

PM PROJEKTERINGSUNDERLAG/GEOTEKNIK  
**GUNNARSKÄL, ESKILSTUNA**



**UPPDRAG** 303931, Gunnarskäl, Folkesta och Ekeby Eskilstuna

Titel på rapport: PM Projekteringsunderlag/ Geoteknik

Status: Slutrapport

Datum: 2020-09-11

**MEDVERKANDE**

Beställare: Eskilstuna kommun, KLK, Fastighet och Exploatering

Kontaktperson: Magnus Lind, Joakim Persson

Konsult: Elin Thorssell, Tyréns

Uppdragsansvarig: Elin Thorssell, Tyréns

Kvalitetsgranskare: John Byers, Tyréns AB

Uppdragsansvarig: Elin Thorssell

---

Datum: 2020-09-11

Handlingen granskad av: John Byers

---

Datum: 2020-09-11

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>OBJEKT.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>ÄNDAMÅL.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>UNDERLAG FÖR PM PROJEKTERINGSUNDERLAG .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>STYRANDE DOKUMENT .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>PLANERAD/FÖRESLAGEN KONSTRUKTION OCH (TILLHÖRANDE) GEOTEKNISKA FRÅGETSTÄLLNINGAR.....</b>	<b>6</b>
	5.1 PLANERAD KONSTRUKTION/ANLÄGGNING .....	6
	5.2 GEOTEKNISKA FRÅGESTÄLLNINGAR.....	7
<b>6</b>	<b>MARKFÖRHÅLLANDEN.....</b>	<b>7</b>
	6.1 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN.....	7
	6.1.1 GODSBANGÅRD.....	7
	6.1.2 PLANOMRÅDE FÖR INDUSTRIMARK.....	8
	6.2 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN.....	10
	6.2.1 GODSBANGÅRD.....	12
<b>7</b>	<b>DIMENSIONERING OCH BERÄKNINGAR FÖR GODSBANGÅRD.....</b>	<b>12</b>
	7.1 BESKRIVNING AV PLANERAD ANLÄGGNING.....	12
	7.2 GEOTEKNISK KATEGORI OCH SÄKERHETSKLASS .....	13
	7.2.1 GEOTEKNISK KATEGORI.....	13
	7.2.2 SÄKERHETSKLASS .....	13
	7.3 UTVÄRDERING AV GEOKONSTRUKTIONENS DIMENSIONERANDE VÄRDEN .....	14
	7.3.1 VALDA VÄRDEN.....	14
	7.3.2 KARAKTERISTISKA VÄRDEN .....	17
	7.3.3 DIMENSIONERANDE VÄRDEN .....	18
	7.3.4 DIMENSIONERANDE HYDROGEOLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR .....	19
	7.4 GJORDA ANTAGANDEN.....	19
	7.4.1 LASTER.....	19
	7.4.2 KRAV PÅ ANLÄGGNINGEN.....	20
<b>8</b>	<b>STABILITETSBERÄKNINGAR FÖR GODSBANGÅRD .....</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>SÄTTNINGSBERÄKNINGAR FÖR GODSBANGÅRD .....</b>	<b>23</b>
	9.1 TOTALSÄTTNINGAR.....	23
	9.2 SÄTTNINGAR I LÄNGDLED .....	26
	9.3 TVÄRFALLSSÄTTNINGAR.....	26
<b>10</b>	<b>FÖRSLAG PÅ FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER FÖR GODSBANGÅRD .....</b>	<b>28</b>
<b>11</b>	<b>REKOMMENDATIONER FÖR GODSBANGÅRD .....</b>	<b>30</b>

<b>12</b>	<b>DIMENSIONERING OCH BERÄKNINGAR FÖR PLANOMRÅDE .....</b>	<b>30</b>
12.1	GEOTEKNISK KATEGORI OCH SÄKERHETSKLASS .....	30
12.2	MATERIALPARAMETRAR.....	30
12.2.1	ODRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET .....	31
12.2.2	FÖRKONSOLIDERINGSSPÄNNING .....	34
12.2.3	FRIKTIONSVINKEL OCH ELASTICITETSMODUL.....	35
12.2.4	SAMMANSTÄLLNING AV VALDA VÄRDEN .....	36
<b>13</b>	<b>SÄTTNINGSFÖRHÅLLANDEN INOM PLANOMRÅDE .....</b>	<b>36</b>
<b>14</b>	<b>TOTALSTABILITET FÖR PLANOMRÅDET (SKRED OCH RAS) .....</b>	<b>38</b>
<b>15</b>	<b>REKOMMENDATIONER FÖR PLANOMRÅDE .....</b>	<b>39</b>
15.1	BYGGBARHET.....	39
15.2	GRUNDLÄGGNING .....	39
15.3	SCHAKTARBETEN .....	40
15.4	FYLLNINGARBETEN.....	40
15.5	GRUNDEVATTENSÄNKNING.....	40
<b>16</b>	<b>LOKALT OMHÄNDERTAGANDE AV DAGVATTEN (LOD) INOM PLANOMRÅDET .....</b>	<b>41</b>
<b>17</b>	<b>ÖVRIGT SAMT FORTSATT PROJEKTERING .....</b>	<b>41</b>
17.1	GODSBANGÅRD.....	41
17.2	PLANOMRÅDE .....	41

#### RITNINGAR

		Datum
102G1201	Tolkade jordarter skala 1:5000	2020-09-11

#### BILAGOR

Bilaga 1	Odränerad och kombinerad analys, sektion A
Bilaga 2	Odränerad och kombinerad analys, sektion B
Bilaga 3	Odränerad och kombinerad analys, sektion C
Bilaga 4	Odränerad och kombinerad analys, sektion D

#### TILLHÖRANDE DOKUMENT/HÄNVISNINGAR

Beteckning	Datum
MUR	2020-09-11

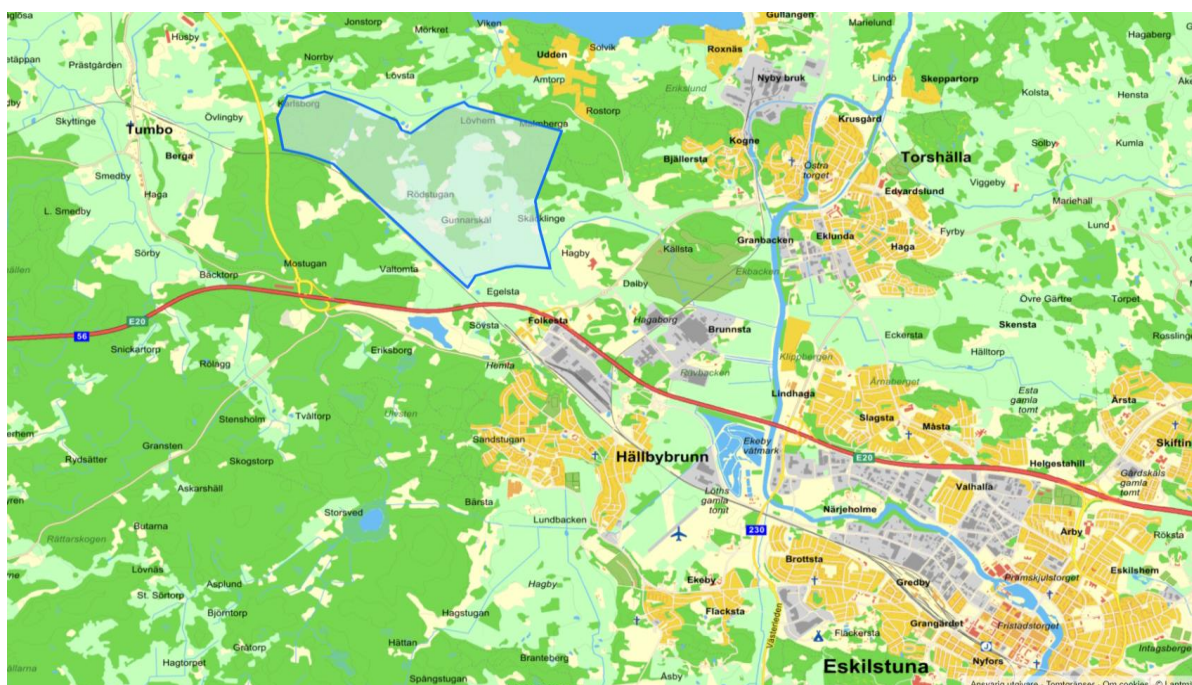
## INLEDNING

Föreliggande PM Projekteringsunderlag behandlar projekteringsförutsättningar avseende geoteknik och grundvatten för rubricerat objekt. Sammanställning av tidigare och nu utförda undersökningar redovisas i en separat rapport, Markteknisk undersökningsrapport/Geoteknik (MUR/Geoteknik).

PM Projekteringsunderlag PM/Geoteknik redogör för geotekniska förutsättningar som underlag till fortsatt dimensionering.

## 1 OBJEKT

På uppdrag Eskilstuna kommun har Tyréns AB utfört en geoteknisk undersökning inom Gunnarskäl i Eskilstuna där planläggning för industriändamål samt en ny godsbangård planeras. Uppdragsansvarig och ansvarig geotekniker för Tyréns AB är Elin Thorssell.



Figur 1 Översiktskarta, aktuellt område är markerat med blå linje

## 2 ÄNDAMÅL

Syftet med den geotekniska utredningen och föreliggande PM Projekteringsunderlag är att ge underlag avseende de geotekniska förhållandena och redogöra underlag för projektering och dimensionering gällande planerade anläggningsarbeten.

För den planerade godsbangården ska utredningen ge underlag till förprojektering. För resterande område där ny industrimark planeras ska utredningen ligga till grund för planläggning.

### 3 UNDERLAG FÖR PM PROJEKTERINGSUNDERLAG

Föreliggande PM an knyter till Markteknisk undersökningsrapport (MUR/Geo), Gunnarskäl, Tyréns AB daterad 2020-09-11, vilken redovisar omfattningen och resultaten av tidigare och nu utförda undersökningar inom aktuellt område.

### 4 STYRANDE DOKUMENT

Styrande standard för denna utredning och PM är SS-EN 1997-1 med tillhörande nationell bilaga BFS 2013:10 – EKS 9 och SS-EN 1997-2.

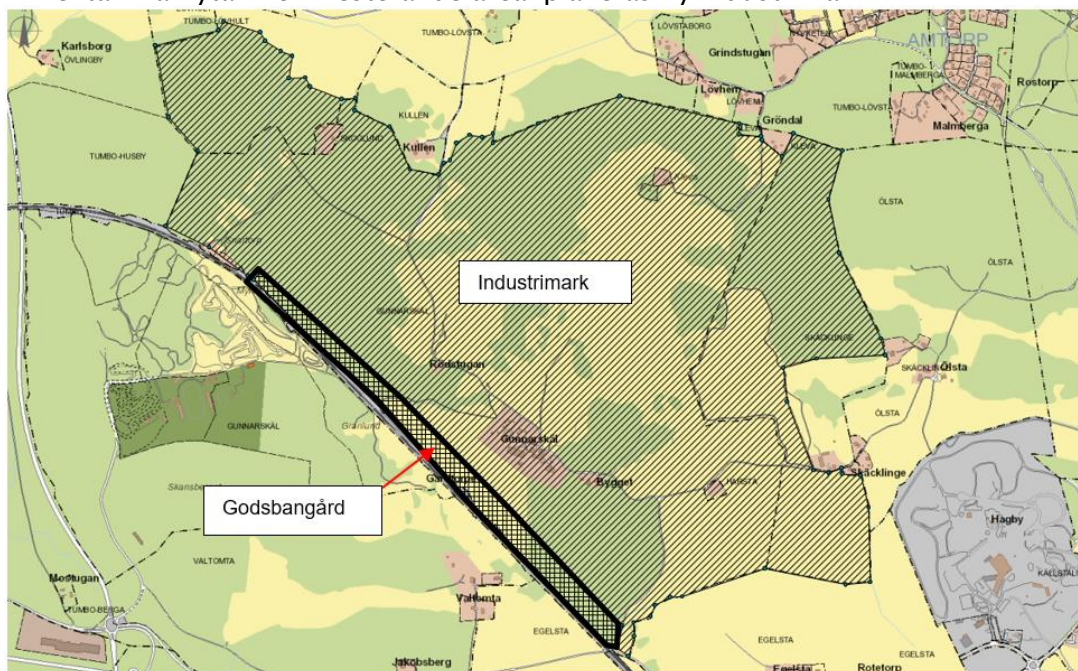
Tabell 1 Styrande dokument.

Dokument	Datum
Eurokod 7, Dimensionering av geokonstruktioner del 1 och 2 SS-EN 1997	2016-02-29
TK Geo 13, version 2.0 (om TRVFS)	
AMA Anläggning 17	

## 5 PLANERAD/FÖRESLAGEN KONSTRUKTION OCH (TILLHÖRANDE) GEOTEKNISKA FRÅGETSTÄLLNINGAR

### 5.1 PLANERAD KONSTRUKTION/ANLÄGGNING

Aktuellt utredningsområde är totalt ca 340 hektar. I den södra delen av utredningsområdet planeras en ny godsbangård då delar av godsbangården i centrala Eskilstuna planeras att flyttas. Området för den planerade godsbangården utgörs av ca 12 hektar markyta. Inom resterande areal planeras ny industrimark.



Figur 2 Delytor inom aktuellt utredningsområde

## 5.2 GEOTEKNISKA FRÅGESTÄLLNINGAR

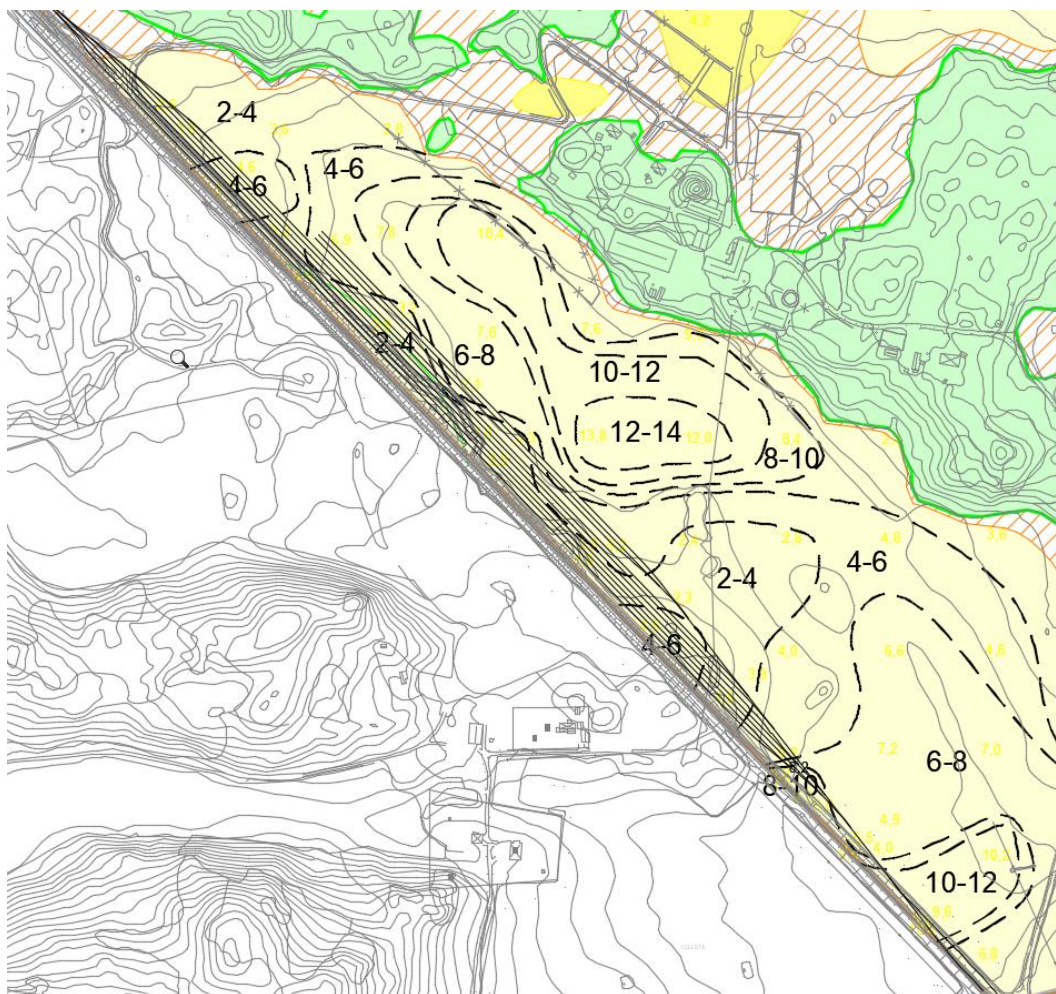
Inom det område där godsbangården planeras ska utredningen ge svar på jordlagerföljd och mäktigheter, grundvattenförhållanden, sättningsegenskaper, stabilitetsförutsättningar och rekommendationer av grundläggningsmetod för spår och anläggningar. För resterande planområde där industrimark planeras är frågeställningarna desamma men med lägre detaljeringsgrad.

# 6 MARKFÖRHÅLLANDEN

## 6.1 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN

### 6.1.1 GODSBANGÅRD

Jorden vid den planerade godsbangården består generellt av lera med ett varierande djup mellan 2 till 10 meter, se figur 3 nedan. Leran består av en torrskorpelera ned till ett djup om ca 0,5 till 2,0 m och är därunder löst lagrad. Leran är ställvis sulfidhaltig eller sulfidfläckig. Den löst lagrade leran har en mycket till extremt låg odränerad skjuvhållfasthet mellan ca 6 - 17 kPa, där skjuvhållfastheten är som lägst mellan 1,5 - 3,0 m under markytan.



Figur 3. Tolkade lermäktigheter inom området för godsbangården. Bilden visar totalt lerdjup av både torrskorpelera och löst lagrad lera.

### 6.1.2 PLANOMRÅDE FÖR INDUSTRIMARK

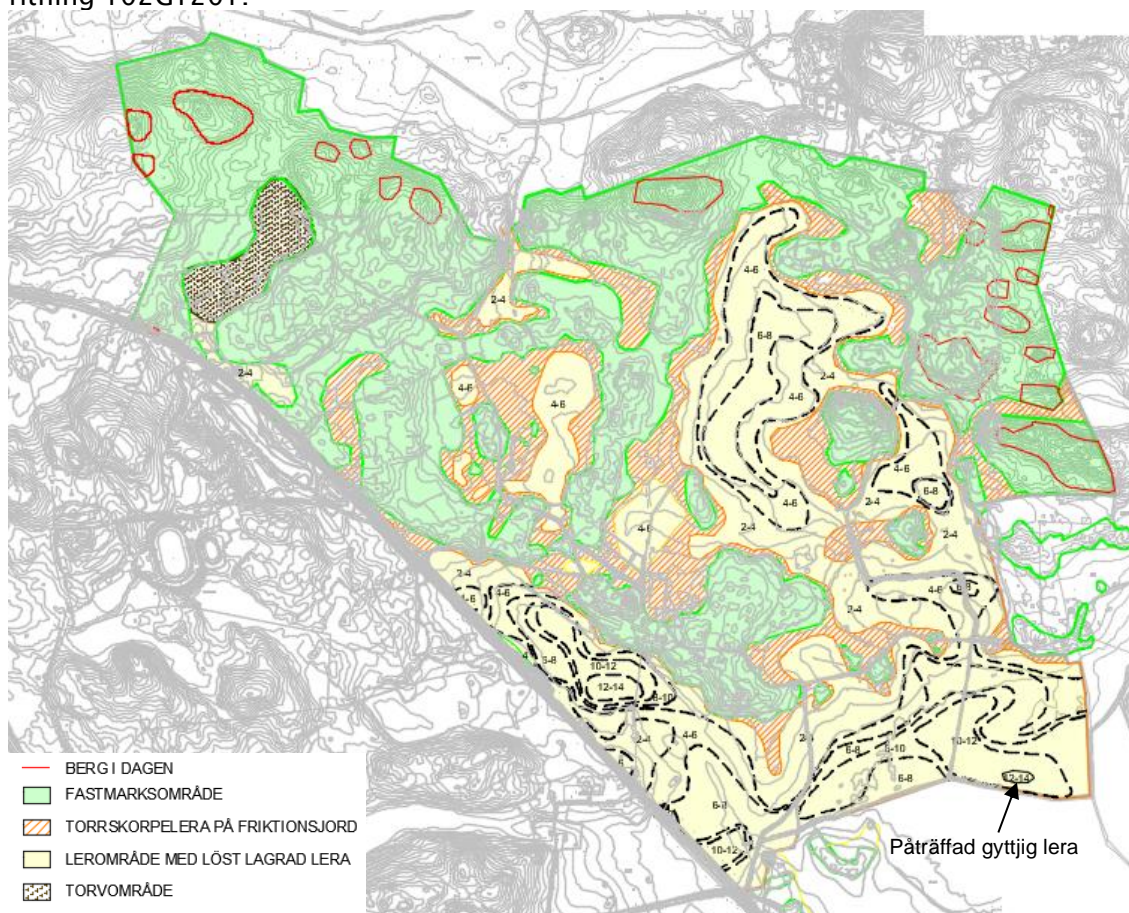
Inom planområdet för planerad industrimark består jorden ungefär hälften av området av fastmarksområden, troligtvis av morän enligt jordartskartan från SGU. Resterande del består av lerområden med varierande djup. Området består främst av fastmark i de västra delarna och främst av lera i de östra delarna.

Leran förekommer om djup varierande mellan 0,5 – 14 m. Leran består av en torrskorpelera ned till ett djup om ca 0,5 till 2,0 m och är därunder löst lagra. Ställvis förekommer torrskorpelera direkt ovan morän.

Den löst lagrade leran har en mycket till extremt låg odränerad skjuvhållfasthet mellan ca 9 – 20 kPa. I närhet till den planerade godsbangården förekommer sannolikt något lägre skjuvhållfastheter då provtagning vid godsbangården visade på skjuvhållfastheter ned till 6 kPa. I de sydöstra delarna har gytjtig lera påträffats.

I den västra delen av planområdet förekommer ett torvområde med ett torvdjup mellan 0,5 – 3,0 m i utförda sticksonderingar. De djupaste sticksonderingarna har avslutats före stopp vilket innebär att djupare torvlager kan förekomma. Torven underlagras enligt utförda sticksonderingar av friktionsjord. Ställvis inom planområdet förekommer berg i dagen.

Se figur 4 nedan för tolkade jordarter och lerdjup. För tolkad ritning i A1- se bilagd ritning 102G1201.



Figur 4 Tolkade jordarter med tolkad lermäktighet inom planområdet. Bilden visar totalt lerdjup av både torrskorpelera och löst lagrad lera.





*Figur 5 Fotot visar ett av de befintliga lerområdena inom planområdet*



*Figur 6 Fotot visar ett av de befintliga moränområdena inom planområdet*



*Figur 7 Fotot visar det befintliga torvområdet inom den västra delen av planområdet*

## 6.2 HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Inom planområdet har 5 grundvattenobservationsrör installerats av Tyréns AB under försommaren 2020.

Inom området fanns enligt underlag från Eskilstuna kommun ytterligare grundvattenmätningar i 12 grundvattenrör som installerade under början av 90-talet med fortsatta mätningar mellan 1992 och 1998. Av dessa 12 rör kunde enbart sex stycken återfinnas av Tyréns och var tyvärr böjda eller av annan anledning ur funktion, se figur 8.

Samtliga rör ansågs därutöver opålitliga då inmatade mätvärden i erhållet underlag var tvetydigt då det fanns indikationer på att nivåerna som enligt underlag från kommunen var i det gamla höjdsystemet ställvis ändå var i RH2000. Av denna anledning har dessa grundvattenrör inte redovisats på ritningar. Tolkade grundvattennivåer efter bearbetning och antaganden redovisas däremot i figur 9 nedan med röd text.

Generellt visar grundvattenmätningar utförda av Tyréns på en trycknivå varierande mellan + 12,5 till +16 (RH 2000) med ökad trycknivå i nordvästlig riktning, se tabell 2 nedan. Tidigare, något opålitliga, mätningar som utfördes under 90-talet indikerar på samma tryckvariation inom området. Det är viktigt att notera att även markytans nivåer ökar i nordvästlig riktning vilket gör att trycknivåer i samma nivå kan motsvara olika djup under markytan beroende på rörets läge.



Figur 8 Fotona visar tre av de befintliga grundvattenrören som kunde hittas inom planområdet. Fotona visar rör 9119, 9201 och 9211.



Figur 9 Befintliga grundvattenmätningar inom planområdet där gröna mätningar redovisar grundvattenmätning i Augusti 2020 i grundvattenrör som installerats under 2020 av Tyréns och anses som mest pålitliga. Nivåer redovisas i höjdsystem RH 2000.

Tabell 2 Grundvattenmätningar i rör som installerats 2020

Grundvatten- observationsrör	Datum	Marknivå (RH 2000)	GVY (djup under markytan)	GVY (Trycknivå, RH 2000)
GV20T101	200611(funktionskontroll) 200813	+13,7	0,9 m 1,3 m	+12,8 +12,4
GV20T102	200611(funktionskontroll) 200813	+14,7	1,3 m 1,6 m	+13,4 +13,1
GV20T103	200611(funktionskontroll) 200813	+18,1	2,0 m 2,8 m	+16,1 +15,3
GV20T104	200611(funktionskontroll) 200813	+18,6	1,2 m 2,6 m	+17,4 +16,0
GV20T02GV	200601(funktionskontroll) 200611 200813	+18,8	2,3 m 3,3 m 2,9 m	+16,5 +15,5 +15,9

### 6.2.1 GODSBANGÅRD

Inom området för godsbangården är två grundvattenrör installerade. Grundvattnet ligger på djup varierande mellan 0,9 och 2,9 m under markytan med ökat djup under markytan mot nordväst. Grundvattnets trycknivå (RH 2000) lutar däremot nedåt och följer markytans lutning i sydöstlig riktning.

## 7 DIMENSIONERING OCH BERÄKNINGAR FÖR GODSBANGÅRD

### 7.1 BESKRIVNING AV PLANERAD ANLÄGGNING

En ny godsbangård planeras där framtaget förslag räknat från befintlig järnväg visar två ankomst- och avgångsspår, fem riktningsspår samt tre uppställningsspår. Ankomst- och avgångsspåren är i framtaget förslag 906 m, riktningsspårens längd är mellan 680 - 951 m och uppställningsspåren är 400 m vardera.



Figur 10 Foto över det område där godsbangården planeras. Fotot är taget i nordvästlig riktning.



Figur 11 Planerad godsbangård

## 7.2 GEOTEKNISK KATEGORI OCH SÄKERHETSKLASS

### 7.2.1 GEOTEKNISK KATEGORI

Planerad anläggning avseende grundläggning och eventuella stödkonstruktioner hänförs till geoteknisk kategori 2 (GK2).

### 7.2.2 SÄKERHETSKLASS

Planerad anläggning avseende grundläggning och eventuella stödkonstruktioner hänförs till säkerhetsklass 2 (SK 2).

Tabell 3 Partialkoefficient som beaktar säkerhetsklass.

Säkerhetsklass	Partialkoefficient som beaktar säkerhetsklass, $\gamma_d$
SK 1	0,83
<b>SK 2</b>	<b>0,91</b>
SK 3	1,0

### 7.3 UTVÄRDERING AV GEOKONSTRUKTIONENS DIMENSIONERANDE VÄRDEN

Beräkningar i brott- och bruksgränstillstånd utförs med nedanstående parametrar och partialkoefficienter. Utgångspunkt är härledda värden som är uppmätta vid fält- eller laboratorieundersökning.

Utifrån härledda värden bedöms ett valt värde  $X_{valt}$  vilket är utvärderat från sammanställning av härledda värden för respektive parameter, där felaktiga mätvärden exkluderats. Hänsyn tas till empiri och olika undersökningsmetoders relevans för aktuell brottmekanism.

Karakteristiska värden  $X_k$  erhålls genom att reducera eller öka det valda värdet  $X_{valt}$  med en omräkningsfaktor  $\eta$  enligt ekvation (1). Omräkningsfaktorn beaktar bland annat tillförlitligheten i undersökningen samt osäkerheter relaterade till jordens egenskaper och aktuell konstruktion.

$$X_k = \eta \cdot X_{valt} \quad (1)$$

$\eta$  Omräkningsfaktor som tar hänsyn till osäkerheter relaterade till jordens egenskaper och aktuell geokonstruktion enligt.

$X_{valt}$  Det valda värdet

Dimensionerande värdet  $X_d$  erhålls genom att applicera den geotekniska parametern  $\gamma_M$  till det karakteristiska värdet enligt ekvation (2) och används då ett lågt värde är dimensionerande.

$$X_d = \frac{1}{\gamma_M} \cdot X_k \quad (2)$$

Ekvation (3) nyttjas när ett högt värde är dimensionerande.

$$X_d = \gamma_M \cdot X_k \quad (3)$$

Där  $\gamma_M$  är en fast partialkoefficient.

#### 7.3.1 VALDA VÄRDEN

För samtliga härledda värden hänvisas till MUR. I figur 12 och 13 nedan samt tabell 4 nedan redovisas valda värden utifrån framtagna härledda värden.

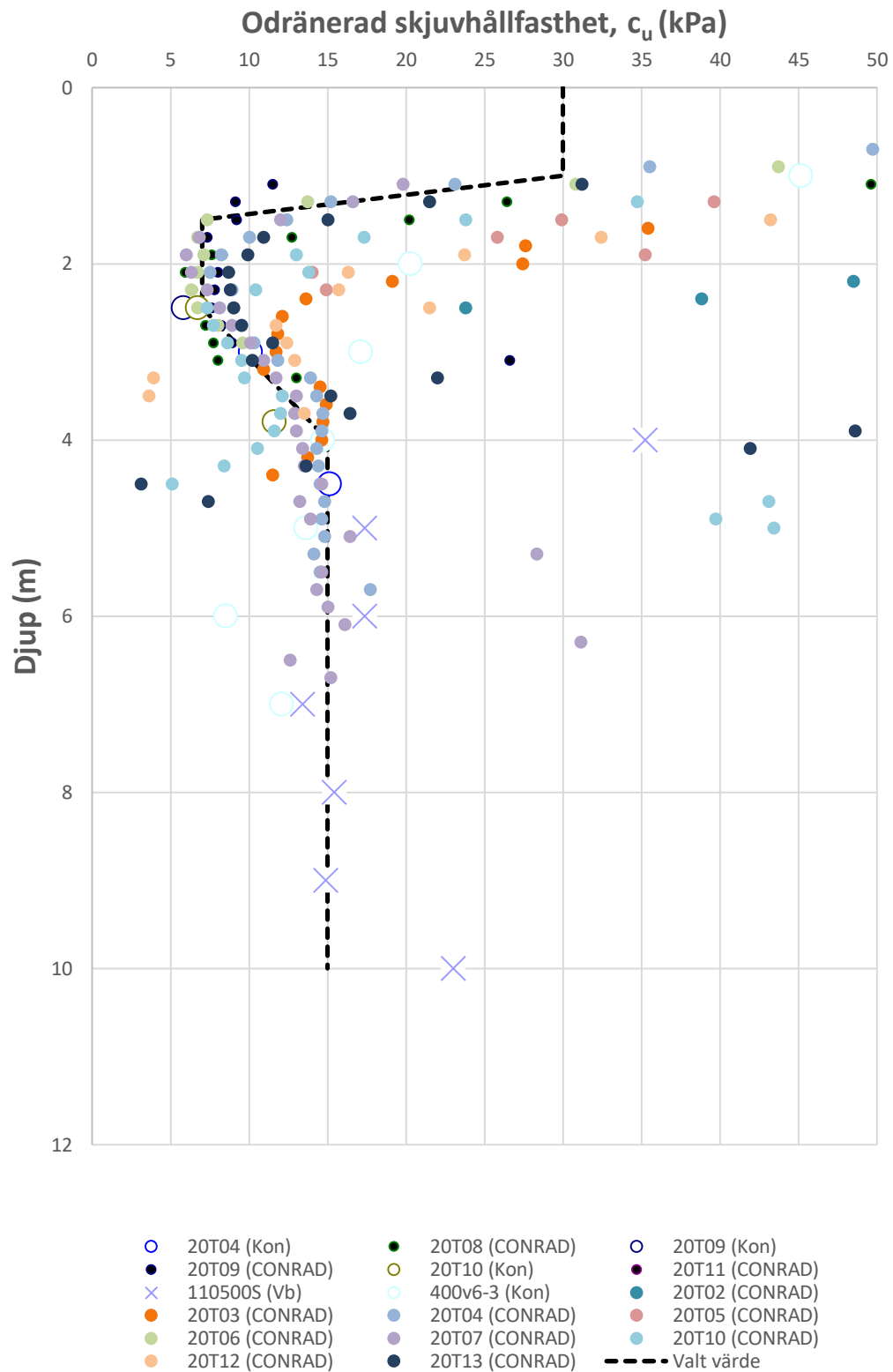
Bedömning av valda geotekniska materialparametrar baseras på utförda fält- och laboratorieundersökningar. Ostörd provtagning har värderats högst med stöd av utförd sondering.

Jordens tunghet har främst utvärderats från utförda laboratorieförsök. I de fall där underlag saknas har jordens tunghet utvärderats enligt tabellerade karaktäristiska värden i tabell 5.2 - 1 i TK Geo 13.

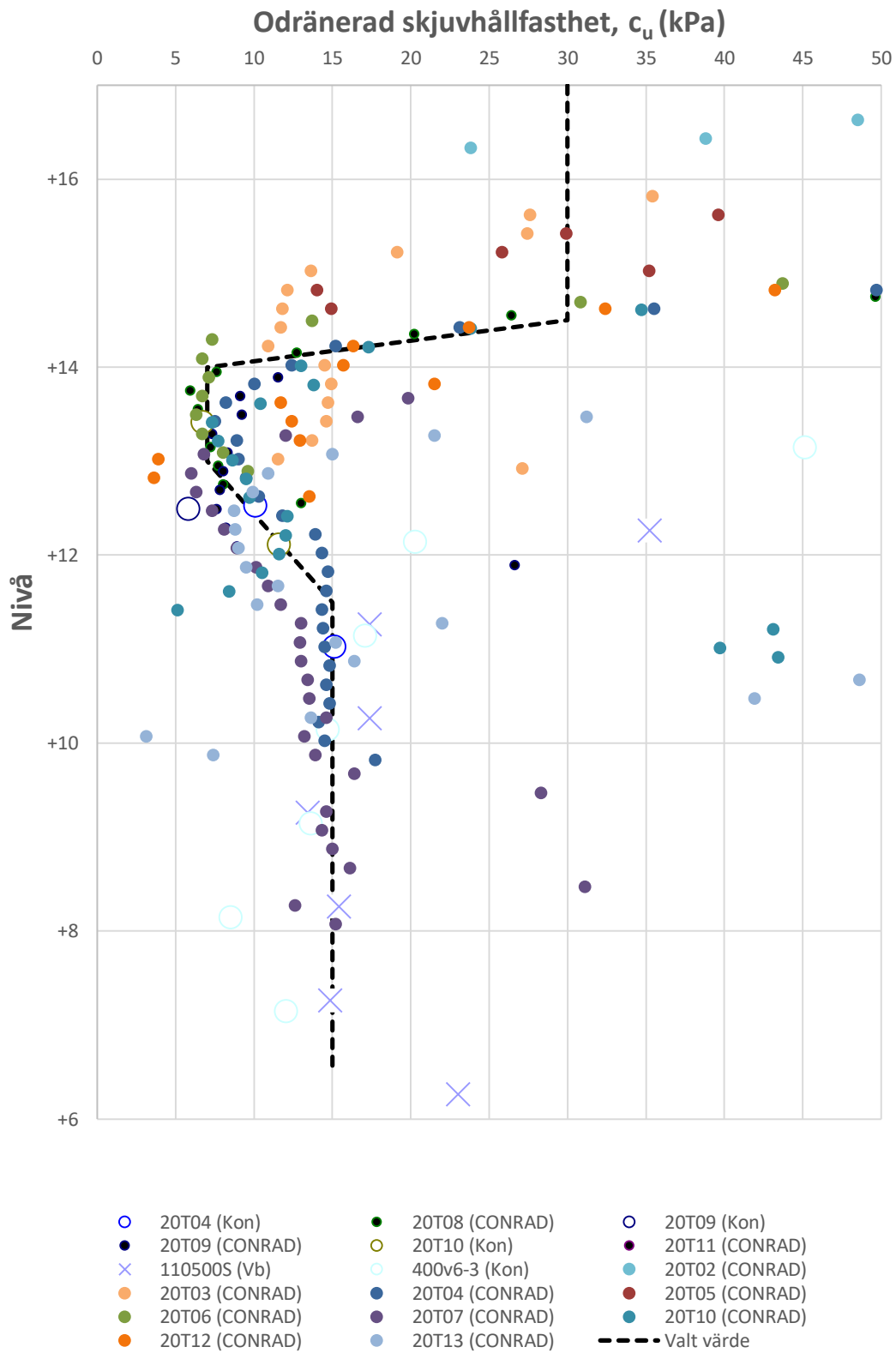
Jordens dränerade materialegenskaper redovisas ej i tabeller nedan och kan enligt IEG Rapport 6:2008, Rev 1 bestämmas empiriskt baserat på den odränerade hållfastheten enligt nedan. Dessa ska beaktas som karaktäristiska värden.

$$\Phi' = 30^\circ$$

$$c' = 0,1 \times \bar{c}_u$$



Figur 12 Grafen redovisar valt värde för odränerad skjuvhållfasthet mot djupet för godsbangården, där en svaghetszon på djupen 1,5 - 3 m tydligt kan utläsas.



Figur 13 Grafen redovisar valt värde för odränerad skjuvhållfasthet mot marknivån för godsbangården (RH 2000)



Tabell 4 Valda värden för parametrar i jordmodellen.

Djup under markytan [m]	Material	M/T*	$\gamma_{\text{valt}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_{\text{valt}}/C_{u,\text{valt}}$ [kPa]	$E_{\text{valt}}/M_{L,\text{valt}}$ [kPa]
0 -1 m +17 - +14,5	Torrskorpelera	4B/3	1,85	30 kPa	5000
1 - 1,5 m +14,5 - +14	Lera 1	4B/3	1,8	30- 7 kPa	350
1,5 - 2, 5 +14 - +13	Lera 2	4B/3	1,65	7 kPa	350
2,5 - 4,0 m +13 - +11,5	Lera 3	4B/3	1,7	7 - 15 kPa	500
4,0 -10 m +11,5 - +6	Lera 4	4B/3	1,7	15 kPa	500
>10 m <+6	Friktionsjord	-	2,0	35°	-

\*Materialtyp/Tjälfarlighetsklass enligt AMA 17

### 7.3.2 KARAKTERISTISKA VÄRDEN

Valt värde enligt ovan justeras med faktorn  $\eta$  enligt TK Geo 5.2.4 och avser då i enlighet med SS-EN 1997-1 egenskapens karakteristiska värde. Ett tabellvärde i enlighet med TK Geo är att betrakta som ett karakteristiskt värde på vilket ingen  $\eta$ -faktor ska appliceras.

Omräkningsfaktorer har bedömts enligt IEG Tillämpningsdokumentet för slänter och bankar och redovisas i Tabell 5. Undersökningspunkterna är belägna inom ett relevant område från utförda stabilitetsberäkningarna. Utvärderade karaktäristiska värden för aktuella jordmaterial redovisas i tabell 6 nedan.

Tabell 5 Sammanställning omräkningsfaktorer

Materialgenskap	$\eta_{1,2}$	$\eta_3$	$\eta_{4,5,6,7}$	$\eta_9$	$\eta_{\text{tot}}$
Friktionsvinkel, $\varphi$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Skjuvhållfasthet, C	1,0	1,0	0,95	1,0	0,95

Tabell 6 Karakteristiska värden för parametrar i jordmodellen.

Djup under markytan [m]	Material	M/T*	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_k/C_{u,k}$ [kPa]	$E_k/M_{L,k}$ [kPa]
0 -1 m +17 - +14,5	Torrskorpelera	4B/3	1,85	28,5	5000
1 - 1,5 m +14,5 - +14	Lera 1	4B/3	1,8	28,5- 6,7	350
1,5 - 2, 5 +14 - +13	Lera 2	4B/3	1,65	6,7	350
2,5 - 4,0 m +13 - +11,5	Lera 3	4B/3	1,7	6,7 - 14,3	500
4,0 -10 m +11,5 - +6	Lera 4	4B/3	1,7	14,3	500
>10 m <+6	Friktionsjord	-	2,0	35°	-

\*Materialtyp/Tjälfarlighetsklass enligt AMA 17

### 7.3.3 DIMENSIONERANDE VÄRDEN

Karaktäristiska värden enligt ovan justeras med partialkoefficient enligt tabell 7 nedan samt enligt TK Geo 5.2.4 och avser då i enlighet med SS-EN 1997-1 egenskapens dimensionerande värde. Detta gäller även tabellvärde i enlighet med TK Geo. Utvärderade dimensionerande värden för aktuella jordmaterial redovisas i tabell 8 nedan.

Tabell 7 Värde för den fasta partialkoefficienten  $\gamma_m$

Jordparameter	Symbol	Värde på $\gamma_m$
Friktionsvinkel*	$\gamma_\phi$	1,3
Odränerad skjuvhållfasthet	$\gamma_c$	1,5
Tunghet	$\gamma_v$	1,0
E-modul**	E	1,0

Tabell 8 Dimensionerande värden för parametrar i jordmodellen.

Djup under markytan [m]/ Nivå (RH 2000)	Material	M/T*	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_d/C_{u,d}$	$E_d/M_{L,d}$
0 -1 m / +17 - +14,5	Torrskorpelera	4B/3	1,85	19	5000
1 - 1,5 m / +14,5 - +14	Lera 1	4B/3	1,8	19- 4,5	350
1,5 - 2, 5 / +14 - +13	Lera 2	4B/3	1,65	4,5	350
2,5 - 4,0 m / +13 - +11,5	Lera 3	4B/3	1,7	4,5 - 9,5	500
4,0 -10 m / +11,5 - +6	Lera 4	4B/3	1,7	9,5	500
>10 m <+6	Friktionsjord	-	2,0	28,3°	-

\*Materialtyp/Tjälfarlighetsklass enligt AMA 17

### 7.3.4 DIMENSIONERANDE HYDROGEOLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

Dimensionerande grundvattennivå är svår att avgöra på ett fåtal mätningar i närtid. I utförda beräkningar har uppmätta grundvattennivåer använts med interpolering mellan grundvattenrören.

## 7.4 GJORDA ANTAGANDEN

Ingen inmätning på befintlig spåranslagning har funnits att tillgå och inte heller projekterade höjder för den planerade godsbangården finns framtagen. Bankhöjden har antagits ligga ca 1,5 - 2,0 m över befintlig marknivå med stöd från tidigare utförda borrhänsor i befintlig banvall.

### 7.4.1 LASTER

Dimensionerande lasteffekt beräknas med karaktäristiska värden som justeras efter säkerhetsklass enligt följande ekvation.

$$\text{Geo.last} = \gamma_d \times 1,1 \times G_{kj} + \gamma_d \times 1,4 \times Q_{kj}$$

Där:

$\gamma_d$  Partialkoefficient enligt säkerhetsklass, SK 2 = 0,91

$G_{kj}$  Permanent last, t.ex. egentyngd från jordmaterial

$Q_{kj}$  Variabel last, t.ex. trafiklast

Vid dubbelspår ska ett spår belastas med full trafiklast och på ett spår reduceras lasten med 25%. Vid tre spår eller fler vilket är fallet för godsbangården, antas ett spår belastas med full trafiklast, ett spår med 25% reduktion och för övriga spår sätts trafiklasten till 0. Lasterna ska placeras på de platser där de har mest ogynnsam effekt. Uppställningsspår eller mötesspår belastas alltid med trafiklast utan dynamiskt tillskott.

Laster fördelas på en bredd om 2,5 m. Storleken på tåglaster har antagits till stax/stvm 22,5/6,4 vilket är standard på de flesta svenska järnvägar. Se vald trafiklast i tabell 9 nedan från TK Geo. Ingen reduktion av trafiklasten, vilken får göras vid låga hastigheter, har utförts då hastigheten är okänd.

Tabell 9 Trafiklaster för järnväg enligt TK Geo 13. Röd markering redovisar vald trafiklast.

Trafiklast stax/stvm	Trafiklast kN/m <sup>2</sup>	
	Dimensionering med karaktäristiska värden	Dimensionering med partialkoefficienter
22,5/6,4 och 25/6,4	34	26
22,5/8 och 25/8	44	32
30/10	53	40
30/12	64	48

#### 7.4.2 KRAV PÅ ANLÄGGNINGEN

##### SÄTTNINGSKRAV

Största tillåtna totalsättning i enskild sektion för järnvägar är enligt tabell 3.1-3 i TK Geo 30 cm för hastigheter upp till 100 km/h vilket antas vara fallet inom godsbangården, se tabell 10 nedan.

Tabell 10 Tillåten totalsättning för järnväg beroende på hastighet. Röd markering redovisar aktuellt värde för godsbangården med en antagen högsta hastighet om 100 km/h.

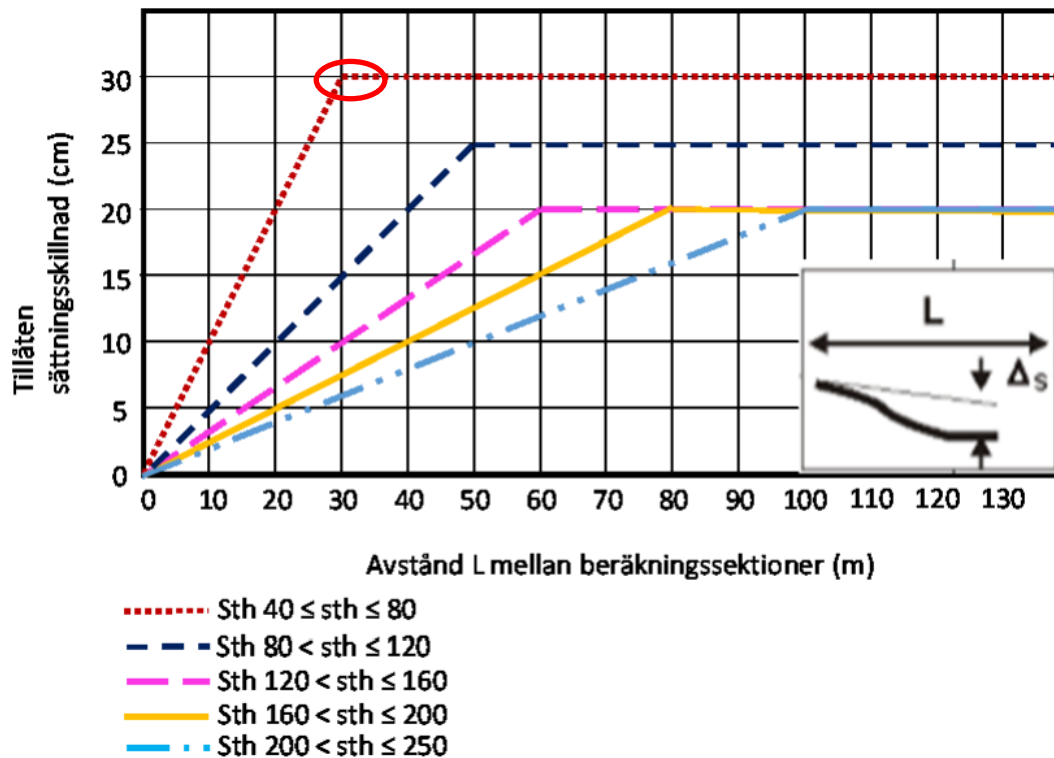
sth (km/h)	Tillåten totalsättning, s (cm)
100	30
160	20
200	20
250	20
350	10

Största tillåtna snedsättning i tvärläng är enligt tabell 3.1-4 TK Geo 13 1,9 % för hastigheter upp till 100 km/h, se tabell 11 nedan. Tillåten sättning i tvärläng ska beräknas som lutningen mellan beräknad sättning i två punkter belägna på ömse sidor om spåret.

Tabell 11 Tillåten snedsättning för järnväg beroende på hastighet. Röd markering redovisar aktuellt värde för godsbangården med en antagen högsta hastighet om 100 km/h.

sth (km/h)	Tillåten snedsättning i enskild sektion (%)
100	1,9
160	1,6
200	1,4

Största tillåtna sättningskillnad i längdled är enligt Figur 3.1-2 i TK Geo 13 30 cm på en sträcka om 30 meter för hastigheter upp till 80 km/h vilket bedöms vara fallet inom godsbangården. Se figur 14 nedan.



Figur 14 Största tillåtna sättningskillnad i längdled beroende på hastighet. Röd markering maximalt tillåtna hastighet för godsbangården vid en antagen hastighet om maximalt 80 km/h.

### STABILITETSKRAV

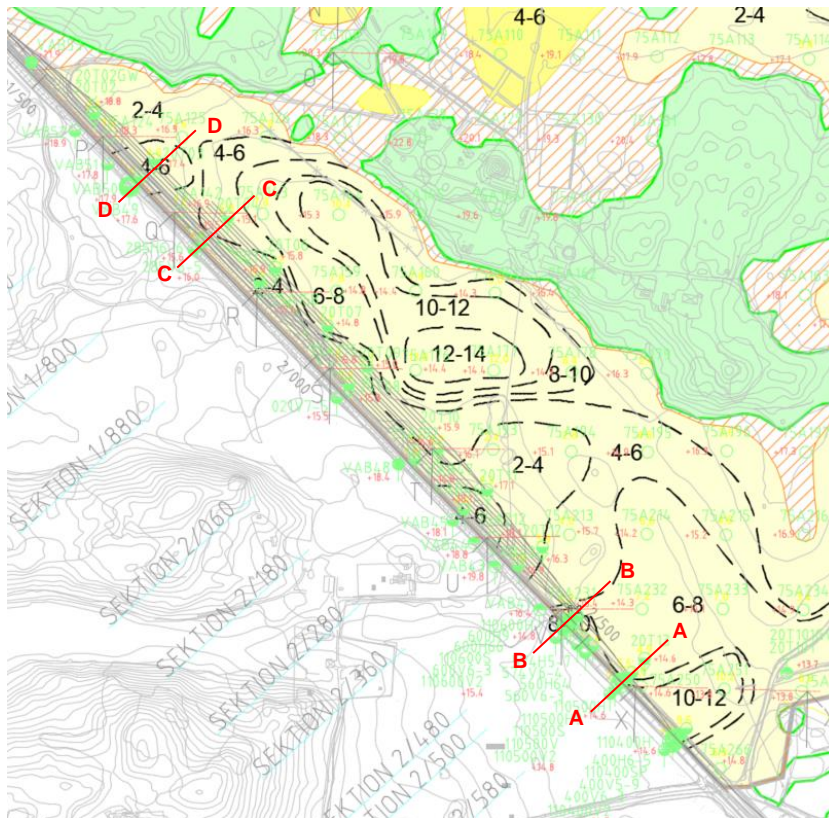
För säkerhetsklass 2 ska erhållen säkerhetsfaktor som erhålls av stabilitetsprogram överstiga faktor  $F_{EN}$  enligt tabell 12 nedan.

Tabell 12 Minsta erhållen säkerhetsfaktor beroende på säkerhetsklass. Röd markering visar aktuell säkerhetsfaktor för utförda beräkningar

Säkerhetsklass	$F_{EN}$
SK 1	0,90
SK 2	1,00
SK 3	1,10

## 8 STABILITETSBERÄKNINGAR FÖR GODSBANGÅRD

Stabilitetsberäkningar är utförda med hjälp av datorprogrammet SLOPE/W 2018R2 ver. 9.1.1.16749 och redovisade säkerhetsfaktorer är beräknade med Morgenstern – Price´s analysmetod. Inga tredimensionella effekter är beaktade i beräkningarna. Stabilitetsberäkningar har utförts i 4 utvalda sektioner längs den planerade godsbangården. Se figur 15 nedan för valda sektioner benämnda A, B, C samt D. Områden mellan sektionerna bedöms vara likvärdiga någon av de beräknade sektionerna och stabilitetsförutsättningarna kan därför översiktligt bedömas utifrån utförda beräkningar.



Figur 15 Utvalda beräkningssektioner

Beräkningar har utförts enligt kapitel 2.3 och 4.3.1.1 i TK Geo 13 samt IEG:S tillämpningsdokument för slänter och bankar (Rapport 6:2008 rev 1). Resultaten av stabilitetsberäkningarna redovisas i sin helhet i bilaga 1 – 4. En sammanställning av beräkningsresultaten presenteras i tabell 13 nedan. För säkerhetsklass 2 (SK 2) ska säkerhetsfaktorn överstiga  $F_{EN} > 1,0$ .

Stabilitetsberäkningar har utförts med odränerad och kombinerad analys. 3-dimensionella effekter har ej beaktats i detta skede.

Tabell 13 Beräknade säkerhetsfaktorer för odränerad resp. kombinerad analys i respektive beräkningssektion. Rödmarkerade säkerhetsfaktorer redovisar ej tillfredsställd stabilitet.

Analys Sektion Bilaga	Uppskattad bankhöjd	Odränerad analys $F_{EN}$	Kombinerad analys $F_{EN}$
A Bilaga 1	1,7 m	1,161	0,620
B Bilaga 2	1,9 m	0,722	0,466
C Bilaga 3	1,3 m	1,103	0,535
D Bilaga 4	2,0 m	1,103	1,262

Stabilitetsberäkningar visar på en bristande stabilitet för tre av fyra beräkningssektioner vilket innebär att åtgärder behöver vidtas för att få tillfredsställande stabilitet inom stora delar av godsbangården. Beräkningar visar på att den kombinerade analysen är dimensionerande i de sektioner där stabiliteten är bristande. Detta medför att 3-dimensionella effekter inte kan tillgodoräknas i sektionerna då detta enbart får nyttjas för den odränerade analysen.

## 9 SÄTTNINGSBERÄKNINGAR FÖR GODSBANGÅRD

### 9.1 TOTALSÄTTNINGAR

Överslagsmässiga sättningsberäkningar har utförts längs den planerade godsbangården i samtliga borrhöjningslägen där löst lagrad lera förekommer. Provtagning visar på en normalkonsoliderad löst lagrad lera, vilket innebär att all belastning ger konsolideringssättningar. Det finns ännu ingen projekterad bankhöjd varpå sättningsberäkningar i detta skede har utförts för bankhöjd 1,0 m samt 2,0 m ovanför dagens markyta.

Befintlig järnvägsbank är utifrån befintliga borrhöjningspunkter tolkad till ca 1,5- 2,0 m hög och sannolikt kommer godsbangårdens bank ligga i ungefär samma nivå. Godsbangården har antagits vara en helt uppfylld yta, d v s ingen järnvägsbank för varje enskilt spår.

Sättningar har kontrollerats mot de krav som finns i TK Geo 13 vilka redovisas i rubrik 7.4.2 ovan. Tillåten totalsättning för enskild sektion är 30 cm för en järnvägsbank med hastigheter upp till 80 km/h, vilket antas vara fallet inom godsbangården. Krypsättningar har ej beaktats i sättningsberäkningarna.

Vid dimensionering i bruksgränstillstånd är samtliga ingående partialkoefficienter 1,0 enligt TK Geo 13 och IEG:s tillämpningstokument slänter och bankar (Rapport 6:2008 rev 1), vilket innebär att karaktäristiska värden används. Enligt TK Geo ska inte trafiklast beaktas vid sättningsberäkningar. Dimensioneringsperiod enligt TK Geo är 40 år. Sättningsberäkningar, vilka redovisas i tabell 14 samt figur 16 och 17, har utförts i 34 borrhöjningslägen, med en tidsperiod på 40 år och valda värden enligt kapitel 7.3.3 på lerans sättningsmodul.  $M_L$ . I figur 16 och 17 redovisas identifierade riskområden vid 1 respektive 2 m hög bank med avseende på totalsättningar.

Sättningar i torrskorpeleran bedöms bli mycket små och sättningsstorleken är därför enbart beräknad i den underliggande lösare lagrade leran.

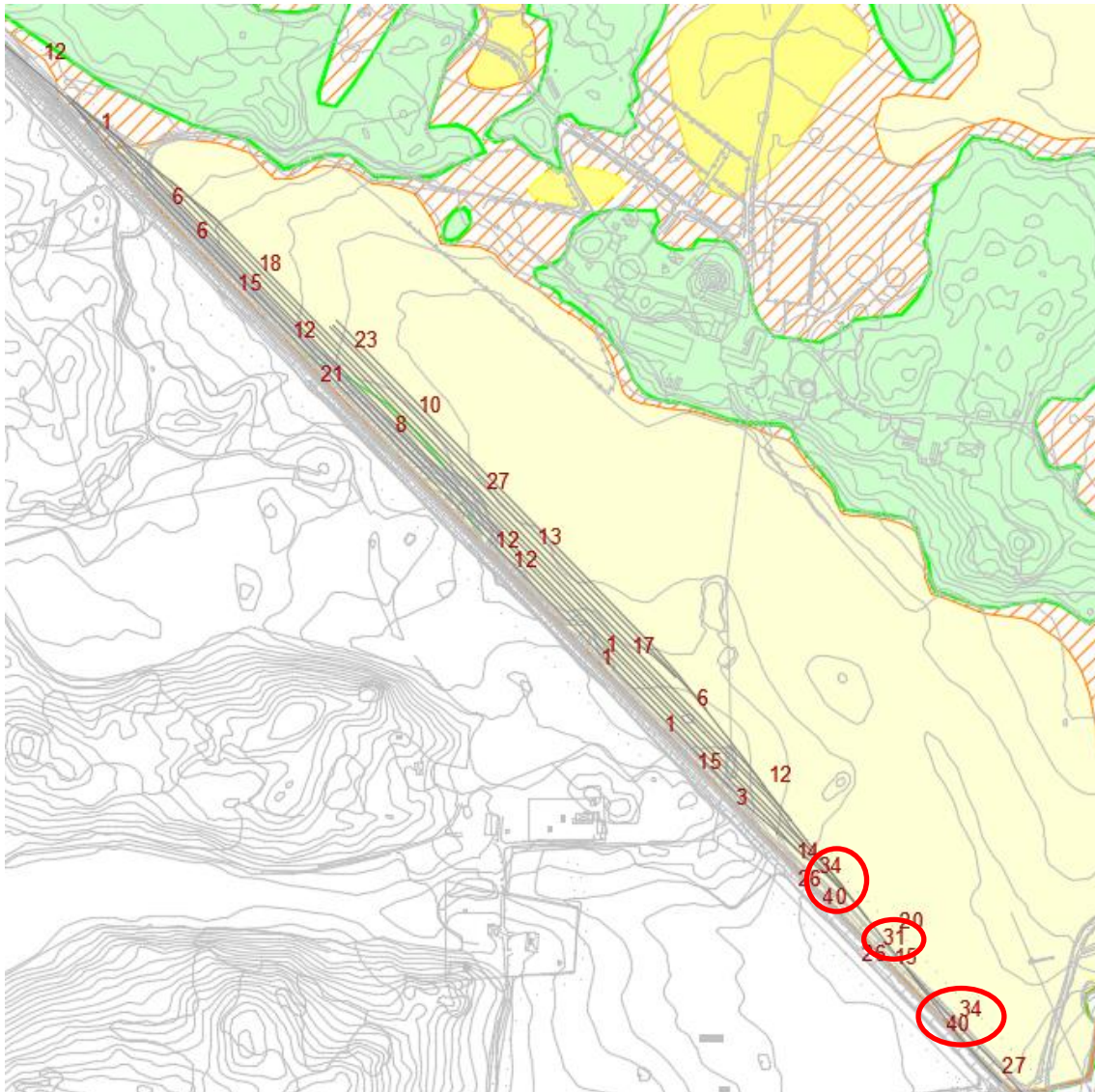
Då ytan för godsbangården antas bli uppfylld även mellan spåren till en stor uppfylld yta kan lastspridningen ses som obefintlig. I de sektioner där 1 – 2 spår ligger i bredd har ingen lastspridning beräknats då bankens bredd är okänd, det kan dock antas finnas en lastspridning i dessa sektioner som kan tillgodoräknas i projekteringskedet och kommer sannolikt minska beräknad totalsättningen något.

Konsolideringskoefficienten för jorden ( $c_v$ ) har antagits vara konstant med djupet och ansatts till ett medelvärde  $2,7 \times 10^{-8}$  baserat på de uppmätta konsolideringskoefficienterna vid provtagning. Inom tiden 40 år beräknas sättningen vara fullt utvecklad.

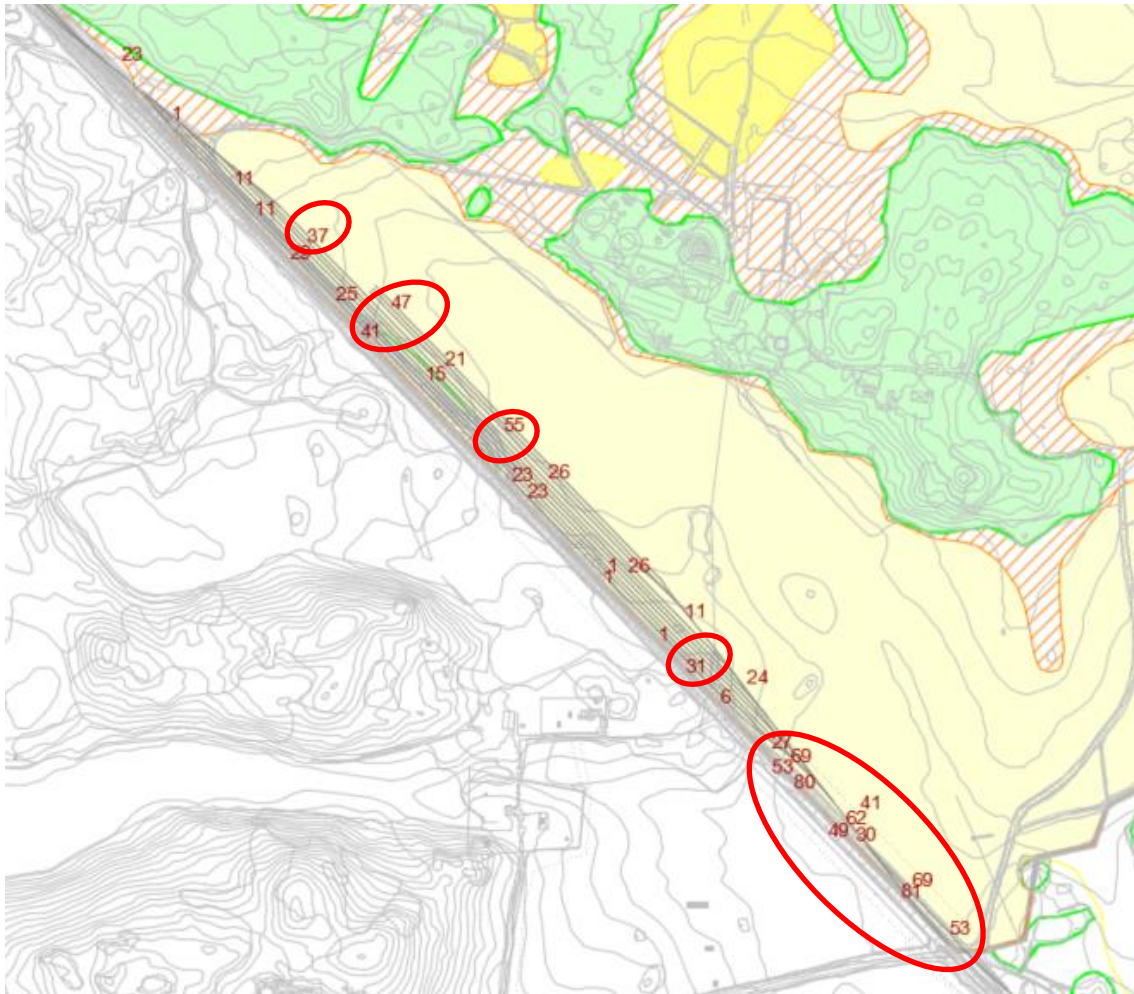
Tabell 14 Beräknade totalsättningar i respektive borrhpunkt. Rödmarkerad text redovisar där totalsättningen överskrider det maximalt tillåtna 30 cm.

Borrhpunkt	Lermåktighet (m)	Kompressionsmodul, $M_L$	Last vid 1 m bankhöjd	Totalsättning, $\epsilon$ (cm)	Last vid 2 m bankhöjd	Totalsättning, $\epsilon$ (cm)
20T01	2	350 kPa	20 kPa	11	40 kPa	23
VAB53	0		20 kPa	0	40 kPa	0
20T02	1	350 kPa	20 kPa	6	40 kPa	11
75A124	1	350 kPa	20 kPa	6	40 kPa	11
VAB50	2,5	350 kPa	20 kPa	14	40 kPa	29
20T03	2,5	350 kPa				
	1,0	500 kPa	20 kPa	18	40 kPa	37
75A42	2,2	350 kPa	20 kPa	13	40 kPa	25
285H6-6	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	1,5	500		20		41
20T04	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	2,3	500 kPa		23		47
20T05	1,3	350 kPa	20 kPa	7	40 kPa	15
20T06	1,8	350 kPa	20 kPa	10	40 kPa	21
20T07	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	3,3	500 kPa		27		55
75A175	2	350 kPa	20 kPa	11	40 kPa	23
20T08	2	350 kPa	20 kPa	11	40 kPa	23
20T09	2,3	350 kPa	20 kPa	13	40 kPa	26
20T10	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	0,7	500 kPa		17		34
20T11	1	350 kPa	20 kPa	6	40 kPa	11
75A212	2,7	350 kPa	20 kPa	15	40 kPa	31
VAB42	0,5	350 kPa	20 kPa	3	40 kPa	6
20T12	2,1	350 kPa	20 kPa	12	40 kPa	24
75A231	2,4	350 kPa	20 kPa	14	40 kPa	27
110600H	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	5,1	500 kPa		35		69
600H9	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	3,0	500 kPa		26		53
574H5-7	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	6,4	500 kPa		40		80
110500H	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	4,2	500 kPa		31		62
110500H9	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	2,5	500 kPa		24		49
20T13	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	1,5	500 kPa		20		41
75A250		350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	2,6	500 kPa		15		30
110400H	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	5,1	500 kPa		35		69
400H6-5	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	6,5	500 kPa		40		81
75A266	2,5	350 kPa	20 kPa		40 kPa	
	3	500 kPa		26		53





Figur 16 Beräknade totalsättningar vid en bankhöjd på 1 m där röd markering redovisar de områden då maximalt tillåtna totalsättning överskrids.



Figur 17 Beräknade totalsättningar vid en bankhöjd på 2 m där röd markering redovisar de områden då maximalt tillåtna totalsättning överskrids

## 9.2 SÄTTNINGAR I LÄNGDLED

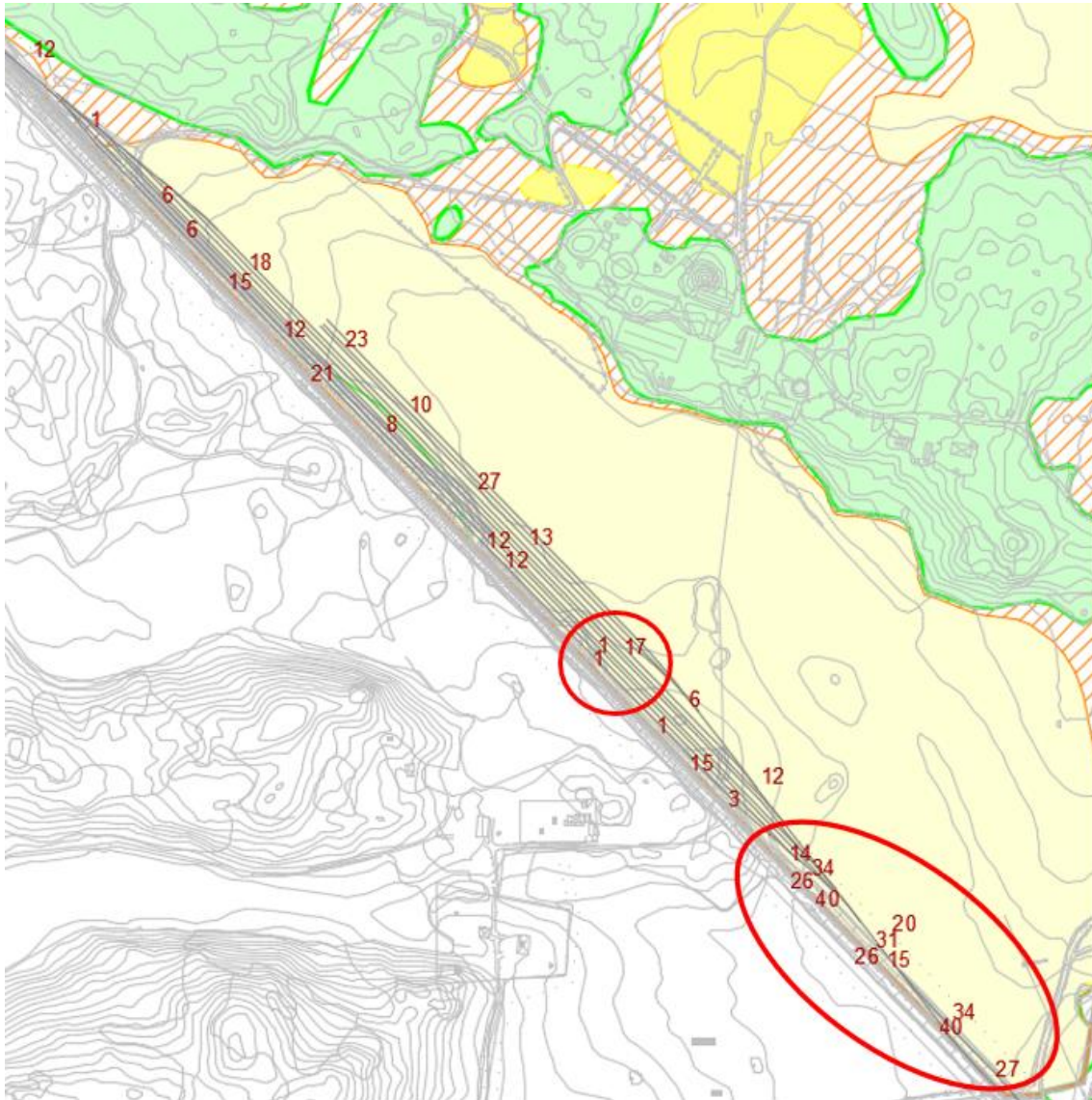
Enligt TK Geo är maximalt tillåten sättningsskillnad i längdled 30 cm på en sträcka om 30 m. Utifrån beräknade totalsättningar kommer sättningsskillnaden i längdled inte överskrida 30 cm/ 30 m utifrån en antagen bankhöjd om 1 m. Om bankhöjden däremot uppgår till 2 m motsvarande dagens järnvägsbank kommer sättningen i längdled ställvis bli för stor enligt ställda krav i TK Geo. Sättningsskillnaden i längdled kommer vara störst i de södra delarna, se figur 17 ovan.

## 9.3 TVÄRFALLSSÄTTNINGAR

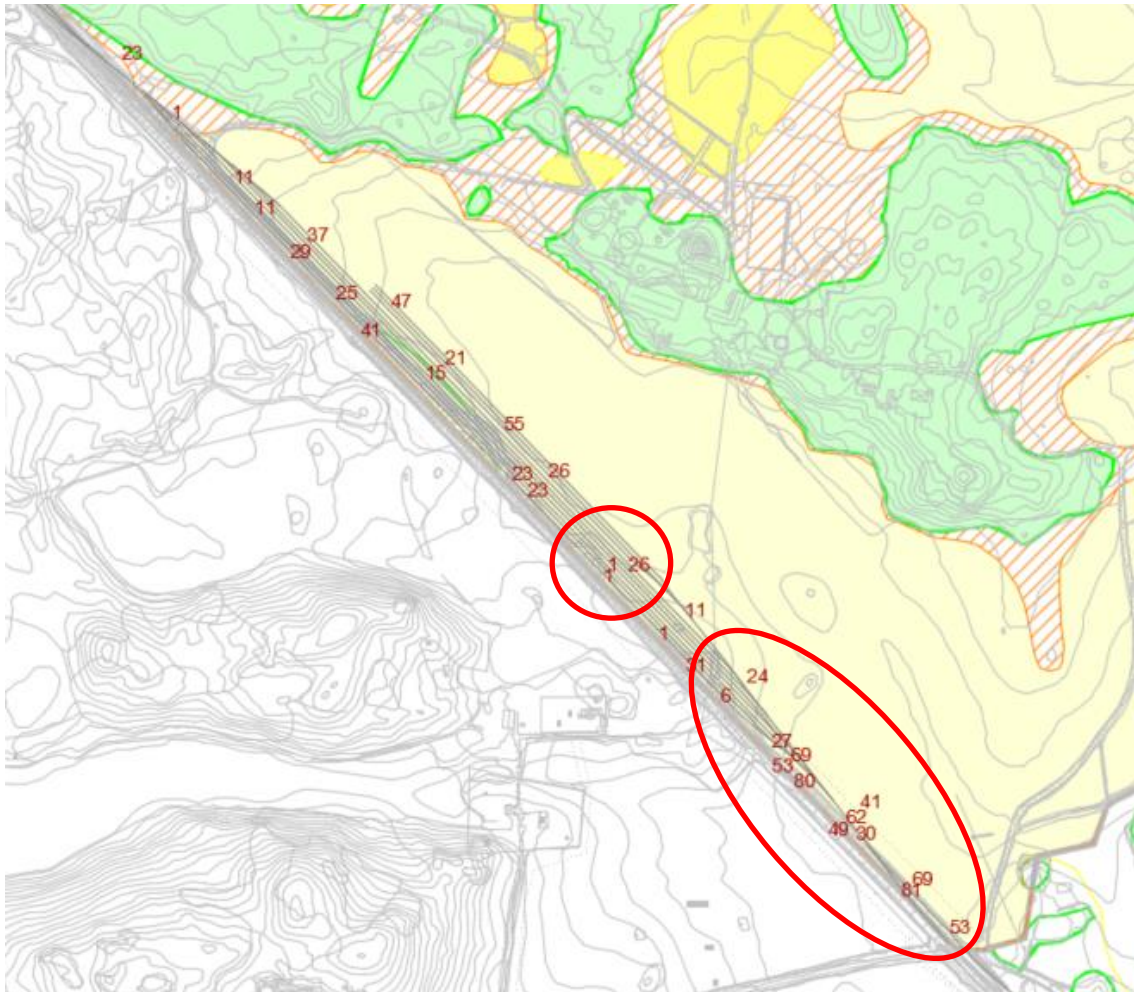
Enligt TK Geo är största tillåtna sättning i tvärlängd 1 %. Spårvidden för normalspår är 1435 mm och beräkning för sättning i tvärlängd bör utföras mellan två punkter om ömse sidor om spåret enligt TK Geo. I detta fall, då utförda undersökningar är relativt glesa kan detta enbart kontrolleras mycket översiktligt.

Med en beräkning mellan två punkter ca 1,5 m ifrån varandra är maximalt tillåtna sättning i tvärlängd ca 1,5 cm. Utförda borrhöjningar har i denna utredning avstånd på ca 30 – 40 m. Med en snedsättning på 1 % motsvarar det mellan utförda borrhöjningar en

snedsättning på ca 30 cm med antagandet att lerans mäktighet ökar relativt linjärt. I figur 18 nedan visas identifierade riskområden för tvärfallsättningar, där totalsättningen med 1 m bank visar på en stor variation i tvärled mellan utförda borrpunkter. Vid en bankhöjd på 2 m uppgår sättningarna till det dubbla enligt figur 19 nedan med samma identifierade riskområden.



Figur 18 Beräknade totalsättningar vid 1 m bankhöjd. Röd markering redovisar identifierade riskområden för snedsättning över det maximalt tillåtna.



Figur 19 Beräknade totalsättningar vid 2 m bankhöjd. Röd markering redovisar identifierade riskområden för snedsättning över det maximalt tillåtna.

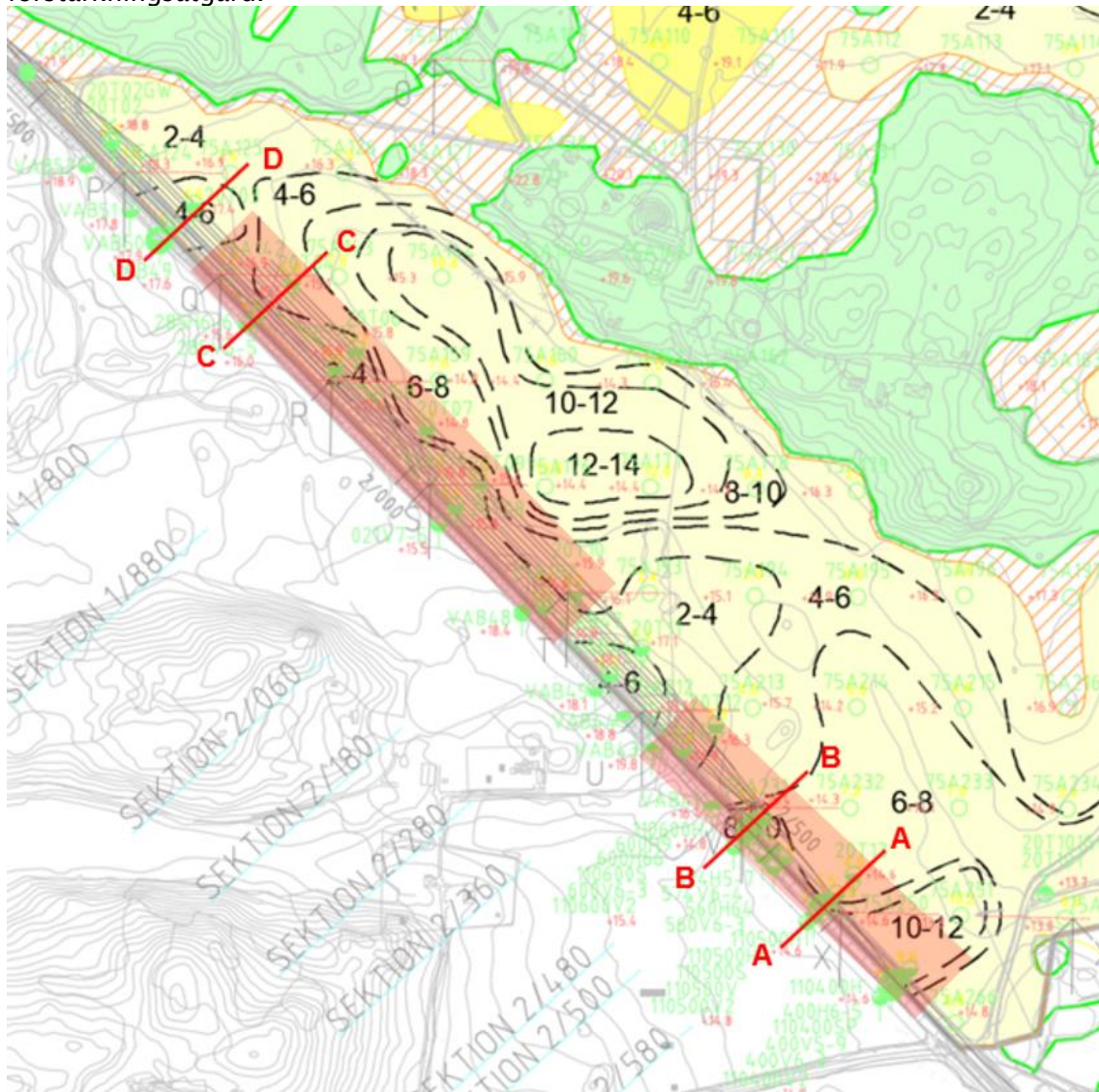
## 10 FÖRSLAG PÅ FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER FÖR GODSBANGÅRD

Med avseende på de sättningar som förväntas kommer det vara nödvändigt med förstärkningsåtgärder, främst i den södra delen där lermåktigheterna och i sin tur sättningsutvecklingen är som störst. Det rekommenderas att bank/uppfillnad görs så låg som möjligt för att minimera sättningar och där av förstärkningsåtgärder med avseende på sättningar. För att dimensionera denna förstärkning erfordras kompletterande utredningar med tätare borrhningar. Förslagsvis utförs bank/uppfillnad delvis med lättfyllning för att avlasta leran och där till minska sättningsutvecklingen.

Då stabiliteten visar på bristande stabilitet för den planerade godsbangården erfordras förstärkningsåtgärder. Då säkerheten mot brott i kombinerad analys är mycket låg och skjuvhållfastheten i leran ställvis är extremt låg tenderar lerans hållfasthet vara den faktor som är den avgörande. Även vid en liten lastpåföring med en delvis lättfylld bank kvarstår trafiklasten vilket har en stor påverkan på stabiliteten. Ställvis inom godsbangården kan lättfyllning i banken vara tillräckligt för att få tillfredställande stabilitet men med tanke på den mycket låga säkerhetsfaktorn i utförda beräkningssektioner kommer sannolikt KC-pelarförstärkning erfordras inom större

delar av godsbangården. KC-pelare installeras i olika mönster beroende på vilket syfte dessa har. KC-pelare kan nyttjas både som stabilitetshöjande men också som förstärkning för att reducera sättningar.

För att verifiera vilken förstärkningsmetod som lämpar sig bäst för godsbangården rekommenderas att ytterligare provtagning utförs i projekteringskedet för att framförallt verifiera skjuvhållfastheter i leran och för att avgränsa områden som erfordrar förstärkning. Förslagsvis utförs kompletterande kolvprovtagning med efterföljande skjuvförsök för att möjligen höja skjuvhållfastheten i leran. I bild nedan redovisas en tidigt tolkad bild över områden som sannolikt behöver förstärkningsåtgärd.



Figur 20 Områden där stabilitetsåtgärder erfordras inom godsbangården, områden visas som röda rektanglar.

## 11 REKOMMENDATIONER FÖR GODSBANGÅRD

Det rekommenderas att banken hålls så låg som möjligt för att minimera belastningen på leran och på så sätt minimera sättningar och stabilitetspåverkan.

För godsbangården kommer både sättningsreducerande och stabilitetshöjande förstärkningsåtgärder erfordras.

KC-pelarförstärkning kommer sannolikt att erfordras inom stora delar av godsbangården med avseende på de stabilitetsförutsättningar som råder men kan också nyttjas för att reducera sättningar. KC- pelare kan även installeras i kombination med en delvis lättfylld bank.

KC-pelare kommer troligtvis behöva installeras genom hela lerlagret ned till friktionsjord. KC-pelarförstärkningens utbredning och djup behöver studeras närmare efter kompletterande geotekniska undersökningar där lerans skjuvhållfastheter verifieras med ytterligare provtagning . Dessutom erfordras inblandningsförsök av leran för att dimensionera förstärkningen.

## 12 DIMENSIONERING OCH BERÄKNINGAR FÖR PLANOMRÅDE

### 12.1 GEOTEKNISK KATEGORI OCH SÄKERHETSKLASS

Geoteknisk kategori och säkerhetsklass bestäms under projekteringskedet när kännedom om byggnaders utformning och placering finns.

### 12.2 MATERIALPARAMETRAR

Grundläggningen dimensioneras enligt Eurokod 7 (EN 1997) där geokonstruktionen hänförs till geoteknisk kategori enligt ovan för planområde.

Beräkningar i brott- och bruksgränstillstånd utförs med nedanstående parametrar och partialkoefficienter. Dessa är utvärderade ur undersökningsresultaten med stöd av IEG's tillämpningsdokument Grunder (Rapport 2:2008).

Utgångspunkt är härledda värden som är uppmätta vid fält- och laboratorieundersökningar.

Utifrån härledda värden bedöms ett valt värde  $X_{valt}$  vilket är utvärderat från sammanställning av härledda värden för respektive parameter, där felaktiga mätvärden exkluderats. Hänsyn tas till empiri och olika undersökningsmetoders relevans för aktuell brottmekanism.

Karakteristiska värden  $X_k$  erhålls genom att reducera eller öka det valda värdet  $X_{valt}$  med en omräkningsfaktor  $\eta$  enligt ekvation (1). Omräkningsfaktorn beaktar bland annat tillförlitligheten i undersökningen samt osäkerheter relaterade till jordens egenskaper och aktuell konstruktion.

$$X_k = \eta \cdot X_{valt} \quad (1)$$

$\eta$  Omräkningsfaktor som tar hänsyn till osäkerheter relaterade till jordens egenskaper och aktuell geokonstruktion.

$X_{valt}$  Det valda värdet (bör beräknas eller uppskattas som medelvärdet av härledda värden).

Dimensionerande värdet  $X_d$  erhålls genom att applicera den geotekniska parametern  $\gamma_M$  till det karakteristiska värdet enligt ekvation (2) och används då ett lågt värde är dimensionerande.

$$X_d = \frac{1}{\gamma_M} \cdot X_k \quad (2)$$

Ekvation (3) nyttjas när ett högt värde är dimensionerande.

$$X_d = \gamma_M \cdot X_k \quad (3)$$

Där  $\gamma_M$  är en fast partialkoefficient.

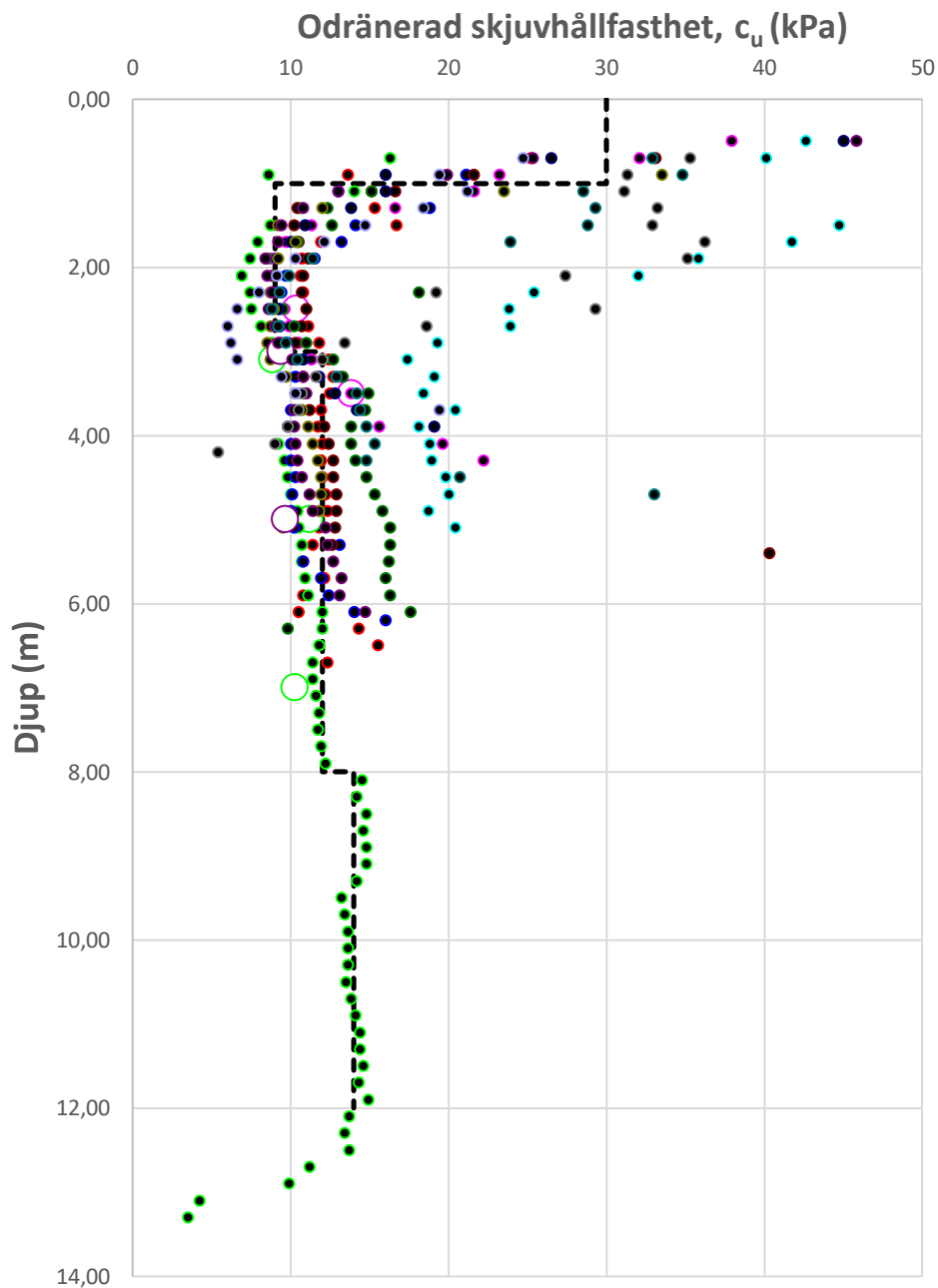
### 12.2.1 ODRÄNERAD SKJUVHÅLLFASTHET

De utvärderade värdena för den odränerade skjuvhållfastheten för planområdet har hämtats från nu utförda undersökningar inom planområdet.

Värdena från rutinförsök på de ostörda proverna är korrigerade utifrån konflytgräns enligt SGI Information 3. Värdena från CPT-sonderingarna är utvärderade i datorprogrammet Conrad enligt rekommendation i SGI Information 15 och korrigerade enligt formeln:

$$\tau_{FU} = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{k9 + k10 \cdot w_L} \cdot \left( \frac{OCR}{1,3} \right)^{-0,2}$$

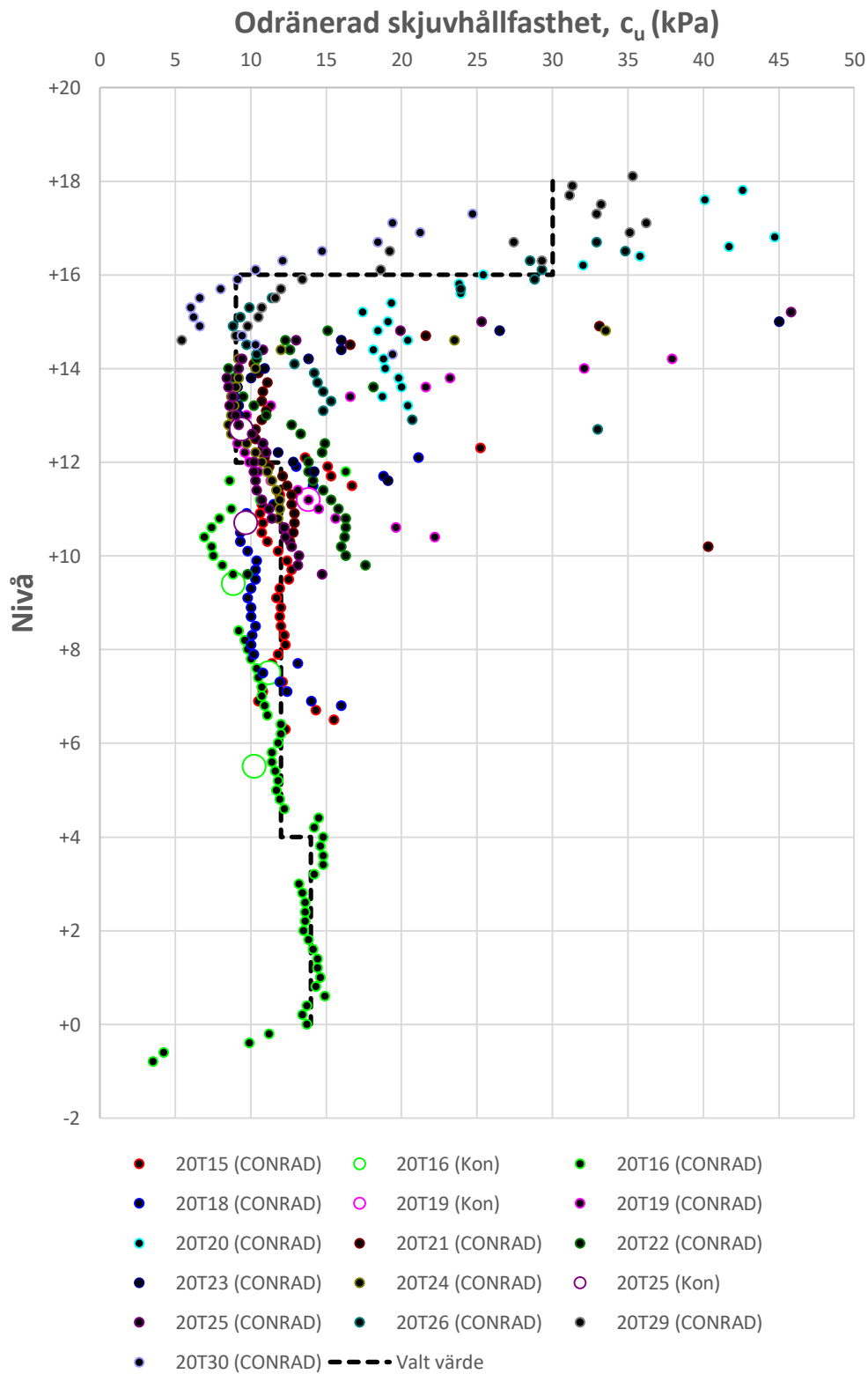
För härledda värden hänvisas till MUR. I figur 21 och 22 nedan redovisas valt värde inom planområdet utifrån nu utförda undersökningar.



- |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|
| ● 20T15 (CONRAD) | ○ 20T16 (Kon)    | ● 20T16 (CONRAD) |
| ● 20T18 (CONRAD) | ○ 20T19 (Kon)    | ● 20T19 (CONRAD) |
| ● 20T20 (CONRAD) | ● 20T21 (CONRAD) | ● 20T22 (CONRAD) |
| ● 20T23 (CONRAD) | ● 20T24 (CONRAD) | ○ 20T25 (Kon)    |
| ● 20T25 (CONRAD) | ● 20T26 (CONRAD) | ● 20T29 (CONRAD) |
| ● 20T30 (CONRAD) | --- Valt värde   |                  |

Figur 21 Grafen redovisar valt värde för odränerad skjuvhållfasthet mot djupet inom planområdet.





Figur 22 Grafen redovisar valt värde för odränerad skjuvhållfasthet mot marknivå (RH 2000) inom planområdet

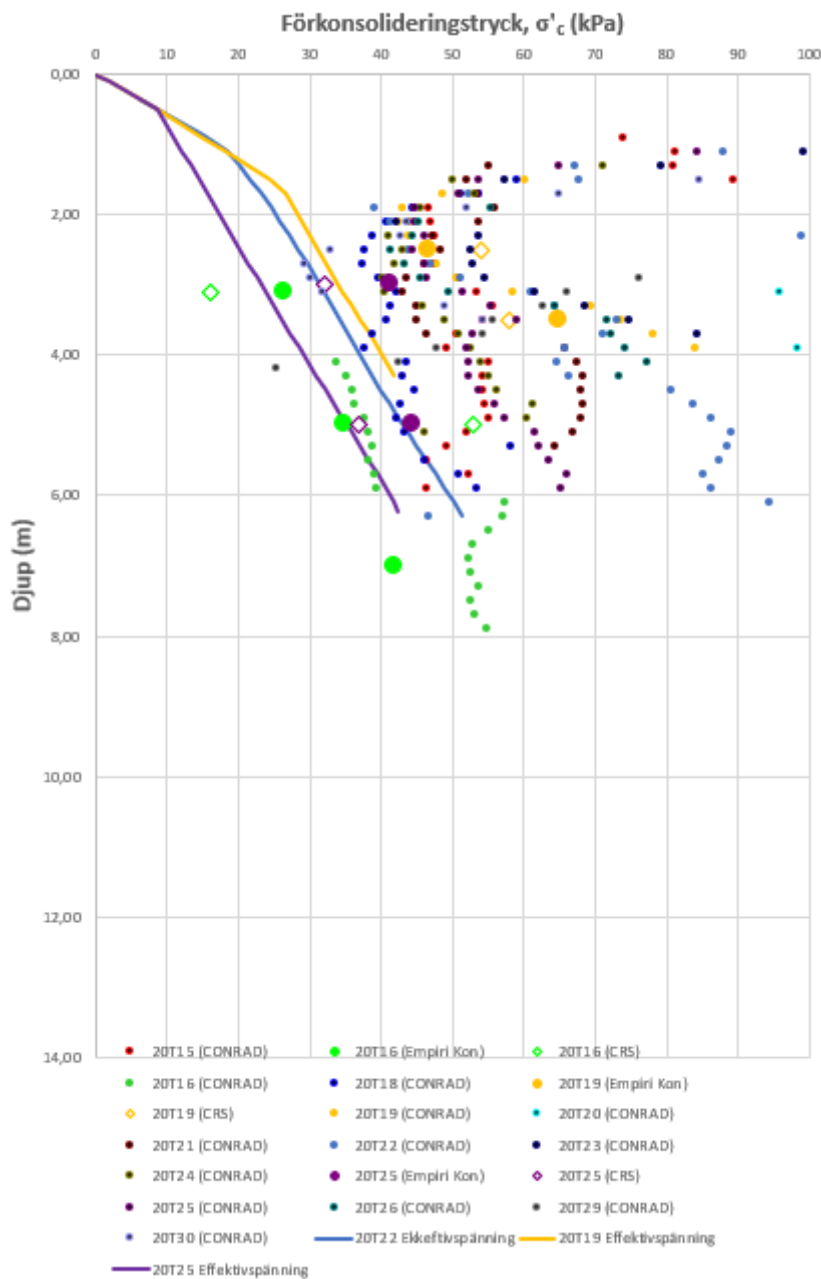
## 12.2.2 FÖRKONSOLIDERINGSSPÄNNING

Lerans förkonsolideringsspanning mot djupet har utvärderats från ostörd provtagning i borrhpunkt 20T16, 20T19 samt 20T25 med CRS-försök utifrån CPT-sonderingar. I borrhpunkt 20T16 förekom gyttjig lera vilket är anledningen till den lägre kompressionsmodulen i borrhpunkten.

Värdena från CPT-sonderingarna är utvärderade i datorprogrammet Conrad enligt rekommendation i SGI Information 15 och korrigerade enligt formeln:

$$\tau'_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{k1 + k2 \cdot w_L}$$

Utifrån effektivspänningsanalys från CPT-sonderingar tillsammans med utförda CRS-försök kan leran generellt betraktas som normalkonsoliderad till svagt överkonsoliderad med ca 10 - 20 kPa. Ställvis förekommer områden med högre konsolideringsgrad, vilket gäller vid borrhpunkt 20T17 och 20T29. I figur 23 nedan redovisas effektivspänningen från borrhpunkt 20T19, 20T22 samt 20T25 som ett exempel tillsammans med de olika borrhpunkternas förkonsolideringsspanning.



Figur 23 Grafen redovisar förkonsolideringsspanningen för samtliga borrhöjningar inom planområdet tillsammans med effektivspänningen från borrhöjningarna 20T19, 20T22 och 20T25 mot djupet under markytan. Gröna prickar redovisar borrhöjning 20T16 där gyttig lera påträffades.

### 12.2.3 FRIKTIONSVINKEL OCH ELASTICITETSMODUL

Friktionsjordens egenskaper har ej utvärderats i detta skede. Enligt sgu:s jordartskarta består fastmarksområdena av sandig morän med delar av blockig samt storblockig yta, vilket också kan ses vid platsbesök.

Enligt tabell 5.2-2 samt 5.2-3 i TK Geo 13 ligger elasticitetsmodulen för en sandig morän mellan 5-20 MPa och friktionsvinkeln mellan 35 – 42° beroende på hur fast lagrad moränen är.

#### 12.2.4 SAMMANSTÄLLNING AV VALDA VÄRDEN

Tabell 15 Valda värden för parametrar i jordmodellen inom planområdet.

Djup under markytan [m]	Material	M/T*	$\gamma_{\text{valt}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi_{\text{valt}}/C_{u,\text{valt}}$ [kPa]	$E_{\text{valt}}/M_{L,\text{valt}}$ [kPa]
0 -1 m +17 - +14,5	Torrskorpelera	4B/3	1,85	30 kPa	5000 kPa
1 - 3,0 m +14,5 - +14	Lera 1	4B/3	1,8	9 kPa kPa	300 kPa
3,0 - 8,0 +14 - +13	Lera 2	4B/3	1,65	12 kPa	350 kPa
8,0 - 12 m +13 - +11,5	Lera 3	4B/3	1,7	14 kPa	250 kPa
>10 m <+6	Friktionsjord	-	2,0	35°	5 MPa

I det område där gyttjig lera förekommer är kompressionsmodulen lägre än valda värden ovan. Modulen kan utifrån utförda CRS-försök sättas till ett medelvärde av utförda CRS-försök i borrhpunkt 20T16 vilket ger en kompressionsmodul,  $M_L = 160$  kPa.

### 13 SÄTTNINGSFÖRHÅLLANDEN INOM PLANOMRÅDE

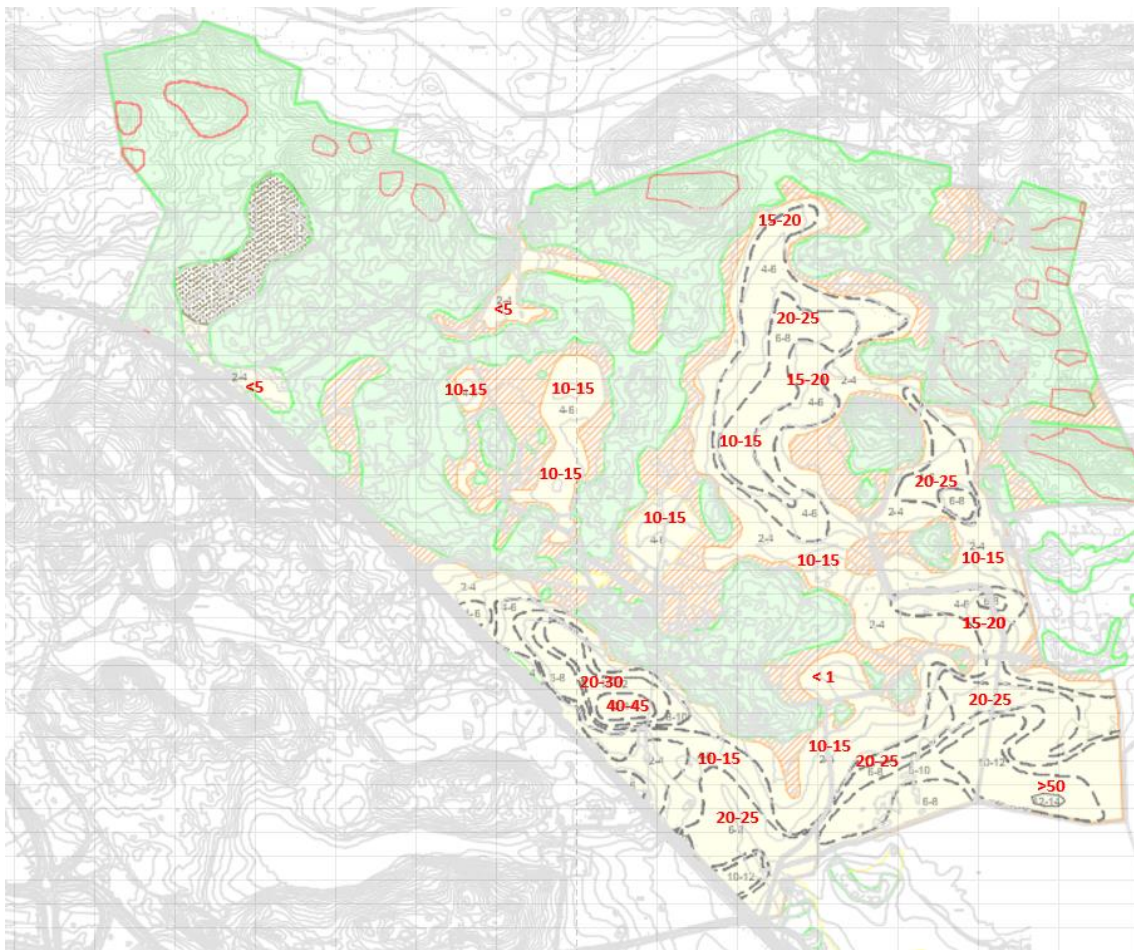
Sättningsberäkningar inom undersökningsområdet har utförts översiktligt för området utifrån valda värden ovan.

Beräkningar har utförts enligt Hookes lag.

$$s = \frac{\sigma * h}{E_d}$$

Där S = sättning (m),  $\sigma$  = tillskottslasten (kPa),  $E_d$  = elasticitetsmodulen (kPa), h = lagertjockleken (m).

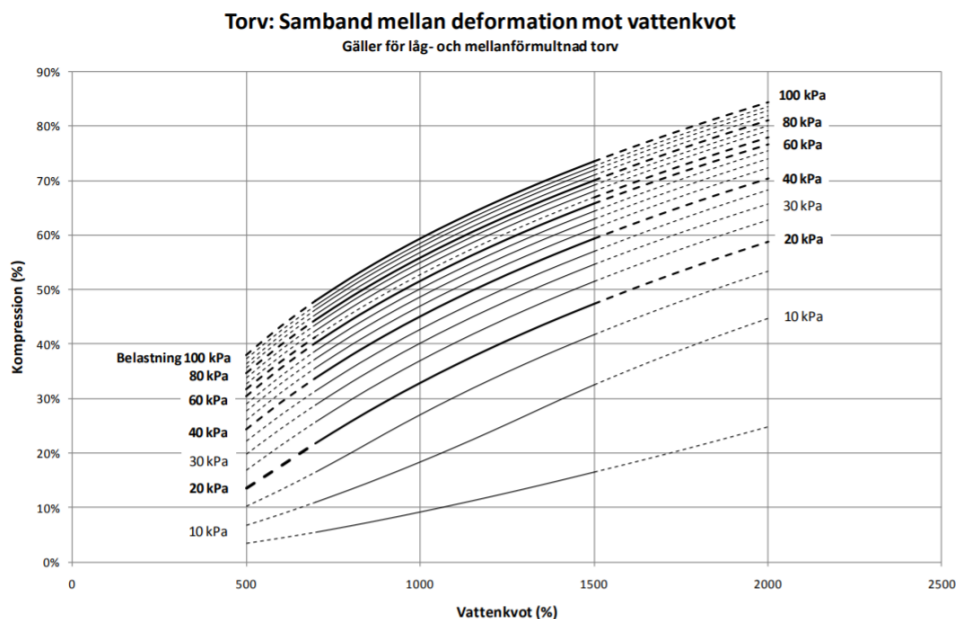
I figur 24 nedan redovisas översiktligt beräknade sättningar vil en tillskottslast om 20 kPa, vilket motsvarar ca 1 m fyllningsmassor eller en grundvattensänkning om 1 m. Leran har antagits vara genomgående överkonsoliderad med 10 kPa. Leran är mycket sättningkänslig med avseende på de låga kompressionsmodulerna och totalsättningar inom lerområdet varierar generellt mellan 10 - 25 cm med ett par områden där större sättningar på upp emot 40 - 50 cm är att förvänta vid angiven lastpåföring.



Figur 24 Beräknad totalsättning i cm vid en belastning om 20 kPa inom lerområdena.

Inom område där enbart torrskorpelera på morän förekommer bedöms marken inte som särskilt sättningskänslig och enligt små försumbara sättningar förväntas vid belastning. Inom området där fastmark förekommer bedöms marken som ej sättningskänslig.

Torv är ett mycket sättningskänsligt material och beroende på förmultningsgrad och belastning kan kompressionen bli mycket stor. Se figur 25 nedan från TR Geo 13. Vid exempelvis en vattenkvot på 1000 % och en belastning 10 kPa kan en kompression om 10% av torvlagrets mäktighet förväntas. Vid 3 meter torv, vilket är det största uppmätta inom torvområdet i nordväst, skulle det innebära en kompression om 30 cm. Torv komprimeras relativt snabbt över tid och beroende på vad som planeras att anläggas kan ibland torv förbelastas med en överlast och därefter lämnas kvar under den färdiga anläggningen.



Figur 25 Samband mellan belastning och kompression för lågförmultnad torv eller mellantorv med olika vattenkvoter.

## 14 TOTALSTABILITET FÖR PLANOMRÅDET (SKRED OCH RAS)

Marken inom området där lera förekommer är relativt plant med små nivåskillnader.

De naturliga slänter som förekommer inom planområdet ligger inom fastmarksområden och vid förekomst av berg i dagen och utgör således ingen risk för skred med dagens förekommande nivåer.

Det förekommer block inom planområdet. Dessa ligger främst utspridda på plan mark och bedöms inte utgöra någon risk.

Områdets totalstabilitet bedöms med dagens nivåer som tillfredställande, vilket innebär att risk för skred eller ras ej bedöms förekomma inom planområdet.

Det förekommer inga större vattendrag vilket innebär att det inte förekommer några erosionsrisker inom planområdet.

## 15 REKOMMENDATIONER FÖR PLANOMRÅDE

### 15.1 BYGGBARHET

Jordarna varierar inom planområdet. Byggbarheten anses bäst inom fastmarksområdena där sättningsrisken är liten. Däremot kommer byggnation inom fastmarksområden innebära både mycket schakt och/eller fyll med avseende på de nivåskillnaderna som förekommer. Inom lerområdena är byggbarheten sämre både för byggnader och för anläggning av gator med avseende på sättningsrisken. Med avseende på den låga skjuvhållfastheten i lera rekommenderas att marken hålls låg och eftersträvas att hållas i dagens nivåer för att inte riskera sättnings- eller stabilitetsproblem vid stora uppfyllnader. Undersökningar visar tecken på att vissa lerområden kan vara mer överkonsoliderad. I dessa områden, efter att förhållandena är bekräftade i projekteringskedet, finns det förmodligen större möjligheter för höjning av mark.

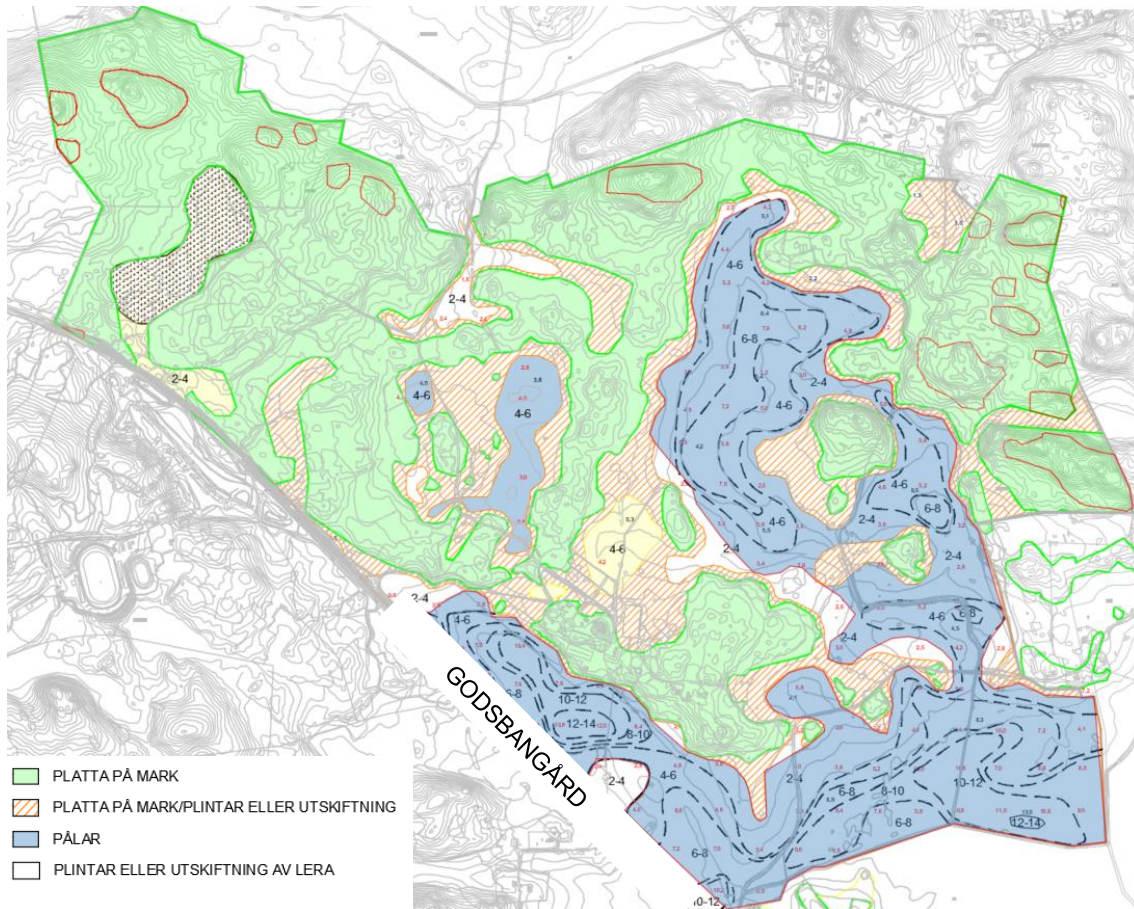
Inom torvområdet anses byggbarheten som mycket dålig och torven kommer sannolikt behöva skiftas ur för anläggning inom området.

### 15.2 GRUNDLÄGGNING

Inom områden där lera förekommer med mäktigheter >3 m ska pålar förväntas. Vid mindre lermäktigheter kan grundläggning utföras på plintar eller med platta på mark på fast lagrad friktionsjord efter utskiftning av befintlig lera. Inom område där torrskorpelera på morän förekommer kan lättare byggnader förutsättas vara möjliga att grundläggas med platta på mark. För större byggnader rekommenderas att torrskorpeleran skiftas ut och grundläggning utförs på fast lagrad friktionsjord.

Inom fastmarksområde förutsätts grundläggning vara möjlig att utföra med platta på mark. Se bedömda grundläggningsmetoder i figur 26 nedan.

Det rekommenderas att byggnader planeras på ett sådant sätt att de antingen ligger inom lerområde eller fastmarksområde och inte går över gränserna, detta för att undvika komplicerade grundläggningsarbeten.



Figur 26 Bedömda grundläggningsmetoder inom planområdet

### 15.3 SCHAKTARBETEN

Schakt dimensioneras i projekteringskedet. Sannolikt, med avseende på den låga skjuvhållfastheten inom planområdet kommer schakt delvis, beroende på schaktdjup, erfordra stödkonstruktion för att vara möjlig att utföra.

### 15.4 FYLLNINGARBETEN

Inom fastmarksområdet kan marknivåer regleras relativt fritt. Likaså inom område där torrskorpelera på morän förekommer. Inom övriga delar, där lösare lagrad lera förekommer rekommenderas att marken hålls låg i närhet till dagens nivåer.

### 15.5 GRUNDVATTENSÄNKNING

Tillfällig avsänkning av grundvattennivån får endast utföras om det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom erforderlig pumpning. I annat fall krävs tillstånd enligt miljöbalken. Marken är sättningkänslig och en grundvattensänkning på 1 m motsvarar en last om ca 10 kPa.



## 16 LOKALT OMHÄNDERTAGANDE AV DAGVATTEN (LOD) INOM PLANOMRÅDET

Täta jordlager inom undersökningsområdet gör lokalt omhändertagande av dagvatten genom infiltration olämpligt inom de östra delarna där främst lera förekommer. Ytlig och spridd infiltration till fastmarksområden kan eventuellt utföras under förutsättning att marklutningar skapas bort från byggnationer. Andra alternativa lösningar med exempelvis fördröjningsmagasin kan tillämpas inom undersökningsområdet där lera förekommer. Ett ytligt dagvattenmagasin ex en dagvattendamm kan förläggas i en punkt som är lägre belägen än kringliggande byggnation. Ett sådant magasin förläggs lämpligtvis i en punkt där byggbarheten är något sämre och där lermäktigheterna är större för att undvika kommunikation med grundvattnet.

Inom fastmarksområdet kan omhändertagande av dagvatten sannolikt ske med hjälp av infiltration.

## 17 ÖVRIGT SAMT FORTSATT PROJEKTERING

### 17.1 GODSBANGÅRD

Inför projektering av godsbangården erfordras tätare sonderingar och provtagningar i spårmitt för att verifiera lerdjup och hållfastheter. I samband med detta kan uppdaterade stabilitets- och sättningberäkningar utföras och förstärkningsåtgärder specificeras och möjligen begränsas.

Det rekommenderas att ett par grundvattenrör installeras emellan de nu installerade grundvattenrören med avseende på dess tryckvariation. Det rekommenderas att fortsatta grundvattenmätningar utförs i redan installerade grundvattenrör för att få en bättre förståelse för områdets geohydrologiska situation.

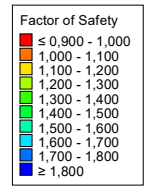
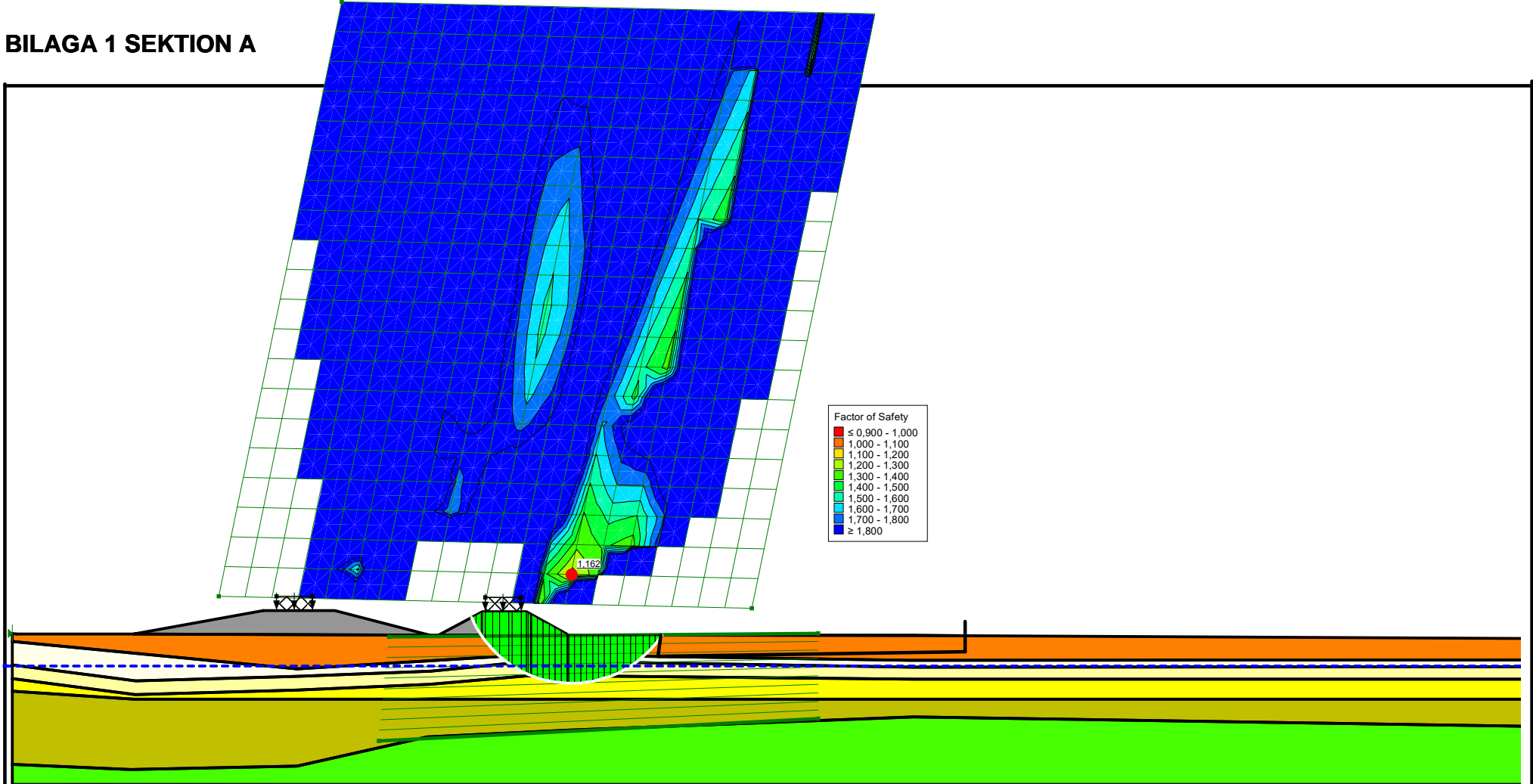
### 17.2 PLANOMRÅDE

Det rekommenderas att fortsatta grundvattenmätningar utförs i installerade grundvattenrör för att få en bättre förståelse för områdets geohydrologiska situation.

När höjdsättning, byggnadslägen och nivåer för lägsta golv finns framtaget rekommenderas att nya objektspecifika geotekniska undersökningar utförs.

Det rekommenderas även att en markradonundersökning utförs inom planområdet, framför allt inom fastmarksområdena, men också ett antal mätningar inom lerområdena.

# BILAGA 1 SEKTION A



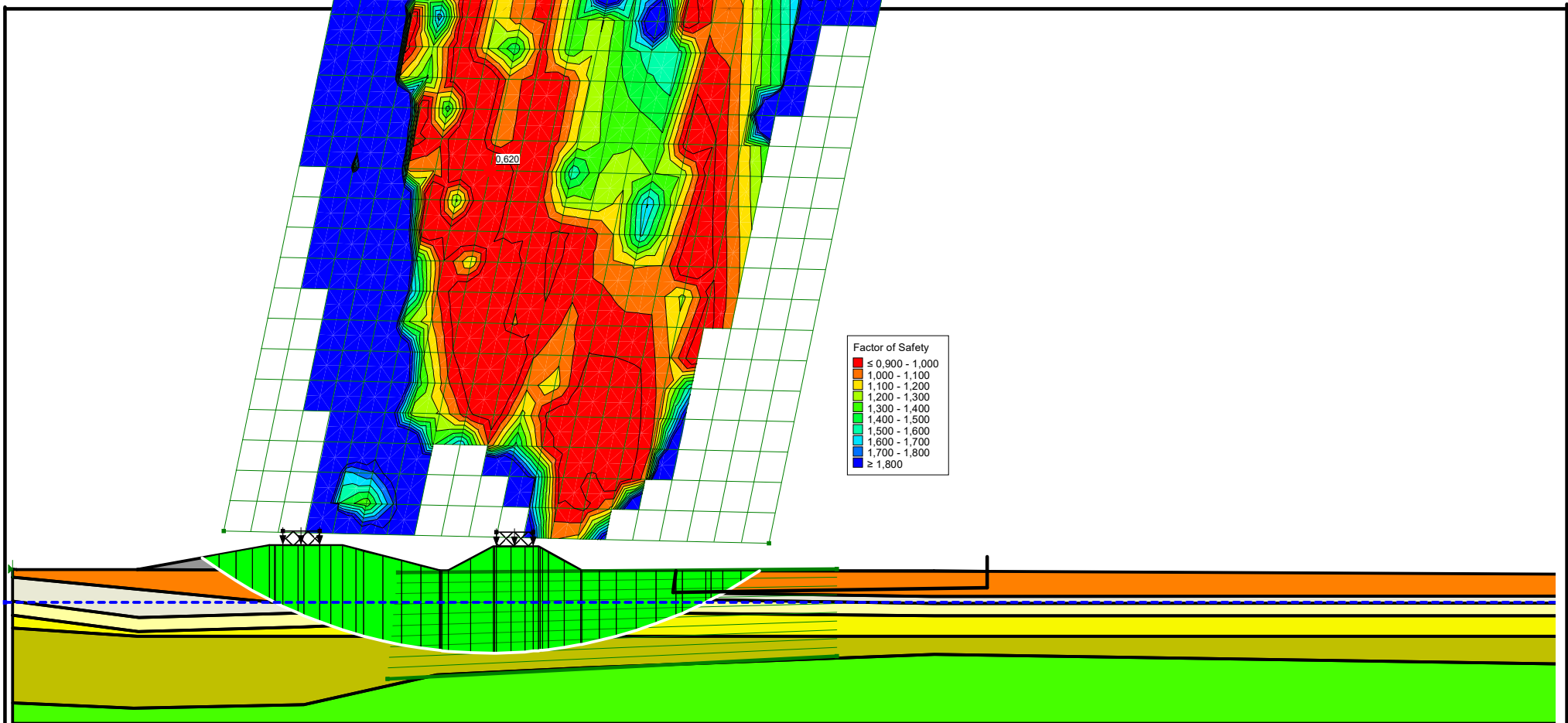
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kPa)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	C-Maximum (kPa)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
Green	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	20					0	28,3	0	1
White	Lera 1	S=f(depth)	1,8		19	-29	0				1
Yellow	Lera 2	Undrained (Phi=0)	1,65	4,5							1
Light Yellow	Lera 3	S=f(depth)	1,7		4,5	3,3	0				1
Olive Green	Lera 4	Undrained (Phi=0)	1,7	9,5							1
Orange	Let	Undrained (Phi=0)	1,85	19							1
Grey	Makadam	Mohr-Coulomb	20					0	34,7	0	1

Godsbangård odränerad sektion A

A godsbangård.gsz

2020-09-08 1:400

BILAGA 1 SEKTION A



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	C-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Cu-Top of Layer (kPa)	Cu-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	C/Cu Ratio	Phi-B (°)	Piezometric Line
Green	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	20	0	28,3					0	1
Light Grey	Lera 1 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,8		23,9		19	29	0,1		1
Yellow	Lera 2 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,65		23,9	0	4,5	0	0,1		1
Orange	Lera 3 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,7		23,9		4,5	3,3	0,1		1
Light Green	Lera 4 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,7		23,9		9,5	0	0,1		1
Dark Green	Let kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,85		23,9	0	19	0	0,1		1
Grey	Makadam	Mohr-Coulomb	20	0	34,7					0	1

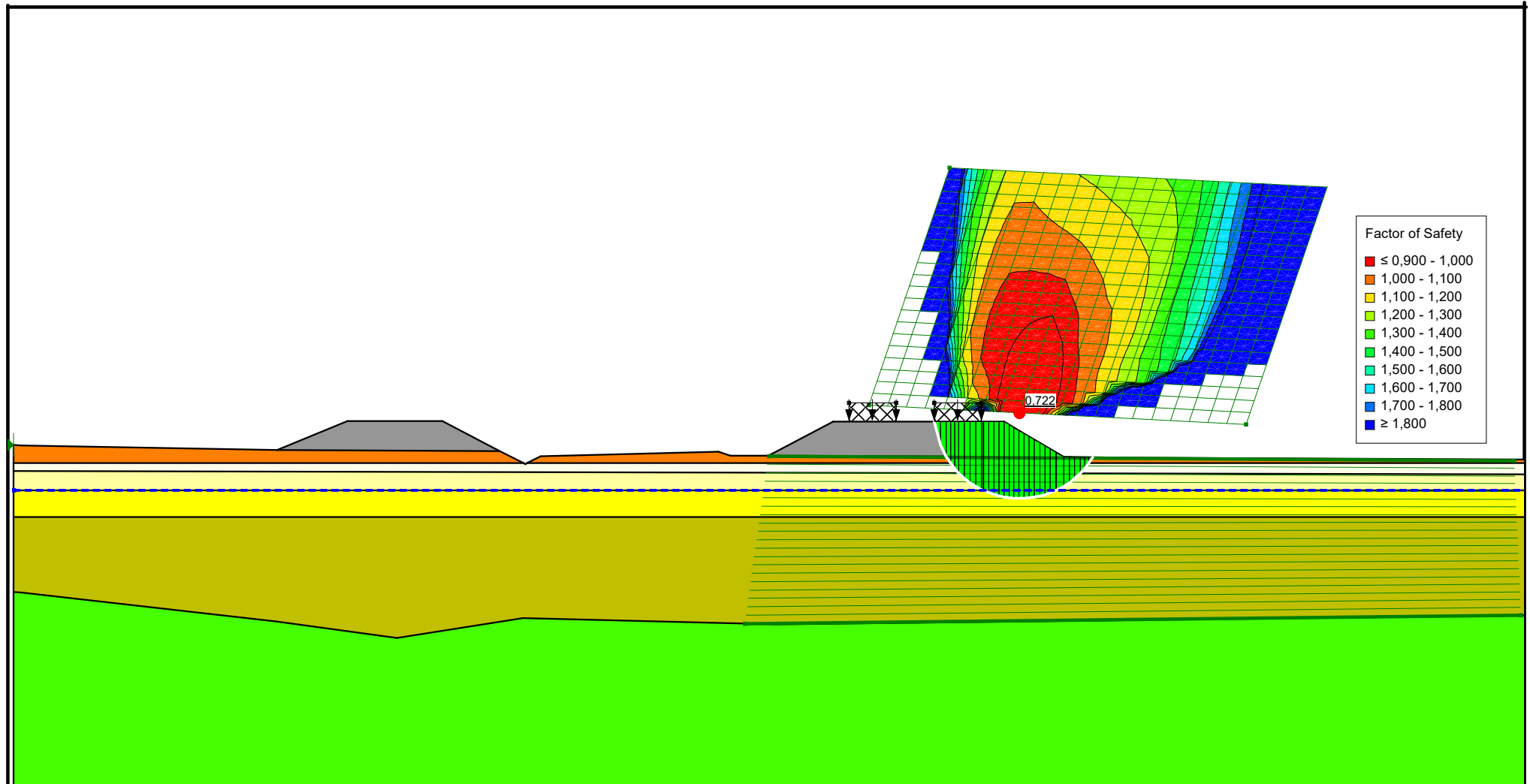
Godsbangård kombinerad sektion A

A godsbangård.gsz

2020-09-08

1:400

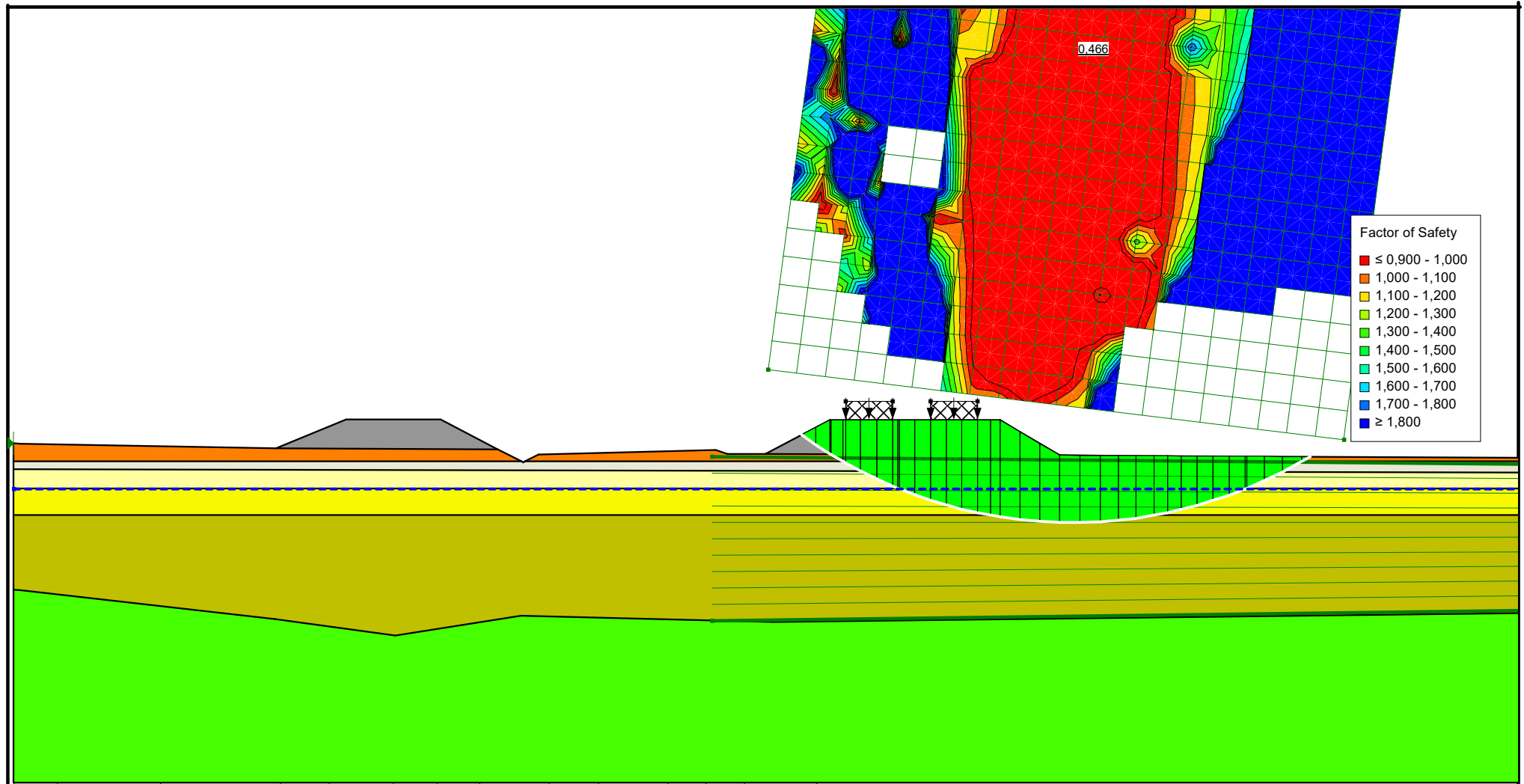
# BILAGA 2 SEKTION B



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kPa)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	C-Maximum (kPa)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
Green	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	20					0	28,3	0	1
White	Lera 1	S=f(depth)	1,8		19	-29	0				1
Light Yellow	Lera 2	Undrained (Phi=0)	1,65	4,5							1
Yellow	Lera 3	S=f(depth)	1,7		4,5	3,3	0				1
Olive Green	Lera 4	Undrained (Phi=0)	1,7	9,5							1
Orange	Let	Undrained (Phi=0)	1,85	19							1
Grey	Makadam	Mohr-Coulomb	20					0	34,7	0	1

Godsbangård odränerad sektion B  
 B godsbangård.gsz  
 2020-09-08 1:300

# BILAGA 2 SEKTION B



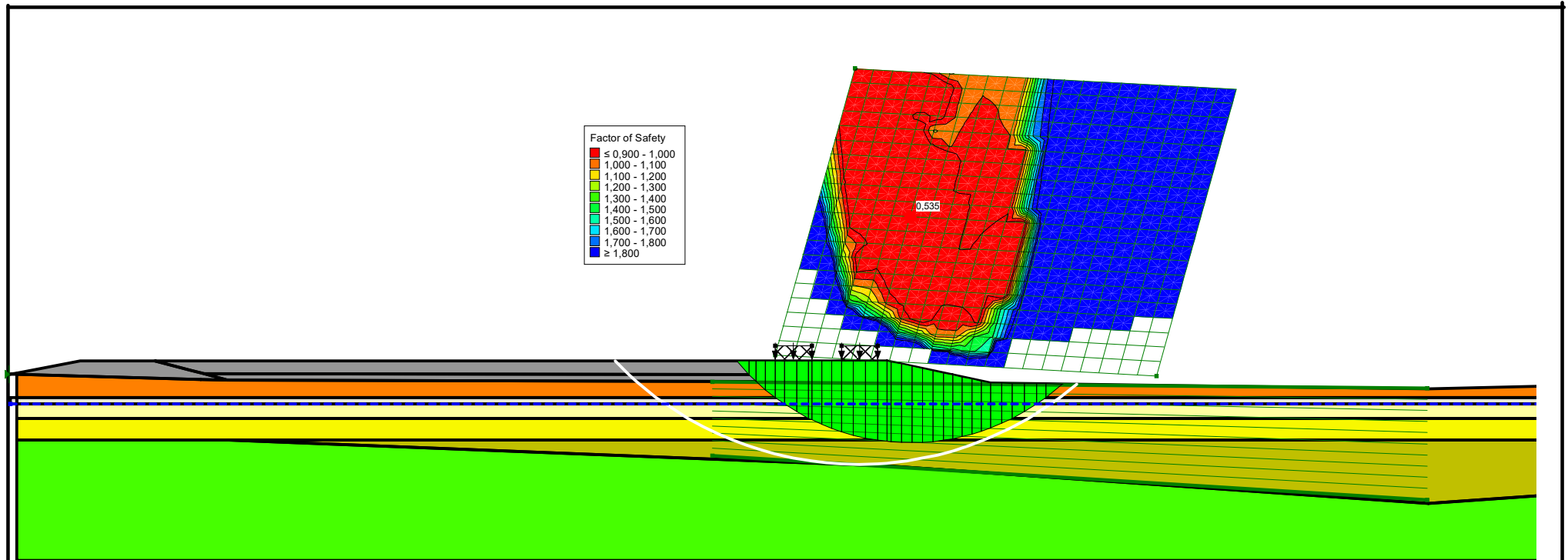
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion (kPa)	Phi' (°)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Cu-Top of Layer (kPa)	Cu-Rate of Change ((kN/m²)/m)	C/Cu Ratio	Phi-B (°)	Piezometric Line
■	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	20	0	28,3						0	1
■	Lera 1 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,8		23,9			19	-29	0,1		1
■	Lera 2 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,65		23,9	0	4,5	0	0	0,1		1
■	Lera 3 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,7		23,9		4,5	3,3	0	0,1		1
■	Lera 4 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,7		23,9	0	9,5	0	0	0,1		1
■	Let kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,85		23,9	0	0	19	0	0,1		1
■	Makadam	Mohr-Coulomb	20	0	34,7						0	1

Godsbangård kombinerad sektion B

B godsbangård.gsz

2020-09-08 1:300

# BILAGA 3 SEKTION C



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Cu-Top of Layer (kPa)	Cu-Rate of Change ((kN/m²)/m)	C/Cu Ratio	Phi-B (°)	Piezometric Line
■	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	20	0	28,3						0	1
■	Lera 1 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,8		23,9			19	-29	0,1		1
■	Lera 2 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,65		23,9	0	4,5	0	0	0,1		1
■	Lera 3 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,7		23,9		4,5	3,3	0	0,1		1
■	Lera 4 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,7		23,9	0	9,5	0	0	0,1		1
■	Let kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,85		23,9	0	0	19	0	0,1		1
■	Makadam	Mohr-Coulomb	20	0	34,7						0	1

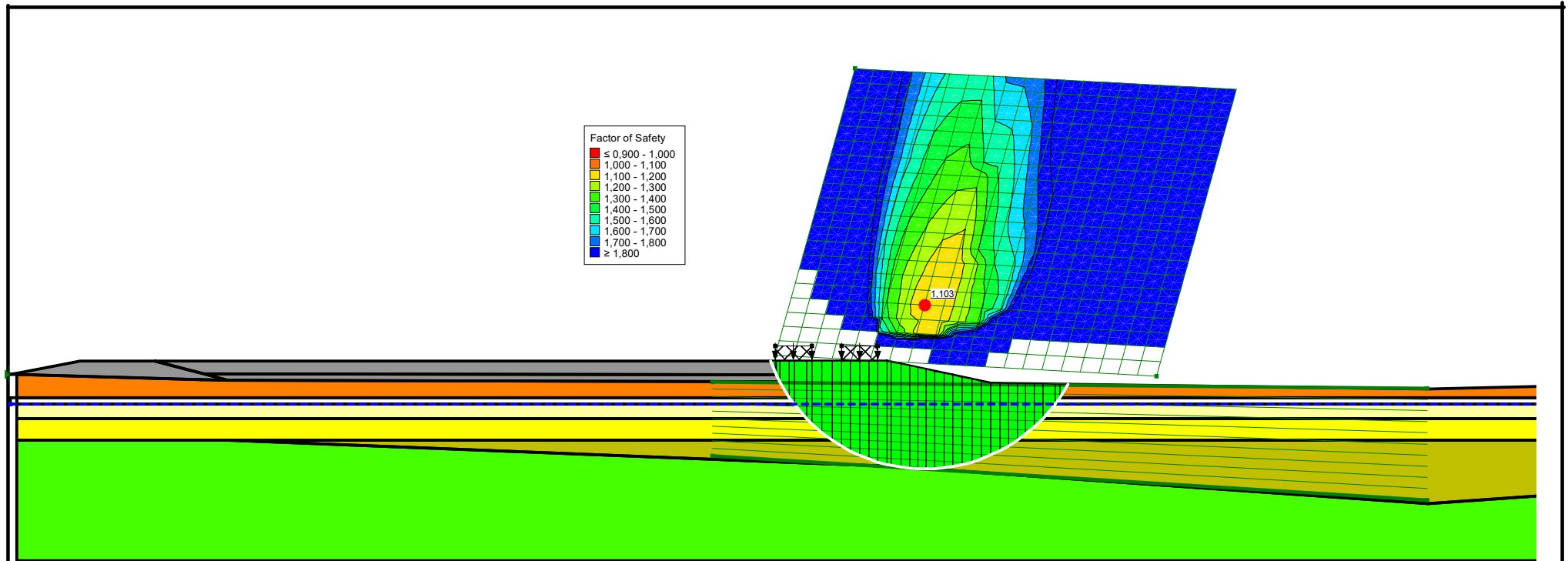
Godsbangård kombinerad sektion C

C godsbangård.gsz

2020-09-08

1:400

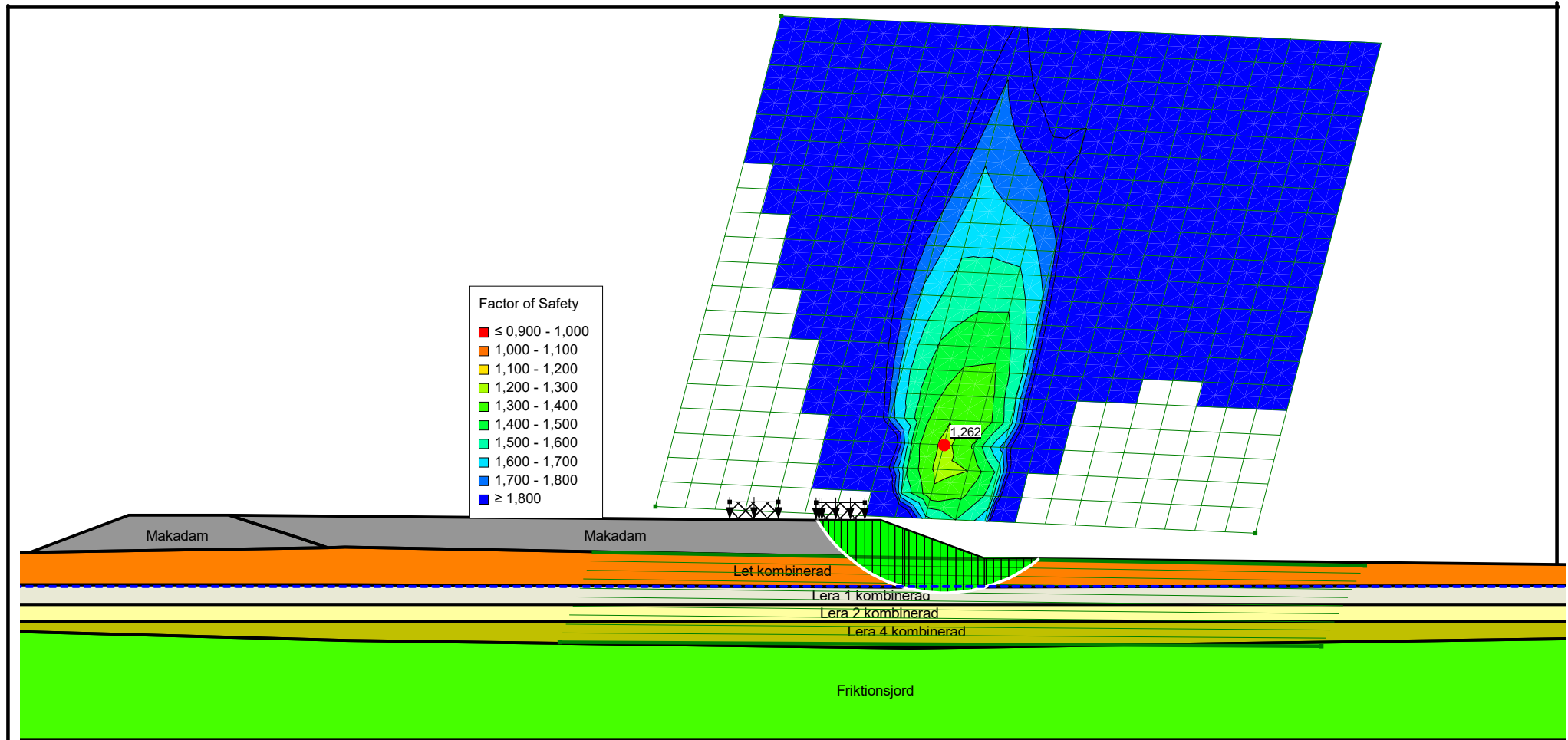
# BILAGA 3 SEKTION C



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kPa)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	C-Maximum (kPa)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
Green	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	20					0	28,3	0	1
White	Lera 1	S=f(depth)	1,8		19	-29	0				1
Light Yellow	Lera 2	Undrained (Phi=0)	1,65	4,5							1
Yellow	Lera 3	S=f(depth)	1,7		4,5	3,3	0				1
Yellow-Green	Lera 4	Undrained (Phi=0)	1,7	9,5							1
Orange	Let	Undrained (Phi=0)	1,85	19							1
Grey	Makadam	Mohr-Coulomb	20					0	34,7	0	1

Godsbangård odränerad sektion C  
 C godsbangård.gsz  
 2020-09-08 1:400

# BILAGA 4 SEKTION D



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	C-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Cu-Top of Layer (kPa)	Cu-Rate of Change ((kN/m²)/m)	C/Cu Ratio	Phi-B (°)
Green	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	20	0	28,3					0
Light Grey	Lera 1 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,8		23,9		19	-29	0,1	
Yellow	Lera 2 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,65		23,9	0	4,5	0	0,1	
Olive Green	Lera 4 kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,7		23,9	0	7	0	0,1	
Orange	Let kombinerad	Combined, S=f(depth)	1,85		23,9	0	19	0	0,1	
Grey	Makadam	Mohr-Coulomb	20	0	34,7					0

Godsbangård kombinerad sektion D

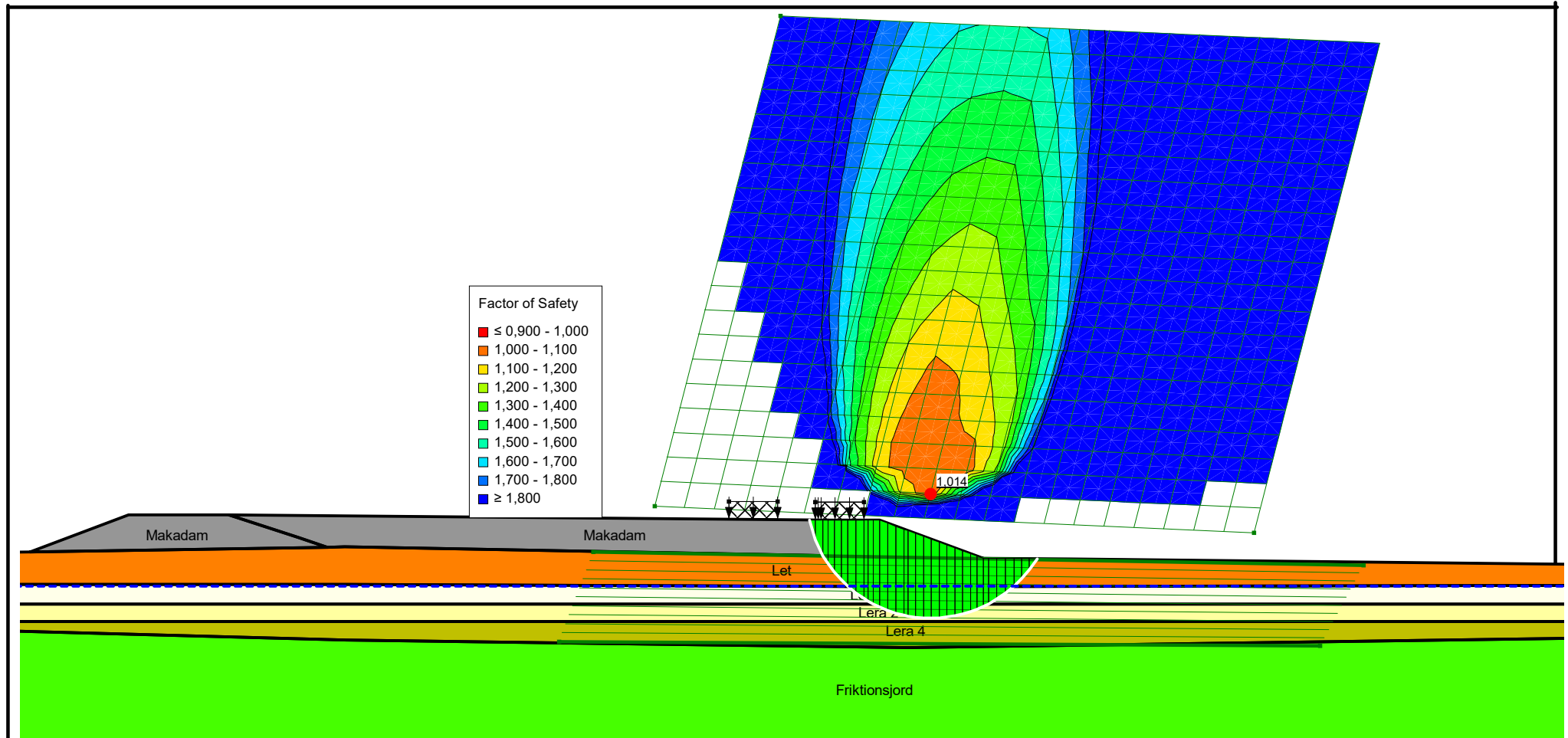
D godsbangård.gsz

2020-09-08

1:300



# BILAGA 4 SEKTION D



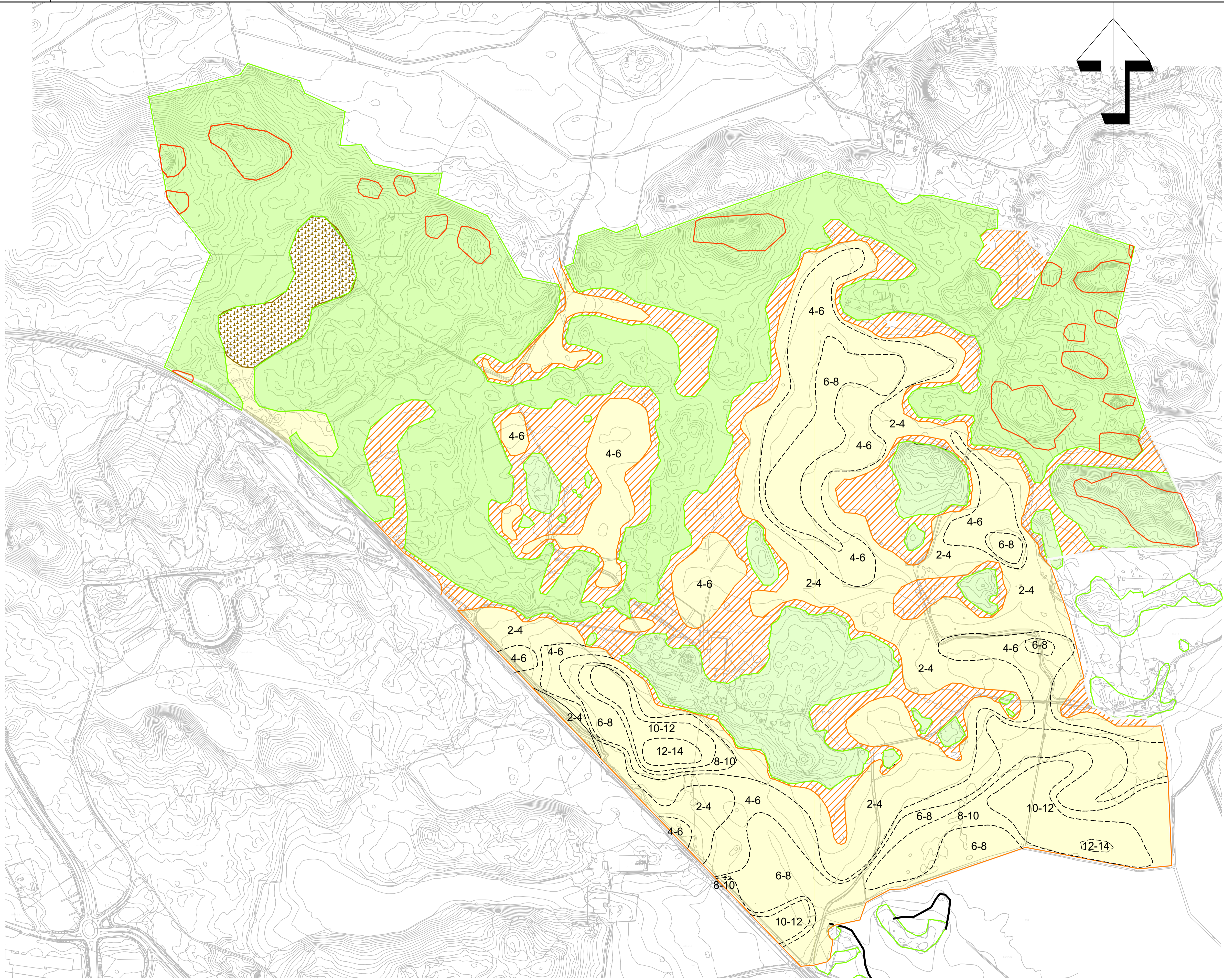
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kPa)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	C-Maximum (kPa)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)
■	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	20					0	28,3	0
■	Lera 1	S=f(depth)	1,8		19	-29	4,5			
■	Lera 2	Undrained (Phi=0)	1,65	4,5						
■	Lera 4	Undrained (Phi=0)	1,7	7						
■	Let	Undrained (Phi=0)	1,85	19						
■	Makadam	Mohr-Coulomb	20					0	34,7	0

Godsbangård odränerad sektion D

D godsbangård.gsz

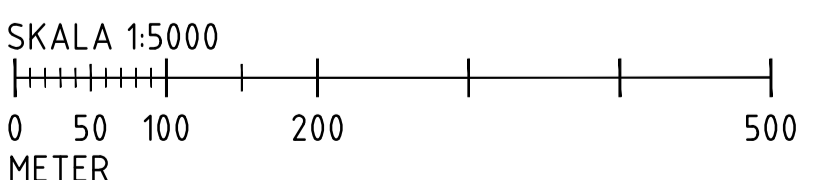
2020-09-08

1:300



FÖRKLARING

- BERG I DAGEN
- FASTMARKSOMRÅDE
- TORRSKORPELERA PÅ FRIKTIONSJORD
- LEROMRÅDE MED LÖST LAGRAD LERA
- TORV



REV.	COUNT	REVISION CONCERNS	DATE	BY
<b>GUNNARSKÄL</b> ESKILSTUNA KOMMUN				
<b>TYRÉNS</b>				
PROJECT NO.	303931	DRAWN BY	E. THORSSELL	DESIGNED BY
DATE	2020-09-11	PROJECT MANAGER	ELIN THORSSELL	
<b>GEOTEKNISK UNDERSÖKNING</b> GUNNARSKÄL TOLKAD PLAN				
SCALE	1:5000 (A1)	DRAWING NO.	102G1201	REV.