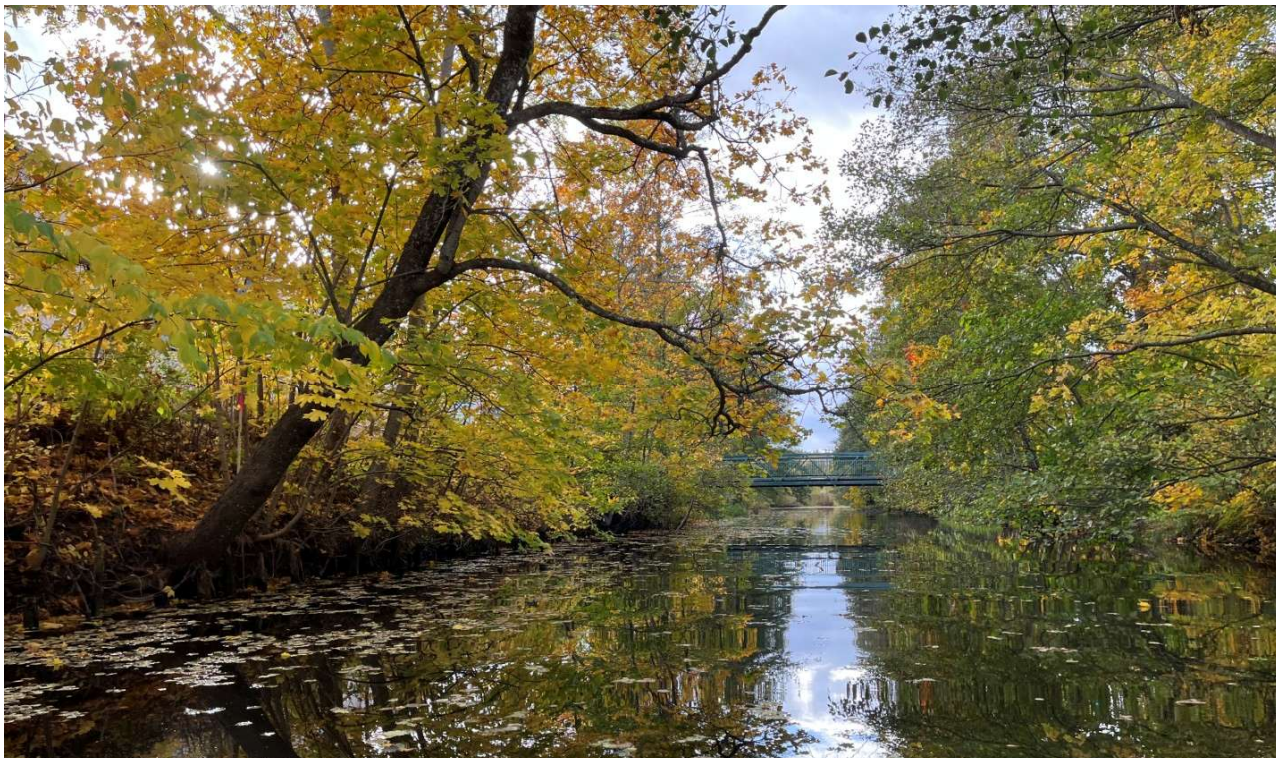


**Beställare**  
White Arkitekter AB

## DP Norrtälje Sjukhus

### BeräkningsPM Geoteknik - Detaljerad stabilitetsutredning



**STATUS: PLANHANDLING**

**ELU Konsult AB**  
Geoteknik, Stockholm

Nadia Larsson  
Uppdragsledare

Nadia Larsson  
Granskare

Katia Calming  
Handläggare

Bet	Ändringen avser	Datum	Sign
-----	-----------------	-------	------

#### ELU Konsult AB

**Valhallavägen 117**  
Box 27006, 102 51 STOCKHOLM  
Telefon 08-5800 91 00

[www.elu.se](http://www.elu.se)  
M:\404\40497\04\_Dok\2025 PM Stabilitet\G-BE-01.docx

**Västra Hamngatan 14**  
411 17 GÖTEBORG  
Telefon 031-339 32 00  
Org.nummer 556341-0421

**Norra Vallgatan 60**  
211 22 MALMÖ  
Telefon 040-644 91 00  
Cert. ISO 9001, ISO 14001

## Innehåll

1	Uppdrag och syfte .....	5
2	Underlag .....	5
3	Referenser .....	6
4	Hänvisningar .....	6
5	Styrande och rådgivande dokument .....	6
6	Områdesbeskrivning .....	6
6.1	Topografi och ytbeskaffenhet .....	7
6.2	Befintliga konstruktioner .....	7
6.2.1	Hus 01 .....	7
6.2.2	Hus 18 .....	7
6.2.3	Hus 07 .....	7
7	Planerad exploatering .....	8
8	Markförhållanden .....	9
8.1	Jordlagerföljd .....	9
8.2	Hydrogeologiska förhållanden .....	10
8.2.1	Vattenstånd i Norrtäljeån .....	10
8.2.2	Grundvatten- och portryck .....	11
8.2.3	Bottenförhållanden och erosion i Norrtäljeån .....	12
9	Beräkningsförutsättningar .....	13
9.1	Koordinatsystem .....	13
9.2	Geoteknisk kategori .....	13
9.3	Säkerhetsklass .....	13
9.4	Programvara .....	14
9.5	Beräkningsmetod .....	14
9.6	Erforderlig säkerhetsfaktor .....	14
9.7	Dimensionerande vattenstånd .....	14
9.8	Uppdragsspecifika förutsättningar .....	14
9.9	Beräkningssektioner .....	14
9.10	Slänt- och bottengeometrier .....	15
9.11	KC för Hus 18 .....	16
10	Stabilitetsberäkningar .....	18
10.1	Sektion A .....	18

---

10.1.1	Geotekniska förhållanden .....	18
10.1.2	Hydrogeologiska förhållanden .....	18
10.1.3	Laster .....	18
10.1.4	Resultat.....	18
10.2	Sektion B & C .....	19
10.2.1	Geotekniska förhållanden .....	19
10.2.2	Hydrogeologiska förhållanden .....	19
10.2.3	Laster .....	20
10.2.4	Resultat.....	20
10.3	Sektion D .....	20
10.3.1	Geotekniska förhållanden .....	20
10.3.2	Hydrogeologiska förhållanden .....	20
10.3.3	Laster .....	20
10.3.4	Resultat.....	20
10.4	Sektion E & F.....	22
10.4.1	Geotekniska förhållanden .....	22
10.4.2	Hydrogeologiska förhållanden .....	22
10.4.3	Laster .....	22
10.4.4	Resultat.....	22
10.5	Sektion G, H & I .....	22
10.5.1	Geotekniska förhållanden .....	22
10.5.2	Hydrogeologiska förhållanden .....	23
10.5.3	Laster .....	23
10.5.4	Resultat.....	23
10.6	Sektion J.....	23
10.6.1	Geotekniska förhållanden .....	23
10.6.2	Hydrogeologiska förhållanden .....	24
10.6.3	Laster .....	24
10.6.4	Resultat.....	24
11	Känslighetsanalys .....	24
11.1	Framtidens klimat.....	24
11.2	Vattenstånd och grundvattennivåer .....	25
11.3	Erosion.....	27
12	Slutsatser och rekommendationer.....	29

---

12.1	Allmänt .....	29
12.2	Fortsatt utredning .....	29
12.3	Rekommendationer .....	29

## Bilagor

1. Hållfasthetsegenskaper (5 sidor)
2. Stabilitetsberäkningar (24 sidor)
3. Beräkning upplyft skumglas (2 sidor)
4. Erosionsutredning - Norrtäljeån, DHI, 2026-01-23

## 1 Uppdrag och syfte

ELU Konsult AB har på uppdrag av Locum, via White Arkitekter, utfört en detaljerad stabilitetsutredning för detaljplan Norrtälje sjukhus.

Syftet med den stabilitetsutredningen har varit att klarlägga områdets lämplighet för planerad exploatering och utreda vilka geotekniska skyddsåtgärder och anpassningar av markanvändning som behöver säkerställas i detaljplanen med avseende på platsens geotekniska förutsättningar och effekter av ett förändrat klimat.

Föreliggande handling är underlag för framtagande av detaljplan och ska inte utgöra del i förfrågningsunderlag eller bygghandling.

## 2 Underlag

För föreliggande stabilitetsutredning har följande underlag varit gällande:

### **Dokument**

- [1] Markteknisk undersökningsrapport (MUR)/Geoteknik, ELU Konsult, 2026-01-30
- [2] Markteknisk undersökningsrapport (MUR)/Geoteknik, ELU Konsult, 2024-02-12
- [3] FUP Norrtälje sjukhus, PM Geoteknik – inledande bedömning av påbyggnadsmöjlighet av byggnad 18, ELU Konsult, 2022-10-28.
- [4] Vattenståndsmätningar Norrtäljeån, Norrtälje kommun, erhållet 2025-10-21
  - Elverksbron.xlsx
  - Gallverksbron.xlsx
  - Varghedsbron.xlsx
- [5] Norrtälje sjukhus – Kulturmiljöinventering, White Arkitekter, 2024-04-26 rev. 2025-11-07
- [6] Projekt- och bebyggelseförslag - Norrtäljes vårdkvarter, underlag till detaljplan, White Arkitekter, 2025-11-07
- [7] K-ritningar på hus 18 (grundplaner, -sektioner, -detaljer, förstärkningsritningar m.m.) i form av relationsritningar daterade 1997-04-01, upprättade av J&W Bygg och Anläggning AB, erhållna dels via e-post 2022-10-12 från Locum dels från Locums projektplats Advantum
- [8] Uppgifter om sprickor i befintligt Hus 01, Korrespondens per mail samt telefonsamtal med Per Hedman, Tyréns, 2025-06-27
- [9] Fotografier från platsbesök
  - 2025-10-10 (Nadia Larsson)
  - 2025-10-13 (Katia Calming)
  - 2025-10-16 (Katia Calming & Nadia Larsson)
  - 2025-12-28 (Daniel Skoglund)

### **Modellfiler**

- [10] Grundkarta, "Primärkarta Lasarettet 1.dwg", erhållen från White Arkitekter 2024-02-12
- [11] Planerad bebyggelse, "L-30-P01.dwg", White Arkitekter, mottaget 2025-09-19
- [12] Inmätning, "Inmätningar Norrtäljeån.dwg", Peab Marin/DHI, utförd 2025-11-04
- [13] Markmodell, "Höjdgitter\_MY-TIN.dwg", ELU Konsult AB, dat. 2024-04-04
- [14] Markmodell, "C3D\_My enl.primkarta.dwg", ELU Konsult AB, dat. 2024-03-25
- [15] Källarvåningen i Hus01, A30P\_0060101m, erhållen av White arkitekter 2023-03-28

### 3 Referenser

- [i] Grundvattennivåer i ett förändrat klimat – nya klimatscenarier, SGU Rapport 2015:19, maj 2015
- [ii] SGI (2018) Klimatlasters effekter på naturlig mark och geokonstruktioner - geotekniska aspekter på klimatförändringen

### 4 Hänvisningar

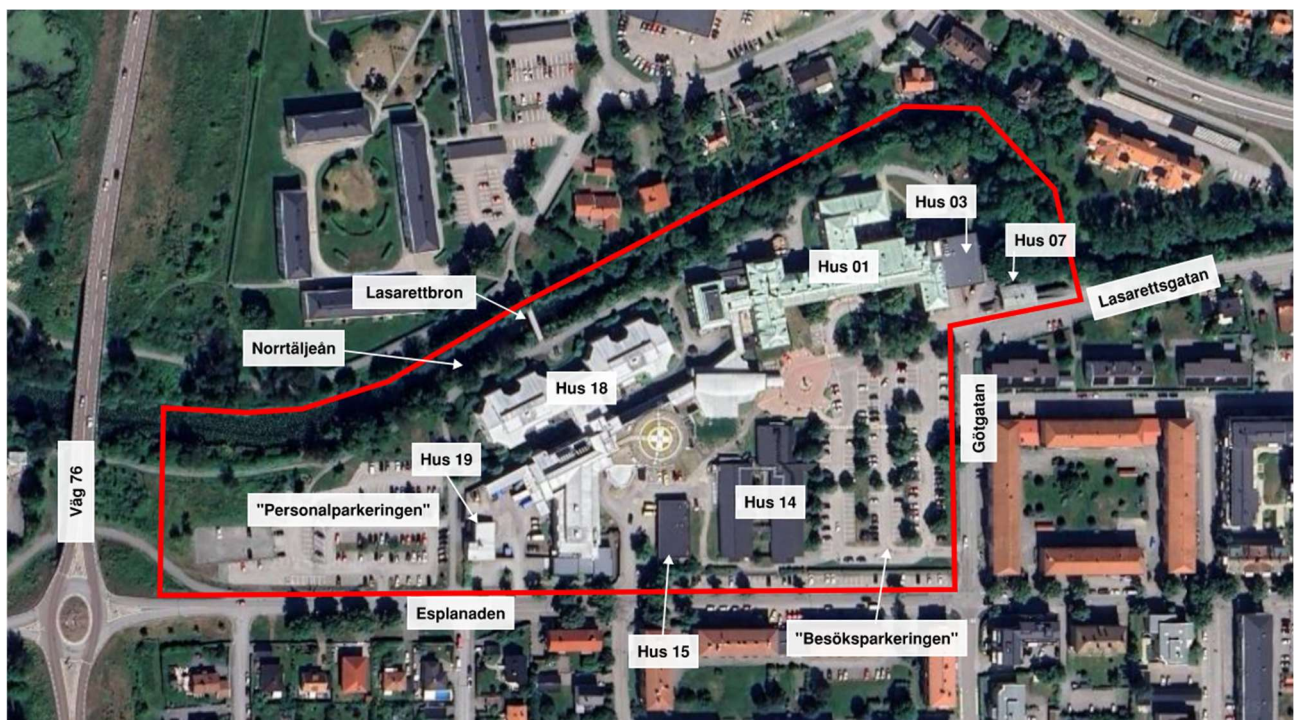
- [A] DP Norrtälje sjukhus, PM Geoteknik, ELU Konsult, 2026-01-30.

### 5 Styrande och rådgivande dokument

- [I] SS-EN 1997-1:2005, Dimensionering av geokonstruktioner – Del 1: Allmänna regler
- [II] BFS 2022:4 EKS 12
- [III] TRVINFRA-00230 version 2.0 (2023) Geokonstruktion, Dimensionering och utformning
- [IV] SGI Vägledning 8 (2023) Utredning av släntstabilitet
- [V] IVA Skredkommissionen Rapport 3:95
- [VI] IEG Rapport 6:2008, Rev 1 Tillämpningsdokument: Slänter och bankar
- [VII] IEG Rapport 2:2008, Rev 3, Tillämpningsdokument: Grunder i Eurokod 7

### 6 Områdesbeskrivning

Detaljplaneområdet är beläget i västra delen av Norrtälje och avgränsas i norr av Norrtäljeån, i väster av väg 76, i söder av vägen Esplanaden och i öster av Götgatan. Detaljplaneområdet redovisas i rött i Figur 1.



Figur 1. Översiktbild över detaljplaneområdet (röd markering). Kartan tagen från Google Maps 2025-12-16

## 6.1 Topografi och ytbeskaffenhet

Marknivåerna inom området sluttar generellt från sydost mot nordväst. Den högsta marknivån är ca +12,1 intill korsningen mellan Esplanaden och Götgatan i sydost. Den lägsta är ca +5,5 norr om personalparkeringen i nordost. Norrtäljeån avgränsar området mot norr och släntlutningen är ställvis relativt brant ned mot åns strandlinje, slänthöjden mot ån är som störst i öst och avtar mot väster. Norrtäljeåns medelvattennivå och strandlinje är på nivå +4,3. Djupet i ån är ca 1,1 till 1,5 meter öster om Lasarettbron. Väster om Lasarettbron är djupet ca 1,6 till 2 meter.

En stor del av den obebyggda ytan är hårdgjord i form av två större parkeringar, gångvägar och gator. Det finns mindre gräsytor mellan de hårdgjorda ytorna. De större sammanhängande grönyttorna är på västra delen av området och i slänten ned mot ån.

## 6.2 Befintliga konstruktioner

### 6.2.1 Hus 01

Den ursprungliga delen av Hus 01, "gamla sjukhuset" färdigställdes 1897. Byggnaden uppfördes i två våningsplan med källare och vind och är murad i tegel på en grundmur av natursten. Byggnaden har byggts ut i flera omgångar med den första utbyggnaden år 1910, därefter har sjukhuset byggts ut 1926, 1936, under 40- och 50-talet och den senaste utbyggnaden utfördes år 1966. Utbyggnaden år 1966, Hus 03 på Figur 1, utgörs av en stomme i betong grundlagd på betongpålar. I övrigt antas byggnaden vara plattgrundlagd.

År 2019 noterades det sprickor i en av flyglarna som vetter mot ån. Orsaken till sprickorna utreddes av Tyréns [8], men anledningen återfanns inte. Det spekulerades i om det berodde på en torr sommar år 2018 eller om grundläggningsarbeten av byggnader sydost om sjukhuset orsakat sättningarna. Sättningsdubbar samt sprickmätare installerades på flygeln som mättes/avlästes fram till och med 2024 då man gjorde bedömningen att uppmätt sättning de senaste två åren var inom mätfelet och därmed gjordes bedömningen att man inte kunde påvisa pågående sättningar och mätningen avslutades. Under mätperioden 2019 till 2022 visade sprickmätarna ingen skillnad i sprickvidd och den totala sättningen på mät dubbarna var 0,6 till 1,7 mm.

### 6.2.2 Hus 18

Hus 18 är utförd med betongstomme i två till fyra våningsplan och färdigställdes år 1996. Byggnaden är grundlagd på kalk- och cementpelare, protokoll från provpelare visar att dessa har en snittlängd på ca 6,8 m. Underkant fundament och sulor är ca +5,8.

### 6.2.3 Hus 07

Hus 07 är en tvåvåningsbyggnad med en källarvåning byggd på 40-talet. Byggnaden är ett putsat hus, stommen utgörs troligtvis av tegel. Grundläggningen är inte fastställd.

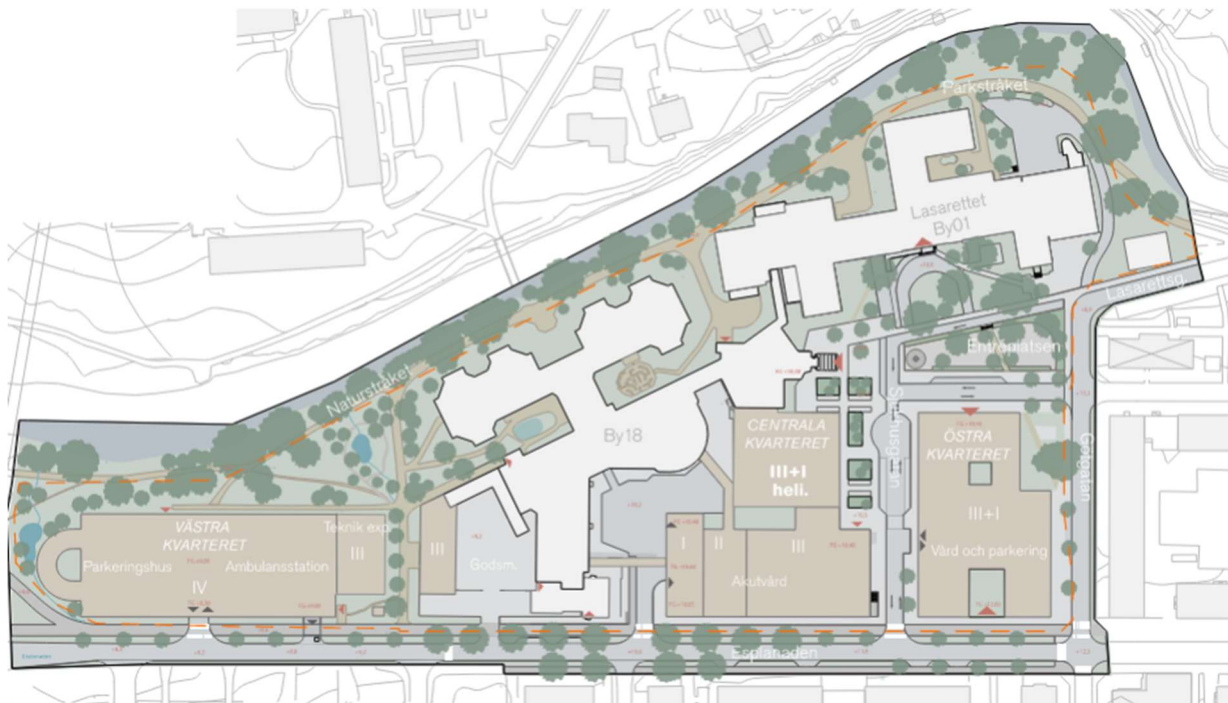
## 7 Planerad exploatering

Inom ny detaljplan planeras tre nya byggnader uppföras, det östra, centrala och västra kvarteret. Dessa planeras i detaljplanens södra del, längs Esplanaden, se Figur 2 nedan. Det västra kvarteret planeras utföras med tre till fyra våningar, med lägsta färdigt golv på nivå +6,2.

Det centrala kvarteret byggs med en anslutning till befintlig byggnad 18 och planeras utföras med en till tre våningar plus en helikopterplatta. Byggnaden planeras utföras med en källarvåning med färdigt golv på nivå +6,7. Det östra kvarteret planeras utföras med fyra våningar ovan mark samt två källarvåningar, med lägsta färdigt golv på nivå +3,7. Samtliga kvarter rekommenderas att grundläggas på pålar, se PM Geoteknik [A].

Övriga delar av detaljplanen ska ej bebyggas med byggnader eller andra större anläggningar. Inga större förändringar av marknivåer är planerade utöver en sänkning marken med ca 0 till 1 meter i västra delen av planområdet mot ån. Denna sänkning är föranledd av föreliggande stabilitetsutredning.

För samtliga beräkningssektioner så förändras i princip inte lastförutsättningarna för stabilitetsberäkningarna med avseende på planerad exploatering. Enbart i beräkningssektion A, se Figur 9, berörs planerad exploatering av stabiliteten.



Figur 2. DP Norrtälje sjukhus illustrationsplan, White arkitekter

## 8 Markförhållanden

### 8.1 Jordlagerföljd

SGU:s jordartskarta, Figur 3, ger information om ytnära jordarter och visar att det finns lera (gult) och lermorän (ljusgrått) inom området. Röda partier, söder om sjukhusområdet, illustrerar ytnära berg eller berg i dagen. Jordartskartan är översiktlig varför gränser mellan olika jordarter endast är ungefärliga.



Figur 3. SGU:s jordartskarta över det aktuella området. Detaljplanegräns i svart

Inom hela området förekommer lermorän eller lerig morän. Benämningen av moränen har varierat i laboratorieanalysen mellan olika prover och analyser. I rutinanalysen har moränen i huvudsak bedömts vara lerig morän (ClTi) medan analys av kornstorleksfördelningen visar att analyserat prov är en lermorän (ClTi). Moränens exakta sammansättning varierar sannolikt med djupet och inom området. Det saknas bedömning av jordart på moränen på större djup. I fortsatt beskrivning i denna PM används begreppet lermorän

Lermoränen bedöms vara normalkonsoliderad. Överst i lermoränen är skjuvhållfastheten låg till medelhög och ökar med djupet till minst 10 meters djup. Lermoränens dränerade hållfasthet har kunnat bestämmas utifrån ett antal samstämmiga triaxialförsök, och har inte bedömts variera med djupet. I viktsonderingarna framgår att den relativa fastheten ökar till ca 12 till 20 meters djup där sonderingarna generellt har stannat. Baserat på utförda jord- och bergsonderingar varierar moränens mäktighet mellan 30 och 45 meter, men det är inte klarlagt att moränen är lerig hela vägen ned till berg eller om den ändrar sammansättning och egenskaper. Det kan vara två olika moräner inom jordprofilen, där lermoränen överlagras av bottenmorän. Från ca 20 meters djup och nedåt har block påträffats i moränen, blockförekomsten är stor framför allt nära berget.

I väst och mot Norrtäljeån överlagras lermoränen av ett lager lera som ställvis överlagras av ett tunt organiskt lager. Mäktigheten varierar mellan 2 och 6 meter. Lerans sammansättning varierar och skjuvhållfastheten är extremt låg till låg.

Inom hela området finns, ovan den naturligt lagrade jorden, ett lager fyllning med varierande mäktighet och sammansättning.

Djupet till berg varierar mellan 40 och 50 meter.

Jordlagerföljden beskrivs i detalj områdesvis i avsnitt 10.

## 8.2 Hydrogeologiska förhållanden

### 8.2.1 Vattenstånd i Norrtäljeån

Vattenstånd beräknade i dagens och framtida klimat redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Karaktäristiska vattenstånd i Norrtäljeån

Vattenstånd	Nivå [m] RH2000 (nutid)	Nivå [m] RH2000 (framtid)
Högsta högvattenståndsnivå (HHW)	5,2 (5,3) *	5,4 (5,5) *
Medelhögvattenståndsnivå (MHW)	4,7	
Medelvattenstånd (MW)	4,3	
Medellågvattenstånd (MLW)	4,0	**
Lägsta lågvattenstånd (LLW)	3,8	3,8

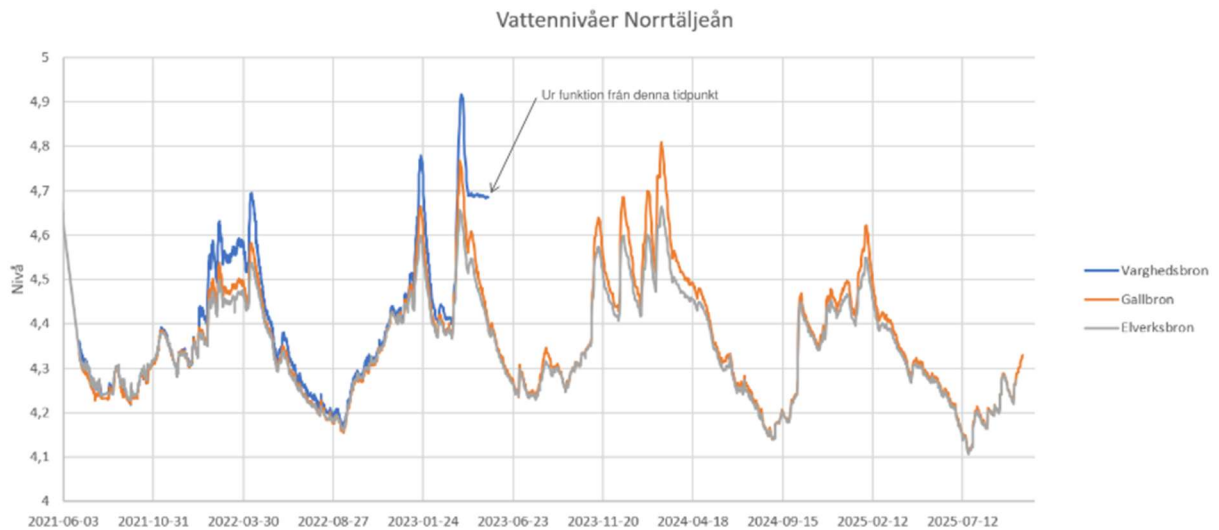
\* Nivå inom parentes avser nivå vid sektion A och B

\*\*I stabilitetsberäkningar har samma MLW använts för framtid som i nuvarande situation

Vattenstånden i ån mäts regelbundet av Norrtälje kommun. Kartan i Figur 4 visar var mätarna är placerade. I diagrammet i Figur 5 redovisas uppmätta vattenstånd i mätperioden juni 2021 till oktober 2025.



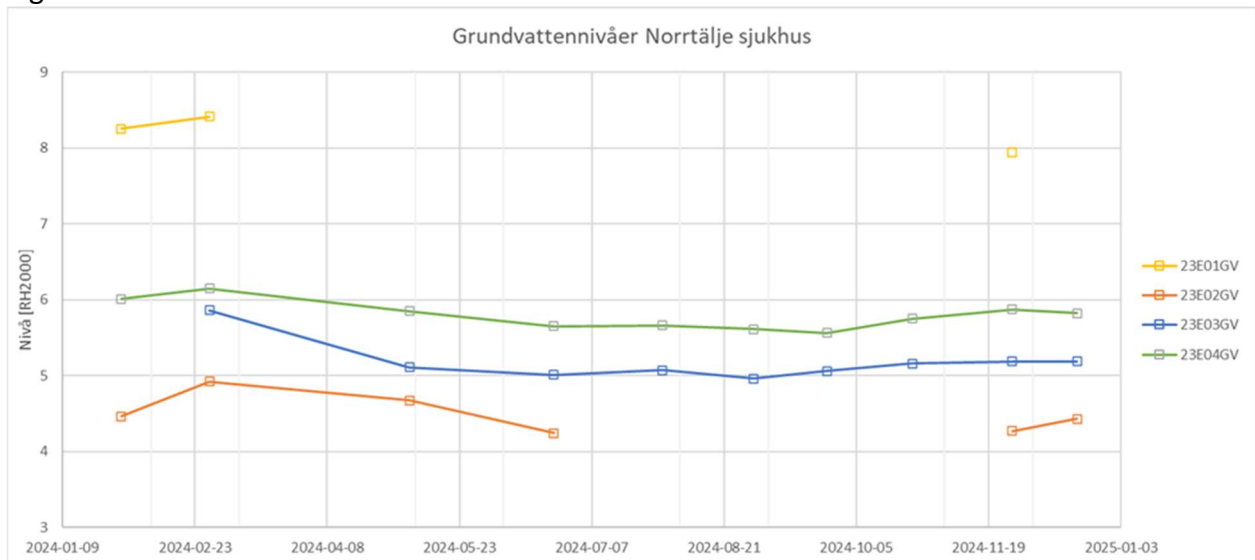
Figur 4. Placering av vattenmätare i Norrtäljeån samt placering av grundvattenrör med långtidsmätningar



Figur 5. Vattenstånd i Norrtäljeån [RH2000]

### 8.2.2 Grundvatten- och portryck

Fyra grundvattenrör finns installerade i området med långtidsmätningar. Filterspetsarna på rören är installerade i lermoränen. Problem med två av rörens funktion har förekommit, 23E01 och 23E02. Troligtvis har filtret i dessa rör satt igen. Dessa rör har spolats och tillfälligt fått tillbaka funktionen för att sedan mista den igen. Mätningarna har även störts av miljöprovtagningar i rören, samt pumpningar av grundvatten i området som tester inför reservvatten till sjukhuset. Mätningar har utförts en gång i månaden under år 2024. Grundvattennivåerna finns redovisade i Figur 6 och Tabell 2 nedan.



Figur 6. Uppmätta grundvattennivåer under perioden 2024-01-01 till 2024-12-31.

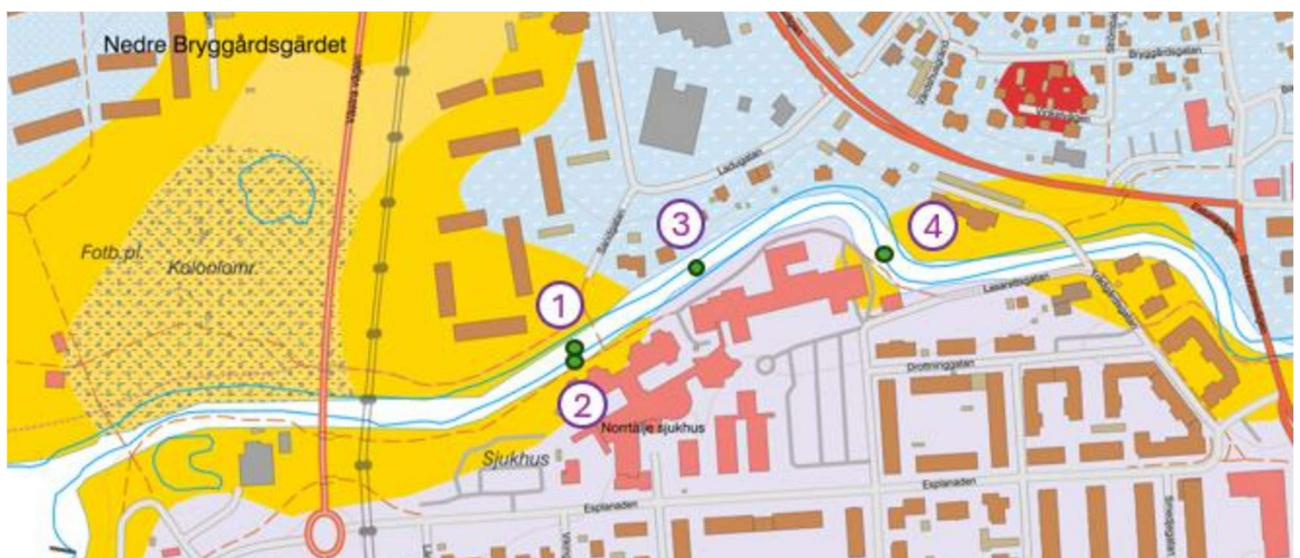
**Tabell 2. Vattennivåer för år 2024**

Rör	Medelvattennivå 2024 (RH2000)
23E01	+8,20
23E02	+4,50
23E03	+5,18
23E04	+5,79
Norrtäljeån	+4,40

### 8.2.3 Bottenförhållanden och erosion i Norrtäljeån

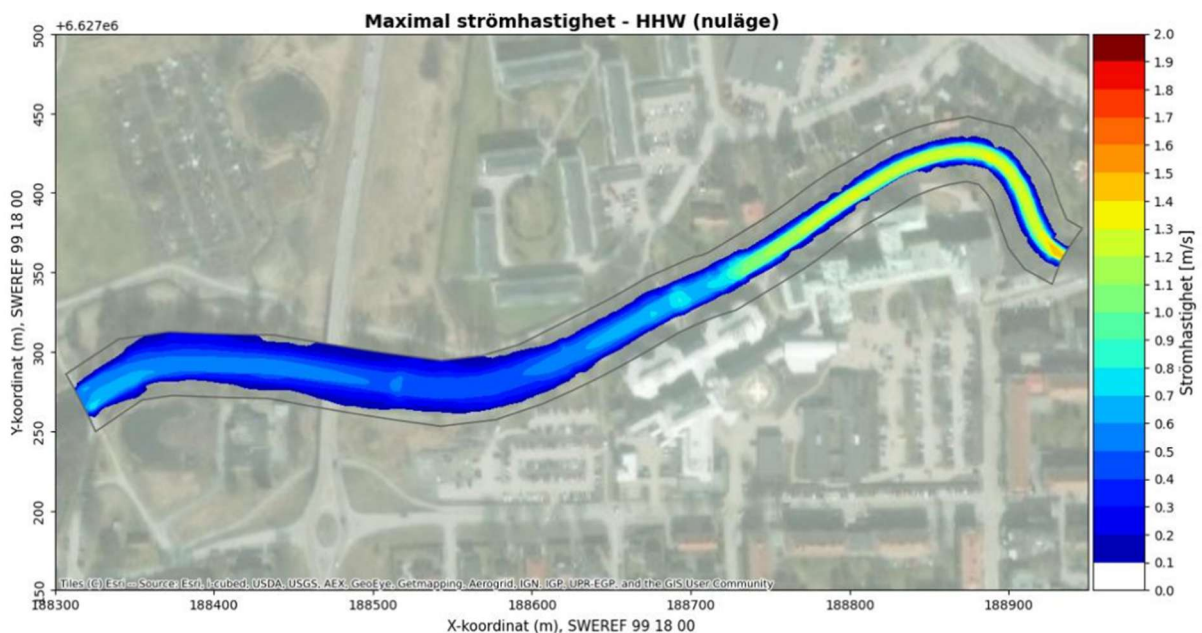
Bottenförhållanden i Norrtäljeån har undersökts vid 2 tillfällen; av ELU Konsult genom undersökningar med handhållen sonderingsutrustning i ån [1] samt av DHI/Peab genom botteninmätning [12] och provtagning av bottensediment, bilaga 4. Bottenförhållanden och erosionsrisker beskrivs i DHI:s erosionsutredning i bilaga 4.

Undersökningarna visar att botten i ån generellt är lösare i väster och blir fastare längre österut. Det var möjligt att sondera ca 3 m i lös lera med handhållen utrustning i detaljplaneområdets västra del, nedanför personalparkeringen. Sedan blev det successivt svårare att sondera, från hus 18 och österut gick det endast att sondera upp till ett par decimeter och bottensedimenten bedömdes innehålla stor andel friktionsmaterial. Detta överensstämmer väl med resultat från DHI:s sedimentprovtagning (Figur 7) vilken visar att botten strax väster om Lasarettbron består av ett ytligt lager sand följt av lera, medan den öster om bron (vid gamla sjukhuset) består främst av sand och silt. Stora delar av sträckan längs gamla sjukhus var det inte möjligt att ta ytterligare sedimentprover då botten var mycket hård. Ytterligare ett prov kunde tas vid gamla sjukhusets östra fasad, punkt 4, och där består botten åter av ett ytligt sandlager följt av lera. Området med fastare botten öster om Lasarettbron sammanfaller med det område där ån har en grundare bottenprofil.


**Figur 7. Sedimentprovtagningspunkter tillsammans med SGUs jordartskarta, DHI 4**

Slänterna ner mot ån är ställvis mycket branta, framförallt i öster, och det finns tecken på viss erosion i vattenlinjen. Vegetationen i slänterna bedöms ha en stabiliserande inverkan på slänten. Det finns ingenting som tyder på att erosionen är tillräckligt stor för att ha gjort någon mätbar skillnad i strandlinjens läge på över 50 år. I dagsläget finns inget erosionskydd längs sjukhussidan av ån, men stora delar av åns norra strand kantas av stenskoning/stenmurar. Åns generellt grunda bottenprofil i kombination med den hårda botten tyder på att erosionen i djupled är mycket långsam. DHI bedömer erosionen längs med ån över tid som begränsad.

I erosionsutredningen har strömhastigheter och skjuvspänningar längs åns botten analyserats vid höga flöden (HHW). Där hastigheterna är som störst finns också störst risk för erosion. Utredningen konstaterar att de högsta hastigheterna sammanfaller med området med fastare botten vilken sannolikt "tål" högre strömhastigheter, se Figur 8. Det bedöms finnas en risk för erosion av botten vid höga flöden, men den har inte varit möjlig att kvantifiera erosionen över tid i detta skede. Prognoserna för framtida vattenföring visar stor spridning, på grund av modellosäkerhet, där min och max ligger långt från medel och median. Som ett konservativt val har ett extremflöde valts i utredningen men det mest sannolika är att de högsta flödena blir lägre i framtiden. Detta är för att de högsta flödena härrör från vårfloden och inte extrema skyfall.



Figur 8. Maximal strömhastighet i Norrtäljeån [m/s] vid HHW (nuläge), DHI 4.

## 9 Beräkningsförutsättningar

### 9.1 Koordinatsystem

Gällande koordinatsystem är SWEREF 99 18 00 i plan och RH2000 i höjd.

### 9.2 Geoteknisk kategori

Stabilitetsförhållandena inom utredningsområdet bedöms som helhet hänförs till geoteknisk kategori 2 (GK2).

### 9.3 Säkerhetsklass

Val av säkerhetsklass ska ske med hänsyn till risk för personskada [II][VII].

Slanter har hänförs till Säkerhetsklass 2 (SK2).

Om stabilitetsbrott berör annan byggnads- eller anläggningsdel i Säkerhetsklass 3 (SK3), såsom grundläggning för huskroppar, hänförs slanter till Säkerhetsklass 3 (SK3).

#### 9.4 Programvara

Beräkningar har genomförts med GeoStudio Slope/W 2025 med metoden Morgenstern & Price. Beräkningarna omfattar cirkulärcylindriska glidytor och sökområdet har definierats med sökfunktionen "Grid & Radius". Odränerad och kombinerad analys har utförts.

I beräkningsprogrammet har djup och volym på glidytor styrt i olika utsträckning för att endast glidytor som är relevanta för aktuell analys ska genereras och redovisas. Exempelvis har mycket mindre glidytor ansetts vara relevanta i känslighetsanalys för erosion.

#### 9.5 Beräkningsmetod

Stabilitetsanalyser och dimensionering av åtgärder har utförts med partialkoefficientmetoden.

#### 9.6 Erforderlig säkerhetsfaktor

Erforderlig säkerhetsfaktor vid stabilitetsberäkningar enligt partialkoefficientmetoden väljs utifrån säkerhetsklass enligt Tabell 3.

Tabell 3. Erforderlig faktor  $F_{EN}$  vid för beräkning med stabilitetsprogram [VI].

Säkerhetsklass (SK)	$F_{EN}$
SK 1	0,9
SK 2	1,0
SK 3	1,1

I detaljplaneskede görs bedömning av stabilitetsförhållande och markens lämplighet för exploatering vanligen med totalsäkerhetsmetoden enligt SGI Vägledning 8 [IV] medan partialkoefficientsmetoden används vid nybyggnation. I praktiken är skillnaden liten mellan metoderna, varvid partialkoefficientsmetoden använts redan i detaljplaneskede då det bedömdes sannolikt att en åtgärd skulle behöva dimensioneras.

Beräkningsresultat redovisas, enligt rekommendation i SGI Vägledning 8 [IV], med två decimaler. Då krav på erforderliga säkerhetsfaktorer anges med en decimal jämförs avrundat beräkningsresultat med kravet.

#### 9.7 Dimensionerande vattenstånd

Dimensionerande vattenstånd har valts enligt rekommendationer i SGI Vägledning 8 [IV]:

- kombinerad analys; medellågvattenstånd (MLW) +4,0 m
- odränerad analys; lägsta lågvattenstånd (LLW) +3,8 m

#### 9.8 Uppdragsspecifika förutsättningar

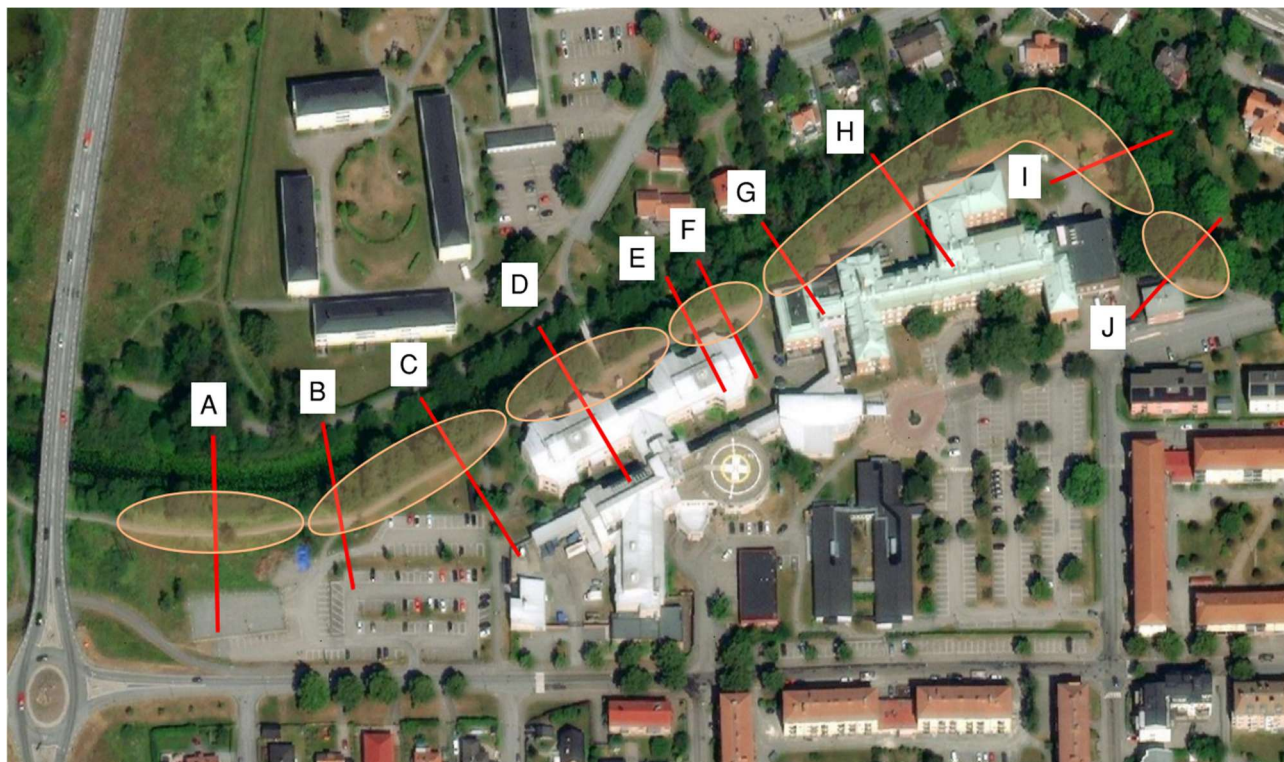
Det bedöms att Norrtäljeåns hydromorfologi samt växtligheten i dess slanter har höga, skyddsvärda naturvärden. Således har det från Norrtälje kommun efterfrågats förstärkningsförslag som inte gör ingrepp i dessa miljöer. Det innebär att förstärkningsåtgärder på land, bakom släntröner, har varit de som i första hand har utretts.

#### 9.9 Beräkningssektioner

Stabilitetsberäkningar har utförts i 10 sektioner längs Norrtäljeån. Sektioner har i huvudsak valts utifrån tillgång till geotekniskt underlag, men valda sektioner bedöms utgöra en god

representation av variationen av de geometriska och geotekniska förhållandena som råder längs ån.

Utförda stabilitetsberäkningar redovisas områdesvis. Indelningen har gjorts utifrån områden med likartade geotekniska förhållanden, inom vilka valda sektioner bedöms vara representativa. Lägen på beräkningssektionerna och tillhörande områdesindelning redovisas i Figur 9. För detaljerad redovisning av sektionslägen samt tillhörande geotekniskt underlag, se MUR [1]



Figur 9. Flygfotografi över utredningsområdet (Google Maps, 2025-12-12) med beräkningssektioner markerade med röda linjer och områdesindelning i orange.

### 9.10 Slänt- och bottengeometrier

Underlag till slänternas geometrier har i huvudsak utgjorts av tillgängliga markmodeller [13][14] samt inmätning av botten [12]. Markmodellerna som använts är, för tillämpningen, förhållandevis grova samt skiljer sig mellan varandra, varvid markgeometrierna som nyttjats i beräkningarna justerats utifrån grundkartan [10], fotografier från platsbesök [7] och inmätningar av sonderingspunkter som redovisas i MUR [1].

Botten av ån planerades att mätas in med multibeam ekolod. Vid ett förberedande platsbesök konstaterades att vattendjupet i ån inte var tillräckligt för vare sig båt eller ekolod. Inmätning utfördes istället med handhållen GNSS-lodstav. 12 på förhand bestämda sektioner mättes in från strandkant till strandkant med 0,5 meter mellan punkterna och tätare vid stora nivåskillnader. Därefter mättes centrumlinjen av botten in med 5 meters intervall för att kontrollera om avvikelser i botten fanns. Resultatet visade att åns bottenprofil var relativt homogen utan drastiska förändringar, en djupare plats detekterades och ytterligare en sektion mättes där (transekt 13). Redovisning av inmätta sektioner finns i erosionsutredningen, Bilaga 4.

### 9.11 KC för Hus 18

Befintligt Hus 18 är grundlagt på KC-pelare. Planritning på KC-pelarnas placering har erhållits [7] samt pelarsondering för kontroll av hållfastheten. KC-pelarmönstret utgörs av singulära pelare med olika dimension med tätare placering under sulorna och fundament och glesare under plattan se Figur 10. Pelarna har verifierats till minst 150 kPa, således ansätts pelarens karakteristiska hållfasthet till detta värde..

I beräkningarna har täckningsgraden,  $a$ , under närmsta sulan beräknats till 50%, utifrån tillgängligt arkivmaterial. Se övriga parametrar i Tabell 4. Endast den närmsta sulan har inkluderats i beräkningarna.

Vid dimensionering av inblandningspelare som samverkar med kringliggande oförstärkt jord skall enligt TRVINFRA-00230 [III] följande dräneringssituationer beaktas:

#### Odränerad pelare, odränerad jord

$$\tau_{fuk} = a c_{uk,pel} + (1 - a) c_{uk,lera} \quad \text{Ekvation 1.}$$

#### Dränerad pelare, dränerad jord

$$\tau_{fdk} = a (c'_{k,pel} + \sigma' \tan \varphi'_{k,pel}) + (1 - a) (c'_{k,lera} + \sigma' \tan \varphi'_{k,lera}) \quad \text{Ekvation 2.}$$

#### Dränerad pelare, odränerad jord

$$\tau_{fduk} = a (c'_{k,pel} + \sigma' \tan \varphi'_{k,pel}) + (1 - a) c_{uk,lera} \quad \text{Ekvation 3.}$$

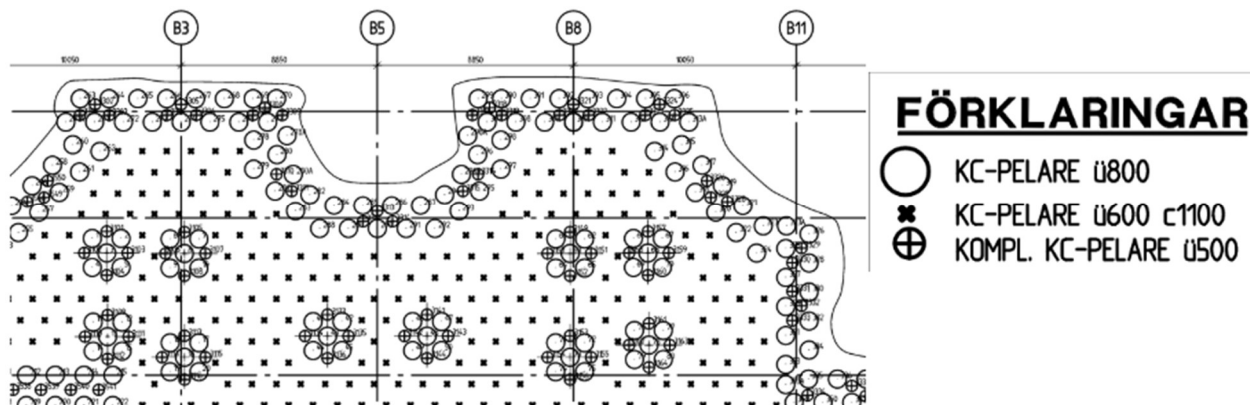
Kohesionsandelen,  $c'_{k,pel}$  för pelarnas dränerade skjuvhållfasthet antas vara:

0,4 $c_{uk,pel}$	i aktivzon
0,15 $c_{uk,pel}$	i direkt skjuvzon
0	i passivzon

För **odränerad analys** är Ekvation 1 styrande.

För **kombinerad analys** görs en effektivspänningsanalys med parametrar enligt Tabell 4. Beräknad dimensionerande hållfasthet för olika dräneringssituationer i aktivzonen, enligt Ekvation 1–3 redovisas nedan i Figur 11. Det kan konstateras att kombinationen av dränerad pelare och odränerad jord (Ekvation 3) är dimensionerade för effektivspänningar,  $\sigma'$  på 5–120 kPa i aktiv skjuvzon. Detta motsvarar de effektivspänningar som förväntas i den stabiliserade jorden ner till ca 5,5 m under sulan, vartefter odränerade förhållanden blir dimensionerande. Djupstabiliseringen har således modellerats som ett kombinerat material ner till 5,5 m under sulan, och sedan ett odränerat material på större djup.

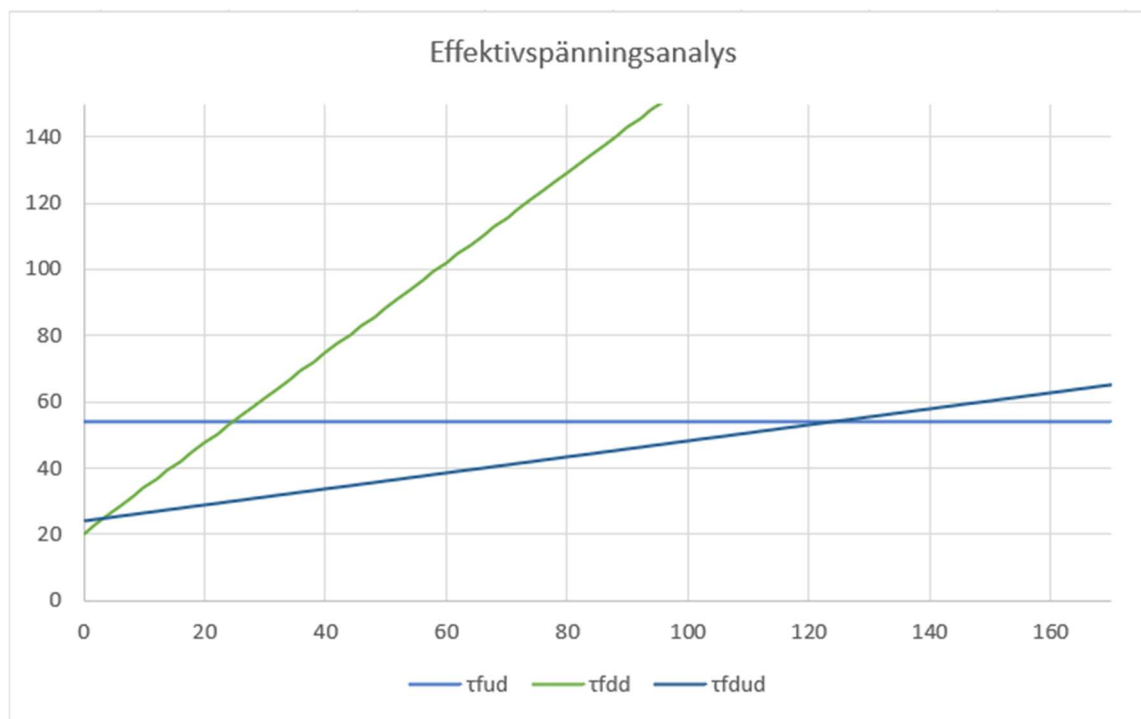
Det kombinerade materialet har modellerats med ett vinkelberoende för att beakta att en lägre hållfasthet fås för glidytor där djupstabiliseringen hamnar i passiv- eller direkt skjuvzon, se Tabell 5.



Figur 10. Urklipp ur ritning som visar KC-pelarmönster under hus 18

Tabell 4. Parametrar oförstärkt lera samt inblandingspelare (i aktivzon)

Material	Jordparameter	Karakteristiskt värde	Dimensionerade värde
Oförstärkt lera	Odränerad skjuvhållfasthet	$c_{uk,lera} = 12,1 \text{ kPa}$	$c_{ud,lera} = 8,1 \text{ kPa}$
	Kohesionsintercept	$c'_{k,lera} = 1,2 \text{ kPa}$	$c'_{d,lera} = 0,8 \text{ kPa}$
	Friktionsvinkel	$\phi'_{k,lera} = 30^\circ$	$\phi'_{d,lera} = 23,9^\circ$
Inblandningspelare	Odränerad skjuvhållfasthet	$c_{uk,pel} = 150 \text{ kPa}$	$c_{ud,pel} = 100 \text{ kPa}$
	Kohesionsintercept	$c'_{k,pel,aktiv} = 60 \text{ kPa}$	$c'_{d,pel,aktiv} = 40 \text{ kPa}$
	Friktionsvinkel	$\phi'_{k,pel} = 32^\circ$	$\phi'_{d,pel} = 25,7^\circ$
	Täckningsgrad	$a = 0,50$	$a = 0,50$



Figur 11. Effektivspänningsanalys bindemedelsförstärkt jord i aktivzon

**Tabell 5. Modellparametrar i SLOPE/W för bindemedelsförstärkt jord**

Material	Jordparameter	Dimensionerade värde		
Bindemedelsförstärkt jord	Tunghet	$\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma'_d = 8 \text{ kN/m}^3$		
	Odränerad skjuvhållfasthet	$c_{ud} = 54 \text{ kPa}$		
	Kohesionsintercept	$c'_{d,aktiv} = 24,1 \text{ kPa}$	Aktivzon, $-90^\circ < \beta < -30^\circ$	
		$c'_{d,direkt} = 0,48 * c'_{d,aktiv} = 11,5 \text{ kPa}$	Direkt skjuvzon, $-30^\circ < \beta < 30^\circ$	
		$c'_{d,direkt} = 0 * c'_{d,aktiv} = 0 \text{ kPa}$	Passivzon, $30^\circ < \beta < 90^\circ$	
Friktionsvinkel	$\varphi'_d = 13,5^\circ$			

## 10 Stabilitetsberäkningar

### 10.1 Sektion A

#### 10.1.1 Geotekniska förhållanden

I området finns av ca 2 till 3 m fyllning bestående av mullhaltig sand och/eller grus ovan ett upp till ca 2 m mäktigt lager av organisk jord. Den organiska jorden har bedömts bestå av torv som underlagras av gyttja. Under den organiska jorden återfinns ett sandskikt om upp till ca 0,5 m. Sedan följer ca 5 m lera som underlagras av lermorän/lerig morän mot djupet.

Redovisning av hållfasthetsegenskaper samt valda, karakteristiska och dimensionerande värden med tillhörande omräkningsfaktorer redovisas i Bilaga 1.

#### 10.1.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivå har valts utifrån vattenstånd i ån och medelvärdet av uppmätta nivåer i röret 10T04GV.

#### 10.1.3 Laster

Last för befintlig grusad gångbana i sektionen har ett dimensionerande värde på 6,4 kPa och antas verka på hela gångbanans bredd, 1,5 m.

#### 10.1.4 Resultat

Beräkningarna visar att erforderlig säkerhet mot Norrtäljeån ej uppnås för befintlig situation i detta område. Stabilitetshöjande åtgärd krävs för att erhålla tillfredsställande stabilitet.

Avschaktning bedöms som en lämplig åtgärd i aktuell sektion. En terrasserad avschaktning på ca 1 m ner till nivå ca +5.1 i läge för befintlig gångväg och till nivå ca +5.8 framför planerad byggnad, i kombination med flytt av GC-väg gör att erforderlig säkerhet uppnås, se Figur 12. Åtgärden bedöms erfordras inom ett område som motsvarar ca 1100 m<sup>2</sup>, se Figur 16. Det har kontrollerats att glidytor som går in under planerad byggnad uppfyller Säkerhetsklass 3 då planerad byggnad förutsätts pålas.

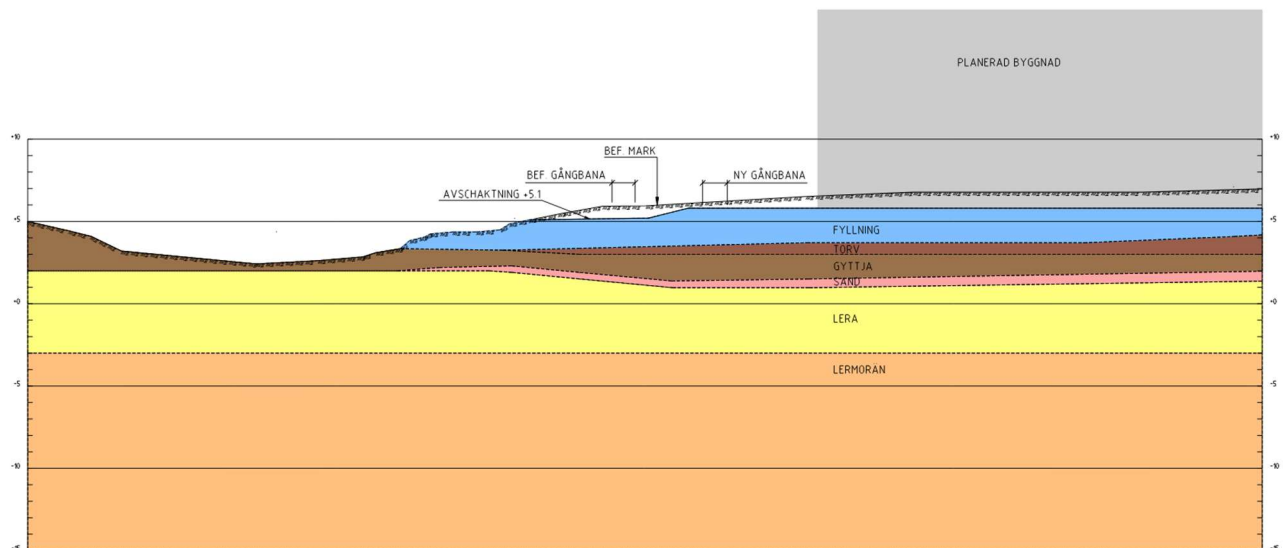
Andra möjliga åtgärder som utretts översiktligt är:

- Förstärkning med inblandningspelare inom samma yta som avschaktning
- Spont i strandlinjen

Dessa har bedömts som både kostsamma, omständliga och resursmässigt omotiverade i relation till avschaktning. De glidytor med lägst säkerhet är de som är närmst ån och där har åtgärderna relativt liten effekt. Det föreligger svårigheter med åtkomst med entreprenadmaskiner, risk för att skyddsvärd vegetation skadas samt att åtgärderna orsakar en oönskad tillfällig försämring av markens hållfasthet under installation.

**Tabell 6. Beräkningsresultat för aktuellt område. Röd text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav ej uppfylls Grön text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav uppfylls.**

Sektion	Beskrivning	F <sub>komb</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>krav</sub>	Hänvisning
A	Befintlig situation	0,77	0,76	1,0	Bilaga 2.1 & 2.2
	Åtgärd – avschaktning och flytt av GC-väg	0,98	0,97	1,0	Bilaga 2.3 & 2.4
	Åtgärd - avschaktning och flytt av GC-väg. Glidyta som berör grundläggning av planerad byggnad (SK3)	1,09	1,10	1,1	-



**Figur 12. Redovisning av utredd åtgärd i Sektion A**

## 10.2 Sektion B & C

### 10.2.1 Geotekniska förhållanden

Överst i jordprofilen återfinns ca 1 till 2 m fyllning av sand och grus. Enstaka block har påträffats i fyllningen. Fyllningen underlagras av ca 2 m sandig, slitig lera som gradvis övergår till lermorän/lerig morän mot djupet. Leran i aktuellt område har noterbart större innehåll av sand och silt jämfört med kringliggande områden (sektion A i väst och Sektion D i öst).

Redovisning av hållfasthetsegenskaper samt valda, karakteristiska och dimensionerande värden med tillhörande omräkningsfaktorer redovisas i Bilaga 1.

### 10.2.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivå har valts utifrån vattenstånd i ån och medelvärdet av uppmätta nivåer i röret 23E03GV.

### 10.2.3 Laster

Last för befintlig gångbana i sektionerna har ett dimensionerande värde på 6,4 kPa och antas verka på hela gångbanans bredd, vilken varierar inom området.

### 10.2.4 Resultat

Beräkningarna i Sektion B och C visar att erforderlig säkerhet mot Norrtäljeån uppnås för befintlig situation. Planerad situation innebär inga förändringar i lastförhållanden i slänten, således bedöms ingen stabilitetshöjande åtgärd erfordras i detta område.

Tabell 7. Beräkningsresultat för aktuellt område. Röd text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav ej uppfylls Grön text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav uppfylls.

Sektion	Beskrivning	F <sub>komb</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>krav</sub>	Hänvisning
B	Befintlig situation	1,22	1,26	1,0	Bilaga 2.5 & 2.6
C	Befintlig situation	0,96	0,99	1,0	Bilaga 2.7 & 2.8
	Befintlig situation, utan last	0,98	-	1,0	-

## 10.3 Sektion D

### 10.3.1 Geotekniska förhållanden

Överst i jordprofilen har det bedömts finnas ca 1,5 m fyllning som underlagras av ca 0,5 m torrskorpelera. Fyllningen bedöms bestå av schaktmassor från närområdet då arkivprovtagningar visar förekomst av torrskorpelera, lera, lermorän, sand och byggrester (tegel). Sedan följer ca 3,5 m lera som underlagras av lermorän/lerig morän mot djupet.

Redovisning av hållfasthetsegenskaper samt valda, karakteristiska och dimensionerande värden med tillhörande omräkningsfaktorer redovisas i Bilaga 1.

### 10.3.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivå har valts utifrån vattenstånd i ån och medelvärdet av uppmätta nivåer i röret 23E03GV.

### 10.3.3 Laster

Last för befintlig gångbana i sektionen har ett dimensionerande värde på 6,4 kPa och antas verka på hela gångbanans bredd, ca 3 m. Hus 18 är grundlagt på KC-pelare [A] och lasten som bedöms föras ner i pelarna bedöms vara ca 67 kPa. Lastens storlek har bedömts utifrån arkivritningar på hus 18 och lasten motsvarar 2 våningar med 20 kPa last för respektive plan över en spännvidd om 6 m, fördelat på en fundamentbredd på 1,8 m.

### 10.3.4 Resultat

Beräkningarna visar att erforderlig säkerhet mot Norrtäljeån ej uppnås för befintlig situation i detta område. Stabilitetshöjande åtgärd krävs för att erhålla tillfredsställande stabilitet.

Utredd stabilitetshöjande åtgärd innebär att ca 1,8 m jord schaktas ur och ersätts med 1,3 m skumglas som följs 0,5 m vanlig fyllning på en yta som motsvarar befintlig gångbana och gräsyta framför Hus 18, se Figur 13. Ytan som bedöms omfattas av åtgärden uppgår till ca 600 m<sup>2</sup>, se Figur 16 Åtgärden innebär att erforderlig säkerhet mot Norrtäljeån uppnås. Upplyft har kontrollerats för korttids- och långtidsfall enligt [III], se Bilaga 3.

Andra möjliga åtgärder som utretts översiktligt är:

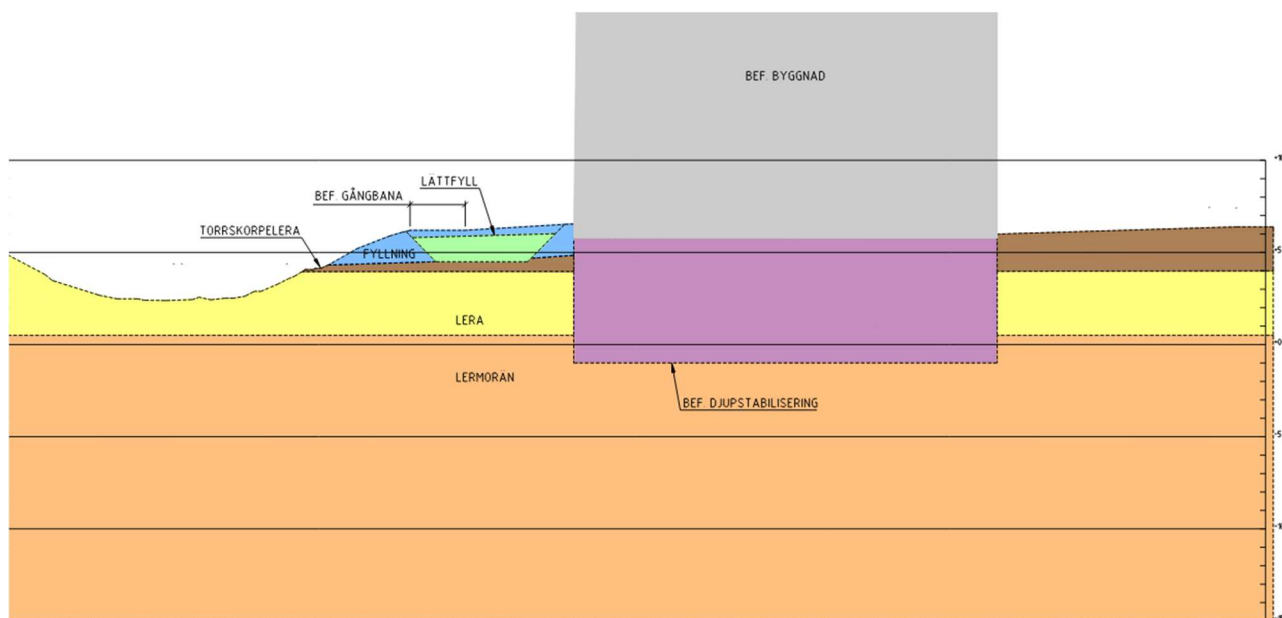
- Utfyllnad (tryckbank) längs åns södra strand
- Spont på slänkrön

Utfyllnad är vanligen ett förstahandsalternativ för denna typ av stabilitetsproblem, då det är en geotekniskt och ekonomiskt effektiv lösning. I aktuellt projekt behöver dock de höga naturvärdena i ån och slänten beaktas, se avsnitt 9.8, varvid utfyllnad inte utretts som ett huvudalternativ.

Spont skulle kunna vara en effektiv åtgärd om denna placerades i vattenlinjen, men på grund av begränsningar nämnda ovan skulle sponten behöva placeras på/bakom slänkrön. Här blir den relativt svår att installera, framför allt om den ska vara bakåtförankrad, utan att skada växtlighet i slänt. Den bedöms också vara mer kostsam än lättutfyllnad.

**Tabell 8. Beräkningsresultat för aktuellt område. Röd text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav ej uppfylls Grön text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav uppfylls.**

Sektion	Beskrivning	F <sub>komb</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>krav</sub>	Hänvisning
D	Befintlig situation	0,86	0,89	1,0	Bilaga 2.9 & 2.10
	Befintlig situation. Glidyta som berör grundläggning av befintlig byggnad (SK3)	0,96	1,09	1,1	-
	Åtgärd – 1,3 m skumglas	0,97	1,06	1,0	Bilaga 2.11 & 2.12
	Åtgärd – 1,3 m skumglas, utan last	1,01	-	1,0	-
	Åtgärd – 1,3 m skumglas. Glidyta som berör grundläggning av befintlig byggnad (SK3)	1,19	1,39	1,0	-



**Figur 13. Redovisning av utredd åtgärd i Sektion D**

## 10.4 Sektion E & F

### 10.4.1 Geotekniska förhållanden

Överst i jordprofilen har det bedömts finnas ca 1,5 m fyllning. Fyllningen bedöms bestå av schaktmassor från närområdet då arkivprovtagningar visar förekomst av torrskorpelera, lera, silt, sand, grus, grus och organisk jord. Sedan följer ca 2 m sandig, siltig lera som successivt övergår i lermorän/lerig morän mot djupet. I underkant av det som tolkas som lera bedöms det finnas ett skikt med lösare lera som identifierats i CPT- och viktsonderingar. Nivån på det lösare skiktet varierar något mellan de olika punkterna. Eftersom både arkivmaterial och sondering utförd 2025 har osäker höjdsättning antas det lösare skiktet ligga mellan nivå +3,5 och + 3.

Redovisning av hållfasthetsegenskaper samt valda, karakteristiska och dimensionerande värden med tillhörande omräkningsfaktorer redovisas i Bilaga 1.

### 10.4.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivå har valts utifrån vattenstånd i ån och medelvärdet av uppmätta nivåer i röret 23E03GV.

### 10.4.3 Laster

Last för befintlig gångbana har ett dimensionerande värde på 6,4 kPa och antas verka på hela gångbanans bredd, ca 3 m. Hus 18 är grundlagt på KC-pelare [A] och lasten som bedöms föras ner i pelarna bedöms vara ca 67 kPa, se avsnitt 10.3.3

### 10.4.4 Resultat

Beräkningarna i Sektion E och F visar att erforderlig säkerhet mot Norrtäljeån uppnås för befintlig situation. Planerad situation innebär inga förändringar i lastförhållanden i slänten, således bedöms ingen stabilitetshöjande åtgärd erfordras i detta område.

Tabell 9. Beräkningsresultat för aktuellt område. Röd text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav ej uppfylls Grön text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav uppfylls.

Sektion	Beskrivning	F <sub>komb</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>krav</sub>	Hänvisning
E	Befintlig situation	0,96	1,11	1,0	Bilaga 2.13 & 2.14
	Befintlig situation. Glidyta som berör grundläggning av befintlig byggnad (SK3)	1,35	1,42	1,1	-
F	Befintlig situation	0,97	1,08	1,0	Bilaga 2.15 & 2.16

## 10.5 Sektion G, H & I

### 10.5.1 Geotekniska förhållanden

I området bedöms det förekomma ca 2 till 3 m fyllning i ytan. Fyllningens sammansättning varierar, ställvis bedöms den bestå av schaktmassor från närområdet (silt, sand, grus, torrskorpelera, organisk jord. I anslutning till vattenledningar vid sektion G vid har grövre fyllning, kross eller dylikt, noterats av fältpersonalen. I detta område bedöms fyllningen underlagras av lermorän/lerigmorän. Endast ett fåtal sonderingar eller provtagningar visar på förekomst av lera. Av dessa uppvisar sonderingarna generellt ett högt sonderingsmotstånd och lerproverna innehåller en stor andel friktionsmaterial.

Redovisning av hållfasthetsegenskaper samt valda, karakteristiska och dimensionerande värden med tillhörande omräkningsfaktorer redovisas i Bilaga 1.

### 10.5.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivå har valts utifrån vattenstånd i ån och medelvärdet av uppmätta nivåer i röret 23E02GV.

### 10.5.3 Laster

Last för befintlig väg i sektionerna har ett dimensionerande värde på 19,1 kPa och antas verka på hela gång-/körbanans bredd. Det saknas detaljerade underlag på grundläggningsmetod och -nivåer för de senare tillbyggnaderna på Hus 1, se avsnitt 6.2.1. Huset har antagits ha en dimensionerande last på 100 kPa som verkar över en bredd på 0,7m på nivå +6,9.

### 10.5.4 Resultat

Beräkningarna i Sektion G, H och I visar att erforderlig säkerhet mot Norrtäljeån uppnås för befintlig situation. Planerad situation innebär inga förändringar i lastförhållanden i slänten, således bedöms ingen stabilitetshöjande åtgärd erfordras i detta område.

Tidigare i rapporten har det beskrivits sättningar i norra delen av Hus 01. Den berörda delen av Hus 01 är lokaliserad i beräkningssektion G. Beräknad säkerhetsfaktor på glidytor som berör huset tyder på att det troligtvis inte är stabilitetsproblem, kryprörelser, i slänten mot ån som orsakat sättningarna i byggnaden.

**Tabell 10. Beräkningsresultat för aktuellt område. Röd text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav ej uppfylls Grön text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav uppfylls.**

Sektion	Beskrivning	F <sub>komb</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>krav</sub>	Hänvisning
G	Befintlig situation	0,98	1,03	1,0	Bilaga 2.17 & 2.18
	Befintlig situation. Glidyta som berör grundläggning av befintlig byggnad (SK3)	1,16	1,20	1,1	-
H	Befintlig situation	1,19	1,26	1,0	Bilaga 2.19 & 2.20
	Befintlig situation. Glidyta som berör grundläggning av befintlig byggnad (SK3)	1,19	1,24	1,1	-
I	Befintlig situation	1,14	1,30	1,0	Bilaga 2.21 & 2.22

## 10.6 Sektion J

### 10.6.1 Geotekniska förhållanden

För sektion J finns ingen sondering i direkt anslutning till sektionen på land. De sonderingar som finns (87A0109 – ca 20 m sydöst om sektionen; 87A106, 23E02, 25E16 - ca 50 m nordväst om sektionen) uppvisar fyllning på lermorän, i vilken det har varit möjligt att viktsondera i till djup ca 3 till 8 m. Området bedöms mest efterlikna området kring sektion G, H & I med fyllning ovan lermorän men SGUs jordartkarta, se Figur 3, indikerar att det skulle kunna förekomma lera i området. En provtagning finns i ån inom detta område, 25DHI4, där de översta 0,1 m utgörs av grusig siltig sand, under denna finns ett 0,2 meter prov av gyttjig sandig siltig lera. Densitet på materialet är 22 kN/m<sup>3</sup>. Siktkurva från detta prov stämmer mycket väl överens med siktkurva i prov 25E12 (8-10 meters djup). Prov 25E12 är lermorän där odränerad skjuvhållfasthet enligt

triaxialförsök är 44-58 kPa. Slutsatsen är att lös lera troligtvis inte förekommer söder om ån. Men för att ta höjd för eventuell förekomst av lösare lera som överlagras lermoränen har jordlagerföljd och materialparametrar valts med ledning av sektion E & F.

### 10.6.2 Hydrogeologiska förhållanden

Grundvattennivå har valts utifrån vattenstånd i ån och medelvärdet av uppmätta nivåer i röret 23E02GV.

### 10.6.3 Laster

Last för befintlig gångbana har ett dimensionerande värde på 6,4 kPa och antas verka på hela gångbanans bredd, ca 2 m. Underlag på grundläggning för Hus 07 saknas, se avsnitt 6.2.3. Huset har antagits vara plattgrundlagd och ha en utbredd last om 60 kPa, motsvarande 20 kPa per våningsplan. I Sektion J har placering av huset och dess last anpassats för att representera det farligaste snittet i området, dvs där huset är närmast släntrökn.

### 10.6.4 Resultat

Beräkningarna i Sektion J i visar att erforderlig säkerhet mot Norrtäljeån uppnås för befintlig situation. Planerad situation innebär inga förändringar i lastförhållanden i slänten, således bedöms ingen stabilitetshöjande åtgärd erfordras i detta område.

**Tabell 11. Beräkningsresultat för aktuellt område. Röd text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav ej uppfylls Grön text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav uppfylls.**

Sektion	Beskrivning	F <sub>komb</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>krav</sub>	Hänvisning
J	Befintlig situation	0,95	0,99	1,0	Bilaga 2.23 & 2.24
	Befintlig situation. Glidyta som berör grundläggning av befintlig byggnad (SK3)	1,11	1,14	1,1	-

## 11 Känslighetsanalys

Indata i en geoteknisk stabilitetsutredning är behäftade med osäkerheter som påverkar beräknad säkerhetsfaktor mot brott. Dessa osäkerheter ska beaktas vid värdering och hantering av resultat.

Trots att lastförutsättningarna i stora delar av området bedöms vara oförändrade med planerad exploatering jämfört med befintlig situation finns andra faktorer i framtiden, framför allt kopplat till framtidens klimat, som kan göra att säkerhetsnivåerna på befintliga slänter kan förändras, dessa har utretts i detta kapitel.

### 11.1 Framtidens klimat

Klimatförändringar väntas innebära bland annat stigande havsvattenstånd, förändrade nederbördsmonster, mer frekventa extremväder och ökad avrinning från land vid skyfall. Släntstabilitet påverkas främst av klimatförändringar genom förändrade grundvatten- och portrycksnivåer och erosion.

Enligt SGU Rapport 2015:19 [i] förväntas års- och årstidsmedelvärden för grundvatten samt grundvattnets högsta respektive lägsta nivå vara i princip oförändrade inom Stockholmsregionen utifrån klimatscenerierna RCP 4.5 och RCP 8.5. Grundvattnets nivåvariation (fluktuation) förväntas minska något. Grundvattennivåerna i aktuellt utredningsområde antas i stor utsträckning

korrespondera med vattenstånden i Norrtäljeån, se resonemang i avsnitt 11.2, och påverkas således i större utsträckning av förändringar i vattenstånd.

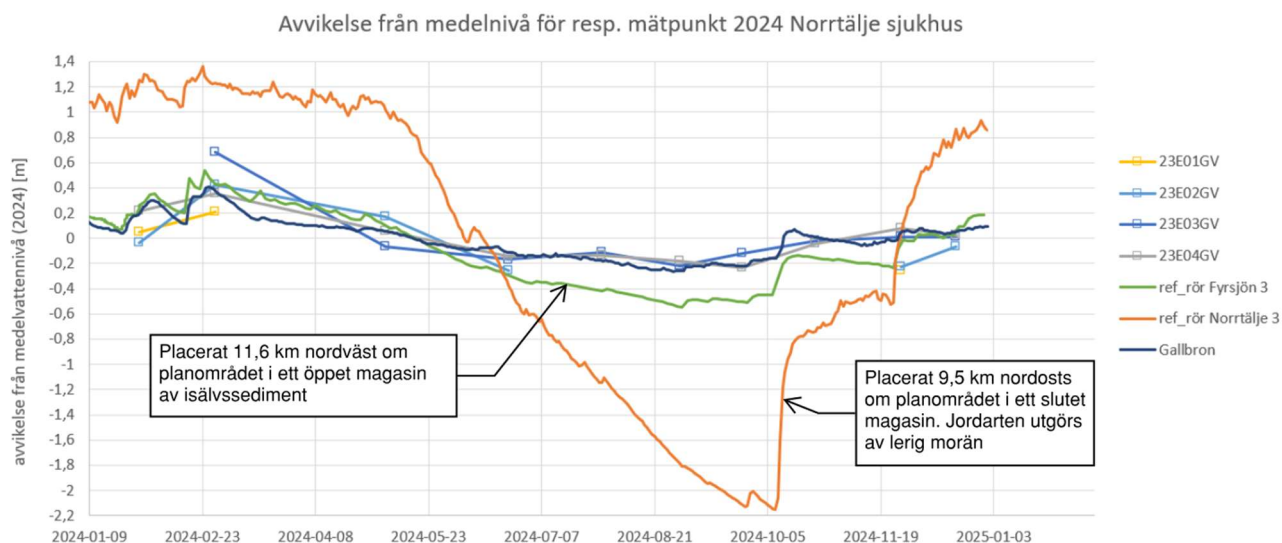
Högsta högvatten i Norrtäljeån kan enligt DHI:s beräkningar, Tabell 1, öka från nivå +5,2 till nivå +5,4, även om det är mer troligt att extremflödena blir mindre i framtiden. Oavsett finns en risk att grundvattennivåerna kan bli något högre i samband med extremflöden i ån.

Långa torrperioder kan innebära att kombinationen låga vattenstånd i ån och låga grundvattennivåer skulle kunna inträffa samtidigt, vilket skulle kunna resultera i minskat mothåll för slänter. Årets längsta torrperiod bedöms dock minska något i hela landet [ii].

## 11.2 Vattenstånd och grundvattennivåer

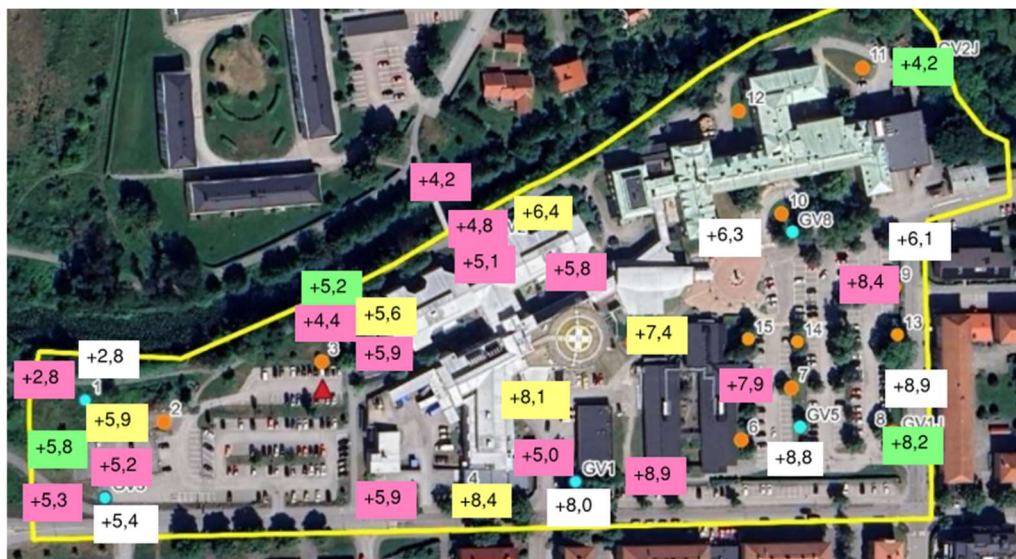
I de beräknade sektionerna i avsnitt 10 har Norrtäljeåns LLW och MLW valts i odränerad respektive kombinerad analys. Dessa nivåer har kombinerats med en medelgrundvattenyta på land, men det är mer sannolikt att en lägre grundvattennivå än medel förekommer när nivåerna i ån är låga.

En analys av korrespondensen mellan uppmätta grundvattennivåer, nivåer i SGUs referensrör samt vattenståndet i ån har utförts vilket indikerar att grundvattenmagasinets variationer i stort följer åns. Analysen av grundvattennivåernas fluktuation tyder på att grundvattenmagasinet beter sig som ett stort öppet magasin.



Figur 14. Redovisning av vattennivåns avvikelse från uträknad medelnivå (per mätpunkt) under mätperioden 2024

För att utreda om det finns ett övre och ett undre grundvattenmagasin, har samtliga grundvattenobservationer inom planområdet sammanställts i Figur 15. Trots osäkerheter kring lermoränens genomsläpplighet finns inget i mätningarna som talar för att det skulle finnas mer än ett grundvattenmagasin.



- +X.X Äldre grundvattenrör, enstaka mätningar. Filter; 6-8 meter under my
- +X.X Nyare grundvattenrör, långtidsmätning (ett år). Filter; 5,5-16 meter under my
- +X.X Miljörör, enstaka mätningar filter mellan 3-4 meter under my
- +X.X Notering av vattennivå i geoborrhål

Figur 15. Sammanställning av samtliga kända grundvattenobservationer i området

Vattenståndet och grundvattennivåns inverkan på beräknad säkerhetsfaktor är kontrollerad i en känslighetsanalys i sektion C. Sektion C valdes då det bedömdes som att vattennivåer har stor effekt på beräkningsresultaten i den sektionen.

Tabell 12 visar vilka olika kombinationer av vattenstånd och grundvattennivåer som kontrollerats samt tillhörande säkerhetsfaktor.

Tabell 12. Beräkningsresultat för känslighetsanalys avseende olika kombinationer av grundvattennivåer och vattenstånd i sektion C. Röd text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav ej uppfylls. Grön text på beräknad säkerhetsfaktor anger att krav uppfylls.

Kombination av vattennivåer	Förklaring	F <sub>komb</sub>	F <sub>c</sub>
LLW/MLW (F <sub>c</sub> /F <sub>komb</sub> ) medelgrundvattennivå	Beräkning i kap 10.2.2	0,96	0,99
MW i ån (+4,3) Medelgrundvattennivå (+5,18)	Medelnivåer	1,01	1,10
MW i ån (+4,3) Medelgrundvatten i Fy och Le (+5,18) Högsta uppmätta grundvattennivå i LeMn (+5,86)	Hög gvtrycknivå under lerlagret	1,01	1,10
HHW i ån och Fy & Le (+5,3) Grundvattennivå +6,26 (+5,86+0,4) i LeMn	Extremt höga nivåer överallt. En bedömning av maxvärde på grundvattennivå korrelerat till HHW i ån	1,36	1,45
MW i ån (+4,3) Högsta uppmätta grundvattennivå i LeMn & Le (+5,86) Grundvattennivå i markytan i Fy (+5,5)	Skyfall som fyller på alla magasin, vattnet i ån rinner undan snabbare än grundvattennivåerna sänks	0,93	1,04
Vattenstånd +4,77 i ån Grundvattennivå +5,86 i Le & LeMn Grundvattennivån i markytan i Fy (+5,5)	Motsvarar uppmätta höga nivåer 2024-02-28	1,01	1,22
LLW i ån (+3,8) Grundvattennivå +4,62 (+4,96 - 0,34) på land	Extremt låga nivåer överallt vid längre torrperiod. En bedömning av minvärdet på grundvattennivå korrelerat till LLW i ån	0,93* 1,0	1,03

\* Med överlast. Utan överlast anges på raden under.

Känslighetsanalysen visar att vattennivåerna har en påverkan på säkerhetsfaktorerna men att dessa inte understiger säkerhetsklass 1.

Det värsta scenariot är, som väntat, det som bedöms kunna inträffa efter kraftiga skyfall då grundvattennivåer och nivåerna i ån är höga och vattnet sedan sjunker undan snabbare i ån jämfört med på land. Detta scenario har beräknats genom kombinationen MW i ån och den högst uppmätta grundvattennivån på land. I kombinerad analys uppnås inte SK2. Detta fall är att betrakta som ett relativt kortvarigt fall och bedömningen är att en lägre säkerhetsklass kan tillåtas.

Sammantaget är bedömningen att släntstabiliteten påverkas av variationerna i vattenstånd och grundvatten men att säkerhetsnivån är tillräcklig och att kunskapen om grundvattnet inom området är tillräcklig för detta skede.

### 11.3 Erosion

Slutsatsen från erosionsutredningen är att det är osannolikt att erosionen kommer att öka i framtiden, se avsnitt 8.2.3. Det finns dock tecken på erosion idag då slänterna ställvis är mycket branta kring vattenlinjen. Beräkningsmässigt uppnår dessa branta partier inte tillräcklig säkerhet mot ras, men det finns troligtvis stabiliserande mekanismer som gör att större ras inte uppstår, exempelvis vegetationen och negativa portryck. En känslighetsanalys för att beakta effekten av framtida erosion har utförts i sektion E och G. Resultat från beräkningen framgår i Tabell 13. Sektion E har valts för att den uppvisar erosionskador i nuläget (brant slänt vid vattenlinjen). Sektion G har valts för att slänten är hög i förhållande till ån och trafikeras av biltrafik. Syftet är att se om säkerheten för befintlig gångväg, väg och byggnader försämras om det uppstår erosion som gör att jord rasar i slänten. Känslighetsanalysen är utförd med följande beräkningsgång;

1. Lokala ras simuleras genom att djup och volymbegränsning på glidyten tas bort ur beräkningen. Jord inom rasvolymerna med säkerhetsfaktor  $\leq 0,67$  avlägsnas. Slänten ställer sig i rasvinkeln, denna är dock relativt brant kopplat till lermoränens dränerade egenskaper med kohesionsintercept.
2. Rasad jordvolym antas spolas bort, dvs kvarlämnas inte på åbotten som mothållande massor
3. Stabilitetsberäkning utförs utan denna jordvolym
4. Fortsatt erosion simuleras genom att ursprunglig släntgeometri i vattenlinjen antas uppstå igen 0,5 meter längre in i slänten.
5. Stabilitetsberäkning utförs

**Tabell 13. Känslighetsanalys erosion**

Sektion	Beräkningssteg	Beskrivning	F <sub>komb</sub>	Hänvisning
E	3	Stabilitet efter ras	0,96	
	3	Stabilitet efter ras. Glidyta som berör grundläggning av byggnad (SK3)	1,36	
	5	Stabilitet efter fortsatt erosion	0,94	
	5	Stabilitet efter fortsatt erosion utan variabel last	0,95	
	5	Stabilitet efter fortsatt erosion. Glidyta som berör grundläggning av byggnad (SK3)	1,37	
G	3	Slänten är inte tillräckligt brant för att lokala ras ska uppstå	-	
	5	Stabilitet efter ras	0,97	
	5	Stabilitet efter fortsatt erosion. Glidyta som berör grundläggning av byggnad (SK3)	1,16	

Känslighetsanalysen visar att slänten tål erosion utan att säkerheten mot skred för bakomliggande mark blir för låg. Den valda erosionen, 0,5 m, bedöms vara väl tilltagen med tanke på slutsatserna i erosionsutredningen.

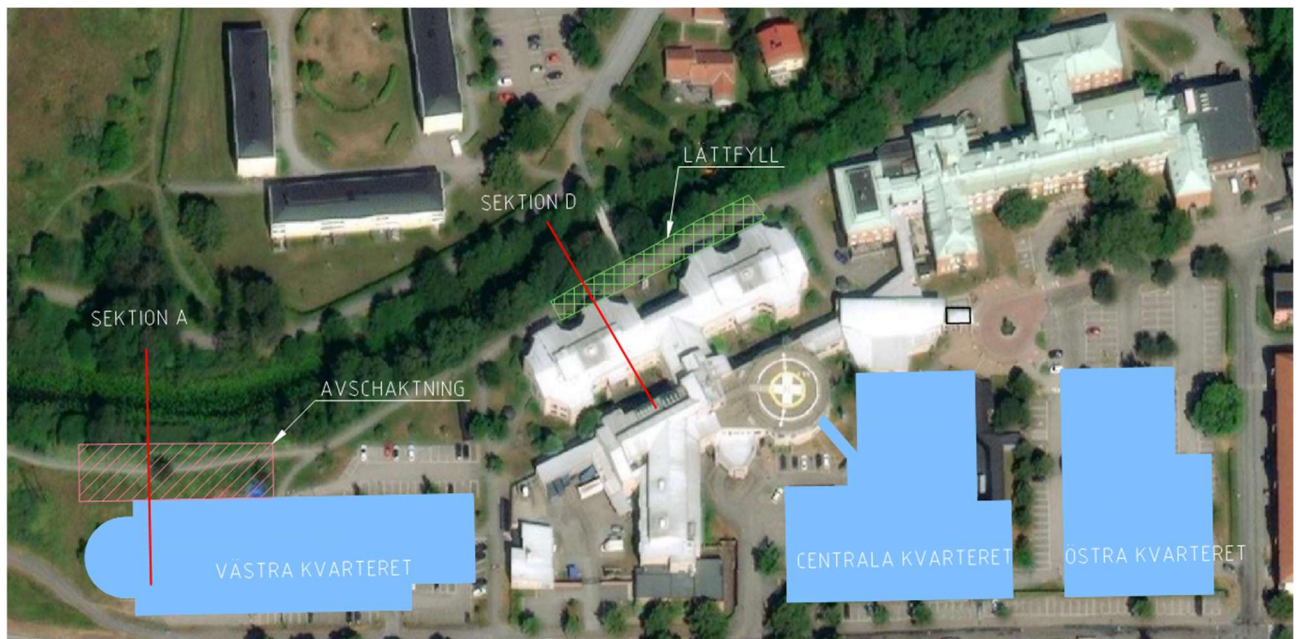
Det är av stor vikt för ras och erosion och att växtligheten inte avlägsnas. Denna skyddar även slänten från erosion vid nederbörd. Det kan uppstå erosion eller håligheter av andra företeelser förutom strömmande vatten, exempelvis från djurliv och båttrafik. Det rekommenderas därför att slänten och markytan ovan slänt hålls under uppsikt genom ett kontrollprogram där mätpunkter installeras på släntkrön och regelbundna okulära besiktningar utförs där tecken på ras ska inventeras, vegetationens status undersökas, att ovanligt stor erosion inte inträffat, osv.

Ett alternativ till kontrollprogram, eller en åtgärd om betydande erosions upptäcks, är anläggandet av erosionskydd. Med tanke på bevarandevärdet av åns hydromorfologi och vegetationen bör erosionskyddet vara naturbaserat och anpassas så att det inte skadar befintlig vegetation.

## 12 Slutsatser och rekommendationer

### 12.1 Allmänt

Föreliggande stabilitetsutredning visar att områdena kring Sektion A och D inte uppnår erforderlig säkerhetsfaktor för såväl befintlig som planerad markanvändning. Stabilitetshöjande åtgärder krävs inom dessa områden enligt Figur 16 för att planläggning och exploatering av marken ska vara lämplig. Detta gäller om inte annat kan påvisas i kompletterande stabilitetsutredning i fortsatt projektering. I övrigt bedöms marken uppfylla kraven för erforderlig säkerhetsfaktor och således bedöms vara lämplig för planläggning utan åtgärd.



Figur 16. Utbredning av utredda stabilitetshöjande åtgärder

### 12.2 Fortsatt utredning

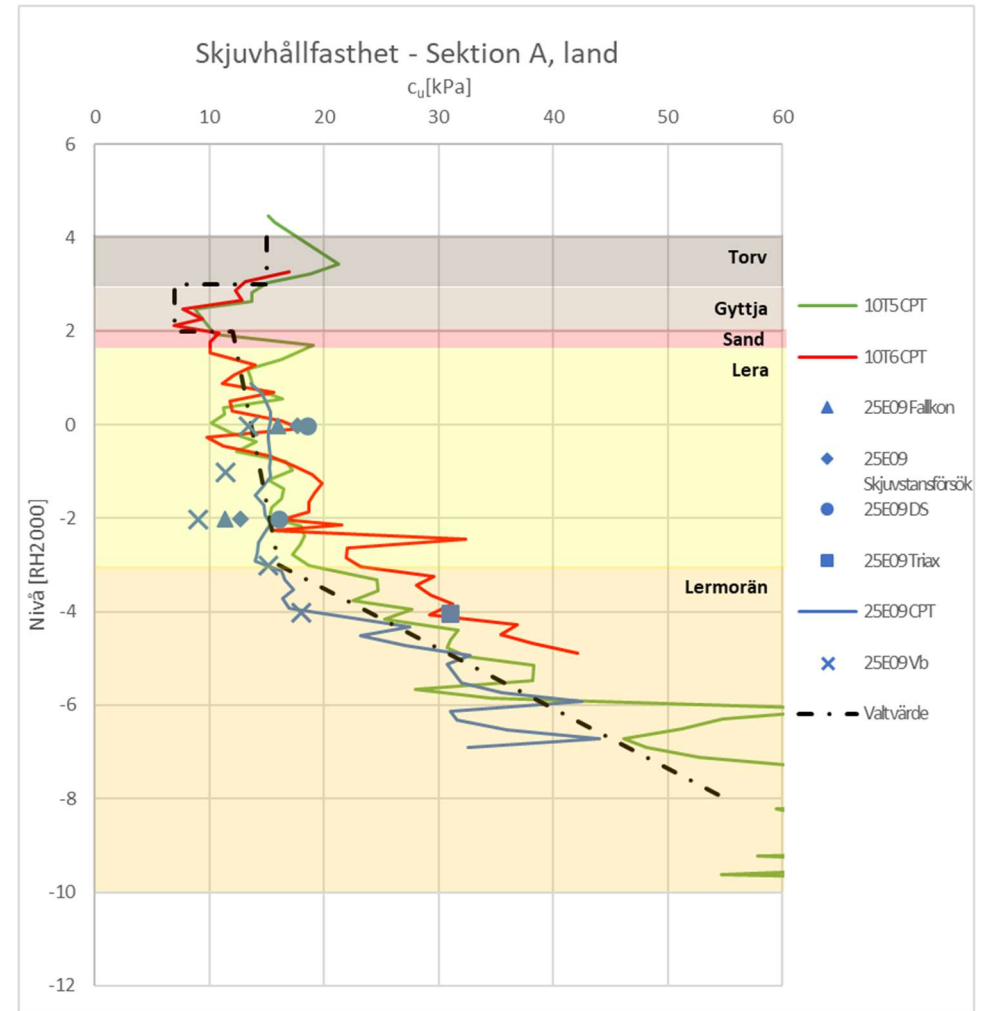
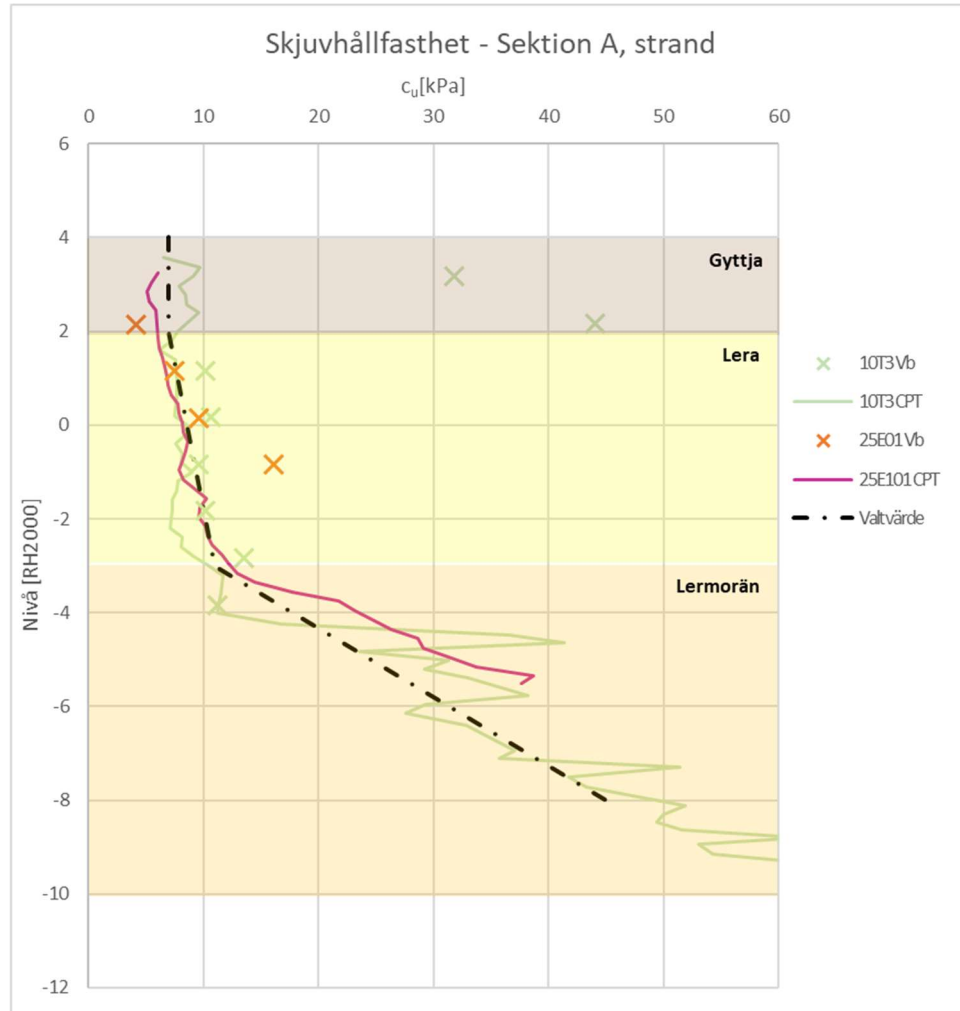
Ingen ytterligare geoteknisk undersökning bedöms erfordras för detaljplaneskedet.

Kompletterande undersökningar kommer att krävas i vidare projektering som underlag för dimensionering och optimering av stabilitetshöjande åtgärder och övriga geotekniska åtgärder som krävs för planens genomförande.

### 12.3 Rekommendationer

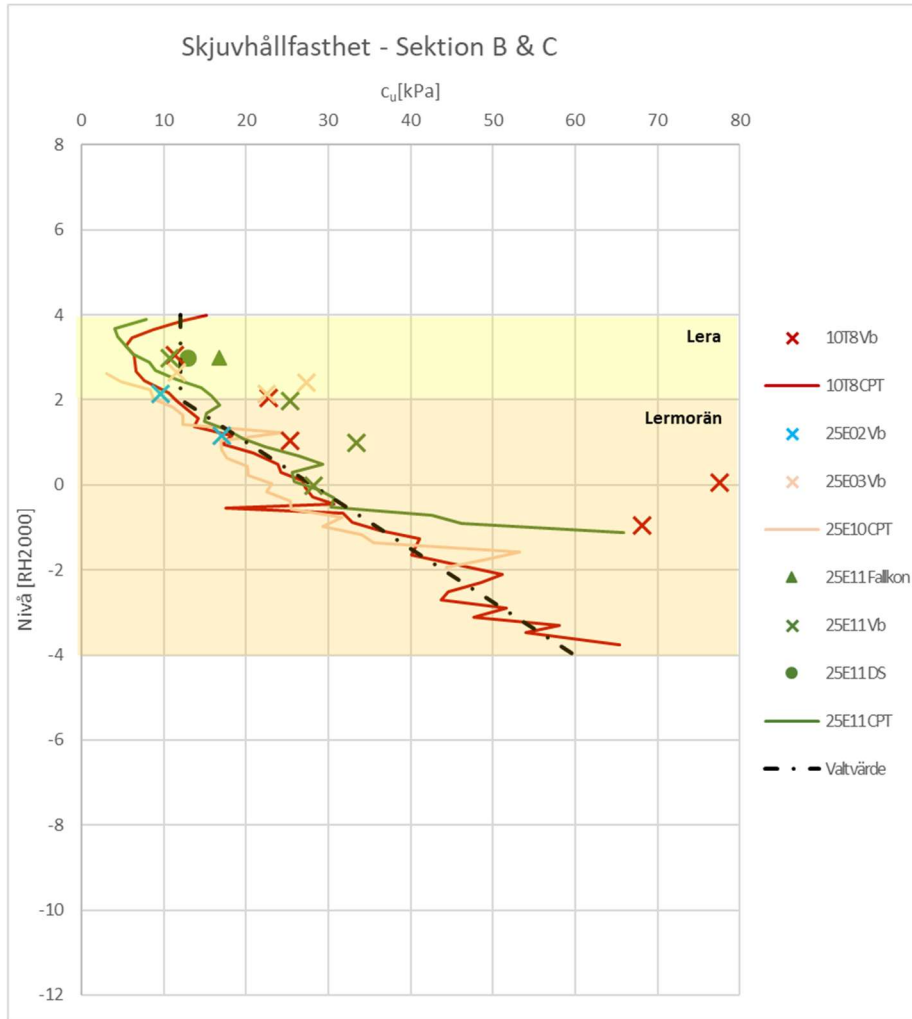
- För området kring sektion A, enligt Figur 16, rekommenderas avschaktning bakom slänkrön som stabilitetshöjande åtgärd.
- För området kring Sektion D, enligt Figur 16, rekommenderas urskiftning och ersättning med lättfyll av skumglas som stabilitetshöjande åtgärd. s
- Ett kontrollprogram bör inrättas där slänten mot Norrtäljeån övervakas. Området som berörs, kopplat till denna utredning, är södra sidan av ån från Lasarettbron och österut till detaljplanegräns. Kontrollprogrammet bör omfatta okulär besiktning av slänten med avseende på vegetationens status, rastecken, erosionsskador samt installation av mätpunkter på slänkrön med regelbundna avvägningar.

Sektion A



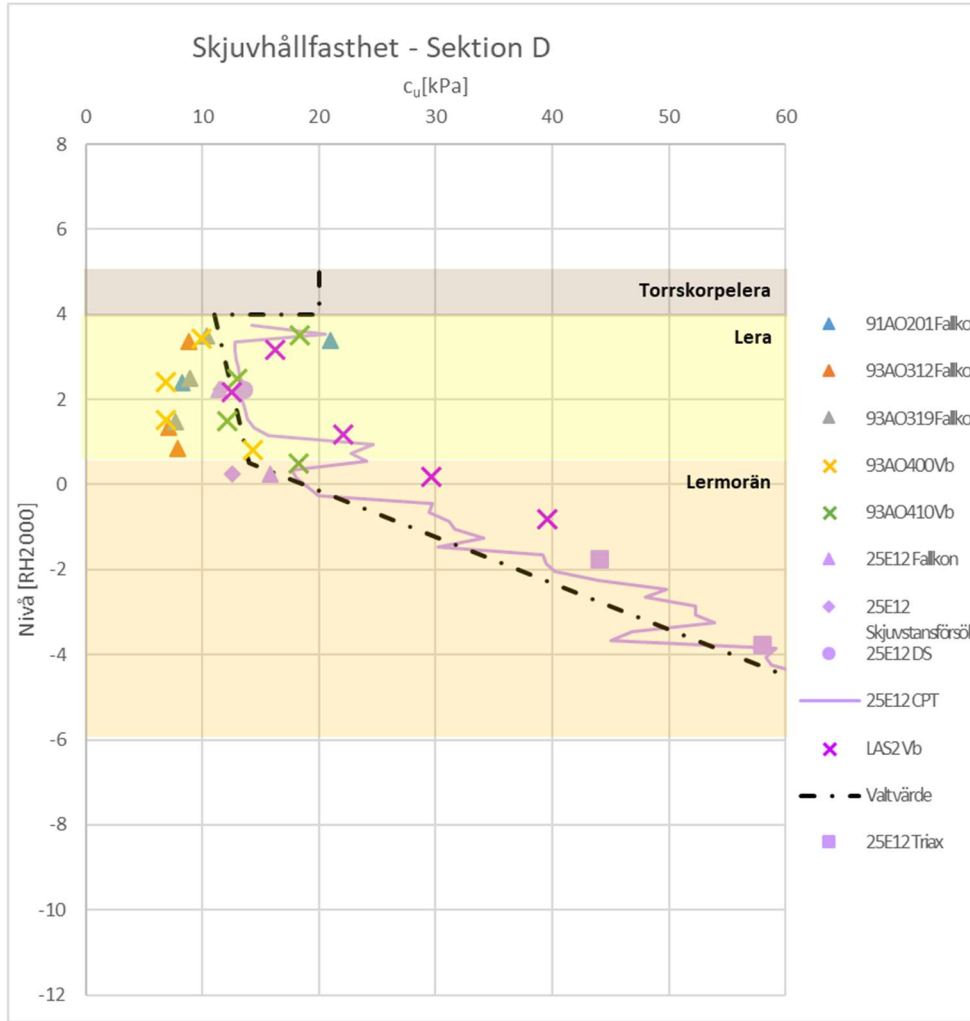
Sektion A		Valtvärde					$\eta_{cu}$					$\eta_{c,\phi}$					Karakteristiskt värde					Dimensionerande värde					Densitet	
Material	Nivå ök	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{cu}$ [-]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c,\phi}$ [-]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Fyllning						34	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00						34					27,4	18	10
Sand						33	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00						33					26,5	18	8
Torv		15		1,5		30	0,80	0,90	1,00	1,00	0,72	-	-	-	1,00	10,8		1,5		30,0	7,2		1,2		23,9	12	2	
Gyttja	3	7		0,7		30	0,95	1,00	1,00	1,00	0,95	-	-	-	1,00	6,65		0,7		30,0	4,4		0,5		23,9	12	2	
Lera strand	2	7	0,8	0,7	0,08	30	0,95	1,00	1,00	1,00	0,95	-	-	-	1,00	6,65	0,8	0,7	0,08	30,0	4,4	0,5	0,5	0,062	23,9	16	6	
Lera land	2	12	0,8	1,2	0,08	30	0,95	1,10	1,00	1,00	1,05	-	-	-	1,00	12,54	0,8	1,2	0,08	30,0	8,4	0,6	0,9	0,062	23,9	17	7	
Lermorän strand	-3	10	7	5		33	0,95	1,00	1,00	1,00	0,95	1,00	1,10	1,00	1,10	9,5	6,7	5,5	0	35,5	6,3	4,4	4,2	0,0	28,8	23	13	
Lermorän land	-3	16	7,8	5		33	0,95	1,10	1,00	1,00	1,05	1,00	1,10	1,00	1,10	16,72	8,2	5,5	0	35,5	11,1	5,4	4,2	0,0	28,8	23	13	

Sektion B & C



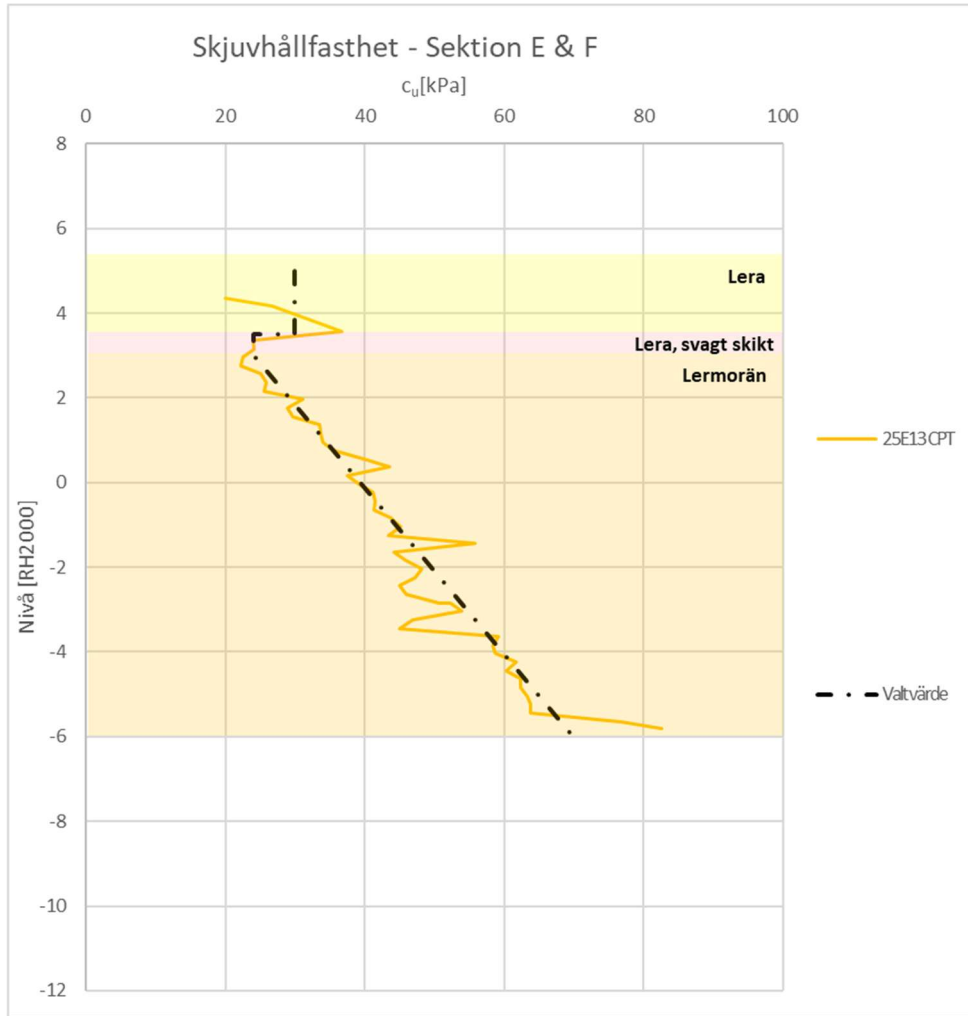
Sektion B & C		Valt värde					$\eta_{c_u}$					$\eta_{c',\phi'}$					Karakteristiskt värde					Dimensionerande värde					Densitet	
Material	Nivå ök	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c_u}$ [-]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c',\phi'}$ [-]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Fyllning						34	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00						34					27,4	18	10
Lera		12		1,2	0	30	0,98	1,05	1,00	1,00	1,02	-	-	-	1,00	12,29	0,0	1,2	0	30,0	8,2	0,0	0,9	0,000	23,9	21	11	
Lermörän	2	12	8,3	5	0	33	0,98	1,05	1,00	1,00	1,02	1,00	1,10	1,00	1,10	12,29	8,5	5,5	0	35,5	8,2	5,7	4,2	0,000	28,8	22	12	

Sektion D



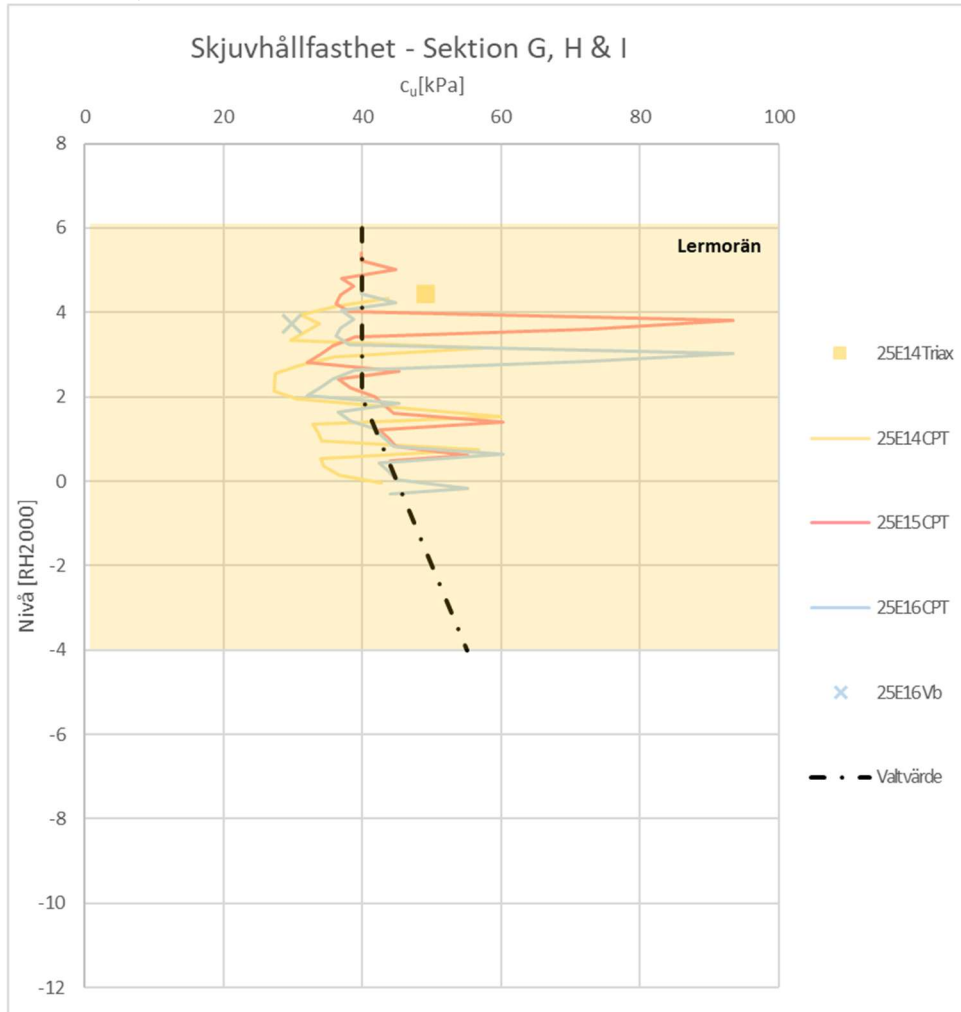
Sektion D		Valtvärde					$\eta_{c_u}$					$\eta_{c',\phi}$					Karakteristiskt värde					Dimensionerande värde					Densitet	
Material	Nivå	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c_u}$ [-]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c',\phi}$ [-]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Fyllning						34	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00						34					27,4	18	10
Torrskorpa		20		2		30	-	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	20		2		30,0	13,3		1,5		23,9	18	8	
Lera	4	11	0,86	1,1	0,086	30	1	1,1	1	1,10	-	-	-	-	1,00	12,1	0,9	1,1	0,086	30,0	8,1	0,6	0,8	0,066	23,9	16	6	
Lermorän	0,5	14	9,2	5	0	33	1	1,1	1	1,10	1,00	1,10	1,00	1,00	1,10	15,4	10,1	5,5		35,5	10,3	6,7	4,2		28,8	23	13	

Sektion E & F



Sektion E & F		Valt värde					$\eta_{c_u}$					$\eta_{c',\phi'}$					Karakteristiskt värde					Dimensionerande värde					Densitet	
Material	Nivå ökning	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c_u}$ [-]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c',\phi'}$ [-]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Fyllning						34	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00					34						27,4	18	10
Lera		30		3		30	0,85	0,9	1	1	0,765	-	-	-	1,00	22,95		3		30,0	15,3		2,3		23,9	22	12	
Lera, svagt skikt	3,5	24	0	2,4	0	30	0,85	0,9	1	1	0,765	-	-	-	1,00	18,36	0,0	2,4	0	30,0	12,2	0,0	1,8	0,0	23,9	22	12	
Lermorän	3	24	5,1	5	0	33	0,85	0,9	1	1	0,765	1,00	1,10	1,00	1,10	18,36	3,9	5,5	0	35,5	12,2	2,6	4,2	0,0	28,8	23	13	

Sektion G, H & I



Sektion G, H & I		Valtvärde					$\eta_{c_u}$					$\eta_{c',\phi'}$					Karakteristiskt värde					Dimensionerande värde					Densitet	
Material	Nivå ökning	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c_u}$ [-]	$\eta_{1,2}$ [-]	$\eta_3$ [-]	$\eta_{4,5,6,7}$ [-]	$\eta_8$ [-]	$\eta_{c',\phi'}$ [-]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$c_u$ [kPa]	$+c_u$ [kPa/m]	$c'$ [kPa]	$+c'$ [kPa/m]	$\phi'$ [°]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]
Fyllning						34	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00					34						27,4	18	10
Lermorän		40	2,5	5		33	0,95	1	1	1	0,95	1,00	1,10	1,00	1,10	38	2,375	5,5		35,5	25,3	1,6	4,2		28,8	23	13	

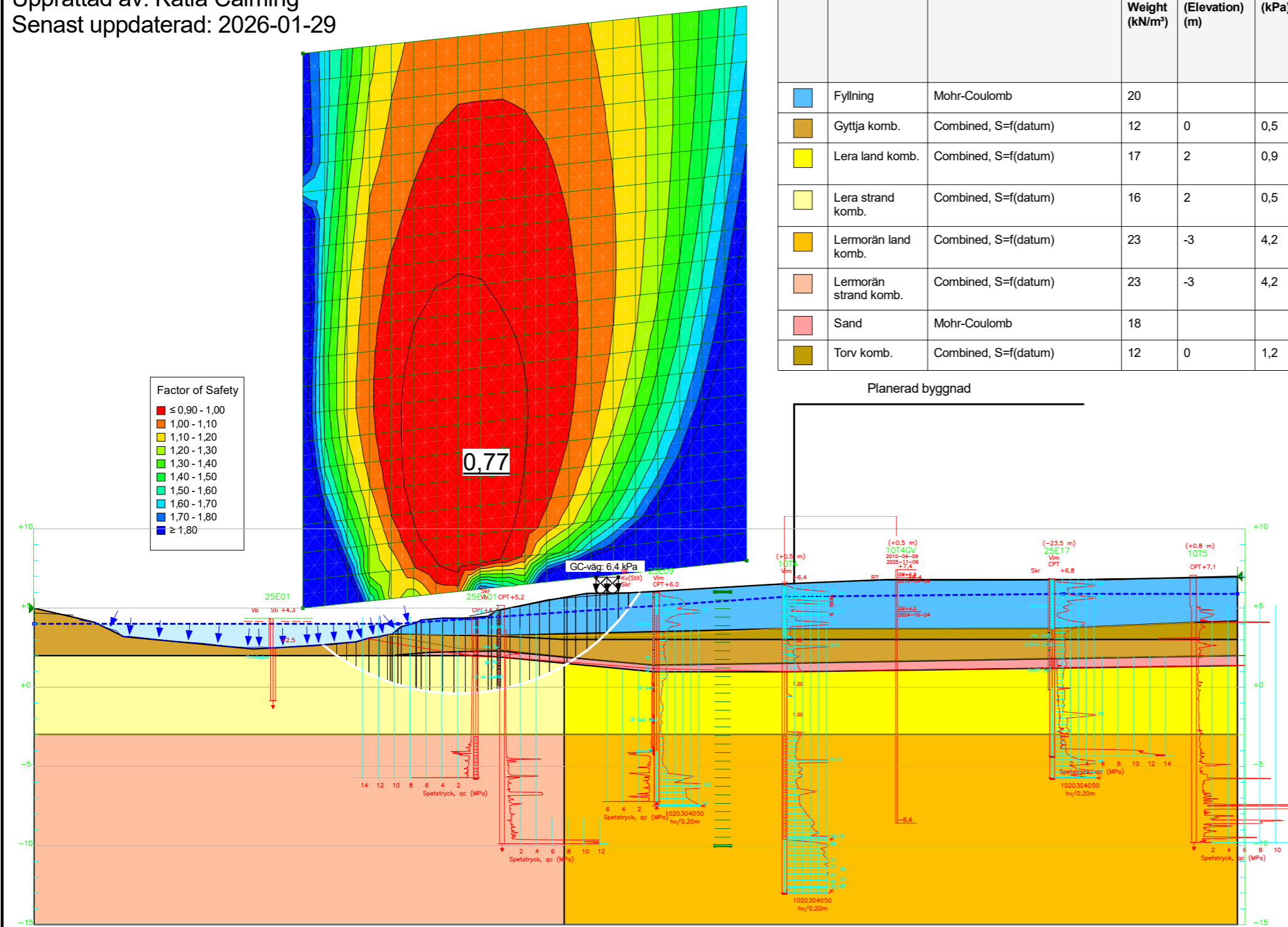


40497 Norrtälje sjukhus

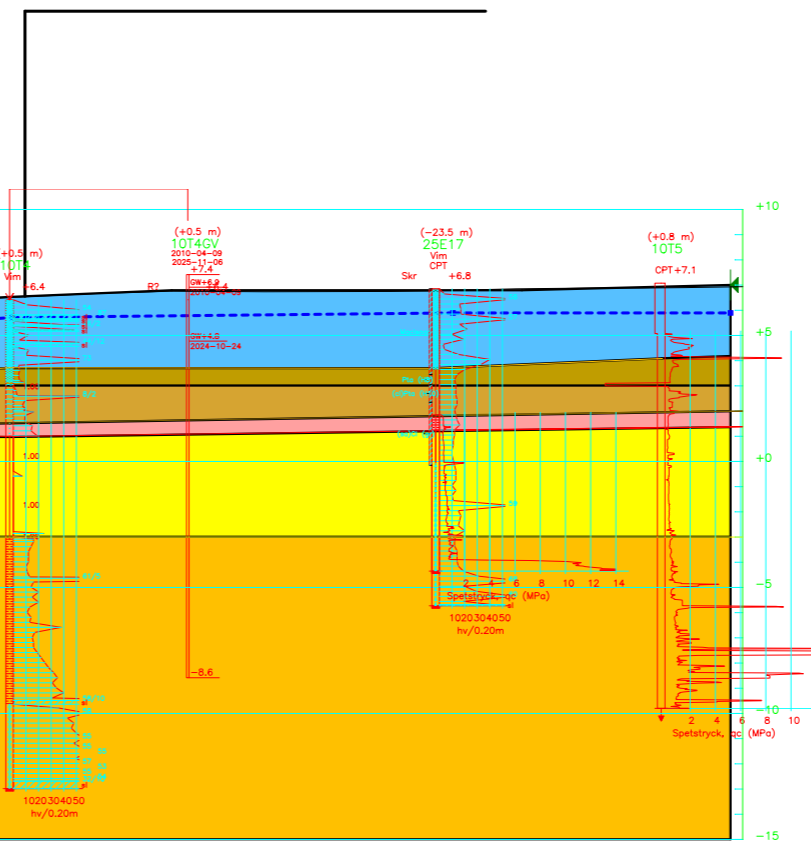
Sektion A - befintlig situation  
Kombinerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Effective Friction Angle (°)	Su-Datum (kPa)	Piezometric Surface	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m³)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20				27,4		1	18
Brown	Gyttja komb.	Combined, S=f(datum)	12	0	0,5	0	23,9	4,4	1	
Yellow	Lera land komb.	Combined, S=f(datum)	17	2	0,9	0,062	23,9	8,4	1	
Light Yellow	Lera strand komb.	Combined, S=f(datum)	16	2	0,5	0,062	23,9	4,4	1	
Orange	Lermörän land komb.	Combined, S=f(datum)	23	-3	4,2	0	28,8	11,1	1	
Light Orange	Lermörän strand komb.	Combined, S=f(datum)	23	-3	4,2	0	28,8	6,3	1	
Pink	Sand	Mohr-Coulomb	18				26,5		1	
Olive Green	Torv komb.	Combined, S=f(datum)	12	0	1,2	0	23,9	7,2	1	



Planerad byggnad



SEKTION A-A  
1: 100

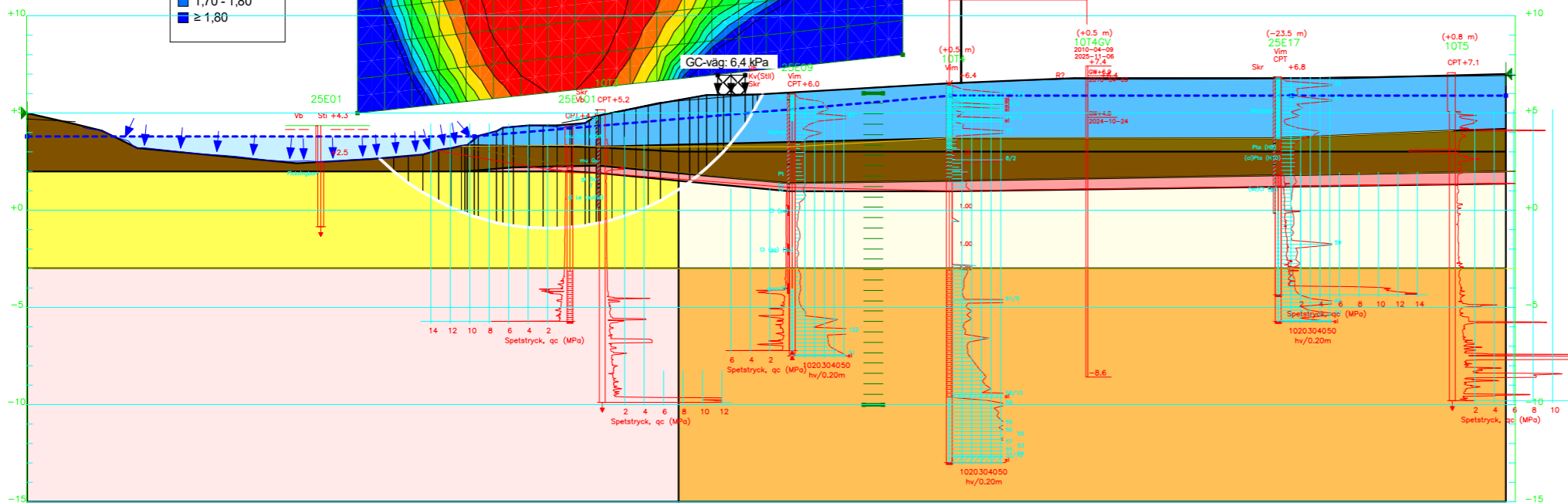
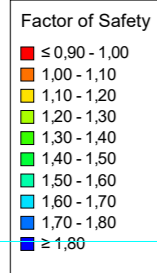
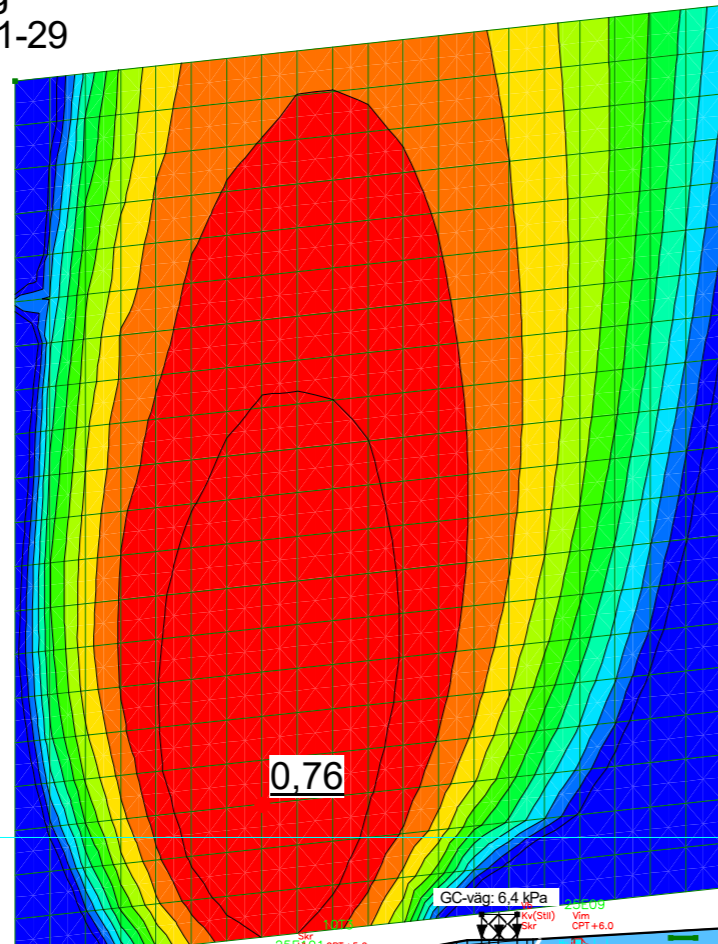


40497 Norrtälje sjukhus

Sektion A - befintlig situation  
Odränerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Effective Friction Angle (°)	Piezometric Surface	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m³)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20	27,4	1						18
Brown	Gyttja odrän.	S=f(datum)	12		1	0	4,4	0	4,4	0	
Light Yellow	Lera land odrän	S=f(datum)	17		1	2	8,4	0,6	8,4	0,6	
Yellow	Lera strand odrän.	S=f(datum)	16		1	2	4,4	0,5	4,4	0,5	
Orange	Lermörän land odrän.	S=f(datum)	23		1	-3	11,1	5,4	11,1	5,4	
Pink	Lermörän strand odrän.	S=f(datum)	23		1	-3	6,3	4,4	6,3	4,4	
Red	Sand	Mohr-Coulomb	18	26,5	1						
Dark Green	Torv odrän.	S=f(datum)	12		1	0	7,2	0	7,2	0	



SEKTION A-A  
1: 100

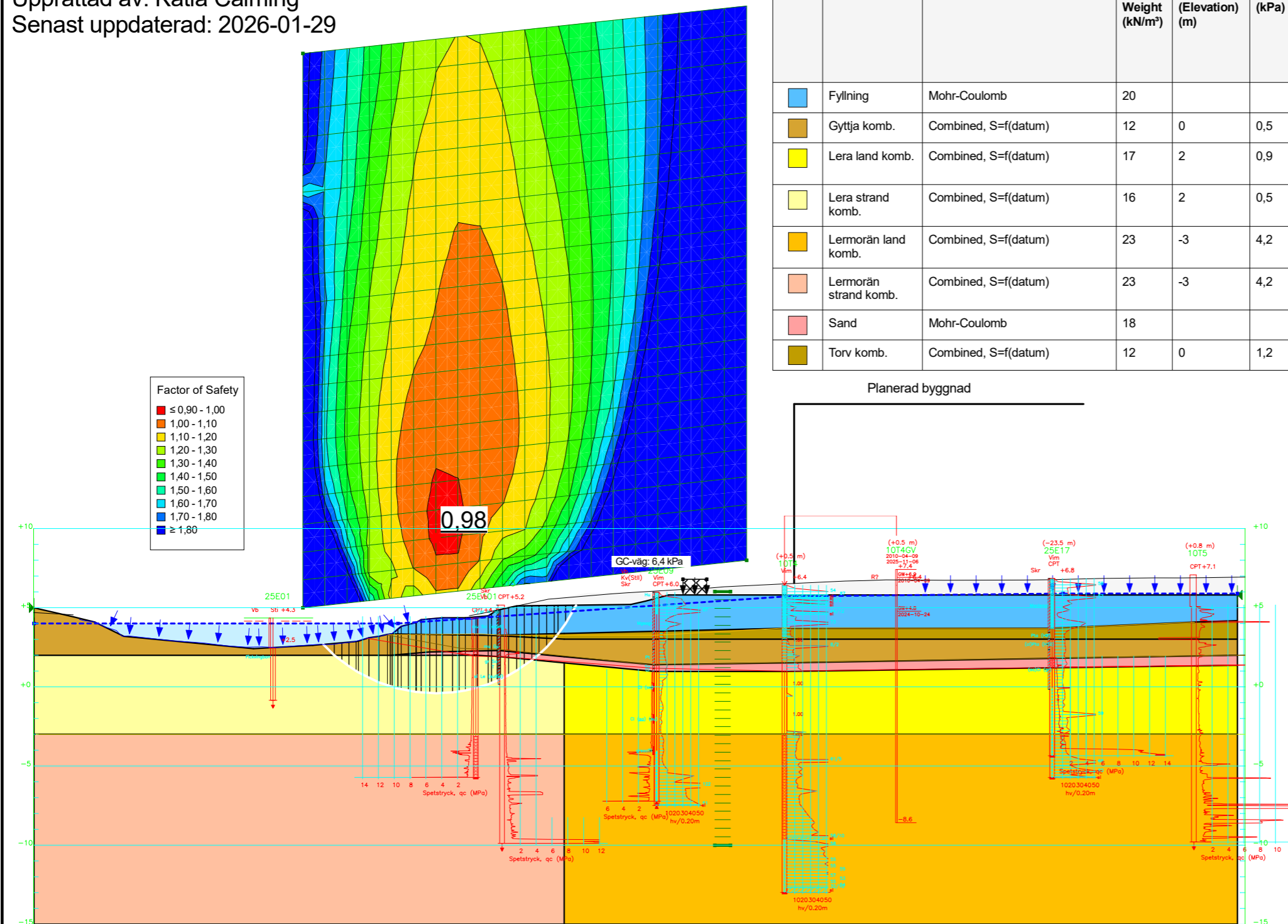


40497 Norrtälje sjukhus

Sektion A - åtgärd  
Kombinerad analys - avschaktning + flytt av gc  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Effective Friction Angle (°)	Su-Datum (kPa)	Piezometric Surface	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20				27,4		1	18
Brown	Gyttja komb.	Combined, S=f(datum)	12	0	0,5	0	23,9	4,4	1	
Yellow	Lera land komb.	Combined, S=f(datum)	17	2	0,9	0,062	23,9	8,4	1	
Light Yellow	Lera strand komb.	Combined, S=f(datum)	16	2	0,5	0,062	23,9	4,4	1	
Orange	Lermorän land komb.	Combined, S=f(datum)	23	-3	4,2	0	28,8	11,1	1	
Light Orange	Lermorän strand komb.	Combined, S=f(datum)	23	-3	4,2	0	28,8	6,3	1	
Pink	Sand	Mohr-Coulomb	18				26,5		1	
Olive Green	Torv komb.	Combined, S=f(datum)	12	0	1,2	0	23,9	7,2	1	



SEKTION A-A  
1: 100

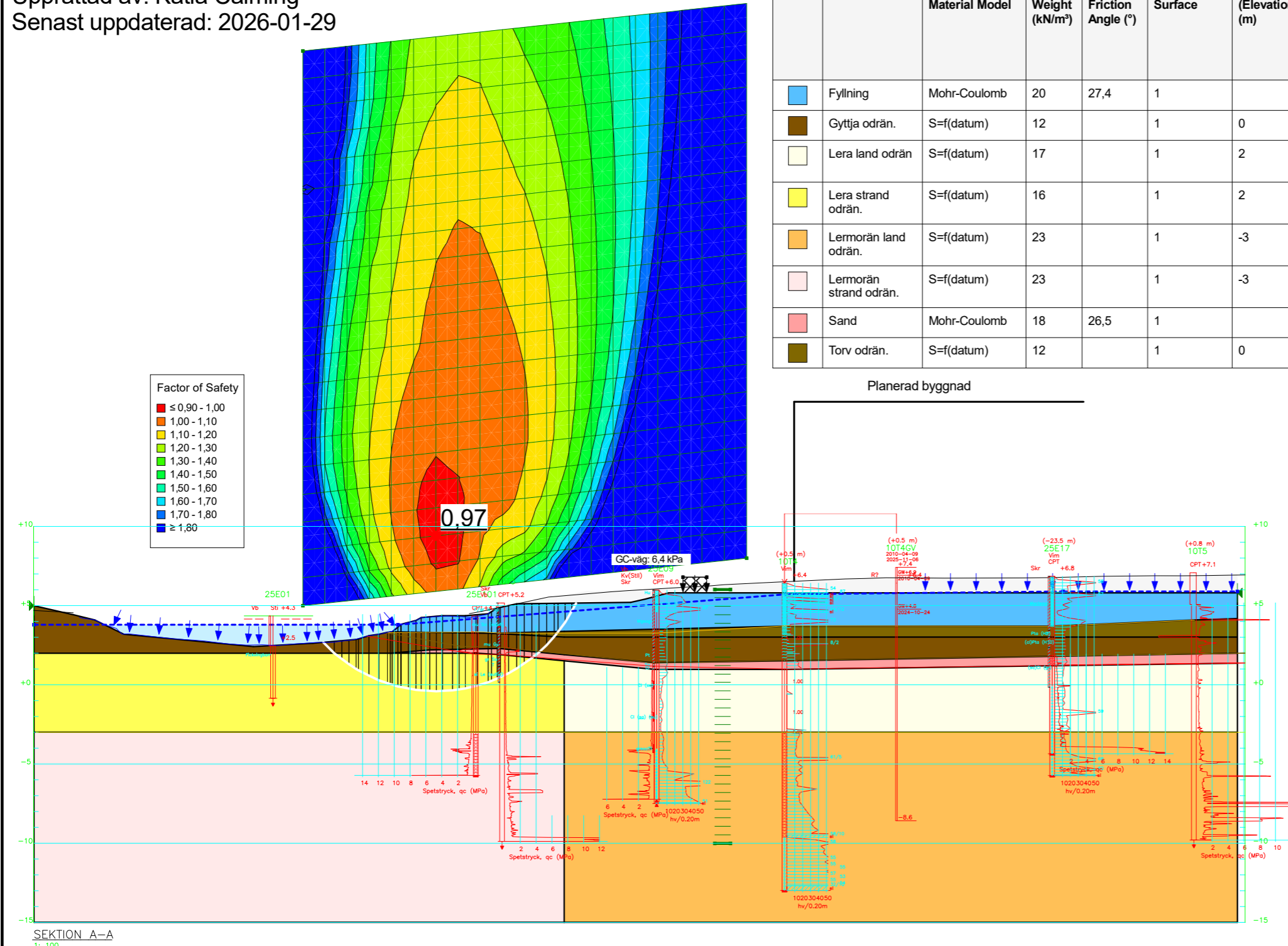


40497 Norrtälje sjukhus

Sektion A - åtgärd  
Odränerad analys - avschaktning + flytt av gc-väg  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Effective Friction Angle (°)	Piezometric Surface	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m³)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20	27,4	1						18
Brown	Gyttja odrän.	S=f(datum)	12		1	0	4,4	0	4,4	0	
Light Yellow	Lera land odrän	S=f(datum)	17		1	2	8,4	0,6	8,4	0,6	
Yellow	Lera strand odrän.	S=f(datum)	16		1	2	4,4	0,5	4,4	0,5	
Orange	Lermorän land odrän.	S=f(datum)	23		1	-3	11,1	5,4	11,1	5,4	
Pink	Lermorän strand odrän.	S=f(datum)	23		1	-3	6,3	4,4	6,3	4,4	
Red	Sand	Mohr-Coulomb	18	26,5	1						
Dark Green	Torv odrän.	S=f(datum)	12		1	0	7,2	0	7,2	0	



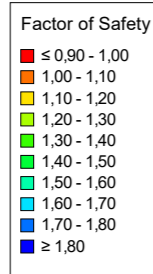
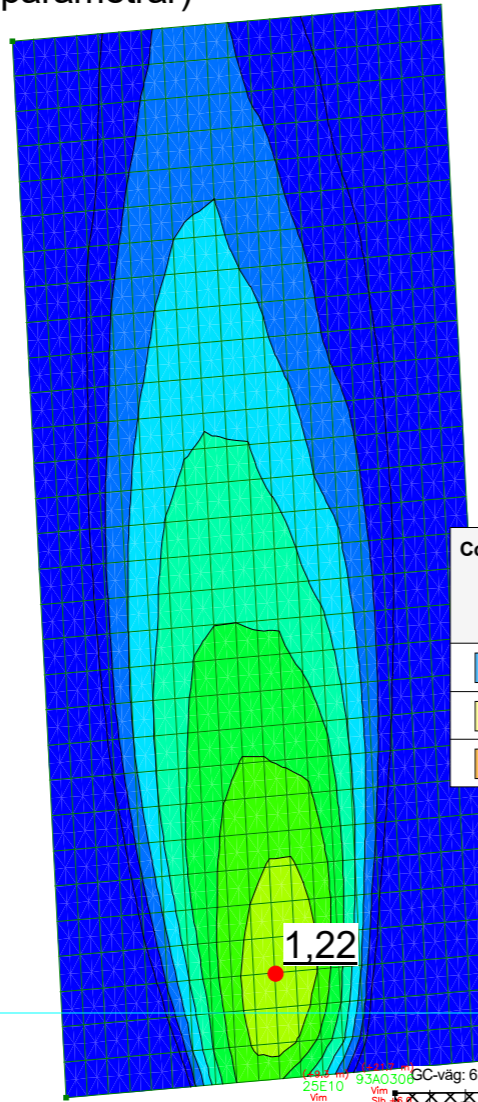
SEKTION A-A  
1: 100



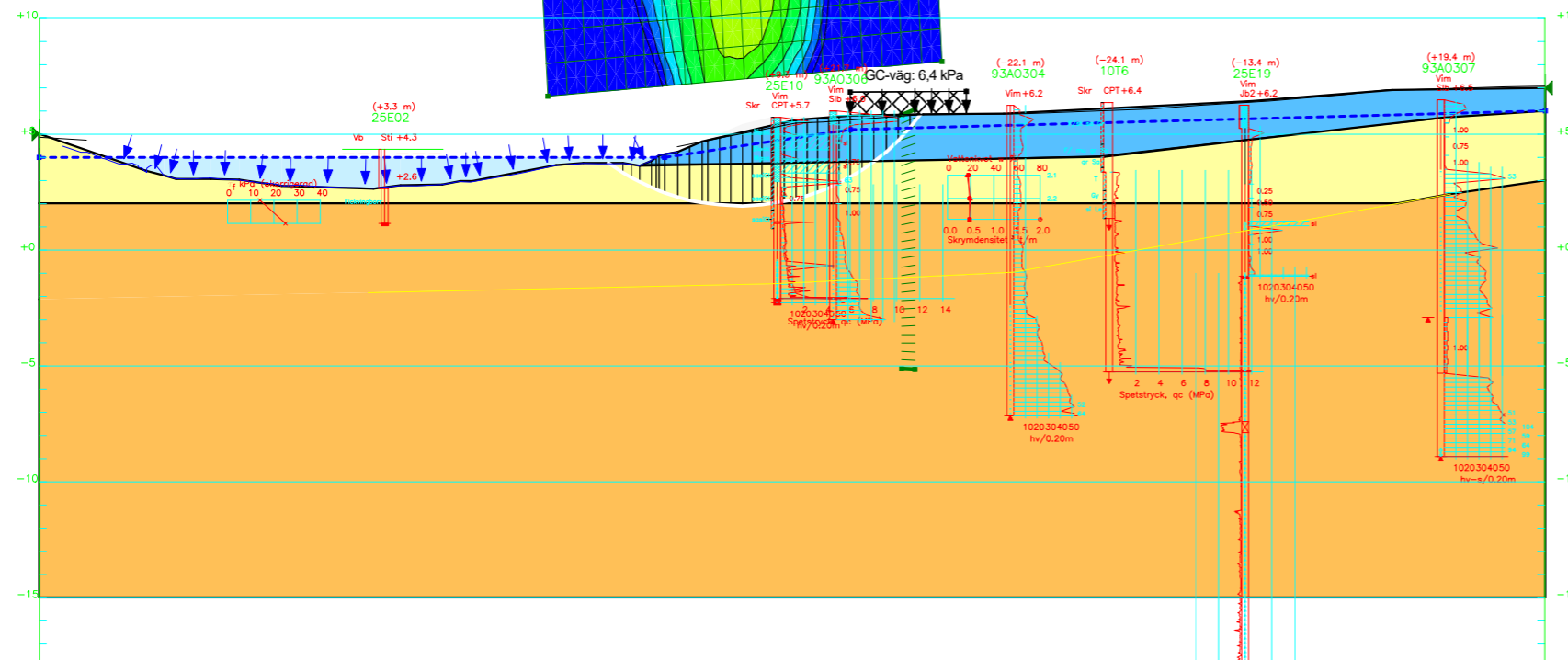
40497 Norrtälje sjukhus

Sektion B - befintlig situation  
Kombinerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20	0	27,4						18
Yellow	Lera komb.	Combined, S=f(datum)	21		23,9	6	0,9	0	8,2	0	
Orange	Lermorän komb.	Combined, S=f(datum)	22		28,8	2	4,2	0	8,2	5,6	





40497 Norrtälje sjukhus

Sektion B - befintlig situation

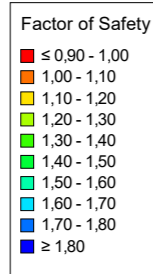
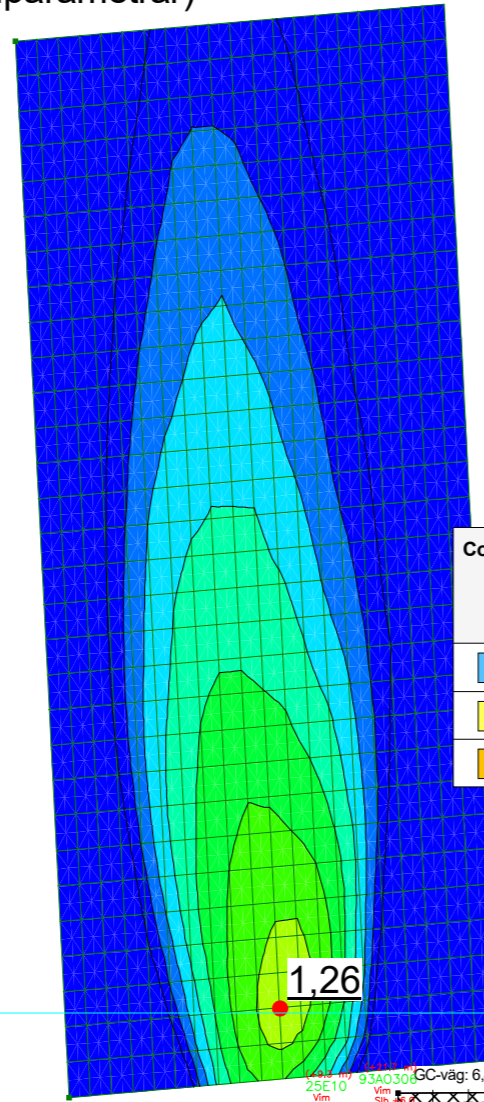
Odränerad analys

Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

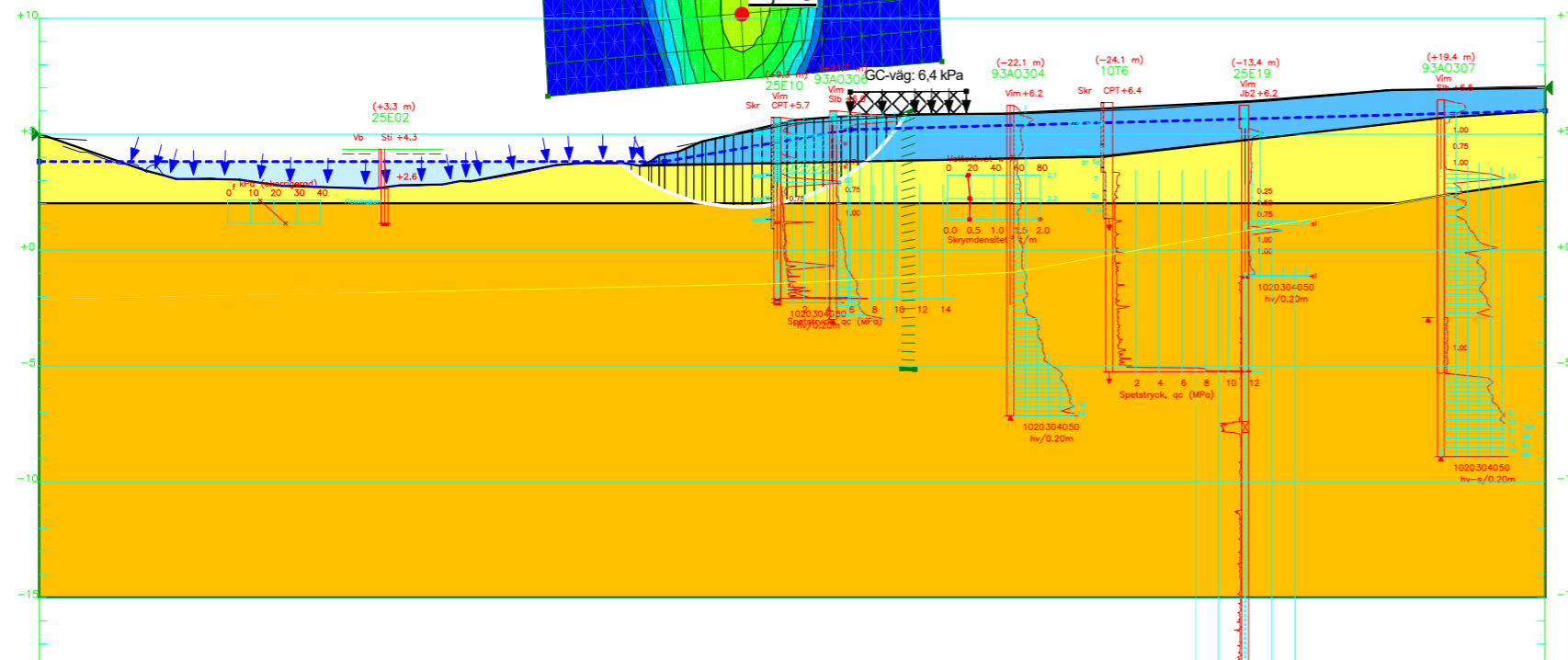
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-29



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4	18
Yellow	Lera odrän.	S=f(datum)	21	6	8,2	0	8,2	0			
Orange	Lermörän odrän.	S=f(datum)	22	2	8,2	5,6	8,2	5,6			

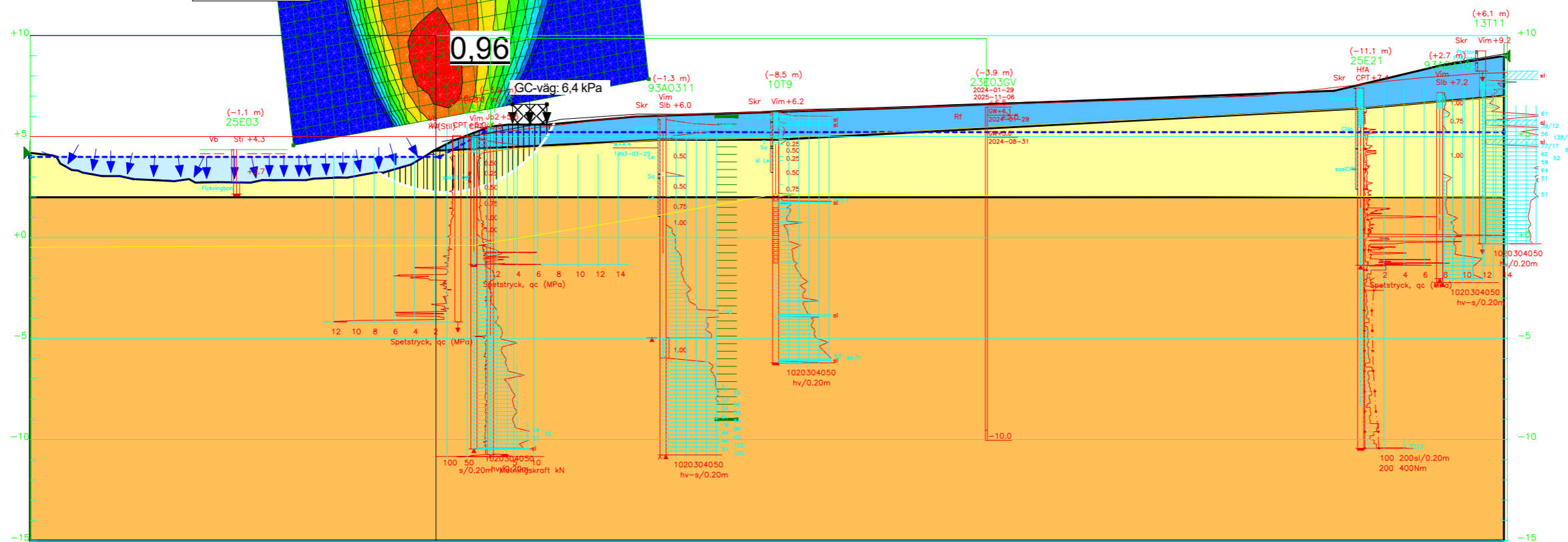
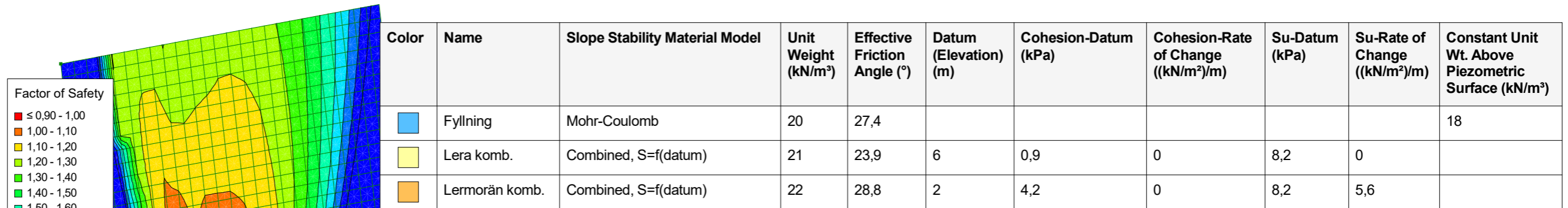




40497 Norrtälje sjukhus

Sektion C - befintlig situation  
Kombinerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:250

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-20



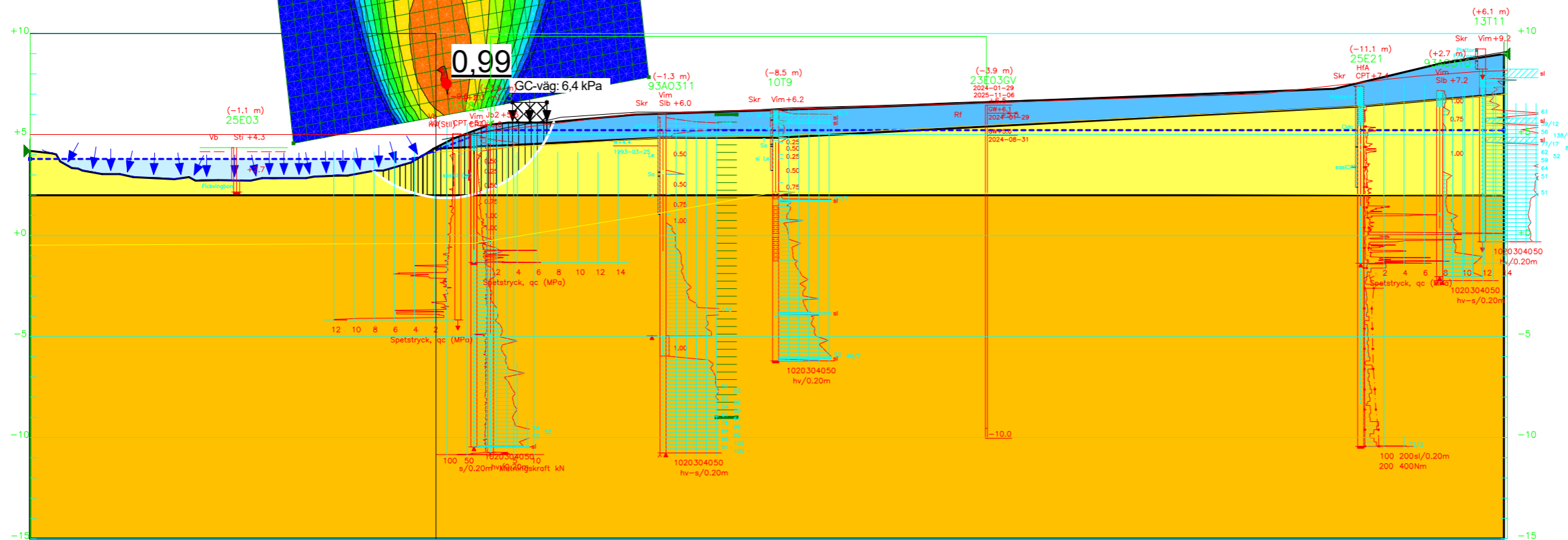
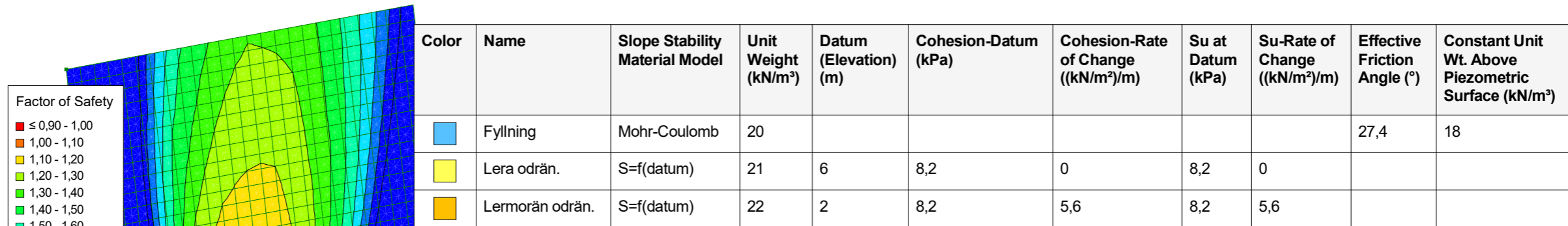
SEKTION C-C  
1: 100



40497 Norrtälje sjukhus

Sektion C - befintlig situation  
Odränerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:250

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-20



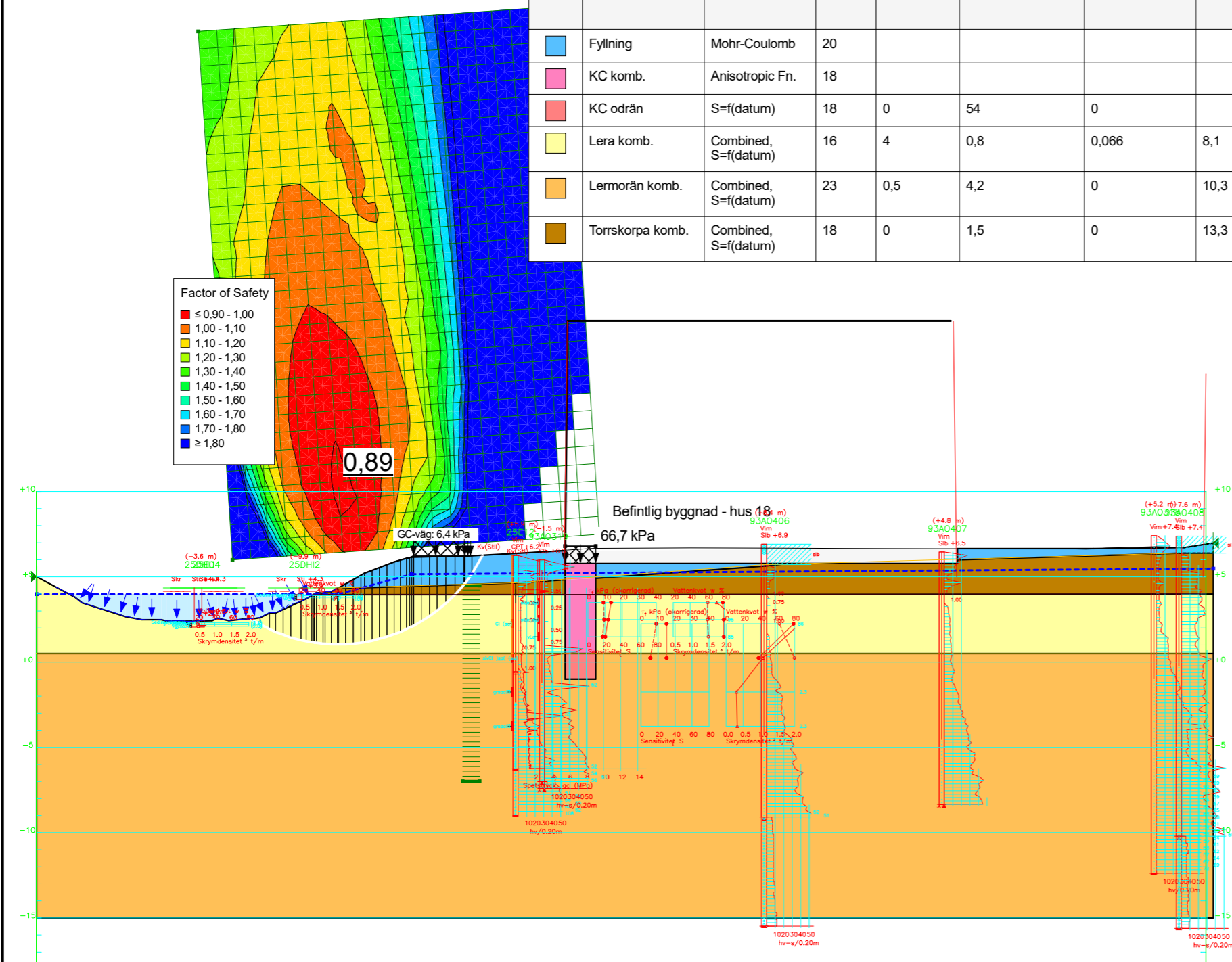


40497 Norrtälje sjukhus

Sektion D - befintlig situation  
Kombinerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Eff. Cohesion-Anisotropic Fn.	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m³)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20								0	27,4		18
Pink	KC komb.	Anisotropic Fn.	18								24,05	13,5	Aktiv/DS/Passiv	
Red	KC odrän	S=f(datum)	18	0	54	0			54	0				
Yellow	Lera komb.	Combined, S=f(datum)	16	4	0,8	0,066	8,1	0,6				23,9		
Orange	Lermörän komb.	Combined, S=f(datum)	23	0,5	4,2	0	10,3	6,7				28,8		
Brown	Torrskorpa komb.	Combined, S=f(datum)	18	0	1,5	0	13,3	0				23,9		





40497 Norrtälje sjukhus

Sektion D - befintlig situation

Odränerad analys

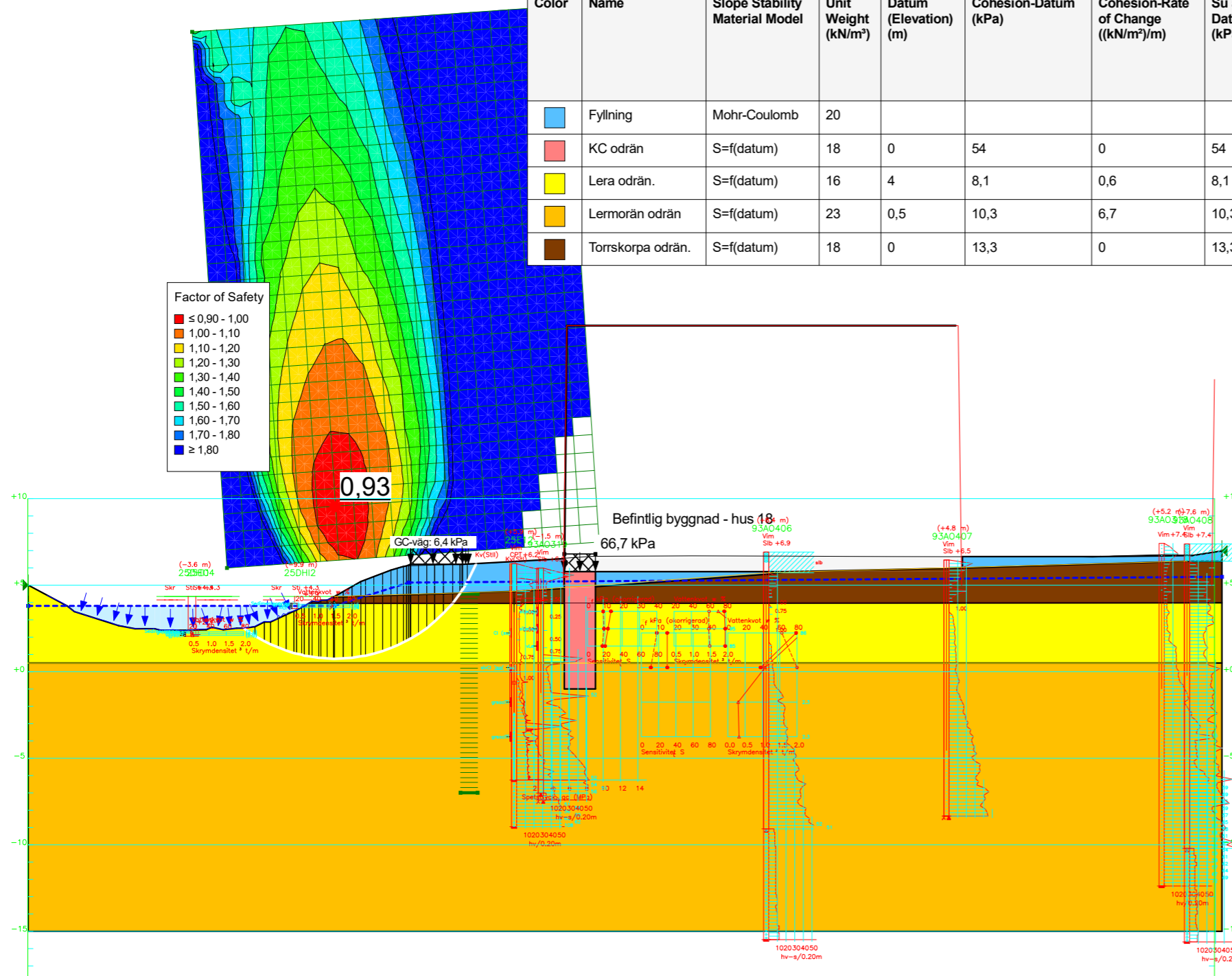
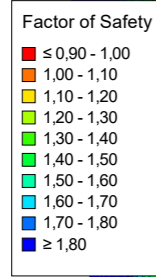
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4	18
Red	KC odrän.	S=f(datum)	18	0	54	0	54	0			
Yellow	Lera odrän.	S=f(datum)	16	4	8,1	0,6	8,1	0,6			
Orange	Lermörän odrän.	S=f(datum)	23	0,5	10,3	6,7	10,3	6,7			
Brown	Torrskorpa odrän.	S=f(datum)	18	0	13,3	0	13,3	0			



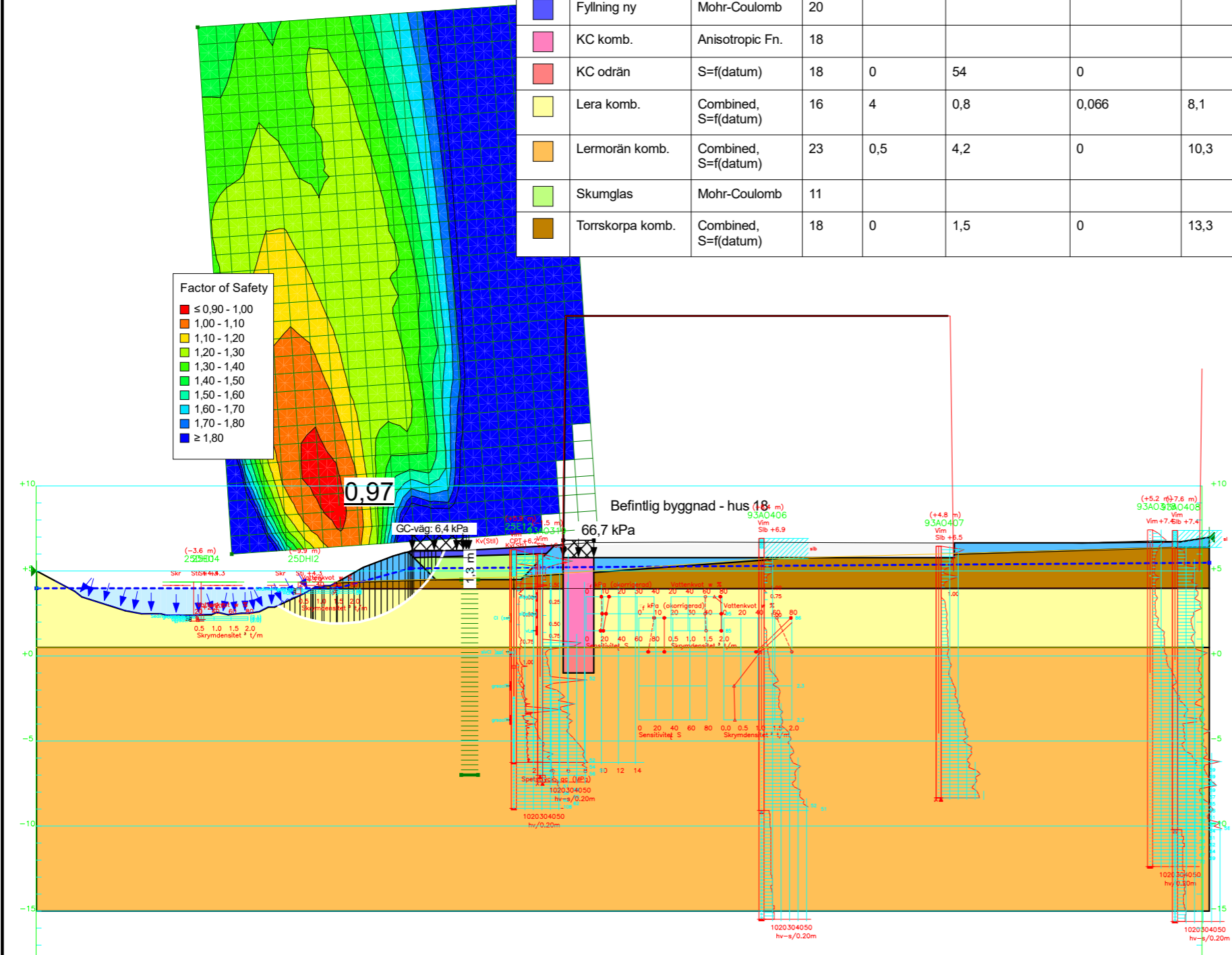


40497 Norrtälje sjukhus

Sektion D - med åtgärd  
Kombinerad analys - skumglas  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-30

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Eff. Cohesion-Anisotropic Fn.	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Light Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20								0	27,4		18
Dark Blue	Fyllning ny	Mohr-Coulomb	20								0	34		
Pink	KC komb.	Anisotropic Fn.	18								24,05	13,5	Aktiv/DS/Passiv	
Red	KC odrän	S=f(datum)	18	0	54	0			54	0				
Yellow	Lera komb.	Combined, S=f(datum)	16	4	0,8	0,066	8,1	0,6				23,9		
Orange	Lermörän komb.	Combined, S=f(datum)	23	0,5	4,2	0	10,3	6,7				28,8		
Light Green	Skumglas	Mohr-Coulomb	11								0	34,7		4
Brown	Torrskorpa komb.	Combined, S=f(datum)	18	0	1,5	0	13,3	0				23,9		



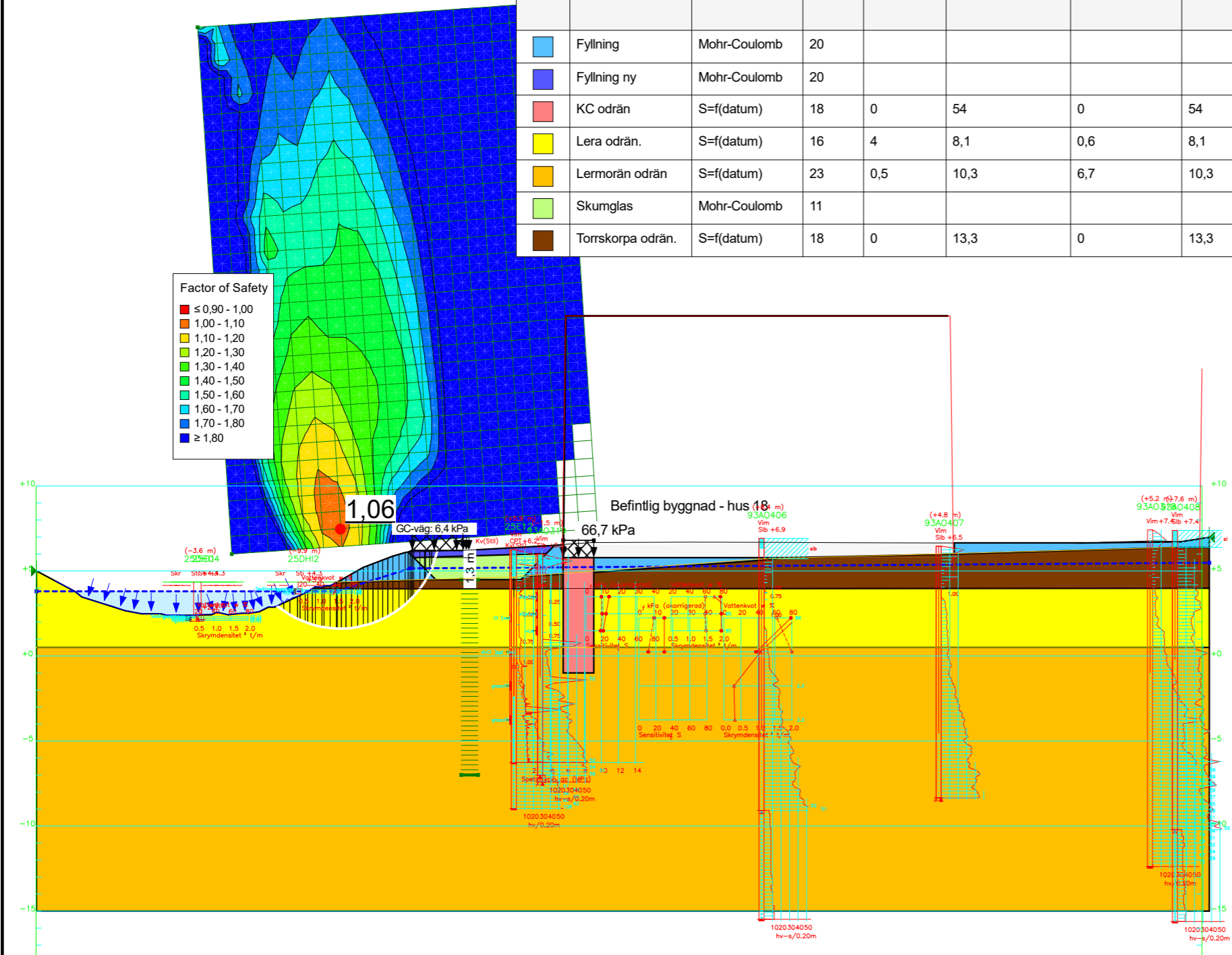


40497 Norrtälje sjukhus

Sektion D - med åtgärd  
Odränerad analys - skumglas  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m³)
Light Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4	18
Dark Blue	Fyllning ny	Mohr-Coulomb	20						0	34	
Red	KC odrän.	S=f(datum)	18	0	54	0	54	0			
Yellow	Lera odrän.	S=f(datum)	16	4	8,1	0,6	8,1	0,6			
Orange	Lermörän odrän	S=f(datum)	23	0,5	10,3	6,7	10,3	6,7			
Light Green	Skumglas	Mohr-Coulomb	11						0	34,7	4
Brown	Torrskorpa odrän.	S=f(datum)	18	0	13,3	0	13,3	0			



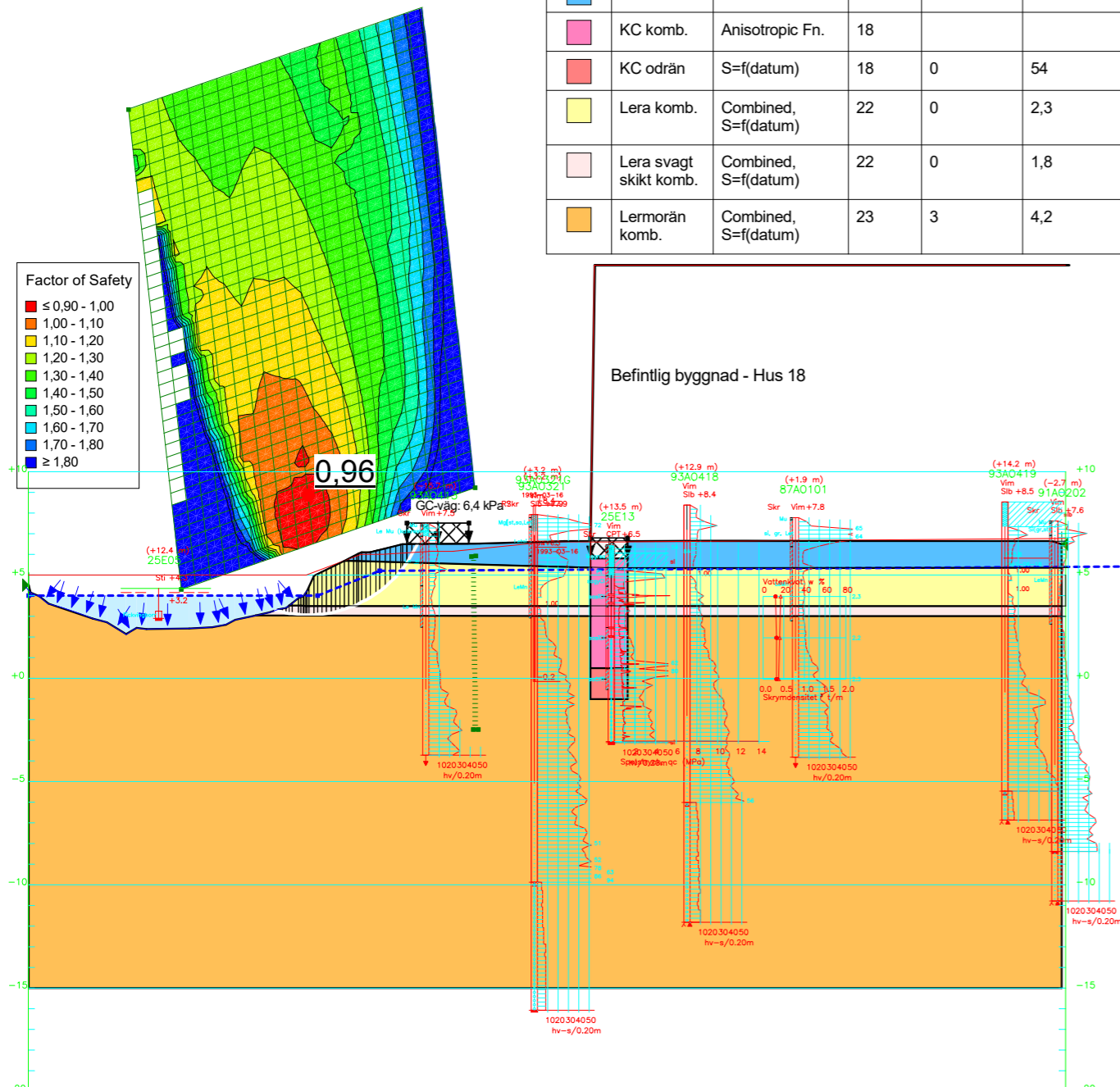


40497 Norrtälje sjukhus

Sektion E - befintlig situation  
Kombinerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Eff. Cohesion-Anisotropic Fn.	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m³)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20								0	27,4		18
Pink	KC komb.	Anisotropic Fn.	18								24,05	13,5	Aktiv/DS/Passiv	
Red	KC odrän	S=f(datum)	18	0	54	0			54	0				
Yellow	Lera komb.	Combined, S=f(datum)	22	0	2,3	0	15,4	0				23,9		
Light Pink	Lera svagt skikt komb.	Combined, S=f(datum)	22	0	1,8	0	12,3	0				23,9		
Orange	Lermorän komb.	Combined, S=f(datum)	23	3	4,2	0	12,3	2,6				28,8		





40497 Norrtälje sjukhus

Sektion E - befintlig situation

Odränerad analys

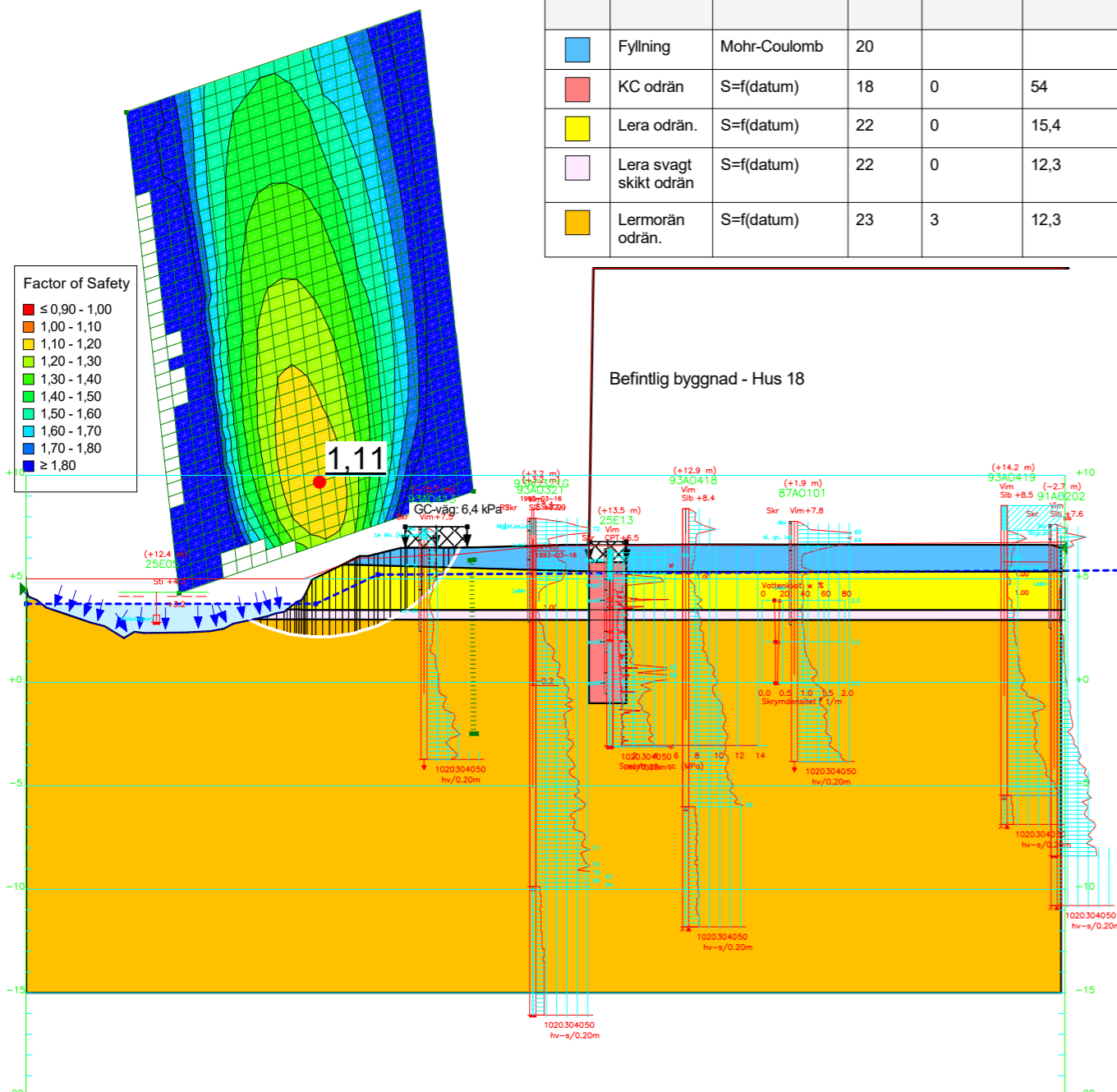
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-29

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m³)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4	18
Red	KC odrän	S=f(datum)	18	0	54	0	54	0			
Yellow	Lera odrän.	S=f(datum)	22	0	15,4	0	15,4	0			
Pink	Lera svagt skikt odrän	S=f(datum)	22	0	12,3	0	12,3	0			
Orange	Lermorän odrän.	S=f(datum)	23	3	12,3	2,6	12,3	2,6			





40497 Norrtälje sjukhus

Sektion F - befintlig situation

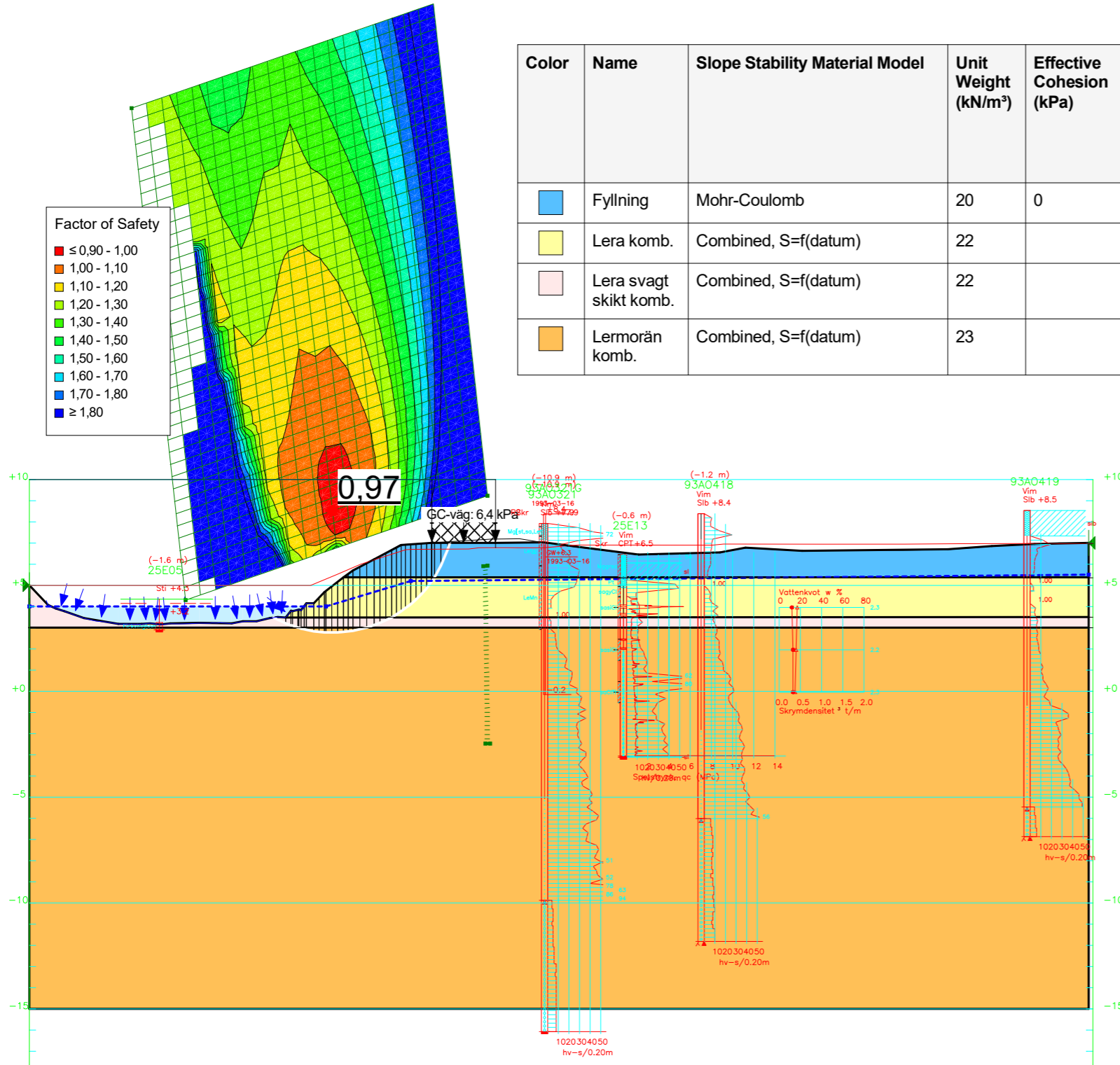
Kombinerad analys

Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

Skala: 1:250

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-20



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20	0	27,4						18
Yellow	Lera komb.	Combined, S=f(datum)	22		23,9	0	2,3	0	15,4	0	
Pink	Lera svagt skikt komb.	Combined, S=f(datum)	22		23,9	0	1,8	0	12,3	0	
Orange	Lermörån komb.	Combined, S=f(datum)	23		28,8	3	4,2	0	12,3	2,6	



40497 Norrtälje sjukhus

Sektion F - befintlig situation

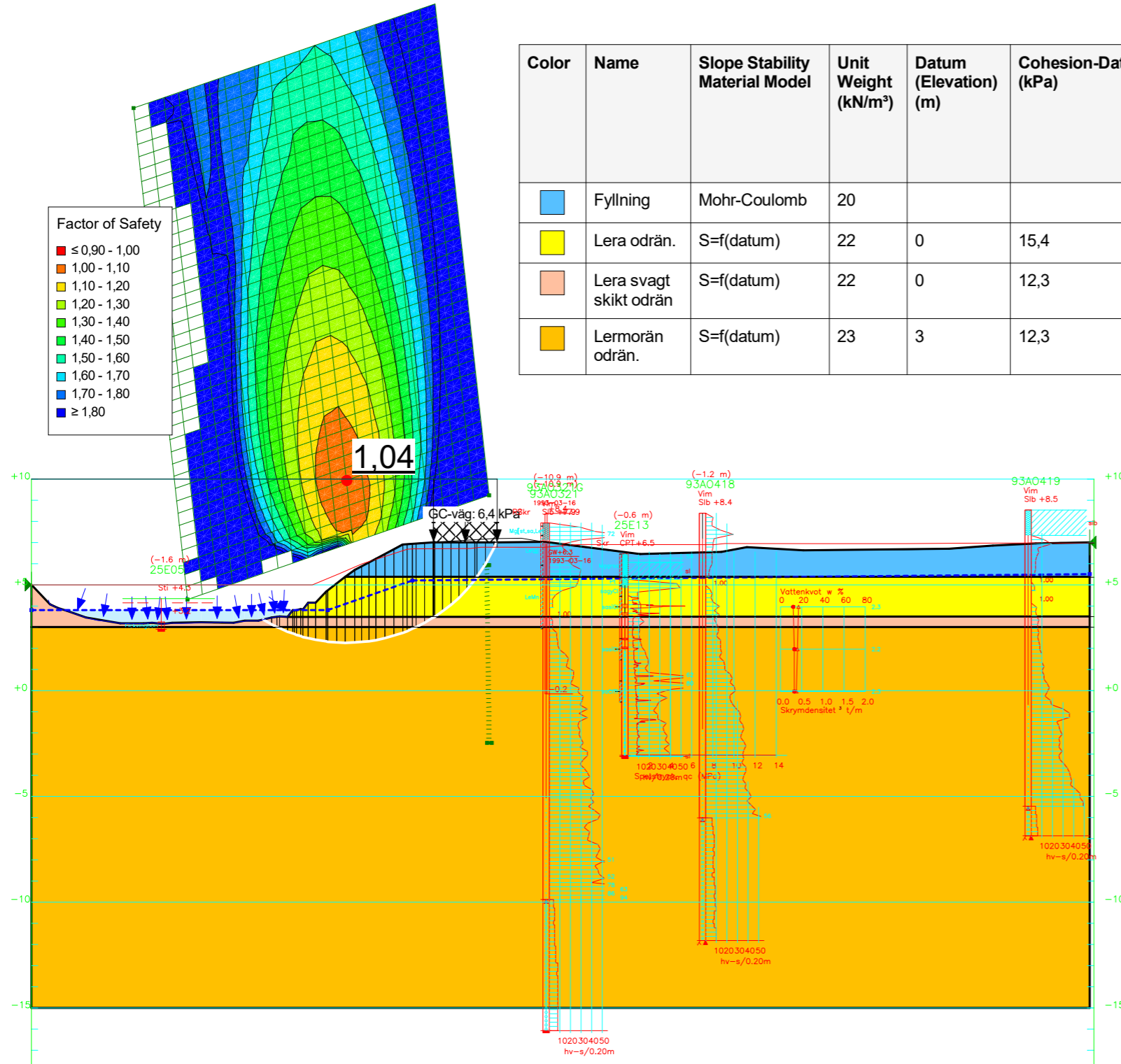
Odränerad analys

Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

Skala: 1:250

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-20



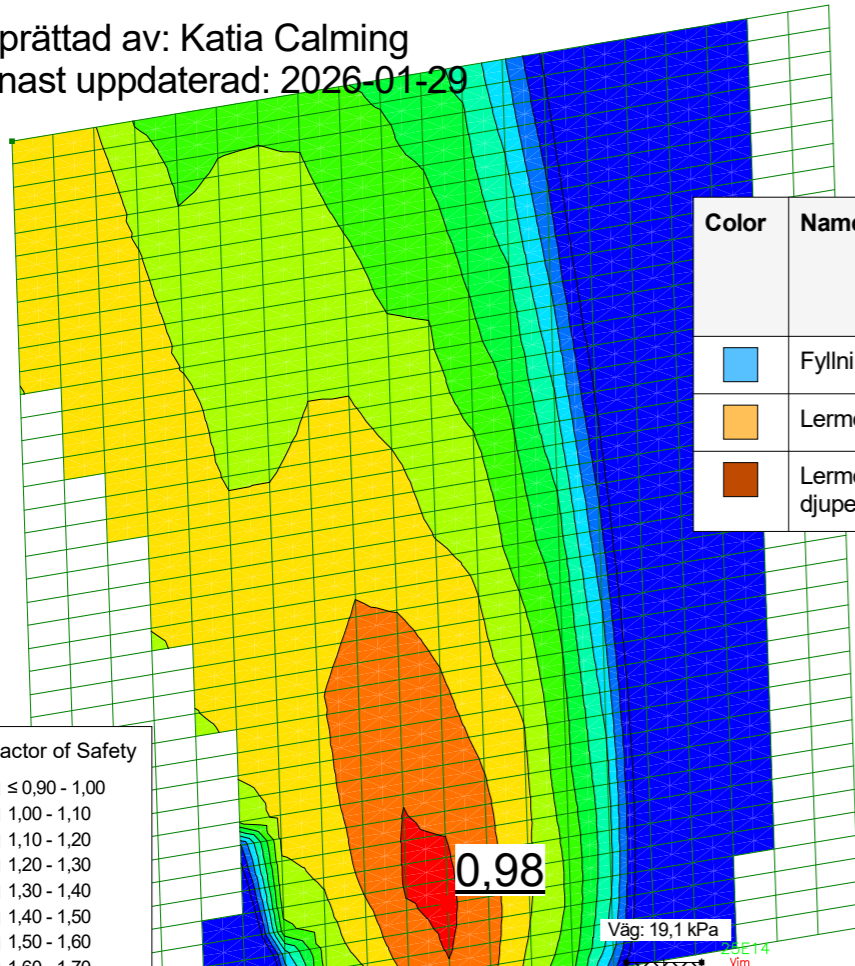
Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4	18
Yellow	Lera odrän.	S=f(datum)	22	0	15,4	0	15,4	0			
Light Orange	Lera svagt skikt odrän	S=f(datum)	22	0	12,3	0	12,3	0			
Dark Orange	Lermorän odrän.	S=f(datum)	23	3	12,3	2,6	12,3	2,6			



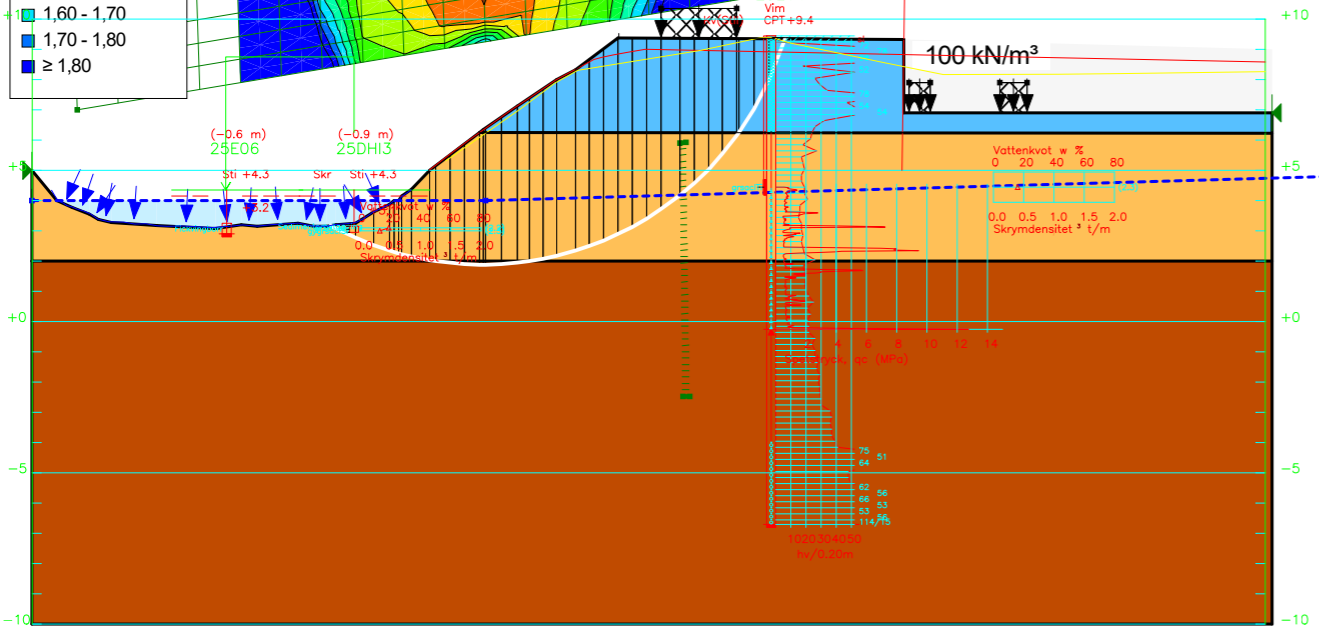
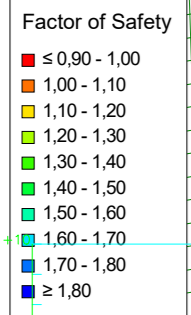
40497 Norrtälje sjukhus

Sektion G - befintlig situation  
Kombinerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:250

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-29



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20	0	27,4						18
Orange	Lermorän komb.	Combined, S=f(datum)	23		28,8	7	4,2	0	25,3	0	
Brown	Lermorän mot djupet komb.	Combined, S=f(datum)	23		28,8	2	4,2	0	25,3	1,6	



SEKTION G-G  
1: 100



40497 Norrtälje sjukhus

Sektion G - befintlig situation

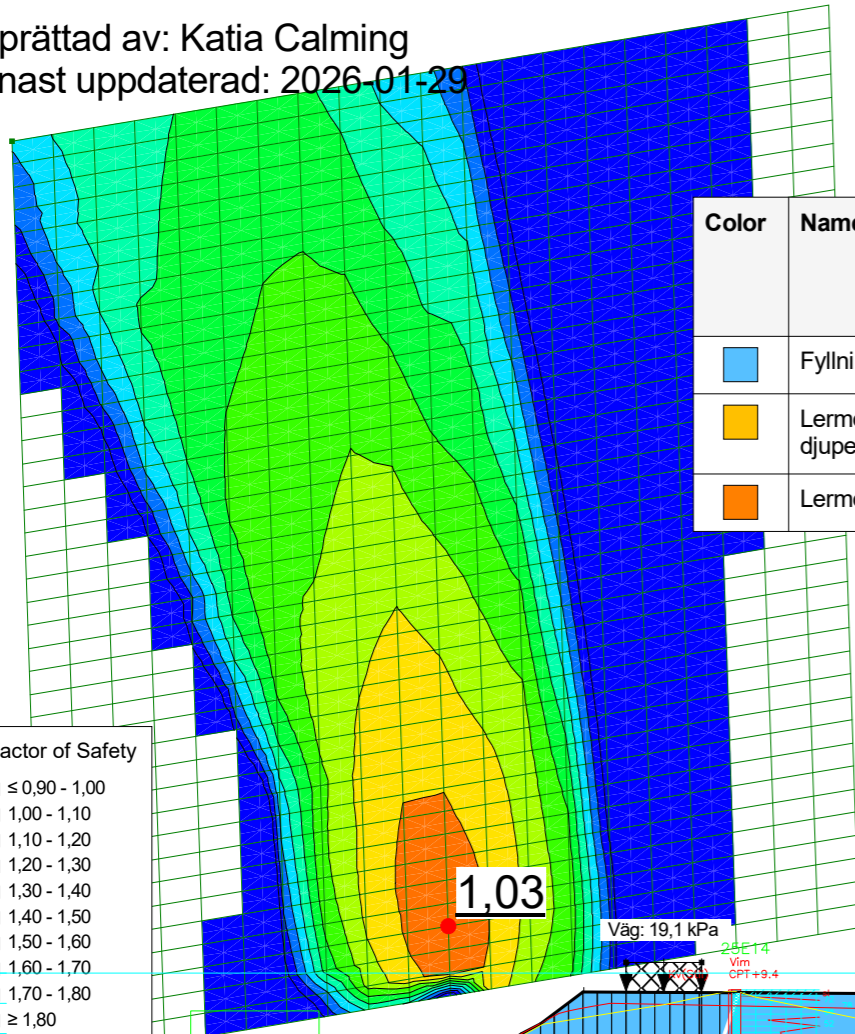
Odränerad analys

Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

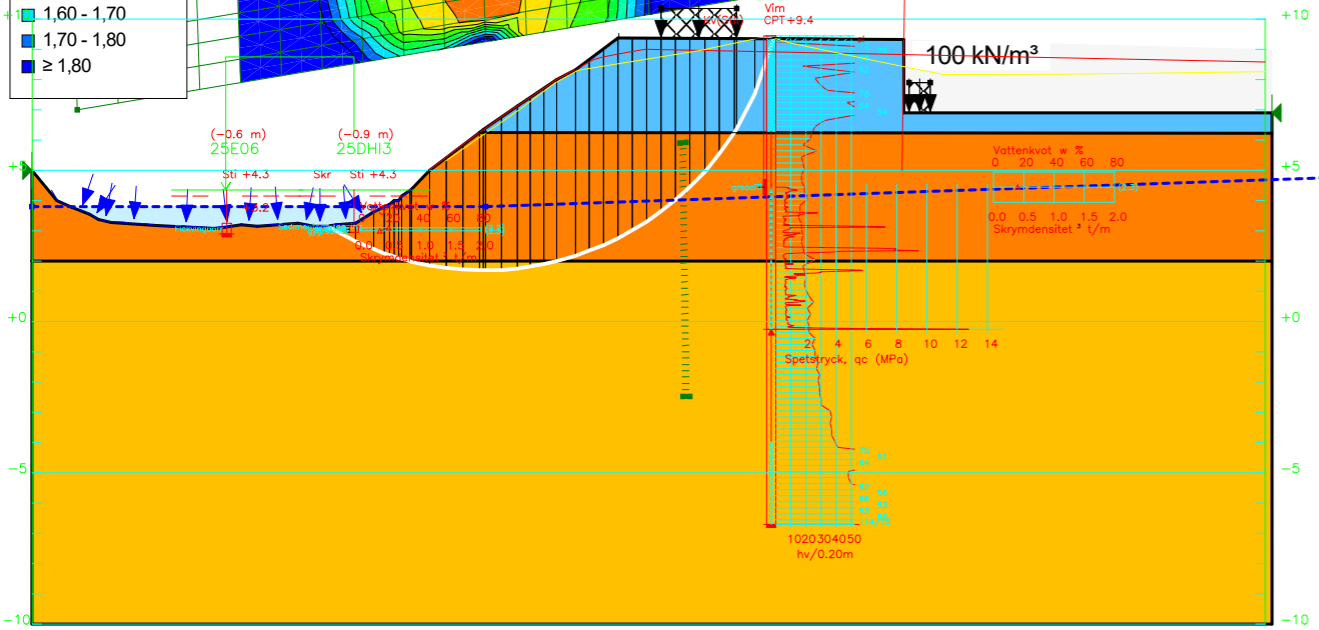
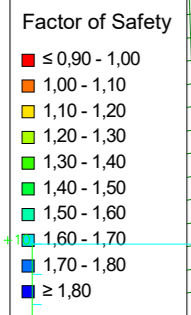
Skala: 1:250

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-29



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4	18
Yellow	Lermorän mot djupet odrän.	S=f(datum)	23	2	25,3	1,6	25,3	1,6			
Orange	Lermorän odrän.	S=f(datum)	23	7	25,3	0	25,3	0			



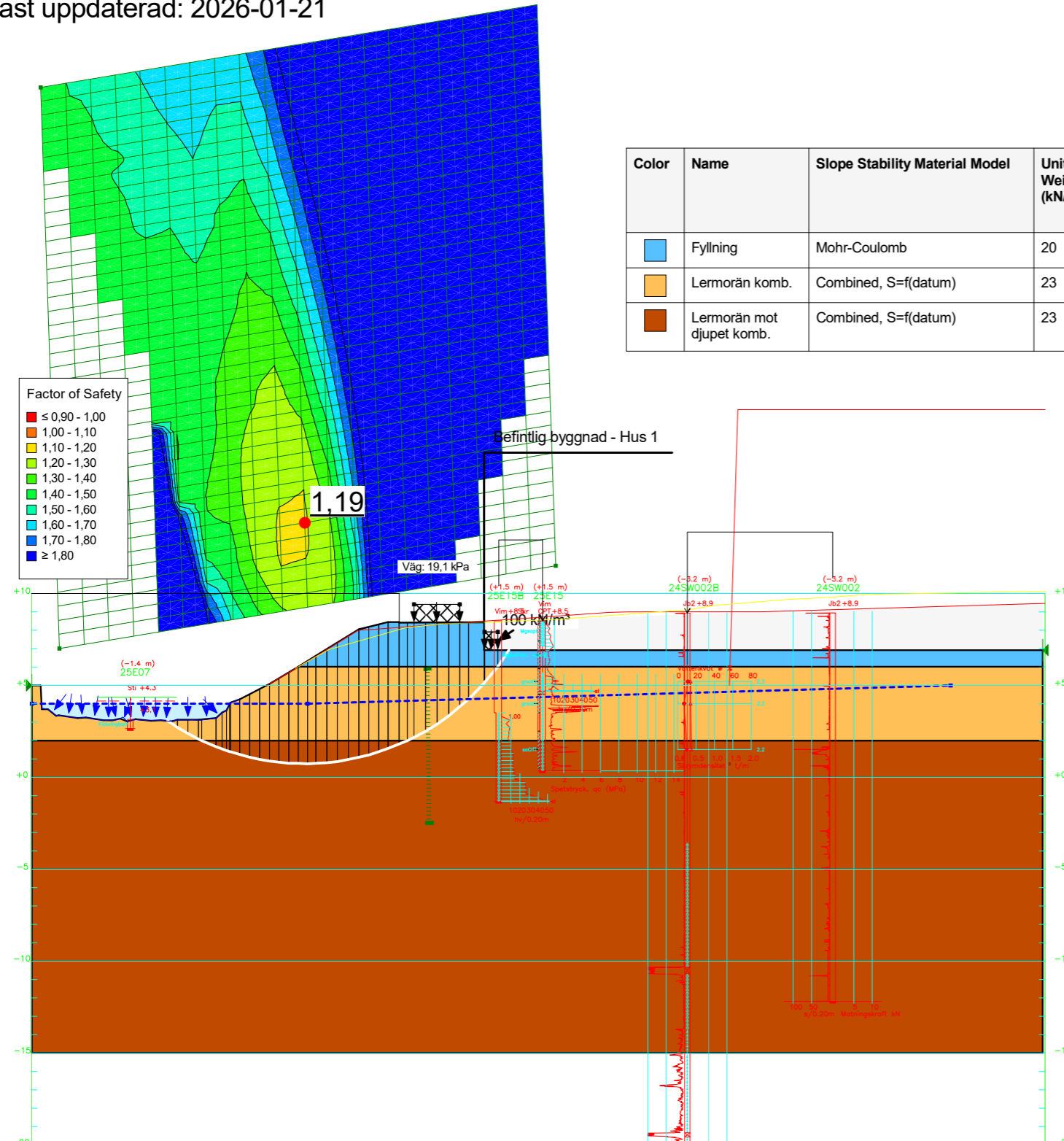
SEKTION G-G  
1: 100



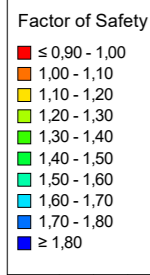
40497 Norrtälje sjukhus

Sektion H - befintlig situation  
Kombinerad analys  
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)  
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming  
Senast uppdaterad: 2026-01-21



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20	0	27,4						18
Orange	Lermorän komb.	Combined, S=f(datum)	23		28,8	7	4,2	0	25,3	0	
Brown	Lermorän mot djupet komb.	Combined, S=f(datum)	23		28,8	2	4,2	0	25,3	1,6	





40497 Norrtälje sjukhus

Sektion H - befintlig situation

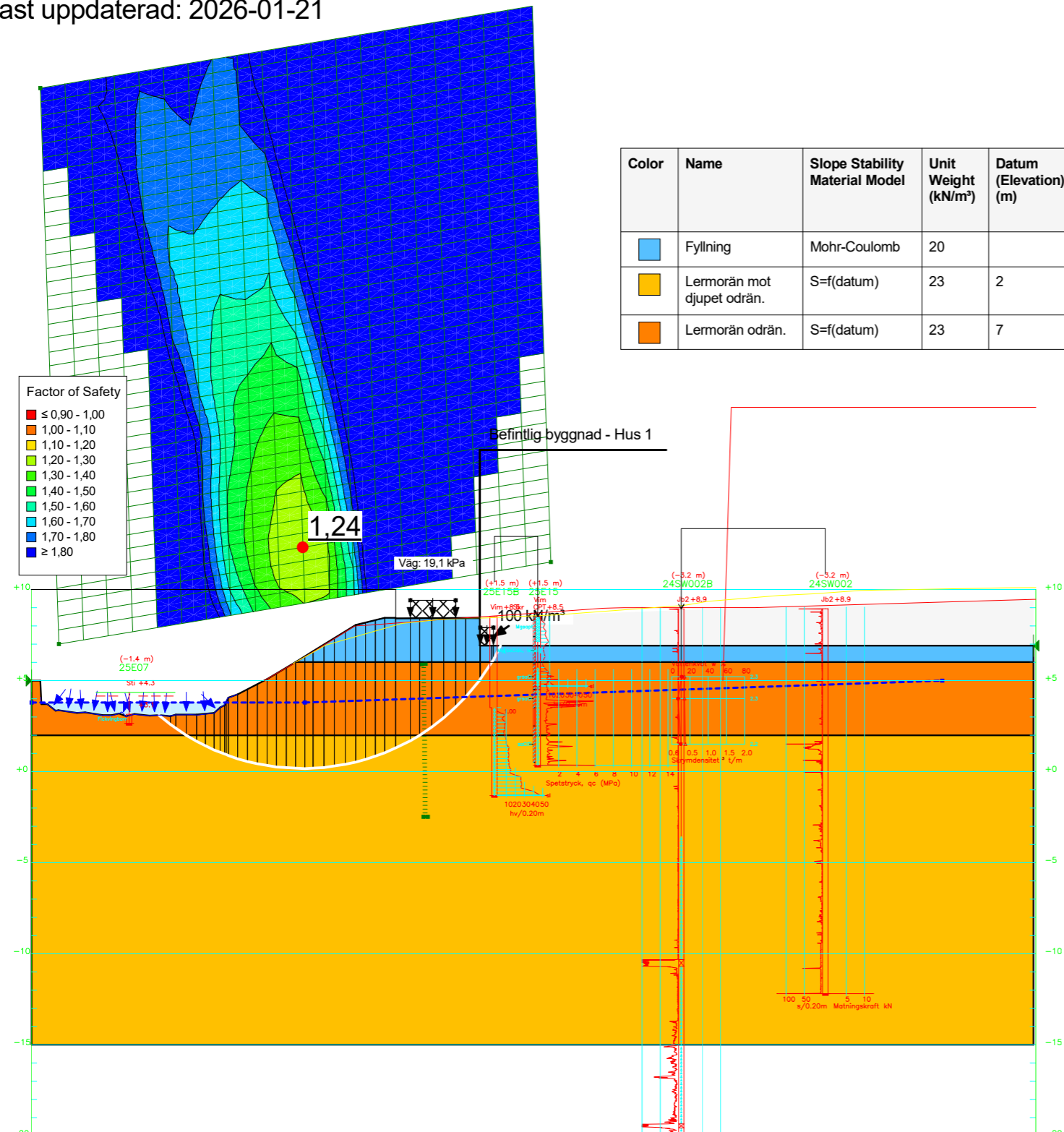
Odränerad analys

Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-21



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m³)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m³)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4	18
Yellow	Lermorän mot djupet odrän.	S=f(datum)	23	2	25,3	1,6	25,3	1,6			
Orange	Lermorän odrän.	S=f(datum)	23	7	25,3	0	25,3	0			



40497 Norrtälje sjukhus

Sektion I - befintlig situation

Kombinerad analys

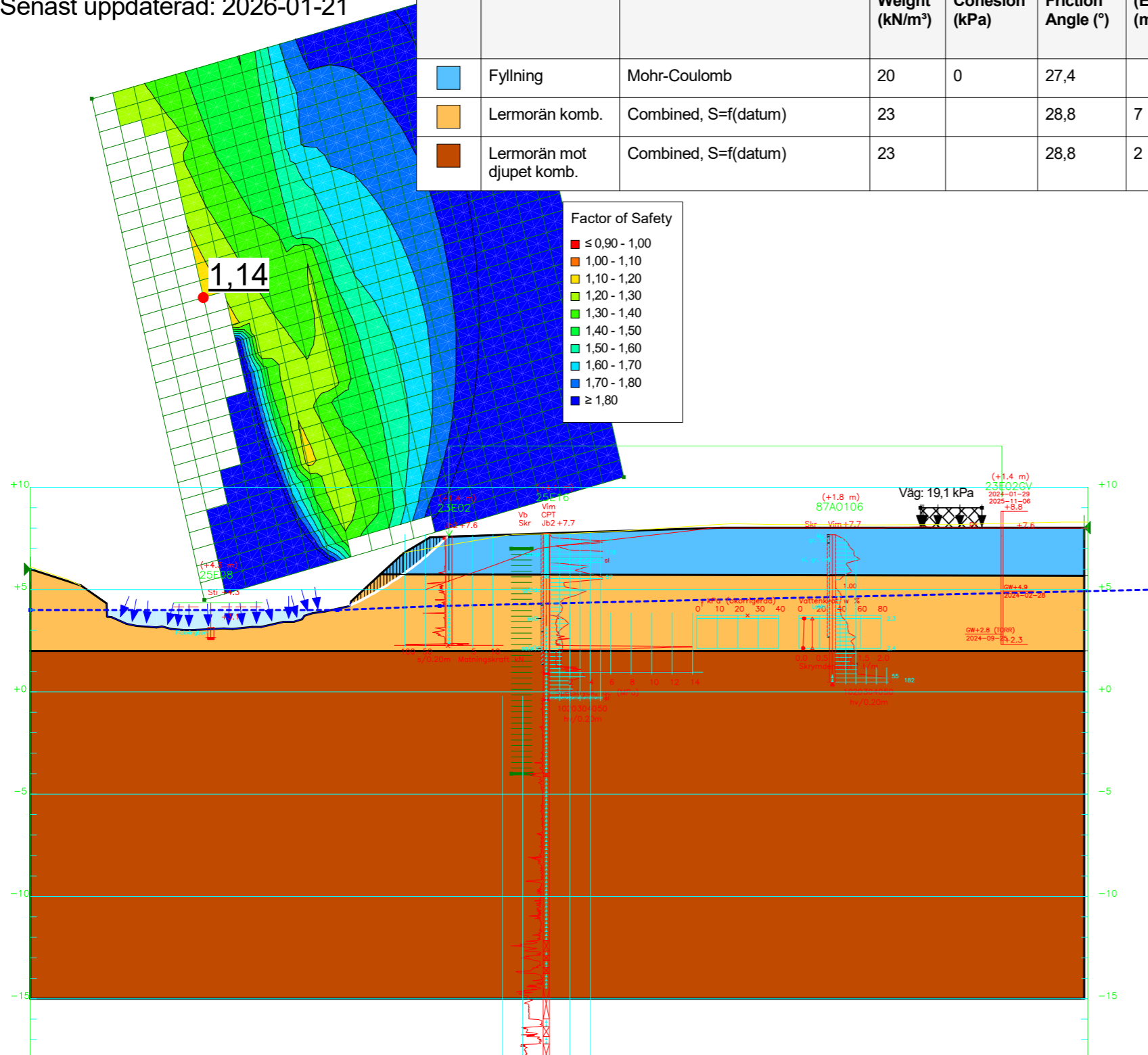
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

Skala: 1:250

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-21

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20	0	27,4						18
Orange	Lermorän komb.	Combined, S=f(datum)	23		28,8	7	4,2	0	25,3	0	
Brown	Lermorän mot djupet komb.	Combined, S=f(datum)	23		28,8	2	4,2	0	25,3	1,6	





40497 Norrtälje sjukhus

Sektion I - befintlig situation

Odränerad analys

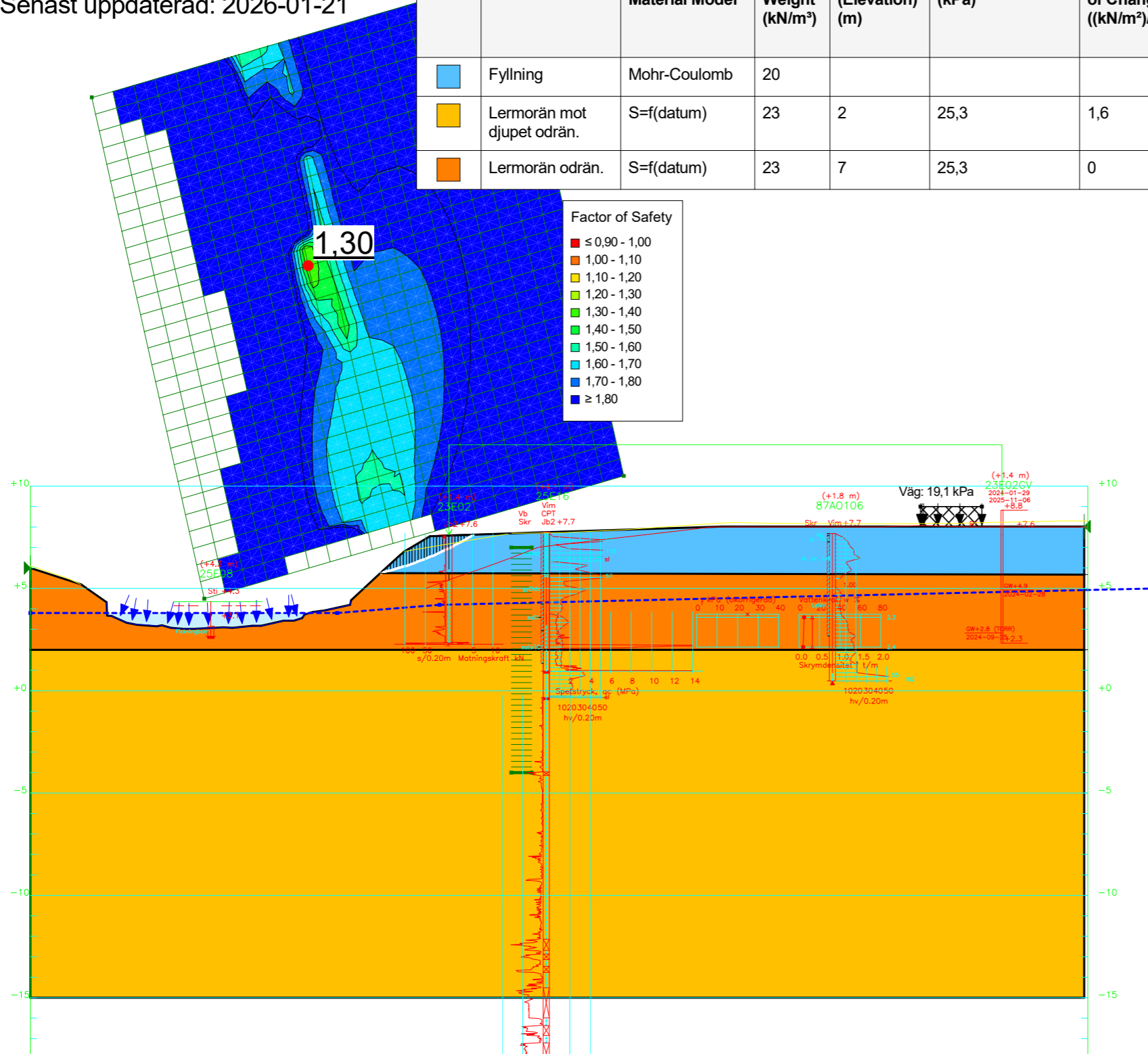
Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

Skala: 1:250

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-21

Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Constant Unit Wt. Above Piezometric Surface (kN/m <sup>3</sup> )
Light Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4	18
Yellow	Lermorän mot djupet odrän.	S=f(datum)	23	2	25,3	1,6	25,3	1,6			
Orange	Lermorän odrän.	S=f(datum)	23	7	25,3	0	25,3	0			





40497 Norrtälje sjukhus

Sektion J - befintlig situation

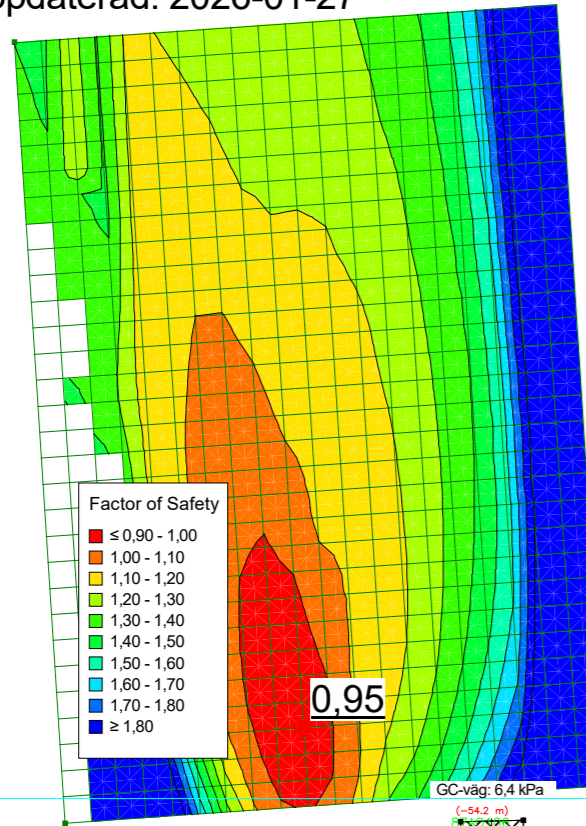
Kombinerad analys

Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

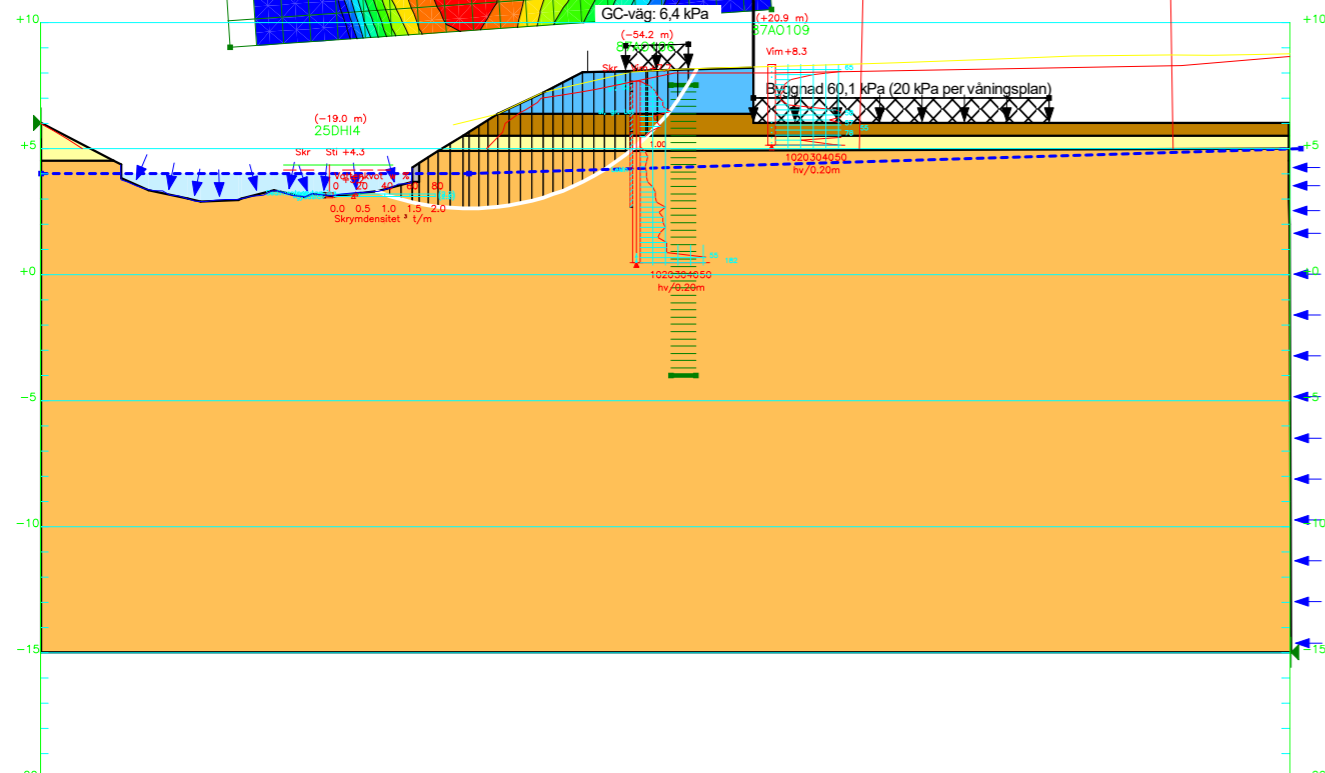
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-27



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su-Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20	0	27,4					
Yellow	Lera svagt skikt komb.	Combined, S=f(datum)	18		23,9	0	1,8	0	12,3	0
Orange	Lermorän komb.	Combined, S=f(datum)	23		28,8	4,9	4,2	0	12,3	2,6
Grey	Stödmur	High Strength	23							
Brown	Torrskorpa komb.	Combined, S=f(datum)	18		23,9	0	2,3	0	15,4	0





40497 Norrtälje sjukhus

Sektion J - befintlig situation

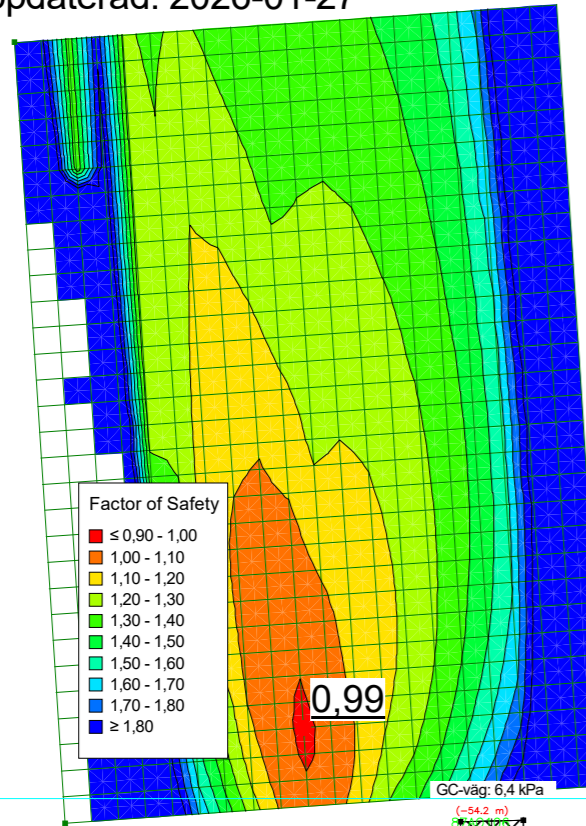
Odränerad analys

Partialkoefficientmetoden (Dim. materialparametrar)

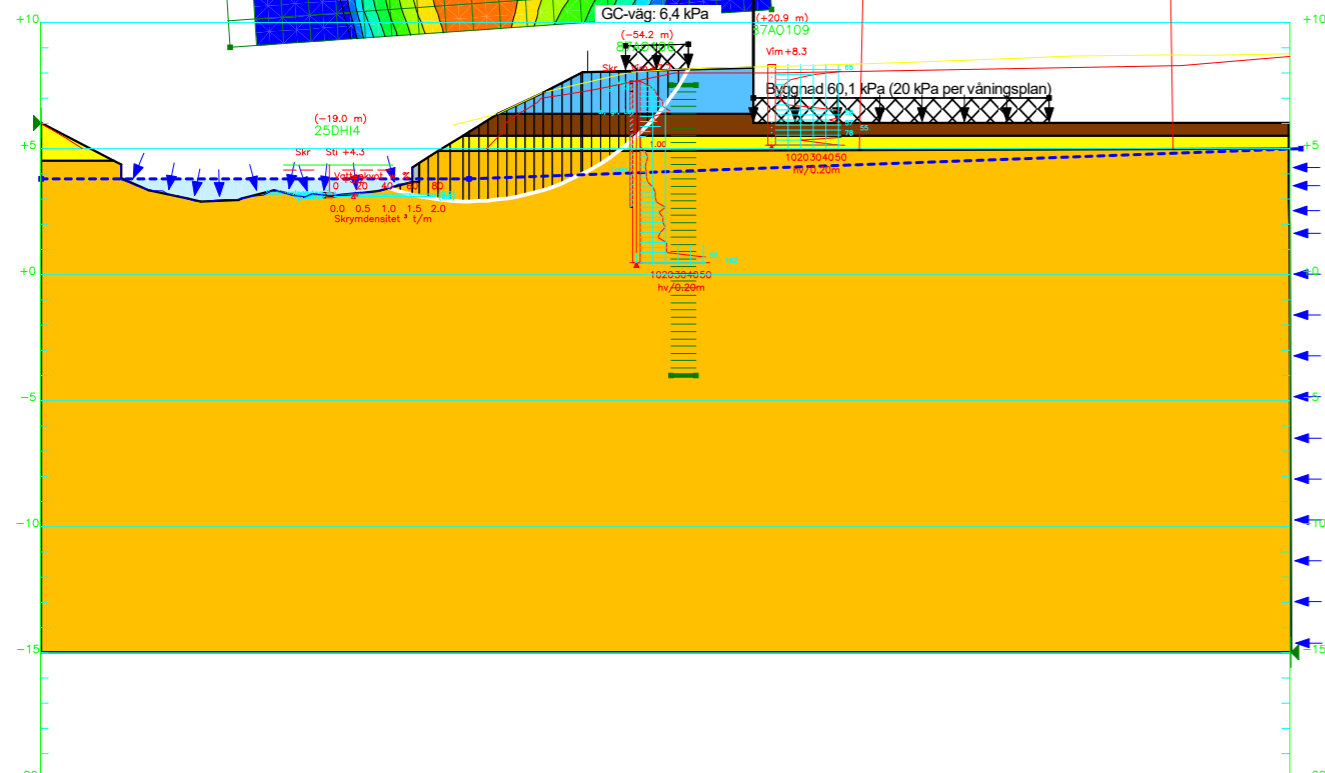
Skala: 1:300

Upprättad av: Katia Calming

Senast uppdaterad: 2026-01-27



Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Su at Datum (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
Blue	Fyllning	Mohr-Coulomb	20						0	27,4
Yellow	Lera svagt skikt odrän.	S=f(datum)	18	0	12,3	0	12,3	0		
Orange	Lermorän odrän.	S=f(datum)	23	4,9	12,3	2,6	12,3	2,6		
Grey	Stödmur	High Strength	23							
Brown	Torrskorpa odrän.	S=f(datum)	18	0	15,4	0	15,4	0		



Upprättat av  
Katia Calming

### Indata

$F_{EN} := 1.0$  Erforderlig säkerhetsfaktor enligt SS-EN 1997-1 (2.4.7.4)  
 $\gamma_{G\_stb} := 0.9$  Partialkoefficient för mothållande krafter vid verifiering av upplyft (UPL) enligt SS-EN 1997-1 A.4  
 $\gamma_{G\_dst} := 1$  Partialkoefficient för pådrivande krafter vid verifiering av upplyft (UPL) enligt SS-EN 1997-1 A.4

$\gamma_w := 10 \frac{kN}{m^3}$  Tunghet för vatten

$\gamma_{fyll} := 20 \frac{kN}{m^3}$  Tunghet för överliggande fyll

$my := 6.3 \text{ m}$  Markytans nivå

$HHW := 5.4 \text{ m}$  Högsta högvatten i Norrtäljeån

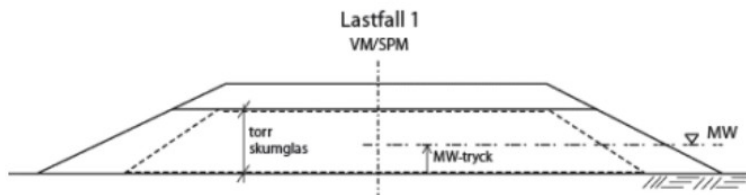
$MW := 4.3 \text{ m}$  Medelvatten i Norrtäljeån

$h_{fyll} := 0.5 \text{ m}$  Krav tjocklek fyll

$uk_{fyll} := my - h_{fyll} = 5.8 \text{ m}$  Nivå för uk fyllning

### Lastfall 1: Nyutlagd skumglas

Lastfallet behandlar torrt skumglas i kombination med medelvattnenivån enligt Figur K8.4-7.



Figur K8.4-7. Lastfall 1 motsvarar nyutlagd skumglas.

Effektiv tunghet för torrt material under MW ska sättas till  $-5,5 \text{ kN/m}^3$  och tungheten för torrt material över MW ska sättas till  $1,9 \text{ kN/m}^3$  om inte deklarerat värde visar annat.

$\gamma_{sg.\overline{u}MW} := 1.9 \frac{kN}{m^3}$  Tunghet för skumglas över MW

$\gamma_{sg.uMW} := 4.5 \frac{kN}{m^3}$  Tunghet för skumglas under MW

$h_{sg.\overline{u}MW} := uk_{fyll} - MW = 1.5 \text{ m}$  Tjocklek skumglas över MW

$h_{sg.uMW}(uk_{sg}) := MW - uk_{sg}$  Tjocklek skumglas under MW

$h_w(uk_{sg}) := MW - uk_{sg}$  Vattendjup från MW till uk skumglas

$uk_{sg} := 3 \text{ m}$

$$\frac{\gamma_{G\_stb} \cdot (\gamma_{fyll} \cdot h_{fyll} + \gamma_{sg.\overline{u}MW} \cdot h_{sg.\overline{u}MW} + \gamma_{sg.uMW} \cdot h_{sg.uMW}(uk_{sg}))}{\gamma_{G\_dst} \cdot (\gamma_w \cdot h_w(uk_{sg}))} = F_{EN}$$

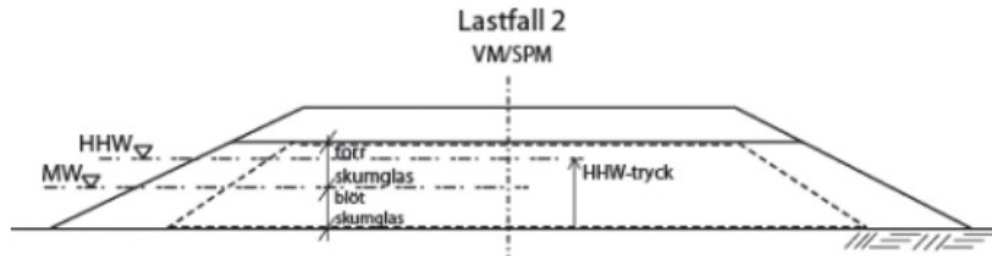
$uk_{sg,1} := \text{find}(uk_{sg}) = 2.356 \text{ m}$

$h_{sg,1} := h_{sg.\overline{u}MW} + h_{sg.uMW}(uk_{sg,1}) = 3.444 \text{ m}$

Upprättat av  
Katia Calming

## Lastfall 2: Långtidsfall

Lastfallet behandlar torrt skumglas ovan medelvattennivån i kombination med blött skumglas därunder enligt Figur K8.4-8. Under medelvattennivån ska tunghet för skumglas som legat i konstruktionen under lång tid användas.



Figur K8.4-8. Lastfall 2 motsvarar skumglas som legat i konstruktionen under lång tid.

Effektiv tunghet för blött material under MW ska sättas till  $-3,0 \text{ kN/m}^3$ , effektiv tunghet för torrt material mellan MW och HHW ska sättas till  $-5,5 \text{ kN/m}^3$  och tungheten för torrt material över HHW ska sättas till  $3,5 \text{ kN/m}^3$  om deklarerade värden inte visar annat.

$$\gamma_{sg,\ddot{o}HHW} := 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Tunghet för skumglas över HHW}$$

$$\gamma_{sg,mellan} := 4.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Tunghet för skumglas mellan HHW och MW}$$

$$\gamma_{sg,uMW} := 7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{Tunghet för skumglas under MW}$$

$$h_{sg,\ddot{o}HHW} := uk_{fyll} - HHW = 0.4 \text{ m} \quad \text{Tjocklek skumglas över HHW}$$

$$h_{sg,mellan} := HHW - MW = 1.1 \text{ m} \quad \text{Tjocklek skumglas mellan HHW och MW}$$

$$h_{sg,uMW}(uk_{sg}) := MW - uk_{sg} \quad \text{Tjocklek skumglas under MW}$$

$$h_w(uk_{sg}) := HHW - uk_{sg} \quad \text{Vattendjup från HHW till } uk_{sg}$$

Solver Constraints Values

$$uk_{sg} := 3 \text{ m}$$

$$\frac{\gamma_{G\_stb} \cdot (\gamma_{fyll} \cdot h_{fyll} + \gamma_{sg,\ddot{o}HHW} \cdot h_{sg,\ddot{o}HHW} + \gamma_{sg,mellan} \cdot h_{sg,mellan} + \gamma_{sg,uMW} \cdot h_{sg,uMW}(uk_{sg}))}{\gamma_{G\_dst} \cdot (\gamma_w \cdot h_w(uk_{sg}))} = F_{EN}$$

Solver

$$uk_{sg,2} := \text{find}(uk_{sg}) = 3.296 \text{ m}$$

$$h_{sg,2} := h_{sg,\ddot{o}MW} + h_{sg,uMW}(uk_{sg,2}) = 2.504 \text{ m}$$

## Resultat

$$uk_{sg,dim} := \max(uk_{sg,1}, uk_{sg,2}) = 3.296 \text{ m} \quad h_{sg,dim} := uk_{fyll} - uk_{sg,dim} = 2.504 \text{ m}$$

Största tillåtna tjocklek av skumglas med hänsyn till upplyft är 2,5 m

## Erosionsutredning - Norrtäljeån

Beräkning av vattennivåer och erosionsrisk i Norrtäljeån

Rapport  
Projekt No. 12806206

**2026-01-23**

Framtagen för: Norrtälje kommun





## Erosionsutredning - Norrtäljeån

Rapport  
Projekt No. 12806296

Framtagen för: Norrtälje kommun  
DHI har utfört uppdraget som underkonsulter till ELU

Projektansvarig:	Charlotta Lövestedt
Kvalitetsansvarig:	Charlotta Lövestedt
Författare:	Anna Adell
Projekt No.:	12806296
Datum:	23 januari 2026
Revision:	Version 1.0



## Förord

Projektet har samordnats och projektlets av Charlotta Lövestedt, Fil.Dr i Teknisk Vattenresurslära, och civ.ing i Ekosystemteknik. Charlotta är specialist på bedömning av erosion- och översvämningsrisk i vattendrag och har varit inblandad i flera projekt på DHI som rör beräkningar av erosion i vattendrag, bland annat uppdrag för SGI. Charlotta deltog i fältbesöket i Norrtälje i november 2025 och gjorde mätningar tillsammans med Peab, som legat till grund för modelluppsättning och analyser inom projektet.

Dr Nguyen Van Khanh Triet (DHI i Tyskland) är specialist på hydraulisk modellering i vattendrag och har varit ansvarig för modelleringen i projektet. Triet har lång erfarenhet av att utföra numerisk modellering i 1D och 2D inom liknande projekt, framför allt i Tyskland, med fokus på flödes- och erosionsdynamik i vattendrag.

Anna Adell, Fil.Dr i Teknisk Vattenresurslära och civ.ing i Ekosystemteknik, är specialist på sedimenttransportprocesser i naturliga system och har arbetat som handläggare i projektet. Anna och Charlotta har varit assisterande till Triet under modelleringen och vid de antaganden som gjorts. Anna har varit ansvarig för att sammanställa rapporten, resultat och slutsatser i samarbete med Charlotta.

Projektet har genomförts under hösten 2025 och vintern 2025/2026. Under projektet har DHI samarbetat med Nadia Larsson och Katia Calming på ELU. Avstämningar och diskussion har skett löpande under projektet, genom digitala möten via Teams. Tillsammans med ELU har DHI även deltagit i externa möten med bland annat Norrtälje kommun.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Metod</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Beskrivning av vattendraget</b> .....	<b>7</b>
3.1	Tillgängliga data och tidigare utredningar .....	8
3.1.1	Flödesdata .....	8
3.1.2	Översvämningsskartering.....	9
3.1.3	Vattenståndsmätningar.....	9
3.1.4	Historisk utveckling.....	10
3.1.5	Klimatpåverkan .....	12
<b>4</b>	<b>Fältbesök</b> .....	<b>13</b>
4.1	Visuella bedömningar .....	13
4.2	Inmätningar topografi och batymetri.....	14
4.3	Sedimentprovtagning och bottenkaraktärisering.....	15
<b>5</b>	<b>Hydraulisk modellering</b> .....	<b>20</b>
5.1	Modellering 1D - vattennivåer .....	20
5.1.1	Modelluppsättning .....	20
5.1.2	Kalibrering och validering .....	21
5.1.3	Scenarier .....	22
5.1.4	Resultat 1D .....	23
5.2	Modellering 2D – strömhastighet och bottenskvivspänning .....	24
5.2.1	Modelluppsättning .....	24
5.2.2	Kalibrering och validering .....	25
5.2.3	Scenarier .....	25
5.2.4	Resultat 2D .....	26
<b>6</b>	<b>Avslutning</b> .....	<b>29</b>
6.1	Diskussion .....	29
6.2	Sammanfattning och slutsatser .....	29
6.3	Möjliga framtida utredningar.....	30
<b>7</b>	<b>Referenser</b> .....	<b>32</b>
	<b>Bilaga A – Kornstorleksfördelning</b> .....	<b>i</b>
	<b>Bilaga B – Valideringsresultat 1D-modell</b> .....	<b>iv</b>

# 1 Inledning

Erosion i vattendrag är en naturlig och ständigt pågående process där strömmande vatten transporterar sediment (Statens Geotekniska Institut, 2025a). Denna dynamik formar landskapet men kan också medföra risker för bebyggelse och infrastruktur, särskilt om markområden eroderar bort eller om slänter försvagas, vilket ökar risken för ras och skred (Statens Geotekniska Institut, 2025a).

Förutsättningarna för erosion styrs av flera faktorer, bland annat den geologiska sammansättningen i området och sedimentens egenskaper på botten och längs slänterna (Boverket, 2025). Den kraft som strömmande vatten utövar på vattendragets kanter är den drivande mekanismen, där medelflöden och framför allt höglödeshändelser har störst potential att flytta sediment. Lokal erosion kan även uppstå kring hårda strukturer, såsom bropelare eller andra konstruktioner.

När ett vattendrag rinner igenom eller angränsar till ett detaljplaneområde behöver en bedömning göras om det finns förutsättningar för erosion (Statens Geotekniska Institut, 2025a). Vid utredning av erosionsförhållandena studeras erosionen i den rådande situationen samt om och hur erosionen förväntas förändras i framtiden. Klimatförändringar bedöms medföra till förändringar i vattennivåer och flödesförhållanden, vilket kan påverka framtida erosionsrisker (Boverket, 2025).

En utbyggnad av sjukhuset i Norrtälje planeras. Marken som planeras för utbyggnaden är parkeringsytan väster om det befintliga sjukhusområdet. Det antagna planområdet vetter mot Norrtäljeån, se Figur 1-1. ELU har haft i uppdrag att analysera de geotekniska förutsättningarna, och DHI har på uppdrag av ELU beräknat erosionsrisk på botten av vattendraget. Utredningen av erosionen i vattendraget har gjorts i enlighet med vägledning framtagen av SGI (Statens Geotekniska Institut, 2025a). Samt att beräkna vattennivåer och flödes hastigheter vid olika scenarier, i och med att nivån i vattendraget påverkar stabilitetsberäkningarna.



**Figur 1-1: Karta som visar översikt över sjukhusområdet i Norrtälje. Det markerade området motsvarar planområdets utbredning (ej exakt gräns) som angränsar till Norrtäljeån där pilen indikerar flödesriktningen i vattendraget.**

## 2 Metod

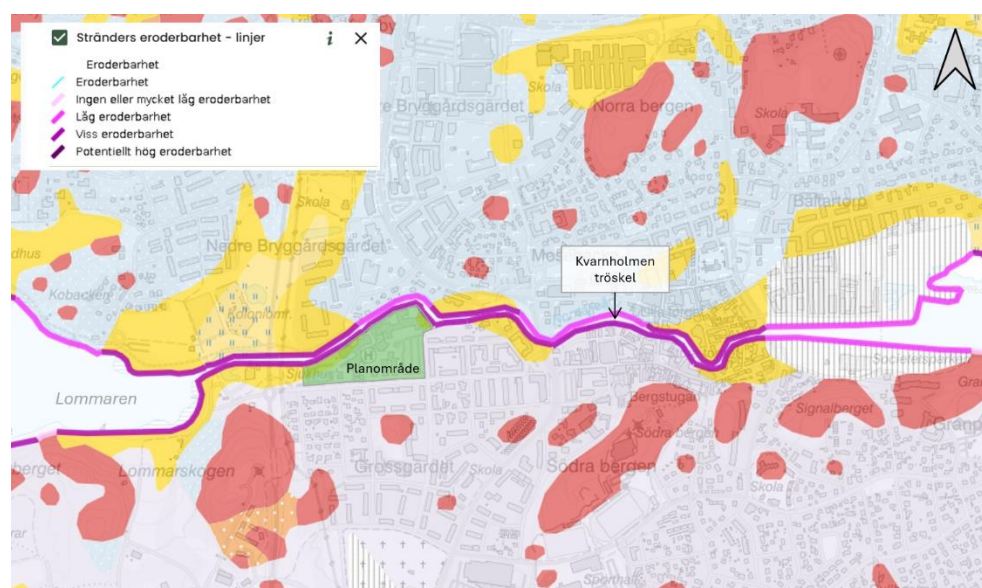
Metoden som använts för att utföra uppdraget har utformats i enlighet med SGI:s vägledning för utredning av erosion i vattendrag (Statens Geotekniska Institut, 2025a) och består av följande moment:

1. Inledande skrivbordsstudie för att samla tillgängliga data och tidigare utredningar och litteratur. Syfte att ge en översiktlig beskrivning av erosionsförhållandena, inklusive historisk utveckling och möjlig klimatpåverkan.
2. Fältbesök med mätningar att använda för mer detaljerad analys av vattendraget och studieområdet.
  - a. Visuella bedömningar av pågående erosion
  - b. Inmätningar topografi och batymetri
  - c. Sedimentprovtagning och bottenkaraktärisering
3. Modellering av scenarier för att beskriva nuvarande och framtida situation, då hänsyn tas till framtida klimatpåverkan. Det utgör en fördjupad analys erosionsförhållandena.

### 3 Beskrivning av vattendraget

Norrtäljeåns avrinningsområde omfattar ca 350 km<sup>2</sup> och markanvändningen domineras av skog, andelen jordbruksmark är 24 % och 7 % av markytan i avrinningsområdet är sjöar (SMHI, 2025a). Norrtäljeån rinner från sjön Lommaren och mynnar ut i Norrtäljeviken. Totalt är vattendraget ca 2 km långt, mätt från nedre delen av sjön Lommaren och mynningen vid Norrtäljeviken, och rinner genom de centrala delarna av Norrtälje.

Geologin i området kring vattendraget består av glacial lera och moränlera, se Figur 3-1. Enligt kartläggning av ras, skred och erosion som presenteras av SGI har sträckan längs vattendragets södra utbredning, den sidan som vetter mot sjukhusområdet, klassats att ha "Viss eroderbarhet" (Statens Geotekniska Institut, 2025a), se Figur 3-1.



**Figur 3-1: Geologisk sammansättning i området, gul är glacial lera, ljuslila är moränlera och ljusblå är ledig morän (SGU). Linjerna längs kanterna av vattendraget visar sträckans eroderbarhet. Källa: © SGI Geodatasamverkan. Planområdet är markerat i grönt.**

Vattendragets form och karaktär är mestadels naturligt, med lätt meandering. Längs några sträckor inne i staden är bankarna längs ån hårdgjorda. I stor utsträckning är vattendraget kantat av tät vegetation, med buskar och träd.

Längre ner längs vattendraget, cirka 500 m nedströms sjukhusområdet (mätt från östra kanten av planområdet), finns reglering med en gammal kraftstation, luckor och tröskel vis Kvarnholmen. Bilder av dessa visars i Figur 3-2.



**Figur 3-2: Bild över tröskel och den gamla kraftstationen vid Kvarnholmen (vänster) samt luckorna (höger). Foto: DHI**

### 3.1 Tillgängliga data och tidigare utredningar

#### 3.1.1 Flödesdata

Flödesdata finns att ladda ner via SMHI:s Vattenweb, som har tagits fram genom deras modell S-HYPE (SMHI, 2025a). Versionen av S-HYPE som har använts är "s-hype2022\_version\_2022\_1.1.1". Delavrinningsområdet heter "Utloppet av Lommaren" har ID. 7557. Datan utgörs av dygnsvärden för naturligt och stationskorrigerat flöde för perioden 2010–2025. Det finns även flödesstatistik (MHQ, MQ och MLQ) beräknat för perioden 1991–2020, dessa visas i Tabell 3-1 och definieras på följande sätt:

- **MHQ = Medelhögvattenföring** – Den genomsnittliga vattenföringen under perioder med höga flöden. Representerar typiska högflödessituationer.
- **MQ = Medelvattenföring** – Den genomsnittliga vattenföringen under hela perioden. Motsvarar det vanligaste måttet på normal vattenföring i vattendraget.
- **MLQ = Medellågvattenföring** – Den genomsnittliga vattenföringen under perioder med låga flöden. Representerar typiska lågflödessituationer.

**Tabell 3-1: Flödesstatistik från S-HYPE hämtat på SMHI:s Vattenweb (SMHI, 2025a).**

Flödesstatistik	Total stationskorrigerad vattenföring [m <sup>3</sup> /s]
MHQ (1991–2020)	8,69
MQ (1991–2020)	2,12
MLQ (1991–2020)	0,34
Lägsta flöde i tidsserie med dygnsvärde (2010–2025)	0,11

Inom ramen för uppdraget presenteras beräkningar av vattenståndet i vattendraget vid olika flöden, som representerar olika statistiska nivåer, dessa är:

- **HHW = High High-Waterlevel** - Den högsta återkommande höga vattennivån, representerar extrema högvatten under längre tidsserier. Vi har antagit att det sker vid ett flöde med en återkomsttid av 100 år.
- **MHW = Mean High-Waterlevel** - Medelvärdet av alla högvattennivåer under en längre period, representerar en typisk högvattennivå.
- **MW = Mean Waterlevel** - Den genomsnittliga vattennivån över tid, representerar medelvattennivån.
- **MLW = Mean Low-Waterlevel** - Medelvärdet av alla lågvattennivåer över en längre period, representerar en typisk lågvattennivå.
- **LLW = Low Low-Waterlevel** - Den lägsta återkommande lågvattennivån. Representerar extrema lågvattensituationer.

### 3.1.2 Översvämningskartering

På uppdrag av MSB, har WSP gjort en tidigare översvämningskartering för Norrtäljeån (MSB, 2015). MIKE11 användes för att undersöka översvämningsutbredning vid olika flöden. Modellområdet täcker sträckan Husby-Sjuhundra till mynningen i havet, ett område där vattendragets väg genom de centrala delarna av Norrtälje ingår. Från denna kartering har vi hämtat flödesdata som motsvarar ett en högflödeshändelse med en återkomsttid av 100 år. I karteringen finns också beräknade vattennivåer i tvärsnitt. För att göra en uppdaterad modelluppsättning i MIKE+ och utföra simuleringar i det aktuella uppdraget, kompletterade vi med ett par tvärsnitt från den äldre uppsättningen från MSB (2015). En detaljerad beskrivning av modelluppsättningen presenteras i kapitel 5 Hydraulisk modellering.

**Tabell 3-2: Data med sammanställda flödesnivåer som användes i MSB:s översvämningskartering (MSB, 2015).**

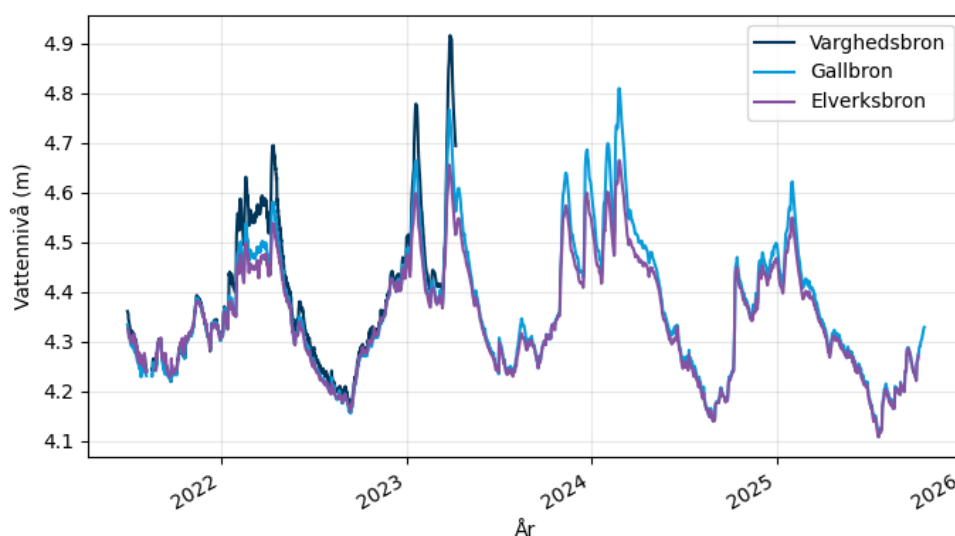
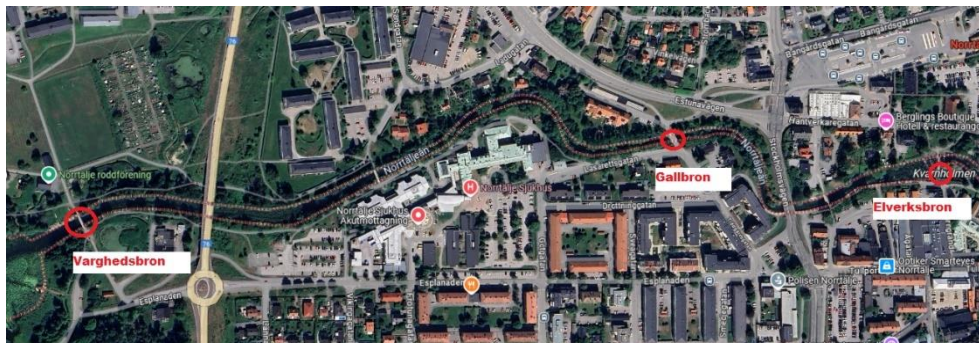
Plats för beräknat flöde	Dagens klimat		Med hänsyn till klimatscenarier			
	100-årsflöde [m <sup>3</sup> /s]	BHF [m <sup>3</sup> /s]	100-årsflöde högsta [m <sup>3</sup> /s]	100-årsflöde [m <sup>3</sup> /s]	200-årsflöde högsta [m <sup>3</sup> /s]	200-årsflöde [m <sup>3</sup> /s]
Husbyån vid pegel Finsta	7,8	-	8	7	9	8
Mynning i Ålands hav	23	65	23	21	25	23

### 3.1.3 Vattenståndsmätningar

Kommunen har tillgång till nivåmätningar i ån från mätstationer vid de tre broarna Varghedsbron, Gallbron och Elverksbron, se kartan nedan. Dessa observationer har använts för kalibrering och validering av modellen som satts upp inom ramen för uppdraget, och presenteras i kapitel 5 Hydraulisk modellering.

Tidsserie med data över vattennivån vid de tre stationerna visas i Figur 3-3. Data finns tillgänglig för perioden 2021-06-29–2025-10-08. Notera dock att det saknas data vid Varghedsbron från och med 2023-04-08, detta på grund av att ett fel uppstod med mätaren, felaktiga värden har filterats bort. Där kan man se att nivån i ån har tydlig säsongsvariation, med högre nivåer under vinterhalvåret och lägre nivå under sommarmånaderna. Detta mönster beror

främst på att nederbörden och markvattenmättnaden generellt är högre under vintern, vilket ger större avrinning, medan sommarens torrare perioder leder till lägre flöden och därmed lägre vattennivåer. Under året ligger nivån mellan ungefär 4,2–4,6 m, och enskilda toppar som är över 4,6 m förekommer.



Figur 3-3: Tidsserier med observerade vattennivåer i Norrtäljeån vid mätstationerna Varghedsbron, Gallbron och Elverksbron.

### 3.1.4 Historisk utveckling

Vattendragets utbredning på historiska flygbilder tyder på att åns läge och slänter har varit stabila över lång tid. Exakt digitalisering av strandlinjerna försvåras på grund av tät vegetation. Lokal erosion eller försvagning av slänterna kan ha ägt rum, men inte i den omfattning som går att identifiera någon förskjutning av strandlinjen på flygbilder. Enligt detta bedöms att erosionen längs vattendraget är begränsad, och att vattendraget i stort är stabilt.

Detta har att göra med att materialet i området intill vattendraget domineras av moränlera och glacial lera, som är mer svåreroderat än exempelvis sand och grusmaterial. Vegetationen intill vattendraget har också en stabiliserande effekt samt att det finns erosionsskydd på vissa sträckor.



**Figur 3-4: Flygbilder över området, hämtade från Eniros karttjänst**  
<https://www.eniro.se/kartor?compare=historic&l=aerial>

På historiska fotografier kan man se att längs en sträcka vid den östra sidan om sjukhuset (detta motsvarar östra slutet av det aktuella planområdet) har en stenmur anlagts i kanten på slänten av vattendraget, Figur 3-5. Det framgår inte varför denna förstärkning har anlagts, men den har sannolikt en lokalt stabiliserande effekt på slänten. Dessa stenskoningar finns kvar idag. Man skulle kunna anta, eftersom sjukhuset varit belägen på samma plats länge, att om det varit ett betydande erosionsproblem längs sjukhussidan, så borde det ha gjorts ett hårt erosionskydd på samma sätt som detta anlagts på andra sidan vattendraget.



**Figur 3-5: Sjukhusanläggningen sedd från öster. Källa: Locum (okänt datum)**

### 3.1.5 Klimatpåverkan

Tabellen i Tabell 3-3 presenterar beräknad förändring av framtida medelvattenföring (%) hämtad via SMHI:s klimatscenariotjänst för hydrologi (SMHI, 2025b). Mot slutet av seklet (2071–2100) visar prognoserna, för scenariot RCP8,5, att medelvattenföringen i Norrtäljeån förväntas minska. Detta förklaras främst i ändrade nederbördsmonster, främst minskad snömängd och tidigare snösmältning som påverkar vårflöden. Ökade temperaturer leder också till högre avdunstning och ökad risk för torra.

Dock visar prognoserna att det är stora skillnader i de mest extrema värdena med ökning i maxvärden på +30,52 % och minskning i minvärden på -30,04 %. Det är dessa faktorer som har använts för att ta hänsyn till klimatpåverkan under extrema låg- och högflödesändelser. Beräknad förändring av vattenföring i procent används för att uppskatta framtidsscenarioer för LLW och HHW som simuleras i modelleringen (kapitel 5).

**Tabell 3-3: Prognoser (RCP8,5) för framtida vattenföring i Norrtäljeån (SMHI, 2025b).**

#### Vattenföring (medel) (%)

Norrtäljeån, RCP8,5, år, Nuvarande regleringar

	Max	P <sub>75</sub>	Medel	Median	P <sub>25</sub>	Min
2011-2040	+18,41	+2,49	+1,64	+0,14	-4,22	-10,61
2041-2070	+19,80	-2,01	-2,04	-4,43	-6,42	-17,42
2071-2100	+31,52	-2,81	-7,76	-10,77	-15,17	-30,04

Framtida erosionsförhållanden kan komma att påverkas vid förändrad vattenföring i ån. Vid bedömning av erosionsrisk är det främst högflödesändelser är av betydelse för det innebär större strömhastigheten och mer potential att mobilisera sediment. För släntstabilitet är det främst lågflödesändelser som kan ge högre risk för ras/skred eftersom det är mindre mothåll från vattenmassorna i ån. För bedömning av framtida risker har den beräknade vattenföringen utgått från min- och maxförändring (Tabell 5-1) som applicerats till hög- och lågflödena.

## 4 Fältbesök

### 4.1 Visuella bedömningar

Den 4 november 2025 utförde DHI, tillsammans med Peab, platsbesök och gjorde fältundersökningar i studieområdet längs vattendraget. Syftet var att göra visuella bedömningar av vattendragets karaktär, vegetationstäckning, eventuell pågående erosion samt var det finns strukturer med stabiliserande effekt.

Figur 4-1 visar en översikt av den aktuella sträckan av Norrtäljeån. Från väster mot öster finns en tydlig gradient i landskapet på sjukhusområdet där det i öster är låglänt kring vattendraget och flacka slänter och i den västra delen är brantare kanter med en högre omkringliggande marknivå (de tre nedersta foton i figuren illustrerar detta). Längs hela sträckan är det mycket vegetation i slänterna, från stora träd till små buskar, allt lövträd.

Strandkanten mitt emot sjukhusområdet kantas av en stenskoning/stenmur längs hela sträckan (översta fotot till vänster). Längs sjukhusområdet kunde inget befintligt erosionskydd konstaterats mer än att det fanns rester på delar av sträckan av en äldre träpalissad några decimeter ut från strandkanten.

Det kunde noteras en viss jorderosion mellan rötter på sjukhussidan (två foton överst till höger och längst till höger). Vegetationen uppfattades också som att det stabiliserade slänten.

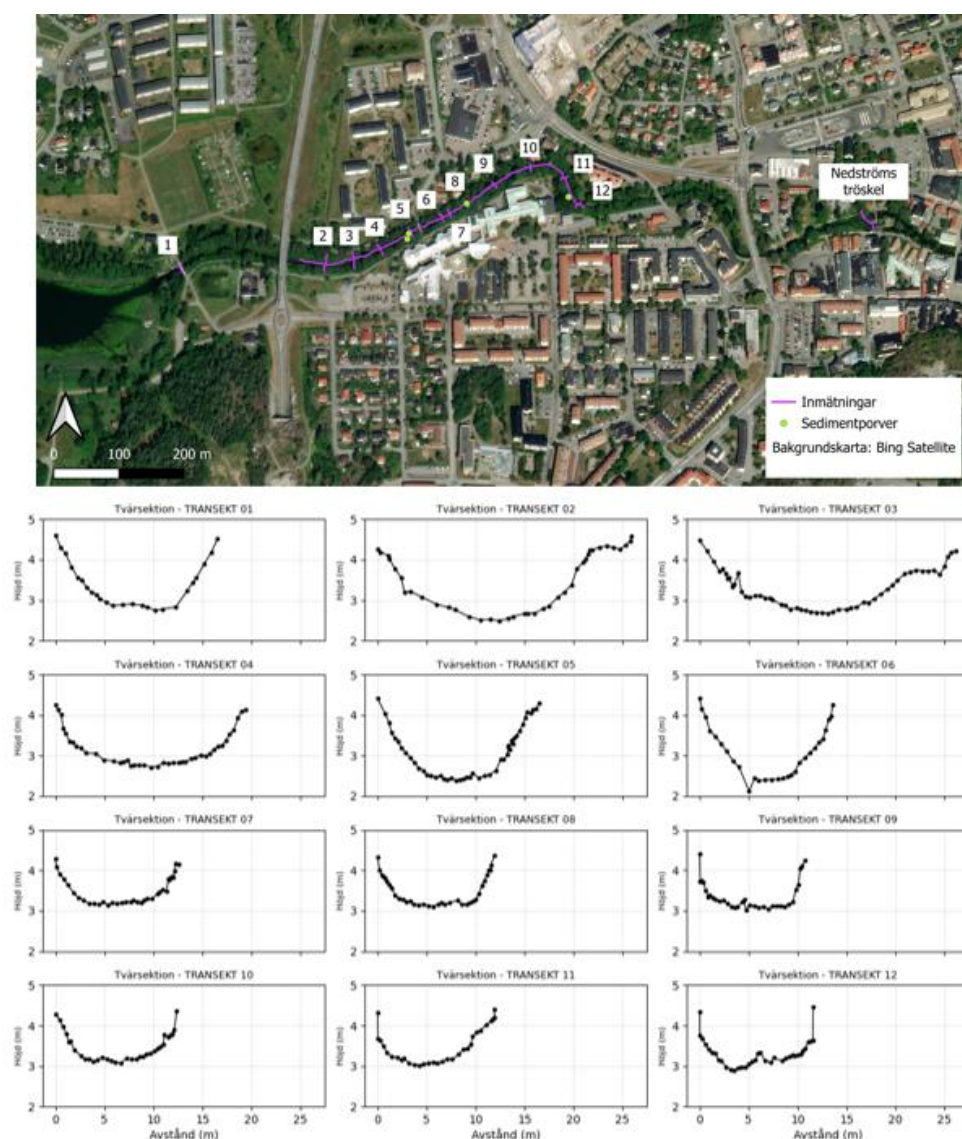


**Figur 4-1: Översikt över vattendraget och slänternas utseende längs sjukhusområdet från fältbesöket. Foton: DHI.**

## 4.2 Inmätningar topografi och batymetri

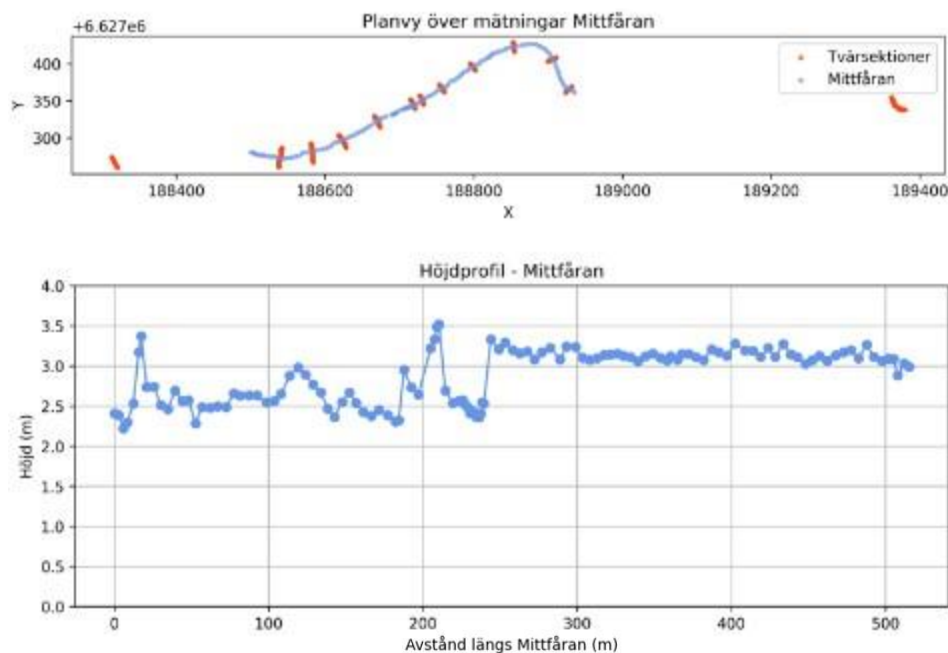
Mätningarna gjordes från en mindre roddbåt och utfördes med en GNSS-RTK-rover, som registrerar position (koordinater) och höjddata med centimeternoggrannhet. Inmätningar gjordes längs mittenfåran av vattendraget, med start i höjd med parkeringen i väster och till och med slutet av planområdet i öster, samt inmätning av 11 tvärsektioner i samma område. Placeringen för dessa mätningar visas på kartan i Figur 4-2, inklusive diagram som visar tvärsektionernas layout.

Notera att det inte är helt säkert att den inmätta mittfåran verkligen togs på den djupaste delen av ån. Efterföljande GIS-analys tillsammans med tvärsektionerna tydde dock på att den prickats relativt väl. Det var inte möjligt att se botten på ån då siktdjupet endast var någon decimeter.



**Figur 4-2: Kartan visar placering av inmätningar (höjddata och sedimentprover) som gjordes 2025-11-04. Diagrammen visar tvärsektionernas layout, där transekt 2–12 är placerade i den delen av vattendraget som angränsar till planområdet. Höger sidan i varje diagram motsvarar den del av vattendraget som är som sjukhusområdet. Höjden är angiven i RH2000.**

Diagrammen med tvärsektionerna visar att det är tydlig skillnad i vattendragets karaktär i övergången mellan transekt 6 och 7 (Figur 4-2), vilket ungefär motsvarar områdena väster och öster om Lasarettbron. Detta utseende framträder tydligt i Figur 4-3 där djupet i vattendraget har plottats längs med mittfåran. Till väster (transekt 2–6) är ån bredare och djupare. Här ligger bottenivån på ca 2,5 m RH2000. Från och med transekt 7 visar diagrammen att profilen blir grundare, här ligger bottenivån på ca 3,2 m RH2000. I den västra delen är även slänterna längs vattendraget brantare, närmast vattenlinjen är slänterna nästan vertikala. Detta medför att åns tvärsnittsarea i transekt 7–12 har är mindre jämfört med transekt 2–6.



**Figur 4-3: Höjdprofil längs vattendragets mittfåra. Alla höjddata är angivna i RH2000 och koordinatsystemet är SWEREF 99 18 00.**

### 4.3 Sedimentprovtagning och bottenkaraktärisering

Som nämnts tidigare kunde man inte se botten på vattendraget, då siktdjupet endast var någon decimeter. Bottens allmänna karaktär kunde ändå beskrivas med hjälp av GPS-stången och bottenprovtagaren (kajakrör).

Botten var hård längs hela sträckan. Huvudsakligen hårt packad lera med ett tunt lager grus på toppen. Enstaka spridda stenar (storleksordning 10 cm) kunde även noteras.

Provtagning av bottensediment gjordes i fyra punkter som visas i Figur 4-2. Det var väldigt svårt att ta proverna då botten var mycket hård, många försök gjordes utan framgång. Särskilt gäller detta sträckan mellan sedimentprov 3 och 4. Möjligen tyder bakgrundskartan på att det var något enklare att ta bottenprover (inte riktigt lika hård botten) där omgivande jordart är glacial lera jämfört med moränlera och lerig morän.

Prov 1 och 2 delades in i tre delar i djupled, ca 10–15 cm långa vardera. Prov 3 och 4 delades in i två delar då de inte var tillräckligt långa i djupled. Proven benämndes 1:1 för provpunkt 1 ytligaste delen och 1:3 för den djupaste delen. Proven analyserades med avseende på kornstorleksfördelning på ALS i Danderyd. Fullständiga analysprotokoll redovisas i Bilaga A. Foton från

sedimentproverna samt deras huvudsakliga karaktär redovisas i Figur 4-5 till Figur 4-8.



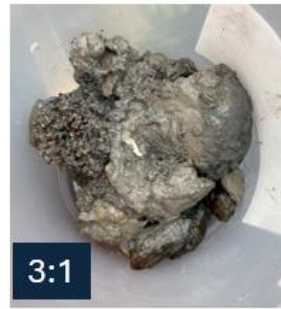
**Figur 4-4: Sedimentprovtagningpunkter tillsammans med SGUs jordartskarta (gult=glacial lera, lila=moränlera, ljusblå=lerig morän).**



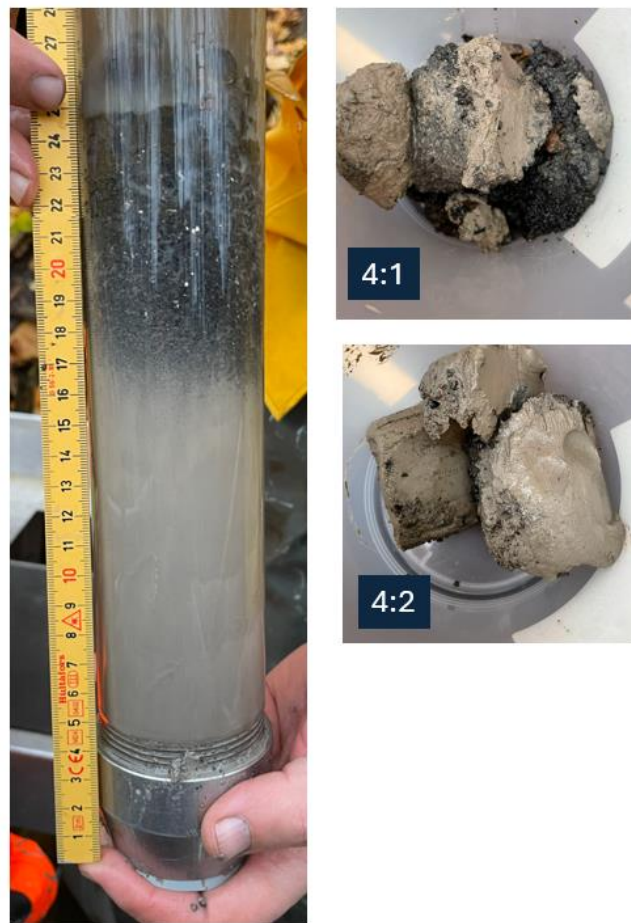
**Figur 4-5: Sedimentprov 1. 1:1: Brun, grusig, lerig, SAND med växtdelar samt skalrester. 1:2: Brun, gyttjig, sandig, siltig LERA. 1:3: Brun, gyttjig, sandig LERA.**



**Figur 4-6: Sedimentprov 2. 2:1: Grå, gyttjig, LERA med många växtdelar. 2:2: Grå, gyttjig LERA. 2:3: LERA.**



**Figur 4-7: Sedimentprov 3. 3:1: Brun, grusig SAND med skalrester. 3:2: Brun, gyttjig, grusig, sandig, lerig SILT.**



**Figur 4-8: Sedimentprov 4. 4:1: Brun, grusig, siltig SAND med skalrester. 4:2: Brun, gyttjig, sandig, siltig LERA.**

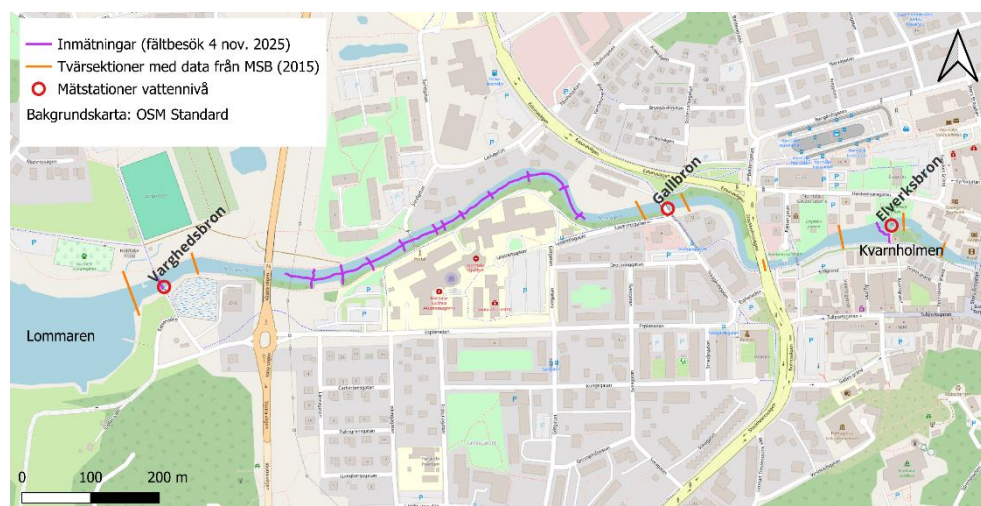
## 5 Hydraulisk modellering

### 5.1 Modellering 1D - vattennivåer

#### 5.1.1 Modelluppsättning

För att beräkna vattennivå i vattendraget vid olika scenarier av flöde och motsvarande nivå i sjön används en modell i 1D som innehåller en beskrivning av vattendraget. Modellen är uppsatt i MIKE+ och 1D-domänen sträcker sig från inloppet vid sjön Lommen till och med tröskeln vid Kvarnholmen. För att beskriva vattendragets form och karaktär i modellen har topografisk och batymetrisk data i området använts. Tvärsektionerna som mättes i fält 2025-11-04 har god täckning i området kring sjukhuset som är det aktuella planområdet för projektet. I detta område har även djupet i mittfåran längs vattendraget mätts in. För att komplettera fältmätningarna och ge täckning i de områden där det saknas inmätta tvärsektioner har data från en äldre vattendragsbeskrivning använts (MSB, 2015). Figur 5-1 visar tvärsektionernas placering där de lila linjerna är inmätta sektioner och de orangea är tvärsektioner med data från MSB (2015). Det fanns även tvärsektioner i MSB-modellen som överlappade med vårt inmätta område, men dessa avvek en del från mätningarna varvid dessa sorterades bort. Det bedöms därför att de sträckor där enbart MSB-modellens tvärsektioner används ger något sämre djupåtergivning.

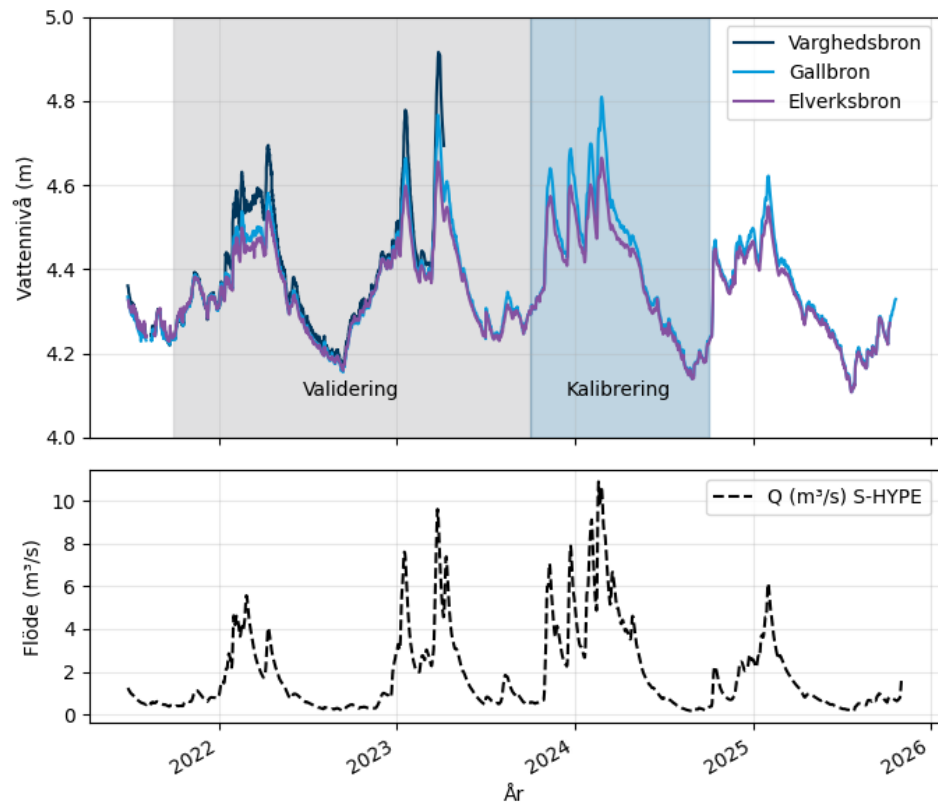
I modellen finns två strukturer beskrivna, den ena är Gallbron och den andra är tröskeln vid Kvarnholmen. Dessa strukturer kan ha en dämmande effekt på flödet i ån och är därför viktiga att representera i modellen. I MIKE+ är dessa representerade som kulvertar.



**Figur 5-1: Karta över studieområdet och domänen för 1D-modelleringen. De lila och orangea linjerna visar placeringen av de tvärsektioner som används för att beskriva vattendraget i modellen.**

## 5.1.2 Kalibrering och validering

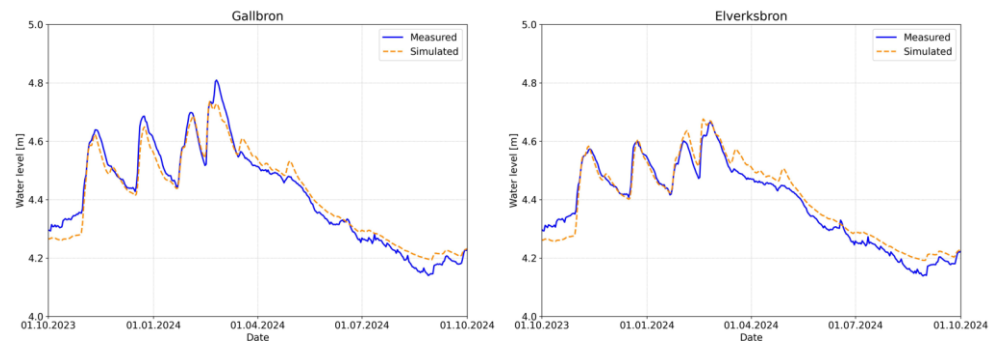
Modellen kalibrerades och validerades mot uppmätta nivåer i vattendraget från mätstationer vid de tre broarna Varghedsbron, Gallbron och Elverksbron. Dataperioden som användes till kalibreringen var ett år, 2023-10-01–2024-09-30 och då användes data från stationerna vid Gallbron och Elverksbron. Valideringsperioden var från 2021-10-01 till 2023-09-30.



**Figur 5-2: Tidsserier med observerade vattennivåer i Norrtäljeån vid mätstationerna Varghedsbron, Gallbron och Elverksbron. Valideringsperioden är från 2021-10-01–2023-09-30 och kalibreringsperioden är 2023-10-01–2024-09-30. Nedre panelen visar Total stationskorrigerad vattenföring (m<sup>3</sup>/s) från S-HYPE.**

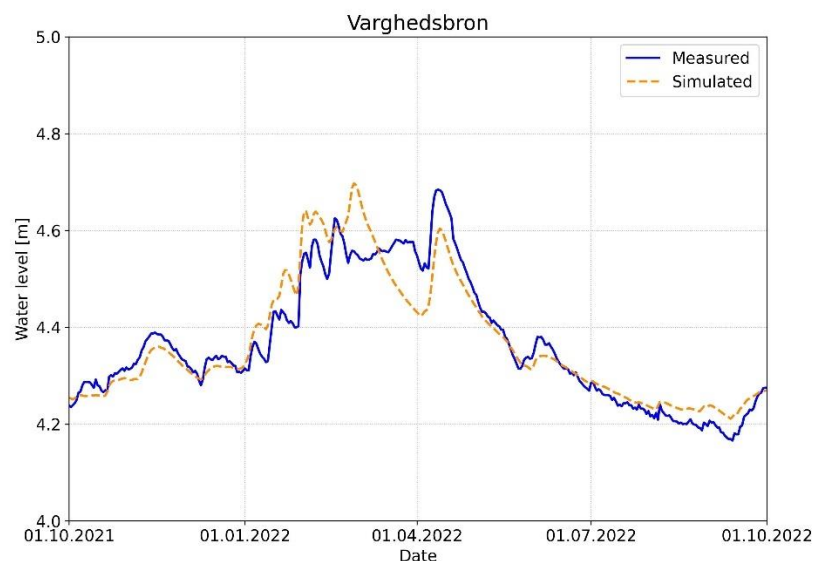
Som indata till modellen, vid kalibrering och validering, användes tidsserie med flödesdata (dygnsvärden) från S-HYPE (SMHI, 2025a) för perioden 2021–2024, total stationskorrigerad vattenföring [m<sup>3</sup>/s].

I kalibreringen ändrades parametern för bottenråhet som ansattes till 27. Detta gav bäst resultat för vattennivå vid jämförelse med de observerade nivåerna vid Gallbron och Elverksbron. Detta gav RMSE av 0,035 respektive 0,034 som motsvarar en avvikelse på ca 3,5 cm mellan observerad och modellerad vattennivå. Figur 5-3 visar jämförelse mellan modellerad och observerad vattennivå, plottat som tidsserie under kalibreringsperioden 2023-10-01 –2024-09-30.



**Figur 5-3: Jämförelse mellan modellerad (orange) och observerad (blå) vattennivå, plottat som tidsserie under kalibreringsperioden 2023-10-01 –2024-09-30.**

Resultaten från valideringen visar att simulerade nivåer i vattendraget visar god överensstämmelse vid jämförelser med observerade nivåer. Figur 5-4 presenterar resultatet för valideringen vid Varghedsbron, där modellen lyckas återskapa de observerade nivåerna. Figurer för resterande valideringsperioder och stationer samt en sammanställning av kvantitativ bedömning av kalibrering och validering av modellen finns presenterat i Bilaga B. Medelvärde av RMSE för valideringsperioden är ca 5 cm, vilket betyder att de modellerade vattennivåerna avviker 5 cm från de uppmätta nivåerna. Inget tyder på att modellen överskattar nivåerna i systemet, och likvärdiga resultat uppvisas vid alla mätstationer.



**Figur 5-4: Jämförelse mellan modellerad (orange) och observerad (blå) vattennivå vid Varghedsbron, plottat som tidsserie under valideringsperioden 2021-10-01 –2022-09-30.**

### 5.1.3 Scenarier

Den kalibrerade modelluppsättningen används för att beräkna nivåer i vattendraget vid olika flöden. De scenarier som beräknas presenteras i  $LLQ_{\text{framtid}} = Q_{\text{low}} + (Q_{\text{low}} * Min) = 0,108 - (0,108 * 0,3004) = 0,076 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabell 5-1 nedan.

Framtidsscenarierna har räknats fram genom att använda SMHI:s prognoser för framtida vattenföring (Tabell 3-3) i kombination med hög- respektive lågflödessituationerna, på följande sätt:

$$\text{HHQ\_framtid} = Q_{100} + (Q_{100} * \text{Max}) = 23 + (23 * 0,3153) = 30 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{LLQ\_framtid} = Q_{\text{low}} + (Q_{\text{low}} * \text{Min}) = 0,108 - (0,108 * 0,3004) = 0,076 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Tabell 5-1: Randvillkor för de olika scenarierna som har simulerats i 1D.**  
[HHW=High High-Waterlevel; MHW=Mean High-Waterlevel;  
MW=Mean Waterlevel, MLW=Mean Low-Waterlevel; LLW=Low  
Low-Waterlevel]

Nivå att beräkna	Flöde (m <sup>3</sup> /s)	Källa/kommentar
<b>Nuläge</b>		
HHW	23	Q100 (MSB, 2015)
MHW	8,69	MHQ (SMHI, S-HYPE Flödesstatistik 1991–2020 avrinningsområde 7557)
MW	2,12	MQ (SMHI, S-HYPE Flödesstatistik 1991–2020 avrinningsområde 7557)
MLW	0,34	MLQ (SMHI, S-HYPE Flödesstatistik 1991–2020 avrinningsområde 7557)
LLW	0,108	Lägst värdet i tidsserie med dygnsvärden (SMHI, S-HYPE stationskorrigerad avrinningsområde 7557)
<b>Framtid</b>		
HHW_framtid	30	Q100 (MSB, 2015) i kombination med SMHI prognos för framtida vattenföring
LLW_framtid	0,076	LLW (S-HYPE) i kombination med SMHI prognos för framtida vattenföring

Ett konstant flöde applicerades på uppströms randen och randen nedströms definierades som ett fritt utflöde. Simuleringstiden för varje körning ansattes till en vecka men efter bara ca 1–2 dagar körtid stabiliserade sig nivåerna i vattendraget. Data extraherades ut modellen i området vid sjukhuset och resultaten anges som medelvattennivå inom detta avsedda planområde.

#### 5.1.4 Resultat 1D

Data över vattennivå längs sjukhusområdet har extraherats från 1D-modellen, i punkter där det finns tvärsektioner. Från dessa har ett medelvärde beräknats som är representativt för hela sträckan. Den analyserade sträckan längs vattendraget, utanför sjukhusområdet är totalt ca 500 m långt, och det är ingen signifikant skillnad i beräknad vattennivå längs sträckan för respektive scenario.

I Tabell 5-2 finns en sammanställning av resultaten för de olika scenarierna som simulerats. Tabellen är uppdelad i de scenarier som motsvarar situationen för nuläge respektive framtid. För det högsta höglödesscenariot, HHW, blir nivån längs sträckan 5,2 m (max 5,3 m) i situationen nuläge och 5,4 m (max

5,5 m) i situationen framtid. I det lägsta flödesscenariot, LLW, är det ingen skillnad i nivå mellan nuläge och framtid. Den beräknade nivån är 3,8 m i båda scenarierna.

**Tabell 5-2: Sammanställning av resultat för beräknad vattennivå längs sträckan av vattendraget som planområdet vetter mot.**

Nivå att beräkna	Medel längs sträckan (m)	Max längs sträckan (m)
<b>Nuläge</b>		
HHW	5,2	5,3 (transekt 2 och 3)
MHW	4,7	-
MW	4,3	-
MLW	4,0	-
LLW	3,8	-
<b>Framtid</b>		
HHW_framtid	5,4	5,5 (transekt 2 och 3)
LLW_framtid	3,8	-

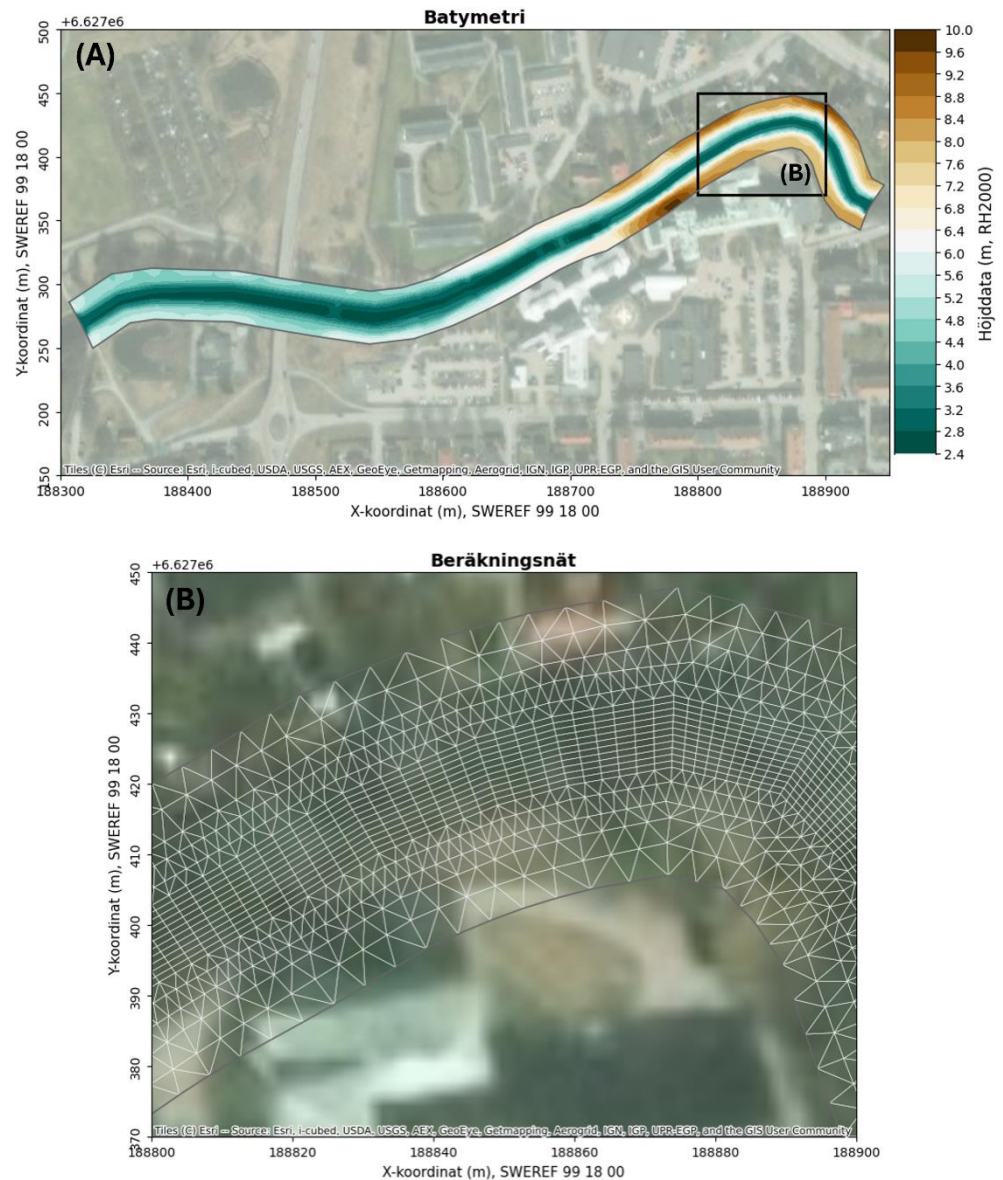
## 5.2 Modellering 2D – strömhastighet och bottenskjuvspänning

Bottenskjuvspänning representerar den kraft som strömmande vatten eller vågor utövar på botten som kan få sediment att mobiliseras. Sedimentkornen flyttar på sig om bottenskjuvspänningen överstiger *den kritiska bottenskjuvspänningen*. Kraften som vill flytta på sedimenten motverkas av sedimentens tyngdkraft och därför spelar bland annat kornstorleken roll för hur lätt eller svår mobiliserat materialet är.

För att beräkna hur strömhastigheter och bottenskjuvspänning varierar längs vattendraget krävs en 2D modelluppsättning som täcker området.

### 5.2.1 Modelluppsättning

För att beräkna strömhastighet och bottenskjuvspänning användes MIKE21 Flow Model FM. Modelldomänen i 2D täcker området vid sjukhuset som är det intressanta planområdet för uppdraget. För att beskriva vattendraget har höjddatan i tvärsnitten interpolerats på ett beräkningsnät i 2D. Beräkningsnätet omfattar vattendraget och slänterna, och utgörs av en kombination av rektangulära och triangulära beräkningsceller. Modelldomänen i 2D visas i Figur 5-5, som presenterar höjddata och beräkningsnätets struktur.



**Figur 5-5: Karta som visar utsträckning av modelldomänen i 2D. Övre kartan (A) visar höjddata, dvs topografi och batymetri i området. Den nedre kartan (B) visar en inzoomad del av beräkningsnätet vid sjukhusområdet.**

## 5.2.2 Kalibrering och validering

2D modellen justerades så att resultatet för vattennivåerna stämde överens med resultatet för den kalibrerade och validerade 1D-modellen.

## 5.2.3 Scenarier

Att beräkna strömhastighet och bottenkjuvspänning kan ge en uppskattning över de områden längs vattendraget som kan vara känsliga för erosion. Det är vid kraftiga flöden som det finns störst potential för erosion att ske eftersom det innebär högre strömhastigheter och därför en större kraft som utövas på sedimenten i vattendraget. Därför är det mest relevant att titta på de extrema scenarierna, HHW och HHW\_framtid ( $LLQ\_framtid = Q\_low + (Q\_low * Min) = 0,108 - (0,108 * 0,3004) = 0,076 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabell 5-1). Vid konstant inkommande flöde kan det dock uppstå variationer i strömshastighet längs vattendraget som beror på exempelvis vattendragets geometri, djup, förekomsten av strukturer.

Indatan på den västra randen utgörs av flödet och på randen nedströms appliceras motsvarande vattennivå som hämtas från resultatet av simuleringen i 1D. De randdata som använts vid de två körningarna är presenterade i Tabell 5-3 nedan.

**Tabell 5-3: Randvillkor för de två scenarier som har simulerats i 2D. Data för nivån på randen nedströms har hämtats från resultat av modellkörningarna i 1D.**

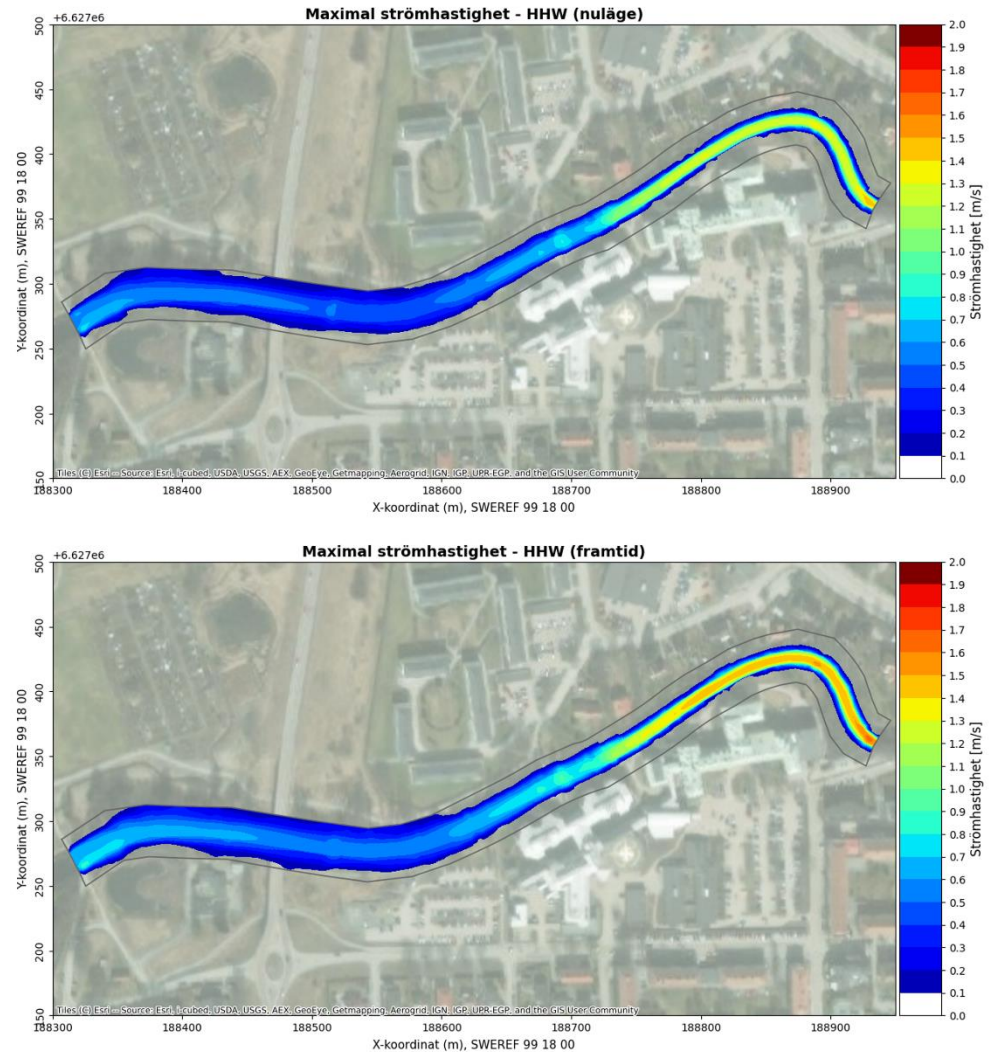
Nivå att beräkna	Uppströms rand – Flöde (m <sup>3</sup> /s)	Nedströms rand – Vattennivå (m)
HHW (nuläge)	23	5,0
HHW_framtid	30	5,2

## 5.2.4 Resultat 2D

Resultat från 2D modelleringen har extraherats för hela den simulerade sträckan och presenteras som maximal strömshastighet och bottenskjuvspänning. Resultaten motsvarar alltså det högsta värdet som har uppnåtts i varje element under simuleringsperioden. Syftet är att visualisera de områden i studieområdet där det kan finnas störst potential för erosion.

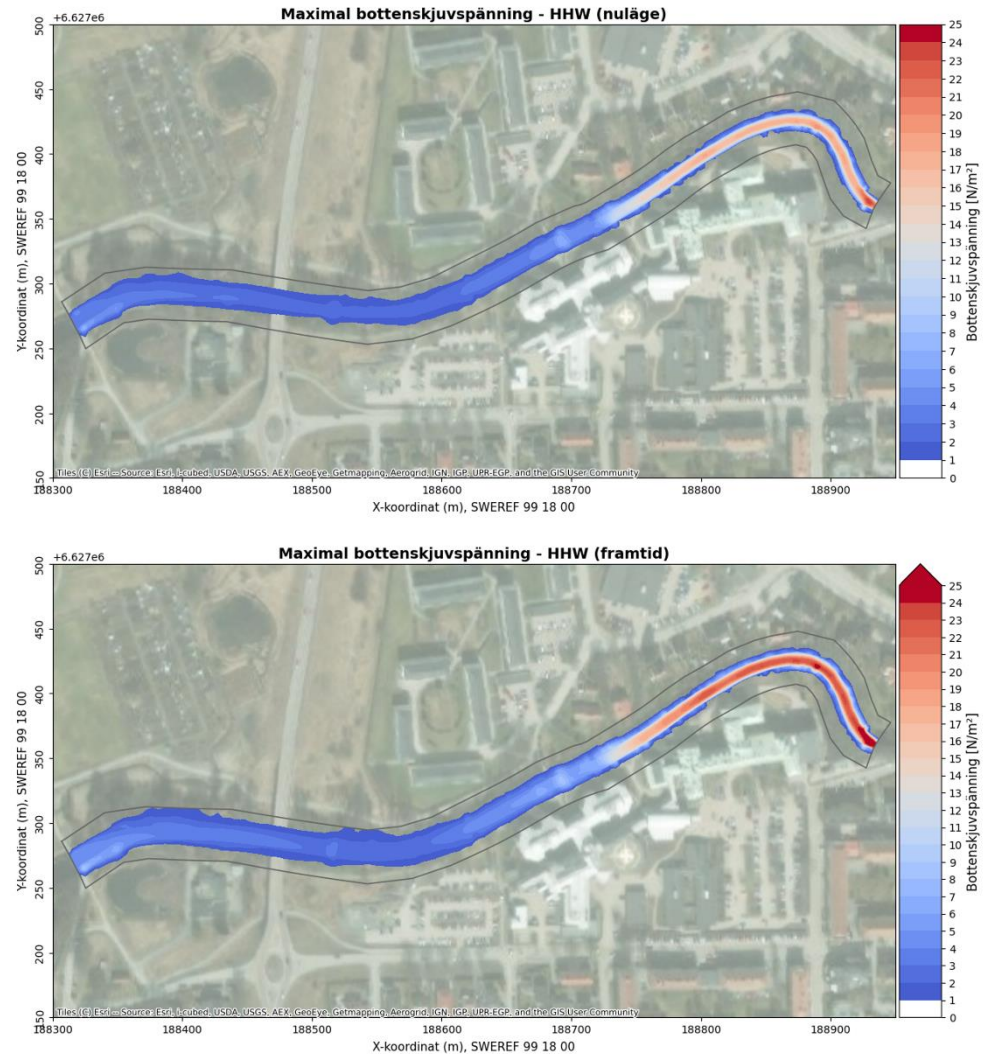
Figur 5-6 visar resultatet för maximal strömshastighet vid högflödessituation för scenariona nuläge respektive framtid. Resultaten visar att strömshastigheten är som störst den östra delen av vattendraget i anslutning till planområdet. Detta område har strömshastigheter på ca 1 m/s vid högflödeshändelsen. Skillnaden i strömshastighet mellan nuläge och framtid är ca 0,3 m/s. Det innebär att en ökning av det inkommande flödet, från 23 m<sup>3</sup>/s till 30 m<sup>3</sup>/s (som är drivet av klimatpåverkan), ger en ökning i maximal strömshastighet av ca 0,3 m/s.

Mönstret för var strömshastigheterna är högre respektive lägre är samma oavsett flöde, endast storleken ändras. Det kan vara värt att notera att området med de högsta hastigheterna också är sträckorna där det noterades hårdast botten vid fältbesöket, vilket kan tyda på att dessa områden "tål" de högre hastigheterna istället för att ha grävt sig djupare ner i leran med tiden.



**Figur 5-6: Maximal strömshastighet i vattendraget (m/s) som uppnås vid högflödeshändelse motsvarande HHW nuläge (överst) respektive framtid (nederst).**

Figur 5-7 visar resultatet för maximal bottenkjuvspänning vid högflödessituation för scenariona nuläge respektive framtid. Resultaten för bottenkjuvspänning uppvisar samma utseende som resultatet för strömshastighet. Det visar att bottenkjuvspänningen är som störst den östra delen av vattendraget i anslutning till planområdet, där den uppgår till maximalt ca 20 N/m<sup>2</sup> i situationen för nuläge. Skillnaden i maximal bottenkjuvspänning mellan nuläge och framtid är ca 5 N/m<sup>2</sup>. Det innebär att en ökning av det inkommande flödet, från 23 m<sup>3</sup>/s till 30 m<sup>3</sup>/s (som är drivet av klimatpåverkan), ger en ökning i maximal bottenkjuvspänning av från ca 20 till 25 N/m<sup>2</sup>.



**Figur 5-7: Maximal bottenskvjvspänning ( $N/m^2$ ) som uppnås vid högflödeshändelse motsvarande HHW nuläge (överst) respektive framtid (nederst).**

Vid bedömning av erosionsrisk har bottenmaterial också betydelse och resultaten måste sättas i relation till kritisk bottenskvjvspänning, som är en funktion av sedimentstorlek. Enligt Hjulströms diagram (Hjulström, 1935), som presenterar samband mellan strömshastighet, sedimentstorlek och erosionsrisk, kan hastigheter på över 0,2 m/s erodera silt-, ler- och sandfraktioner. För de minsta och mest konsoliderade lerfraktionerna krävs dock hastigheter på över 1 m/s. Detta betyder att det vid höga flöden, finns en erosionsrisk i vattendraget.

## 6 Avslutning

### 6.1 Diskussion

De extrema flödena som används för att beräkna HHW, både för nuläget och framtid, ligger långt utanför intervallet för tidsserie med flödesdata som finns tillgängligt från S-HYPE (SMHI, 2025a). Detta ökar osäkerheter i resultaten eftersom 1D MIKE+ modellen är kalibrerad för mer normala nivåer och inte nödvändigtvis fångar hur vattendraget faktiskt beter sig vid extrema händelser. Det innebär att modellen extrapolerar långt utanför de förhållanden som är kända. Resultaten för vattennivåer för HHW, är 5,2 m för nuläge och 5,4 m för framtidsscenarioet. I jämförelse med observerade nivåer ligger detta 0,4 m respektive 0,6 m över den maximala nivån på ca 4,9 m och 4,8 m som uppmätts vid Varghedsbron respektive Gallbron under perioden för mätningarna (2021–2025), se Figur 5-2. Motsvarande flödes hastighet, hämtat från S-HYPE, var 9,0 respektive 10,6 m<sup>3</sup>/s.

Det extrema flödet som antogs i beräkningarna är hämtat från MSB:s översvämningsskartering (MSB, 2015) och motsvarar ett flöde med en återkomsttid på 100 år. De resulterande nivåerna i vattendraget från våra beräkningar ligger generellt högre än MSB:s resultat. I utloppet av Lommaren skiljer det 0,17 m och i sjukhusområdet skiljer det 0,3 m. Skillnaderna kan bero på att modellerna har olika detaljeringsgrad. MSB:s modell täcker en större del av avrinningsområdet och uppströmsområden och är en översiktlig översvämningsskartering. DHI:s uppdaterade modell täcker ett mindre område och har med detaljerad beskrivning och uppdaterade djupmätningar i den delen av vattendraget som angränsar till planområdet.

Prognoserna för framtida vattenföring i Norrtäljeån, för 2071–2100, visar stor spridning mellan max- och minnivå (SMHI, 2025b). I denna senare period är spannet stort, jämfört med de perioder som ligger mer i närtid där variationen är mindre (Tabell 3-3). Det speglar att osäkerheterna i prognoserna är större mot slutet av seklet. De extrema värdena (Min och Max) ligger långt från median och medel och motsvarar därför mer ovanliga modellutfall, det är alltid mer utmanande att modellera ytterligheter. För att vara på den säkra sidan har vi här valt värden som ger de mest extrema resultaten, men det bör samtidigt noteras att medelvärdet för prognosen är en minskning i flöde och inte en ökning i framtiden.

När det gäller MIKE 21 FM finns en osäkerhet i hur flödesmönstret fördelar sig tvärs över vattendraget. Denna modell tar inte hänsyn till så kallade sekundära strömmar, vilket betyder att det blir lite fel i kurvor, där i själva verket strömmen trycker sig närmare ytterkurvan än innerkurvan. Detta ger ett konservativt resultat i våra beräkningar då det betyder att de högsta hastigheterna i själva verket sker något närmare motstående sida vattendraget och inte så nära sjukhussidan som våra resultat visar.

### 6.2 Sammanfattning och slutsatser

- Det finns mindre tecken på erosion i närheten av vattenlinjen på vissa ställen. Dock finns ingenting som tyder på att erosionen är tillräckligt stor för att ha gjort någon mätbar skillnad i strandlinjens läge på över 50 år.

- Vegetationen kan antas ha en stabiliserande effekt på slänterna.
- Vattendraget är relativt grunt med hård botten vilket tyder på att erosionen i djupled är mycket långsam.
- 1D-modellen har använts för att beräkna vattennivåer för olika scenarier som levererats till ELU som underlag i stabilitetsberäkningarna.
- 2D-modellens strömmönster ger inga varningstecken för extra känsliga områden. De högsta hastigheterna sammanfaller med den hårdaste och mest erosionståligen botten.
- 2D-resultaten visade att vid extrema flöden finns det en risk för erosion av bottenmaterialet. Eftersom det inte finns några tillgängliga data över erosionstakten, att kalibrera en modell mot, finns det inte tillräckligt med information för att kvantifiera möjlig erosion över tid.
- Det mest sannolika är att de högsta flödena blir lägre i framtiden, men för att vara konservativ har vi även tittat på ett fall med högre högflöde än i dagens klimat.

### 6.3 Möjliga framtida utredningar

Om man vill utöka erosionsutredningen med mer detaljer än vad som tagits fram i föreliggande utredning kan man exempelvis göra följande.

- För att dra mer detaljerade slutsatser om erosionen på platsen behövs mätningar av tvärsektionerna över lång tid. Erosionen i vattendraget är en långsam process, och det behövs mätningar under minst 10 år för att kunna mäta någon eventuell förändring. Med mätningar kan man också försöka analysera erosion som sker kontinuerligt i relation till mängden erosion som sker under specifika kraftiga flödeshändelser. För att kunna kalibrera en modell för att beräkna erosionshastighet krävs kalibrering med mätdata.
- Utöver inmätning av tvärsektioner kan det utföras en botten-scanning av vattendraget under högvattenförhållanden om båten är tillräckligt liten. Detta för att få med så mycket som möjligt av vattendragets bottenstruktur. En botten-scanning ger en mer detaljerad och heltäckande beskrivning jämfört med punktmätningar. Underlaget kan användas för att kartlägga mer exakta djupförhållanden och eventuella tecken på lokal erosion på botten.
- För att möjliggöra en mer detaljerad uppskattning av eventuella markrörelser i förhållande till fixpunkter över tid rekommenderas att regelbundna uppföljande mätningar genomförs. Detta kan ge ett underlag för att upptäcka långsamma deformationer eller förändringar i släntstabilitet som inte framgår vid enstaka mättilfällen.
- Den täta och blandade vegetationen längs vattendraget tycks ha en stabiliserande effekt på slänten. Rotsystem i det översta jordlagret bidrar till att lösare sediment hålls kvar. Dock kan lokal erosion uppstå i



anslutning till rotsystem precis i vattenlinjen, vilket observerades på några platser i fält. Effekten av vegetationen och dess inverkan på erosionen i vattendraget går inte att kvantifiera utan bara beskriva teoretiskt.

- I händelse att en ökad erosion, som inte förutses i innevarande utredning, trots allt skulle ske, kan det vara ett alternativ att anlägga erosionsskydd vid vattenlinjen. Detta kan vara förstärkning med natursten eller genom att anlägga naturbaserade erosionsskydd som använder material som lättare integreras naturligt på platsen.

## 7 Referenser

- /1/ Boverket (2025). *PBL Kunskapsbanken - Erosion mark, sjöar och vattendrag*. [https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning\\_naturolyckor/sakerhetsfragor/erosion/](https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/sakerhetsfragor/erosion/)
- /2/ Hjulström, F (1935). *Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris*. Doktorsavhandling, Uppsala universitet.
- /3/ MSB (2015). ÖVERSIKTLIG ÖVERSVÄMNINGSKARTERING LÄNGS NORRTÄLJEÅN. Rapport nr: 43, 2015-11-17
- /4/ SMHI (2025a) Vattenwebb – tjänster för vattenförvaltning. *Ladda ner modelldata per område*. <https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>
- /5/ SMHI (2025b). *Klimatscenariotjänsten - Hydrologi*. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenariotjansten/klimatscenariotjansten/hyd/norrtaljean/vattenforing/rcp85/2071-2100/year/regulated>
- /6/ Statens Geotekniska Institut. (2025a). *Utred erosion i vattendrag*. <https://www.sgi.se/tjanster-och-verktyg/vagledning/utred-erosion-i-vattendrag>
- /7/ Statens Geotekniska Institut. (2025b). *Karttjänst – Vägledning ras, skred och erosion*. <https://gis.sgi.se/hajk/?m=rasskrederosion>

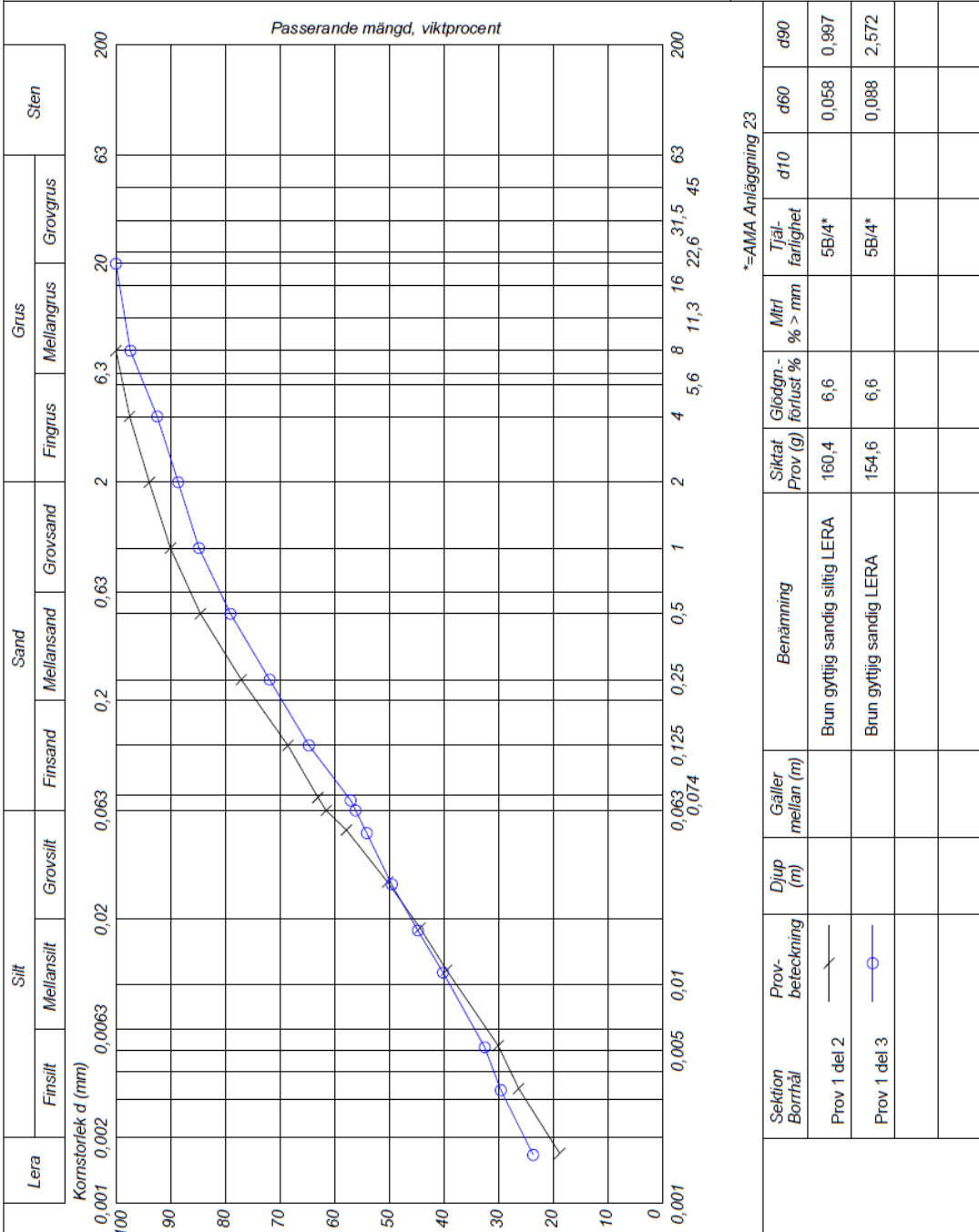
## Bilaga A – Kornstorleksfördelning

### Kornfördelning

enl. F.d. SS027123 mod. och F.d. SS027124 mod.

### ALS Scandinavia AB

Projekt: <b>Norrtälje</b>	Datum: 2025-11-26
Uppdragsnr:	Provtagningsdatum: 2025-11-26
Uppdragsgivare: ELU Konsult AB, Stockholm	Löp-nr: 37930
	Gransk./Sign:



ALS Geolab ingår i ALS Scandinavia AB  
Rinkebyvägen 19C, SE-182 36 Danderyd, tel: 070-639 48 95  
geolab@alsglobal.com, <https://www.alsglobal.se/geolab>

[https://geoweb.alsglobal.se/services/GeoWebService.aspx?op=GetProject\(37930\)](https://geoweb.alsglobal.se/services/GeoWebService.aspx?op=GetProject(37930))

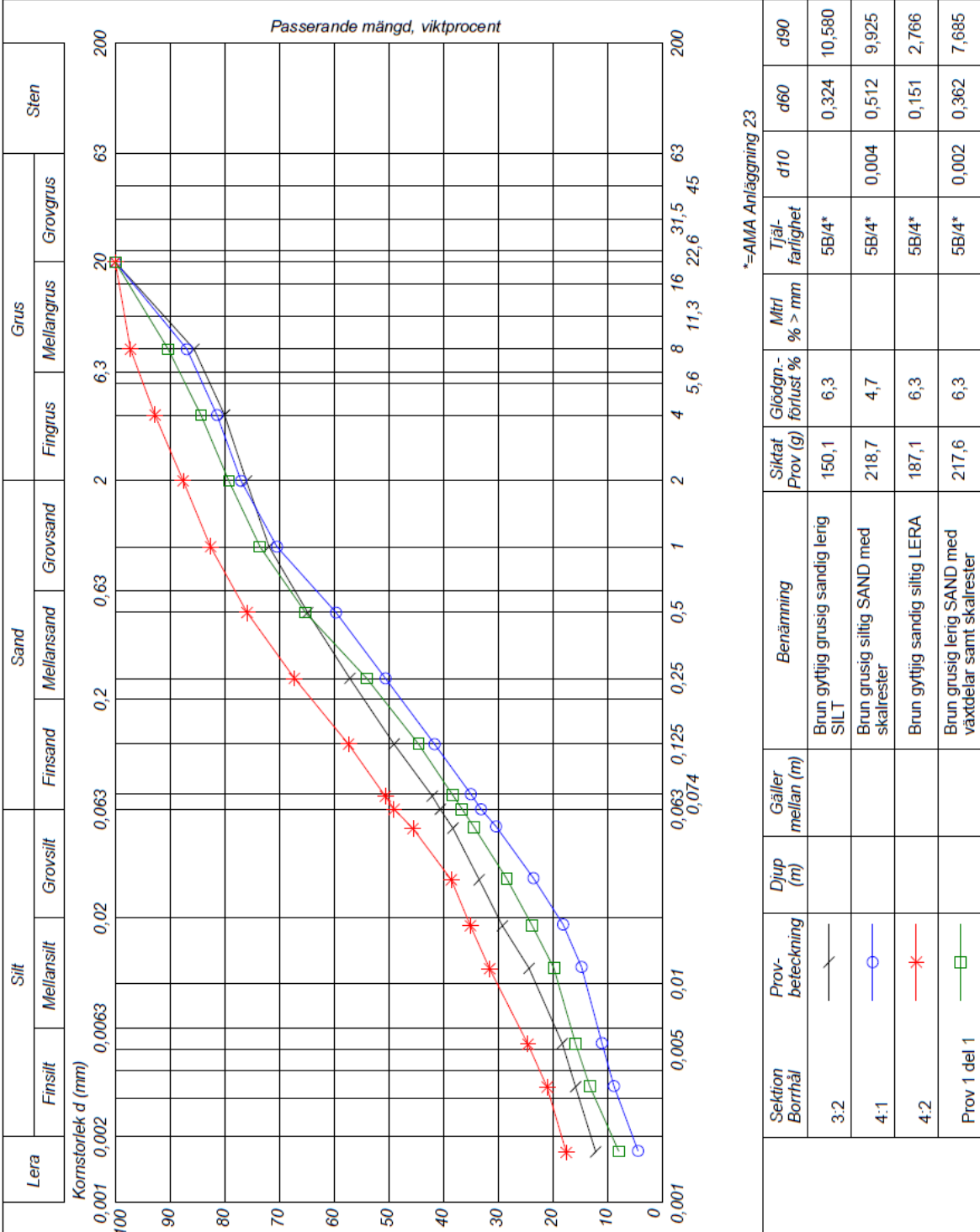
3(3)

**Kornfördelning**

enl. F.d. SS027123 mod. och F.d. SS027124 mod.

**ALS Scandinavia AB**

Projekt: <b>Norrtäljeå</b>	Datum: 2025-11-26
Uppdragsnr:	Provtagningsdatum: 2025-11-26
Uppdragsgivare: ELU Konsult AB, Stockholm	Löp-nr: 37930
	Gransk./Sign:



ALS Geolab ingår i ALS Scandinavia AB  
Rinkebyvägen 19C, SE-182 36 Danderyd, tel: 070-639 48 95  
geolab@alsglobal.com, <https://www.alsglobal.se/geolab>

[https://geoweb.alsglobal.se/services/GeoWebService.aspx?op=GetProject\(37930\)](https://geoweb.alsglobal.se/services/GeoWebService.aspx?op=GetProject(37930))

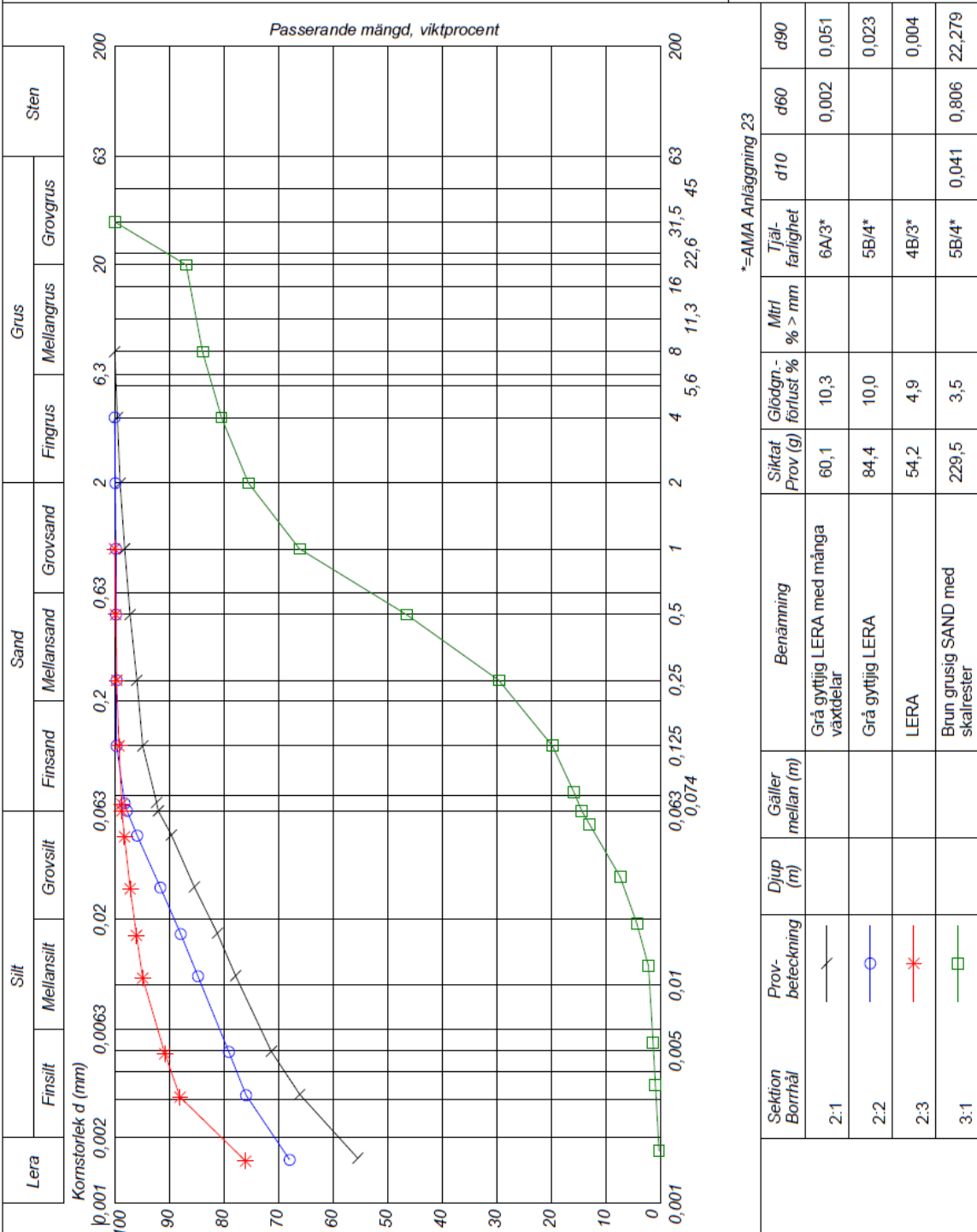
2(3)

Kornfördelning

enl. F.d. SS027123 mod. och F.d. SS027124 mod.

ALS Scandinavia AB

Projekt: <b>Norrtäljeå</b>	Datum: 2025-11-26
Uppdragsnr:	Provtagningsdatum: 2025-11-26
Uppdragsgivare: ELU Konsult AB, Stockholm	Löp-nr: 37930
	Gransk./Sign: <i>Bruno Alvarsted</i>



ALS Geolab ingår i ALS Scandinavia AB

Rinkebyvägen 19C, SE-182 36 Danderyd, tel: 070-639 48 95

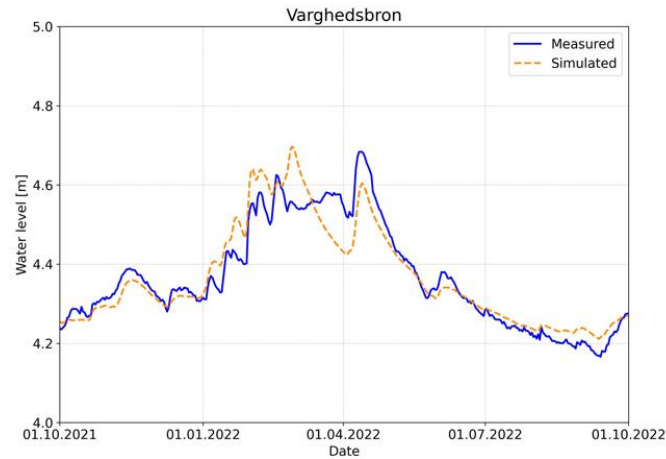
geolab@alsglobal.com, <https://www.alsglobal.se/geolab>

[https://geoweb.alsglobal.se/services/GeoWebService.aspx?op=GetProject\(37930\)](https://geoweb.alsglobal.se/services/GeoWebService.aspx?op=GetProject(37930))

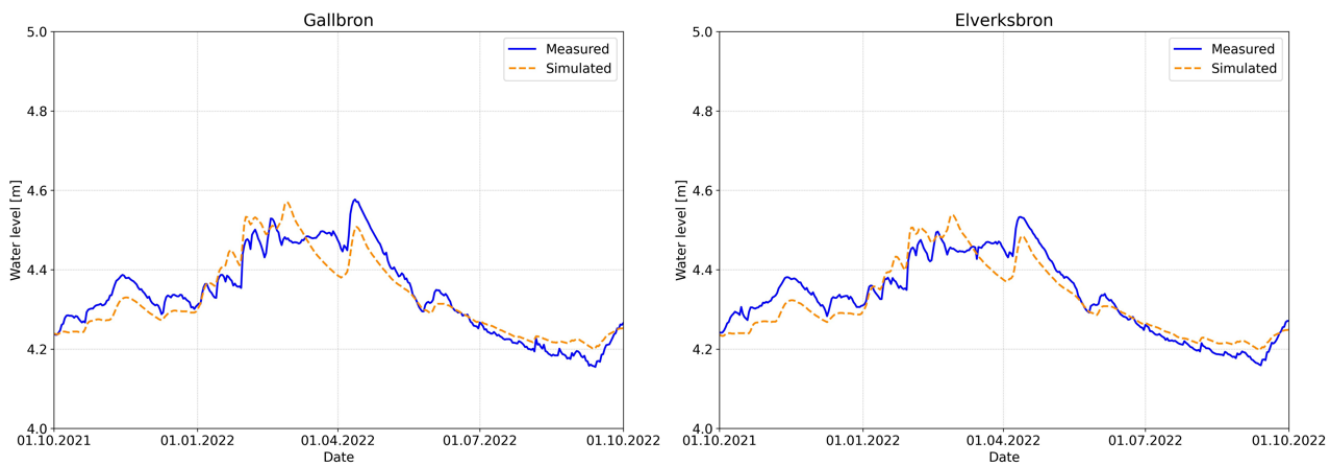
1(3)

## Bilaga B – Valideringsresultat 1D-modell

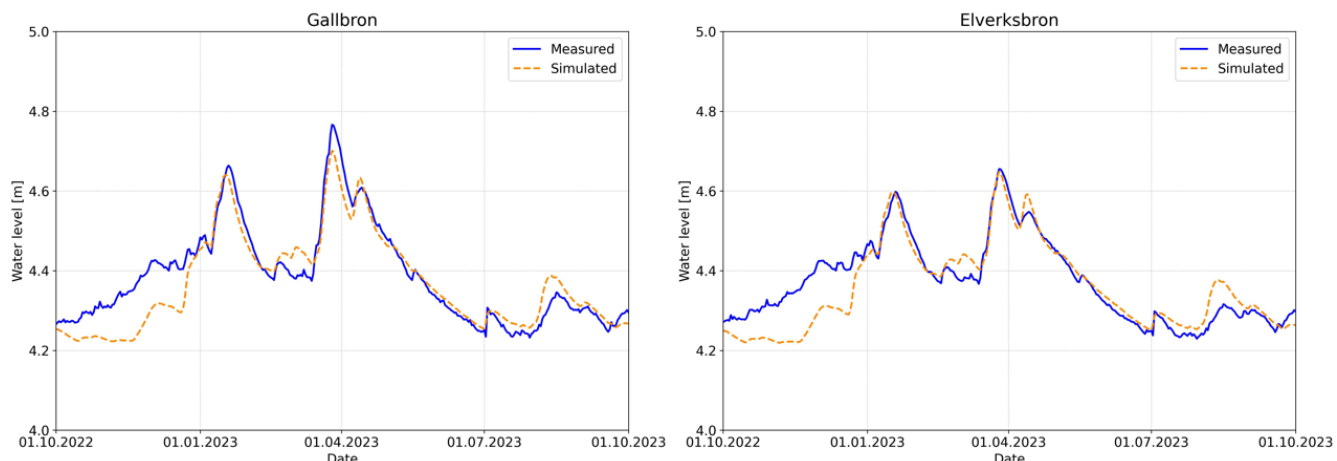
Här presenteras resultat av valideringen av 1D-modellen (MIKE 21 FM) där modellerade vattennivåer jämförs med observerade vattenstånd vid stationerna Varghedsbron, Gallbron och Elverksbron.



**Figur 7-1: Validering för period 2021-10-02 – 2022-09-30, för stationen vid Varghedsbron. Notera att detta är samma resultat som visas i Figur 5-4. Blå linje motsvarar observerad vattennivå och orange streckad linje motsvarar modellerad vattennivå (MIKE 21 FM).**



**Figur 7-2: Validering för period 2021-10-02 – 2022-09-30, för stationerna Gallbron och Elverksbron. Blå linje motsvarar observerad vattennivå och orange streckad linje motsvarar modellerad vattennivå (MIKE 21 FM).**



**Figur 7-3: Validering för period 2022-10-02 – 2023-09-30, för stationerna Gallbron och Elverksbron. Blå linje motsvarar observerad vattennivå och orange streckad linje motsvarar modellerad vattennivå (MIKE 21 FM).**

För att kvantitativt jämföra de två tidsserierna och utvärdera hur väl modellen presterar, har tre statistiska mått använts:

- **KGE (Kling–Gupta Efficiency):** Ett värde nära 1 indikerar mycket god överensstämmelse mellan modell och observation.
- **NSE (Nash–Sutcliffe Efficiency):** Ett värde nära 1 betyder att modellen förklarar variationen i data väl.
- **RMSE (Root Mean Square Error):** Ett lägre värde innebär mindre avvikelse mellan modellerade och observerade nivåer (0 är perfekt).

Dessa finns redovisade i Tabell 7-1, och visar resultaten för respektive station och uppdelat i Validerings- och kalibreringsperiod.

**Tabell 7-1: Sammanställning av resultaten från kalibrering och validering av 1D modellen.**

Period	Mätstation	KGE	NSE	RMSE
2021-10-01 – 2022-09-30 (Validering)	Varghedsbron	0,92	0,87	0,048
	Gallbron	0,89	0,85	0,041
	Elverksbron	0,90	0,83	0,039
2022-10-01 – 2023-09-30 (Validering)	Gallbron	0,92	0,81	0,052
	Elverksbron	0,87	0,73	0,053
2023-10-01 – 2024-09-30 (Kalibrering)	Gallbron	0,91	0,96	0,035
	Elverksbron	0,97	0,94	0,034