

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 2: Settlements

Given to: Ville Lehtonen via Moodle

Date 28.10.2017

Sisällys

Yleistä	3
Toimeksianto.....	3
Pohjamaa ja maaparametrit	3
Kuormitusotaksumat	3
Vastapenkereiden mitat	4
1. Uusi ratapenger ja vastapenkereet	5
Tehokas pystykuorma ja esikonsolidaatiojännitys eri syvyyksillä:	5
Kuormitus.....	7
Painuma-aika.....	7
Laskentatulokset	7
2. Vanha ratapenger ja uudet vastapenkereet	12
Kuormitus.....	12
Painuma-aika.....	12
Laskentatulokset	12

Yleistä

Toimeksianto

Toimeksiantona tutkitaan ratapenkereen ja sen ympäristön painumia ja painuma-aikaa seuraavissa tilanteissa:

- Uusiratapenger ja vastapenkereet
- Vanha painunut ratapenger ja uudet vastapenkereet

Molemmissa tapauksissa tutkitaan painumien kehittymistä ajan suhteen ratapenkereen rakentamishetkestä 100 vuoden ajan. Sallittuihin painumiin ei oteta tässä työssä kantaa.

Pohjamaa ja maaparametrit

Ratapenger on kerroksittain tiivistettyä kalliomurskettä 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 kuivakuoren alapinnassa. Näiden alla on noin 3,0 metrin paksuinen ylikonsolidoitunut savikerros. Saven alla on 10 metriä paksu normaalikonsolidoitunut silttikerros.

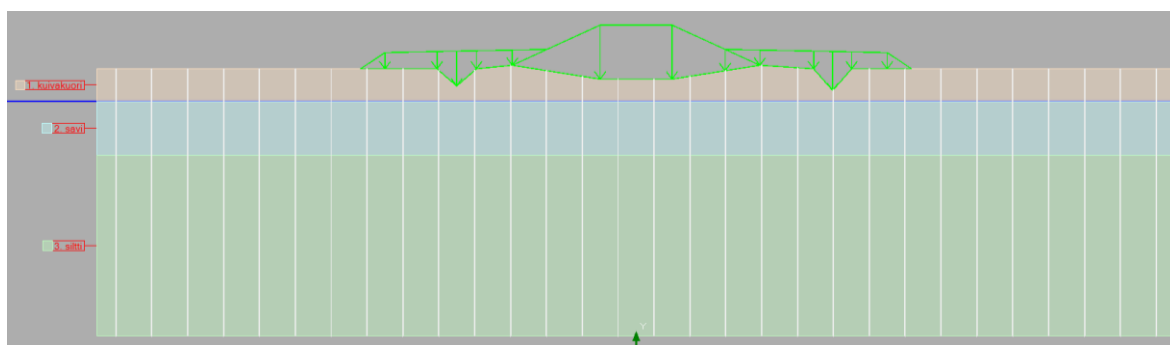
Kohteella on tehty pohjatutkimuksia, joilla on määritetty maakerrosrajat ja maaparametrit. Joka kerroksesta on otettu maanäytteet, joista on määritetty maalaji, tilavuuspaino, painumaparametrit ja savikerroksen esikonsolidaatiojännitys kolmelta syvyydeltä ödometrikokeella määritettynä.

Maaparametreille ei käytetä osavarmuuskertoimia, koska lasketaan käyttörajatilan muodonmuutoksia, ei murtorajatilan kestävyksiä.

Kuormitusotaksumat

Penkereiden kuormat on otaksuttu pysyviksi kuormiksi. Junakuorma 25 tonnin akselipaino, pintakuormana 46 kPa, on muuttuva lyhytaikainen kuorma, joka ei ehdi aiheuttaa painumia savikerroksessa.

Kuormituksen laskennassa on huomioitu sivuojien leikkaukset, jotka hieman keventävät pohjamaan kuormitusta. Tämä huomioidaan määrittämällä savikerroksen ylikonsolidaatiojännitys korkeustason suhteen vakiona joka laskentapisteelle. Konsolidaatiojännitys on laskettu myöhempänä.



Kuva 1: Ratapenkereen ja vastapenkereiden poikkileikkaus.

Vastapenkereiden mitat

Vastapenkereiden alaluiska alkaa etäisyydeltä +14,0 metriä radan keskilinjasta ja nousee 1:1,5 luiskalla tasolta +16,10 tasolla +17,00. Tästä vastapenger nousee ratapenkereen luiskaan 1:20 kaltevuudella. Vastapenkereen korkeus on noin 0,9 metriä.

1. Uusi ratapenger ja vastapenkereet

Penger ja vastapenkereet rakennetaan samaan aikaan ja aiheuttavat pohjamaan savikerrokseen huokosveden ylipaineen. Painuminen kestää niin kauan, kunnes savikerroksen huokosveden ylipaine on laskenut normaalin veden paineen tasolle. Savikerros kuivattuu kahteen suuntaan: kuivakuoren ja silttikerroksen yläpintaan. Vesi ei pääse siirtymään vaakasuunnassa maakerroksen sisällä. Ratapenger on mursketta ja rakennetaan ja tiivistetään huolellisesti eikä siinä tapahdu sisäisiä painumia. Tutkitaan pohjamaan painumia ratapoikkileikkauksen eri kohdissa.

Laskennassa käytetyt maaparametrit on esitetty alapuolisessa taulukossa.

Id	Color	Soil layer	Material model	Consolidation pressure	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]
1	...	kuivakuori	Constant M	Normally consolidated	16,200	17,000
2	...	savi	Ohde-Janbu	Free selection	15,700	15,700
3	...	siltti	Ohde-Janbu	Normally consolidated	18,200	18,200

σ_c top	σ_c bottom	M [kPa]	m1	β_1	m2	β_2	m1 bound to σ_c	σ_c oedo
		16200,00						
42,20	59,30		10,50	-0,20	27,50	1,00	yes	50,00
			85,50	0,30			no	0,00

Cv NC	Cv OC	k	k0	α	Permeable horizontally
1,00000					no
2,10000	14,20000				no
504,00000					no

Kuivakuorisavi ja silttikerrokset ovat savi kerrosta karkeampia ja tiiviimpiä, minkä takia niitä käsitellään normaalikonsolidoituneina maakerroksina. Savikerroksesta otetuista näytteistä on laskettu esikonsolidaatiojännitys. Painumaparametrit M, m, β ja C on saatu laboratoriotutkimuksista. Parametri M_1 on sidottu määritettyyn konsolidaatiojännitykseen.

Tehokas pystykuorma ja esikonsolidaatiojännitys eri syvyyksillä:

Lasketaan määntyteistä mitatun konsolidaatiojännityksen ja laskennallisen tehokkaan pystyjännityksen avulla savikerroksen ylikonsolidaatiojännitys ja sen muoto. Tehokkaassa pystyjännityksessä huomioidaan maakerrosten paino ja huokosvedenpaine laskentasyvyyden suhteen.

Pohjamaa

- Maanpinta tasolla +16,10
- Pohjavesi tasolla +14,30
- Kuivakuori 1,8 metriä, 16,2 kN/m³
- Savi 3,0 metriä, 15,7 kN/m³
- Siltti 10 metriä, 18,2 kN/m³

Näyte 1: +13,6, etäisyys maanpinnasta 2,5 metriä

- Kuivakuori 1,8 metriä
- Savi 0,7 metriä
- Vedenpaine 0,7 metriä
 - Tehokas pystyjännitys $1,8 \text{ m} * 16,2 \text{ kN/m}^3 + 0,7 \text{ m} * (15,7 - 10) \text{ kN/m}^3 = 33,15 \text{ kN/m}^2$
 - Mitattu esikonsolidaatiojännitys = $46,70 \text{ kN/m}^3$
 - Pohjamaa on ylikonsolidoitunut = $(46,70 - 33,15) \text{ kN/m}^3 = 13,55 \text{ kN/m}^2$

Näyte 2: +12,8, etäisyys maanpinnasta 3,3 metriä

- Kuivakuori 1,8 metriä
- Savi 1,5 metriä
- Vedenpaine 1,5 metriä
 - Tehokas pystyjännitys $1,8 \text{ m} * 16,2 \text{ kN/m}^3 + 1,5 \text{ m} * (15,7 - 10) \text{ kN/m}^3 = 37,71 \text{ kN/m}^2$
 - Mitattu esikonsolidaatiojännitys = $49,70 \text{ kN/m}^3$
 - Pohjamaa on ylikonsolidoitunut = $(49,70 - 37,71) \text{ kN/m}^3 = 11,99 \text{ kN/m}^2$

Näyte 3: +12,1, etäisyys maanpinnasta 4 metriä

- Kuivakuori 1,8 metriä
- Savi 2,2 metriä
- Vedenpaine 2,2 metriä
 - Tehokas pystyjännitys $1,8 \text{ m} * 16,2 \text{ kN/m}^3 + 2,2 \text{ m} * (15,7 - 10) \text{ kN/m}^3 = 41,70 \text{ kN/m}^2$
 - Mitattu esikonsolidaatiojännitys = $55,10 \text{ kN/m}^3$
 - Pohjamaa on ylikonsolidoitunut = $(55,10 - 41,70) \text{ kN/m}^3 = 13,40 \text{ kN/m}^2$

Tutkitaan esikonsolidaatiojännityksen muotoa. Ylikonsolidaatio näyttäisi olevan joka syvyydellä melko saman suuruinen. Konsolidaatiojännityksen kuvaajaa syvyyden suhteen voisi parhaiten kuvata POP:n arvo, joka vastaa ylikonsolidaatiojännitysten keskiarvoa. Käytetään painumalaskennassa ylikonsolidaatiojännitystä $POP = 13,00 \text{ kPa}$.

Määritetään laskentaohjelmalle esikonsolidaatiojännitys savikerroksen ylä- ja alapinnassa vapaana valintana. Esikonsolidaatiojännitys saadaan, kun tehokkaaseen pystyjännitykseen lisätään ylikonsolidaatiojännitys.

+14,1: Saven yläpinta

- Kuivakuori 1,8 metriä
- Savi 0,0 metriä
- Vedenpaine 0,0 metriä
 - Tehokas pystyjännitys $1,8 \text{ m} * 16,2 \text{ kN/m}^3 + 13 \text{ kN/m}^2 = 42,2 \text{ kN/m}^2$

+11,3: Saven alapinta

- Kuivakuori 1,8 metriä
- Savi 3,0 metriä
- Vedenpaine 3,0 metriä
 - o Tehokas pystyjännitys $1,8 \text{ m} * 16,2 \text{ kN/m}^3 + 3 \text{ m} * (15,7 - 10) \text{ kN/m}^3 + 13 \text{ kN/m}^2 = 59,3 \text{ kN/m}^2$

Käytetään näitä kahta arvoa savikerroksen esikonsolidaatiojännityksinä.

Kuormitus

Kuormana on samanaikaisesti vaikuttava ratapenkereen ja vastapenkereiden omapaino.

Id	Load type	Intensity [kN/m2]	History	Constr.time [year]	NQ	Mark points	Top boundary	Bottom boundary
▶ 1	(22) Embankmentload	38,60	Standard	0,00	3	Not Calculated	Permeable	Permeable
2	(22) Embankmentload	59,88	Standard	0,00	3	Not Calculated	Permeable	Permeable
3	(22) Embankmentload	43,22	Standard	0,00	3	Not Calculated	Permeable	Permeable

Painuma-aika

Painuma lasketaan ajanhetkillä:

- 0,5 a
- 1,0 a
- 2,0 a
- 5,0 a
- 10,0 a
- 20,0 a
- 50,0 a
- 100,0 a

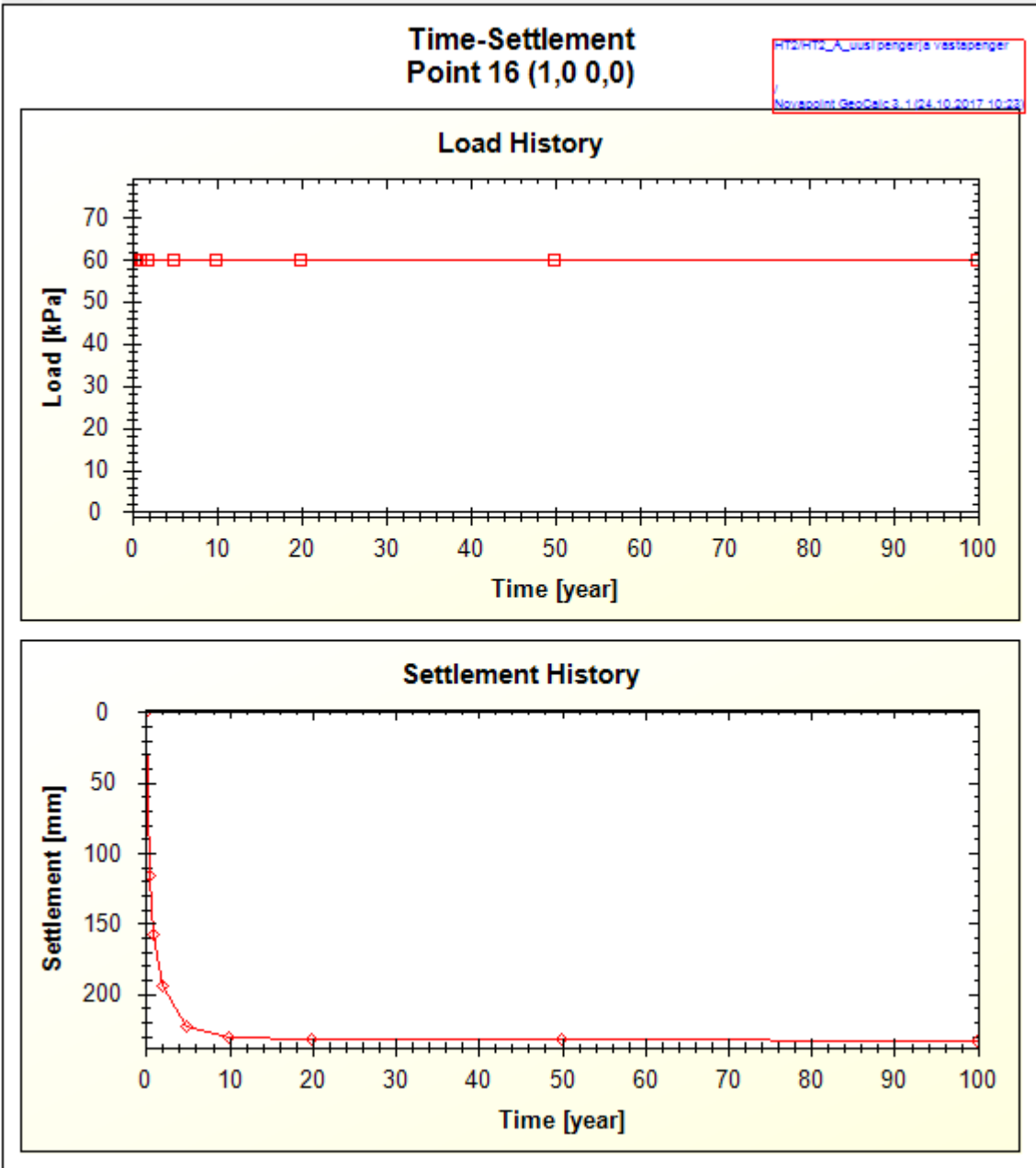
Laskentatulokset

Pohjamaan laskennallinen kokonaispainuma penkereen keskilinjalla on 240 mm, penkereen luiskan alareunassa 110 mm, vastapenkereen reunoilla 50 mm. Painuma-aika on noin 20 vuotta, minkä jälkeen painumat ovat hyvin pieniä.

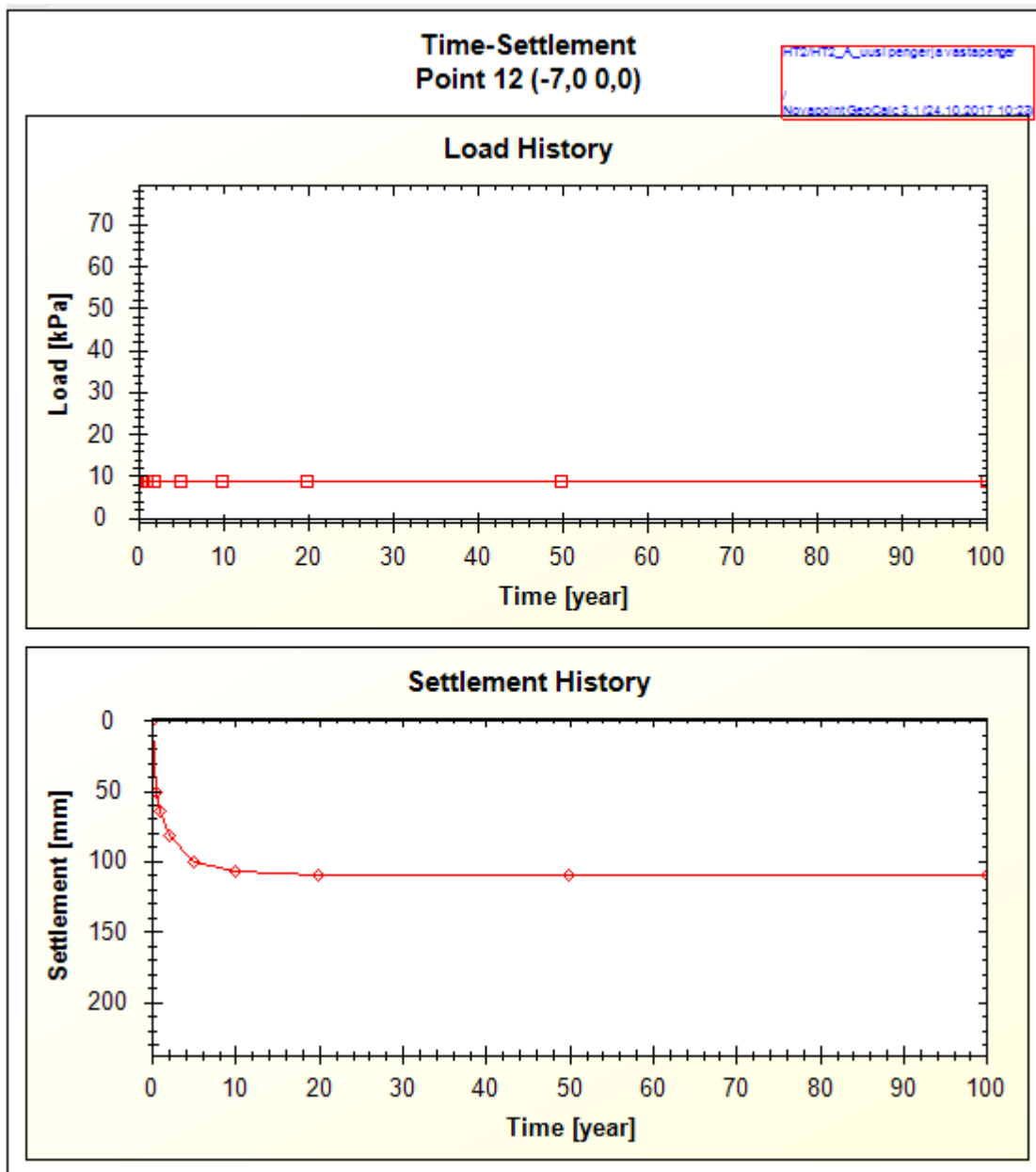
Silttikerroksen laskennallinen kokonaispainuma penkereen keskilinjalla on 40 mm, penkereen luiskan alareunassa 40 mm, vastapenkereen reunoilla 20 mm. Silttikerroksen painumat tapahtuvat savikerrosta nopeammin, todennäköisesti muutamassa vuodessa.

Savikerros on hyvin ohut. Painumat ja niihin kuluva aika ovat suhteellisen pieniä. Kuormat jakautuvat savikerroksessa niin kapealle alalle, että kuormanlisäys aiheuttaa painumia myös alapuolisessa silttikerroksessa, mitä paksuilla savikoilla ei juuri tapahtuisi tällaisella kuormanlisäyksellä.

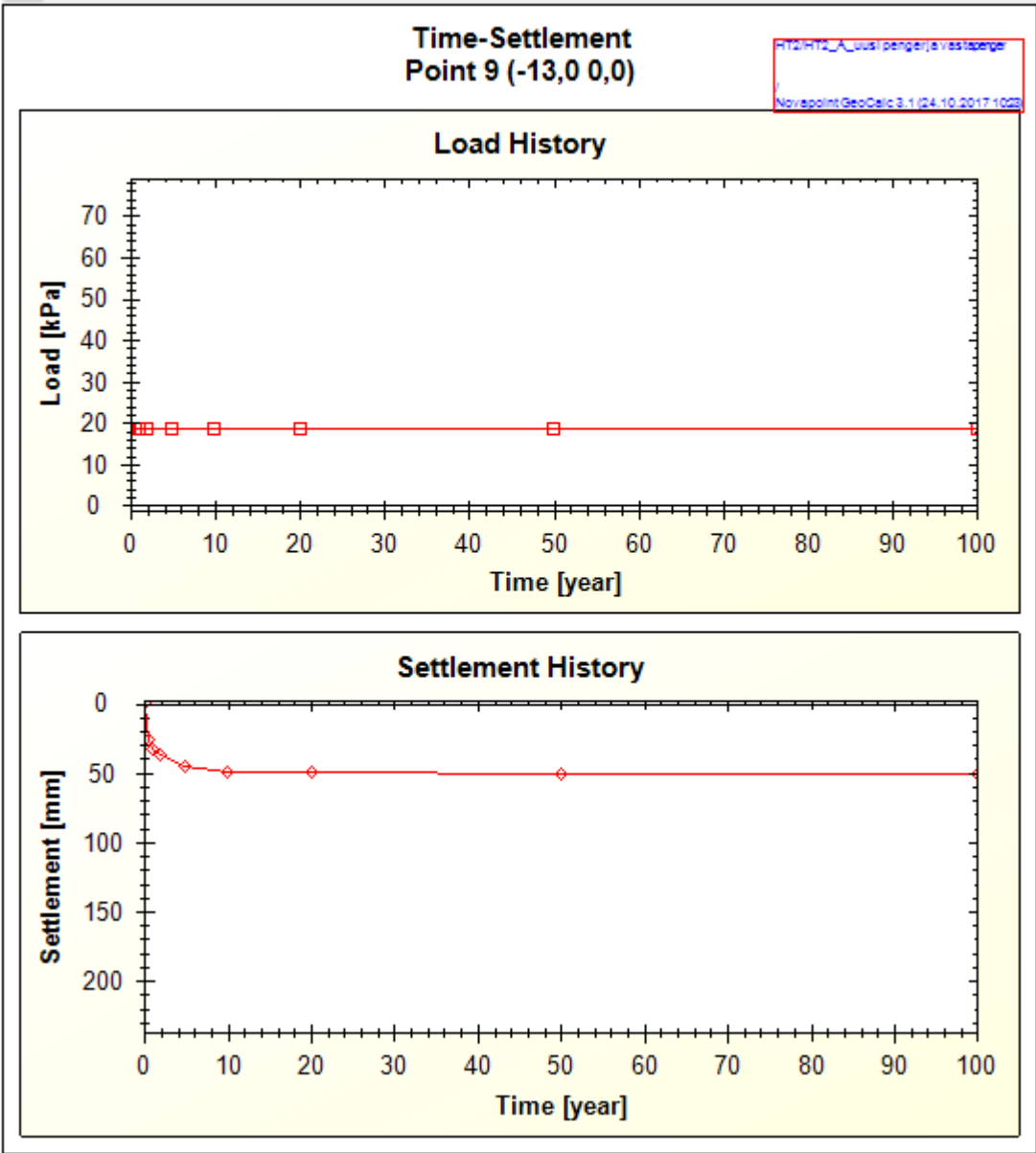
Kokonaispainuma on hyvin pieni varsinkin, jos koko ratalinjan voidaan olettaa painuvan tasaisesti.



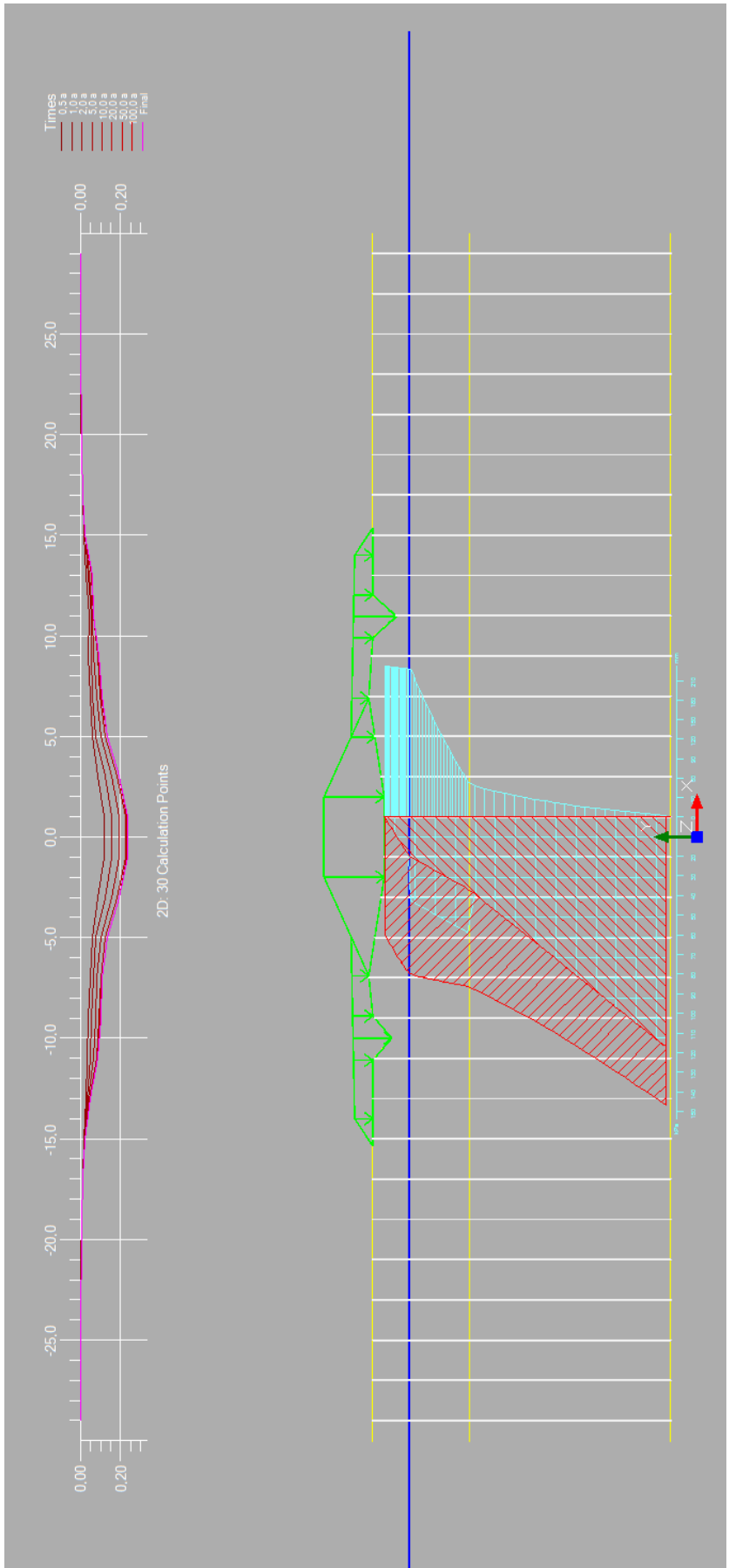
Kuva 2: Penkereen keskilinjan aika-painuma-kuvaaja



Kuva 3: Ratapenkereen reunan aika-painuma-kuvaaja



Kuva 4: Vastapenkereen reunan aika-painuma-kuvaaja



Kuva 5: Penkereen keskilinan painumakäyrät eri ajanhetkillä ja painumien jakauma eri maakerroksissa.

2. Vanha ratapenger ja uudet vastapenkereet

Kohdassa 1. rakennettu murskepenger on rakennettu 50 vuotta ennen vastapenkereitä. Ratapenkereestä aiheutuneet painumat ovat tapahtuneet, mutta vastapenkereet aiheuttavat radalle uusia painumia. Tutkitaan vastapenkereiden aiheuttamia painumia ratapoikkileikkauksen eri kohdissa.

Kuormitus

Ratapenkereen rakentamishetkellä kuormana vaikuttaa vain ratapenkereen omapaino. Kuormana on samanaikaisesti vaikuttava ratapenkereen ja vastapenkereiden omapaino. 50 vuoden päästä rakennetaan myös vastapenkereet, jotka omalla painollaan kuormittavat pohjamaata.

Id	Load type	Intensity [kN/m ²]	History	Constr. time [year]	NQ	Mark points	Top boundary	Bottom boundary
▶ 1	(22) Embankmentload	38,60	Changing	0,00	4	Not Calculated	Permeable	Permeable
2	(22) Embankmentload	59,88	Standard	0,00	5	Not Calculated	Permeable	Permeable
3	(22) Embankmentload	43,22	Changing	0,00	4	Not Calculated	Permeable	Permeable

Painuma-aika

Painuma lasketaan ajanhetkillä:

- 0,5 a
- 1,0 a
- 2,0 a
- 5,0 a
- 10,0 a
- 20,0 a
- 50,0 a (Rakennetaan vastapenkereet)
- 50,5 a
- 51,0 a
- 52,0 a
- 55,0 a
- 60,0 a
- 70,0 a
- 100,0 a

Laskentatulokset

Ratapenkereen aiheuttama kokonaispainumat pohjamaassa radan keskilinjalla on noin 230 mm ja penkereen reunalla 20 mm. Painumat tapahtuvat noin 20 vuodessa.

Vastapenkereiden aiheuttamat painumat kokonaispainumat pohjamaassa radan keskilinjalla on noin 10 mm ja penkereen reunalla 80 mm. Lisäpainumat ovat kokonaisuudessaan tapahtuneet noin 30 vuotta vastapenkereiden rakentamisen jälkeen.

Lopulliset kokonaispainumat ovat siis radan keskellä 240 mm ja penkereen reunoilla 100 mm, mikä vastaava hyvin kohdassa 1. laskettuja painumia.

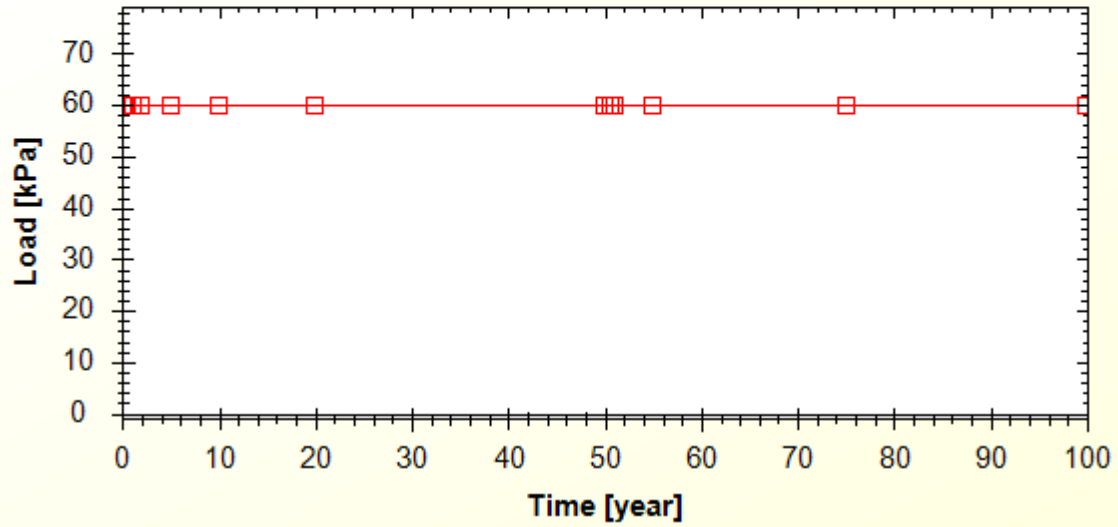
Vastapenkereiden painuminen siis muotoilee ratapengertä aiheuttaen muodonmuutoksia penkereen reunoille. Keskellä raiteen alla lisäpainuma on kuitenkin hyvin pieni ja penkereen muodostuminen "kupukorkeaksi" ratapölkkyjen alla on hyvin marginaalista. Itse rataan aiheutuvat muodonmuutokset ovat todennäköisesti olemattomia, vaikka penkereen reunat painuisivatkin.

Time-Settlement Point 16 (1,0 0,0)

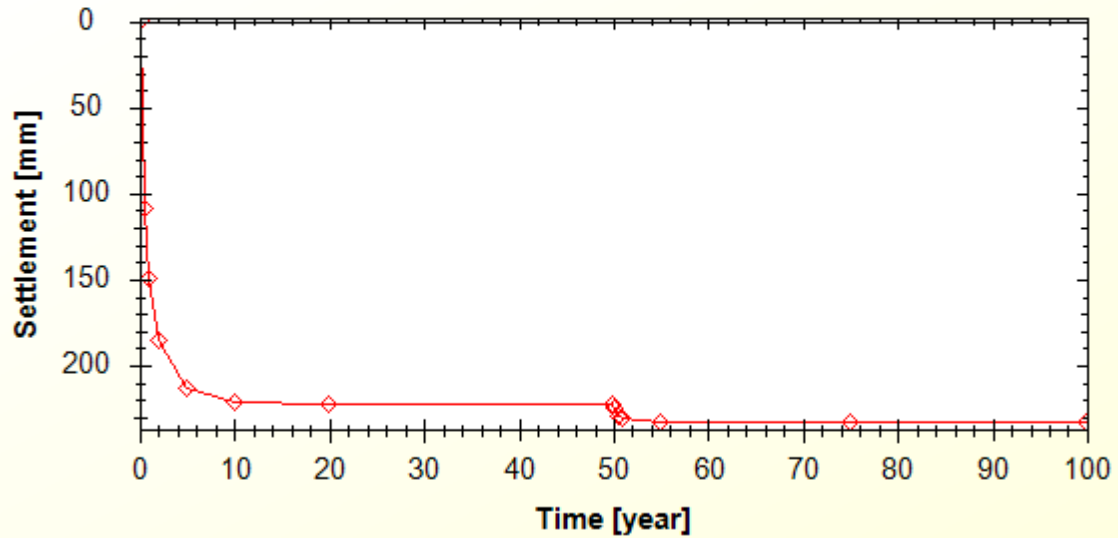
HT2\HT2_A_uusi\penger ja vastapenger

Novapoint GeoCalc 3.1 (24.10.2017 10:18)

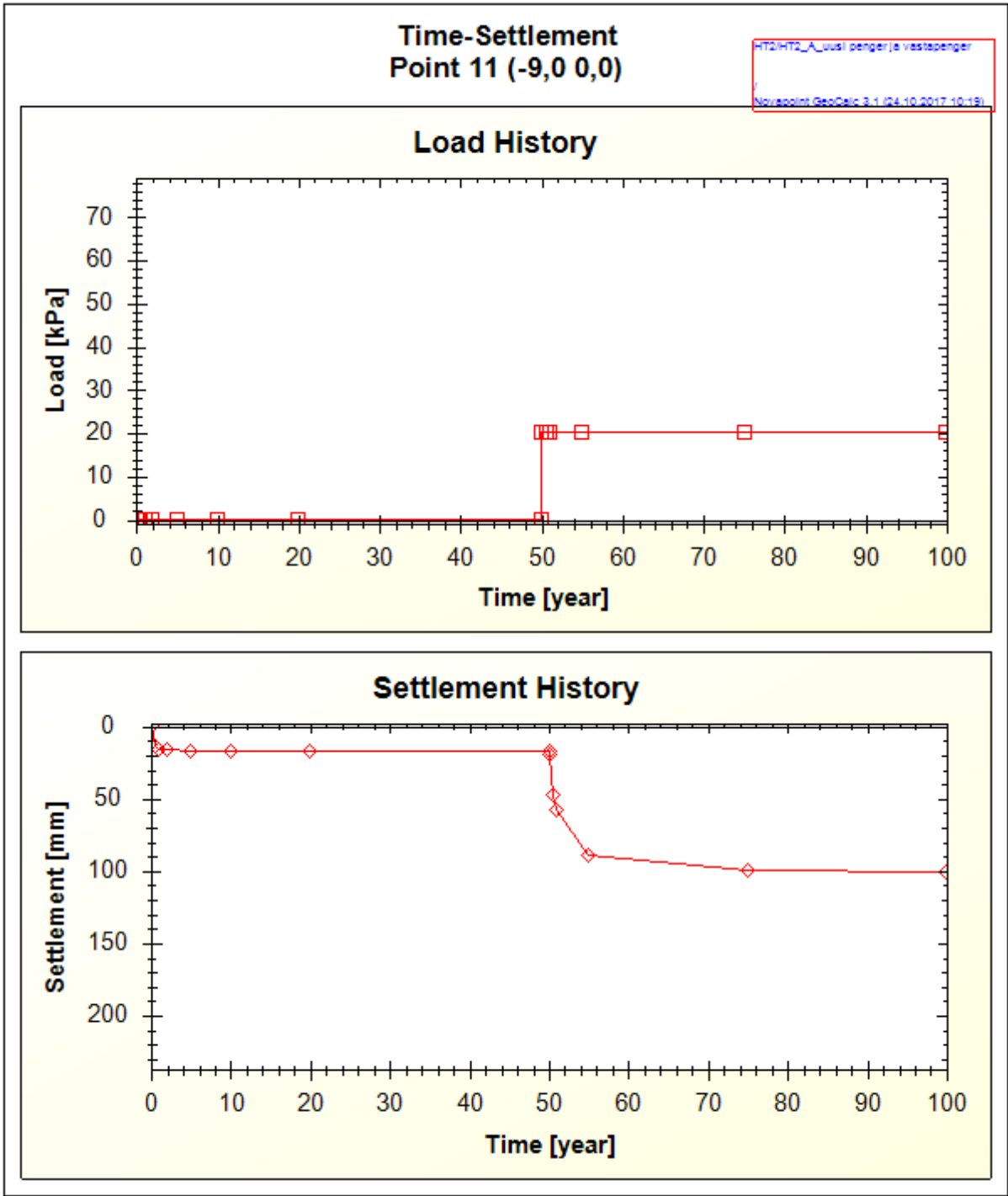
Load History



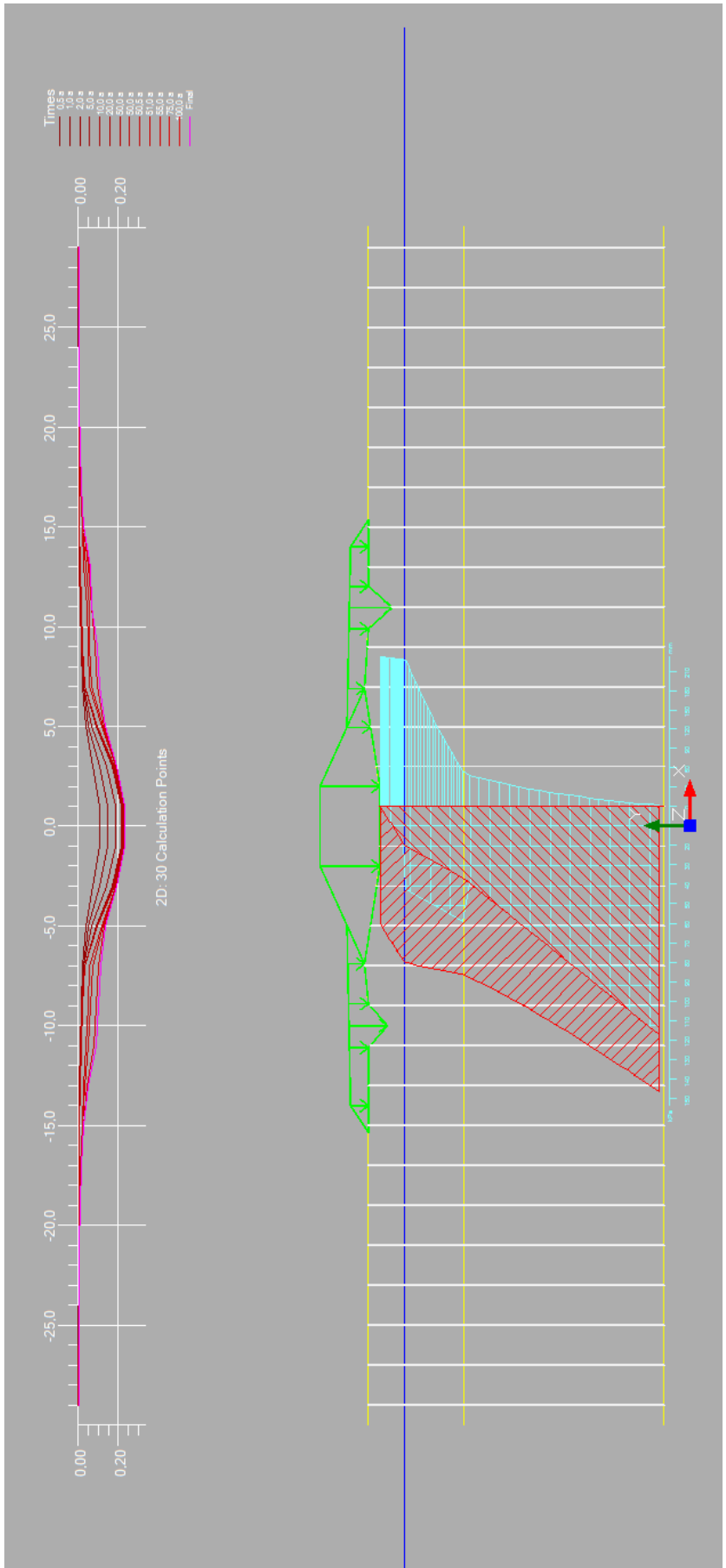
Settlement History



Kuva 6: Penkereen keskilinjan painumakäyrät eri ajanhetkillä. Vastapengeret aiheuttavat pienen lisäpainuman.



Kuva 7: Penkereen keskilinan painumäyrät eri ajanhetkillä. Vastapenkeret aiheuttavat suuret painumat.



Kuva 8: Penkereen keskilinjan painumakäyrät eri ajanhetkillä.