

Janne Iho

Student number 263061 / janne.iho@student.tut.fi

Tampere University of Technology

Department of Civil Engineering

RAK-23526 Computational Geotechnics

Year 2017

Course work 1: Stability

Given to: Ville Lehtonen via Moodle

Date 23.9.2017

Sisällysluettelo

Yleistä	3
Toimeksianto	3
Pohjamaa ja maaparametrit	3
Kuormitusotaksumat	3
1. Uusi pengerr	4
1.1. Junakuorma	4
1.2. Ei junakuormaa	5
2. Vanha pengerr	6
2.1. Junakuorma	6
2.2. Junakuorma, tehokkaat laskenta-arvot, ruq ja ru'	7
2.3. Ei junakuormaa, tehokkaat laskenta-arvot	8
3. Vastapenkereiden mitoittaminen	9
4. Lopputulos ja päätelmät	10

Yleistä

Toimeksianto

Toimeksiantona tutkitaan ratapenkereen luiskastabiliteetin kokonaisvarmuutta seuraavissa tilanteissa:

- Uusi ratapenger, hetkellinen junakuorma, suljettu leikkauslujuus
- Uusi ratapenger, ei muuttuvaa kuormaa, suljettu leikkauslujuus
- Vanha ratapenger, hetkellinen junakuorma, suljettu leikkauslujuus
- Vanha ratapenger, hetkellinen junakuorma, tehokkaat maaparametrit
- Vanha ratapenger, ei muuttuvaa kuormaa, suljettu leikkauslujuus

Luiskastabiliteetti lasketaan ratapenkereen molemmille luiskille, koska rakenteen poikkileikkaus on epäsymmetrinen.

Mikäli luiskastabiliteetin kokonaisvarmuus on alle 1,50, mitoitetaan tarvittavat vastapenkereet radan molemmin puolin.

Pohjamaa ja maaparametrit

Ratapenger on tiivistettyä kalliomursketta ja pengerkorkeus on noin 3,1 metriä. Penkereen molemmin puolin muotoillaan sivuojat. Penkereen alla on kuivakuorisavi, jonka paksuus on noin 1,2 metriä. Pohjaveden pinta sijaitsee kuivakuoran alapinnassa. Näiden alla on noin 3,0 metrin paksuinen normaalikonsolidoitunut savikerros. Saven alla on paksu silttikerros, jonka paksuutta ei ole kartoitettu.

Kohteella on tehty pohjatutkimuksia, joilla on määritetty maakerrosrajat ja maaparametrit. Siipikairauksia on tehty ennen ratapenkereen rakentamista sekä useita vuosia penkereen rakentamisen jälkeen, jolloin savikerroksen huokosveden ylipaineen otaksutaan poistuneen. Siipikairalla on mitattu savikerroksen suljettu leikkauslujuus, jonka on todettu kasvavan syvyyden suhteen.

Maaparametreille (kitkakulma, tilavuuspaino, leikkauslujuus) ei ole käytetty osavarmuuskertoimia. Laskenta eroaa tältä osin Eurokoodin mukaisesta mitoitusmenetelmästä DA3.

Kuormitusotaksumat

Pysyville kuormilla (penkereen omapaino) ja muuttuville kuormille (junakuorma) ei ole käytetty osavarmuuskertoimia. Laskenta eroaa tältä osin Eurokoodin mukaisesta mitoitusmenetelmästä DA3.

Junakuormana on käytetty 25 tonnin akselipainoa, joka vastaa raiteen alla 46 kPa tasaista kuormitusta 2,5 metrin levyisenä kaistana.

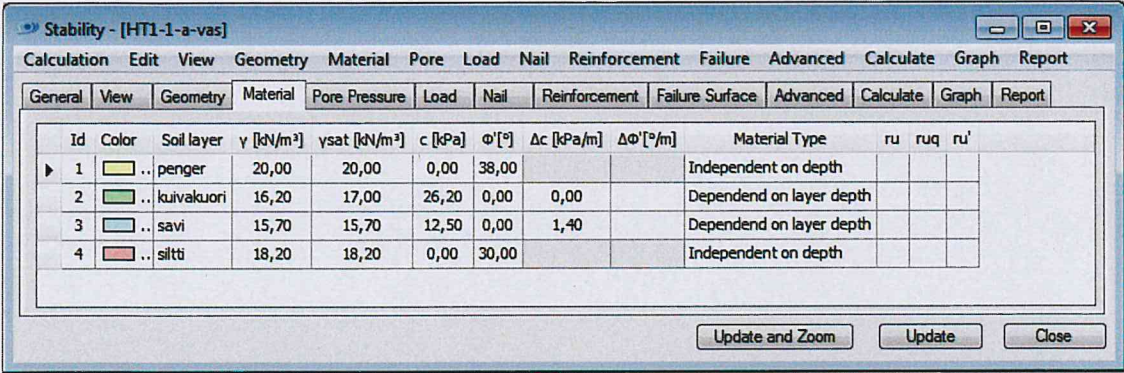
1. Uusi penger

Uudessa penkereessä penkereen omapaino ja junakuorma aiheuttavat suljettuihin maakerrokseen (savi) huokosveden ylipainetta, joka heikentää pohjamaan leikkauslujuutta, kunnes huokosvedenpaine on vuosien kuluttua tasaantunut.

1.1. Junakuorma

Penger-, kuivakuori- ja silttikerrokset lasketaan tehokkailla laskenta-arvoilla, koska näissä kerroksissa ei esiinny huokosveden ylipainetta. Näissä kerroksissa voidaan laskea kitkakulman, tehokkaan pystykuorman ja koheesion muodostama leikkauslujuus.

Savikerroksessa esiintyy huokosveden ylipainetta, joka johtuu sekä ulkoisesta juna- että pengerkuormasta. Siipikairauksen tuloksista on päätelty, että savikerroksen leikkauslujuus kasvaa tasaisesti suhteessa syvyyteen. Käytetään savikerrokselle siipikairalla määritettyä suljettua leikkauslujuutta. Kitkakulman arvona käytetään nollaa, koska huokosveden ylipaineen takia on hankala määrittää rakeiden välistä kitkaa ja tästä syntyvää leikkauslujuutta.



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	20,00	0,00	38,00			Independent on depth			
2		kuivakuori	16,20	17,00	26,20	0,00	0,00		Dependend on layer depth			
3		savi	15,70	15,70	12,50	0,00	1,40		Dependend on layer depth			
4		siltti	18,20	18,20	0,00	30,00			Independent on depth			

Laskentamenetelmä:

Janbu's Simplified, non-circular, concave

Muuttuva kuorma:

Junakuorma 46 kPa, L=2,5 m

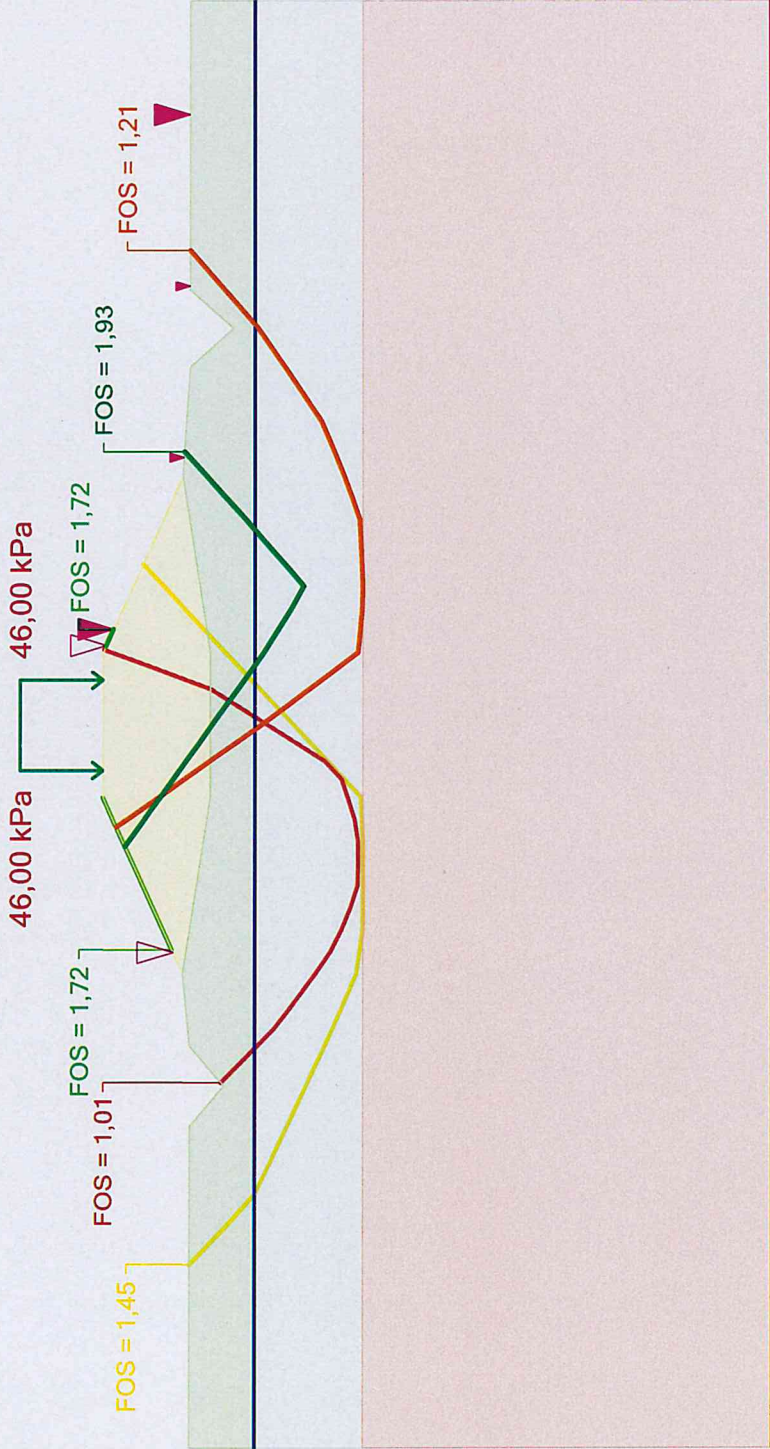
Tulos:

Vaarallisin liukupinta sijaitsee penkereen vasemmalla puolella sivuojan pohjalla.

Kokonaisvarmuus FOS = 1,01. Rakenteen varmuus sortumaa vastaan ei riitä.

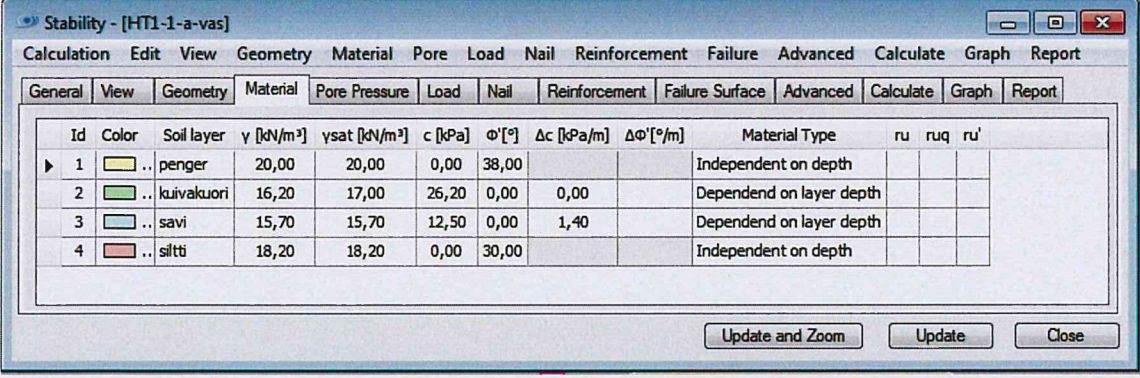
2D Janbu's Simplified

Min.FOS = 1,21

$$f_0 = 1, 12$$


1.2. Ei junakuormaa

Lasketaan uuden penkereen stabiileetti ilman junakuormaa kohdan 1.1. mukaisilla maaparametreillä.



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	20,00	0,00	38,00			Independent on depth			
2	..	kuivakuori	16,20	17,00	26,20	0,00	0,00		Dependend on layer depth			
3	..	savi	15,70	15,70	12,50	0,00	1,40		Dependend on layer depth			
4	..	siltti	18,20	18,20	0,00	30,00			Independent on depth			

Update and Zoom Update Close

Laskentamenetelmä:

Janbu's Simplified, non-circular, concave

Muuttuva kuorma:

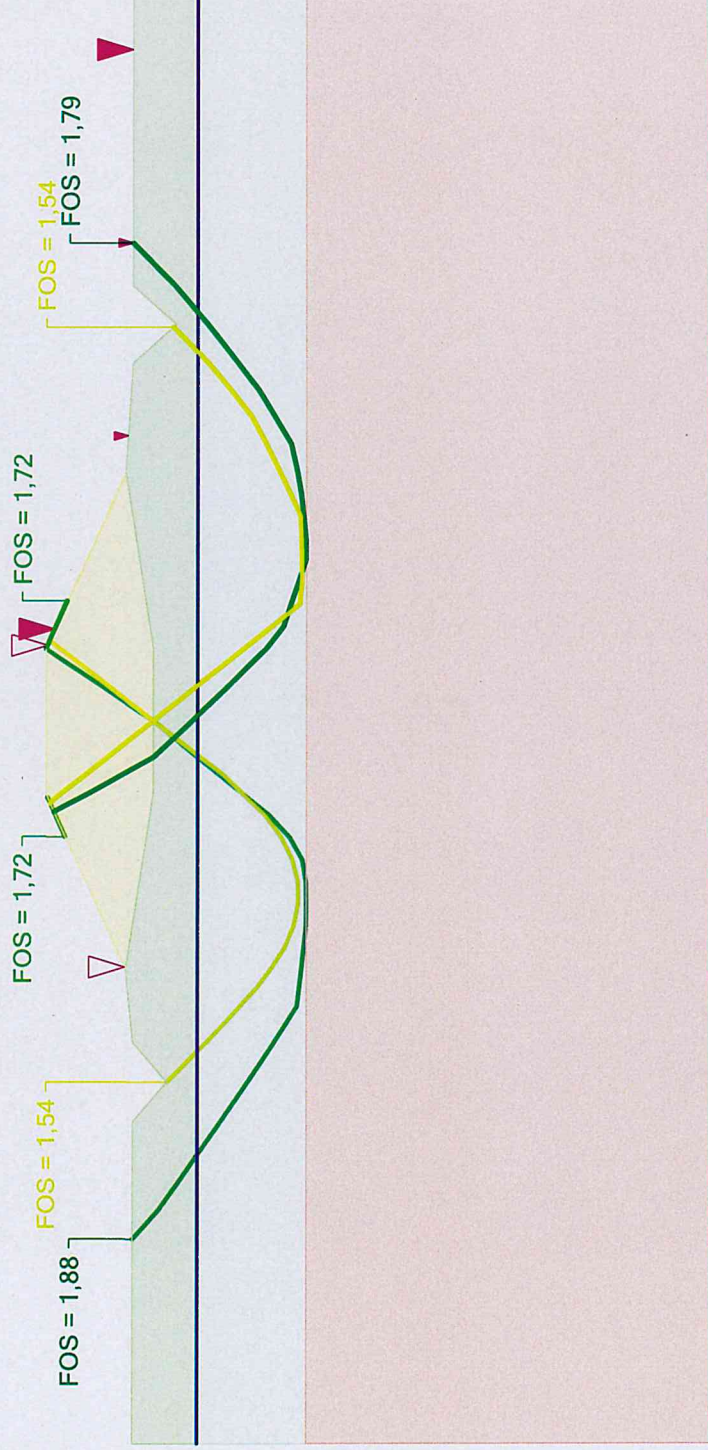
Ei ulkoista kuormaa

Tulos:

Vaarallisin liukupinta sijaitsee penkereen molemmin puolin sivuojien pohjalla.

Kokonaisvarmuus $FOS = 1,54$. Rakenteen varmuus sortumaa vastaan on riittävä.

2D Janbu's Simplified
Min.FOS = 1,54
fo = 1,12



2. Vanha pengerr

Vanhassa penkereessä pysyvien kuormien aiheuttama huokosveden ylipaine on tasaantunut, mutta hetkellinen junakuorma aiheuttaa edelleen huokosveden ylipainetta rakeiden välillä. Kuitenkin savikerros on puristunut kasaan, ja maaraakeiden välillä esiintyy jo pysyvstä kuormasta aiheutuneita kitkavoimia. Siipikairalla on todettu savikerroksen leikkauslujuuden kasvaneen penkereen alla.

2.1. Junakuorma

Laskennassa käytetty penkereelle, kuivakuorelle ja savelle tehokkaita laskenta-arvoja, koska näissä kerroksissa ei esiinny huokosveden ylipainetta. Lasketaan näissä kerroksissa voidaan laskea kitkakulman, tehokkaan pystykuorman ja koheesion muodostama leikkauslujuus.

Penkereen alapuolisessa savessa zone1 ja zone2 on penkereen painosta aiheutuva huokosveden ylipaine tasaantunut. Junakuorma aiheuttaa kuitenkin edelleen äkillisiä huokosvedenpaineen muutoksia. Lasketaan näiden kerrosten leikkauslujuus penkereen painon vaikutuksesta kasvaneella suljetun leikkauslujuuden arvolla. Kitkakulmaa ei huomioida. Leikkauslujuus on kasvanut eniten penkereen keskellä zone1:ssä. Savikerros on jaettu tämän takia kolmeen lohkokoon.

Id	Color	Soil layer	γ [kN/m³]	γ_{sat} [kN/m³]	c [kPa]	ϕ° [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \phi^\circ$ [°/m]	Material Type	ru	ruq	ru'
1	Orange	Pengerr	20,00	20,00	0,00	38,00			Independent on depth	0,00	0,00	
2	Yellow	Kuivakuori	16,20	17,00	0,00	26,50			Independent on depth	0,00	0,00	
3	Green	Savi	15,70	15,70	0,00	23,10			Independent on depth	0,00	0,00	
4	Light Green	Savi Z2	15,70	15,70	14,30	0,00			Independent on depth	0,00	0,00	
5	Blue	Savi Z1	15,70	15,70	18,10	0,00			Independent on depth	0,00	0,00	
6	Pink	Silti	18,20	18,20	0,00	30,00			Independent on depth	0,00	0,00	

Laskentamenetelmä:

Janbu's Simplified, non-circular, concave

Muuttuva kuorma:

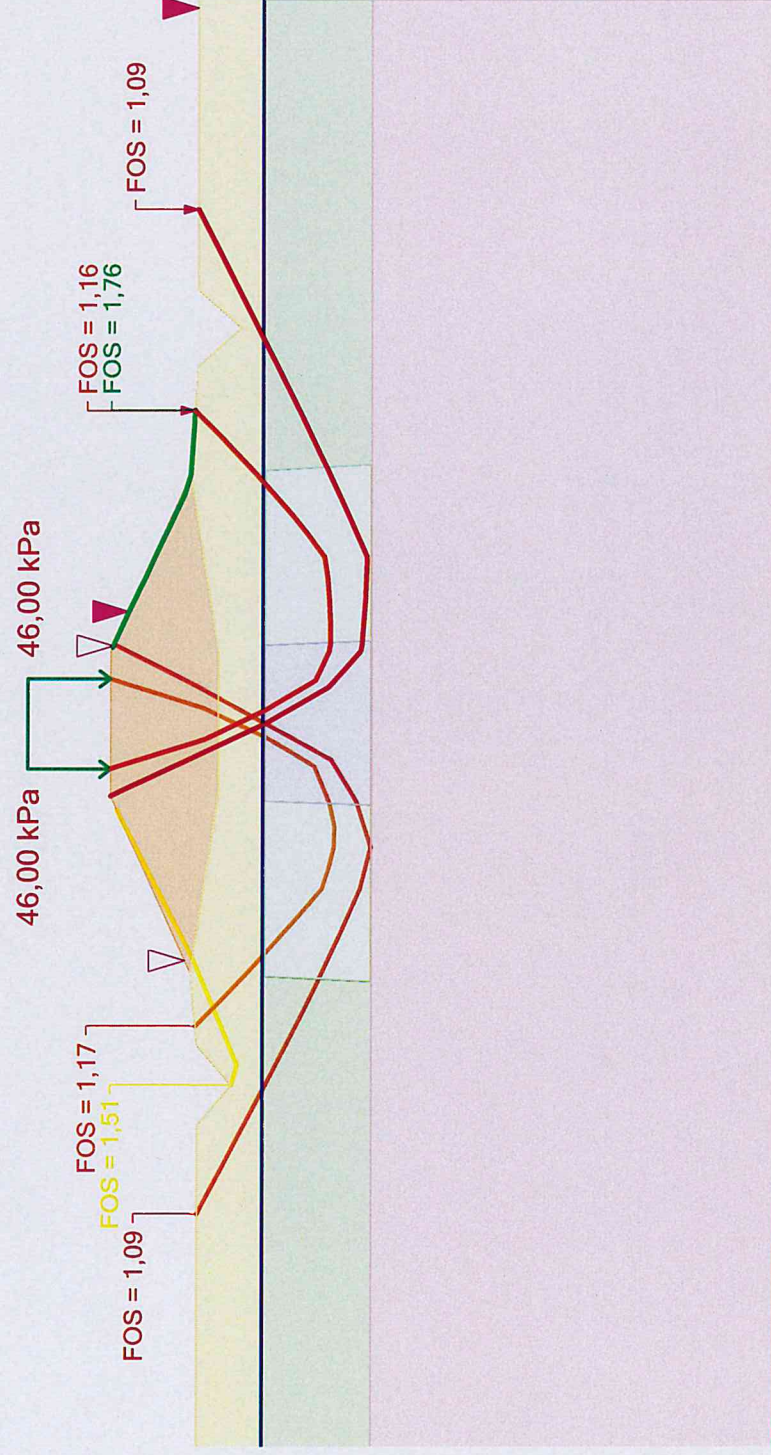
Junakuorma 46 kPa, $L=2,5$ m

Tulos:

Vaarallisin liukupinta sijaitsee penkereen molemmin puolin sivuoijien ulkopuolella.

Kokonaisvarmuus $FOS = 1,09$. Rakenteen varmuus sortumaa vastaan ei riitä, vaikka varmuus onkin kasvanut ajan kuluessa.

2D Janbu's Simplified
 Min.FOS = 1,09
 $f_0 = 1,06$



2.2. Junakuorma, tehokkaat laskenta-arvot, r_{uq} ja r_u'

Lasketaan kaikkien maakerrosten leikkauslujuus tehokkailla laskenta-arvoilla eli lasketaan kitkakulman, tehokkaan pystykuorman ja koheesion muodostama leikkauslujuus.

Ei huomioida lainkaan kasvanutta suljettua leikkauslujuutta penkereen alapuolisessa savikerroksessa.

Koska nyt lasketaan myös painunutta savikerrosta tehokkailla arvoilla, on junakuormasta aiheutuva huokosveden ylipaine vähennettävä savikerroksen tehokkaassa pystykuormassa. Junakuorma lisää kitkaa maakerrosten rakeiden välillä kaikissa muissa kerroksissa, paitsi savikerroksessa penkereen alla, josta vesi ei pääse poistumaan. Toisin sanoen savessa oleva vesi estää ulkoisen kuorman aiheuttaman kitkavoiman syntyminen.

Huomioidaan tämä asettamalla parametreihin r_{uq} :m arvoksi 1, eli ulkoisen pystykuorma (junakuorma) aiheuttaa samansuuruisen huokosveden ylipaineen savikerrokseen.

Lisäksi käytetään savelle vaakakuormituksen kerrointa r_u' on luettu kuvaajasta savikerroksen kitkakulman mukaisesti.

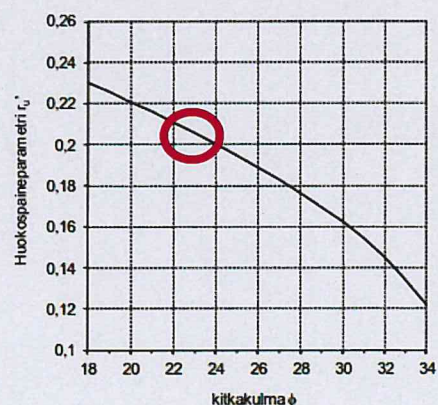
Stability - [HTI-2-junakuorma vanha penger CASE 2]													
Calculation Edit View Geometry Material Pore Load Nail Reinforcement Failure Advanced Calculate Graph Report													
General View Geometry Material Pore Pressure Load Nail Reinforcement Failure Surface Advanced Calculate													
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	Orange	Penger	20,00	20,00	0,00	38,00			Independent on depth	0,00	0,00		
2	Yellow	Kuivakuori	16,20	17,00	0,00	26,50			Independent on depth	0,00	0,00		
3	Green	Savi	15,70	15,70	0,00	23,10			Independent on depth	0,00	0,00		
4	Light Blue	Savi Z2	15,70	15,70	0,00	23,10			Independent on depth	1,00	0,21		
5	Dark Blue	Savi Z1	15,70	15,70	0,00	23,10			Independent on depth	1,00	0,21		
6	Pink	Silti	18,20	18,20	0,00	30,00			Independent on depth	0,00	0,00		

Laskentamenetelmä:

Janbu's Simplified, non-circular, concave

Muuttuva kuorma:

Junakuorma 46 kPa, $L=2,5$ m

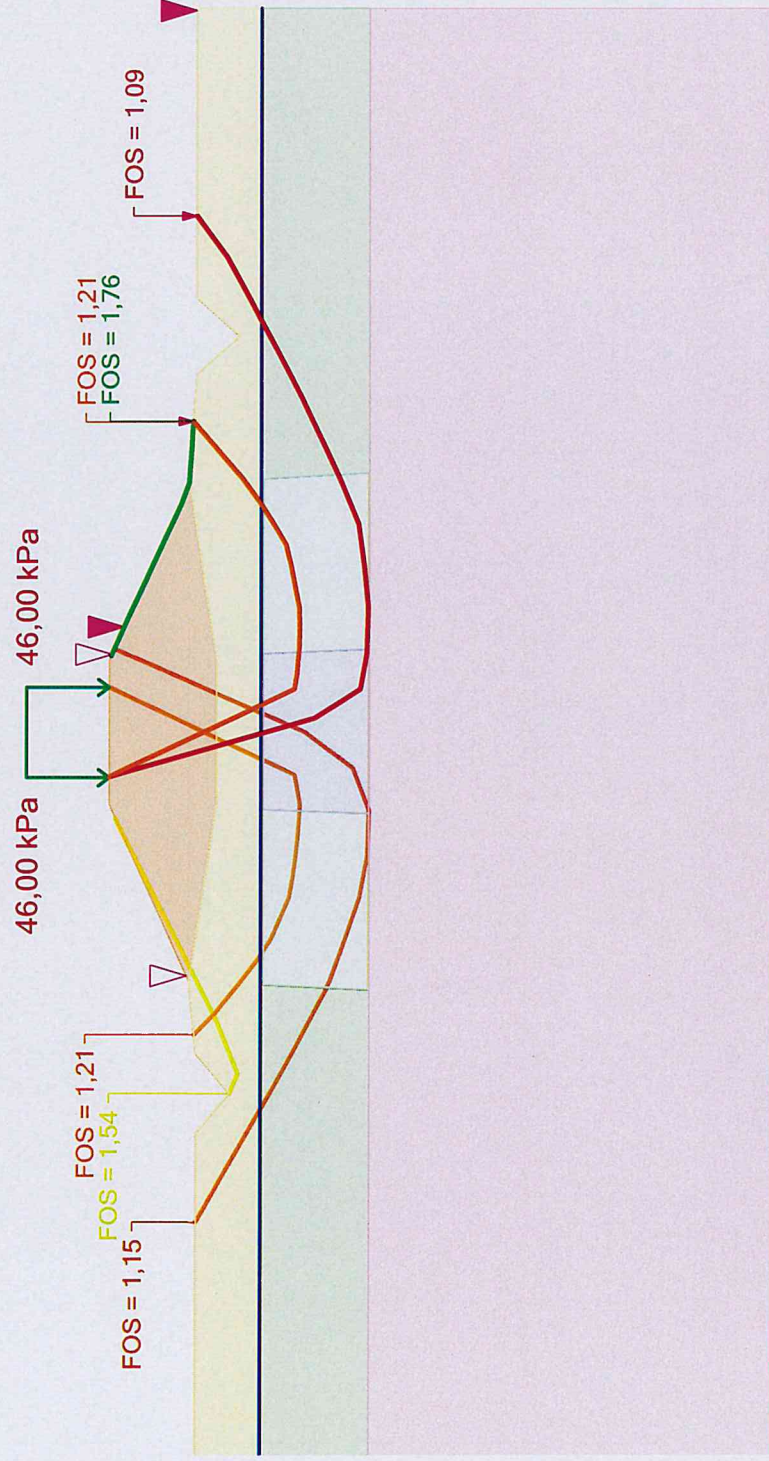


Tulos:

Vaarallisin liukupinta sijaitsee penkereen oikealla puolella sivuojan ulkopuolella.

Kokonaisvarmuus $FOS = 1,09$. Rakenteen varmuus sortumaa vastaan ei riitä, vaikka varmuus onkin kasvanut ajan kuluessa. Varmuus on samansuuruinen kuin kohdassa 2.1. suljetun leikkauslujuuden arvoilla laskettuna.

2D Janbu's Simplified
Min.FOS = 1,09
 $f_0 = 1,06$



2.3. Ei junakuormaa, tehokkaat laskenta-arvot

Laskennassa on käytetty kaikille maakerroksille tehokkaita arvoja, koska huokosveden ylipaine on poistunut. Junakuormaa ei ole. Kaikissa kerroksissa voidaan laskea kitkakulman, tehokkaan pystykuorman ja koheesion muodostama leikkauslujuus.

Id	Color	Soil layer	γ [kN/m³]	γ_{sat} [kN/m³]	c [kPa]	ϕ' [°]	Δc [kPa/m]	$\Delta \phi'$ [°/m]	Material Type	ru	ruq	ru'
1	Orange	Penger	20,00	20,00	0,00	38,00			Independent on depth			
2	Yellow	Kuivakuori	16,20	17,00	0,00	26,50			Independent on depth			
3	Green	Savi	15,70	15,70	0,00	23,10			Independent on depth			
4	Light Blue	Savi Z2	15,70	15,70	0,00	23,10			Independent on depth			
5	Dark Blue	Savi Z1	15,70	15,70	0,00	23,10			Independent on depth			
6	Pink	Silti	18,20	18,20	0,00	30,00			Independent on depth			

Laskentamenetelmä:

Janbu's Simplified, non-circular, concave

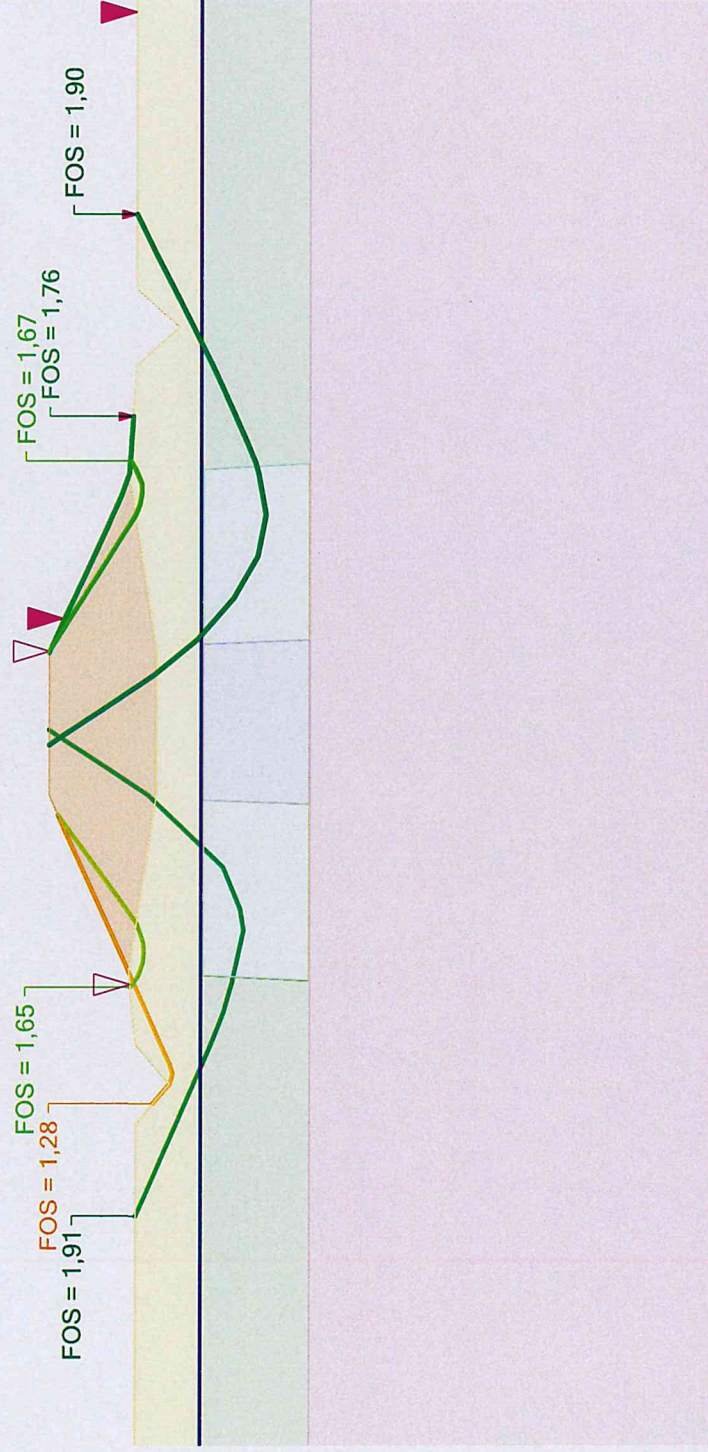
Muuttuva kuorma:

Junakuorma 46 kPa, $L=2,5$ m

Tulos:

Kohtaan 1.2. verrattuna samoilla sijanneilla olevien liukupintojen kokonaisvarmuus on parantunut. Ohjelma on kuitenkin jostain syystä laskenut ratapenkereeseen heikkoja liukupintoja, joita aiemmissa laskennoissa ei ole esiintynyt. Heikot liukupinnat eivät vaikuta todennäköisiltä ja rakenteen varmuuden sortumaa vastaan todetaan olevan riittävä.

2D Janbu's Simplified
Min.FOS = 1,67
 $f_o = 1,03$



3. Vastapenkereiden mitoittaminen

Kohdassa 2.1. laskettiin savikerroksen leikkauslujuus suljetun leikkauslujuuden avulla. Heikoin liukupinta kulki noin 7 metrin päässä pengerluiskan alareunasta. Etsitään sopivan kokoinen vastapenger.

Lasketaan stabiliteetti, kun ratapenkereen molemmin pulin rakennetaan vastapenkereet, joiden alaluiska alkaa etäisyydeltä 14,0 metriä radan keskilinjasta ja nousee 1:1,5 luiskalla tasolta +16,10 tasolle +17,00. Eli vastapenkereen korkeus noin 0,90 metriä.

Laskenta tehdään kohdan 2.1 suljetun leikkauslujuuden arvoilla (undrained-tila), jolloin ohjelma osaa huomioida vastapenkereestä syntyvän ylivedenpaineen maakerroksissa. Mikäli savikerroksen leikkauslujuus laskettaisiin tehokkailla maaparametreilla, pitäisi pystyä arvioimaan pysyvää ja muuttuvasta kuormasta aiheutuvaa huokosveden ylipainetta, mikä on hankalaa.

Parameter	Left Bank	Right Bank
Edge Point X [m]	-14,00	14,00
Edge Point Z [m]	17,000	17,000
Inclination, IN 1	50,0	50,0
Inclination, OUT 1	1,5	1,5

Laskentamenetelmä:

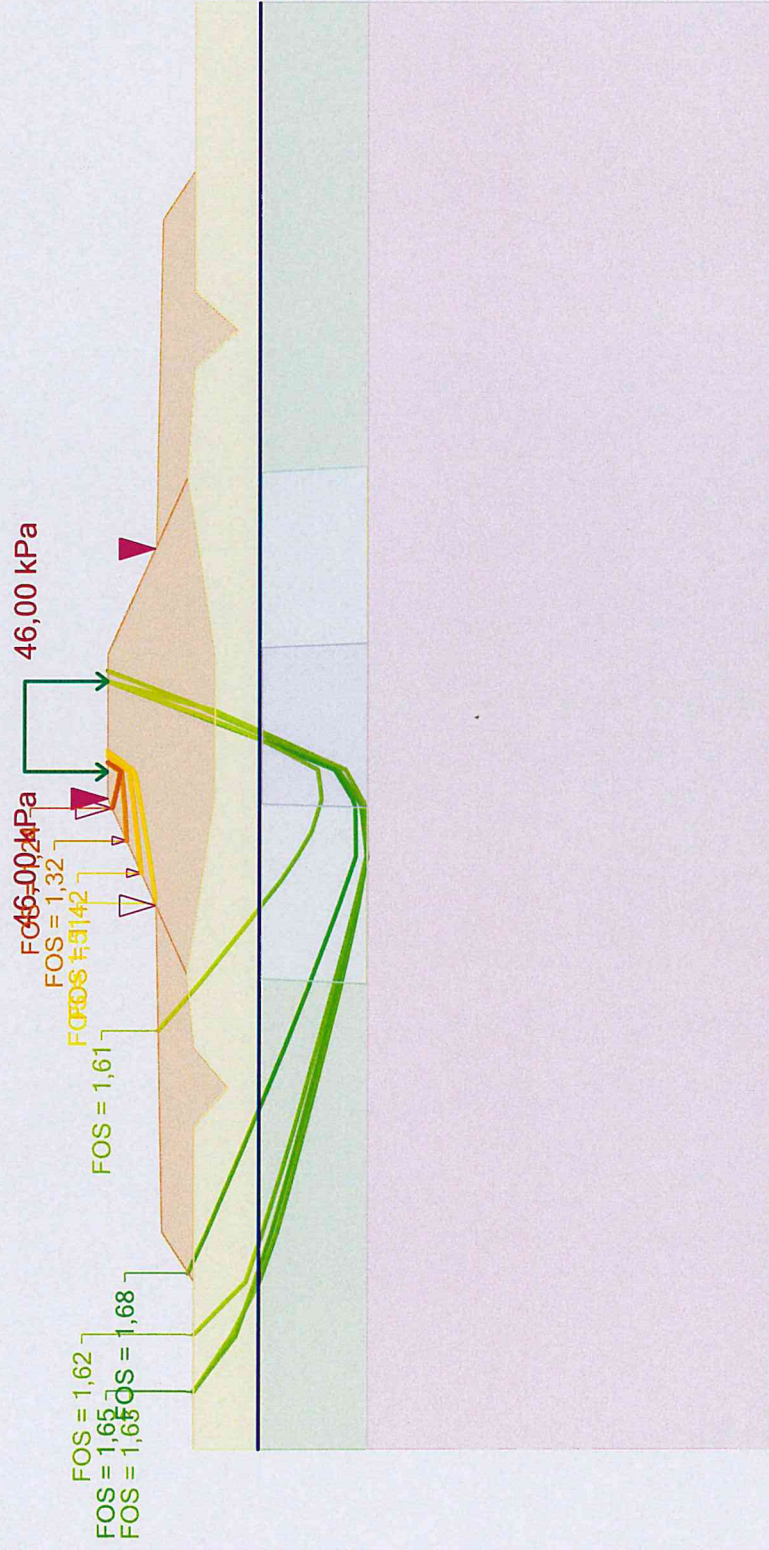
Janbu's Simplified, non-circular, concave

Muuttuva kuorma:

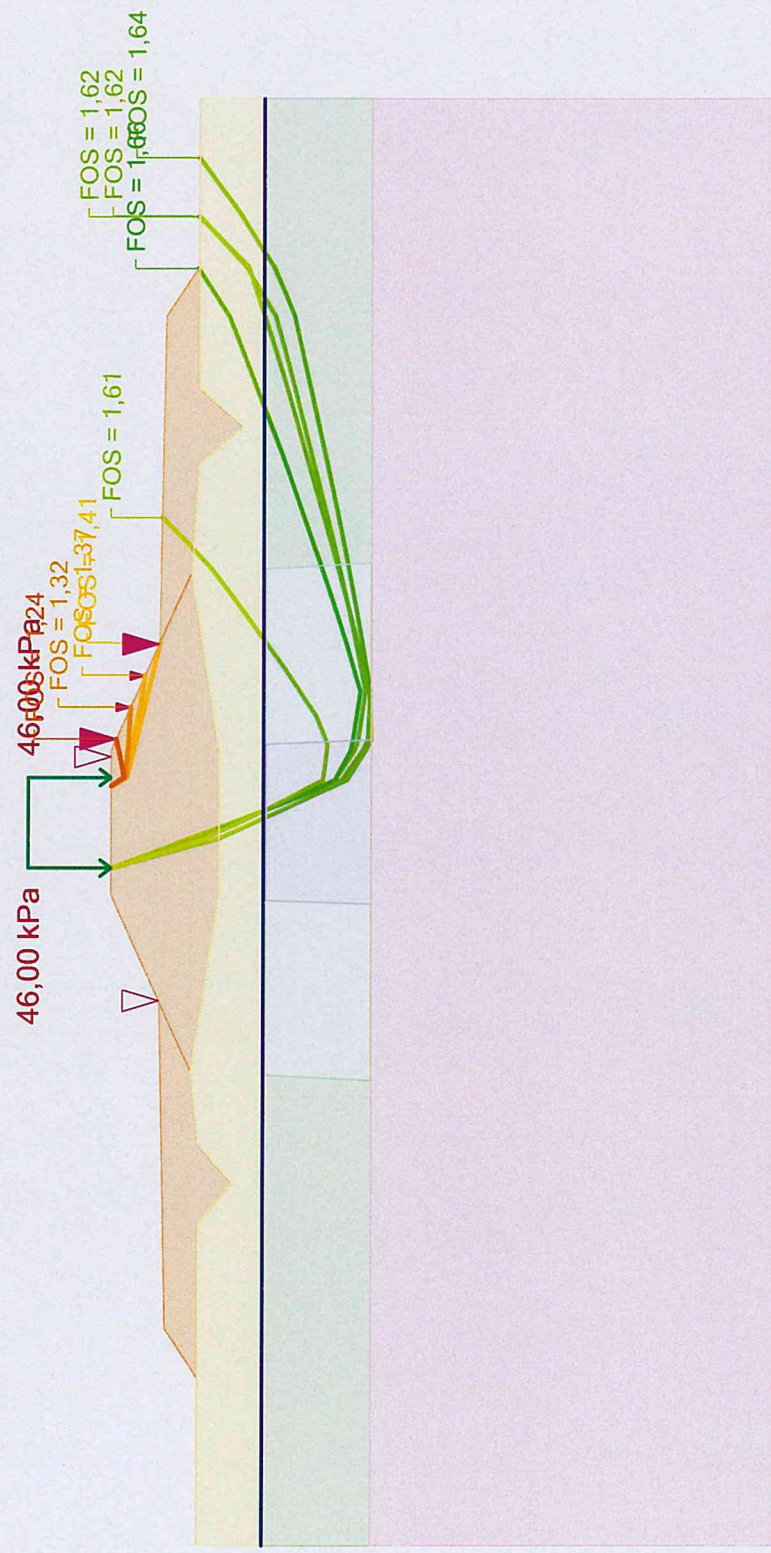
Junakuorma 46 kPa, L=2,5 m

Tulos:

Vaarallisimmat liukupinnat on tutkittu vastapenkereen ulkopuolella, vastapenkereen päällä ja ratapenkereessä. Ainoastaan ratapenkereessä ilmenee heikkoja liukupintoja, joiden kokonaisvarmuus on alle 1,50. Tämä tulos vaikuttaa ristiriitaiselta, koska ratapenkereen on todettu kestävän jo uutena, joten sen stabiliteetin pitäisi ainoastaan parantua ajan kanssa. Tämän vuoksi rakenteen varmuuden sortumaa vastaan todetaan olevan riittävä.

$f_0 = 1,05$ 

2D Janbu's Simplified
 Min.FOS = 1,24
 $f_0 = 1,05$



4. Lopputulos ja päätelmät

Ratapenkereen stabiliteetin todetaan parantuvan ajan kanssa. Kohdissa 2.1. ja 2.2. eri tavoilla laskettujen leikkauslujuuden arvojen todetaan olevan hyvin lähellä toisiaan. Tällä perusteella olisi syytä suosia yksinkertaisempaa laskentaa siipikairaukseen perustuvilla suljetunleikkauslujuuden arvoilla silloin, kun rakenteessa esiintyy huokosveden ylipainetta (undrained-tila).

Ratapenger tarvitsee molemmin puolin vastapenkereet, jotta rakenteen varmuus sortumaa vastaan olisi riittävä.