa yleisesti käytettäviä tietoja, kuten veden tilavuuspainoa.

More – painikkeesta voidaan laskentaan liittää muistiinpanoja, huomautuksia ym. Piirtotilan saa päivitettyä **Update** – painikkeesta missä vaiheessa laskentaa tahansa.

2.9 Laskennan poikkileikkausgeometria

Geometry-välilehdellä määritellään laskennassa käytettävien maakerrosten, kallion, pohjaveden ja orsiveden geometria poikkileikkauksessa.



The screenshot shows the 'Geometry' menu in the Stability software. The menu options are: General, View, Geometry, Material, Pore Pressure, Load, Nail, Reinforcement, Failure Surface, Advanced, Calculate, Graph, and Report. The 'Geometry' sub-menu is open, showing options for 'Create Geometry' (Draw Polyline..., Working Area..., Create layers from..., Remove layer...), 'Modify' (Edit Geometry..., Smoothen Geometry..., Set Borders..., Edit Latest Bank...), and 'Add' (Soil Layer..., Left Bank..., Right Bank..., Ditch...). There is also a 'Geom:' dropdown menu and a table with columns 'X [m]' and 'Z [m]'. At the bottom, there are buttons for 'Update and Zoom', 'Update', and 'Close'.

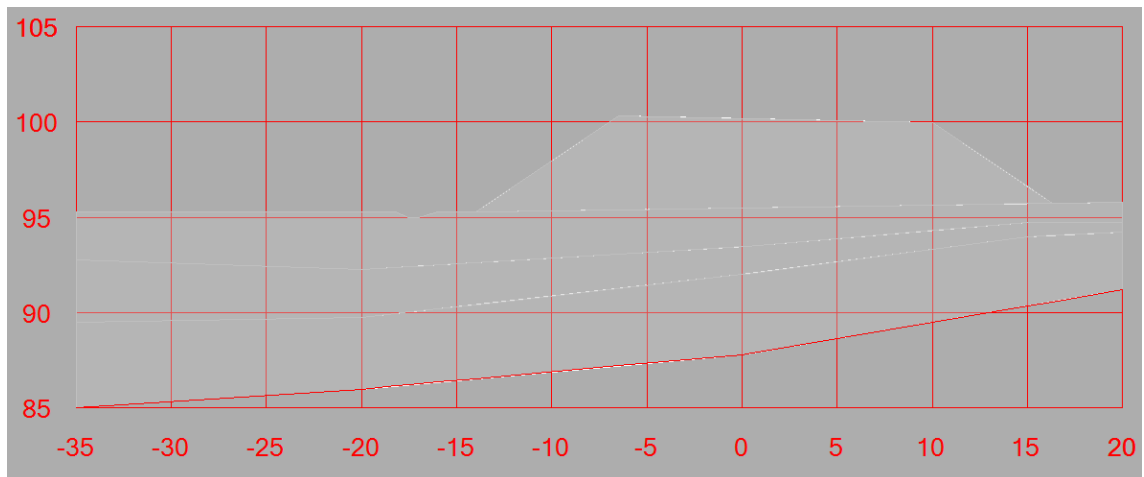
Määritellään eri maakerrosten rajat valitsemalla laskentamoduulin yläpalkista **Geometry** → **Select Soil Layer Polylines** → **From Top to Bottom**. Komento sulkee laskentaikkunan ja seuraavaksi laskentamallista valitaan maakerrosrajat pengerrukseen mukaan.

lukien järjestyksestä ylhäältä alas. Valittu viiva muuttuu värinsä keltaiseksi. Ohjelma muodostaa automaattisesti alimmasta valitusta viivasta kovan pohjan.

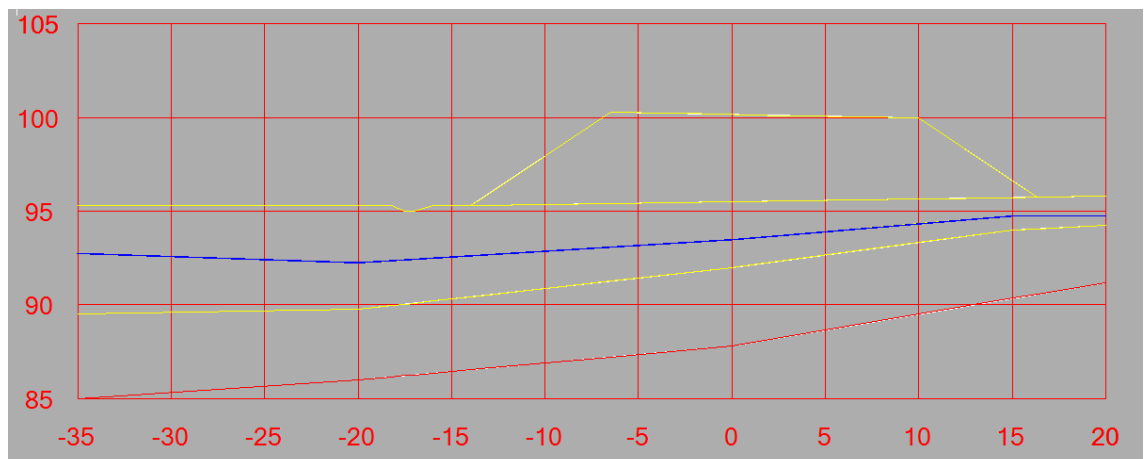
Maakerrosrajat voidaan valita myös vapaassa järjestyksessä valitsemalla ylävalikosta **Geometry** → **Select Soil Layer Polylines** → **Free Order..**

Tämän jälkeen voidaan maakerrosrajat valita vapaassa järjestyksessä.

Huomaa, että malliin piirrettyä pohjavedenpinnan rajaa ei valita tässä kohdassa! Jos pohjavedenpinta on kuitenkin valittu, painetaan Esc ja tehdään valinta uudestaan. Kun kaikki rajapinnat on valittu, painetaan **Enter**. Valittujen maakerrosten tulisi muuttua rasteroiduksi, jos **View** – välilehden **Material** – kohta on jätetty aktiiviseksi.

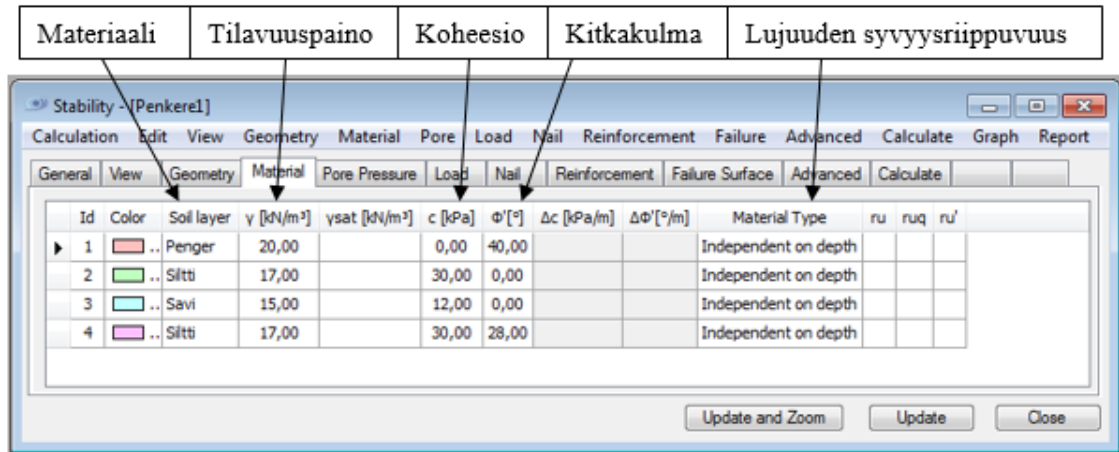


Seuraavaksi valitaan pohjavedenpinta laskentamallista. Valinta tehdään kuten maakerrosrajojen valinta: **Geometry** → **Select Ground Water Polyline**. Valitaan laskentamallista savikerroksen yläpinta, jonka jälkeen viivan tulisi muuttua siniseksi.



2.6.3 Maakerrosten laskentaparametrit

Material – välilehdellä määritellään äsken muodostettujen maakerrosten parametrit. Alla olevassa kuvassa on esitetty muutama keskeisistä kohdista:



Määritetään järjestyksessä jokaisen maakerroksen tiedot ja lujuusparametrit, kuten yllä olevassa kuvassa.

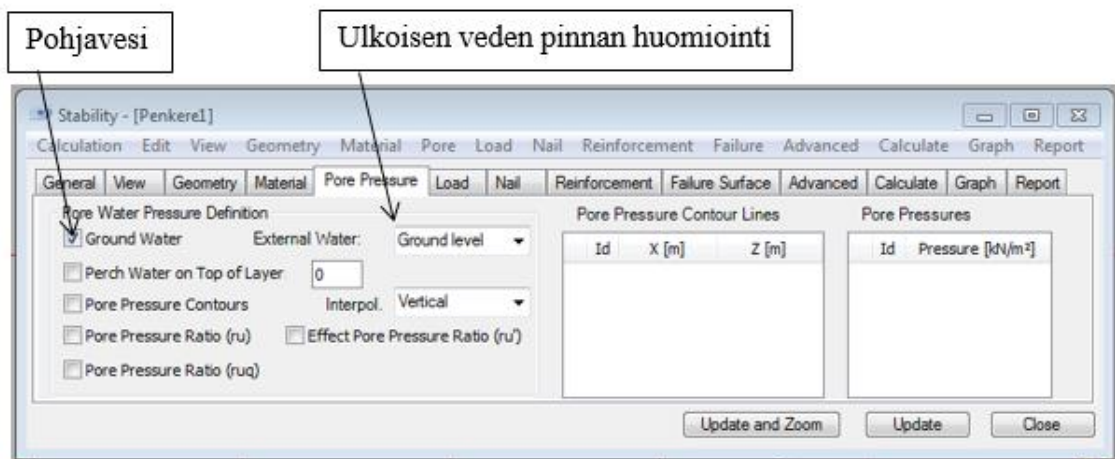
Eri kohdissa täytettäviä tietoja ovat:

- **Color:** Laskentamallissa näkyvän rasteroinnin väri
- **Soil layer:** Annetaan maakerroksen nimi
- **γ [kN/m³]:** Annetaan maa-aineksen tilavuuspaino
- **γ_{sat} [kN/m³]:** Tilavuuspaino pohjavedenpinnan alapuolella. Kun märkätilavuuspainoa ei anneta, laskee ohjelma sen itse oletuksena kuivatilavuuspainon ja annettujen pohjavesitietojen perusteella.
- **c [kPa]:** Koheesio, kohtaan annetaan maa-aineen suljettu leikkauslujuus (s_u) tai tehokas koheesio laskettaessa $c' - \phi$ - menetelmällä
- **ϕ [°]:** Annetaan maa-aineksen kitkakulma.
- **Material Type:** Lujuuden syvyysriippuvuus, josta valitaan, ovatko maan lujuusparametrit vakioita (engl. Independent on depth) vai riippuvatko ne syvyydestä (engl. Dependent on depth).

2.6.4 Huokosvedenpaine

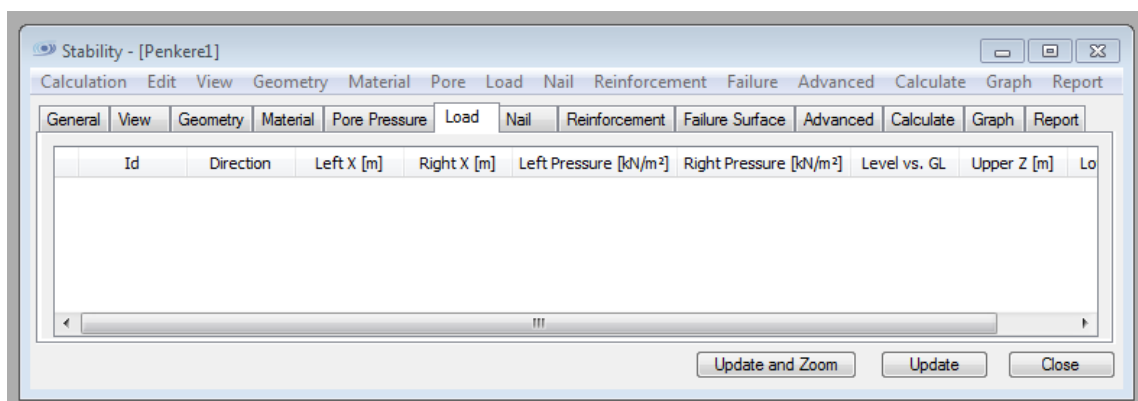
Pore Pressure – välilehdellä määritellään huokosvedenpaineen laskentatapa.

Valitaan kohta **Ground Water** aktiiviseksi ja määritetään kohta **External Water** → **Ground Water**. Jollei pohjavettä valita tällä välilehdellä aktiivisesti, huomioi ohjelma sen esimerkissä vain maakerrosten tilavuuspainoissa.



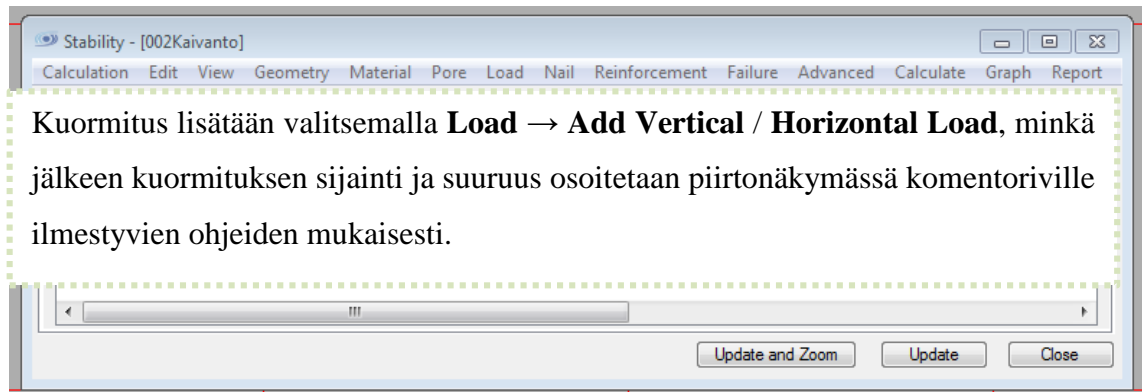
2.6.5 Kuormitus

Load – välilehdellä määriteltäisiin laskentamallissa esiintyvä laskentakuormitus, esim. liikennekuorma. Tässä esimerkissä tarkastellaan vain penkereen aiheuttamia kuormia.



2.6.6 Maanalaus ja ankkurointi

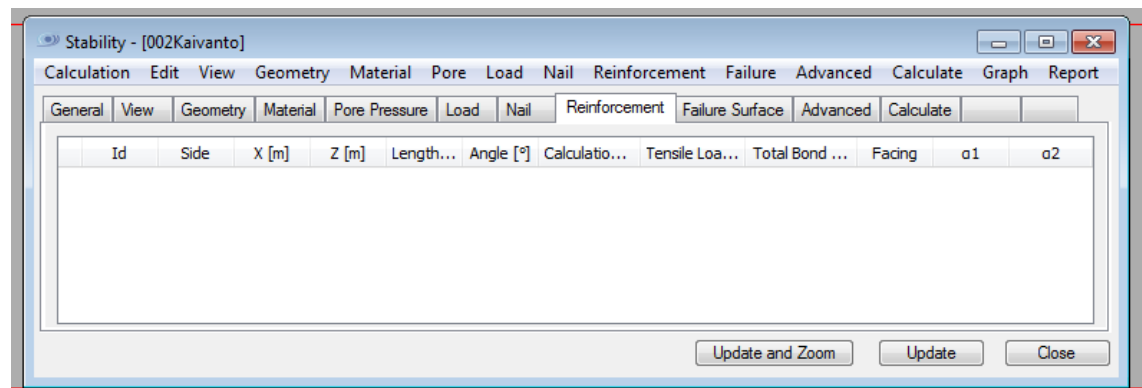
Nail - välilehdellä määriteltäisiin luiskan vakavuutta parantavat naulaukset ja ankkuroinnit. Jätetään maanalaus ja ankkurointi pois tässä laskennassa.



Maanalaus lisätään valitsemalla **Nail** → **Add Nail/ Anchor (left/ right)**. Samasta valikosta voidaan poistaa lisätty naulaus/ ankkurointi. Seuraavaksi näytetään laskentamallista naulattava väli ja täytetään laskentaikkunassa kysytyt parametrit.

2.6.7 Geovahvisteet

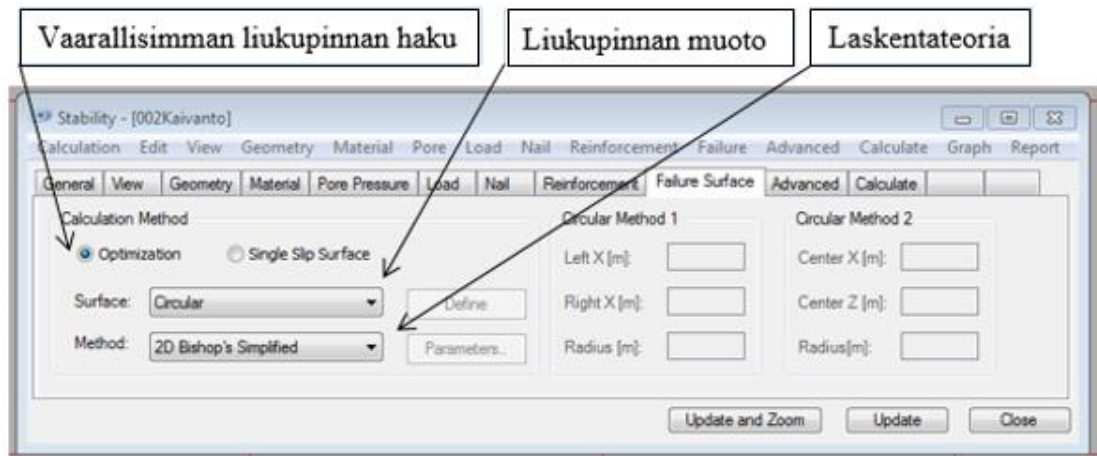
Reinforcement - välilehdellä määriteltäisiin vakavuutta parantavat geovahvisteet ja jätetään pois tässä esimerkissä.



Geovahviste lisätään valitsemalla **Reinforcement** → **Add Reinforcement (Left/ Right)**. Seuraavaksi näytetään laskentamallista vahvisten sijainti ja täytetään laskentaikkunassa kysytyt parametrit.

2.6.8 Liukupinnan asetukset

Failure Surface - välilehdellä määritellään liukupintojen laskentamenetelmä.



Esimerkissä haetaan vaarallisinta liukupintaa, jolloin valitaan kohta **Optimization** aktiiviseksi.

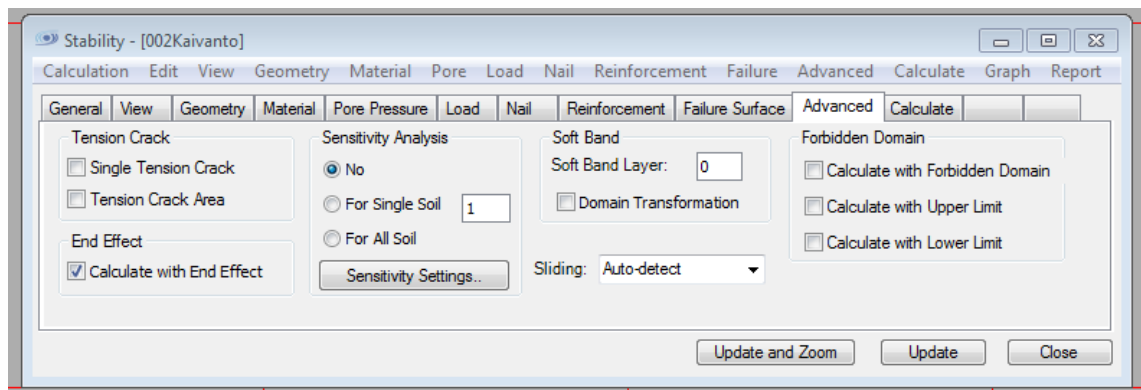
Valitaan liukupinnan muodoksi ympyräliukupinta: **Surface** → **Circular** ja suoritetaan laskenta Bishopin yksinkertaistetulla menetelmällä: **Method** → **2D Bishop's Simplified**.

GeoCalc:ssa voidaan valita useita muitakin laskentateorioita **Method** – kohdassa. Esimerkiksi sivukaltevassa maastossa vaarallisimman liukupinnan selvittämiseksi voidaan valita esimerkiksi **Surface** → **Non-circular, concave** ja laskentateoriaksi Janbun yksinkertaistettu menetelmä kohdasta **Method** → **2D Janbu's Simplified**. Tällöin laskenta suoritetaan vapaamuotoisella liukupinnalla käyttäen Janbun yksinkertaistettua laskentateoriaa. Laskenta kestää vähän kauemmin, kuin Bishopin yksinkertaistetulla menetelmällä laskettuna.

Jos liukupinta halutaan määrittää itse, valitaan **Single Slip Surface** – kohdasta **Circular**. Tällöin **Circular Method** – kohdassa voidaan määrittää liukuympyrän säde ja pisteet missä liukupinta leikkaa maanpinnan.

2.6.9 Halkeamat ja päätyvastus

Advanced – välilehdellä voidaan määrittää vakavuutta parantavia tai heikentäviä komponentteja, kuten päätyvastus tai erityisen heikko maakerros. Tässä esimerkissä ei huomioida tällaisia arvoja, vaan välilehti jätetään tyhjäksi.



Välilehdellä annettavia parametreja ovat:

Tension Crack - mahdolliset yksittäiset halkeamat tai ruhjeisuusalueet

End Effect – päätyvastus

Sensitivity Analysis – Sensitiivisyys, eli herkkyystarkastelu

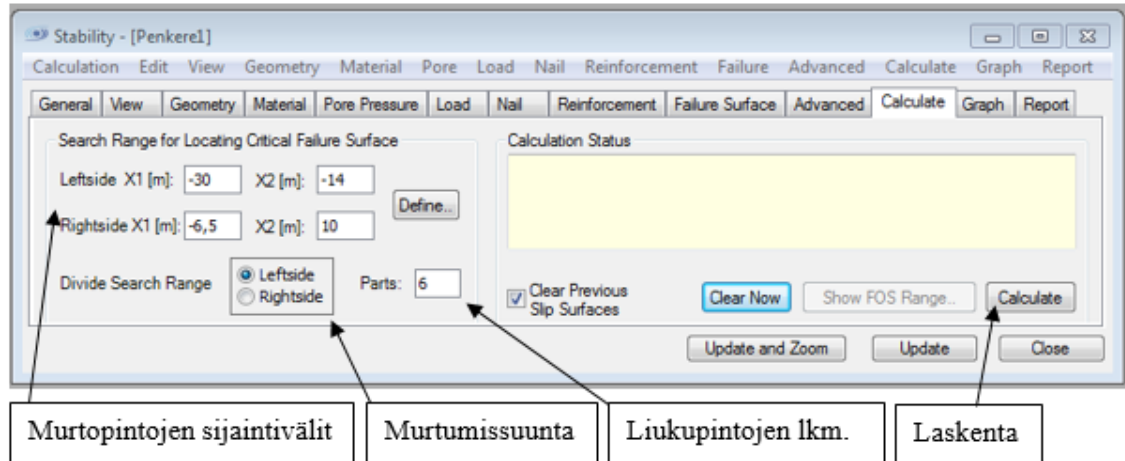
Soft Band Layer – Erityisen heikko ja ohut maakerros

Sliding – Liukupinnan suunnan määrittäminen

Forbidden Domain – Pinta, jonka läpi vaarallinen liukupinta ei pääse kulkemaan

2.6.10 Laskenta

Calculate – välilehdellä määritellään laskennan asetukset ja käynnistetään laskenta.

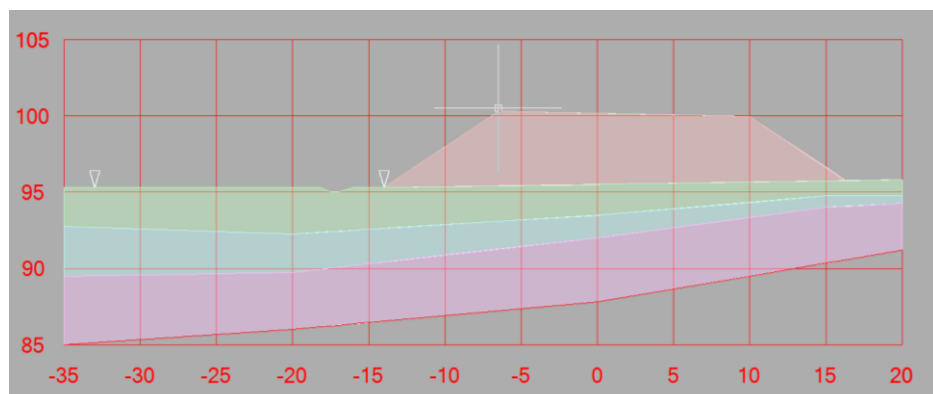


Ohjelma saadaan etsimään vaarallisin liukupinta määrittämällä sen ja maanpinnan väliset leikkauspisteiden rajat kohdassa **Search Range for Location Critical Failure Surface**.

Valitaan kohdassa **Divide Search Range**, tarkastellaanko vakavuutta penkereen oikean vai vasemman puoleiselle luiskalle. Koska kova pohja ulottuu korkeammalle oikeassa reunassa (jolloin murtuminen tapahtuu todennäköisemmin vasemmalle) miksi valitaan **Leftside**.

Samalla rivillä voidaan valita, kuinka monta vaarallista liukupintaa tulokseen kuvataan **Parts: → Liukupintojen lkm.**

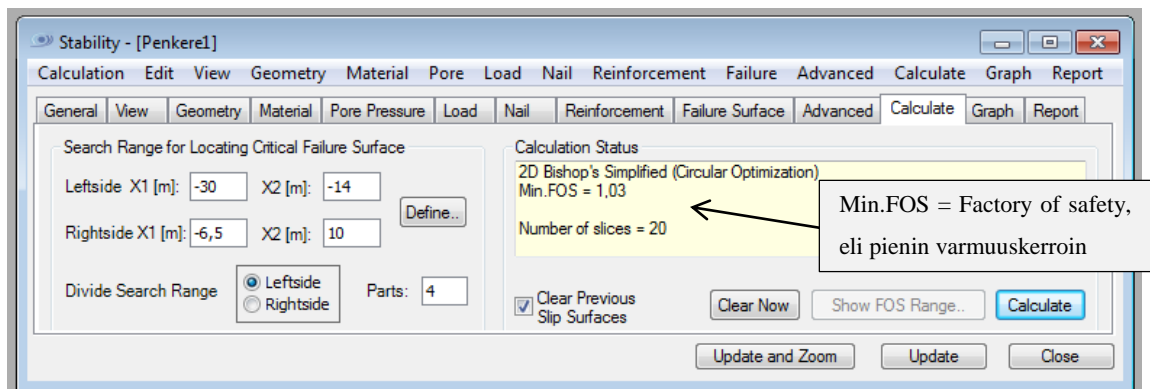
Asetetaan liukupinnan ja maanpinnan leikkausvälit valitsemalla laskentaikkunasta **Define**, jonka jälkeen näytetään laskentamallista ensin vasemman puolen 1. ja 2. piste ja tämän jälkeen oikean puolen vastaavat pisteet komentorivillä näkyvien ohjeiden mukaisesti.



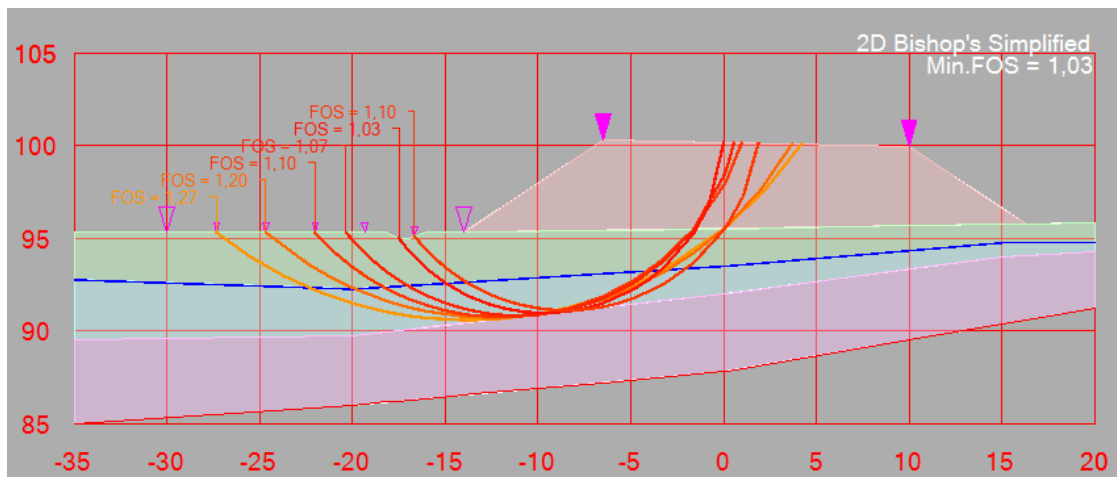
Jos koordinaattipisteet ovat tiedossa, voidaan ne myös kirjata suoraan välilehdellä oleviin X1, Y1 ja X2, Y2-kenttiin.

Näiden jälkeen painetaan **Calculate** – painiketta, jolloin ohjelma suorittaa laskennan.

Tuloksena ohjelma antaa **Calculation Status** – ruutuun heikoimman varmuuskertoimen (Min.FOS) ja ilmoittaa laskennassa käytettyjen lamellien lukumäärän.



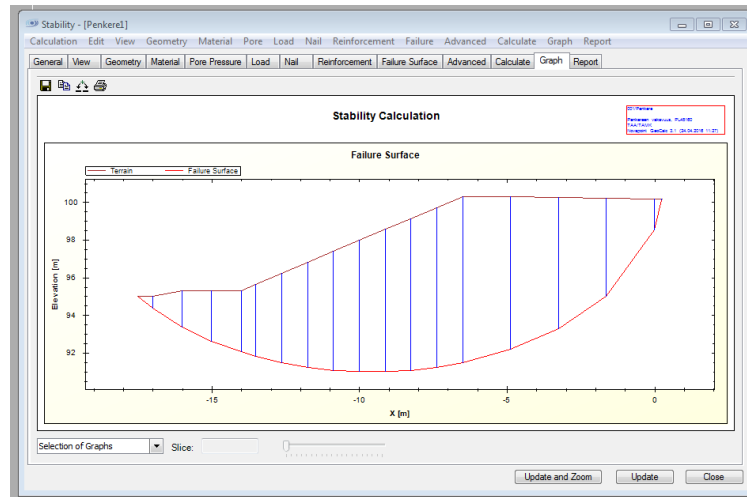
Laskennan lopuksi vaarallisimmat liukupinnat tulostuvat piirtotilaan alla olevan kuvan mukaisesti:



Laskenta saadaan tallennettua valitsemalla laskentamoduulin ylävalikosta **Calculation** → **Save As**. Stabiilitteettilaskennat tallentuvat tiedostomuotoon "*.gcs". Koska tässä laskentaesimerkissä tehdään useampia tarkasteluja, on jokainen tehdyistä laskennoista suositeltavaa tallentaa eri nimillä.

Ohjelmisto tulostaa laskennan tulokset lisäksi **Graph** – ja **Report** – välilehdille.

Graph – välilehdellä näytetään laskennan perusteella tehdyt grafiikat.



Report – välilehdellä näytetään laskennan tekstimuotoiset tulokset. Valittavana on laskennan lähtötiedosto (engl. Slope Input), lähtötietojen oikeellisuuden tarkisturaportti (engl. Slope Input Check) ja tulostiedosto (Slope Results).

2.7 Penkereen vakavuus murtorajatilassa

Seuraavaksi tarkastellaan penkereen vakavuutta osavarmuuslukumenetelmällä. Tehdään kaksi tarkastelua, joista toisessa huomioidaan vain pysyvät kuormat ja toiseen lisätään myös liikennekuorma.

Laskentaesimerkissä käytettävät osavarmuuslukukertoimet ovat Liikenneviraston ohjeesta 35/2013: Eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu NCCI 7.

Lasketaan lähtötietona annetuille maaparametreille mitoitusarvot:

Penger:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^2 / 1,0 = 20 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi = \tan^{-1}(\tan 40^\circ / 1,25) = 33,8^\circ$$

Siltti:

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^2 / 1,0 = 17 \text{ kN/m}^2$$

$$s_u = 30 \text{ kN/m}^2 / 1,4 = 21,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi = 0^\circ$$

Savi:

$$\gamma = 15 \text{ kN/m}^2 / 1,0 = 15 \text{ kN/m}^2$$

$$s_u = 12 \text{ kN/m}^2 / 1,4 = 8,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi = 0^\circ$$

Siltti:

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^2 / 1,0 = 17 \text{ kN/m}^2$$

$$s_u = 30 \text{ kN/m}^2 / 1,4 = 21,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi = \tan^{-1}(\tan 28^\circ / 1,25) = 23^\circ \text{ (käänteistangenttina)}$$

Liikennekuorman mitoitusarvo:

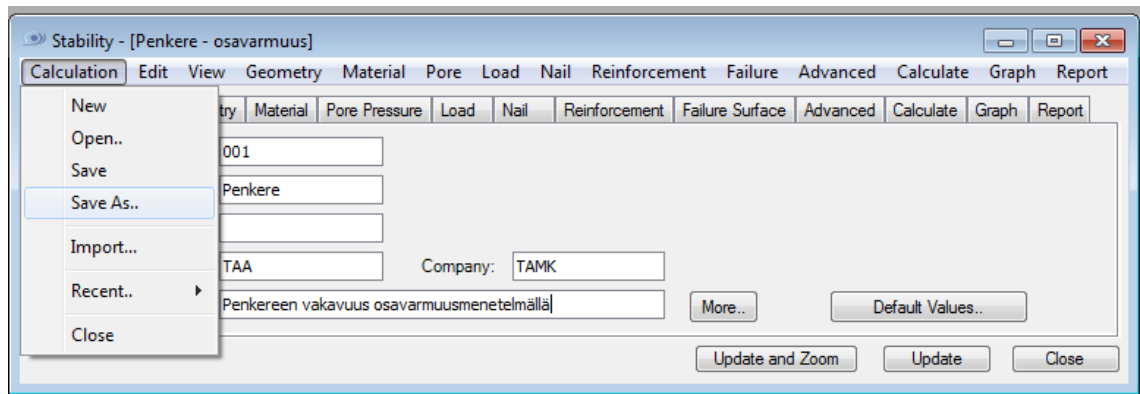
$$q_d = 10 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,15 = 11,5 \text{ kN/m}^2$$

Koska laskentamalli ja sen geometria säilyvät samana, kuin kokonaisvarmuutta tarkasteltaessa, on helpointa avata sama laskentamalli ja stabiliteettimoduuli.

2.7.1 Laskennan aloitus

Jos edellinen laskentaprojekti ei ole auki, avataan se piirtoalueen ylävalikosta **Calculation** → **Stability**, jonka jälkeen oikea laskentamoduuli aukeaa. Valitaan laskentamoduulin ylävalikosta **Calculation** → **Open..**, jonka jälkeen haetaan tiedostoista edellinen laskentaprojekti.

Projektin avaamisen jälkeen se kannattaa tallentaa uudella nimellä **Calculation** → **Save As..**, jottei uusi tarkastelu tallennu vanhan päälle.



Koska laskennan geometria ja kuormitus ovat samoja, kuin kokonaisvarmuusmenetelmällä, ei tässä tarkastelussa tarvitse muuttaa kuin materiaalien laskenta-arvoja. Lisäksi lisätään liikennekuorma, mitä ei edellisessä esimerkissä tehty.

2.7.2 Maakerrosten parametrit

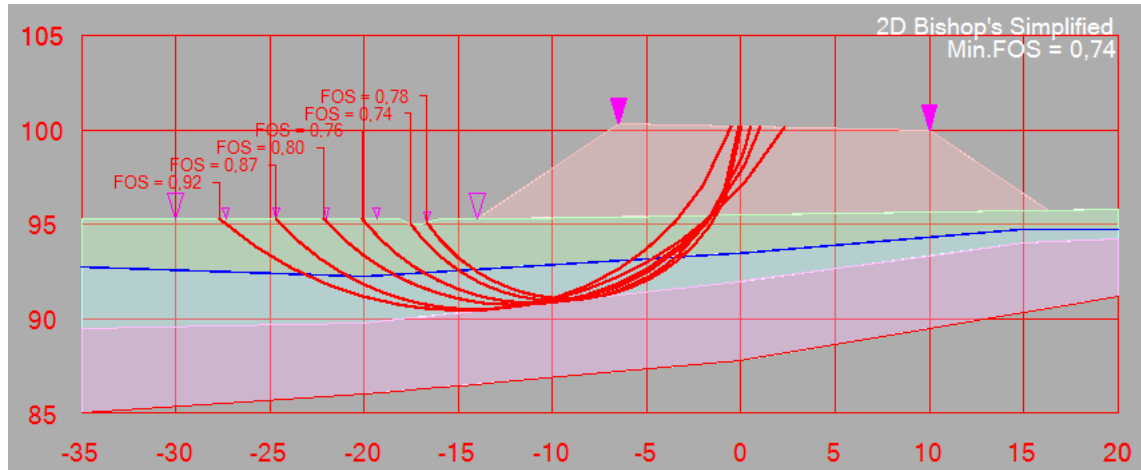
Siirrytään Material – välilehdelle, jossa määritellään maakerroksille uudet, osavarmuusluvuilla huomioitavat arvot:

The screenshot shows the 'Material' tab in the software. It contains a table with the following data:

Id	Color	Soil layer	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \Phi$ [°/m]	Material Type	r_u	r_{uq}	r_u'
1	..	Penger	20,00		0,00	33,80			Independent on depth			
2	..	Siltti	17,00		21,40	0,00			Independent on depth			
3	..	Savi	15,00		8,50	0,00			Independent on depth			
I 4	..	Siltti	17,00		21,40	23			Independent on depth			

2.7.3 Laskenta

Koska muut tiedot pysyvät tässä vaiheessa samoina, kuin edellisessä laskennassa, siirrytään suoraan **Calculate** – välilehdelle suorittamaan laskenta. Käynnistetään laskenta valitsemalla **Calculate**.

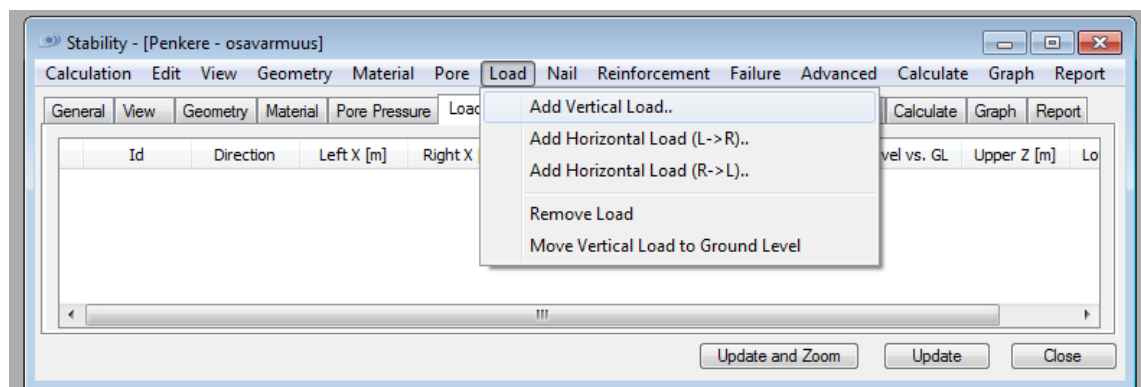


Pienimmäksi varmuusluvuksi saadaan $0,74 < ODF = 1,0$, jolloin vakavuus ei ole riittävä. Huomataan laskennasta, että heikoin liukupinta on rajattu kahden vahvemman murtopinnan väliin.

Haluttaessa laskenta voidaan pyyhkiä valitsemalla **Clear Now**, jolloin laskennan tulokset poistuvat näkyvistä.

2.8 Liikennekuorma

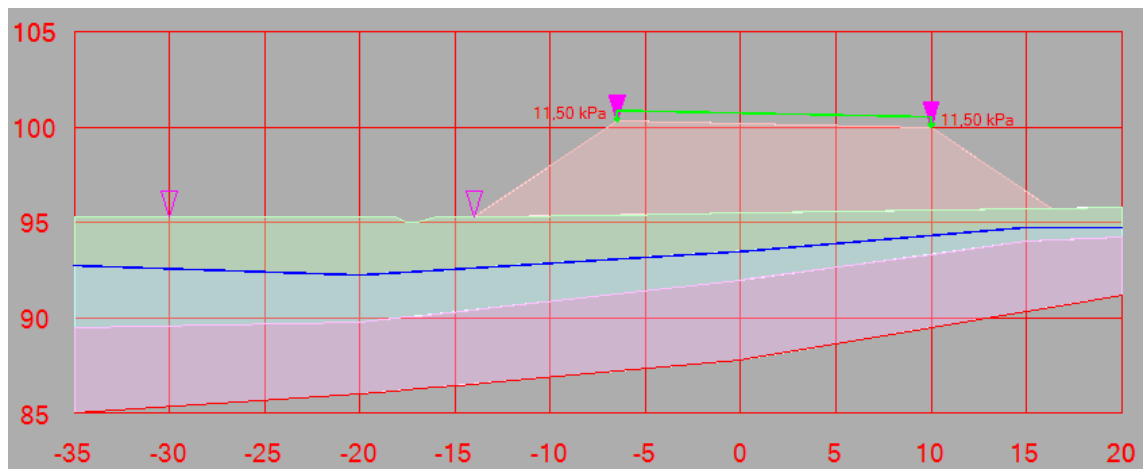
Tarkastetaan liikennekuorman vaikutus penkereen stabiliteettiin. Tehdään tarkastelu suoraan käynnissä olevaan laskentaan siirtymällä **Load** – välilehdelle.



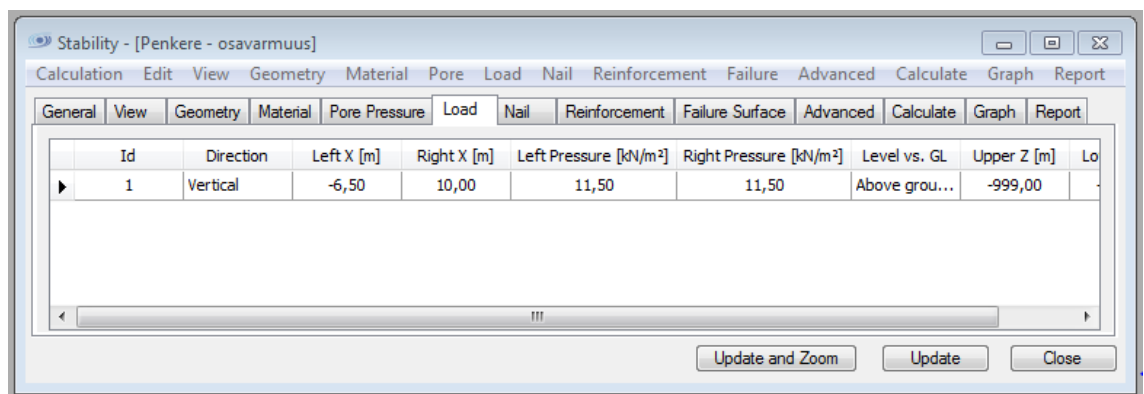
Lisätään kuormitus ylävalikosta **Load** → **Add Vertical Load**. Komentorivillä pyydetään näyttämään kuormituksen ensimmäinen sijaintipiste, jolloin osoitetaan penkereen vasenta yläkulmaa.

Ohjelma avaa ikkunan, mihin annetaan kuormituksen suuruus.

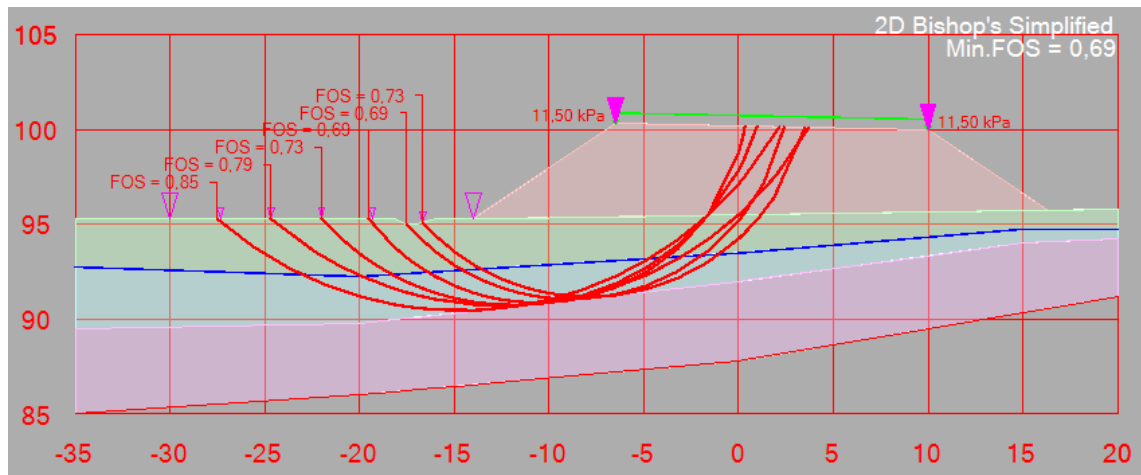
Seuraavaksi osoitetaan kuormituksen päättymispiste penkereen oikeaan yläkulmaan ja annetaan uudelleen kuormituksen suuruus. Tämän jälkeen kuorma piiryy laskentamalliin:



Tarvittaessa kuormituksen tietoja, esim. suuruutta pystyy muokkaamaan suoraan laskentamoduuliin ilmestyvältä kuormituksen tietoriviltä:



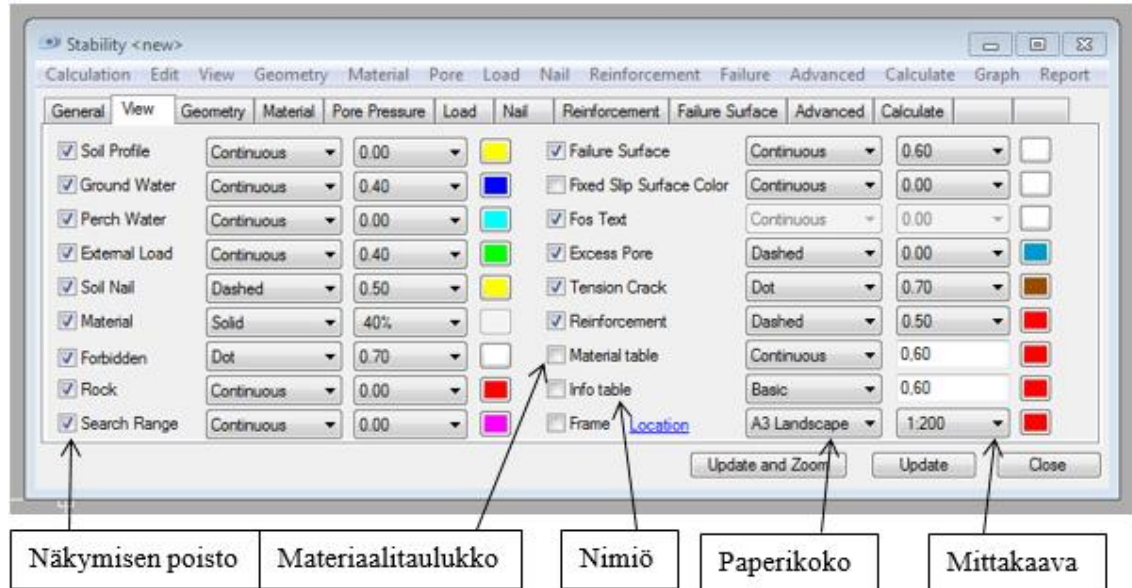
Kuorman lisäämisen jälkeen voidaan suorittaa laskenta siirtymällä **Calculate** – välilehdelle. Käynnistetään laskenta valitsemalla **Calculate**.



Kuormitus laski arvon 0,69: een.

2.9 Tulostus

Käsitellään laskennan jälkeen tulostamista ja palataan Stability – laskentamoduulissa välilehdelle **View**.

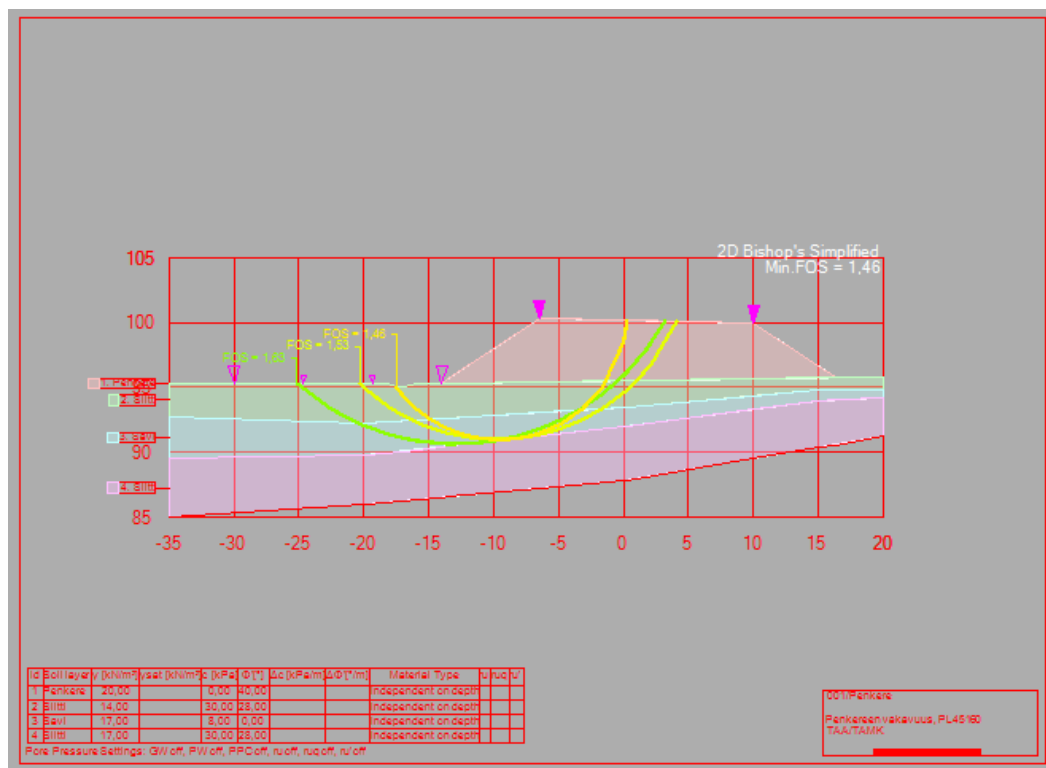


Mikäli jotain ei haluta näkyviin tulosteeseen, esim. maakerrosten rasterointeja, poistetaan kohdan **Material** edestä ruksi. Vaihtoehtoisesti rasteroinnin tyyliä voidaan muokata vähemmän raskaaksi, esim. viivoitukseksi. Rasteroinnin % - arvo kertoo sen läpinäkyvyydestä ja kannattaa tulostukseen valita lähelle 100 %: a.

Määritetään tulostettavan paperin koko ja mittakaava kohdan **Frame** pudotusvalikoista. Valitaan kohdan edestä rasti aktiiviseksi, jotta tulosteikkuna saadaan näkyviin piirtoalustalle. Määrätään sille sijainti viereisestä **Location** – linkistä ja annetaan grafiikkaikkunassa kehyksen vasen alakulma. Uusi sijainti saadaan määrättyä valitsemalla **Location** → **uusi sijainti**.

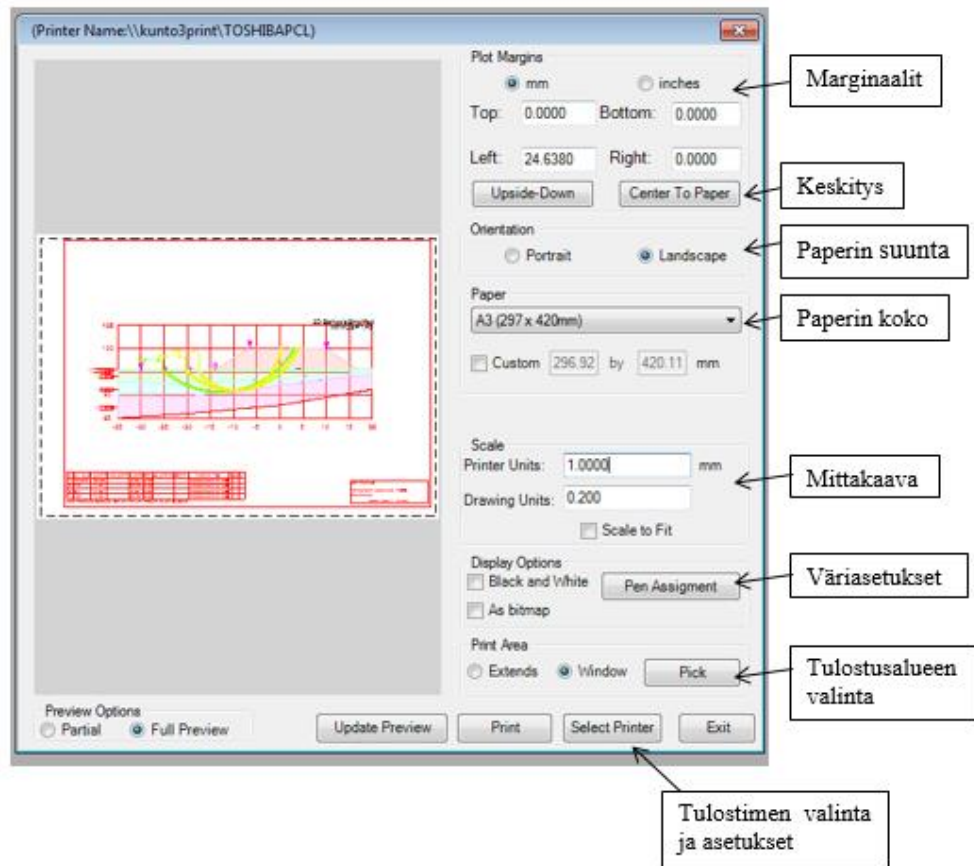
Valitaan myös kohdat **Material table** ja **Info table** aktiivisiksi, jolloin saadaan nimiö ja laskennassa käytetyt maaparametrit näkyviin.

Asetuksien jälkeen tulosteen tulisi näyttää samalta, kun alla:

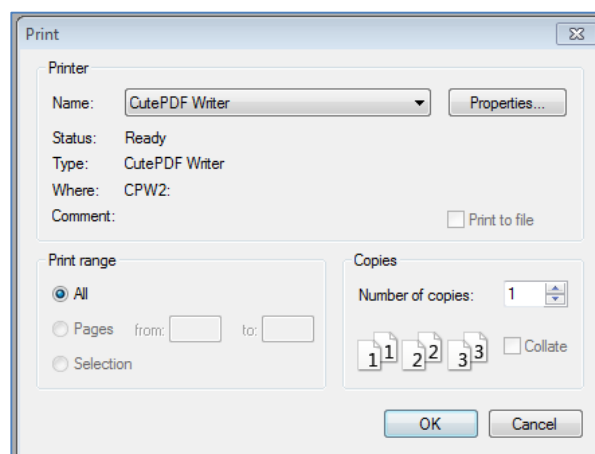


Tulostus tehdään valitsemalla piirtopöydän ylävalikosta **File** → **Print**.

Ohjelma avaa tulostusikkunan, mistä ensimmäisenä kannattaa valita tulostin → **Select Printer**.



Valitaan esimerkiksi jokin PDF – tulostin. Kohdasta **Properties** tarkastetaan tulostimen asetukset. Päätetään valinta valitsemalla **Ok**.

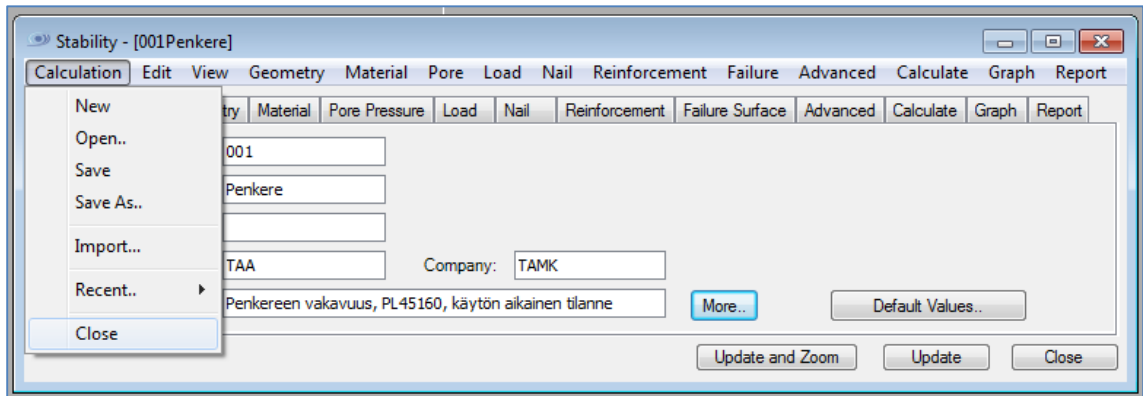


Tämän jälkeen voidaan asettaa loput asetukset, kuten kappaleen alussa olleessa kuvassa. Näistä kannattaa kiinnittää huomiota erityisesti marginaaleihin, tulostussuuntaan ja mittakaavaan.

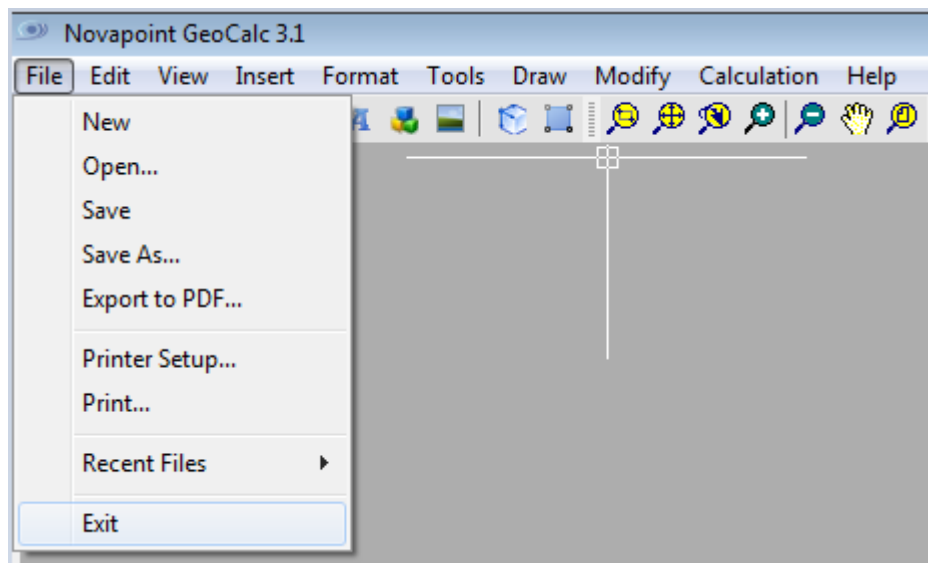
2.10 Laskennan lopetus

Kun molemmat laskentavaiheet on laskettu, tallennettu ja tulostettu, voidaan laskentamoduuli ja GeoCalc – ohjelmisto sulkea.

Suljetaan Stability – laskentamoduuli **Calculation** → **Close**.



Suljetaan Novapoint GeoCalc piirtotilassa ylävalikosta **File** → **Exit**.



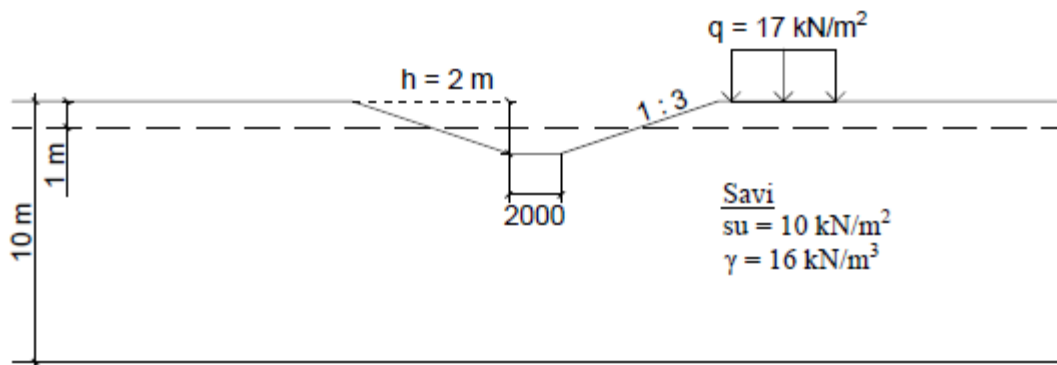
Liite 3. Kaivannon vakavuus

3.1 Lähtötiedot

Tässä laskentaesimerkissä käydään läpi RIL 263 – 2014: Kaivanto-ohje mukaista putkikaivannon mitoitus. Tehtävät tarkastelut ovat siis:

- 1) Kaivannon vakavuus murtorajatilassa kun,
 - a) pohjavedenpinta kulkee maksimissaan maan tasossa
 - b) pohjavedenpinta huomioidaan ulkoisena kuormana
- 2) Kaivannon vakavuus kokonaisvarmuuslukumenetelmällä

Mitoitettava tilanne on esitetty alla olevassa kuvassa:



- Pohjavedenpinta on 1 metri maan pinnasta
- Kaivannon reunalla on 200 kN:n työkone, jonka paino jakautuu 3 m x 4 m alueelle. Se aiheuttaa siis noin 17 kN/m^2 suuruisen pintakuorman.
- Kaivannon reunalla ei ole muita kuormia
- Pohjamaa on homogeeninen, joten käytetään ympyränmuotoista liukupintaa ja Bishopin yksinkertaistettua laskentamenetelmää.
- Liukupinnan vaikutusalueella ei ole rakenteita.
- Huomioidaan päätyvastus, jossa liukuvan kappaleen pituutena käytetään 6 metriä.

3.2 Käynnistys

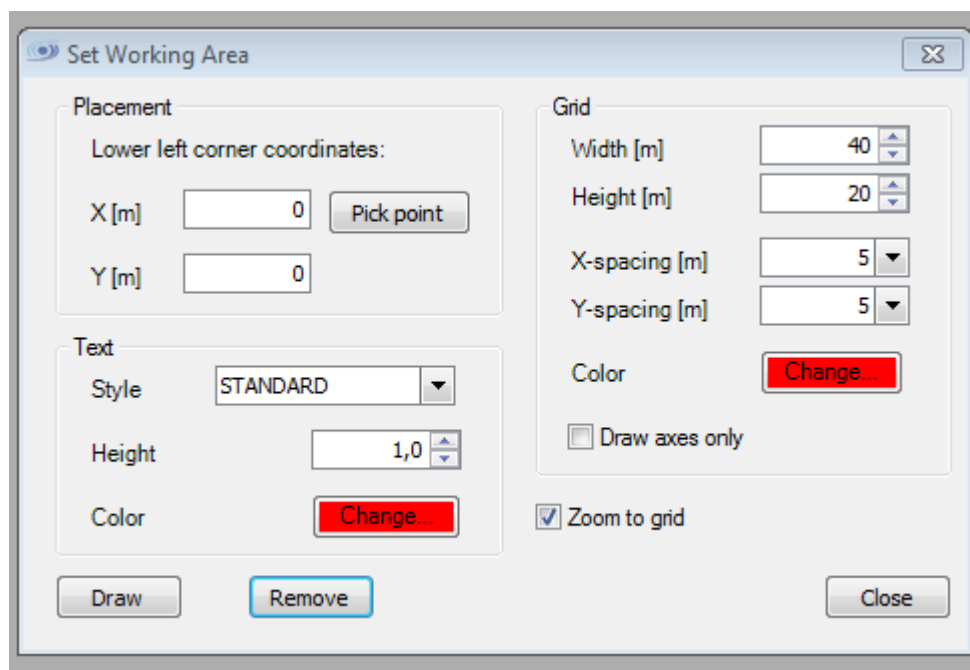
Käynnistetään Novapoint GeoCalc – ohjelma ja tehdään mahdollinen lisenssinvahvistus. Oppilaitoksissa valitaan yleensä vaihtoehto **Novapoint 16 licensing**.

Valitaan GeoCalc Startup – ikkunasta **New Calculation** → **Stability** (suom. Uusi stabiiliteetilaskenta). Ohjelma avaa Stability – laskentamoduulin, minkä voi pienentää ikkunan oikeasta yläkulmasta. Vaihtoehtoisesti Startup – ikkunan voi sulkea ja valita laskentamoduulin myöhemmin ylävalikosta **Calculation** → **Stability...**

Aloitetaan laskenta käymällä läpi ensin piirtoasetukset, joissa määritellään koordinaatti- ja piirtoruudukko, sekä tartuntapisteiden ja piirtoverkon pisteiden välit.

3.3 Koordinaattiruudukko

Ensimmäiseksi määritellään piirtoalueelle koordinaattiruudukko valitsemalla **Calculation** → **Set working area**.



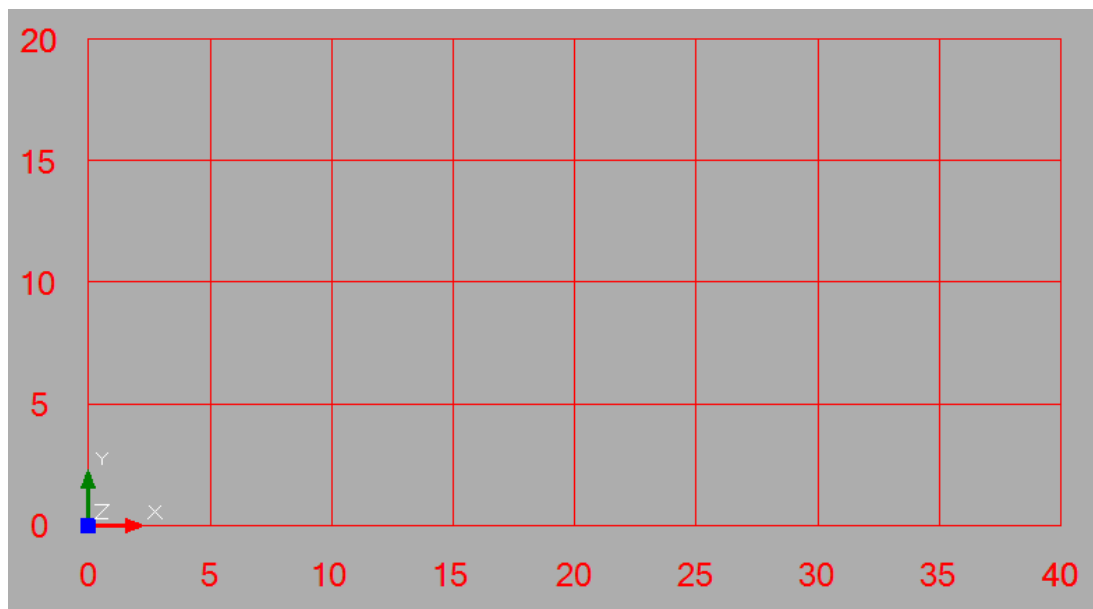
Placement – kohdasta määritetään koordinaattiruudukon vasen alakulma. Valitaan **Pick Point** ja kirjoitetaan komentoriville arvoksi 0, 0, 0 (x, y, z), koska tarkempia koordinaatteja ei ole annettu. Vaihtoehtoisesti voidaan em. koordinaatit kirjoittaa suoraan kohtaan **Placement** → **Lower left corner coordinates**.

Grid – kohdasta määritetään koordinaattiruudukon koko ja väri.

Text – kohdasta määritetään tekstin tyyli, koko ja väri.

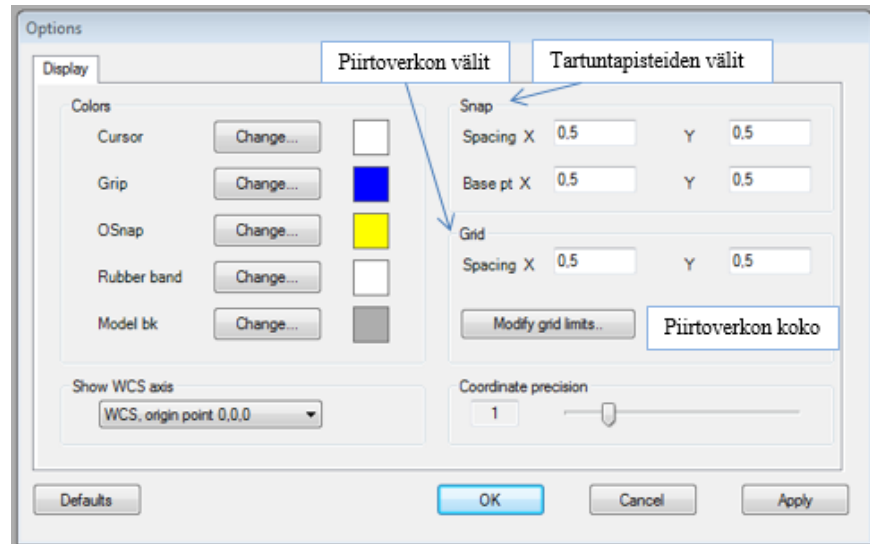
Piirrettyä koordinaattiruudukkoa voidaan tarvittaessa muokata **Set working area** – ikkunasta ja tarvittaessa poistettua painamalla **Remove** – painiketta.

Valitaan tässä harjoituksessa yllä olevan kuvan mukaiset arvot. Kun arvot on muutettu, painetaan **Draw** ja poistetaan ikkunasta painamalla **Close**. Työalueelle tulisi ilmestyä alla olevan kuvan mukainen ruudukko.



3.4 Piirtoasetukset

Seuraavaksi muokataan käytettävien tartuntapisteiden ja piirtoverkon pisteiden välit, valitsemalla grafiikkaikkunan ylävalikosta **Tools** → **Options**.



Options – näkymässä määritellään tartuntapisteiden välit (**Snap**) ja piirtoverkon välit (**Grid**). Näihin kannattaa asettaa samat arvot, esim. 0,5 tai 1, riippuen millä tarkkuudella osoittimen tartuntavälit halutaan.

Modify grid limits – kohdassa määritellään piirtoverkon koko. Piirtoverkko kannattaa yleensä asettaa saman kokoiseksi, kuin aiemmin määritetty koordinaattiruudukko. Tällöin piirtoverkon koko annetaan kirjoittamalla alapalkissa olevalle komentoriville ensin **vasemman alakulman koordinaatit** (0, 0, 0) → **Enter** → **Oikean yläkulman koordinaatit** (40, 20, 0) → **Enter**.

Vaihtoehtoisesti piirtoverko voidaan antaa klikkaamalla koordinaattiruudukon kulmia tartuntatyökalujen **Osnap** -komento päällä. Jotta muutokset tulevat voimaan painetaan näkymästä **Apply** ja poistutaan painamalla **Ok**.

Näkymän ei tulisi muuttua tämän jälkeen.

Äsken määritellyt tartuntavälit (**Snap**) ja piirtoverkon välit (**Grid**) saadaan voimaan piirto-tilassa klikkaamalla tartuntatyökalujen **Snap**- ja **Grid** –toiminnot aktiivisiksi.

SNAP ON GRID ON ORTHO OFF OSNAP

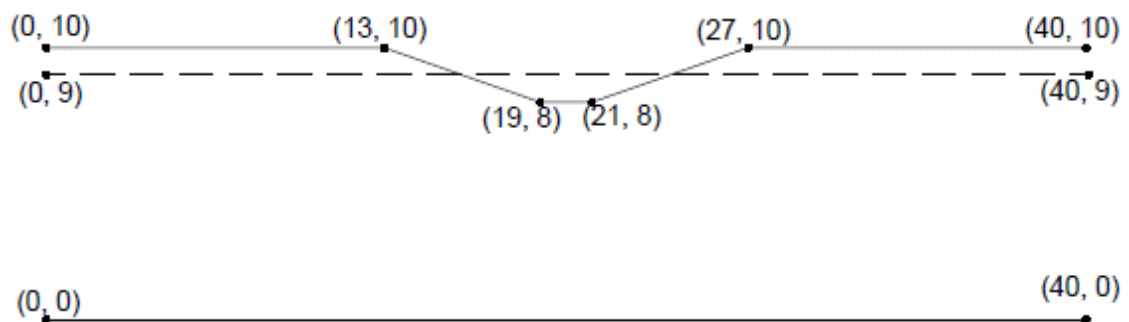
3.5 Laskentamallin piirtäminen

Piirtoasetuksien määrittämisen jälkeen voidaan tehdä laskentamalli tarkasteltavasta tilanteesta. GeoCalc:ssa piirretyt laskentamallit tallennetaan erikseen omaksi tiedostokseen (tiedostomuoto *.vdf) ja varsinainen laskenta suoritetaan laskentamallin ”päällä”. Samalle laskentamallille voidaan tehdä siis useampi tarkastelu, eikä sitä välttämättä tarvitse luoda aina erikseen.

Laskentamallin toimimisen kannalta on sen piirtämisessä tärkeää, että

- Mallin viivat esim. maakerrosrajat ovat piirretty polyline –komennolla. Ohjelma ei tunnista muita viivoja.
- Mallin viivat piirretään vasemmalta oikealle
- Mallin viivat eivät saa mennä ristiin. Viivat voivat olla päällekkäin.

Piirretään alla olevan esimerkkikuvan mukaiset maakerrokset koordinaattipisteiden avulla.

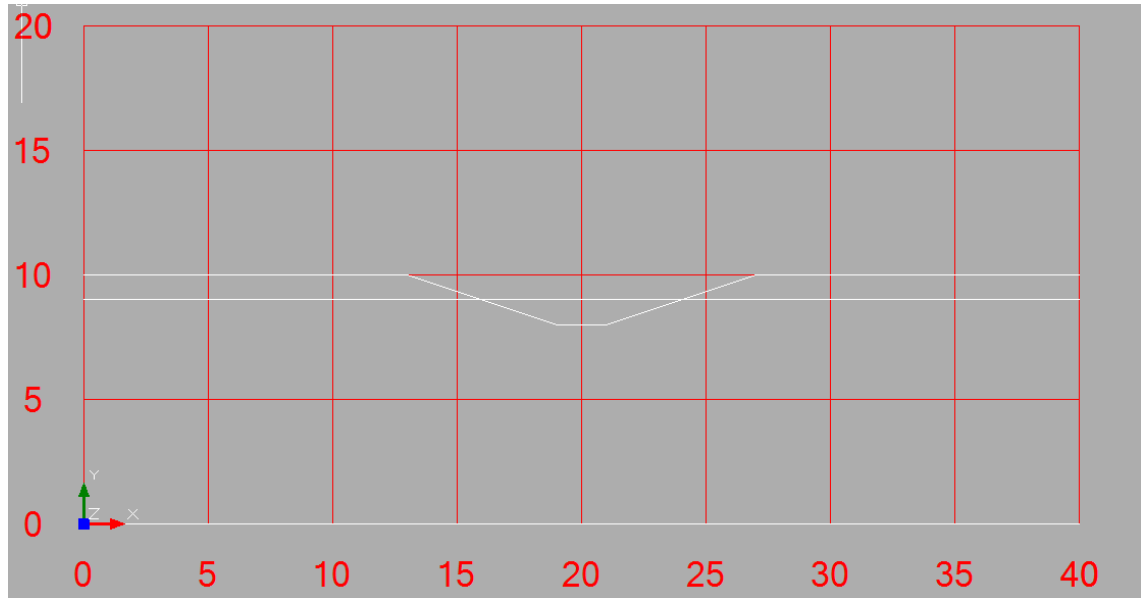


Valitaan työkalupaletista **Polyline** – komento →, tai valikosta **Draw** → **Polyline**.

Viiva voidaan piirtää valitsemalla sijaintipisteet suoraan koordinaattiruudukosta osoittimella, tai kirjaamalla sijaintipisteet komentoriville esim. **0, 0** → **Enter** → **40, 0** → **Enter**... jne. Viiva päätetään painamalla näppäimistöltä **Enter** tai **Esc** –painiketta. Toiminto aloitetaan uudelleen jokaisen viivan päätyttyä.

Huomaa, että koordinaatteja syöttäessä x-, y- ja z-koordinaatit erotetaan toisistaan pilkulla (esim. 0, 0, 0) ja koordinaattien desimaalit pisteellä (esim. 0, 0.5, 0).

Poikkileikkauksen tulisi valmiina näyttää seuraavalta:



Mallin ollessa valmis tallennetaan se piirtotilan ylävalikosta **File** → **Save As**. Tarkistetaan, että tiedostomuoto on vdf – muotoa.

Mallin piirtämisen sijaan voidaan GeoCalc – ohjelmaan myös avata olemassa oleva DWG – tiedosto (eli esim. AutoCad:lla piirretty tiedosto). Tällöinkin on huomioitava, että laskentamalli muodostuu polyline – viivoista. Lisäksi silloin määritellään koordinaatiston sijainti **Calculation** → **Set Coordinates** → kirjataan komentoriville 0,0,0.

3.6 Eurokoodien mukainen murtorajatilamitoitus

Suljetun leikkauslujuuden osavarmuusluku on 1,5 (RIL – 263: Kaivanto – ohje, Taulukko 7.2).

$$c_{u;d} = \frac{10 \text{ kN/m}^2}{1,5} = 6,7 \text{ kN/m}^2$$

Seuraamusluokka on CC2, jolloin luotettavuusluokka on RC2:

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

Kuorman mitoitusarvo (RIL – 263: Kaivanto-ohje):

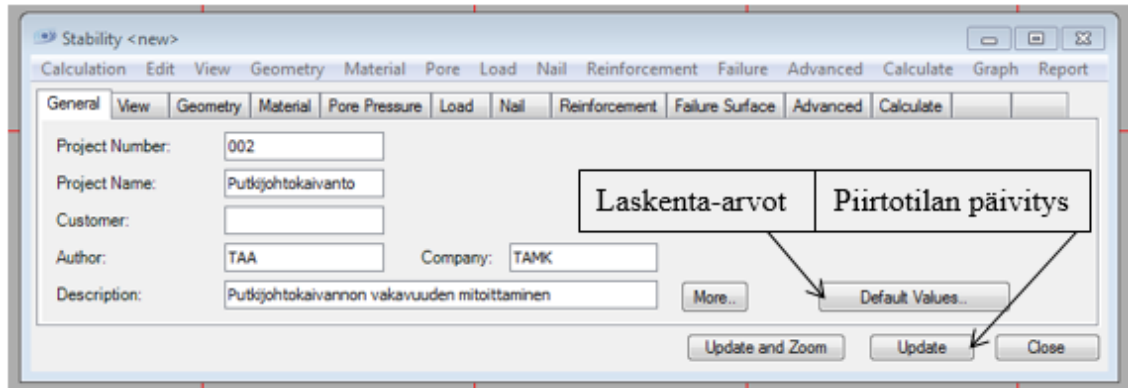
$$q_d = 1,3 \cdot K_{FI} \cdot Q_k = 1,3 \cdot 1,0 \cdot 17 \frac{\text{kN}^2}{\text{m}} = 22,1 \text{ kN/m}^2$$

Aloitetaan kaivannon tarkastelu Novapoint GeoCalc – ohjelmistolla. Laskentamoduuli valitaan piirtotilan ylävalikosta **Calculation** → **Stability**.

Stabiliteettimoduuli koostuu välilehdistä, joihin syötetään laskennassa käytettäviä lähtötietoja. Tiedot täytetään käymällä välilehdet järjestyksessä läpi vasemmalta oikealle, kunnes päästään laskennan tuloksiin. Laskentamoduulien eri kohdille saadaan melko kattavat suomenkieliset selitteet viemällä hiiri aina tarkasteltavan kohdan päälle.

3.6.1 Laskennan yleiset tiedot

General – välilehdellä täytetään laskennan yleiset tiedot, kuten projektinumero, asiakas, laskija jne.



Ohjelman käyttökieli on englanti, mutta viemällä osoittimen eri toimintojen päälle, saadaan niille melko kattavat suomenkieliset selitteet.

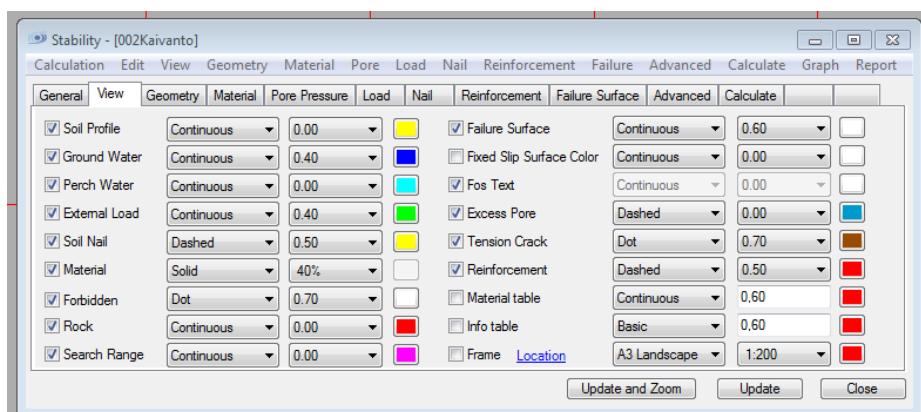
Tarvittaessa voidaan **Default Values** – painikkeesta muokata laskennassa yleisesti käytettäviä tietoja, kuten veden tilavuuspainoa.

More – painikkeesta voidaan laskentaan liittää muistiinpanoja, huomautuksia ym.

Piirtotilan saa päivitettyä **Update** – painikkeesta missä vaiheessa laskentaa tahansa.

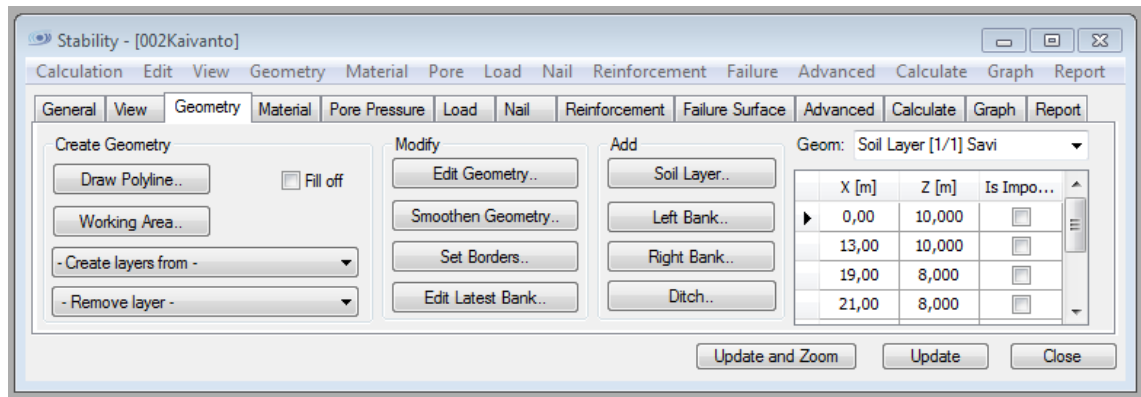
3.6.2 Piirtoasetukset

View – välilehdellä muokataan näytöasetuksia, eli sitä, miten laskenta esitetään piirtotilassa ja tulostuksessa.



3.6.3 Laskennan poikkileikkausgeometria

Geometry-välilehdellä määritellään laskennassa käytettävien maakerrosten, kallion, pohjaveden ja orsiveden geometria poikkileikkauksessa.

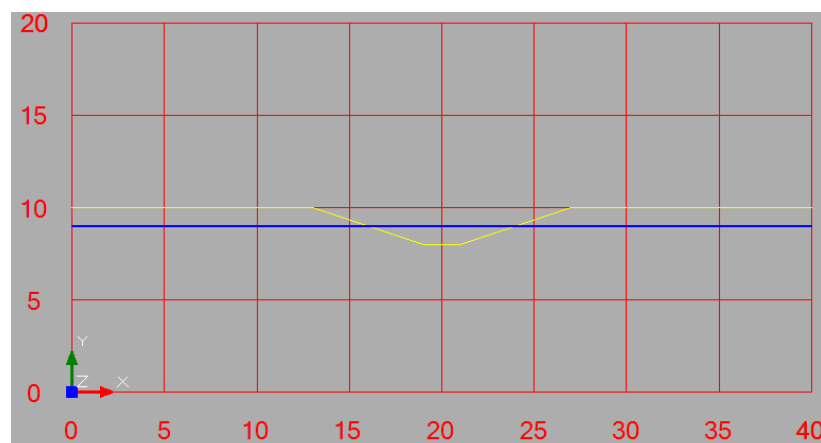


Määritellään eri maakerrosten rajat valitsemalla laskentamoduulin yläpalkista **Geometry** → **Select Soil Layer Polylines** → **From Top to Bottom**. Komento sulkee laskentaikkunan ja seuraavaksi laskentamallista valitaan maakerrosrajat penkere mukaan lukien järjestyksestä ylhäältä alas. Valittu viiva muuttuu värinsä keltaiseksi. Ohjelma muodostaa automaattisesti alimmasta valitusta viivasta kovan pohjan.

Vaihtoehtoisesti maakerrosrajat voidaan valita vapaassa järjestyksessä valitsemalla valikosta **Calculation** → **Select Soil Layer Polylines** → **Free Order...**

Kun kaikki rajapinnat on valittu, painetaan **Enter**. Valittujen maakerrosten tulisi muuttua rasteroiduksi, jos **View** – välilehden **Material** – kohta on jätetty aktiiviseksi.

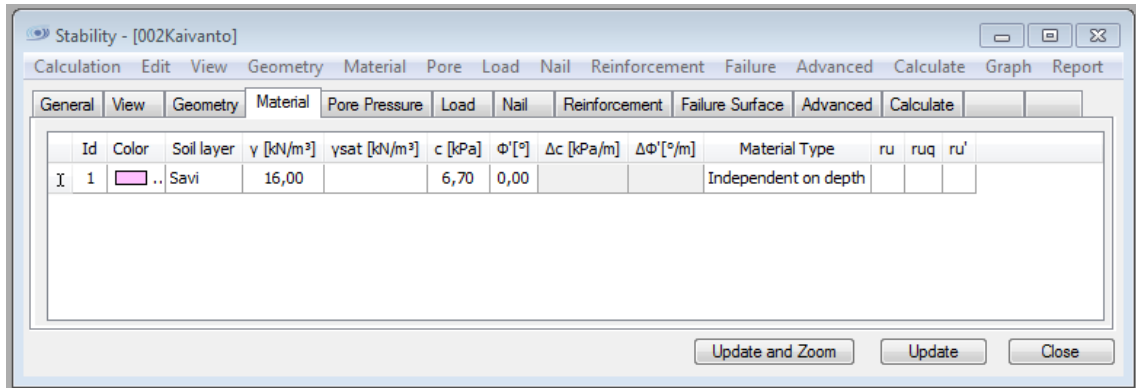
Seuraavaksi valitaan pohjavedenpinta: **Geometry** → **Select Ground Water Polyline**. Valitun viivan tulisi muuttua näkymässä siniseksi.



3.6.4 Maakerrosten laskentaparametrit

Material – välilehdellä määritellään äsken muodostettujen maakerrosten parametrit.

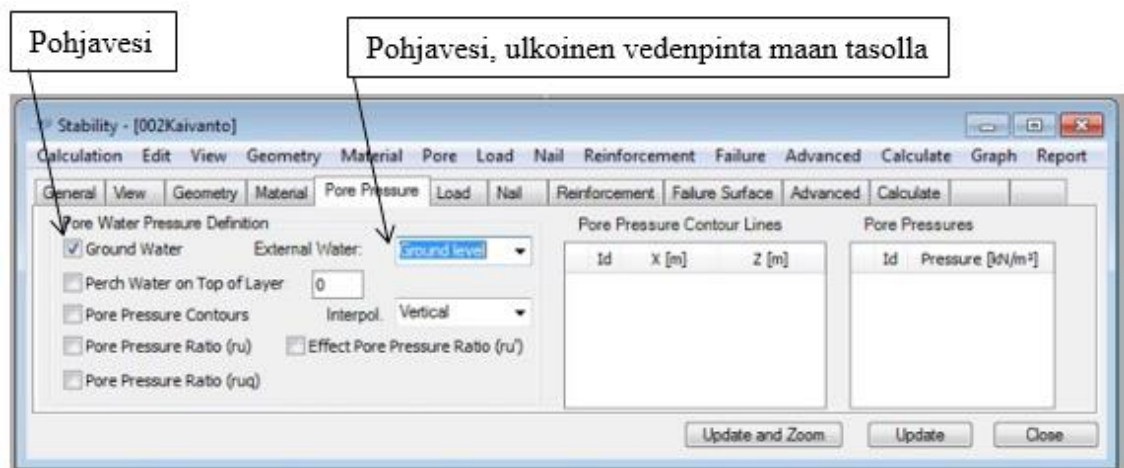
Täytetään tiedot kuten alla olevassa kuvassa:



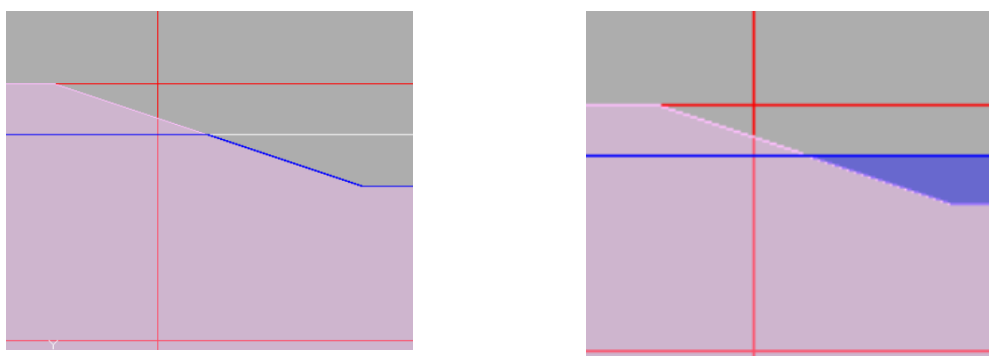
3.6.5 Huokosvedenpaine

Pore Pressure – välilehdellä määritellään huokosvedenpaineen laskentatapa.

Valitaan pohjavesi aktiiviseksi. Jos pohjavedenpinta on määritelty geometriassa, muttei aktiivisena, ohjelma huomioi sen vain tilavuuspainon laskennassa.



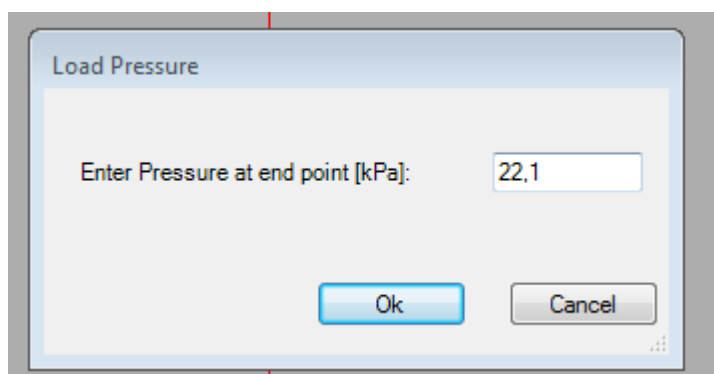
Kun halutaan tarkastella tilannetta, missä pohjavedenpinta on korkeimmillaan maan pinnan tasossa, valitaan **External Water** → **Ground level** (vasen kuva). Jos halutaan taas tarkastella tilannetta, missä pohjavedenpinta suotautuu maan läpi ulkoiseksi kuormaksi, valitaan **External Water** → **Ponded Water** (oikea kuva).



3.6.6 Kuormitus

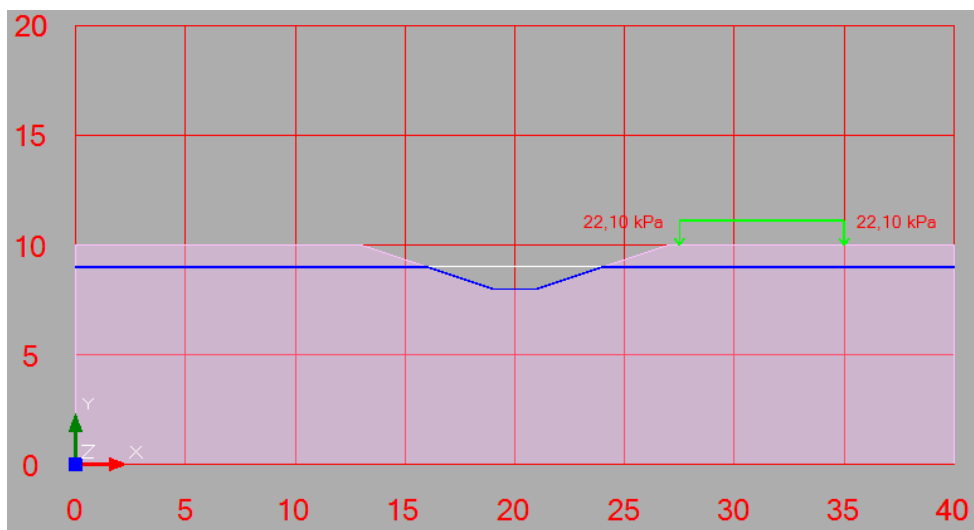
Load – välilehdellä määritellään työkoneen aiheuttama kuormitus. Kuormitus lisätään valitsemalla **Load** → **Add Vertical Load**.

Annetaan kuormitukselle ensimmäinen sijaintipiste klikkaamalla läheltä kaivannon reunaa. Ohjelma avaa **Load Pressure** – ikkunan, mihin kirjataan pisteessä vaikuttava kuormitus → **Ok**.



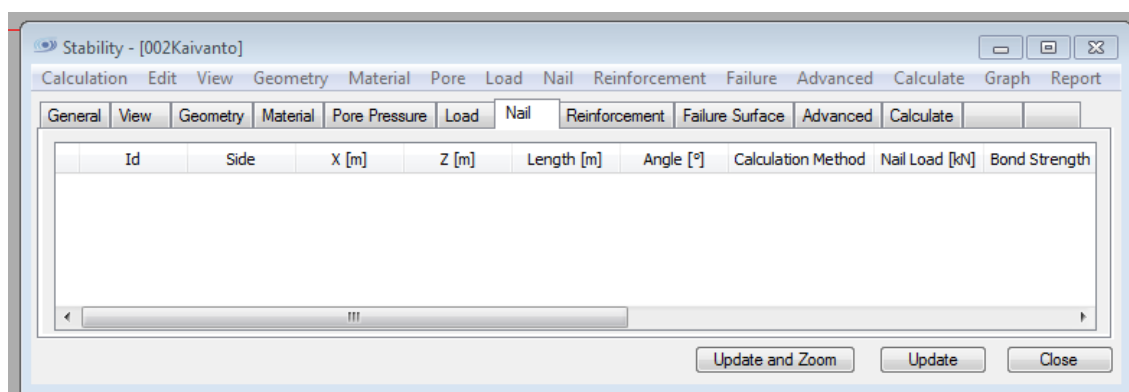
Tämän jälkeen ohjelma kysyy seuraavan sijaintipisteen. Koska kuormitus lasketaan 4 metriä leveänä, voidaan komentoriville kirjoittaa koordinaatit ” @4,0 ”, jolloin ohjelma sijoittaa seuraavan pisteen 4 m vasemmalle edellisestä pisteestä.

Annetaan sama kuormitus, kuin edellisessä kohdassa. Ohjelma piirtää kuormituksen piirtotilaan:



3.6.7 Maanalaus ja ankkurointi

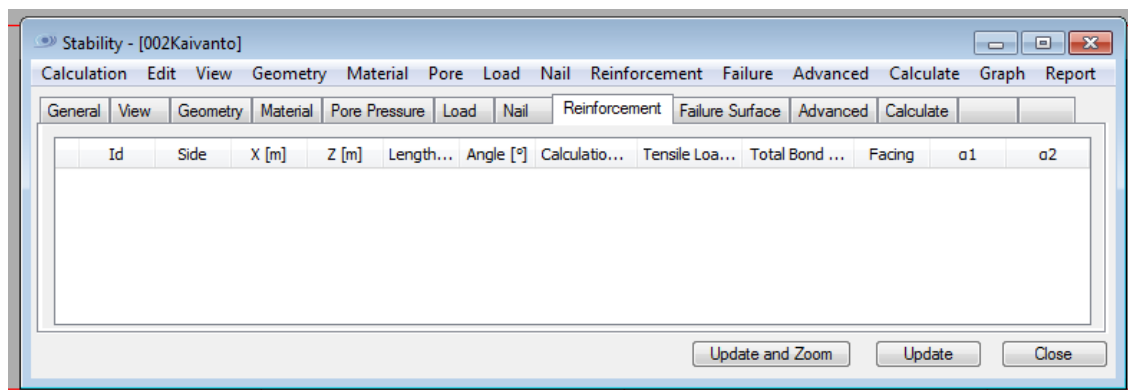
Nail - välilehdellä määriteltäisiin luiskan vakavuutta parantavat naulaukset ja ankkuroinnit. Jätetään maanalaus ja ankkurointi pois tässä laskennassa.



Maanalaus lisätään valitsemalla **Nail** → **Add Nail/ Anchor (left/ right)**. Samasta valikosta voidaan poistaa lisätty naalaus/ ankkurointi. Seuraavaksi näytetään laskentamallista naulattava väli ja täytetään laskentaikkunassa kysytyt parametrit.

3.6.8 Geovahvisteet

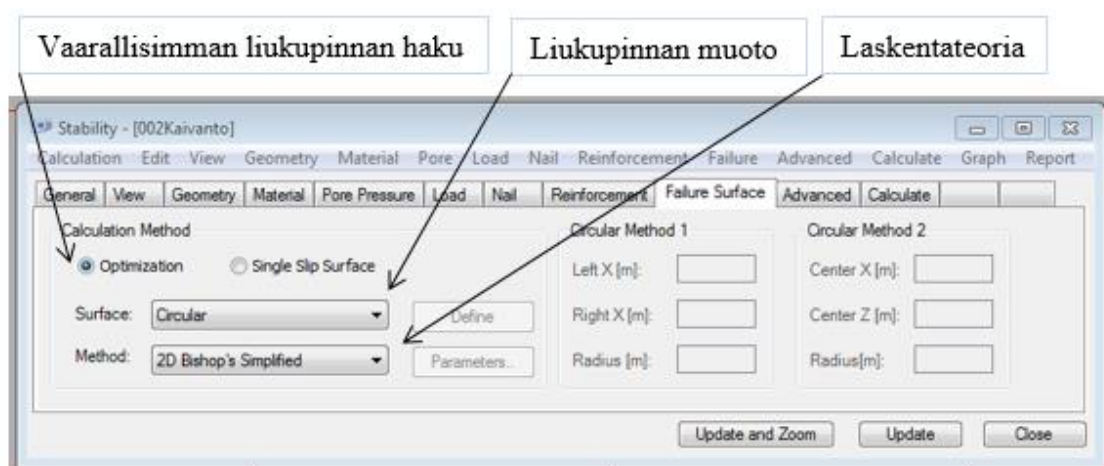
Reinforcement - välilehdellä määriteltäisiin vakavuutta parantavat geovahvisteet ja jätetään pois tässä esimerkissä.



Geovahvisteiden lisääminen ja poistaminen tapahtuu valitsemalla laskentaikkunan valikosta **Reinforcement** → **Add Reinforcement (Lef/ Right)**. Seuraavaksi näytetään laskentamallista vahvistettava väli ja täytetään laskentaikkunassa kysytyt

3.6.9 Liukupinnan asetukset

Failure Surface - välilehdellä määritellään liukupintojen laskentamenetelmä.



Esimerkissä haetaan vaarallisinta liukupintaa, jolloin valitaan kohta **Optimization** aktiiviseksi.

Valitaan liukupinnan muodoksi ympyräliukupinta: **Surface** → **Circular** ja suoritetaan laskenta Bishopin yksinkertaistetulla menetelmällä: **Method** → **2D Bishop's Simplified**.

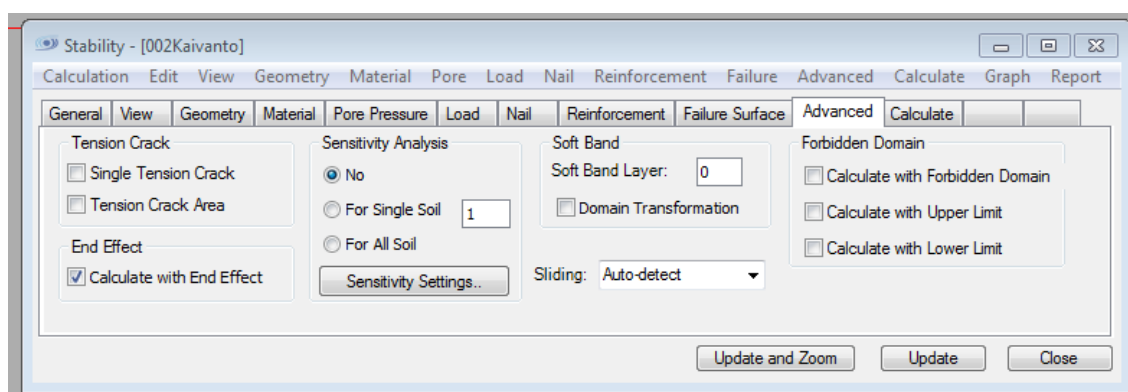
GeoCalc:ssa voidaan valita useita muitakin laskentateorioita **Method** – kohdassa. Esimerkiksi sivukaltevassa maastossa vaarallisimman liukupinnan selvittämiseksi voidaan valita esimerkiksi **Surface** → **Non-circular, concave** ja laskentateoriaksi Janbun yksinkertaistettu menetelmä kohdasta **Method** → **2D Janbu's Simplified**. Tällöin laskenta suoritetaan vapaamuotoisella liukupinnalla käyttäen Janbun yksinkertaistettua laskentateoriaa. Laskenta kestää vähän kauemmin, kuin Bishopin yksinkertaistetulla menetelmällä laskettuna.

Jos liukupinta halutaan määrittää itse, valitaan **Single Slip Surface** – kohdasta **Circular**. Tällöin **Circular Method** – kohdassa voidaan määrittää liukuympyrän säde ja pisteet missä liukupinta leikkaa maanpinnan.

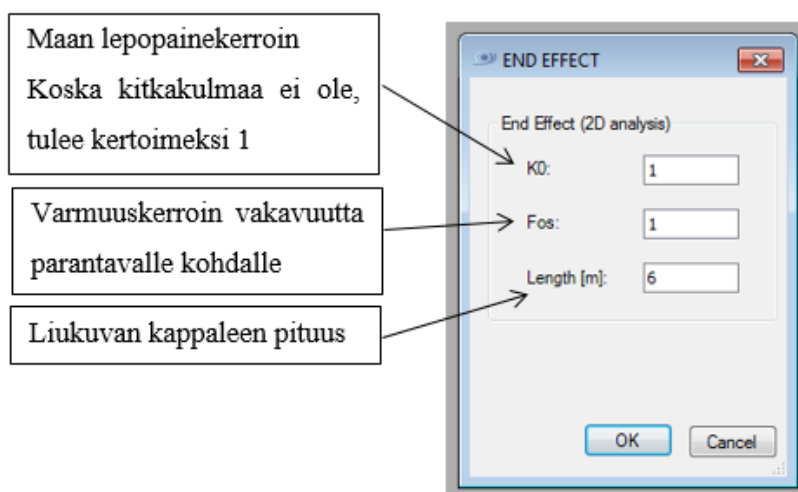
3.6.10 Halkeamat ja päätyvastus

Advanced – välilehdellä huomioidaan tässä laskentaesimerkissä kaivannon päätyvastus.

Valitaan kohta **End Effect** → **Calculate with End Effect** aktiiviseksi.



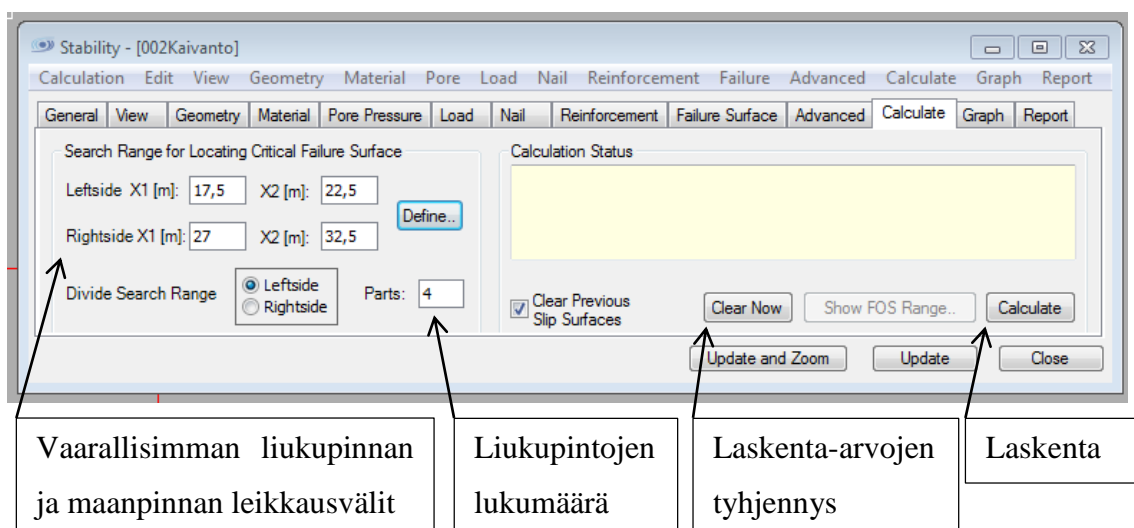
Tämän jälkeen avautuu **End Effect** – ikkuna, mihin annetaan alla olevat tiedot:



Koska saven kitkakulma (φ) on arvoltaan nolla, tulee maan lepopainekertoimeksi 1. Liukuvan kappaleen pituus määräytyy auki olevan kaivannon pituuden mukaan. Tässä esimerkissä kaivanto voi olla auki siis 6 metriä kerrallaan, jotta päätyvastus voidaan huomioida.

3.6.11 Laskenta

Calculate – välilehdellä määritellään laskennan asetukset ja käynnistetään laskenta.

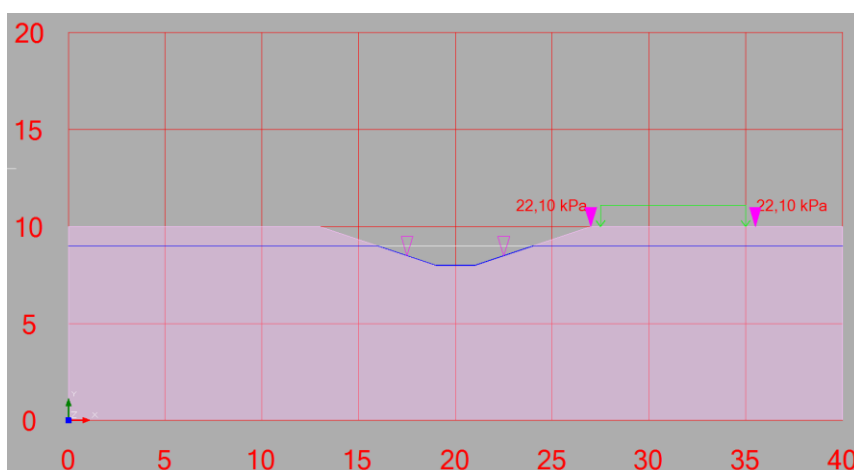


Ohjelma saadaan etsimään vaarallisin liukupinta määrittämällä sen ja maanpinnan väliset leikkauspisteiden rajat kohdassa **Search Range for Location Critical Failure Surface**.

Valitaan kohdassa **Divide Search Range**, tarkastellaanko vakavuutta penkereen oikean vai vasemman puoleiselle luiskalle. Koska työkone on kaivannon oikealla puolella, murtuu kaivanto todennäköisesti vasemmalle. Valitaan siis **Leftside**.

Samalla rivillä voidaan valita, kuinka moneen liukupintaan laskentaväli jaetaan **Parts**: → **Liukupintojen lkm.**

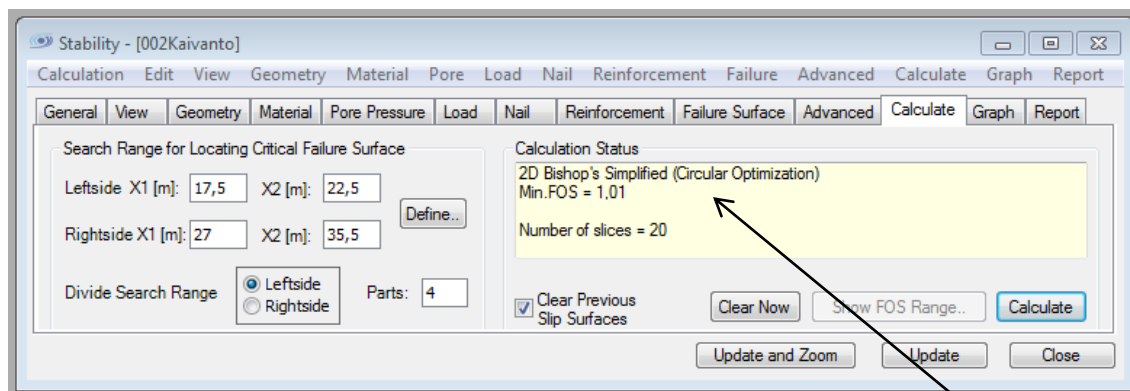
Asetetaan liukupinnan ja maanpinnan leikkausvälit valitsemalla laskentaikkunasta **Define**, jonka jälkeen näytetään laskentamallista ensin vasemman puolen 1. ja 2. piste ja tämän jälkeen oikean puolen vastaavat pisteet komentorivillä näkyvien ohjeiden mukaisesti.



Jos koordinaattipisteet ovat tiedossa, voidaan ne myös kirjata suoraan välilehdellä oleviin X1, Y1 ja X2, Y2-kenttiin.

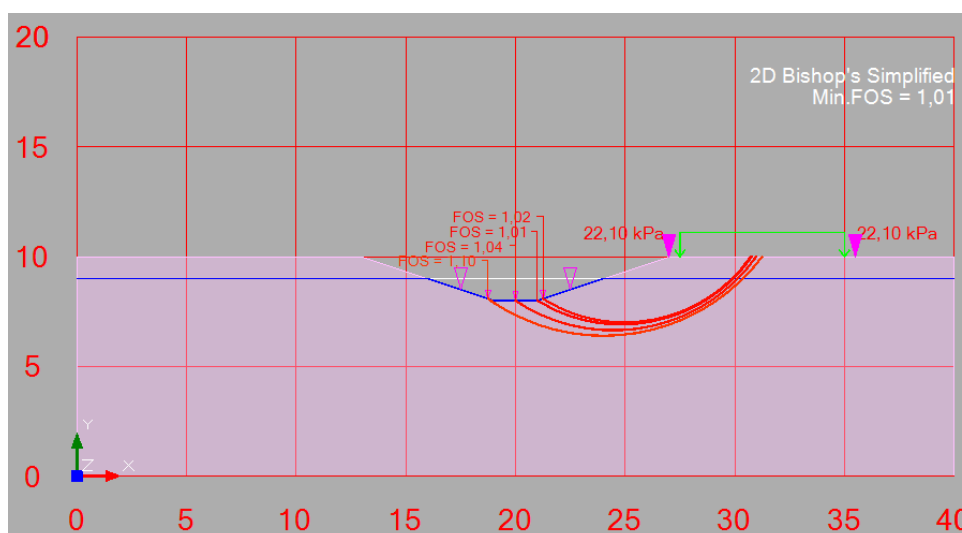
Näiden jälkeen painetaan **Calculate** – painiketta, jolloin ohjelma suorittaa laskennan.

Tuloksena ohjelma antaa **Calculation Status** – ruutuun heikoimman varmuuskertoimen (Min.FOS) ja ilmoittaa laskennassa käytettyjen lamellien lukumäärän.



Min.FOS = Factory of safety,
eli pienin varmuuskerroin

Laskennan lopuksi vaarallisimmat liukupinnat tulostuvat piirtotilaan alla olevan kuvan mukaisesti:



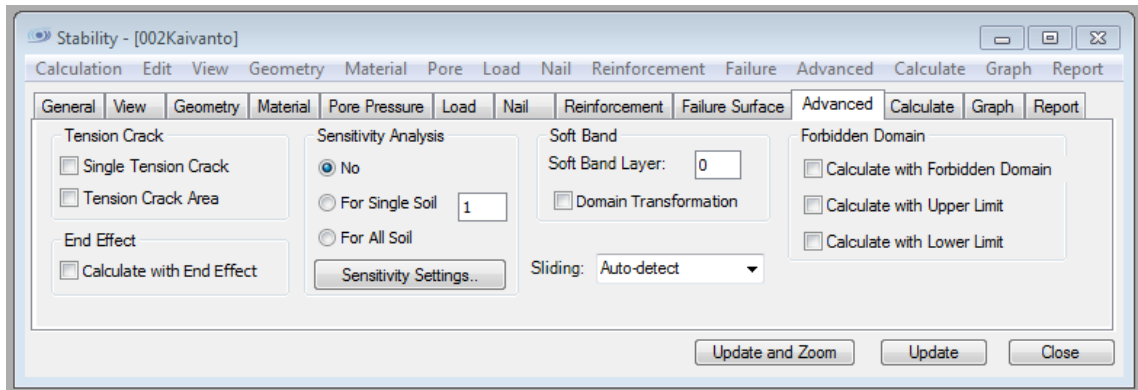
Huomataan, että pienin varmuusluku Min. FOS = 1,01, jolloin vakavuus on juuri riittävä.

Laskenta saadaan tallennettua valitsemalla laskentamoduulin ylävalikosta **Calculation** → **Save As**. Stabiilitetilaskennat tallentuvat tiedostomuotoon ”*. gcsst ”. Koska tässä laskentaesimerkissä tehdään useampia tarkasteluja, on jokainen tehdyistä laskennoista suositeltavaa tallentaa eri nimillä.

Ohjelmisto tulostaa laskennan tulokset lisäksi **Graph** – ja **Report** – välilehdille, mistä on mahdollista tarkastella saatuja tuloksia grafiikkana ja numeerisena tulosteena.

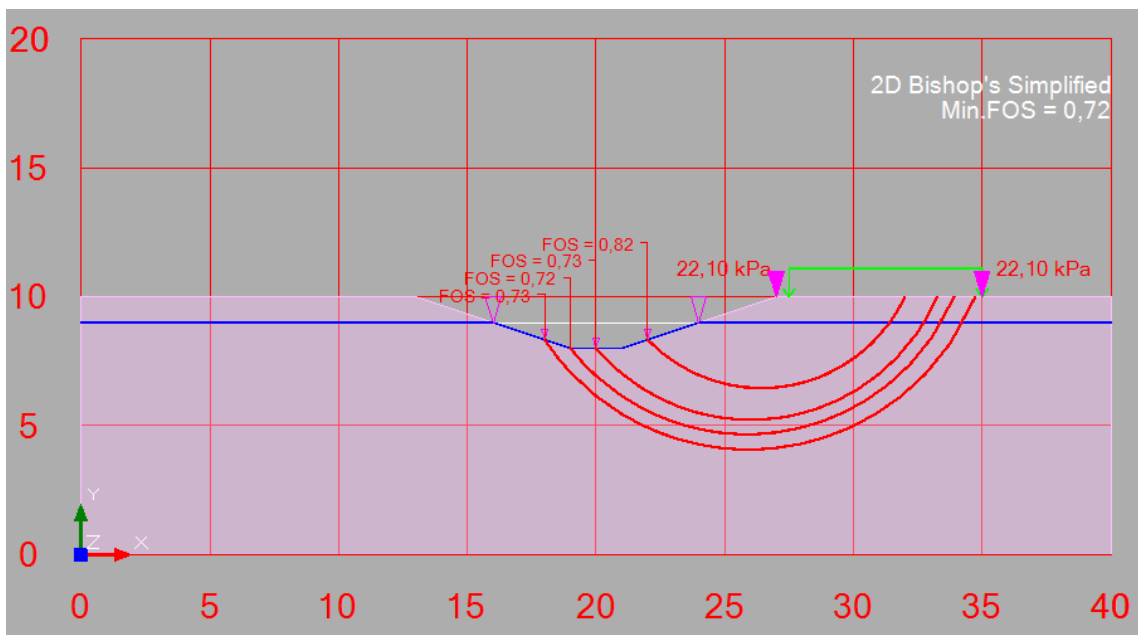
3.7 Ei päätyvastusta

Tarkastellaan päätyvastuksen vaikutusta poistamalla sen vakautta lisäävä vaikutus. Siirrytään **Advanced** – välilehdelle, missä poistetaan valinta kohdasta **Calculate with End Effect**.



Suoritetaan laskenta uudelleen **Calculate** – välilehdellä valitsemalla **Calculate**.

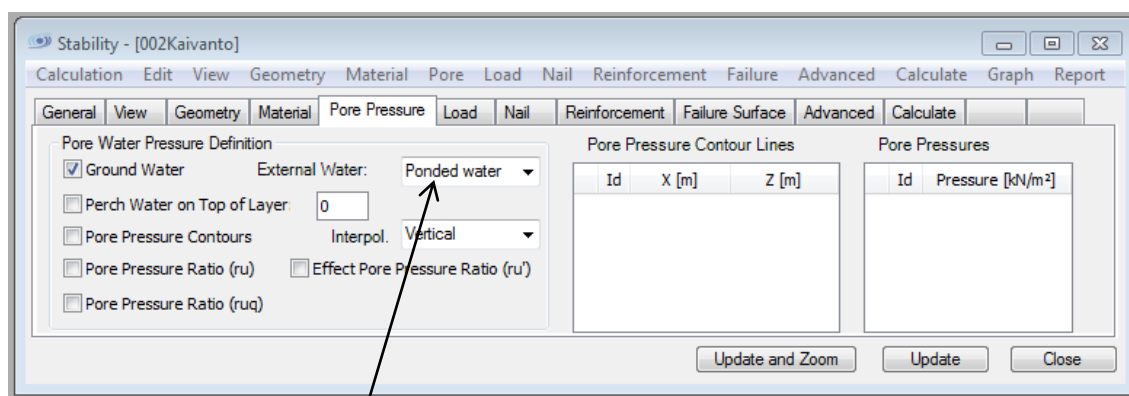
Huomataan kaivannon vakavuuden laskevan noin 25 %:lla.



3.8 Pohjavedenpinta ulkoisena kuormana

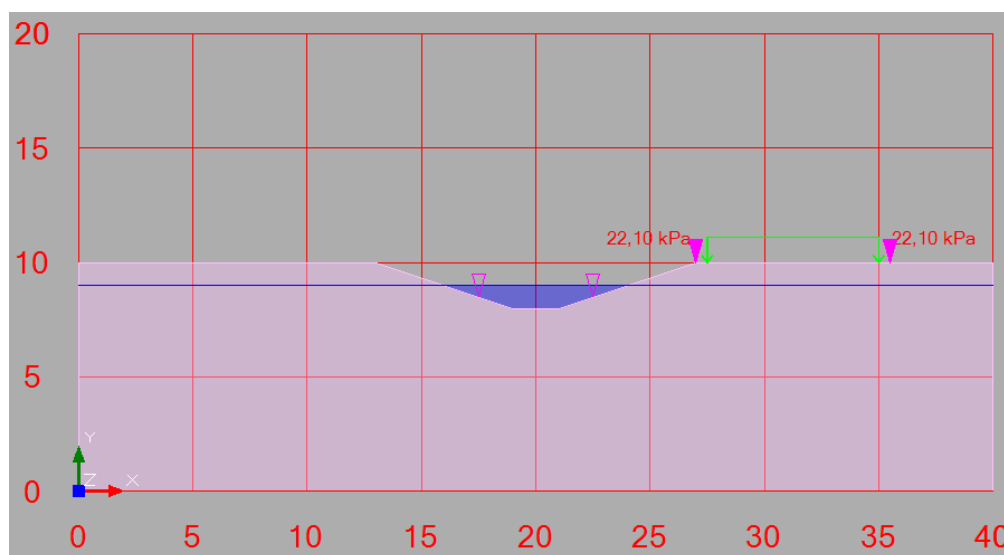
Testataan seuraavaksi, miten pohjavesi vaikuttaa kaivannon vakavuuteen, kun sitä esiintyy myös ulkoisena kuormituksena.

Palataan välilehdelle **Pore Pressure** → **External Water** → **Ponded Water**.



Ulkoinen vedenpinta kuormana

Ohjelma muuttaa vedenpinnan myös kaivannon kohdalla pohjavedenpinnan tasolle.



Palataan välilehdelle **Calculate** → **Calculate**, minkä jälkeen ohjelma suorittaa laskennan muutetuilla arvoilla. Tuloksesta nähdään ulkoisen vesikuormituksen vakavoittava vaikutus.

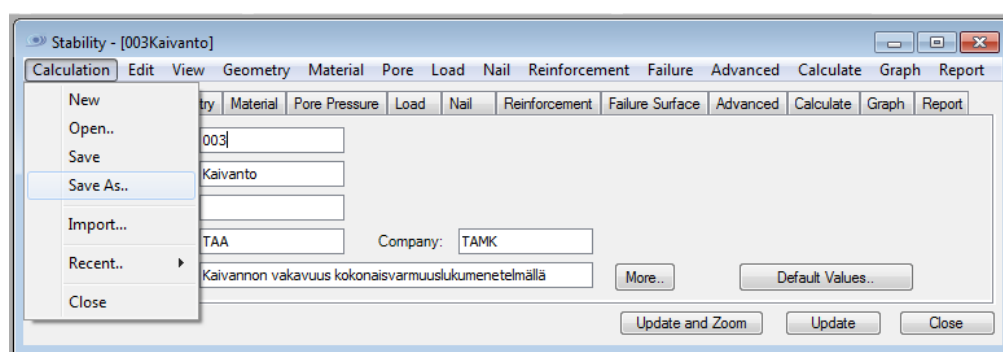
3.9 Putkikaivannon vakavuus kokonaisvarmuusmenetelmällä

Kokonaisvarmuuslukumenetelmällä tehtävässä tarkastelussa käytetään kuormitusten ja maaparametrien ominaisarvoja.

Laskenta kannattaa suorittaa muokkaamalla vain edellisessä osavarmuuslukumenetelmällä tehtyjä laskelmia. Valitaan Stabiilitteetti-moduuli piirtoikkunan ylälätkästä **Calculation** → **Stability**.

3.9.1 Laskennan yleiset tiedot

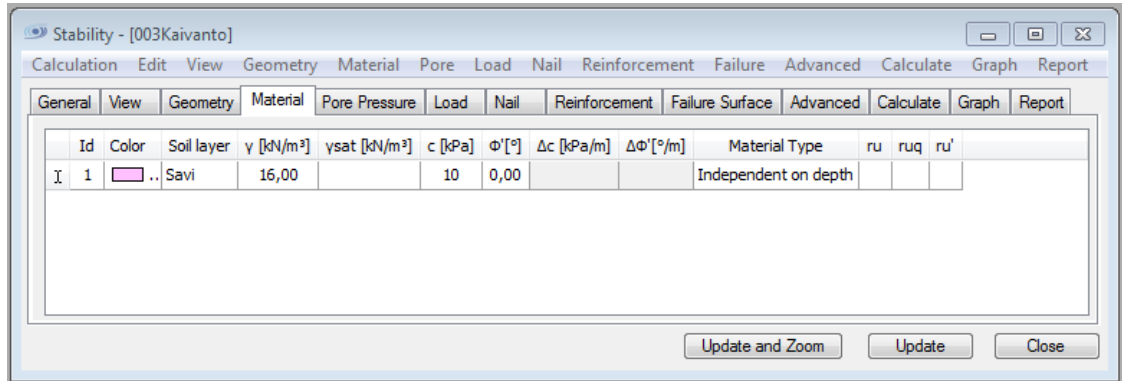
Muutetaan yleisiä tietoja **General** - välilehdellä, jotta laskenta tallentuu erikseen, eikä korvaa aiemmin tehtyä tarkastelua. Tallennetaan **Calculation** → **Save As...**



Koska laskenta suoritetaan edellisen laskennan pohjalta, ei tässä ole tarvetta muokata kuin materiaaliin, pohjaveteen, kuormitukseen ja päätyvastukseen liittyviä tietoja.

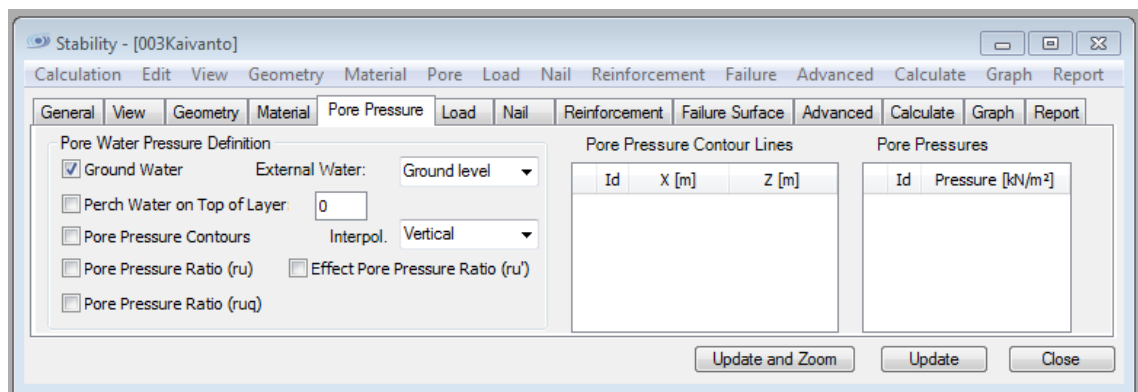
3.9.2 Maakerroksen laskentaparametrit

Siirrytään **Material** – välilehdelle, missä muutetaan saven leikkauslujuus vastaamaan sen ominaisarvoa:



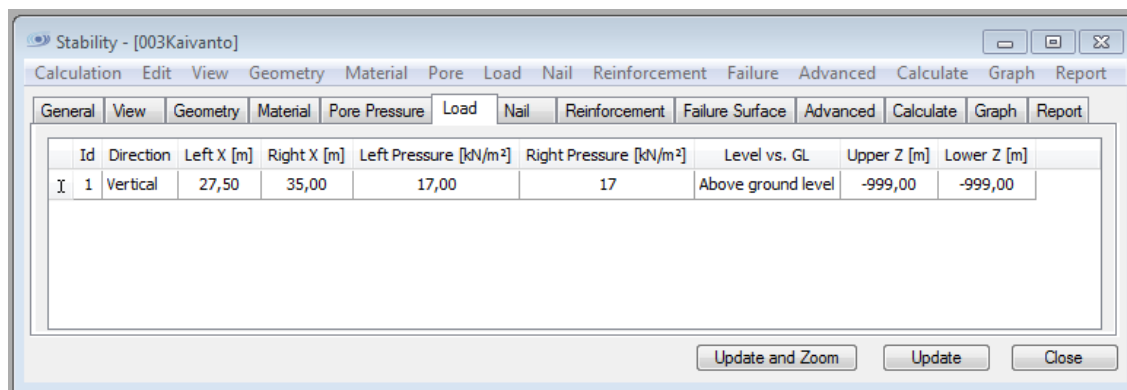
3.9.3 Huokosvedenpaine

Siirrytään **Pore Pressure** – välilehdelle, missä asetetaan pohjavedenpinta kulkemaan korkeintaan kaivannon pohjalla:



3.9.4 Kuormitus

Siirrytään **Load** – välilehdelle, missä muutetaan kuorman suuruus suoraan kuorman tietoriville:



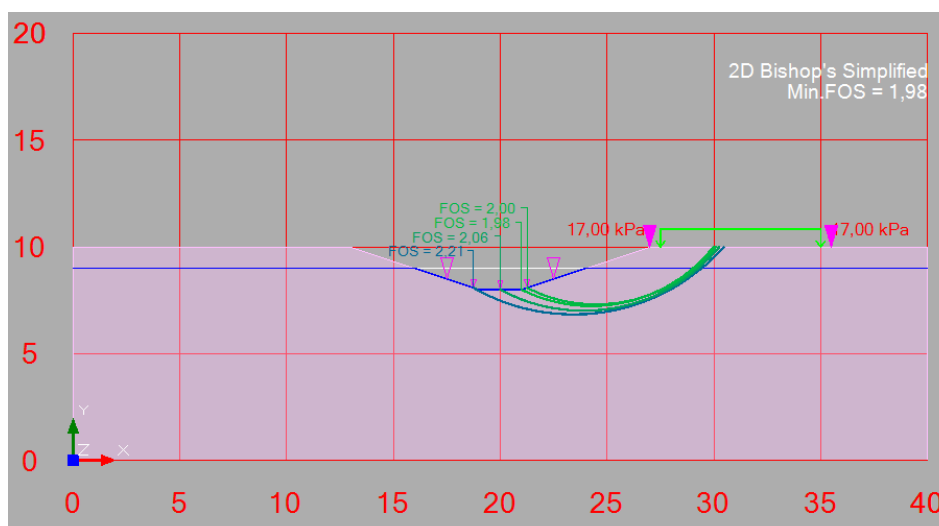
3.9.5 Halkeamat ja päätyvastus

Siirrytään välilehdelle **Advanced**. Huomioidaan laskennassa edelleen päätyvastus, joten valitaan päätyvastus uudelleen aktiiviseksi kohdasta **End Effect** → **Calculate with End Effect**.

3.9.6 Laskenta

Siirrytään välilehdelle **Calculate**. Koska tilanne on mitoitusparametreja lukuun ottamatta säilynyt samana, voidaan suoraan käynnistää laskenta → **Calculate**.

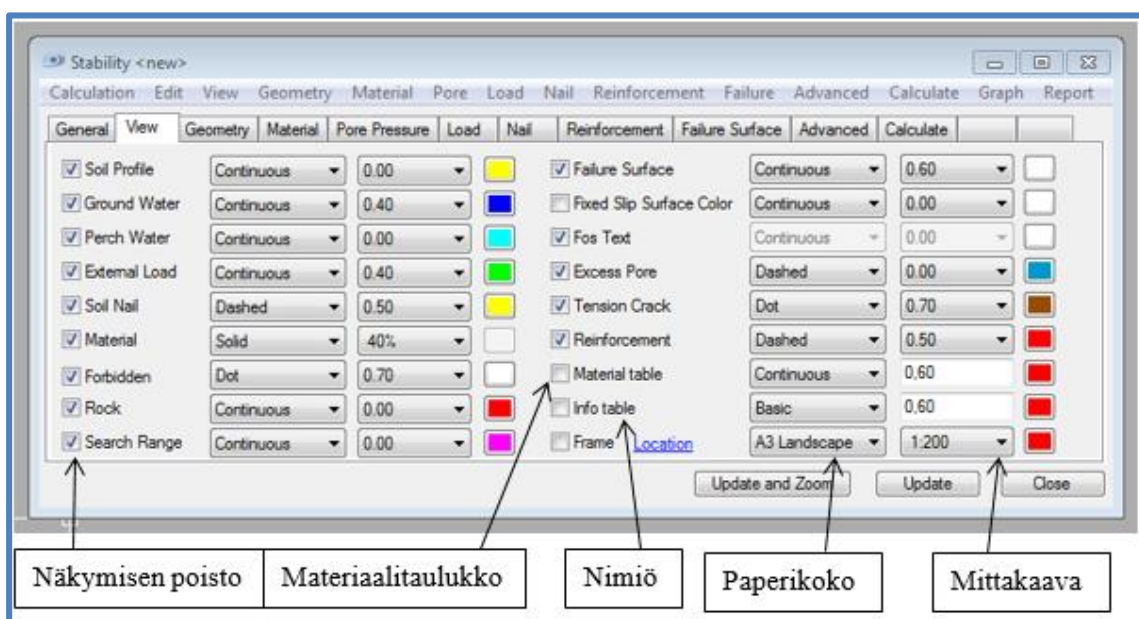
Ohjelma näyttää piirtoilassa muodostuvat leikkauspinnat:



Huomataan pienimmän saadun varmuusluvun olevan $F = 1,98$. Tämä on riittävä varmuus, koska kokonaisvarmuuslukumenetelmässä rakennuskaivannolle vaadittu varmuus on $F \geq 1,5$, kun vaikutusalueella ei ole pysyviä rakenteita (RIL – 263: Kaivanto – ohje).

3.10 Tulostus

Käsitellään laskennan jälkeen tulostamista ja palataan Stability – laskentamoduulissa välilehdelle **View**.



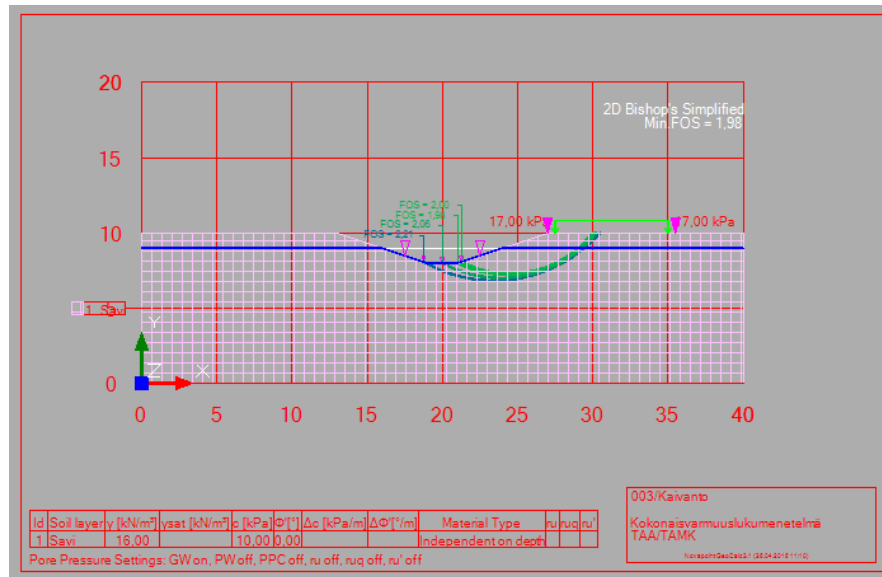
Muutetaan **Material** – kohdassa materiaalin rasterointi tulosteelle vähemmän raskaaksi, esim. ruudukoksi (engl. cross). Vaihtoehtoisesti rasteroinnin voi jättää kokonaan pois poistamalla rasti pois **Material** kohdasta.

Valitaan **Frame** – kohta aktiiviseksi ja sen viereisistä pudotusvalikoista määritetään paperin kooksi ja asetelluksi **A4 Landscape**. Lisäksi valitaan mittakaavaksi **1:200**.

Määrätään paperille sijainti viereisestä **Location** – linkistä ja annetaan grafiikkaikkunassa kehyksen vasen alakulma. Uusi sijainti saadaan määrättyä valitsemalla **Location** → **uusi sijainti**.

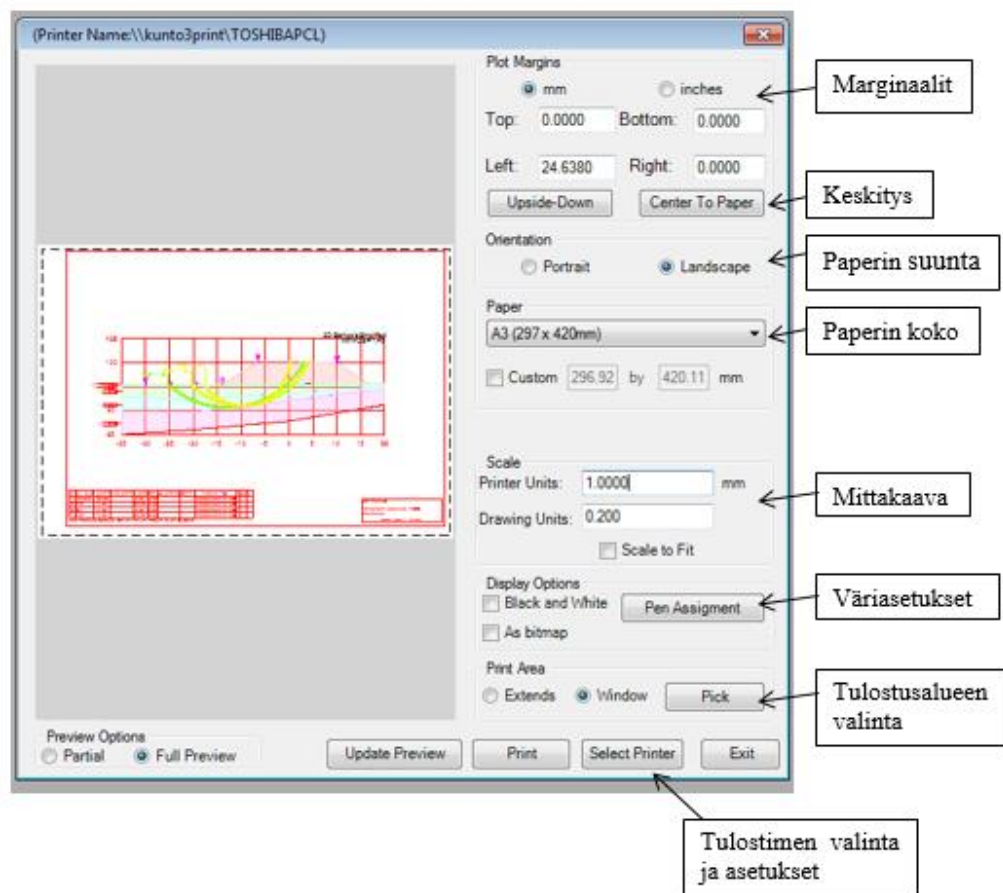
Valitaan myös kohdat **Material table** ja **Info table** aktiivisiksi, jolloin saadaan nimiö ja laskennassa käytetyt maaparametrit näkyviin.

Asetuksien jälkeen tulosteen tulisi näyttää samalta, kun alla:



Tulostus tehdään valitsemalla piirtopöydän ylävalikosta **File** → **Print**.

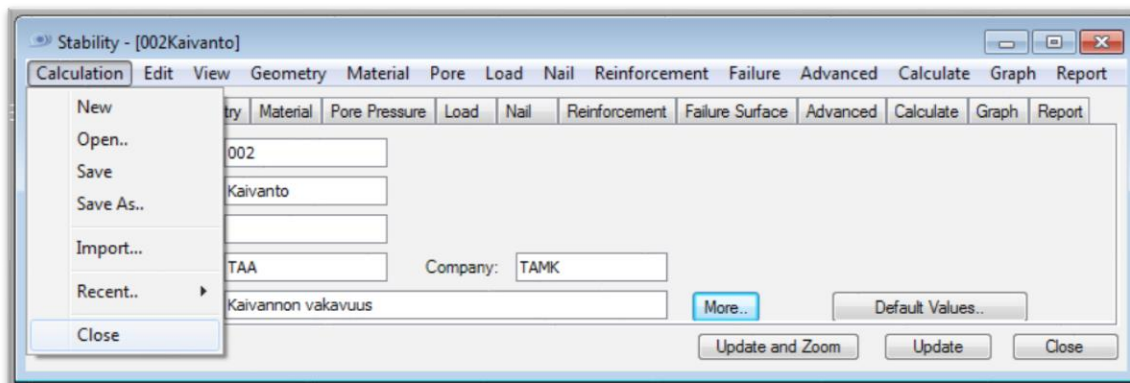
Ohjelma avaa tulostusikkunan, mistä ensimmäisenä kannattaa valita tulostin → **Select Printer**. Alla olevassa kuvassa on esitetty tulostusikkunan eri kohdat:



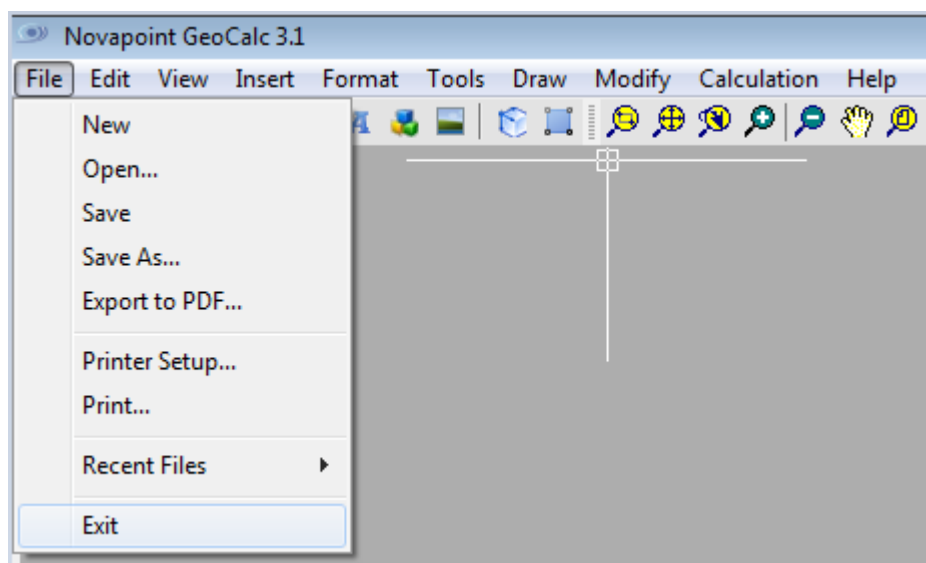
3.11 Laskennan lopetus

Kun molemmat laskentavaiheet on laskettu, tallennettu ja tulostettu, voidaan laskentamoduuli ja GeoCalc – ohjelmisto sulkea.

Suljetaan Stability – laskentamoduuli **Calculation** → **Close**.



Suljetaan Novapoint GeoCalc piirtoilassa ylävalikosta **File** → **Exit**.

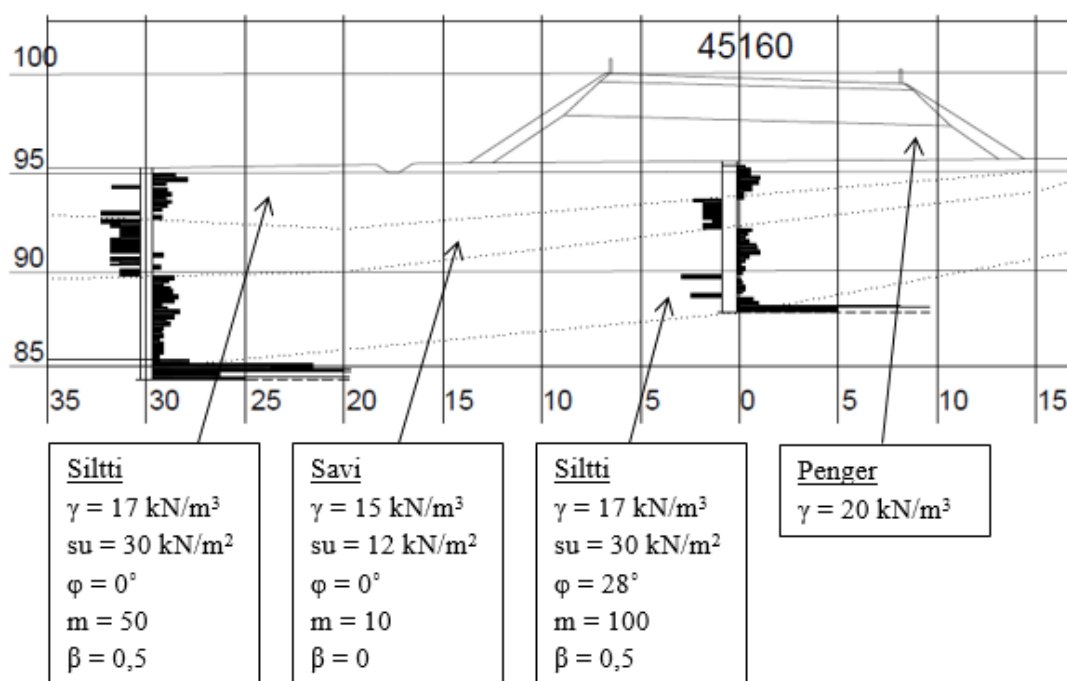


Liite 4. Penkereen painumat pehmeiköllä

4.1 Lähtötiedot

Tässä laskentaesimerkissä käydään painumalaskennan suorittamista pehmeikölle rakennetulle penkereelle. Lähtötiedot on annettu alla olevassa kuvassa. Tehtävänä on tehdä tarkastelu käyttörajatilassa, eli kaikki osavarmuuslukukertoimet ovat 1,0, ja painumaa tarkastellaan pelkästään pysyville kuormille (liikennekuormaa ei oteta huomioon).

Laskentaesimerkin lopussa tehdään johtopäätökset saaduista tarkasteluista ja käydään läpi tulosten tulostaminen.



- Pohjavesi sijaitsee savikerroksen yläpinnassa.
- Liikennekuorman ominaisarvo 10 kN/m^2

4.2 Käynnistys

Aloitetaan tarkastelu käynnistämällä Novapoint GeoCalc – ohjelmisto ja tekemällä mahdollinen lisenssinvahvistus.

Valitaan GeoCalc Startup – **ikkunasta New Calculation** → **Settlement** (suom. Uusi painumalaskenta). Ohjelma avaa **Settlement** – laskentamoduulin, minkä voi pienentää oikeasta yläkulmasta. Vaihtoehtoisesti Startup – ikkunan voi sulkea ja valita laskentamoduulin myöhemmin ylävalikosta **Calculation** → **Settlement...**

4.3 Koordinaattiruudukko ja piirtoasetukset

Laskenta aloitetaan muodostamalla laskentamalli. Mikäli sinulla on tallessa Liitteen 1 laskentaesimerkissä ”Penkereen vakavuus pehmeiköllä” käytetty laskentamalli, voit suoraan avata sen ja aloittaa painumalaskennan. Tässä laskentaesimerkissä tarkastellaan samaa pengertä.

Mikäli laskentamallia ei ole, tehdään se kuten ensimmäisessä laskentaesimerkissä ”Penkereen vakavuus pehmeiköllä” (kts. Liite 1).

Laskentamallin muodostamisen jälkeen avataan **Settlement** – laskentamoduuli.

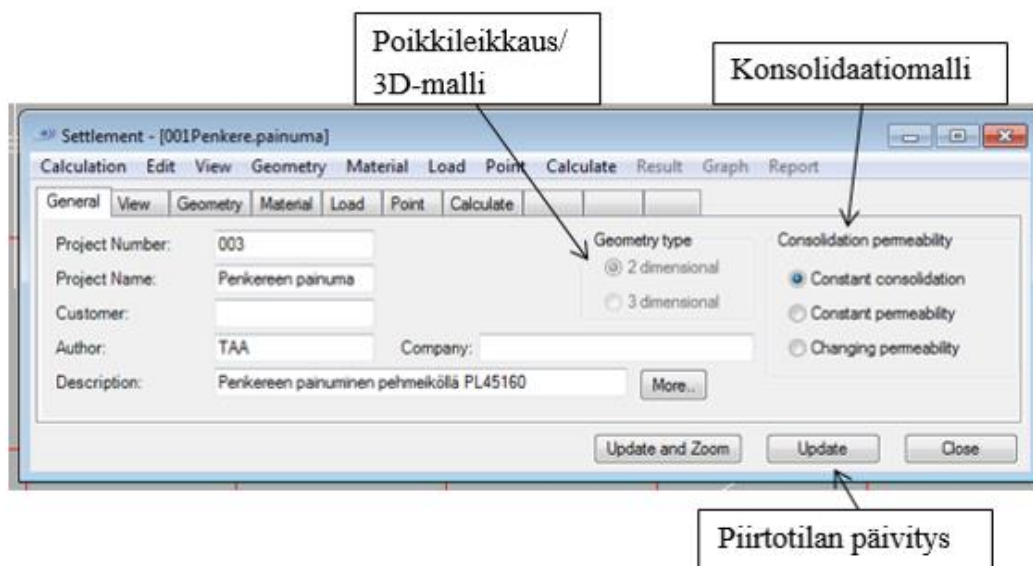
Laskentamoduuli koostuu välilehdistä, joihin syötetään laskennassa käytettäviä lähtötietoja. Tiedot täytetään käymällä välilehdet järjestyksessä läpi vasemmalta oikealle, kunnes päästään laskennan tuloksiin. Laskentamoduulien eri kohdille saadaan melko kattavat suomenkieliset selitteet viemällä hiiri aina tarkasteltavan kohdan päälle.

4.4 Poikkileikkauksen painumalaskenta käyttörajatilassa

Käyttörajatilassa laskenta suoritetaan kuormitusten ja maaparametrien ominaisarvoilla. Suurin ero vakavuuslaskentaan on, että pengertä ei määritetä maakerrokseksi, vaan lisätään ulkoisena kuormituksena.

4.4.1 Laskennan yleiset tiedot

General – välilehdellä täytetään laskennan yleiset tiedot, kuten projektinumero, asiakas, laskija jne.



Tarvittaessa voidaan **Default Values** – painikkeesta muokata laskennassa yleisesti käytettäviä tietoja, kuten veden tilavuuspainoa.

More – painikkeesta voidaan laskentaan liittää muistiinpanoja, huomautuksia ym.

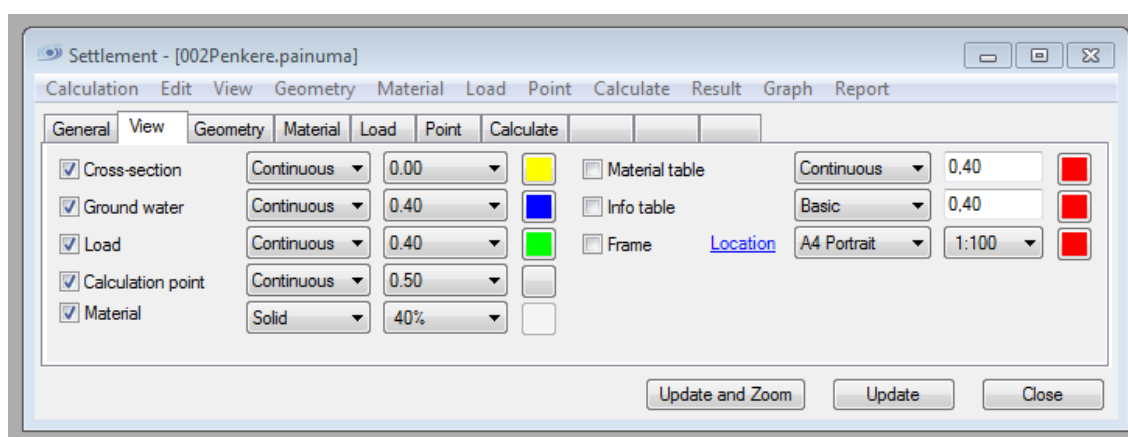
Piirtoilan saa päivitettyä **Update** – painikkeesta missä vaiheessa laskentaa tahansa.

Tallennetaan laskenta valitsemalla ylävalikosta **Calculation** → **Save As...**

Painumalaskennat tallentuvat tiedostomuotoon ”*.gcse”.

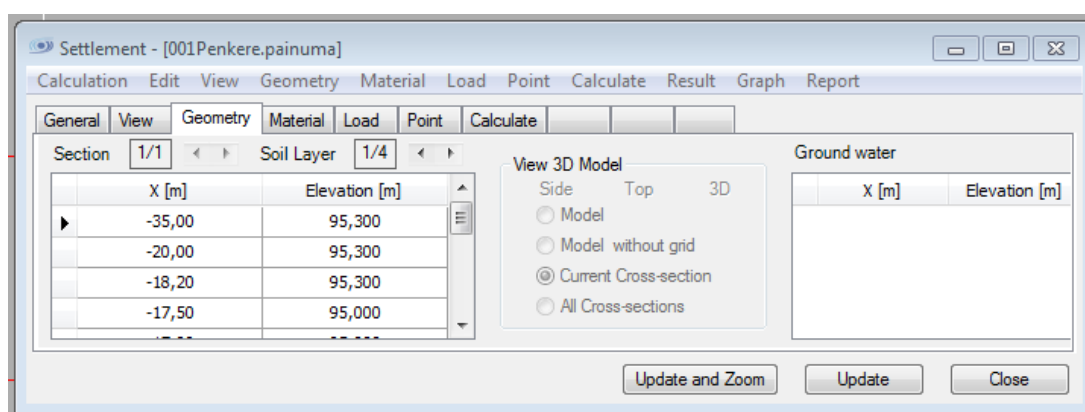
4.4.2 Piirtoasetukset

View – välilehdellä muokataan näyttöasetuksia, eli sitä, miten laskenta esitetään grafiikkaikkunassa ja tulostuksessa. Palataan näihin asetuksiin tarkemmin tulostusta tarkasteltaessa.



4.4.3 Laskennan poikkileikkausgeometria

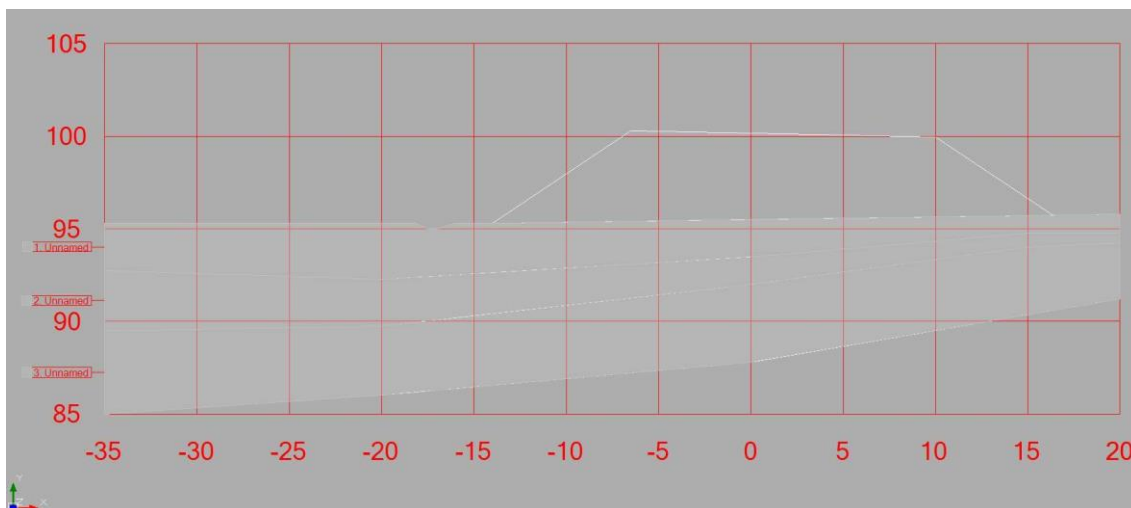
Geometry-välilehdellä määritellään laskennassa käytettävien maakerrosten, kallion, pohjaveden ja orsiveden geometria poikkileikkauksessa.



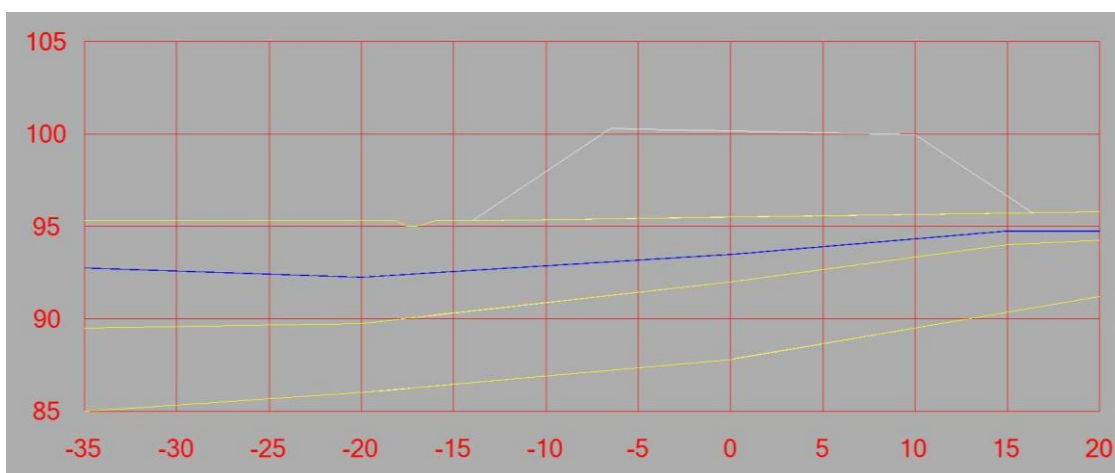
Määritellään eri maakerrosten rajat valitsemalla laskentamoduulin yläpalkista **Geometry** → **Select Soil Layer Polylines** → **From Top to Bottom**. Komento sulkee laskentaikkunan ja seuraavaksi laskentamallista valitaan maakerrosrajat penkere mukaan

lukien järjestyksestä ylhäältä alas. Valittu viiva muuttuu värinsä keltaiseksi. Ohjelma muodostaa automaattisesti alimmasta valitusta viivasta kovan pohjan.

Huomaa, että malliin piirrettyä pohjavedenpinnan rajaa ei valita tässä kohdassa! Jos pohjavedenpinta on kuitenkin valittu, painetaan Esc ja tehdään valinta uudestaan. Kun kaikki rajapinnat on valittu, painetaan **Enter**. Valittujen maakerrosten tulisi muuttua rasteroiduksi, jos **View** – välilehden **Material** – kohta on jätetty aktiiviseksi.



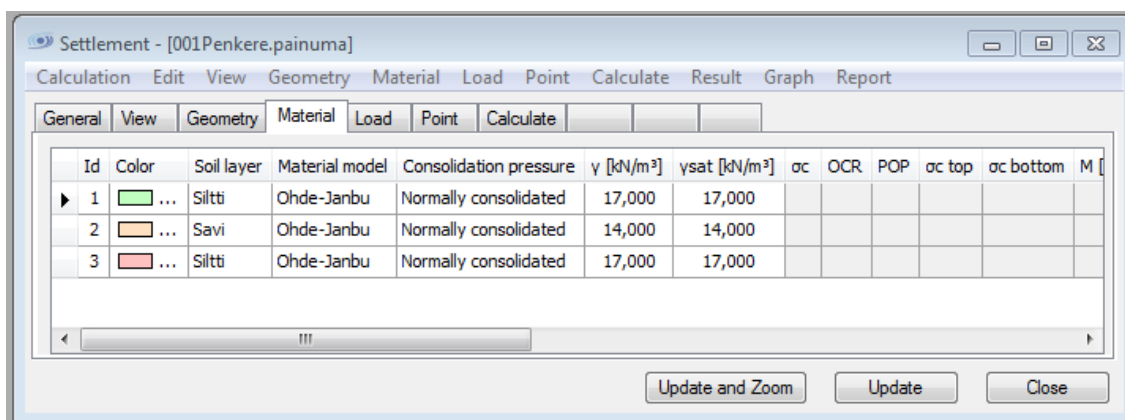
Seuraavaksi valitaan pohjavedenpinta laskentamallista. Valinta tehdään kuten maakerrosrajojen valinta: **Geometry** → **Select Ground Water Polyline**. Valitaan laskentamallista savikerroksen yläpinta, jonka jälkeen viivan tulisi muuttua siniseksi.



4.4.4 Maakerrosten laskentaparametrit

Material – välilehdellä määritellään äsken muodostettujen maakerrosten parametrit.

Täytetään tiedot kuten alla olevassa kuvassa:



Painumien laskentatapana käytetään siis Ohde – Janbun tangenttimoduulimenetelmä.

Maaparametrit voidaan antaa suoraan välilehdillä oleville riveille, tai valitsemalla ylävalikosta **Material** → **Parameters...**

Ohjelma avaa **Settlement Material parameters** – ikkunan. Täytetään maakerroksien tiedot seuraavien kuvien mukaisesti:

The screenshot shows the 'Settlement Material parameters' dialog box. The left column contains consolidation parameters, and the right column contains material parameters. Annotations are as follows:

- Left side annotations:**
 - Konsolidaatio-kerroin** points to the 'Coefficient consolidation, Cv NC [m²/year]' field, which has the value 1,50000.
 - Maakerroksen vedenjohtavuus** points to the 'Not fully permeable horizontally' radio button under the 'Exponent of deformation, α' section.
 - Maakerrosten selaus** points to the 'Layer 1/3' indicator at the bottom left.
- Right side annotations:**
 - moduuliluku** points to the 'Modulus number NC, m1' field, which has the value 50,00.
 - jännityseksponentti** points to the 'Stress exponent NC, β1' field, which has the value 0,50.
 - annettu konsolidaatiojännitys** points to the 'Given consolidation pressure, oc oedo [kPa]' field, which has the value 0,00.

moduuliluku, jännityseksponentti, annettu konsolidaatiojännitys

Settlement Material parameters

Consolidation pressure

Constant consolidation pressure, σ_c :

Over consolidation ratio, OCR:

Pre overburden pressure, POP:

Upconsolidation pressure, σ_c top:

Downconsolidation pressure, σ_c bottom:

Permeability

Coefficient consolidation, C_v NC [m²/year]:

Coefficient consolidation, C_v OC [m²/year]:

Vertical coefficient for permeability, k [m/year]:

Initial value for permeability, k_0 [m/year]:

Exponent of deformation, α :

Not fully permeable horizontally Fully permeable horizontally

Material parameters

Constant M [kPa]:

Modulus number NC, m_1 :

Stress exponent NC, β_1 :

Modulus number OC, m_2 :

Stress exponent OC, β_2 :

m_1 bound to σ_c :

Given consolidation pressure, σ_c oedo [kPa]:

Compression index NC, C_c :

Void ratio, e_0 :

Compression index OC, C_r :

Water content, w [%]:

Compressibility (over consolidated), M_0 [kPa]:

Compressibility between press. and stress, M_L [kPa]:

Modulus number when effective stress..., M' :

$\alpha_L - \sigma_c$ [kPa]:

<< Layer 2/3 >>

Settlement Material parameters

Consolidation pressure

Constant consolidation pressure, σ_c :

Over consolidation ratio, OCR:

Pre overburden pressure, POP:

Upconsolidation pressure, σ_c top:

Downconsolidation pressure, σ_c bottom:

Permeability

Coefficient consolidation, C_v NC [m²/year]:

Coefficient consolidation, C_v OC [m²/year]:

Vertical coefficient for permeability, k [m/year]:

Initial value for permeability, k_0 [m/year]:

Exponent of deformation, α :

Not fully permeable horizontally Fully permeable horizontally

Material parameters

Constant M [kPa]:

Modulus number NC, m_1 :

Stress exponent NC, β_1 :

Modulus number OC, m_2 :

Stress exponent OC, β_2 :

m_1 bound to σ_c :

Given consolidation pressure, σ_c oedo [kPa]:

Compression index NC, C_c :

Void ratio, e_0 :

Compression index OC, C_r :

Water content, w [%]:

Compressibility (over consolidated), M_0 [kPa]:

Compressibility between press. and stress, M_L [kPa]:

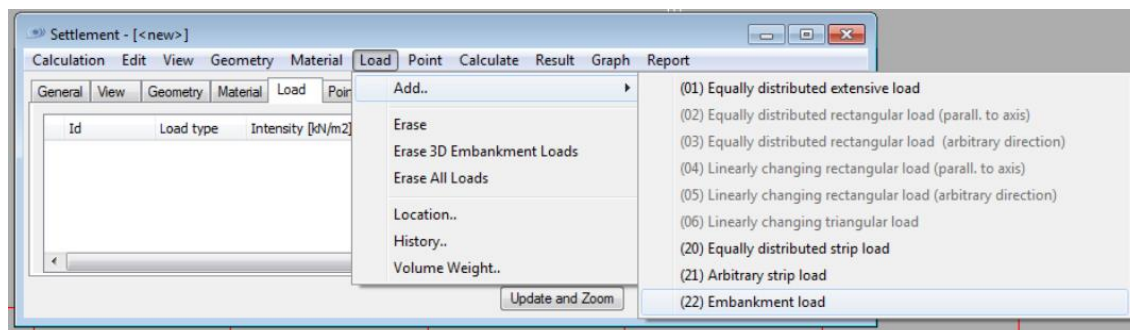
Modulus number when effective stress..., M' :

$\alpha_L - \sigma_c$ [kPa]:

<< Layer 3/3 >>

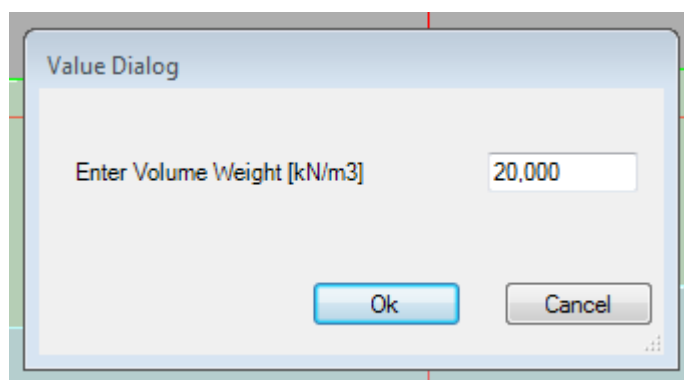
4.4.5 Kuormitus

Load – välilehdellä määritellään penkereen maaperään aiheuttama kuormitus valitsemalla ylävalikosta **Load** → **Add** → **Embankment Load**.



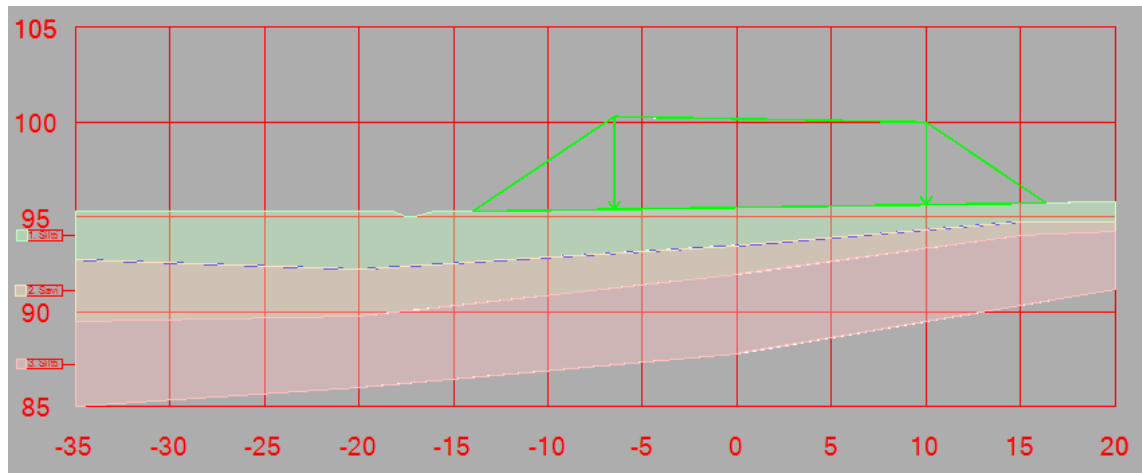
Ohjelma pyytää valitsemaan piste kerrallaan lisättävän pengerkuorman, ts. rajaamaan penkereen poikkileikkauksen. On tärkeää siis päättää pengerkuorman rajaus aloituspisteeseen, jolloin valinnasta tulee suljettu piiri.

Valinnan jälkeen ohjelma avaa **Value Dialog** - ikkunan, mihin annetaan penkereen tilavuuspaino:

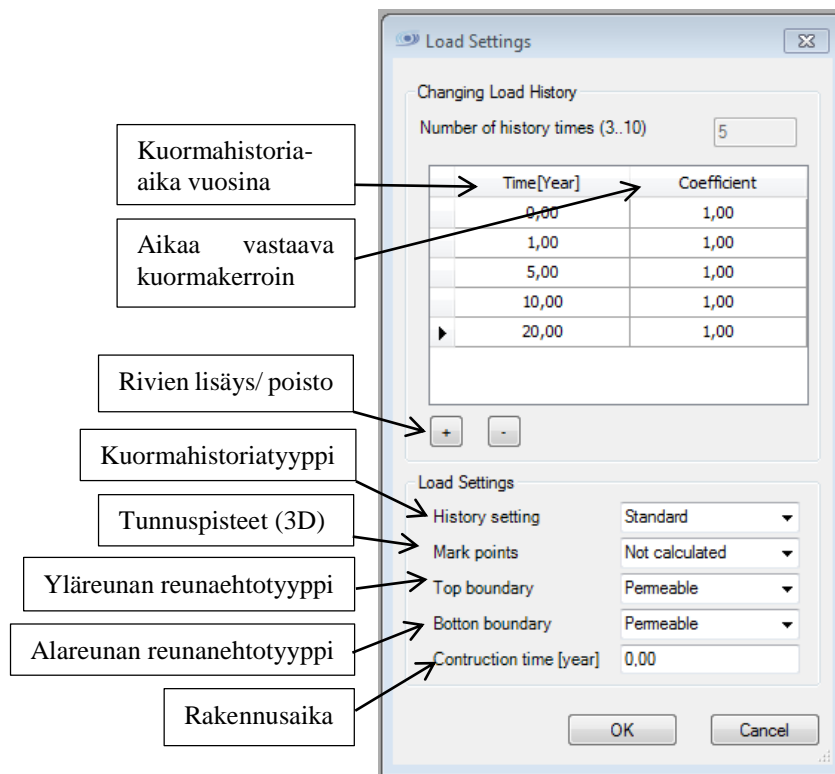


Suljetaan ikkuna valitsemalla **Ok**.

Kuorman lisäyksen jälkeen laskentamallin kuuluisi näyttää samalta, kuin alla olevassa kuvassa:



Määritetään seuraavaksi kuormahistoria valitsemalla **Load** → **History**, mistä ohjelma avaa **Load History** – ikkunan:



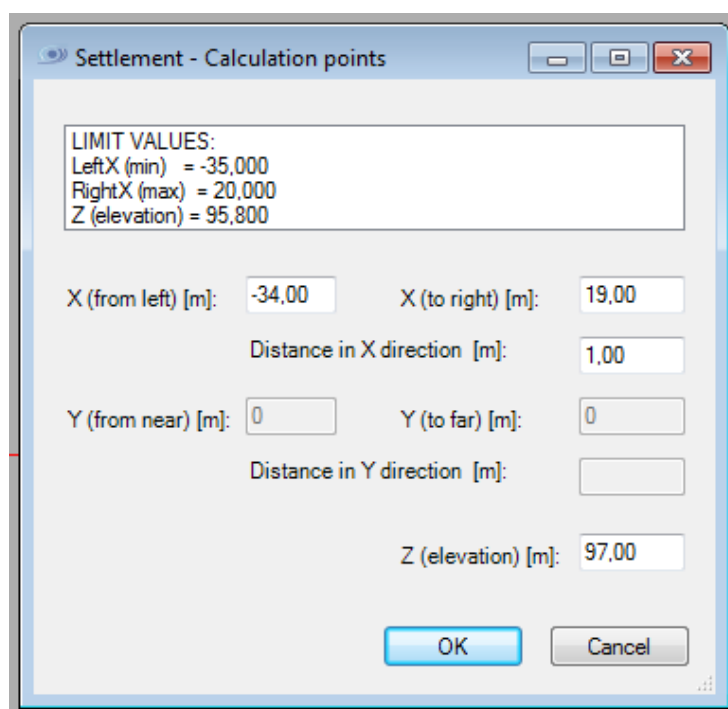
Päätetään valinta arvojen syöttämisen jälkeen painamalla **OK**.

4.4.6 Laskentapisteiden määrittäminen

Point- välilehdellä määritetään seuraavaksi laskentapisteet, joiden kohdalla laskenta suoritetaan. Valitaan ylävalikosta **Point** → **Add Pattern**.

Ohjelma avaa **Settlement – Calculation points** – ikkunan, mihin määritetään rajat, millä leveydellä painumalaskenta suoritetaan ja millaisella pistejaolla.

Syötetään tiedot alla olevan kuvan mukaisesti, jolloin laskenta suoritetaan koko laskentamallin leveydellä, 1 metrin pistejaolla. Laskenta suoritetaan 97 metrin syvyyteen (huomaa, että puhutaan laskentamallin koordinaateista).



Settlement - Calculation points

LIMIT VALUES:
LeftX (min) = -35,000
RightX (max) = 20,000
Z (elevation) = 95,800

X (from left) [m]: -34,00 X (to right) [m]: 19,00
Distance in X direction [m]: 1,00

Y (from near) [m]: 0 Y (to far) [m]: 0
Distance in Y direction [m]:

Z (elevation) [m]: 97,00

OK Cancel

Arvojen määrittämisen jälkeen suljetaan ikkuna painamalla **OK**.

Yksittäisiä laskentapisteitä voidaan lisätä valitsemalla ylävalikosta **Point** → **Add Points..**, ja osoittamalla mallista mihin laskentapiste sijoitetaan.

Tämän jälkeen näkymän tulisi Point – välilehdellä olla kuten alla:

Settlement - [<new>]

Calculation Edit View Geometry Material Load Point Calculate Result Graph Report

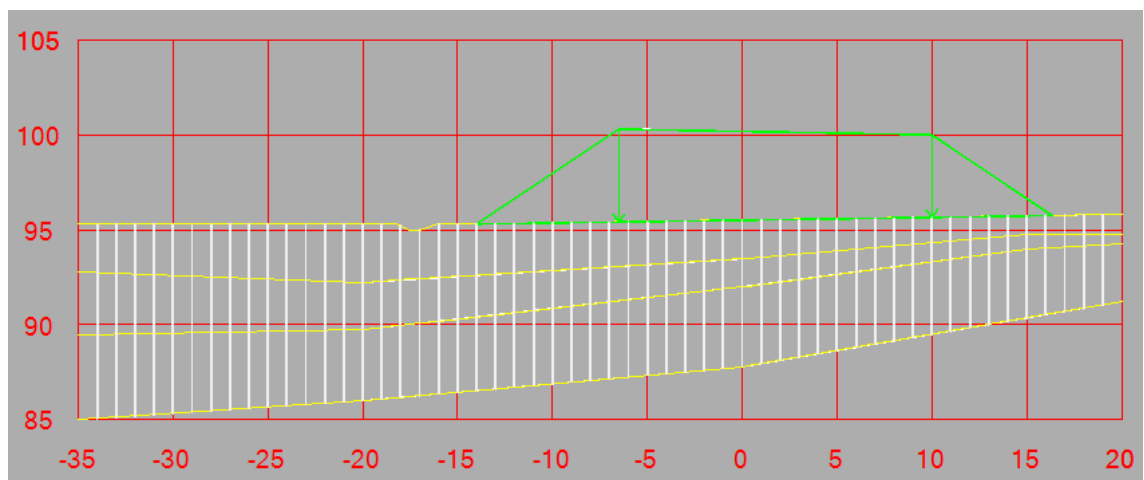
General View Geometry Material Load Point Calculate Result Graph Report

X-coord [m]	Displacement [m]	Elevation [m]	Ground Water [m]	Top boundary	Bottom boundary
-34,000	0,000	97,000	85,067	Permeable	Permeable
-33,000	0,000	97,000	85,133	Permeable	Permeable
-32,000	0,000	97,000	85,200	Permeable	Permeable
-31,000	0,000	97,000	85,267	Permeable	Permeable
-30,000	0,000	97,000	85,333	Permeable	Permeable
-29,000	0,000	97,000	85,400	Permeable	Permeable
-28,000	0,000	97,000	85,467	Permeable	Permeable
-27,000	0,000	97,000	85,533	Permeable	Permeable
-26,000	0,000	97,000	85,600	Permeable	Permeable

Update and Zoom Update Close

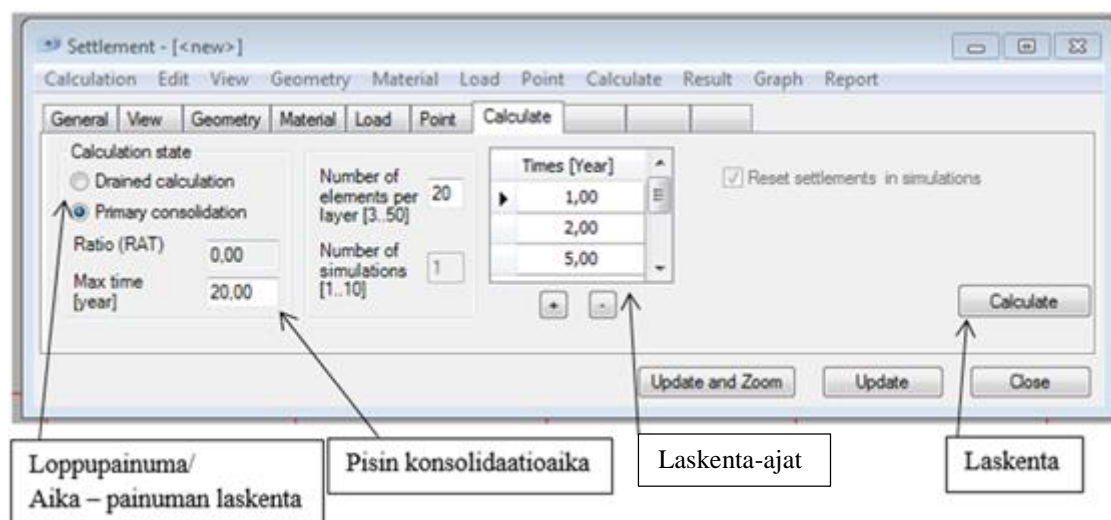
Varmistetaan yllä olevasta näkymästä, että reunojen kuivatus ehdot on määritelty vettä läpäiseviksi (engl. **Permeable**), jolloin vesi pääsee vapaasti liikkumaan.

Kun kaikki arvot on syötetty, päivittää ohjelma laskentapisteet laskentamalliin.



4.4.7 Laskenta

Calculate – välilehdellä määritellään laskennan asetukset ja käynnistetään laskenta.



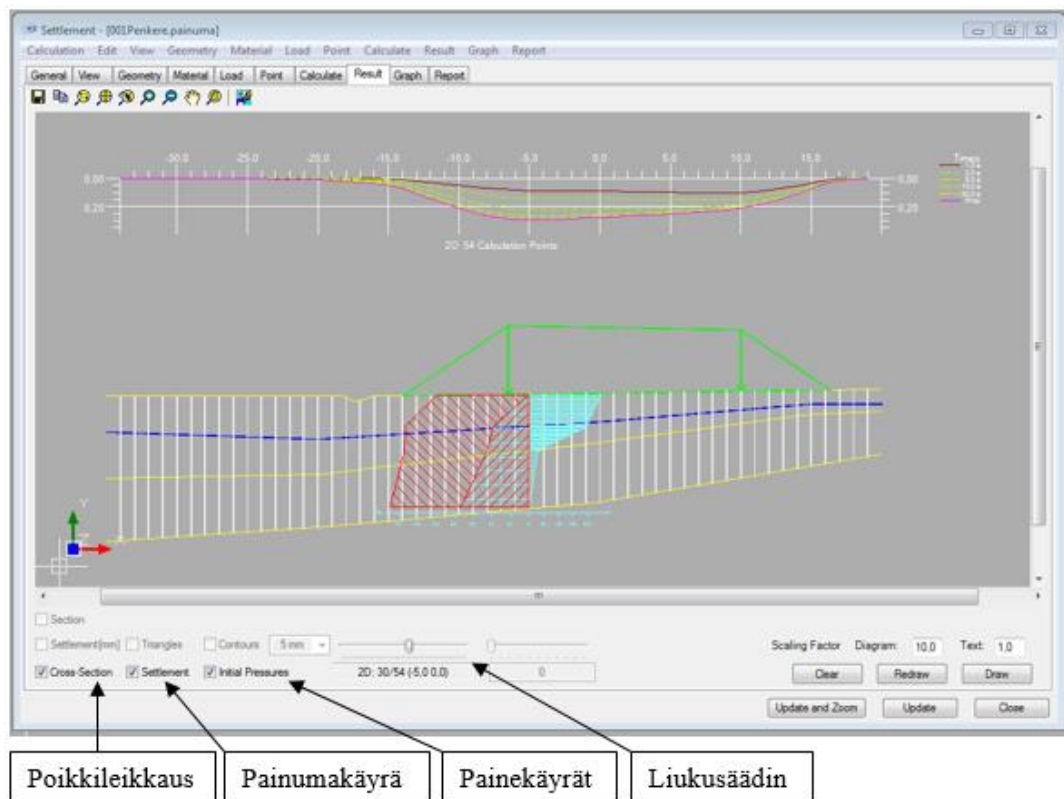
Tässä esimerkissä halutaan kokonaispainuman lisäksi aika-painuma-kuvaaja, miksi valitaan **Primary consolidation** aktiiviseksi.

Määritetään pisimmäksi laskettavaksi konsolidaatioajaksi kohtaan **Max time** tässä 20 vuotta.

Näiden jälkeen painetaan **Calculate** – painiketta, jolloin ohjelma suorittaa laskennan.

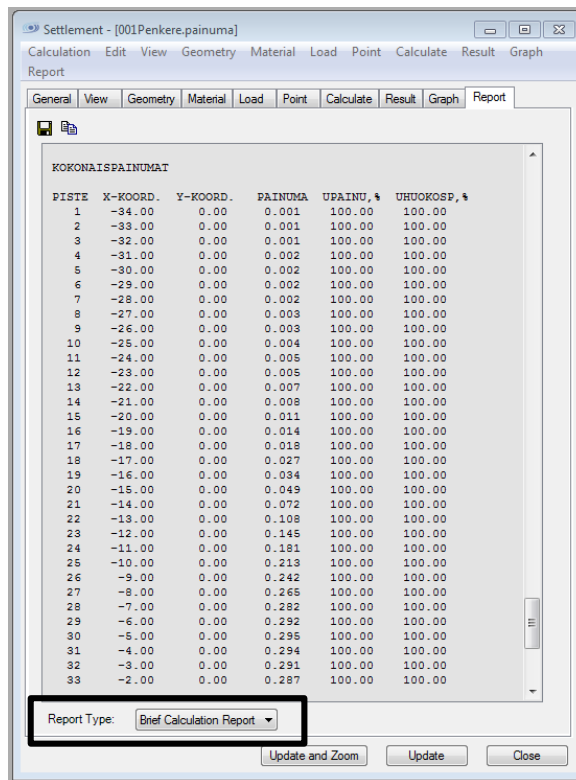
4.4.8 Tulokset

Laskennan päätyttyä ohjelma avaa **Result** – välilehden, mihin on tulostunut maapohjaan muodostuvat painumat ja painekäyrät.



Ikkunan alakulmasta pystytään säätämään eri osioiden näkyvyyttä poistamalla ruksi niiden edestä. Liikusäätimellä pystytään taas tarkastelemaan painekäyriä penkereen eri laskentapisteissä.

Tarkistetaan **Report** – välilehdeltä mihin laskentapisteeseen on aiheutunut suurimmat painumat valitsemalla **Report Type:** → **Brief Calculation Report**. Kokonaispainumat löytyvät raportin lopusta.

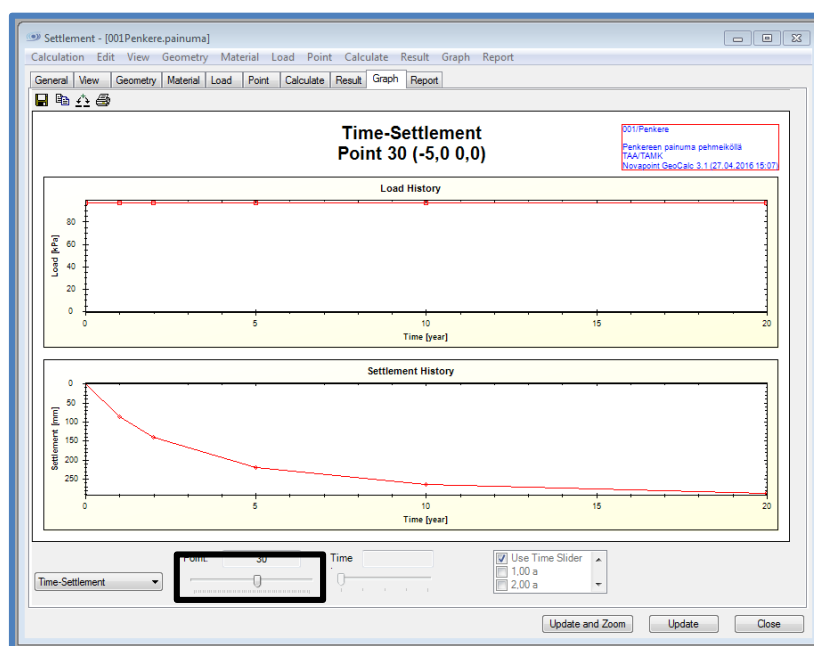


KOKONAISPAINUMAT

PISTE	X-KOORD.	Y-KOORD.	PAINUMA	UPAINU, %	UHUOKOSP, %
1	-34.00	0.00	0.001	100.00	100.00
2	-33.00	0.00	0.001	100.00	100.00
3	-32.00	0.00	0.001	100.00	100.00
4	-31.00	0.00	0.002	100.00	100.00
5	-30.00	0.00	0.002	100.00	100.00
6	-29.00	0.00	0.002	100.00	100.00
7	-28.00	0.00	0.002	100.00	100.00
8	-27.00	0.00	0.003	100.00	100.00
9	-26.00	0.00	0.003	100.00	100.00
10	-25.00	0.00	0.004	100.00	100.00
11	-24.00	0.00	0.005	100.00	100.00
12	-23.00	0.00	0.005	100.00	100.00
13	-22.00	0.00	0.007	100.00	100.00
14	-21.00	0.00	0.008	100.00	100.00
15	-20.00	0.00	0.011	100.00	100.00
16	-19.00	0.00	0.014	100.00	100.00
17	-18.00	0.00	0.018	100.00	100.00
18	-17.00	0.00	0.027	100.00	100.00
19	-16.00	0.00	0.034	100.00	100.00
20	-15.00	0.00	0.049	100.00	100.00
21	-14.00	0.00	0.072	100.00	100.00
22	-13.00	0.00	0.108	100.00	100.00
23	-12.00	0.00	0.145	100.00	100.00
24	-11.00	0.00	0.181	100.00	100.00
25	-10.00	0.00	0.213	100.00	100.00
26	-9.00	0.00	0.242	100.00	100.00
27	-8.00	0.00	0.265	100.00	100.00
28	-7.00	0.00	0.282	100.00	100.00
29	-6.00	0.00	0.292	100.00	100.00
30	-5.00	0.00	0.295	100.00	100.00
31	-4.00	0.00	0.294	100.00	100.00
32	-3.00	0.00	0.291	100.00	100.00
33	-2.00	0.00	0.287	100.00	100.00

Report Type: Brief Calculation Report

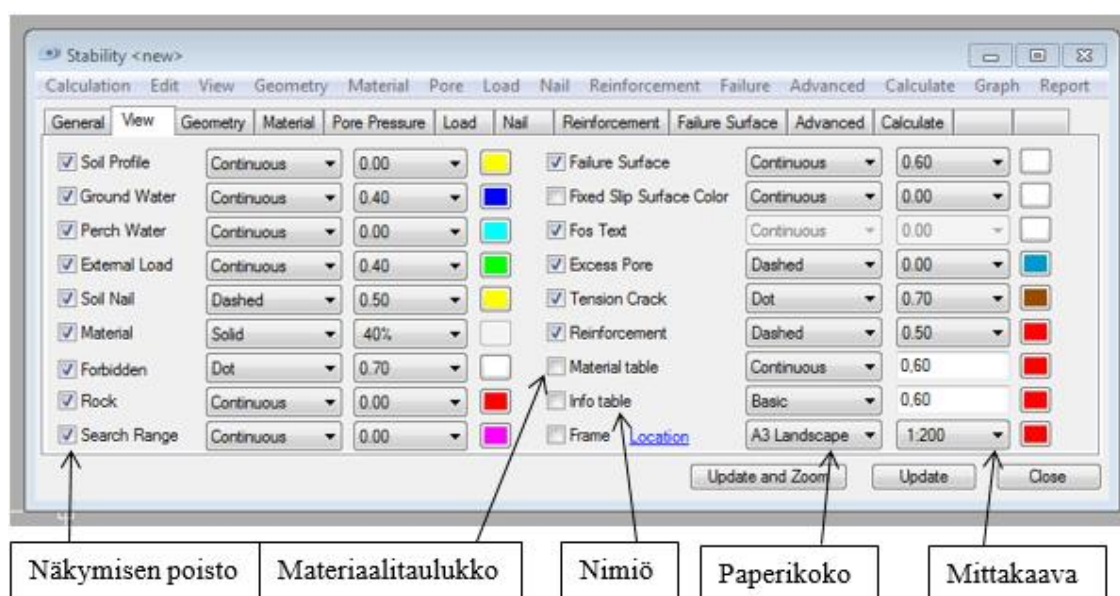
Seuraavaksi katsotaan **Graph** – välilehdeltä aika-painuma-kuvaaja ko. pisteestä. Tarkastelupistettä vaihdetaan liukusäätimen avulla:



Laskenta saadaan tallennettua valitsemalla laskentamoduulin ylävalikosta **Calculation** → **Save**. Stabiilitelaskennat tallentuvat tiedostomuotoon ”*.gcse”. Koska tässä laskentaesimerkissä tehdään useampia tarkasteluja, on jokainen tehdyistä laskennoista suositeltavaa tallentaa eri nimillä.

4.5 Tulostus

Käsitellään laskennan jälkeen tulostamista ja palataan Stability – laskentamoduulissa välilehdelle **View**.



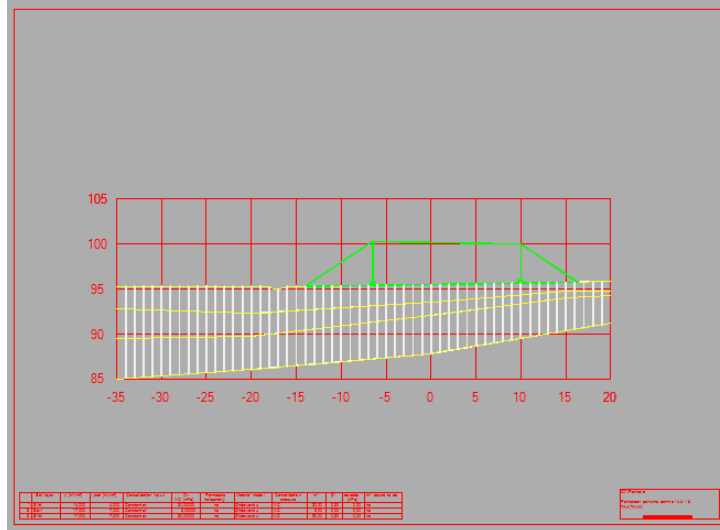
Muutetaan **Material** – kohdassa materiaalin rasterointi tulosteelle vähemmän raskaaksi, esim. ruudukoksi (engl. cross). Vaihtoehtoisesti rasteroinnin voi jättää kokonaan pois poistamalla rasti pois **Material** kohdasta.

Valitaan **Frame** – kohta aktiiviseksi ja sen viereisistä pudotusvalikoista määritetään paperin kooksi ja asetteluksi **A4 Landscape**. Lisäksi valitaan mittakaavaksi **1:200**.

Määrätään paperille sijainti viereisestä **Location** – linkistä ja annetaan grafiikkaikkunassa kehyksen vasen alakulma. Uusi sijainti saadaan määrättyä valitsemalla **Location** → **uusi sijainti**.

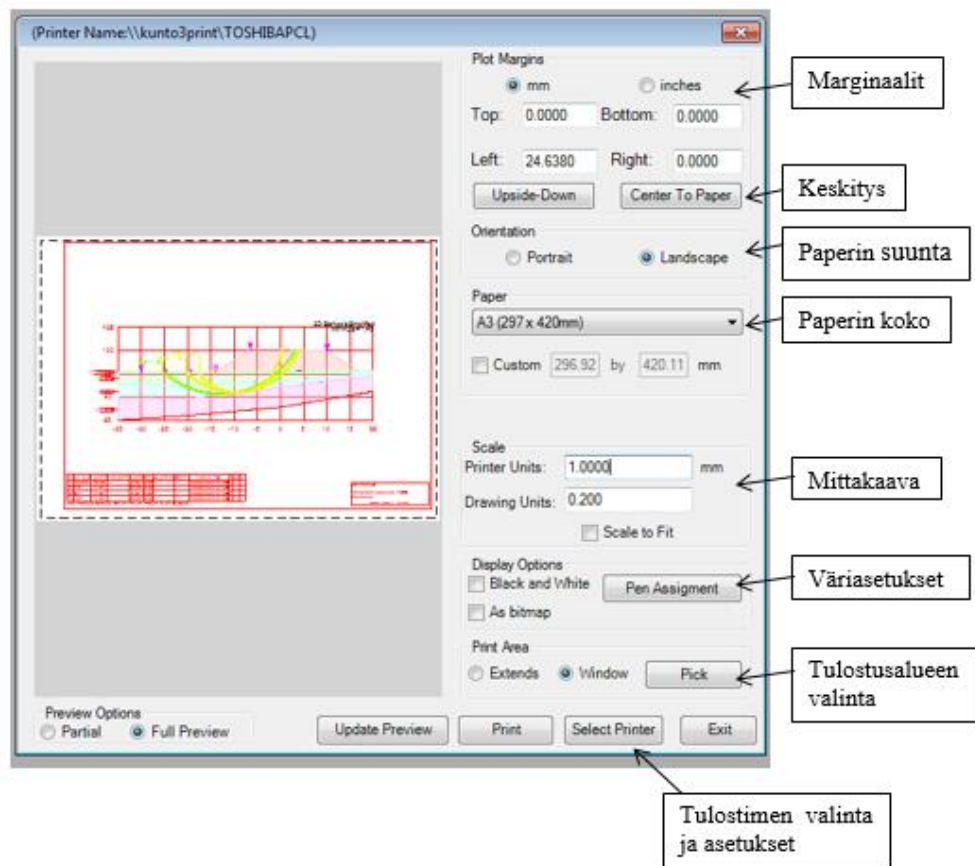
Valitaan myös kohdat **Material table** ja **Info table** aktiivisiksi, jolloin saadaan nimiö ja laskennassa käytetyt maaparametrit näkyviin.

Asetuksien jälkeen tulosteen tulisi näyttää samalta, kun alla:



Tulostus tehdään valitsemalla piirtopöydän ylävalikosta **File** → **Print**.

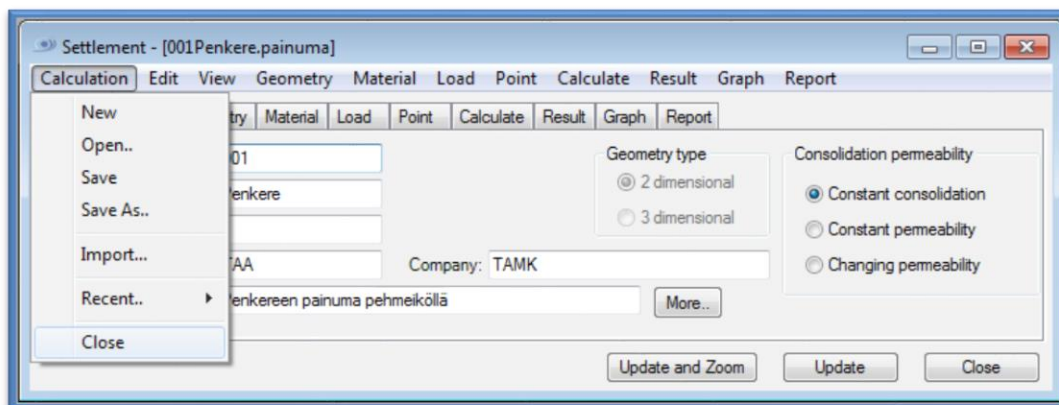
Ohjelma avaa tulostusikkunan, mistä ensimmäisenä kannattaa valita tulostin → **Select Printer**. Alla olevassa kuvassa on esitetty tulostusikkunan eri kohdat:



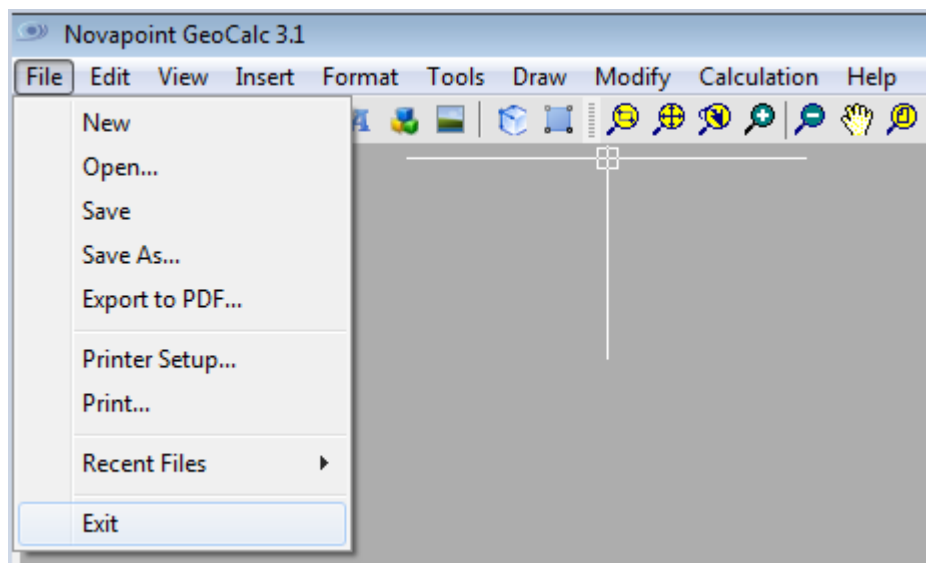
4.6 Laskennan lopetus

Kun molemmat laskentavaiheet on laskettu, tallennettu ja tulostettu, voidaan laskentamoduuli ja GeoCalc – ohjelmisto sulkea.

Suljetaan Stability – laskentamoduuli **Calculation** → **Close**.



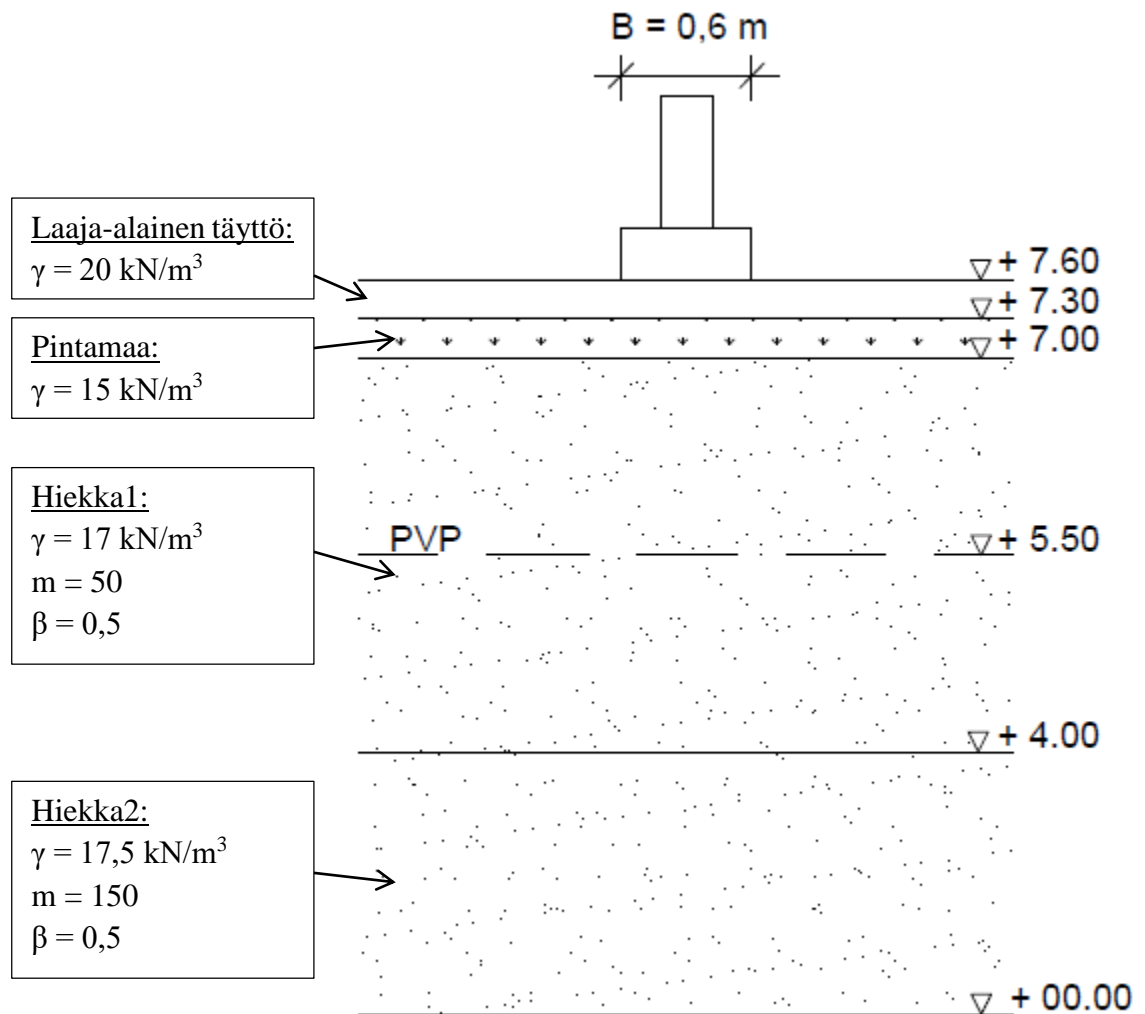
Suljetaan Novapoint GeoCalc piirtoilassa ylävalikosta **File** → **Exit**.



Liite 5. Anturan painumat

5.1 Lähtötiedot

Seuraavassa laskentaesimerkissä tarkastellaan seinäanturan maapohjaan aiheuttamia painumia. Anturan painumia tarkastellaan käyttörajatilassa huomioiden vain pysyvät kuormitukset.



- Pintamaata poistetaan 0,3 metriä ja tilalle tulee 0,6 m paksu laaja-alainen täyttö
- Seinäanturan ominaiskuorma 95 kN/m
- Pohjavedenpinta sijaitsee ensimmäisen hiekkakerroksen puolessa välissä
- Hiekkakerrosten alla on kova moreeni

5.2 Käynnistys

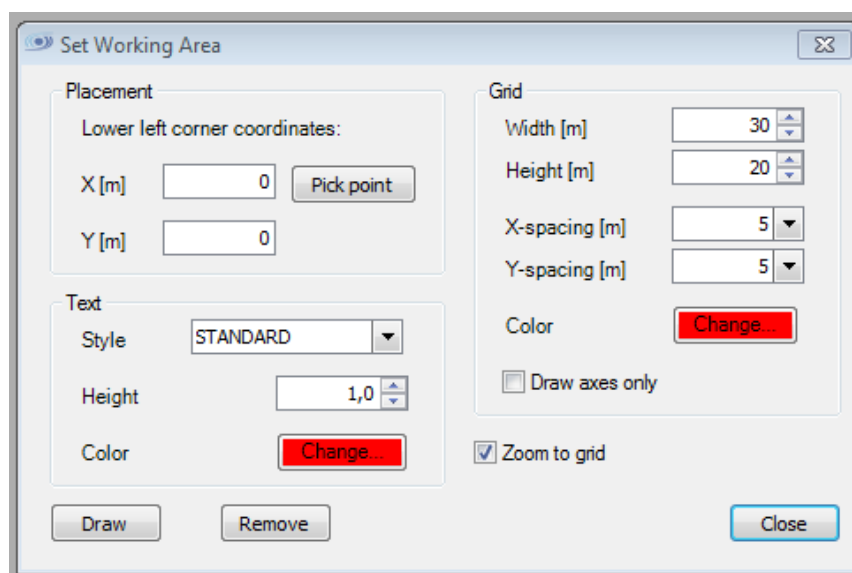
Aloitetaan tarkastelu käynnistämällä Novapoint GeoCalc – ohjelmisto ja tekemällä mahdollinen lisenssinvahvistus.

Valitaan GeoCalc Startup – **ikkunasta New Calculation** → **Settlement** (suom. Uusi painumalaskenta). Ohjelma avaa **Settlement** – laskentamoduulin, minkä voi pienentää oikeasta yläkulmasta. Vaihtoehtoisesti Startup – ikkunan voi sulkea ja valita laskentamoduulin myöhemmin ylävalikosta **Calculation** → **Settlement...**

Aloitetaan laskenta käymällä läpi ensin piirtoasetukset, joissa määritellään koordinaatti- ja piirtoruudukko, sekä tartuntapisteiden ja piirtoverkon pisteiden välit.

5.3 Koordinaattiruudukko

Ensimmäiseksi määritellään piirtoalueelle koordinaattiruudukko valitsemalla **Calculation** → **Set working area**.



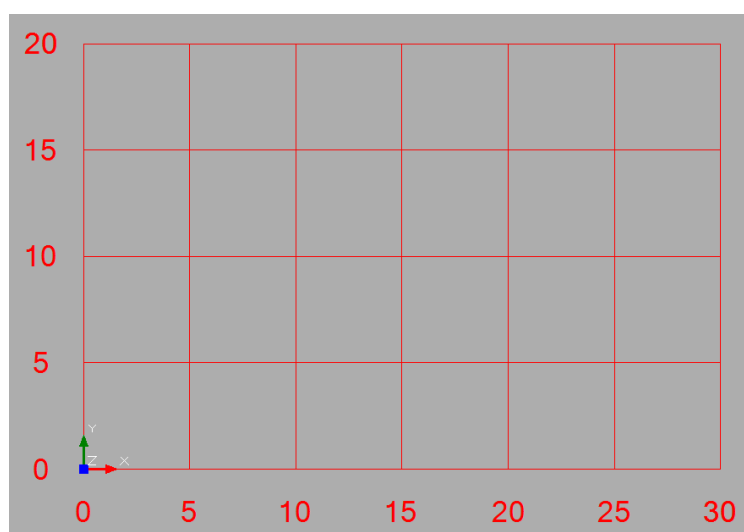
Placement – kohdasta määritetään koordinaattiruudukon vasen alakulma. Valitaan **Pick Point** ja kirjoitetaan alkutilanteen kuvan mukaisesti 0, 0 (x, y). Vaihtoehtoisesti voidaan em. koordinaatit kirjoittaa suoraan ikkunassa **Placement** → **Lower left corner coordinates** – kohtaan.

Grid – kohdasta määritetään koordinaattiruudun koko ja väri.

Text – kohdasta määritetään tekstin tyyli, koko ja väri.

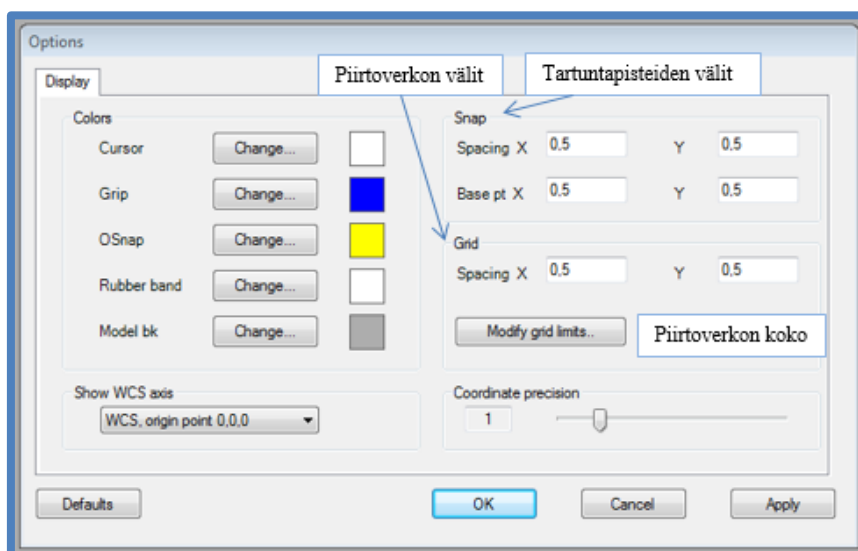
Piirrettyä koordinaattiruudukkoa voidaan tarvittaessa muokata **Set working area** – ikkunasta ja tarvittaessa poistettua painamalla **Remove** – painiketta.

Valitaan tässä harjoituksessa yllä olevan kuvan mukaiset arvot. Kun arvot on muutettu, painetaan **Draw** ja poistetaan ikkunasta painamalla **Close**. Työalueelle tulisi ilmestyä alla olevan kuvan mukainen ruudukko.



5.4 Piirtoasetukset

Seuraavaksi muokataan käytettävien tartuntapisteiden ja piirtoverkon pisteiden väli, valitsemalla grafiikkaikkunan ylävalikosta **Tools** → **Options**.



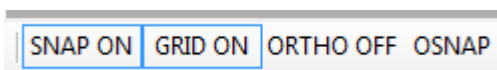
Options – näkymässä määritellään tartuntapisteiden välit (**Snap**) ja piirtoverkon välit (**Grid**). Näihin kannattaa asettaa samat arvot, esim. 0,5 tai 1, riippuen millä tarkkuudella osoittimen tartuntavälit halutaan.

Modify grid limits – kohdassa määritellään piirtoverkon koko. Piirtoverkko kannattaa yleensä asettaa saman kokoiseksi, kuin aiemmin määritetty koordinaattiruudukko. Tällöin piirtoverkon koko annetaan kirjoittamalla alapalkissa olevalle komentoriville ensin **vasemman alakulman koordinaatit (0, 0) → Enter → Oikean yläkulman koordinaatit (0,30) → Enter**.

Vaihtoehtoisesti piirtoverkkoon voidaan antaa klikkaamalla koordinaattiruudukon kulmia tartuntatyökalujen **Osnap** -komento päällä. Jotta muutokset tulevat voimaan painetaan näkymästä **Apply** ja poistutaan painamalla **Ok**.

Näkymän ei tulisi muuttua tämän jälkeen.

Äsken määritellyt tartuntavälit (**Snap**) ja piirtoverkon välit (**Grid**) saadaan voimaan piirtoverkoissa klikkaamalla tartuntatyökalujen **Snap**- ja **Grid** – toiminnot aktiivisiksi.



Snap – ja **Grid** – toimintojen käyttö voi joissakin laskennan vaiheissa vaikeuttaa haluttujen pisteiden valintaa, koska tartunnat tehdään äsken **Options** – ikkunaan asetetuilla tarkkuuksilla.

Tämän vuoksi voi tartuntatyökaluista **Osnap** – tartunnan käyttö olla kätevämpää. Kun **Osnap** valitaan aktiiviseksi, avaa ohjelma erillisen ikkunan, mistä voidaan valita halutut tartuntapisteet (esim. kohta endpoint hakee tartunnan viivojen päätepisteistä).

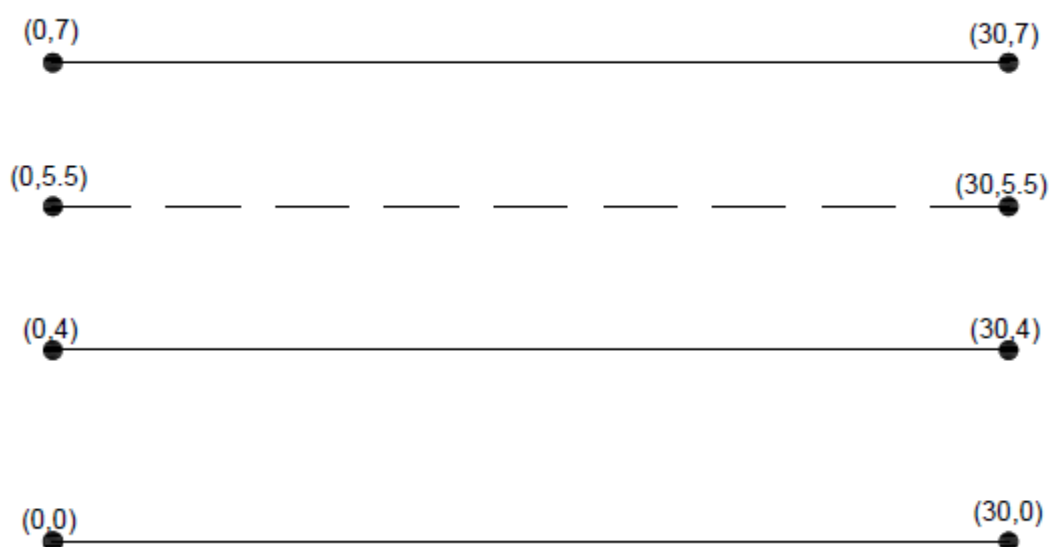
5.5 Laskentamallin piirtäminen

Piirtoasetuksien määrittämisen jälkeen voidaan tehdä laskentamalli tarkasteltavasta tilanteesta. GeoCalc:ssa piirretyt laskentamallit tallennetaan erikseen omaksi tiedostokseen (tiedostomuoto *.vdf) ja varsinainen laskenta suoritetaan laskentamallin ”päällä”. Samalle laskentamallille voidaan tehdä siis useampi tarkastelu, eikä sitä välttämättä tarvitse luoda aina erikseen.

Laskentamallin toimimisen kannalta on sen piirtämisessä tärkeää, että

- Mallin viivat esim. maakerrosrajat ovat piirretty polyline –komennolla. Ohjelma ei tunnista muita viivoja.
- Mallin viivat piirretään vasemmalta oikealle
- Mallin viivat eivät saa mennä ristiin. Viivat voivat olla päällekkäin.

Piirretään alla olevan esimerkkikuvan mukaiset maakerrokset koordinaattipisteiden avulla. Huomaa, että malliin piirretään maakerrokset vain kaivuun leikkauspintaan asti.



Valitaan työkalupaletista **Polyline** – komento →, tai valikosta **Draw** → **Polyline**.

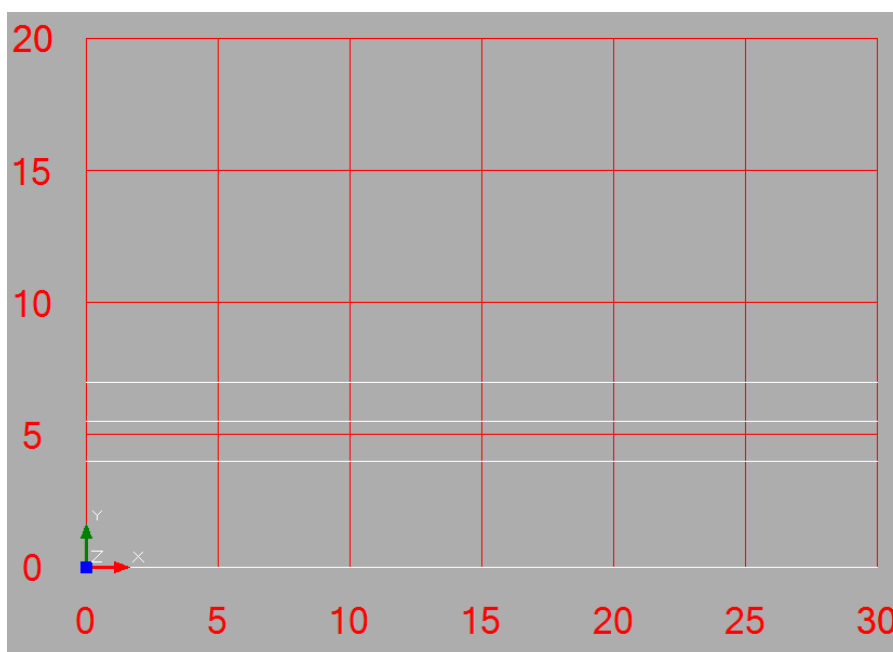
Jos **Polyline** – komentoa ei löydy suoraan valintaikkunan työkalurivistä, voidaan **Draw – toolbar** asettaa näkyville valitsemalla **View** → **Toolbars** → **Draw**.

Viiva voidaan piirtää valitsemalla sijaintipisteet suoraan koordinaattiruudukosta osoittimella, tai kirjaamalla sijaintipisteet komentoriville esim. **0,0** → **Enter** → **30,0** → **Enter**... jne. Viiva päätetään painamalla näppäimistöltä **Enter** tai **Esc** -painiketta. Toiminto aloitetaan uudelleen jokaisen viivan päätyttyä.

Huomaa, että koordinaatteja syöttäessä x-, y- ja z-koordinaatit erotetaan toisistaan pilkulla (esim. 0, 0, 0) ja koordinaattien desimaalit pisteellä (esim. 0, 1.5, 0).

Poikkileikkauksia piirtäessä ei z – koordinaatin käyttö ole kuitenkaan tarpeellista, miksi arvot voidaan syöttää pelkillä x- ja y – koordinaateilla.

Maakerrosten tulisi valmiina näyttää seuraavalta:



Mallin ollessa valmis tallennetaan se valikosta **File** → **Save As**. Tarkistetaan, että tiedostomuoto on vdf – muotoa.

Mallin piirtämisen sijaan voidaan GeoCalc – ohjelmaan myös avata olemassa oleva DWG – tiedosto (eli esim. AutoCad:lla piirretty tiedosto). Tällöinkin on huomioitava, että laskentamalli muodostuu polyline – viivoista. Lisäksi silloin määritellään koordinaatiston sijainti **Calculation** → **Set Coordinates** → kirjataan komentoriville 0,0,0.

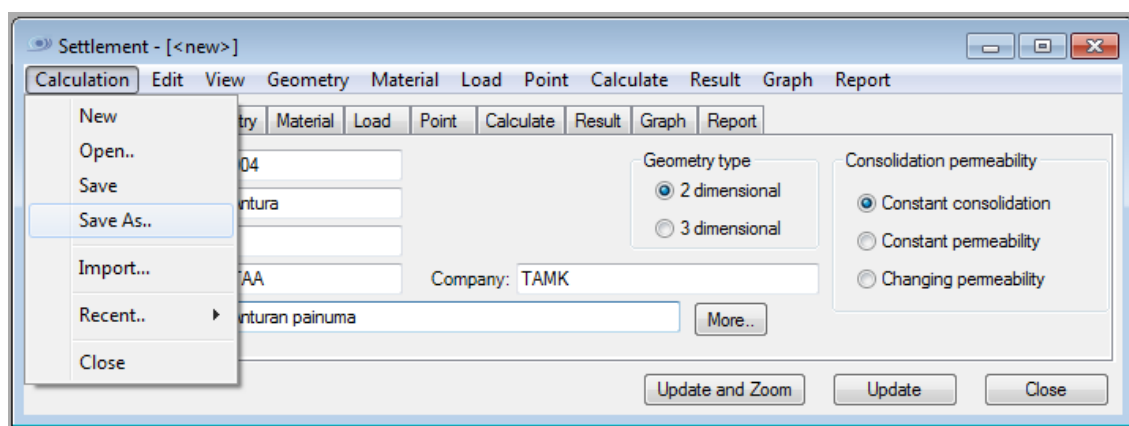
5.6 Eurokoodien mukainen käyttörajatilamitoitus

Laskentamallin muodostamisen jälkeen avataan **Settlement** – laskentamoduuli.

Laskentamoduuli koostuu välilehdistä, joihin syötetään laskennassa käytettäviä lähtötietoja. Tiedot täytetään käymällä välilehdet järjestyksessä läpi vasemmalta oikealle, kunnes päästään laskennan tuloksiin. Laskentamoduulien eri kohdille saadaan melko kattavat suomenkieliset selitteet viemällä hiiri aina tarkasteltavan kohdan päälle.

5.6.1 Laskennan yleiset tiedot

General – välilehdellä täytetään laskennan yleiset tiedot, kuten projektinumero, asiakas, laskija jne.



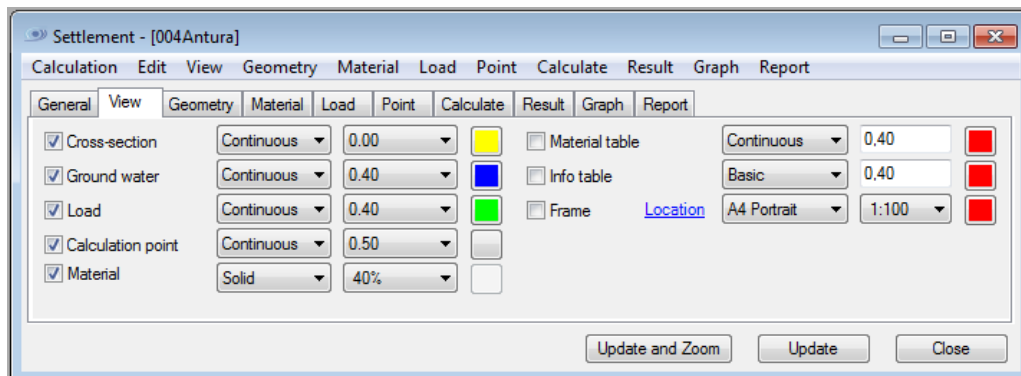
Tallennetaan laskenta valitsemalla ylävalikosta **Calculation** → **Save As...** Painumalaskennat tallentuvat tiedostomuotoon ”*.gcse”.

Tarvittaessa voidaan **Default Values** – painikkeesta muokata laskennassa yleisesti käytettäviä tietoja, kuten veden tilavuuspainoa.

More – painikkeesta voidaan laskentaan liittää muistiinpanoja, huomautuksia ym. Piirtotilan saa päivitettyä **Update** – painikkeesta missä vaiheessa laskentaa tahansa.

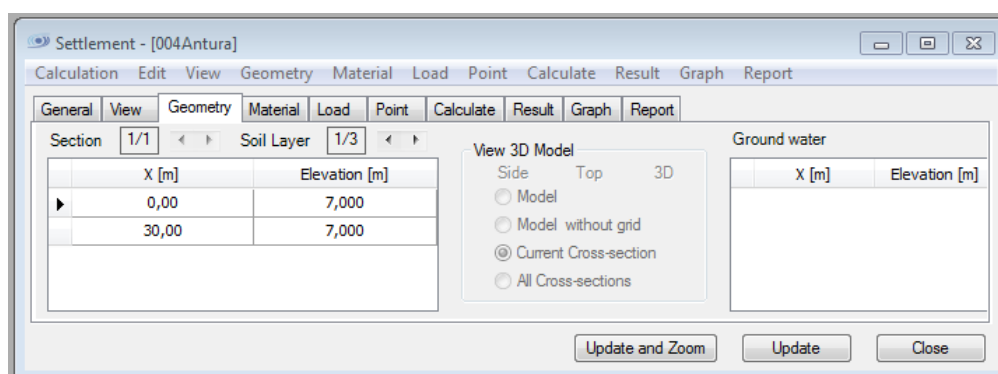
5.6.2 Piirtoasetukset

View – välilehdellä muokataan näyttöasetuksia, eli sitä, miten laskenta esitetään grafiikkaikkunassa ja tulostuksessa. Palataan näihin asetuksiin tarkemmin tulostusta tarkasteltaessa.



5.6.3 Laskennan poikkileikkausgeometria

Geometry-välilehdellä määritellään laskennassa käytettävien maakerrosten, kallion, pohjaveden ja orsiveden geometria poikkileikkauksessa.

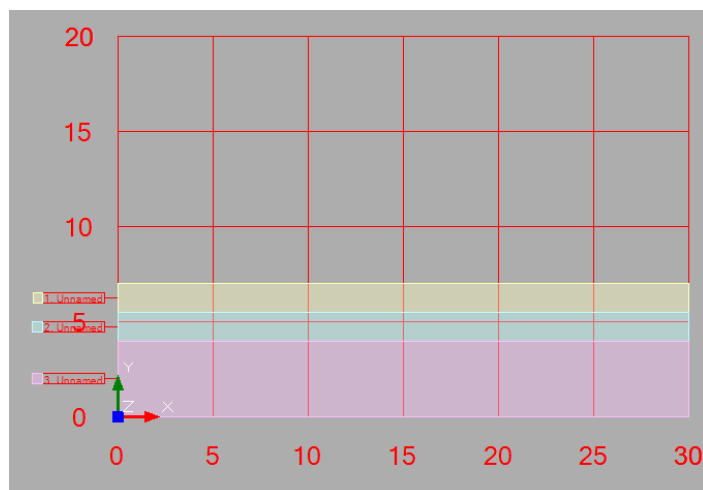


Määritellään eri maakerrosten rajat valitsemalla laskentamoduulin yläpalkista **Geometry** → **Select Soil Layer Polylines** → **Free Order**. Komento sulkee laskentaikkunan ja seuraavaksi laskentamallista valitaan maakerrosrajat vapaassa järjestyksessä. Valittu viiva muuttaa värinsä keltaiseksi. Ohjelma muodostaa automaattisesti alimmasta valitusta viivasta kovan pohjan.

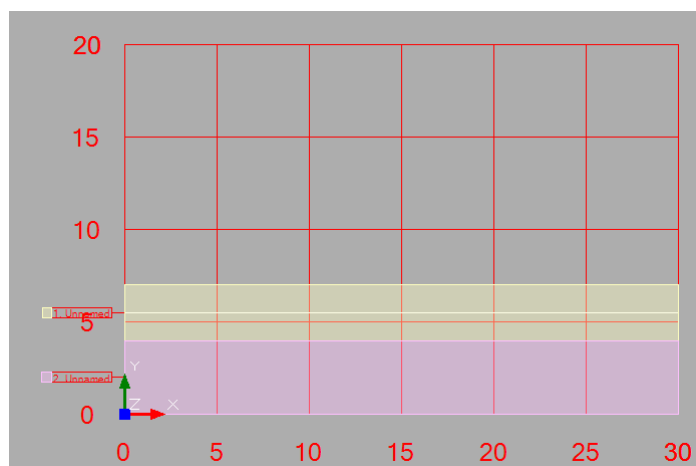
Huomaa, että malliin piirrettyä pohjavedenpinnan rajaa ei valita tässä kohdassa! Jos pohjavedenpinta on kuitenkin valittu, painetaan Esc ja tehdään valinta uudestaan. Kun

kaikki rajapinnat on valittu, painetaan **Enter**. Valittujen maakerrosten tulisi muuttua rasteroiduksi, jos **View** – välilehden **Material** – kohta on jätetty aktiiviseksi.

Maakerrosten poistaminen ja lisääminen onnistuvat myös jälkikäteen. Jos on valittu esimerkiksi vahingossa pohjavedenpinta – viiva geometrian valintaa tehdessä, ohjelma määrittää yhden ylimääräisen maakerroksen.

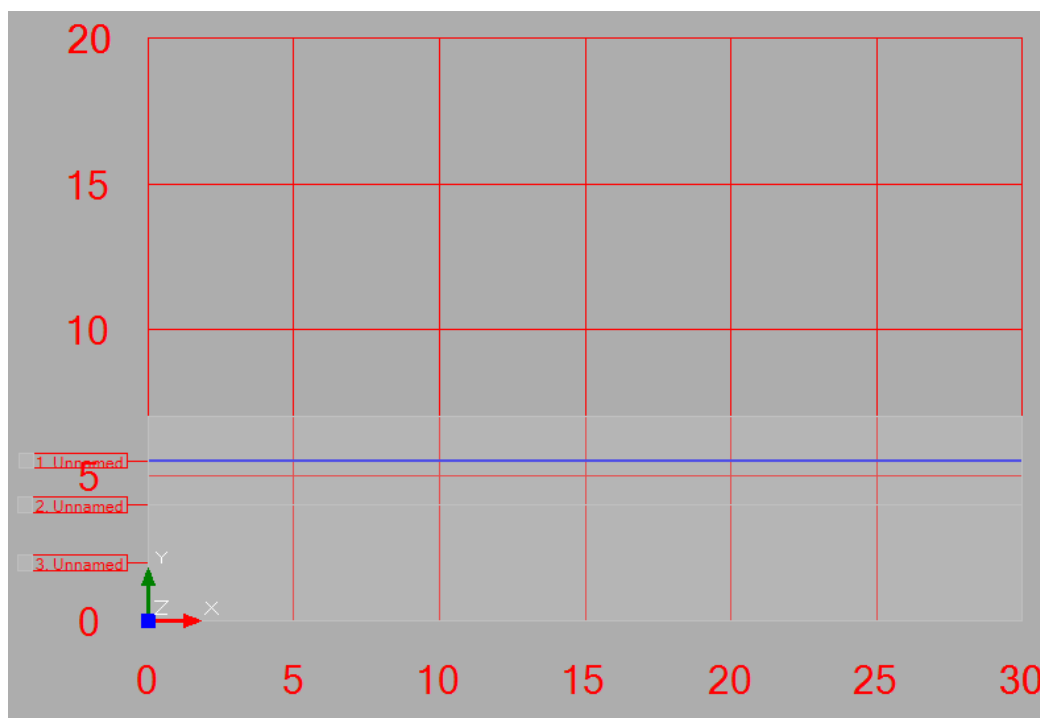


Poistetaan maakerros valitsemalla laskentamoduulin yläikkunasta **Geometry** → **Remove** → **Soil layer**. Minkä jälkeen näytetään poistettava rajapinta. Tässä tapauksessa siis pohjavedenpinta. Ohjelma poistaa valitun rajapinnan ja liittää sen yläpuoliseen maakerrokseen.



Vastaavasti maakerroksia pystytään lisäämään jälkikäteen valitsemalla **Geometry** → **Add Soil Layer**. Minkä jälkeen näytetään lisättävä rajapinta. Ohjelma lisää automaattisesti uuden maakerroksen valitun ja alemman maakerroksen rajapinnan välille.

Seuraavaksi valitaan pohjavedenpinta laskentamallista. Valinta tehdään kuten maakerrosrajojen valinta: **Geometry** → **Select Ground Water Polyline**. Valitaan laskentamallista savikerroksen yläpinta, jonka jälkeen viivan tulisi muuttua siniseksi.



5.6.4 Maakerrosten laskentaparametrit

Material – välilehdellä määritellään äsken muodostettujen maakerrosten parametrit. Täytetään tiedot kuten alla olevassa kuvassa:

Id	Color	Soil layer	Material model	Consolidation pressure	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	σ_c	OCR	POP	σ_c top	σ_c bottom	M
1	...	Hiekka1	Ohde-Janbu	Pre Overburden pres...	17,000	17,000						
2	...	Hiekka2	Ohde-Janbu	Pre Overburden pres...	17,500	17,500						

Painumien laskentatapana käytetään siis Ohde – Janbun tangenttimoduulimenetelmä.

Maaparametrit voidaan antaa suoraan välilehdillä oleville riveille, tai valitsemalla ylävalikosta **Material** → **Parameters...**

Ohjelma avaa **Settlement Material parameters** – ikkunan. Täytetään maakerroksien tiedot seuraavien kuvien mukaisesti:

Labels on the left:

- Moduuliluku
- JännitysekspONENTTI
- Vakio ylikonsolidaatioaste maakerroksessa
- Annettu konsolidaatiojännitys
- Normaalikonsolidoituneen osan konsolidaatiokerroin
- Ylikonsolidoituneen osan konsolidaatiokerroin
- Kerroksen vedenjohtavuus
- Kerrosten selaus

Settlement Material parameters (Layer 1/2):

Consolidation pressure:

- Constant consolidation pressure, σ_c : []
- Over consolidation ratio, OCR: []
- Pre overburden pressure, POP: 4,50
- Upconsolidation pressure, σ_c top: []
- Downconsolidation pressure, σ_c bottom: []

Permeability:

- Coefficient consolidation, C_v NC [$m^2/year$]: 1,00000
- Coefficient consolidation, C_v OC [$m^2/year$]: 10,00000
- Vertical coefficient for permeability, k [$m/year$]: []
- Initial value for permeability, k_0 [$m/year$]: []
- Exponent of deformation, α : []
- Not fully permeable horizontally
- Fully permeable horizontally
- Color [Color]

Material parameters:

- Constant M [kPa]: []
- Modulus number NC, m_1 : 50,00
- Stress exponent NC, β_1 : 0,50
- Modulus number OC, m_2 : 50,00
- Stress exponent OC, β_2 : 0,50
- m_1 bound to σ_c
- Given consolidation pressure, σ_c oedo [kPa]: 4,50
- Compression index NC, C_c : []
- Void ratio, e_0 : []
- Compression index OC, C_r : []
- Water content, w [%]: []
- Compressibility (over consolidated), M_0 [kPa]: []
- Compressibility between press. and stress, M_L [kPa]: []
- Modulus number when effective stress, M' : []
- $\alpha_L - \alpha$ [kPa]: []

Navigation: << Layer 1/2 >> OK Cancel

Settlement Material parameters (Layer 2/2):

Consolidation pressure:

- Constant consolidation pressure, σ_c : []
- Over consolidation ratio, OCR: []
- Pre overburden pressure, POP: 4,50
- Upconsolidation pressure, σ_c top: []
- Downconsolidation pressure, σ_c bottom: []

Permeability:

- Coefficient consolidation, C_v NC [$m^2/year$]: 1,00000
- Coefficient consolidation, C_v OC [$m^2/year$]: 1,00000
- Vertical coefficient for permeability, k [$m/year$]: []
- Initial value for permeability, k_0 [$m/year$]: []
- Exponent of deformation, α : []
- Not fully permeable horizontally
- Fully permeable horizontally
- Color [Color]

Material parameters:

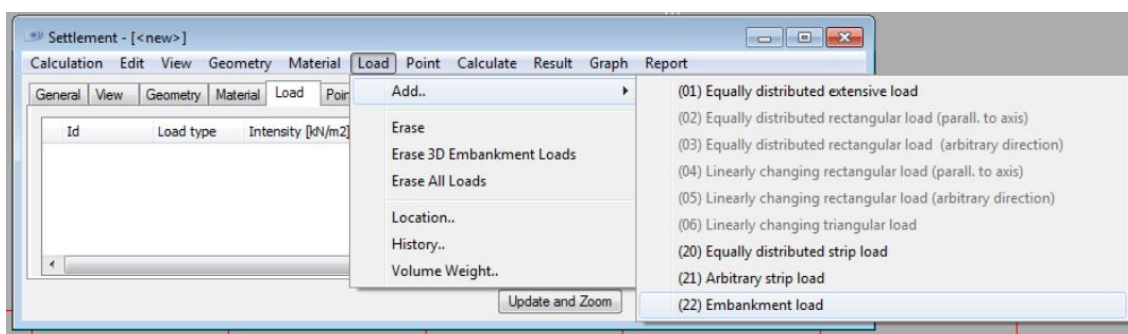
- Constant M [kPa]: []
- Modulus number NC, m_1 : 150,00
- Stress exponent NC, β_1 : 0,50
- Modulus number OC, m_2 : 150,00
- Stress exponent OC, β_2 : 0,50
- m_1 bound to σ_c
- Given consolidation pressure, σ_c oedo [kPa]: 0,00
- Compression index NC, C_c : []
- Void ratio, e_0 : []
- Compression index OC, C_r : []
- Water content, w [%]: []
- Compressibility (over consolidated), M_0 [kPa]: []
- Compressibility between press. and stress, M_L [kPa]: []
- Modulus number when effective stress, M' : []
- $\alpha_L - \alpha$ [kPa]: []

Navigation: << Layer 2/2 >> OK Cancel

Huomaa, että molempiin kerroksiin annetaan ylikonsolidaation vakioarvoksi $4,5 \text{ kN/m}^2$. Tämä johtuu poistetusta pintamaasta, jonka aiheuttama konsolidaatiojännitys on $15 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m} = 4,5 \text{ kN/m}^2$

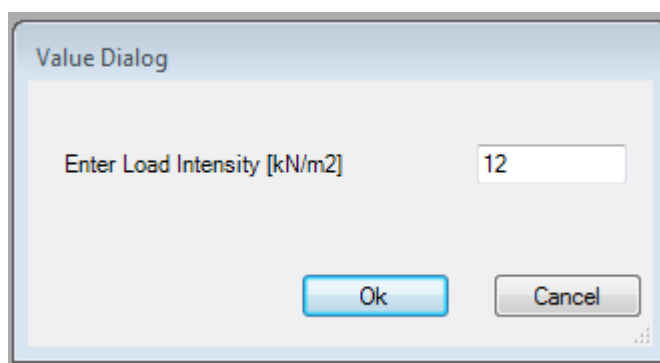
5.6.5 Kuormitus

Load – välilehdellä määritellään anturan ja laaja-alaisen täytön maaperään aiheuttamat kuormitukset.



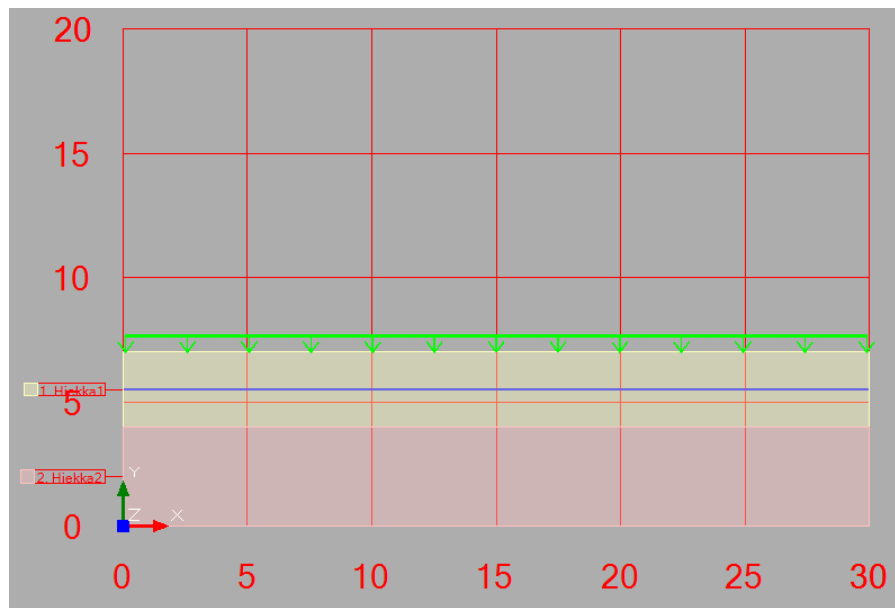
Lisätään ensin laaja-alaisen täytön aiheuttama kuormitus valitsemalla **Load** → **Add..** → **Equally distributed extensive load**. Tämän jälkeen komentorivillä pyydetään valitsemaan kuormituksen sijaintipinta. Valitaan siis maanpinta.

Ohjelma avaa **Value Dialog** – ikkunan, mihin määritetään täytön aiheuttama kuormitus ($20 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,6 \text{ m} = 12 \text{ kN/m}^2$):

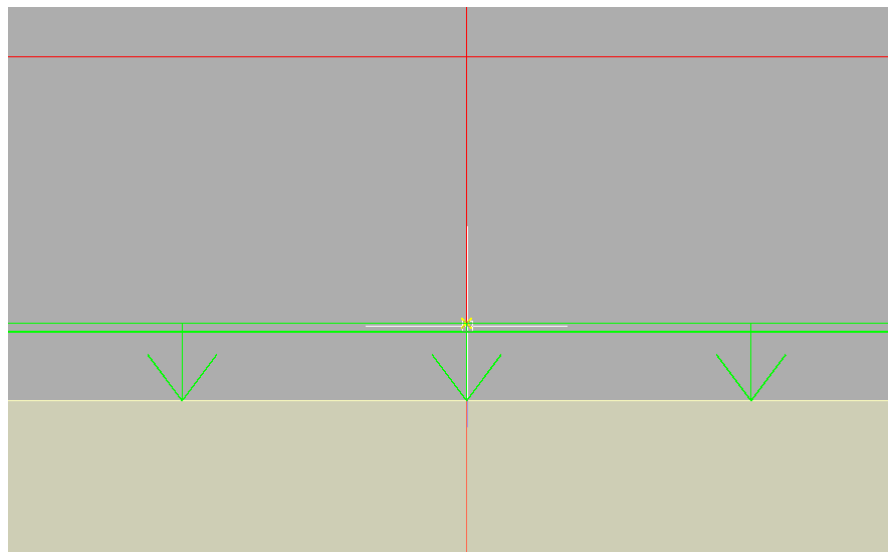


Suljetaan ikkuna painamalla **OK**.

Tämän jälkeen laskentamallin kuuluisi näyttää alla olevan kuvan mukaiselta:

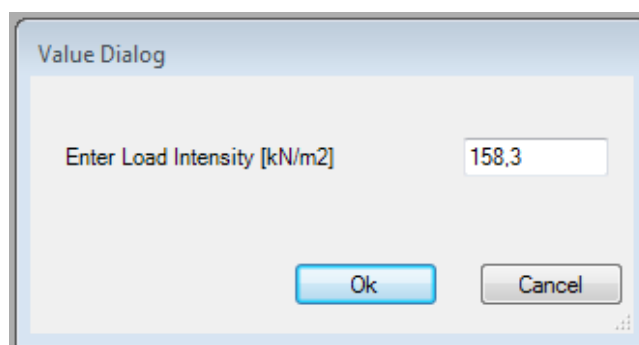


Seuraavaksi määritetään anturan aiheuttama kuormitus valitsemalla **Load** → **Add..** → **Equally distributed strip load**. Tämän jälkeen komentorivillä pyydetään valitsemaan kuormituksen vasen alakulma. Valitaan piste laskentamallin keskeltä (x – akselilta 15).



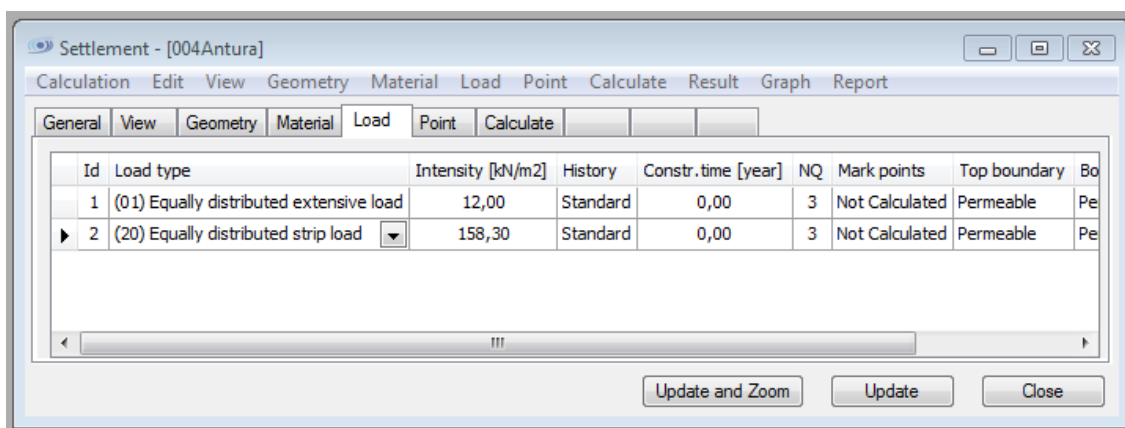
Tämän jälkeen pyydetään antamaan kuorman sijainnin oikea kulma. Anturan leveys on 0,6 m, joten kirjataan uudet koordinaatit (15.6,7.7).

Tämän jälkeen ohjelma avaa **Value Dialog** – ikkuna, mihin määritetään anturan aiheuttama kuormitus ($95 \text{ kN/m} / 0,6 \text{ m} = 158,3 \text{ kN/m}^2$):

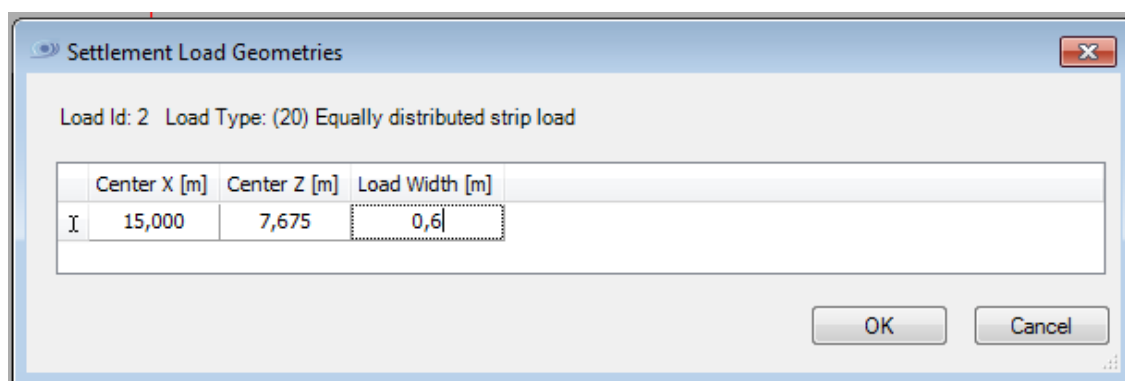


Suljetaan ikkuna painamalla **Ok**.

Load – välilehdelle tulevat näkyviin jokainen lisätyistä kuormista.



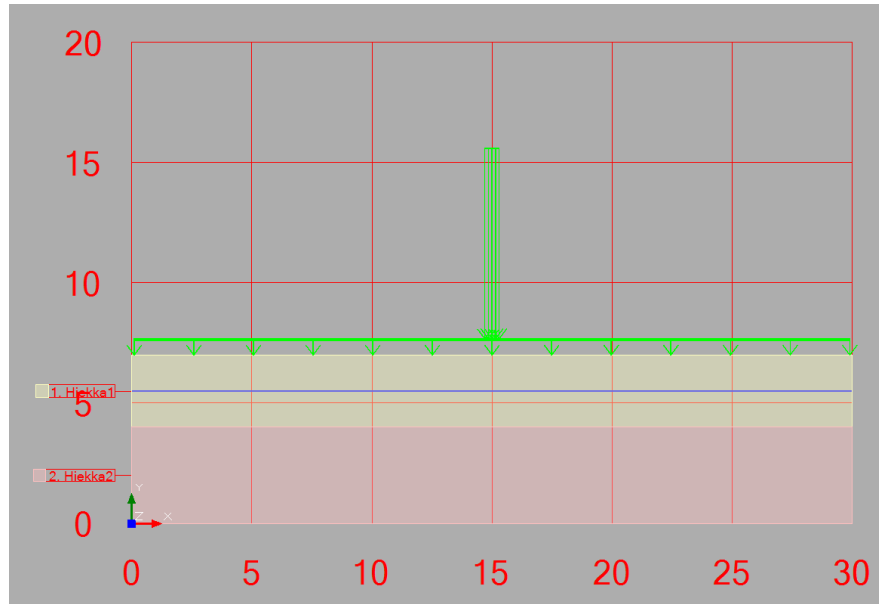
Kuormituksen leveyden ja sijainnin voi tarkistaa valitsemalla laskentamoduulin valikosta **Load** → **Location**. Ohjelma avaa **Settlement Load Geometries** – ikkunan välilehdellä aktiivisena olevasta kuormituksesta. Tästä voidaan muokata anturakuormitus sijaitsemaan keskelle laskentamallia kohdassa **Center X**:



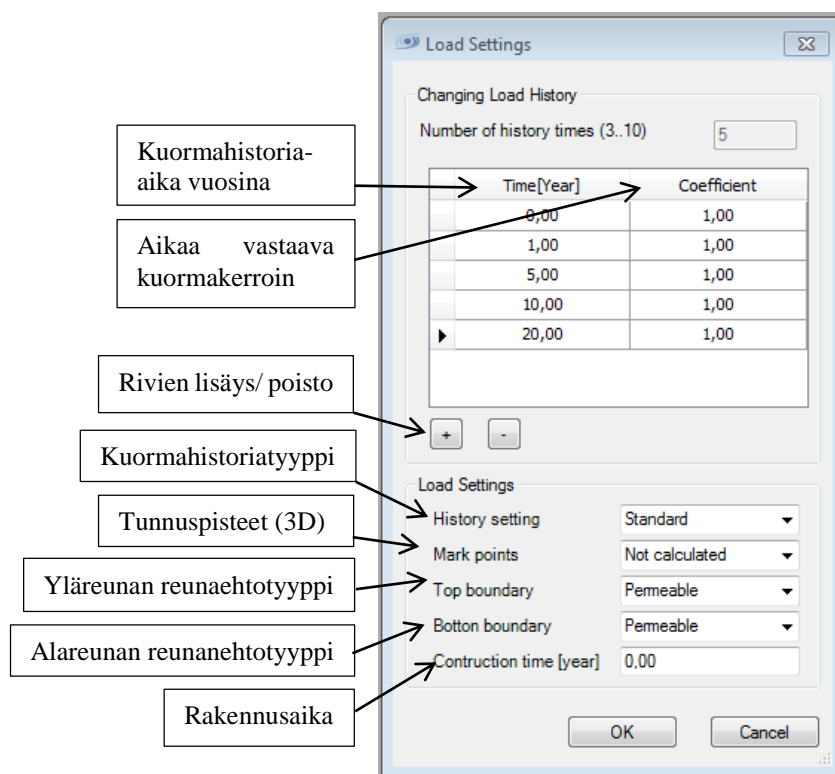
Kuormituksen (eli anturan) leveyttä pystytään muuttamaan kohdassa **Load width**.

Suljetaan ikkuna valitsemalla **OK**.

Kuormien lisäämisen jälkeen laskentamallin tulisi näyttää samalta, kuin alla olevassa kuvassa:



Määritetään seuraavaksi kuormahistoria valitsemalla **Load** → **History**, mistä ohjelma avaa **Load History** – ikkunan:



Päätetään valinta arvojen syöttämisen jälkeen painamalla **OK**.

5.6.6 Laskentapisteiden määrittäminen

Point- välilehdellä määritetään seuraavaksi laskentapisteet, joiden kohdalla laskenta suoritetaan. Valitaan ylävalikosta **Point** → **Add Pattern**.

Ohjelma avaa **Settlement – Calculation points** – ikkunan, mihin määritetään rajat, millä leveydellä painumalaskenta suoritetaan ja millaisella pistejaolla.

Syötetään tiedot alla olevan kuvan mukaisesti, jolloin laskenta suoritetaan koko laskentamallin leveydellä, 1 metrin pistejaolla. Laskenta suoritetaan 8 metrin syvyyteen asti.

Settlement - Calculation points

LIMIT VALUES:
LeftX (min) = 0,000
RightX (max) = 30,000
Z (elevation) = 7,000

X (from left) [m]: 0 X (to right) [m]: 30
Distance in X direction [m]: 1,00

Y (from near) [m]: 0 Y (to far) [m]: 0
Distance in Y direction [m]:

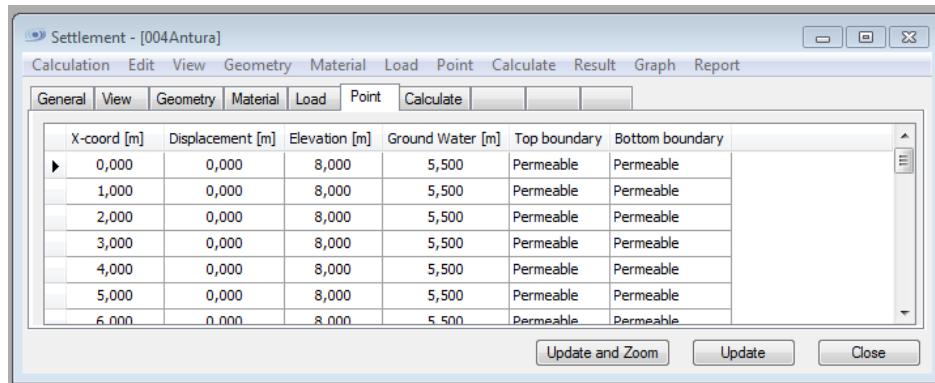
Z (elevation) [m]: 8,00

OK Cancel

Arvojen määrittämisen jälkeen suljetaan ikkuna painamalla **OK**.

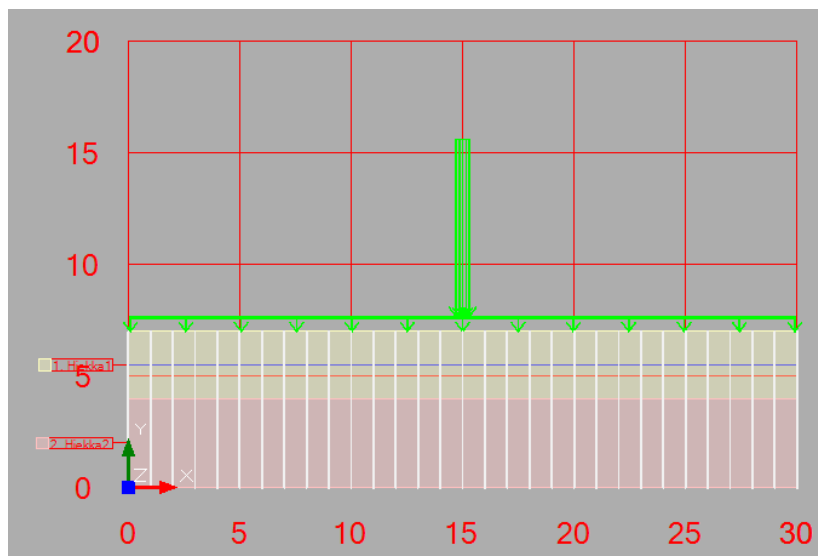
Yksittäisiä laskentapisteitä voidaan lisätä valitsemalla ylävalikosta **Point** → **Add Points..**, ja osoittamalla mallista mihin laskentapiste sijoitetaan.

Tämän jälkeen näkymän tulisi Point – välilehdellä olla kuten alla:



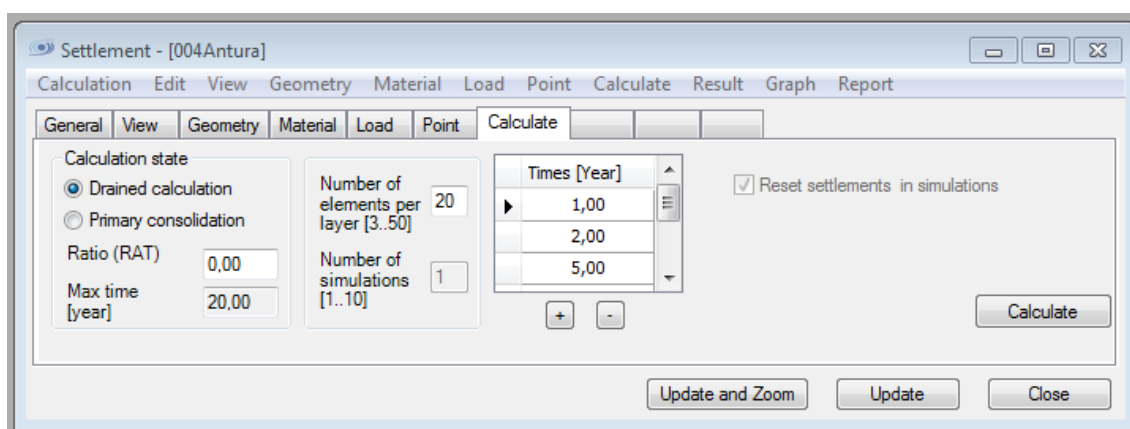
Varmistetaan yllä olevasta näkymästä, että reunojen kuivatus ehdot on määriteltty vettä läpäiseviksi (engl. **Permeable**), jolloin vesi pääsee vapaasti liikkumaan.

Kun kaikki arvot on syötetty, päivittää ohjelma laskentapisteet laskentamalliin.



5.6.7 Laskenta

Calculate – välilehdellä määritellään laskennan asetukset ja käynnistetään laskenta.



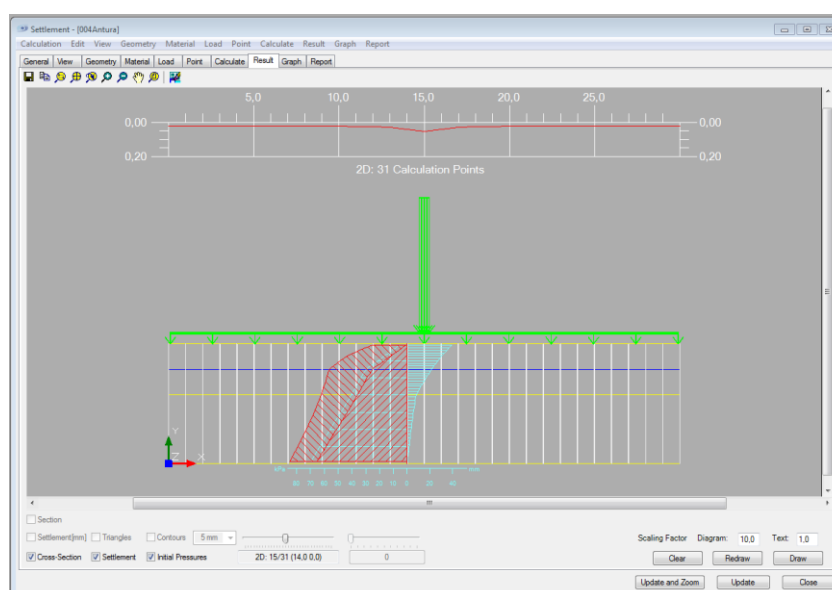
Tässä esimerkissä lasketaan kitkamaan kokonaispainumaa miksi valitaan **Drained Calculation**.

Laskettaessa painumia koheesiomaalajeille valitaan **Primary consolidation**, jolloin saadaan myös aika-painuma-kuvaaja.

Näiden jälkeen painetaan **Calculate** – painiketta, jolloin ohjelma suorittaa laskennan.

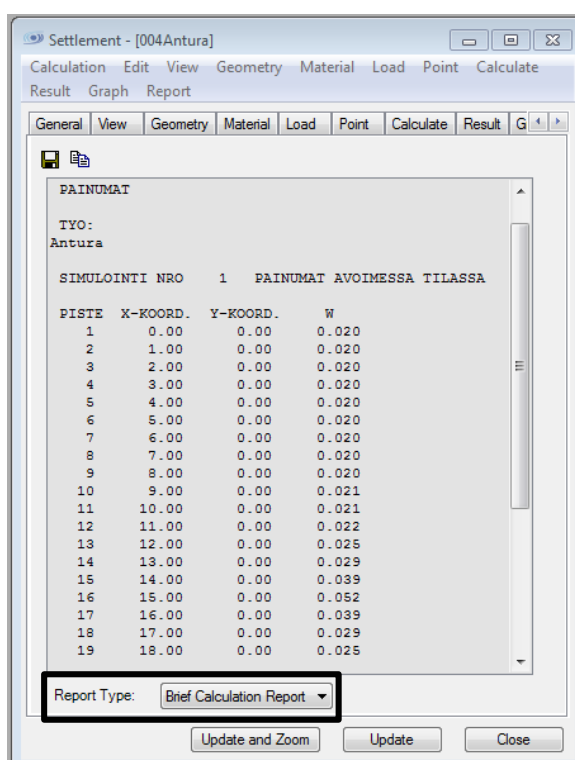
5.6.8 Tulokset

Laskennan päätyttyä ohjelma avaa **Result** – välilehden, mihin on tulostunut maapohjaan muodostuvat painumat ja painekäyrät.



Ikkunan alakulmasta pystytään säätämään eri osioiden näkyvyyttä poistamalla ruksi niiden edestä. Liukusäätimellä pystytään taas tarkastelemaan painekäyriä penkereen eri laskentapisteissä.

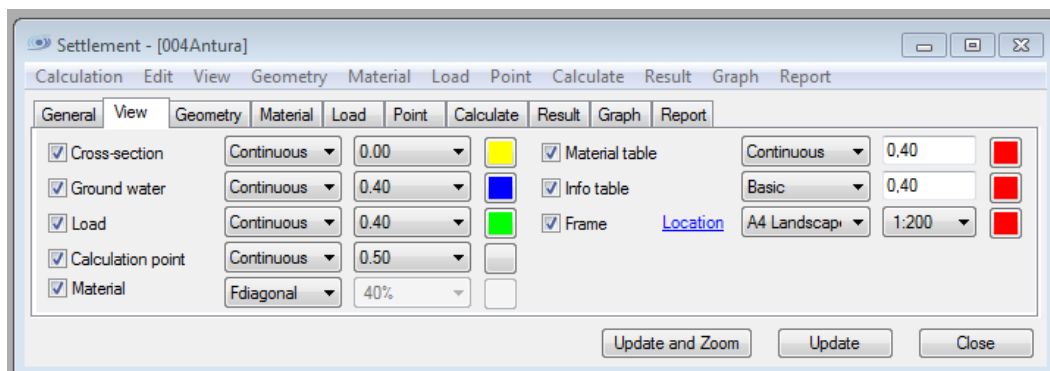
Tarkistetaan **Report** – välilehdeltä mihin laskentapisteeseen on aiheutunut suurimmat painumat valitsemalla **Report Type:** → **Brief Calculation Report**. Kokonaispainumat löytyvät W – sarakkeelta.



Laskenta saadaan tallennettua valitsemalla laskentamoduulin ylävalikosta **Calculation** → **Save**. Stabiilitelaskennat tallentuvat tiedostomuotoon ”*.gcse”. Koska tässä laskentaesimerkissä tehdään useampia tarkasteluja, on jokainen tehdyistä laskennoista suositeltavaa tallentaa eri nimillä.

5.6.9 Tulostus

Käsitellään laskennan jälkeen tulostamista ja palataan Stability – laskentamoduulissa välilehdelle **View**.




Muutetaan **Material** – kohdassa materiaalin rasterointi tulosteelle vähemmän raskaaksi, esim. ruudukoksi (engl. cross). Vaihtoehtoisesti rasteroinnin voi jättää kokonaan pois poistamalla rasti pois **Material** kohdasta.

Valitaan **Frame** – kohta aktiiviseksi ja sen viereisistä pudotusvalikoista määritetään paperin kooksi ja asetteluksi **A4 Landscape**. Lisäksi valitaan mittakaavaksi **1:200**.

Määrätään paperille sijainti viereisestä **Location** – linkistä ja annetaan grafiikkaikkunassa kehyksen vasen alakulma. Uusi sijainti saadaan määrättyä valitsemalla **Location** → **uusi sijainti**.

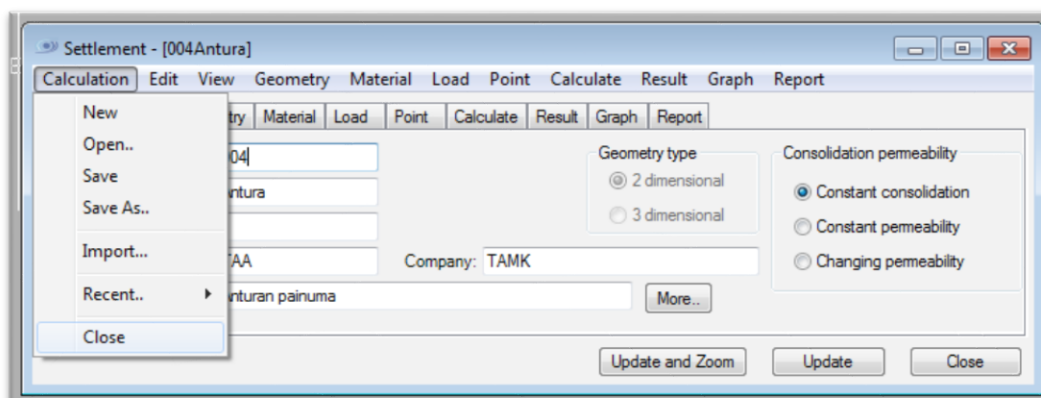
Valitaan myös kohdat **Material table** ja **Info table** aktiivisiksi, jolloin saadaan nimiö ja laskennassa käytetyt maaparametrit näkyviin.

Koska materiaalien parametritaulukko on melko pitkä, menee se hieman päällekkäin nimiön kanssa. Taulukkoa saa siirrettyä valitsemalla  Move – komento joko työkalupaletista, tai piirtoalustan valikosta **Modify** → **Move**.

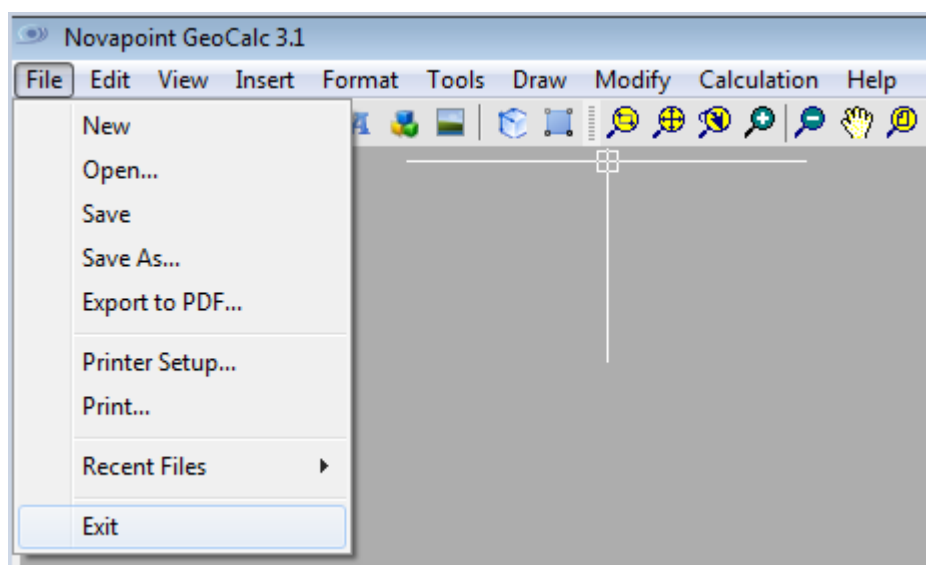
4.7 Laskennan lopetus

Kun molemmat laskentavaiheet on laskettu, tallennettu ja tulostettu, voidaan laskentamoduuli ja GeoCalc – ohjelmisto sulkea.

Suljetaan Stability – laskentamoduuli **Calculation** → **Close**.



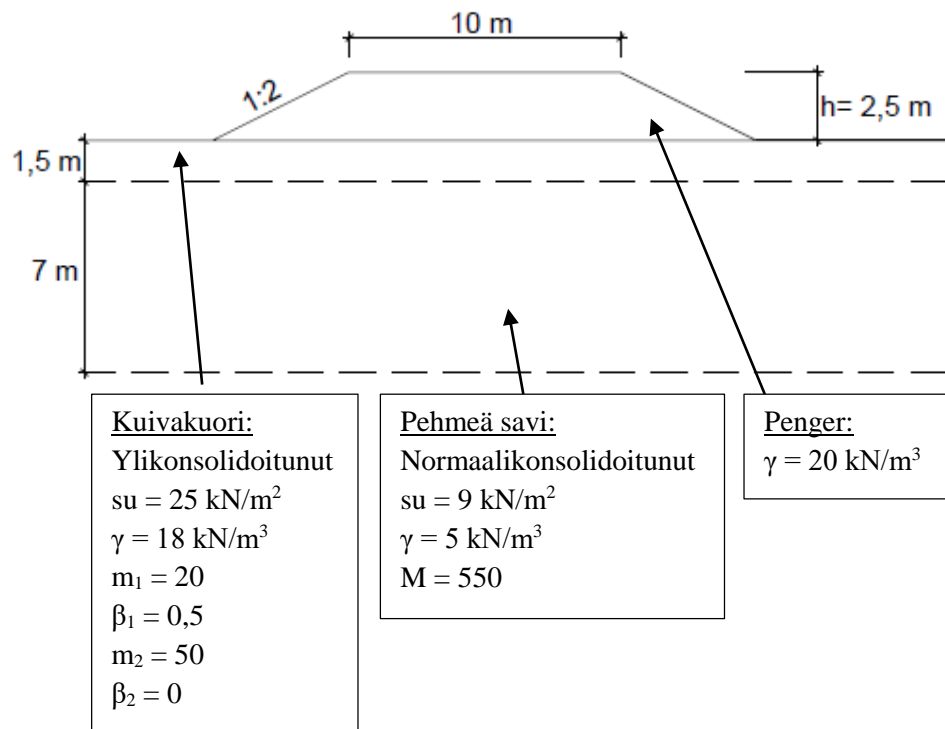
Suljetaan Novapoint GeoCalc piirtotilassa ylävalikosta **File** → **Exit**.



Liite 6. Pilaristabilointi

5.1 Lähtötiedot

Tässä laskentaesimerkissä testataan Novapoint GeoCalcin käyttöä pilaristabiloinnin mitoituksessa. Mitoitetaan pilaristabilointi alla kuvatussa tilanteessa:



- Vastapenkereille ei ole tilaa
- Sideaine on kalkkisementtiä (kalkkia 50 %)
- Pilarin leikkauslujuus on $\tau = 100 \text{ kN/m}^2$
- Pilarin muodonmuutosmoduulina käytetään 150 kertaista leikkauslujuuden arvoa
 $150\tau = E$
- Pilarin ja maan vedenjohtavuus on 100 %

5.2 Käynnistys

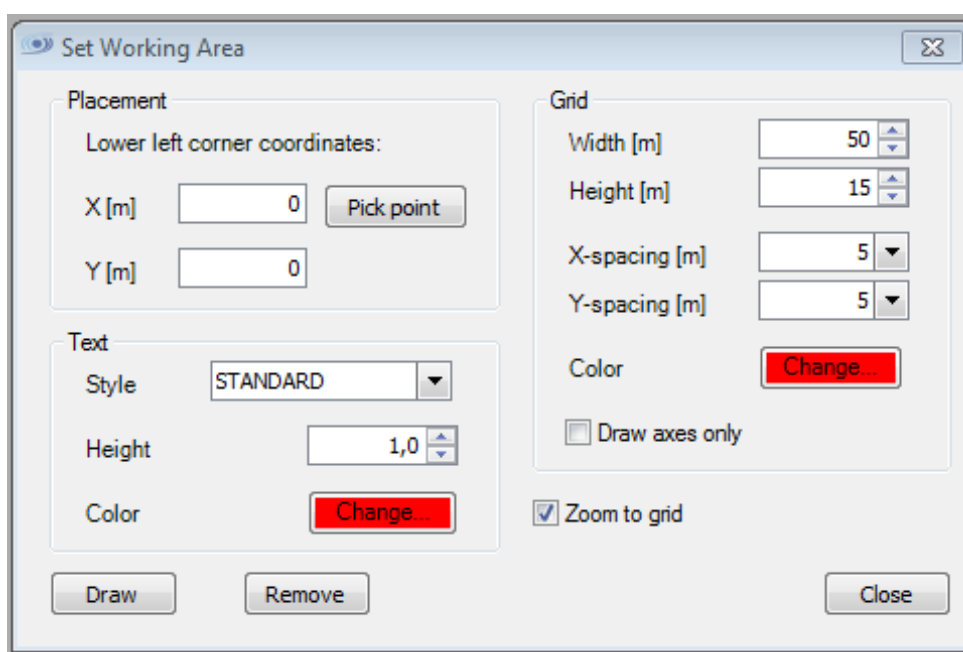
Käynnistetään Novapoint GeoCalc – ohjelma ja tehdään mahdollinen lisenssinvahvistus. Oppilaitoksissa valitaan yleensä vaihtoehto **Novapoint 16 licensing**.

Valitaan GeoCalc Startup – ikkunasta **New Calculation** → **Stability** (suom. Uusi stabiliteettilaskenta). Ohjelma avaa Stability – laskentamoduulin, minkä voi pienentää ikkunan oikeasta yläkulmasta. Vaihtoehtoisesti Startup – ikkunan voi sulkea ja valita laskentamoduulin myöhemmin ylävalikosta **Calculation** → **Deep Stabilization...**

Aloitetaan laskenta käymällä läpi ensin piirtoasetukset, joissa määritellään koordinaatti- ja piirtoruudukko, sekä tartuntapisteiden ja piirtoverkon pisteiden välit.

5.3 Koordinaattiruudukko

Ensimmäiseksi määritellään piirtoalueelle koordinaattiruudukko valitsemalla **Calculation** → **Set working area**.



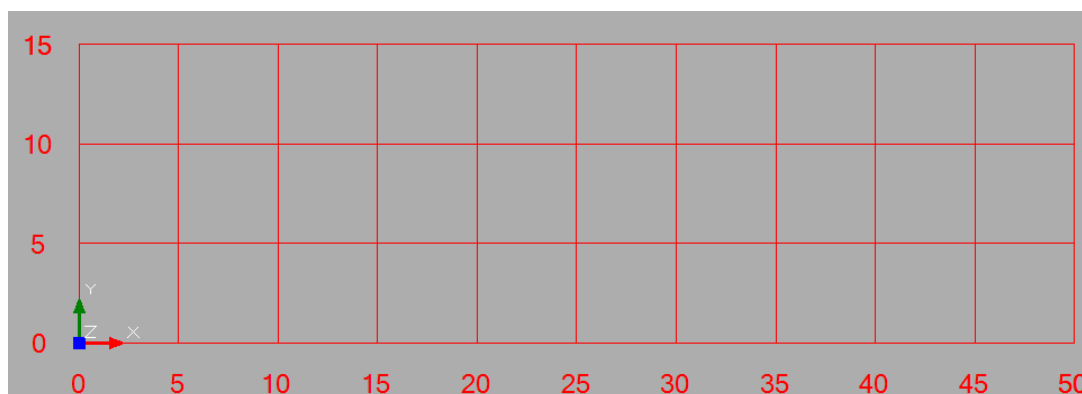
Placement – kohdasta määritetään koordinaattiruudukon vasen alakulma. Valitaan **Pick Point** ja kirjoitetaan komentoriville arvoksi 0, 0, 0 (x, y, z), koska tarkempia koordinaatteja ei ole annettu. Vaihtoehtoisesti voidaan em. koordinaatit kirjoittaa suoraan kohtaan **Placement** → **Lower left corner coordinates**.

Grid – kohdasta määritetään koordinaattiruudukon koko ja väri.

Text – kohdasta määritetään tekstin tyyli, koko ja väri.

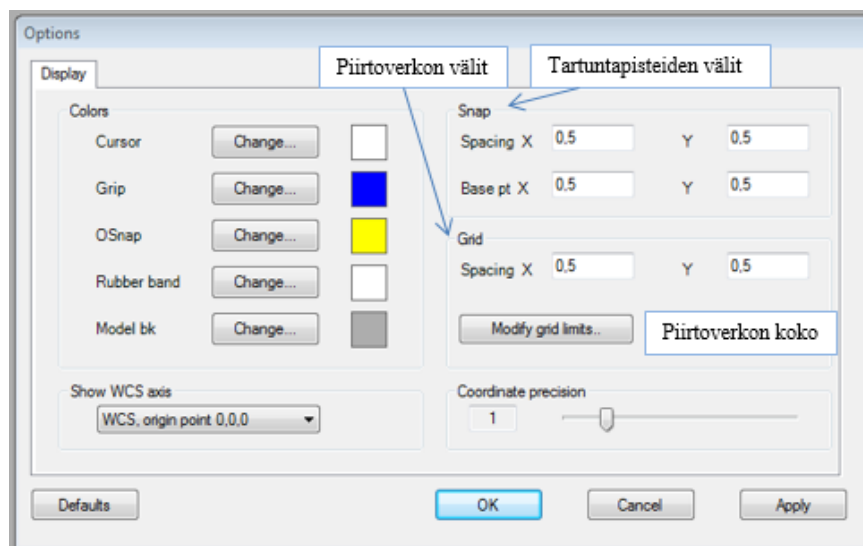
Piirrettyä koordinaattiruudukkoa voidaan tarvittaessa muokata **Set working area** – ikkunasta ja tarvittaessa poistettua painamalla **Remove** – painiketta.

Valitaan tässä harjoituksessa yllä olevan kuvan mukaiset arvot. Kun arvot on muutettu, painetaan **Draw** ja poistetaan ikkunasta painamalla **Close**. Työalueelle tulisi ilmestyä alla olevan kuvan mukainen ruudukko.



5.4 Piirtoasetukset

Seuraavaksi muokataan käytettävien tartuntapisteiden ja piirtoverkon pisteiden välit, valitsemalla grafiikkaikkunan ylävalikosta **Tools** → **Options**.



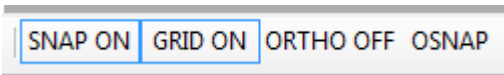
Options – näkymässä määritellään tartuntapisteiden välit (**Snap**) ja piirtoverkon välit (**Grid**). Näihin kannattaa asettaa samat arvot, esim. 0,5 tai 1, riippuen millä tarkkuudella osoittimen tartuntavälit halutaan.

Modify grid limits – kohdassa määritellään piirtoverkon koko. Piirtoverkko kannattaa yleensä asettaa saman kokoiseksi, kuin aiemmin määritetty koordinaattiruudukko. Tällöin piirtoverkon koko annetaan kirjoittamalla alapalkissa olevalle komentoriville ensin **vasemman alakulman koordinaatit** (0, 0, 0) → **Enter** → **Oikean yläkulman koordinaatit** (40, 20, 0) → **Enter**.

Vaihtoehtoisesti piirtoverko voidaan antaa klikkaamalla koordinaattiruudun kulmia tartuntatyökalujen **Osnap** -komento päällä. Jotta muutokset tulevat voimaan painetaan näkymästä **Apply** ja poistutaan painamalla **Ok**.

Näkymän ei tulisi muuttua tämän jälkeen.

Äsken määritellyt tartuntavälit (**Snap**) ja piirtoverkon välit (**Grid**) saadaan voimaan piirtoilassa klikkaamalla tartuntatyökalujen **Snap**- ja **Grid** – toiminnot aktiivisiksi.



SNAP ON GRID ON ORTHO OFF OSNAP

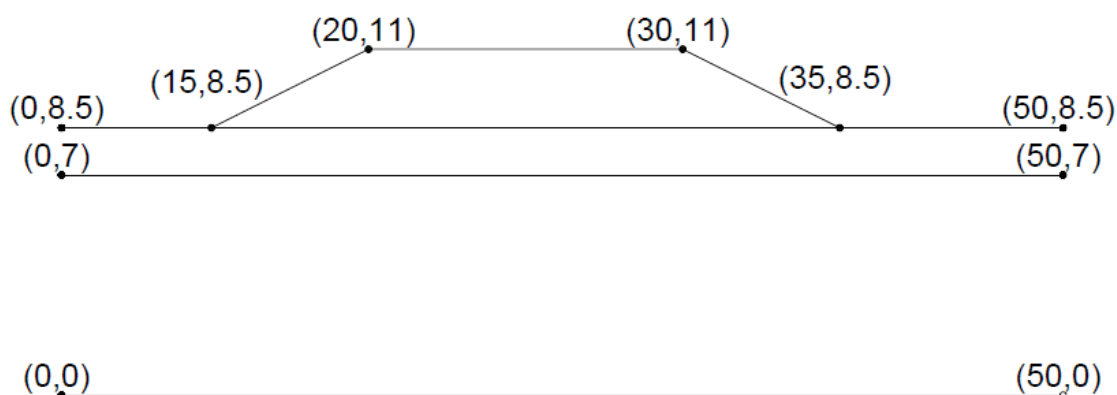
5.5 Laskentamallin piirtäminen

Piirtoasetuksien määrittämisen jälkeen voidaan tehdä laskentamalli tarkasteltavasta tilanteesta. GeoCalc:ssa piirretyt laskentamallit tallennetaan erikseen omaksi tiedostokseen (tiedostomuoto *.vdf) ja varsinainen laskenta suoritetaan laskentamallin ”päällä”. Samalle laskentamallille voidaan tehdä siis useampi tarkastelu, eikä sitä välttämättä tarvitse luoda aina erikseen.

Laskentamallin toimimisen kannalta on sen piirtämisessä tärkeää, että

- Mallin viivat esim. maakerrosrajat ovat piirretty polyline –komennolla. Ohjelma ei tunnista muita viivoja.
- Mallin viivat piirretään vasemmalta oikealle
- Mallin viivat eivät saa mennä ristiin. Viivat voivat olla päällekkäin.

Piirretään alla olevan esimerkkikuvan mukaiset maakerrokset koordinaattipisteiden avulla.



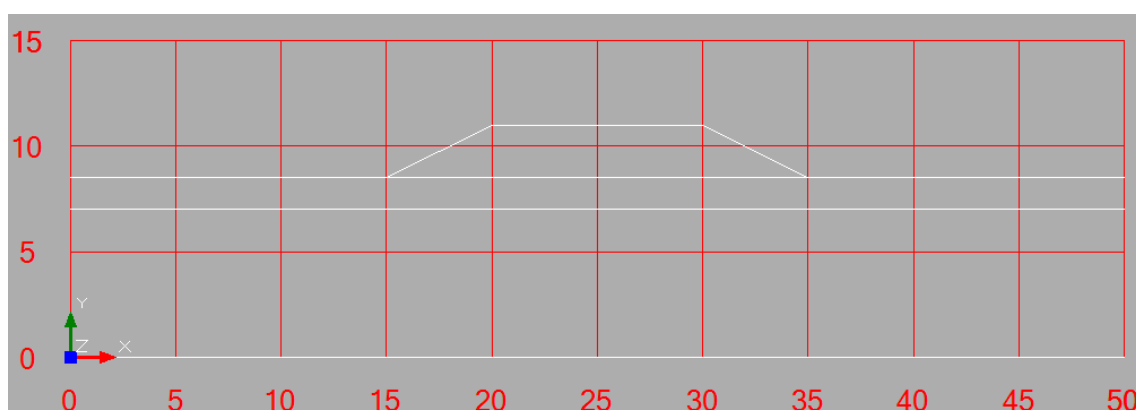
Valitaan työkalupaletista **Polyline** – komento →, tai valikosta **Draw** → **Polyline**.

Jos **Polyline** – komentoa ei löydy suoraan valintaikkunan työkalurivistä, voidaan **Draw – toolbar** asettaa näkyville valitsemalla **View** → **Toolbars** → **Draw**.

Viiva voidaan piirtää valitsemalla sijaintipisteet suoraan koordinaattiruudukosta osoittimella, tai kirjaamalla sijaintipisteet komentoriville esim. **0, 0** → **Enter** → **50, 0** → **Enter**... jne. Viiva päätetään painamalla näppäimistöltä **Enter** tai **Esc** –painiketta. Toiminto aloitetaan uudelleen jokaisen viivan päätyttyä.

Huomaa, että koordinaatteja syöttäessä x-, y- ja z-koordinaatit erotetaan toisistaan pilkulla (esim. 0, 0, 0) ja koordinaattien desimaalit pisteellä (esim. 0, 0.5, 0).

Poikkileikkauksen tulisi valmiina näyttää seuraavalta:



Mallin ollessa valmis tallennetaan se piirtotilan ylävalikosta **File** → **Save As**. Tarkistetaan, että tiedostomuoto on vdf – muotoa.

Mallin piirtämisen sijaan voidaan GeoCalc – ohjelmaan myös avata olemassa oleva DWG – tiedosto (eli esim. AutoCad:lla piirretty tiedosto). Tällöinkin on huomioitava, että laskentamalli muodostuu polyline – viivoista. Lisäksi silloin määritellään koordinaatiston sijainti **Calculation** → **Set Coordinates** → kirjataan komentoriville 0,0,0.

5.6 Pilaristabiloinnin mitoitus Liikenneviraston ohjeen mukaisesti

Tässä laskentaesimerkissä kokeillaan pilaristabiloinnin mitoittamista Novapoint GeoCalc – ohjelmistolla Liikenneviraston ohjeen *11/2010 Syvästabiloinnin suunnitteluohje* mukaisesti.

Mallin piirtämisen jälkeen voidaan aloittaa varsinainen mitoittaminen. Avataan joko Startup – ikkunassa valittu stabiliteettimoduuli, tai valitaan moduuli piirtotilan ylävalikosta **Calculation** → **Deep Stabilization**.

Stabiliteettimoduuli koostuu välilehdistä, joihin syötetään laskennassa käytettäviä lähtötietoja. Tiedot täytetään käymällä välilehdet järjestyksessä läpi vasemmalta oikealle, kunnes päästään laskennan tuloksiin. Laskentamoduulien eri kohdille saadaan melko kattavat suomenkieliset selitteet viemällä hiiri aina tarkasteltavan kohdan päälle.

5.6.1 Laskennan yleiset tiedot

General – välilehdellä täytetään laskennan yleiset tiedot, kuten projektinumero, asiakas, laskija jne.

Ohjelman käyttökieli on englanti, mutta viemällä osoittimen eri toimintojen päälle, saadaan niille melko kattavat suomenkieliset selitteet.

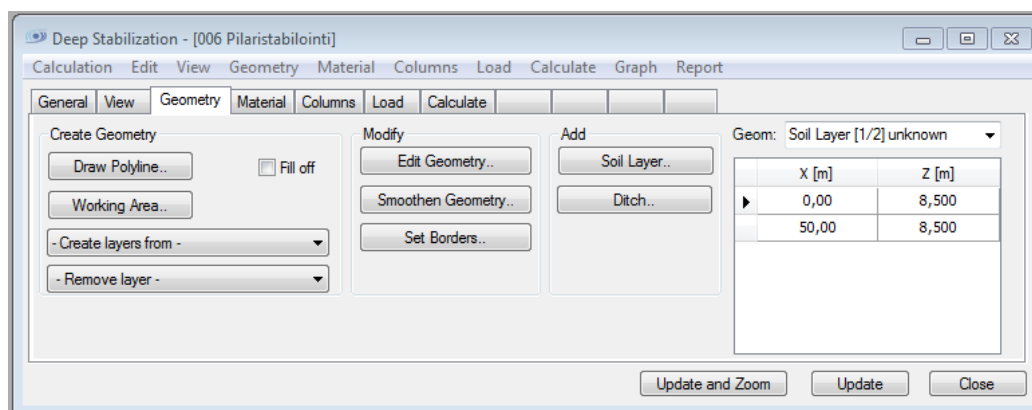
More – painikkeesta voidaan laskentaan liittää muistiinpanoja, huomautuksia ym. Piirtotilan saa päivitettyä **Update** – painikkeesta missä vaiheessa laskentaa tahansa.

5.6.2 Piirtoasetukset

View – välilehdellä muokataan näyttöasetuksia, eli sitä, miten laskenta esitetään grafiikkaikkunassa ja tulostuksessa. Palataan näihin asetuksiin tarkemmin tulostusta tarkasteltaessa.

5.6.3 Laskennan poikkileikkausgeometria

Geometry-välilehdellä määritellään laskennassa käytettävien maakerrosten, kallion, pohjaveden ja orsiveden geometria poikkileikkauksessa.

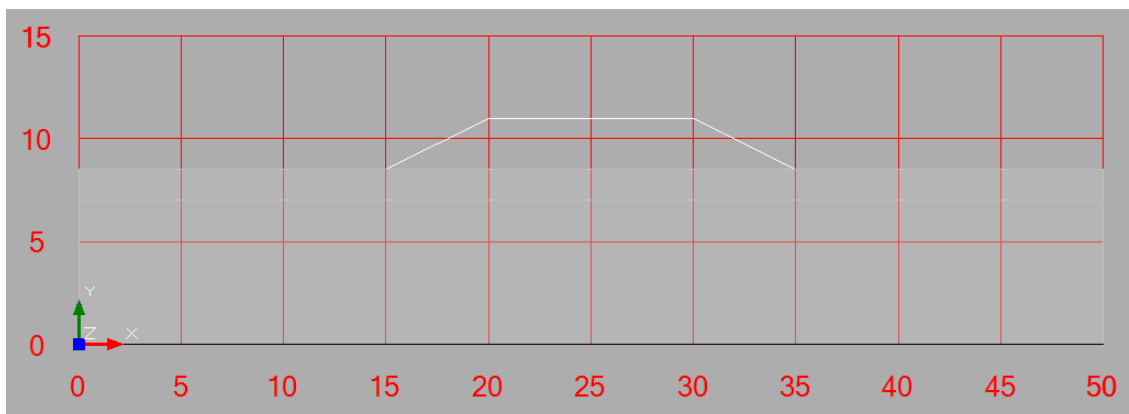


Määritellään eri maakerrosten rajat valitsemalla laskentamoduulin yläpalkista **Geometry** → **Select Soil Layer Polylines** → **From Top to Bottom**. Komento sulkee laskentaikkunan ja seuraavaksi laskentamallista valitaan maakerrosrajat penkere mukaan lukien järjestyksestä ylhäältä alas. Valittu viiva muuttuu värinsä keltaiseksi. Ohjelma muodostaa automaattisesti alimmasta valitusta viivasta kovan pohjan.

Maakerrosrajat voidaan valita myös vapaassa järjestyksessä valitsemalla ylävalikosta **Geometry** → **Select Soil Layer Polylines** → **Free Order..**

Tämän jälkeen voidaan maakerrosrajat valita vapaassa järjestyksessä.

Huomaa, että malliin piirrettyä pohjavedenpinnan rajaa ei valita tässä kohdassa! Jos pohjavedenpinta on kuitenkin valittu, painetaan Esc ja tehdään valinta uudestaan. Kun kaikki rajapinnat on valittu, painetaan **Enter**. Valittujen maakerrosten tulisi muuttua rasteroiduksi, jos **View** – välilehden **Material** – kohta on jätetty aktiiviseksi.



5.6.4 Materiaaliparametrit

Siirrytään Material – välilehdelle täyttämään maakerrosten parametrit. Kaikki parametrit täytetään suoraan välilehdelle, kuten alla olevissa kuvissa:

Deep Stabilization - [006 Pilaristabilointi]

Calculation Edit View Geometry Material Columns Load Calculate Graph Report

General View Geometry Material Columns Load Calculate

Id	Color	Soil layer	Material model	Consolidation Pressure	γ [kN/m ³]	Col. τ [kPa]	Col. E [kPa]	Soil strength [kPa]	OCR	POP	α top
1	..	Kuivakuori	Ohde-Janbu	Pre Overburden pressure (POP)	18,00	100	15000		25	27	
I 2	..	Savi	Constant M	Pre Overburden pressure (POP)	5,00	100	15000		9	0	

Automatic elasticity E = τ x 150

oc bottom	m1	β_1	m2	β_2	σ'_{cv}	Cc	e0	Cr	w [%]	M0	ML	α_{L-oc}	EM	M
	20	0,5	50	0										550

Update and Zoom Update Close

5.6.5 Pilarit

Siirrytään Columns – välilehdelle määrittämään tehtävän pilaristabiloinnin sijainti, syvyys ja pilareiden mitat:

Deep Stabilization - [006 Pilaristabilointi]

Calculation Edit View Geometry Material Columns Load Calculate Graph Report

General View Geometry Material Columns Load Calculate

Stabilization column zones

Left X [m] 15 Define..

Right X [m] 35

Zone 1

Positioning 1 - Square

Column diameter [mm] 600

Column max length [m] 8,5

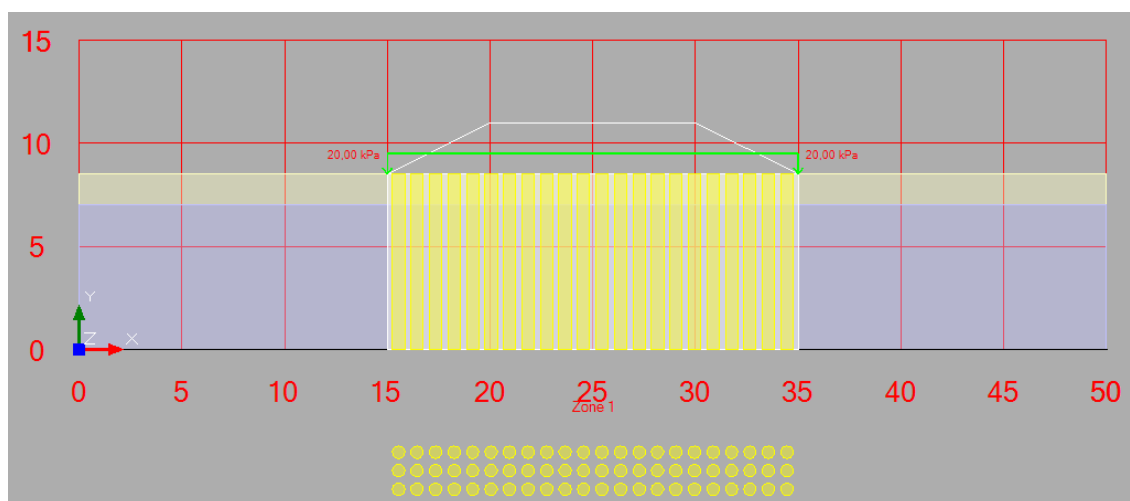
c/c span X-direction [m] 0,9

Update and Zoom Update Close

Pilareiden sijainti määritetään joko kirjaamalla suoraan kohtaan **Stabilization column zones** tunnetut X – koordinaatit. Vaihtoehtoisesti voidaan sijainti määrittää valitsemalla **Define**, jonka jälkeen näytetään ensin stabiloitavan osan alkamispiste ja sitten loppupiste.

Sijoitetaan stabilointi penkereen kohdalle valitsemalla ensin sen luiskan vasen alkamiskohta ja sitten oikea päättymiskohta.

Tämän jälkeen laskentamallin tulisi näyttää samalta, kun alla olevassa kuvassa:

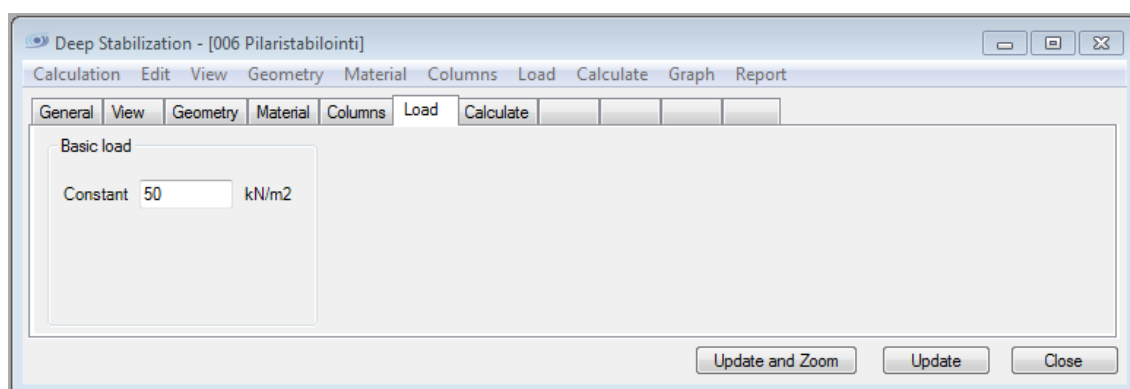


Ohjelma saattaa lisätä samalla automaattisesti nauhakuorman pilaroitavalle kohdalle. Tämä kuitenkin muokataan Load – välilehdellä vastaamaan oikeaa tilannetta.

5.6.6 Kuormitus

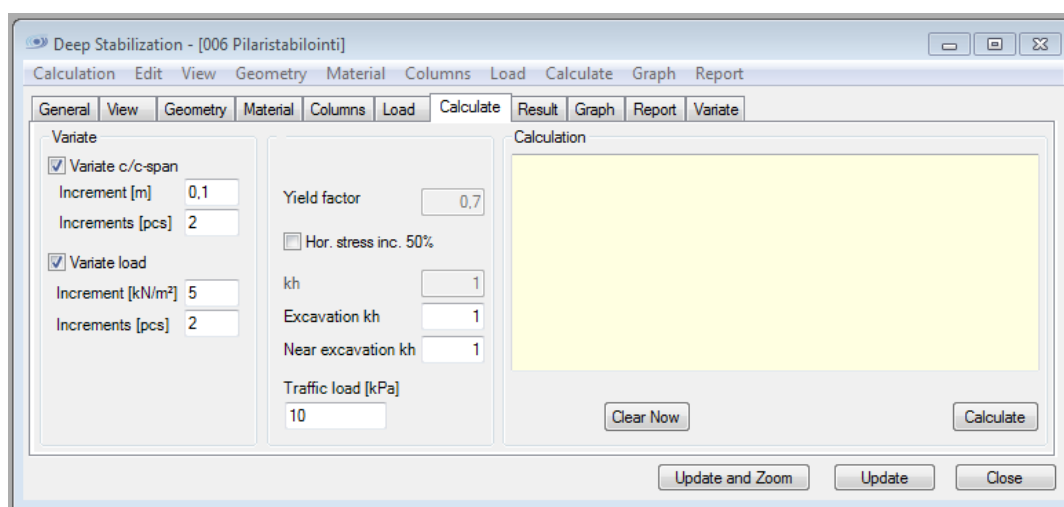
Load – välilehdellä muokataan kuormitusta vastaamaan penkereen maapohjaan aiheuttamaa kuormitusta. Koska penkereen tilavuuspaino on 20 kN/m^3 ja korkeus 2,5 metriä, on sen aiheuttama kuormitus enintään 50 kN/m^2 .

Määritetään penkereen aiheuttama kuormitus:



5.6.7 Laskenta

Siirrytään Calculate – välilehdelle suorittamaan laskenta.

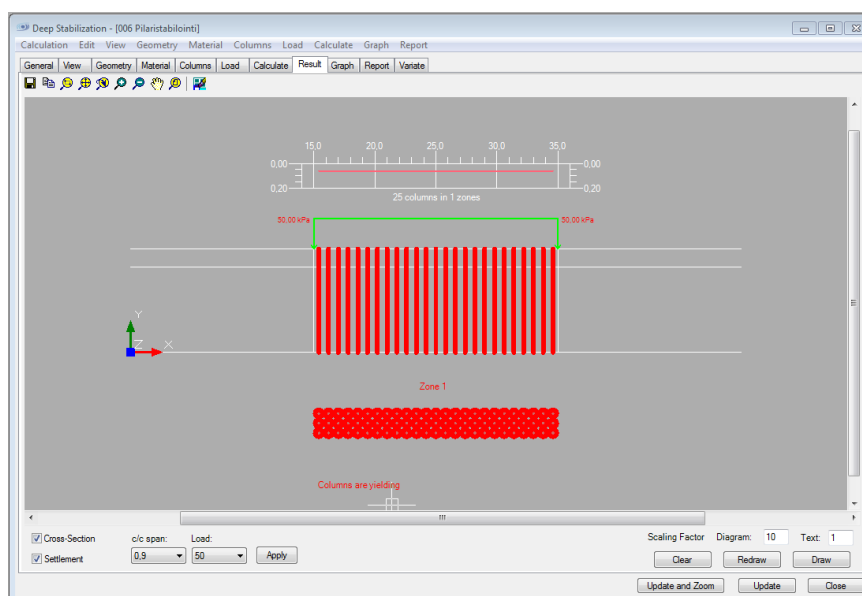


Valitaan kohta **Variate** → **Variate c/c-span** aktiiviseksi.

Käynnistetään laskenta valitsemalla **Calculate**.

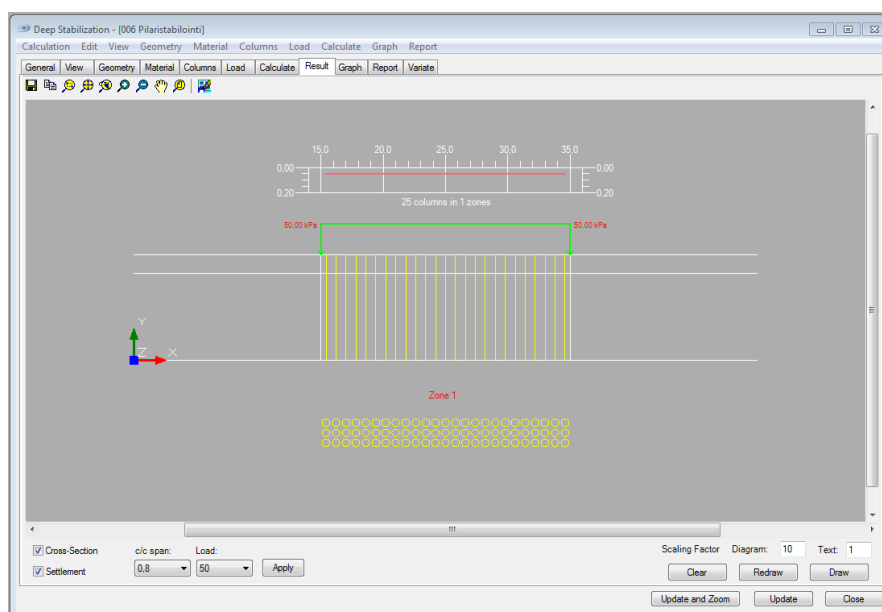
5.6.8 Tulokset

Ohjelma avaa automaattisesti laskennan päätyttyä Result – lehden, missä se näyttää laskemansa tuloksen lähtöarvona annettuna keskeltä – keskelle – mittana.



Huomataan, että ohjelma on muuttanut pilarien värin punaiseksi ja ilmoittaa pilareiden myötävän, ts. pilareiden tiheyttä täytyy suurentaa. Vaihtoehtoisesti voidaan kasvattaa pilareiden lujutta.

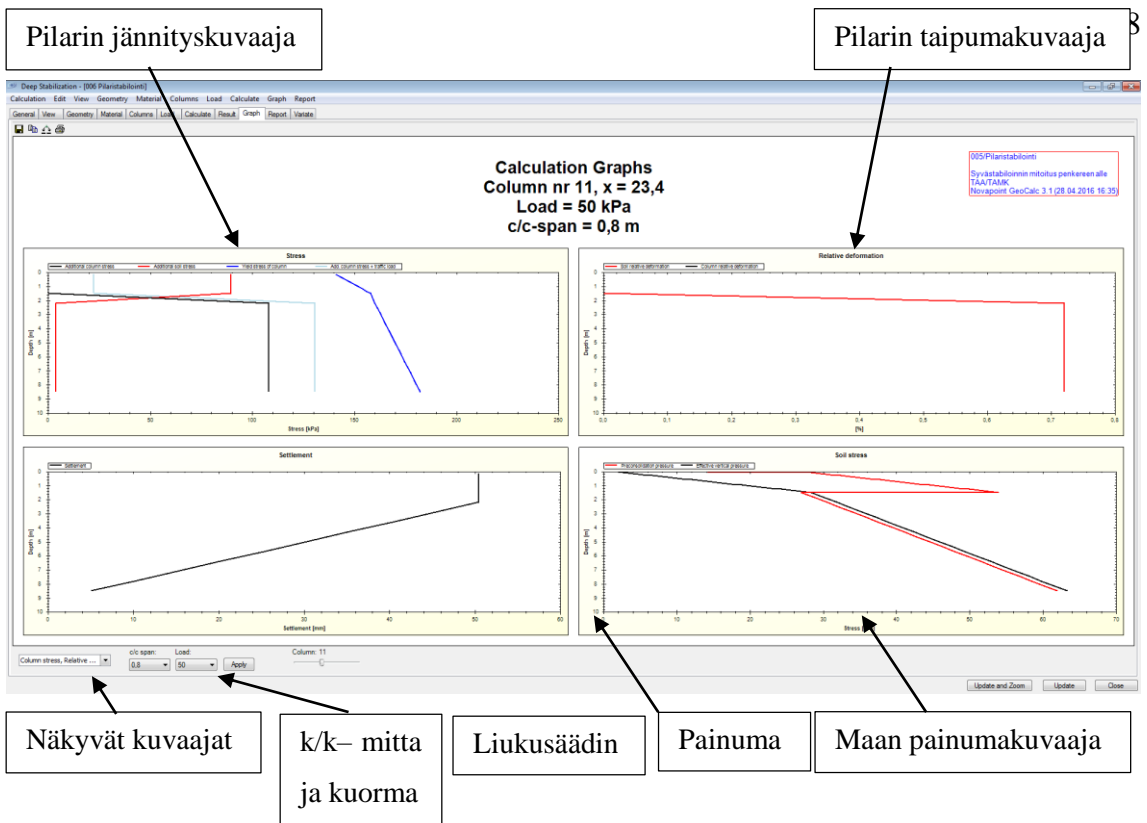
Ikkunan alareunasta löytyy kohdasta **c/c span** alaseto-avikko, mistä voidaan tarkastella tuloksia muille keskeltä – keskelle – mitoille. Valitaan esimerkiksi astetta pienempi k – k – mitta 0,8 m.



Huomataan, että pilarit ovat pysyneet kimmoisina, jolloin mitoitus toimii tällä k/k-mitalla. Vertaillaan tarkemmin muita tuloksia **Graph**, **Report** ja **Variates** välilehdillä.

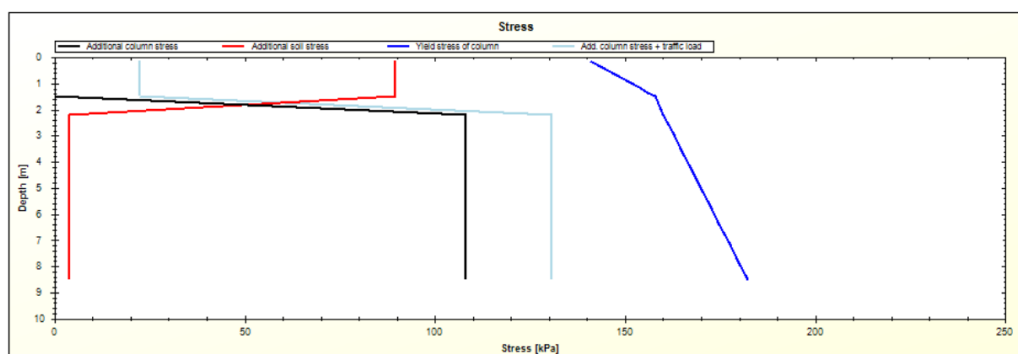
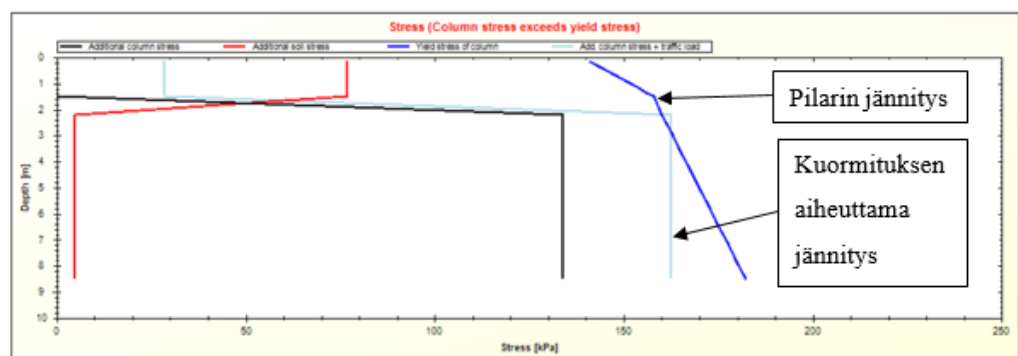
Graph – välilehdellä on pilarin jännityskuvaaja (engl. column stress), painuma (engl. settlement), kokoonpuristumakuvaaja (engl. Relative deformation), sekä maaperän jännityskuvaaja (engl. soil stress).

Alla olevassa kuvassa näkyvät **Graph** – välilehdessä näkyville saatavat kuvaajat:

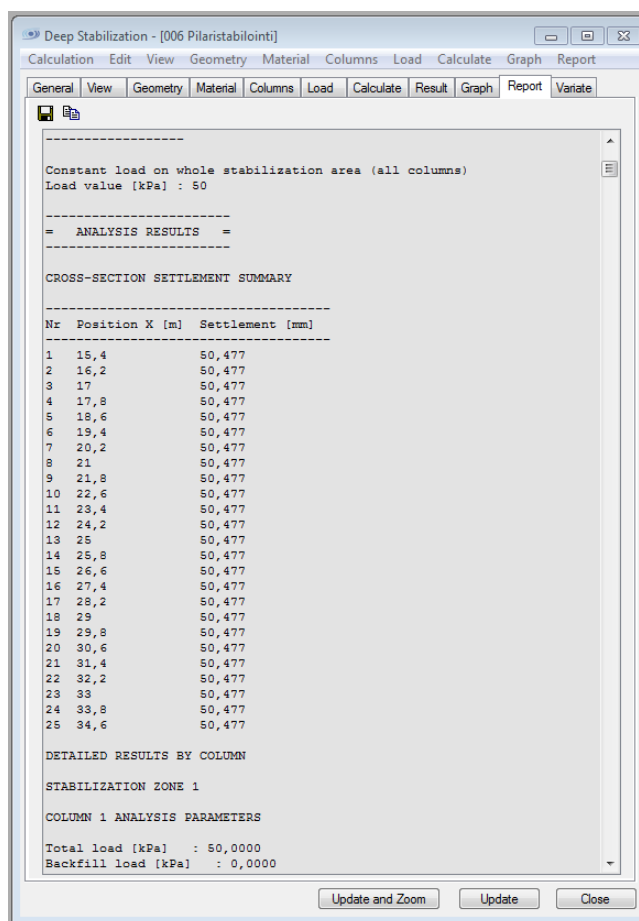


Vertaillaan ensin 0,9 metrin ja 0,8 metrin keskeltä – keskelle – mitoilla olevia pilarin jännityskuvaajia. Tummansininen viiva kuvaa pilarin jännitystä ja vaaleansininen penkereen ja liikennekuorman aiheuttamaa jännitystä. Ensimmäisestä kuvaajasta huomataan, että kuormitus ylittää pilarin jännityksen, jolloin pilari myötää, eikä mitoitus toimi.

Kun taas 0,8 metrin k/k-mitalla olevassa tarkastelussa kuormituksen jännityskuvaaja ei kohtaa pilarin jännityskuvaajaa, jolloin mitoitus on riittävä.

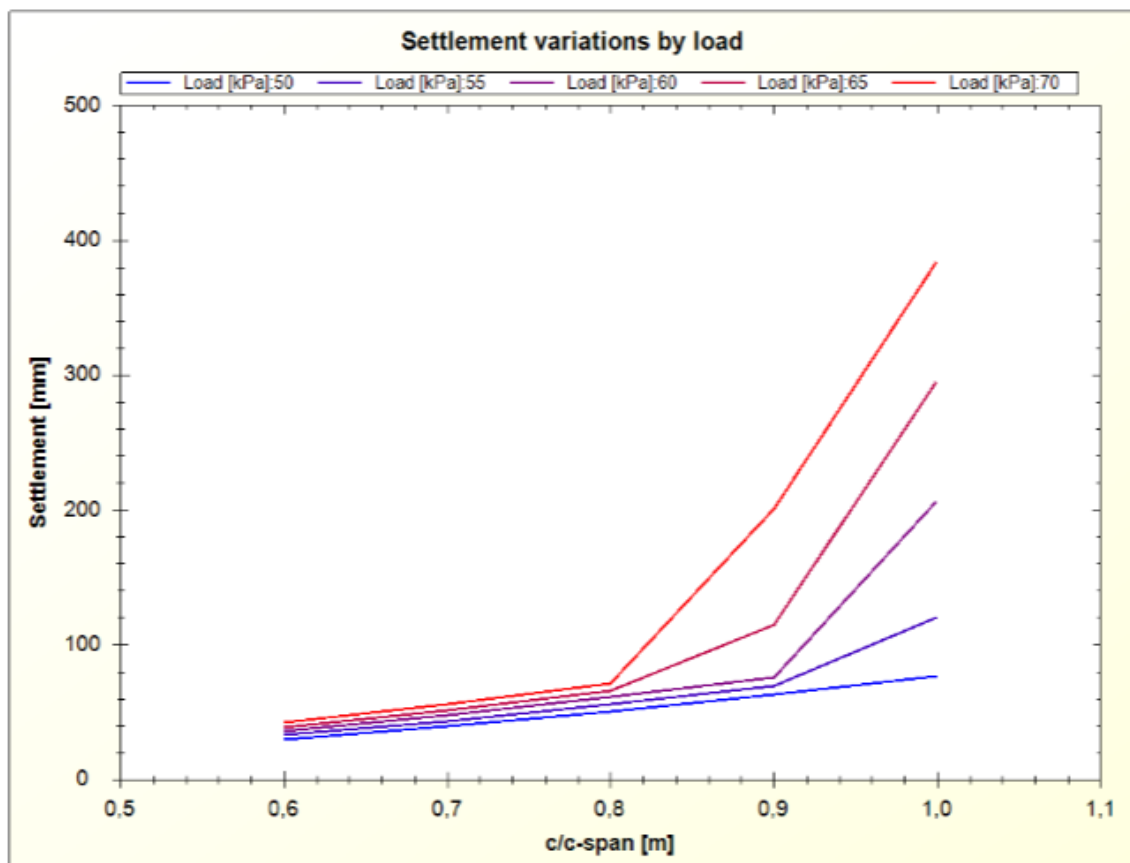
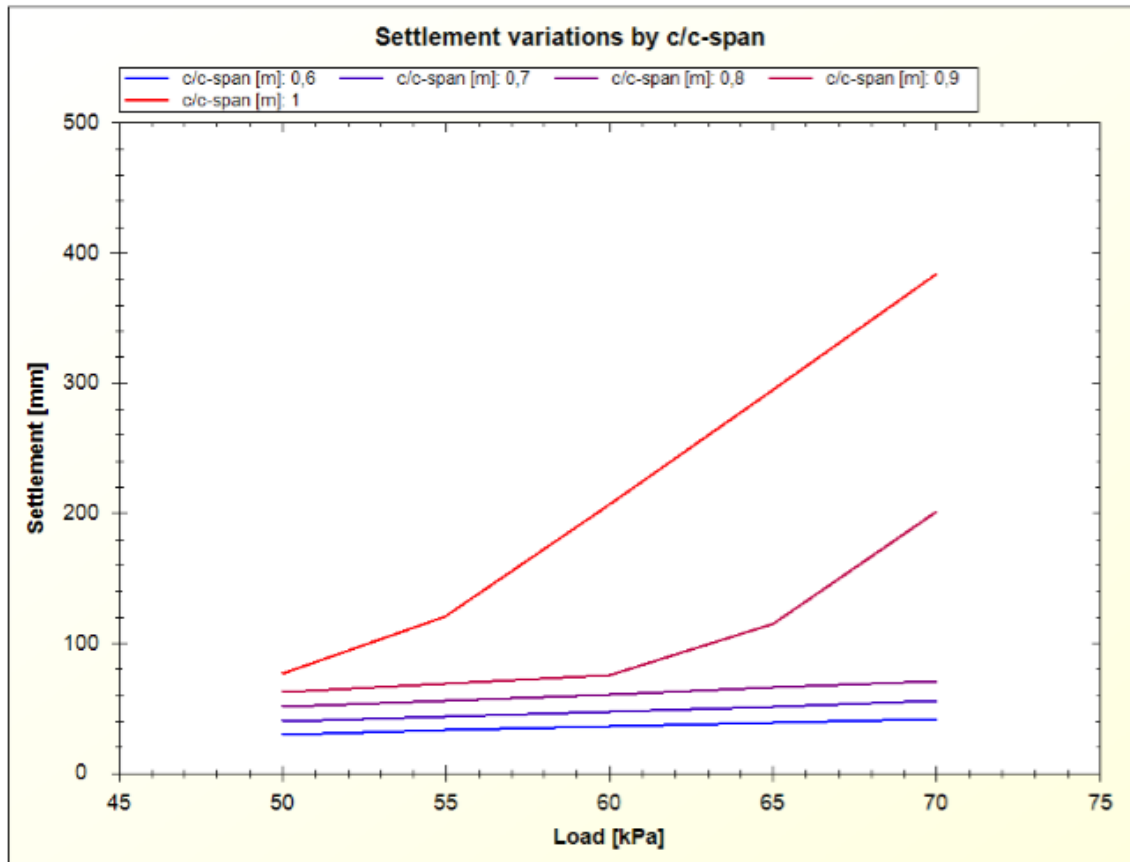


Painuma- eli **Settlement**-kuvaajasta nähdään stabiloidulle rakenteelle tulevat painumat, mutta siirtymällä **Report** – välilehdelle, nähdään sieltä suoraan tarkka, numeerinen vastaus kokonaispainumalle:



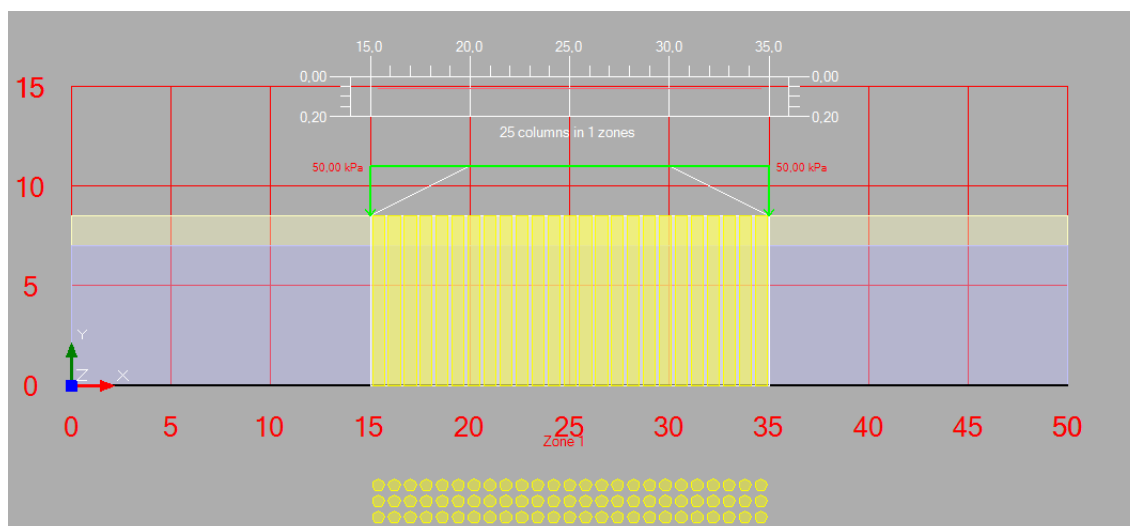
Erona **Result** – ja **Graph** – välilehtiin, ei tässä pystytä muuttamaan tehtävää tarkastelua suoraan välilehdellä pudotusvalikon avulla, vaan tarkastelu täytyy käydä muuttamassa **Result** – välilehdellä.

Viimeisellä **Variate** – välilehdellä nähdään kaikkien ohjelman laskemien stabilointien painumat k/k-mitan ja kuormituksen mukaan.

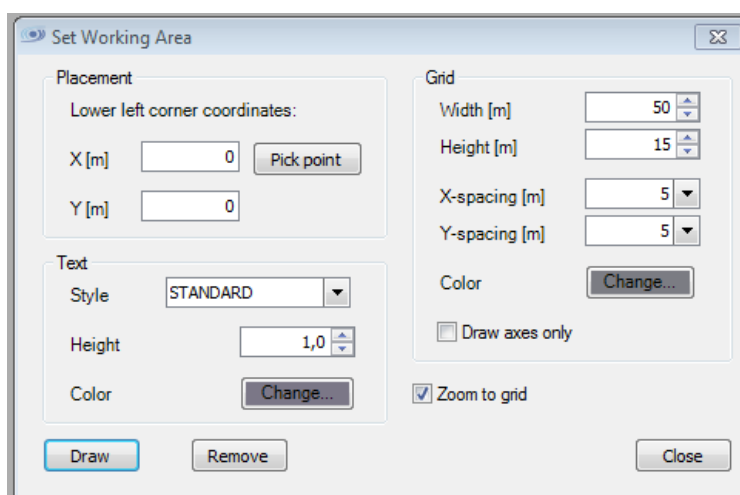


5.6.9 Tulostus

Tulosten tulostamista varten palataan **Result** – välilehdelle, missä valitaan k/k-mitaksi 0,8 m ja kuormaksi **Load** – kohtaan arvo 60. Painetaan kohtaa Draw, jolloin tulos piirtyy laskentamalliin.

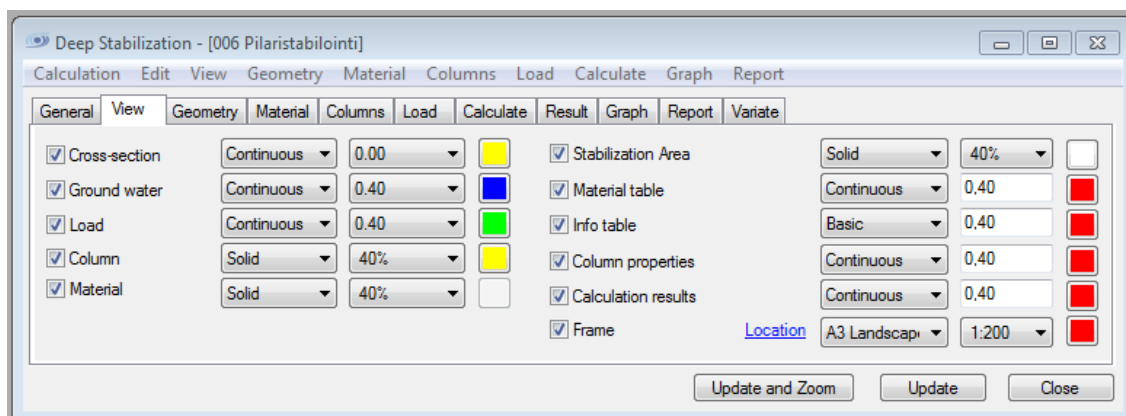


Oletusasetuksilla voi loppupainuman suuruutta kuvastava käyrä sekoittua koordinaattiruudukkoon. Korjataan asia muuttamalla koordinaatiston väriä menemällä grafiikkaikkunassa välilehdelle **Calculation** → **Set Working Area**.



Muutetaan tekstin ja ruudukon väri esimerkiksi harmaaksi.

Palataan **Deep Stabilization** – laskentamoduuliin ja asetetaan **View** – välilehdellä piirtoasetukset:



Material – kohdasta pystytään muokkaamaan maakerrosten näkyvyyttä tulostuksessa.

Valitaan **Frame** – kohta aktiiviseksi ja sen viereisistä pudotusvalikoista määritetään paperin kooksi ja asetelluksi **A3 Landscape**. Lisäksi valitaan mittakaavaksi **1:200**.

Määrätään paperille sijainti viereisestä **Location** – linkistä ja annetaan grafiikkaikkunassa kehyksen vasen alakulma. Uusi sijainti saadaan määrättyä valitsemalla **Location** → **uusi sijainti**.

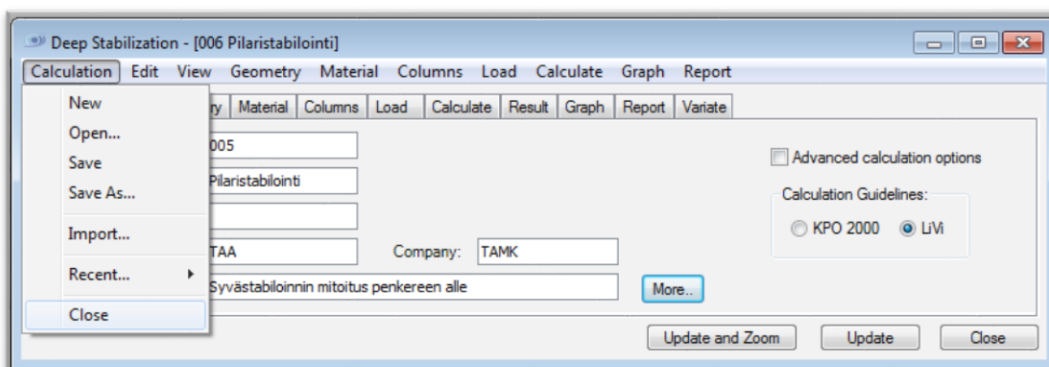
Valitaan myös muut oikean puolen sarakkeen kohdat aktiivisiksi, jolloin saadaan näkyviin kaikki laskennassa käytetyt tiedot, kuten pilarien mitat, materiaalitaulukko, laskentatulokset, nimiö jne.

Result – välilehdellä laskentamalliin piirretty painumakaavio saattaa kadota näkyvistä säätäessä piirtoasetuksia **View** – välilehdellä. Tällöin palataan laskentamoduulissa takaisin **Result** – välilehdelle ja piirretään tulos laskentamalliin uudelleen valitsemalla **Draw**.

5.7 Laskennan lopetus

Kun molemmat laskentavaiheet on laskettu, tallennettu ja tulostettu, voidaan laskentamoduuli ja GeoCalc – ohjelmisto sulkea.

Suljetaan Stability – laskentamoduuli **Calculation** → **Close**.



Suljetaan Novapoint GeoCalc piirtoilassa ylävalikosta **File** → **Exit**.

