



CHALMERS

Känslighetsanalys av släntstabilitet i lera med avseende på fyllnadsmassor och nederbörd

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet samhällsbyggnadsteknik

MATILDA HELLBERG RÅDÉN

MOHAMMAD SHOAIB NOORI

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR GEOLOGI OCH GEOTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2026
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE ACEX20

Känslighetsanalys av släntstabilitet i lera med avseende på fyllnadsmassor och nederbörd

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
samhällsbyggnadsteknik

MATILDA HELLBERG RÅDÉN

MOHAMMAD SHOAIB NOORI

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Examinator Mats Karlsson

Handledare Mats Karlsson

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2026

Känslighetsanalys av släntstabilitet i lera med avseende på fyllnadsmassor och nederbörd

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
samhällsbyggnadsteknik

MATILDA HELLBERG RÅDÉN

MOHAMMAD SHOAIB NOORI

© MATILDA HELLBERG RÅDÉN / MOHAMMAD SHOAIB NOORI, 2026

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2026

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2026

Känslighetsanalys av släntstabilitet i lera med avseende på fyllnadsmassor och nederbörd

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet samhällsbyggnadsteknik

MATILDA HELLBERG RÅDÉN

MOHAMMAD SHOAIB NOORI

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

När en slänts stabilitet försämras så pass mycket att marken inte längre kan befinna sig i jämvikt kan ett skred utlösas. Risken för skred påverkas av både naturliga processer och mänsklig påverkan, samt av de geotekniska och hydrologiska förutsättningarna som finns i området.

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur varierande mängder fyllnadsmassor och ökad tunghet till följd av nederbörd påverkar en slänts stabilitet. Examensarbetet genomfördes med litteratur- och dokumentstudier samt i programvaran GeoStudio 2025 med SLOPE/W i form av en känslighetsanalys. Analysen har baserats på data ifrån jordskredet i Stenungsund längs E6:an som inträffade den 23 september 2023 och omfattar både ett verklighetsbaserat samt ett förenklat teoretiskt fall.

Resultatet visar att säkerhetsfaktorn minskar successivt vid ökade mängder fyllnadsmassor samt vid ökad tunghet hos fyllnadsmassorna, vilket leder till att slänten till slut blir ostabil på grund av att säkerhetsfaktorn inte längre uppfyller kraven som ställs på en slänt.

Sammanfattningsvis visar analysen att både ökande mängder fyllnadsmassor och tunghet hos fyllnadsmassorna har en stor påverkan på släntens stabilitet, även små ökningar kan vara en avgörande faktor.

Nyckelord: Släntstabilitet, skred, känslighetsanalys, Stenungsund, lera, GeoStudio, fyllnadsmassor, nederbörd.

Sensitivity analysis of slope stability in clay considering fill materials and rainfall
Degree Project in the Engineering Programme
Civil and Environmental Engineering
MATILDA HELLBERG RÅDÉN
MOHAMMAD SHOAIB NOORI
Department of Architecture and Civil Engineering
Division of Geology and Geotechnics
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

As the stability of a slope deteriorates to a degree where the ground can no longer maintain equilibrium, a landslide may be triggered. The risk of landslides is influenced by natural processes, human activities, as well as the geotechnical and hydrological conditions present in the area.

The purpose of this degree project is to investigate how varying quantities of fill masses and increased weight resulting from precipitation impact slope stability. The study was executed by means of a literature and document review, complemented by a sensitivity analysis performed with the SLOPE/W module of GeoStudio 2025. The analysis is based on data from the landslide in Stenungsund along the E6 highway that occurred on September 23, 2023, and includes both a real-case scenario and a simple theoretical case.

The results indicate that the safety factor decreases successively with increased quantities and weight of the fill masses. This leads to an unstable slope, as the safety factor falls below the minimum threshold stipulated for slope design.

In conclusion, the investigation demonstrates that the magnitude and unit weight of fill masses have a significant impact on slope stability. Even marginal increments in these parameters can act as decisive triggering factors for failure.

Key words: Slope stability, landslide, sensitivity analysis, Stenungsund, clay, GeoStudio, fill material, rainfall.

Innehåll

SAMMANFATTNING	II
ABSTRACT	IV
INNEHÅLL	VI
FÖRORD	IX
BETECKNINGAR	X
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Frågeställningar	2
1.5 Metod	2
2 TEORI	4
2.1 Lerslänter och jordtyper	4
2.1.1 Lera och kvicklera	4
2.1.2 Naturliga slänter	5
2.2 Släntstabilitet och orsaker till skred	5
2.2.1 Naturliga processer	5
2.2.2 Mänsklig påverkan	6
2.3 Klimatförändringar	6
2.3.1 Ökad nederbörd	6
2.3.2 Hydraulisk konduktivitet	7
2.3.3 Portryck och infiltration	7
2.4 Jordens effektivspänningar och skjuvhållfasthet	8

2.5	Säkerhetsfaktorn	10
2.5.1	Krav	11
2.6	Beräkningsmetoder	12
2.6.1	Lamellmetoden	12
2.6.2	Limit Equilibrium Method's	14
2.7	Känslighetsanalys	14
2.8	GeoStudio	14
2.8.1	SLOPE/W	15
3	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SLÄNTSTABILITETSANALYSEN	17
3.1	Jordlagerföljd och geometri	17
3.1.1	Grundvattennivå	19
3.2	Materialparametrar	20
3.3	Laststeg	23
4	RESULTAT	25
4.1	Grundscenario	26
4.2	Laster	26
4.3	Tunghetsanalys	27
5	DISKUSSION	28
5.1	Säkerhetsfaktorn	28
5.2	Geotekniska undersökningar och materialparametrar	30
6	SLUTSATS	32
7	REFERENSER	33
8	BILAGOR	35
8.1	Teoretiskt fall (Odränerat) – Grundscenario	35

8.2	Teoretiskt fall (Kombinerad) - Grundscenario	36
8.3	Verkligt fall (Odränerad) – Grundscenario	37
8.4	Verkligt fall (Kombinerad) – Grundscenario	38
8.5	Teoretiskt fall (Odränerad) – Laststeg 1	39
8.6	Teoretiskt fall (Kombinerad) – Laststeg 1	40
8.7	Verkligt fall (Odränerad) – Laststeg 1	41
8.8	Verkligt fall (Kombinerad) – Laststeg 1	42
8.9	Teoretiskt fall (Odränerad) – Laststeg 2	43
8.10	Teoretiskt fall (Kombinerad) – Laststeg 2	44
8.11	Verkligt fall (Odränerad) – Laststeg 2	45
8.12	Verkligt fall (Kombinerad) – Laststeg 2	46
8.13	Teoretiskt fall (Odränerad) – Laststeg 3	47
8.14	Teoretiskt fall (Kombinerad) – Laststeg 3	48
8.15	Verkligt fall (Odränerad) – Laststeg 3	49
8.16	Verkligt fall (Kombinerad) – Laststeg 3	50
8.17	Teoretiskt fall (Odränerad) – Laststeg 2 + Tunghetsanalys	51
8.18	Teoretiskt fall (Kombinerad) – Laststeg 2 + Tunghetsanalys	52
8.19	Verkligt fall (Odränerad) – Laststeg 2 + Tunghetsanalys	53
8.20	Verkligt fall (Kombinerad) – Laststeg 2 + Tunghetsanalys	54

Förord

Detta examensarbete har utförts vid Chalmers Tekniska Högskola som en del av högskoleingenjörsprogrammet med inriktning samhällsbyggnadsteknik. Arbetet genomfördes under våren 2026 och omfattar 15 högskolepoäng.

Genom arbetet har vi fördjupat vår förståelse för slänters stabilitet samt hur dessa påverkas av laster. Arbetet har även gett oss möjlighet att tillämpa våra teoretiska kunskaper i praktiken.

Avslutningsvis vill vi rikta ett stort tack till vår handledare och examinator Mats Karlsson för vägledning och stöd under hela projektets gång, vilket har varit av stor betydelse för arbetets genomförande.

Göteborg, maj 2026

Matilda Hellberg Rådén

Mohammad Shoaib Noori

Beteckningar

Variabler

c'	Kohesionsintercept (kPa)
c_u	Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)
σ_0	Totalspänning (kPa)
σ'_0	Effektivspänning (kPa)
u	Porvattentryck (kPa)
ϕ'	Friktionsvinkel ($^\circ$)
τ	Medelvärde av skjuvhållfastheten (kPa)
τ_{fd}	Dränerad skjuvhållfasthet (kPa)
τ_{fu}	Odränerad skjuvhållfasthet (kPa)
τ_f	Skjuvspänning vid brott (kPa)
τ_{mob}	Mobiliserad skjuvspänning (kPa)
F	Totalsäkerhetsfaktor
F_c	Säkerhetsfaktor odränerad analys
F_{komb}	Säkerhetsfaktor kombinerad analys
F_ϕ	Säkerhetsfaktor dränerad analys
E_n	Resultant till horisontella jordtrycket mot lamellgränsen n (kN/m)
T_n	Vertikal tvärkraft i lamellgränsen n (kN/m)
Δl	Båglängd (m)
ΔW	Lamellens egentyngd $\gamma_b h$ (kN/m)
b	Lamellens bredd (m)

h	Lamellens höjd (m)
x	Hävarm (m)
R	Cirkelns radie (m)
N	Normalkraft mot glidytan (kN/m)
u	Portryck i glidytan (kN/m)
α	Glidytons lutning mot horisontalplanet ($^{\circ}$)
H_t	Djup för vattenfylld spricka genom torrskorpa (m)
y	Momentarm (m)

Förkortningar

CPT	Cone Penetration Test
JB	Jord-bergsondering
CRS	Constant Rate of Strain

1 Inledning

Detta kapitel presenterar projektets bakgrund, syfte, avgränsningar, frågeställningar samt metod.

1.1 Bakgrund

Ett skred inträffar när markens stabilitet försämras tills att marken inte längre kan befinna sig i jämvikt, vilket leder till att jordmassor sätts i rörelse. Skred kan utlösas av två faktorer, naturliga processer och av mänsklig påverkan. Naturliga processer innefattar exempelvis väderförändringar och erosion, medan mänsklig påverkan kan utgöras av schaktning och belastning (Statens geotekniska institut [SGI], 2025).

I Västra Götaland är riskerna för skred och översvämningar relativt höga med hänsyn till de geotekniska och hydrologiska förutsättningarna. Detta kan kopplas till stigande havsnivåer och klimatförändringar. Konsekvenserna av detta kan bli omfattande och påverka många olika verksamheter och samhällsviktiga funktioner som vägar, järnvägar och olika ledningar. Antalet insatser av exempelvis räddningstjänsten och skadeanmälningar till försäkringsbolag på grund av översvämning, ras och skred är mycket högre i länet jämfört med andra delar av Sverige (Konitzer, K., 2019).

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur släntstabiliteten i naturliga lerslänter påverkas av varierande mängder fyllnadsmassor samt förändrad tunghet till följd av nederbörd.

1.3 Avgränsningar

Avgränsningar kommer att göras till att endast en naturlig lerslänthöjd kommer att analyseras, där enbart odränerad och kombinerad analys kommer att utföras. Arbetet baseras på jordskredet i Stenungsundmotet längs E6:an i Stenungsund, som inträffade den 23 september 2023. Endast sektion 1 i den östra delen av området kommer att

analyseras, och en känslighetsanalys kommer att genomföras i GeoStudio 2025 med SLOPE/W.

Känslighetsanalysen kommer endast att avse variationer i fyllnadsmassornas storlek och tunghet. Fyllnadsmassorna kommer inte modelleras exakt enligt de verkliga förhållandena i SGU:s rapport, utan avser en kombination där fokus ligger på att analysera när säkerhetsfaktorn blir kritisk.

1.4 Frågeställningar

För att kunna besvara syftet har dessa frågeställningar använts:

- Hur förändras släntstabiliteten vid olika mängder fyllnadsmassor?
- Hur påverkas släntstabiliteten av olika fyllnadsmassor med avseende på nederbörds påverkan på tunghet?

1.5 Metod

Examensarbetet inleddes med litteratur- och dokumentstudier för att få en övergripande förståelse om släntstabilitet och hur ett skred kan uppstå. De huvudsakliga underlagen för rapporten utgörs av Statens haverikommissions rapport ”Jordskred i Stenungsund” samt från Statens geotekniska instituts rapport ”Skred vid Stenungsundsmotet i Stenungsunds kommun”.

Vidare användes data från SGU-rapport 2025:07 avseende en befintlig lerslänt, vilket låg till grund för modelleringen. Slänten analyserades i två fall, både som ett verkligt fall och ett teoretiskt fall. Det verkliga fallet är mer detaljerat och representerar som det ser ut i verkligheten, medan det teoretiska fallet baseras på förenklade antaganden av jordlagerföljd och geometri. Analysen av det teoretiska fallet ska förtydliga de grundläggande geotekniska sambanden, för att kunna bedöma hur de faktiska förhållandena påverkar släntstabiliteten med en jämförelse mellan fallen.

Utifrån den tillgängliga data bestämdes jordprofilerna och materialparametrarna. En mer ingående beskrivning av de data som ingår i analysen presenteras i kapitel 3

(Förutsättningar för släntstabilitetsanalysen), avsnitt 3.1 och 3.2. Slutligen genomförs en känslighetsanalys i GeoStudio 2025 med SLOPE/W, där olika scenarier av fyllnadsmassor och nederbörd analyseras med metoden Grid and Radius.

2 Teori

I detta kapitel kommer de teoretiska grunderna att beskrivas för att kunna utföra projektet.

2.1 Lerslänter och jordtyper

Detta avsnitt beskriver grundläggande egenskaper hos leror och uppkomsten av naturliga slänter.

2.1.1 Lera och kvicklera

Jordarter klassificeras utifrån dess kornstorleksfördelning, där leror har en kornstorleksfördelning mindre än 0,002 mm i diameter. Leror har avsatts genom tid som sediment på botten av hav eller insjöar vilket medför högt vatteninnehåll. På grund av lerans förmåga att behålla vatten i sig, är det ett lågpermeabelt material (SGI, 2025c).

Kvicklera är en speciell typ av lera som kan förlora sin hållfasthet och bete sig flytande. Orsakerna kan vara olika störningar som bland annat vibrationer, omrörning och tillskottslaster. Kvicklera definieras när sensitiviteten som är kvoten mellan ostörd och omrörd skjuvhållfasthet, är större än 50 och den omrörda odränerade skjuvhållfasthet är mindre än 0,4 kPa (SGI, 2025a).

De flesta leror har bildats i marina miljöer och ofta i saltvatten. Leror som har uppkommit i saltvatten har en speciell struktur. Det beror på att saltet har fått lerpartiklarna att klumpa ihop sig till större aggregat, innan de har avsatts som sediment på havsbotten. På grund av landhöjningen som sker snabbare än havsnivåstigningen har dessa leror hamnat ovanför havet. Förekomsten av kvicklera är som störst i områden under högsta kustlinjen. När saltet lakas ur leran under lång tid med hjälp av regnvatten, bildas kvicklera. Detta medför att de krafter som håller ihop aggregaten av lerpartiklar har försvagats (SGI, 2025c).

Flera skred i Sverige, särskilt i väst har varit kvickleraskred (SGI, 2025c). Utifrån de geologiska förhållandena i Stenungsund, såsom materialparametrar och jordlagerföljd, kan området betraktas som känsligt för skred med hänsyn till förekomsten av kvicklera (Sveriges geotekniska undersökning [SGU], 2023).

2.1.2 Naturliga slänter

Naturliga slänter är sluttningar som ofta är skapade genom erosionsprocesser i naturen, vilket skiljer sig mot anlagda slänter (Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik [IEG], 2010).

2.2 Släntstabilitet och orsaker till skred

Släntstabilitet beskriver en slänts förmåga att motstå deformationer och brott. Stabiliteten bestäms av jämviktsförhållandet mellan de pådrivande krafter som jordens egentyngd och belastningen som läggs på jorden och de mothållande krafterna som jordens skjuvhållfasthet. Brott i marken uppstår när de pådrivande krafterna är större än de mothållande krafterna, vilket skapar en glidyta längs brottet och då kan ett skred inträffa (SGI, 2025b). Orsaker till att jämvikten förändras så att skred uppstår kan både vara naturliga faktorer och av mänsklig aktivitet. Oftast är det en kombination av dessa faktorer som leder till att skred uppstår (SGI, 2023).

2.2.1 Naturliga processer

Släntstabiliteten förändras kontinuerligt av naturliga processer och med tiden kan markens egenskaper och jämviktsförhållanden förändras. Det som påverkas kan vara jordarternas egenskaper och sammansättning, grundvattenförhållanden och topografi (Boverket, 2025). Minskad motvikt vid släntens fot påverkar jämvikten i slänten och kan leda till att skred utlöses. Exempelvis om det sker en sänkning i grundvattennivå eller erosion (Boverket, 2025). Erosion är en naturlig process när jordmassor transporteras bort av exempel vattendrag och vind där vegetation saknas. När jorden avlägsnas bort vid släntens fot minskar de mothållande krafterna och stabiliteten försämras. Jordarters erosionskänslighet beror på deras kornstorlek och sammansättning. Grovkornigare jordar som grus och sten är mindre känsliga mot

erosion och finkornigare jordarter som sand och silt är mer känsliga. Däremot är lera en av de allra finkornigaste jordtyperna och är inte så erosionskänsligt, eftersom kohesionskrafterna håller samman lerpartiklarna (SGU, 2020). Jordlagrens hållfasthet försämras vid en förhöjd grundvattennivå som kan orsakas av tjällossning, snösmältning och rikligt med nederbörd. Hållfastheten försämras eftersom vattentrycket i jordens porer ökar, vilket kallas höjt portryck (Myndigheten för civilt försvar [MCF], 2025).

2.2.2 Männsklig påverkan

Mänskliga aktiviteter som kan förändra en slänts stabilitet kan vara ökad belastning vid släntkrönet, som gör att de pådrivna krafterna ökar. Exempel på belastning kan vara ny bebyggelse eller utfyllning av fyllnadsmassor. Stabiliteten kan även minskas när de mothållande krafterna minskas vid släntfoten. Detta kan vara att jordmassor tas bort genom schaktning eller muddring (MCF, 2025).

Grundvattennivån kan också förhöjas på grund av mänsklig aktivitet. Genom kalhuggning och igensatta eller omlagda diken kan grundvattennivån höjas och därmed leda till förhöjt portryck. Vatten sugs upp av vegetation, vilket leder till att stora mängder markvatten försvinner i stället för att rinna vidare (MCF, 2025).

2.3 Klimatförändringar

Klimatförändringarna idag är snabba och omfattande och brukar vanligtvis leda till allvarliga och stora konsekvenser för samhälle och natur. Förr i tiden uppstod klimatförändringarna av naturliga orsaker medan de idag framför allt uppstår på grund av människans utsläpp av fossila bränslen (Världsnaturfonden [WWF], 2025).

2.3.1 Ökad nederbörd

En av klimatförändringars effekter är ökad nederbörd. I Sverige har årsmedelnederbörden idag ökat till omkring 700 millimeter från 1970-talet då årsnederbörden låg på 600 millimeter. Främst är det vintermedelnederbörden och

höstmedelnederbörden som ökats och ökats med omkring 150 millimeter.

Medelnederbörden för våren och sommaren visar inte en lika tydlig ökning (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut [SMHI], 2025).

Den förhöjda nederbörden leder till kraftigare nederbördsextremer. Det kan vara i form av mycket regn på kort tid så som skyfall eller mycket regn som är långvarigt (SMHI, u.å.).

2.3.2 Hydraulisk konduktivitet

Hydrauliska konduktivitet, K [cm/s] är ett mått på hur lätt olika material kan leda vatten genom sina porer och sprickor. I geotekniskt sammanhang är det jord med olika kornstorleksfördelning som är mediet. Vattenflödet sker på grund av tryckskillnad mellan två nivåer enligt Darcys lag. Det finns flera faktorer som bestämmer värdet av permeabilitet och dessa parametrar är storlek på jordpartiklar, sedimentationsmiljöer och hur de har uppkommit (Sivakugan, m.fl., 2010).

2.3.3 Portryck och infiltration

På marknivå motsvarar atmosfärstrycket porvattentrycket, vilket innebär att portrycket definieras som noll. Det positiva portrycket förekommer under grundvattennivån, där portrycket ökar med djupet. Portrycket är hydrostatisk om det inte finns något vattenflöde (LEE, W, Abramson m.fl., 2002).

Det negativa portrycket i markprofil motsvarar portrycket ovanför grundvattennivå i förhållande till lufttrycket. Storleken beror på ytspänningen, kornstorlek och krafterna mellan luft och vatten i porer. Generellt gäller att en finkornigare jord medför en högre mättad kapillär zon och därmed ökar det negativa portrycket. Det negativa portrycket ökar den effektiva spänningen och bidrar till en förbättrad stabilitet (LEE, W, Abramson m.fl., 2002).

Ökat porvattentryck vid vatteninfiltration i finkorniga jordar som lera är en viktig aspekt för skredrisker, eftersom det leder till minskad effektiv spänning och skjuvhållfasthet. Det förhöjda portrycket beror på en rad faktorer, bland annat

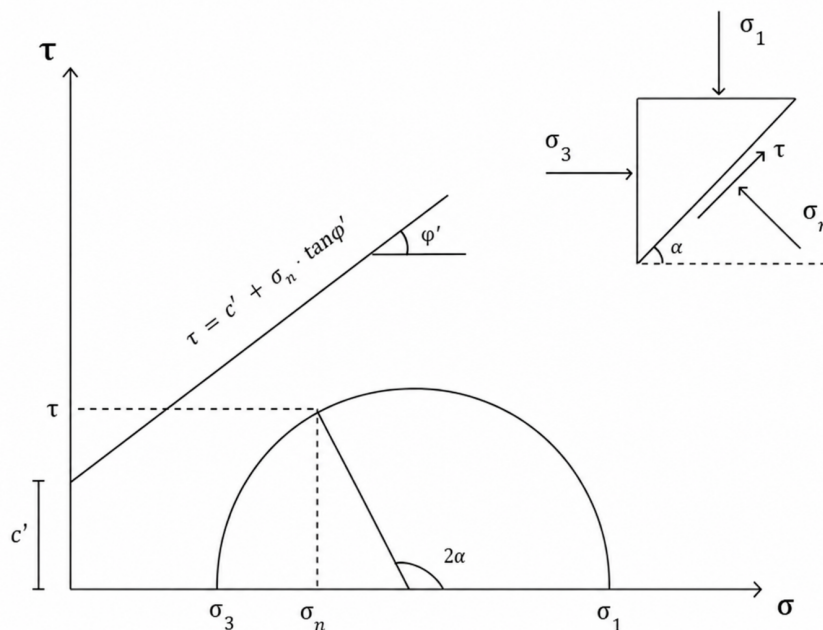
nederbörds mängder, jordlagerföljd, arean och jordens permeabilitet (LEE W, Abramson m.fl., 2002).

2.4 Jordens effektivspänningar och skjuvhållfasthet

Jord består av fasta partiklar som tillsammans bildar ett kornskelett och mellan partiklarna finns det porer som innehåller vatten och gas. I kornskelettet överförs det krafter och beskrivas med ekvation (2.1). Totalspänningen σ_0 är summan av effektivspänningen σ'_0 och porvattentrycket u . Effektivspänningen är den kraft mellan partiklarna i jordens partikelskelett och porvattentrycket är trycket i porerna av vattnet (Craig & Knappett, 2012).

$$\sigma_0 = \sigma'_0 + u \quad (2.1)$$

Jordens skjuvhållfasthet är den hållfasthet som motstår skjuvspänningar innan brott uppstår. I Mohr-Coulombs brottkriterium beskrivs sambandet mellan skjuvhållfasthet, effektivspänning och jordens friktionsvinkel och kohesion när brott sker i jorden (Craig & Knappett, 2012). I Figur 2.1 visas Mohr-Coulombs brottkriterium, brottet sker först när spänningscirkeln tangerar linjen τ_f (Sällfors, 2013).



Figur 2.1 Mohr-Coulombs brottkriterium med inspiration (Sällfors, 2013)

Skjuvhållfastheten delas in i två olika dräneringsförhållanden dränerad och odränerad. Vilken analysmetod som ska användas beror på jordens permeabilitet och hur länge belastningen verkar, eftersom dessa faktorer avgör om vattnet i porerna hinner rinna ut (Craig & Knappett, 2012).

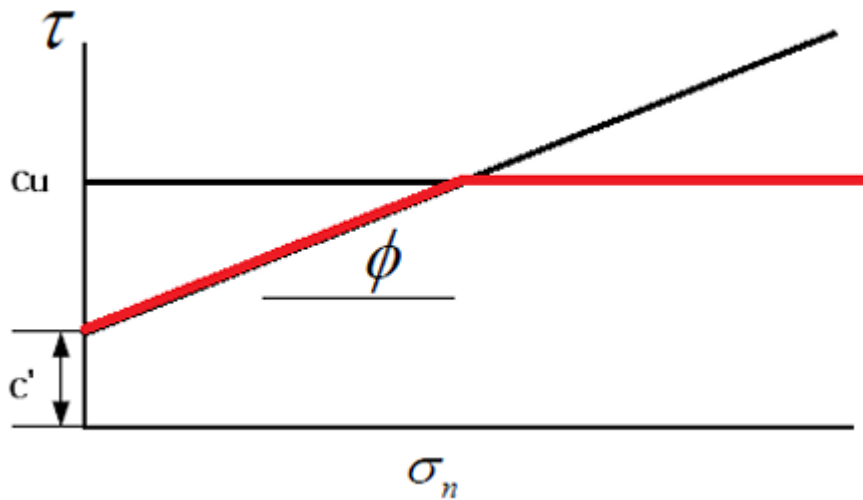
Dränerad analys används vid långsiktiga belastningar, eftersom allt porvatten hinner dräneras bort och gör att det inte skapas ett övertryck i porvattnet. Effektivspänningarna styr därför brottet, då vattentrycket inte bygger upp något extra motstånd. Skjuvhållfastheten beräknas med hjälp av Mohr-Coulombs brotkriterium och jordens kohesion c' och friktionsvinkel ϕ' är baserade på effektivspänningen (Craig & Knappett, 2012). Skjuvhållfastheten kan därför beskrivas med ekvation (2.2).

$$\tau_{fd} = c' + \sigma'_0 * \tan(\phi') \quad (2.2)$$

Medan i odränerade förhållanden hinner vattnet inte lämna porerna, vilket gör att ett övertryck i porvattnet skapas och används därför vid kortsiktiga belastningar. På grund av detta styrs skjuvhållfastheten av totalspänningarna. Mohr-Coulombs brotkriterium används även till odränerat fall, däremot betecknas skjuvhållfasthetsparametrarna med c_u och ϕ_u i stället. För lera är $\phi_u = 0$ och skjuvhållfastheten kan då beskrivas med ekvation (2.3) (Craig & Knappett, 2012).

$$\tau_{fu} = c_u \quad (2.3)$$

Sedan finns det också en kombination av dessa två analyser, benämnd kombinerad analys där man beaktar både dränerad och odränerade förhållanden. Med en kombinerad analys baseras jordens hållfasthet på de dränerade parametrarna c' och ϕ' upp till den odränerade skjuvhållfastheten c_u , se Figur 2.2 (Wikby, 2025).



Figur 2.2 Kombinerad analys där den röda linjen beskriver valet av jordens hållfasthet (Wikby, 2025).

I regel för lågpermeabla jordar ska det utföras en odränerad analys och en kombinerad analys vid släntstabilitetsberäkningar i brottgränstillstånd (SGI, 2023).

2.5 Säkerhetsfaktorn

Stabiliteten för en slänt beräknas med totalsäkerhetsfilosofi, vilket innebär att det används karakteristiska värden för ingående jordparametrar vid beräkning. Det är värden som är uppmätta eller bestämda av erfarenhet. Totalsäkerhetsfaktorn, F beräknas med ekvation (2.4) och anges som förhållandet mellan skjuvhållfasthetens medelvärde τ och den mobiliserade skjuvspänningen τ_{mob} .

$$F = \frac{\tau}{\tau_{mob}} \quad (2.4)$$

För odränerad analys är ett lågt värde $F_c < 1,2$ och kombinerad analys $F_{komb} < 1,1$, medan för naturmark är ett lågt värde på säkerhetsfaktorn nära 1,0. När totalsäkerhetsfaktorn understiger 1,0 är det sannolikt att ett skred kan inträffa (SGI, 2023).

2.5.1 Krav

Beroende på jordart, modellosäkerhet, markanvändning, belastningsfall och konsekvenser som kan ske av ett skred så finns det olika krav på säkerhetsfaktorn. Den erforderliga säkerhetsfaktorn skiljer sig beroende på markanvändning, byggskede och metod. Det finns fem olika markanvändningstyper och de är nyexploatering nybyggnation och planläggning, befintlig bebyggelse och anläggning, annan mark och naturmark. Sedan beror säkerhetsfaktorn av vilken analys som använts, odränerad analys F_c , dränerad analys F_ϕ och kombinerad analys F_{komb} . I Figur 2.3 visas hur den erforderliga säkerhetsfaktorn varierar utefter markanvändning och metod (SGI, 2023).

	Utredningsnivå	Markanvändning			
		Nyexploatering		Befintlig bebyggelse och anläggning	Annan mark
		Nybyggnation (GK1 och GK3)	Planläggning		
Tillståndsbedömning	Översiktlig	Ej tillämpbar	Minst detaljerad utredning ska utföras.	$F_c > 2$ $F_{komb}, F_{c\phi} > 1,5$	$F_c > 2$ $F_{komb}, F_{c\phi} > 1,5$
	Detaljerad	$F_c \geq 1,7-1,5$ $F_{komb} \geq 1,5-1,4$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,7-1,5$ $F_{komb} \geq 1,5-1,4$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,7-1,5$ $F_{komb} \geq 1,5-1,3$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c > 1,6-1,4$ $F_{komb} > 1,4-1,3$ $F_{c\phi} > 1,3$ (sand)
	Fördjupad	$F_c \geq 1,5-1,4$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,5-1,4$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,4-1,3$ $F_{komb} \geq 1,3-1,2$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand) Under förutsättning att restriktioner införs.	$F_c > 1,3-1,2$ $F_{komb} > 1,2$ $F_{c\phi} > 1,2$ (sand)
Projektering		Dimensionering utförs enligt IEG (2008b)/Trafikverket (2022).	Beroende på utredningsnivå, F_c och F_{komb} enligt tabellvärde ovan	Stabilitetsförbättrande åtgärd enligt 5.3.2 alternativt IEG (2008b)/Trafikverket (2022).	

Figur 2.3 Sammanställning av erforderlig säkerhetsfaktor (SGI, 2023)

I Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner TK Geo 13, finns det tre olika säkerhetsklasser som ställer olika krav på säkerhetsfaktorn. Figur 2.4 visar att ju högre

säkerhetsklass desto högre krav ställs för F_c , F_ϕ och F_{komb} (Karlsson, M., & Moritz, L., 2016).

Säkerhetsklass	Analysmetod	
	Odränerad, F_c	Kombinerad eller dränerad, $F_{c\phi}$
1	1,35	1,20
2 ¹	1,50	1,30
3	1,65	1,40

Figur 2.4 Sammanställning av Trafikverkets krav på säkerhetsfaktor (Karlsson, M., & Moritz, L., 2016).

2.6 Beräkningsmetoder

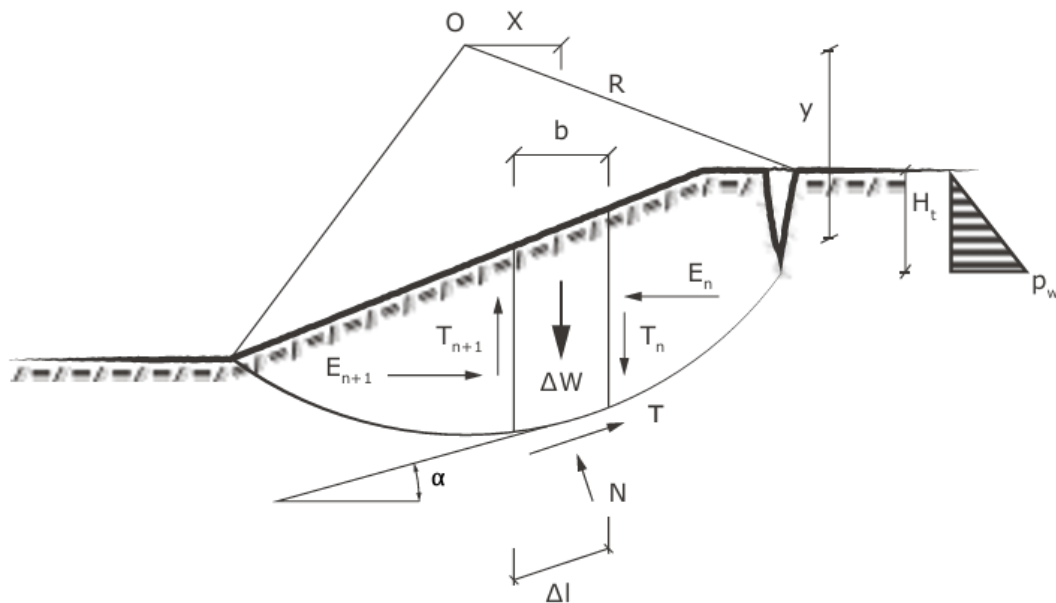
Metoder som finns idag och används för stabilitetsberäkningar är baserade på kvoten mellan pådrivande och mothållande krafter med full mobilisering med hjälp av lamellmetoder. Det används också analyser av spänningar och deformationer med hjälp av numeriska beräkningsmetoder (SGI, 2023).

2.6.1 Lamellmetoden

Lamellmetoden är den vanligaste beräkningsmetoden vid analys av släntstabilitet. Beräkningsmetoden bygger på att dela upp glidkroppen i vertikala lameller och för varje lamell studeras jämvikten mellan pådrivande och mothållande krafter. För varje lamell antas hållfasthetsegenskaperna vara konstanta utefter glidyten och det medför att normalspänningen och skjuvhållfastheten varierar längs glidyten. Till den odränerade skjuvhållfastheten går det att ta hänsyn till att den varierar med djupet samt att skjuvytans lutning kan påverka hållfastheten (SGI, 2023).

Kopplingskrafter är de krafter som verkar på en lamell, vilka består av normalkrafter och skjuvkrafter. Dessa krafter uppstår längs glidyten och mellan intilliggande lameller, se Figur 2.5. Lamellerna påverkas även av krafter från sin egenvikt och av eventuella yttre laster. Yttre krafter som kan vara pådrivande utgörs av vattentryck i sprickor i släntens övre delar. Sedan kan mothållande krafter i släntens nedre delar komma från stödkonstruktioner. En annan kraft som däremot är ovanlig men kan

påverka glidkroppen som verkar inne i lamellen är accelerationskrafter som kan uppstå vid exempelvis jordbävningar eller sprängningar (SGI, 2023).



Figur 2.5 Vilka krafter som verkar på en enskild lamell (SGI, 2023).

Där de angivna storheterna i Figur 2.5 och ekvation (2.5) utgörs av:

E_n = resultant till horisontella jordtrycket mot lamellgränsen n [kN/m]

T_n = vertikal tvärkraft i lamellgränsen n [kN/m]

Δl = båglängd [m]

ΔW = lamellens egentyngh $\gamma b h$ [kN/m]

b = lamellens bredd [m]

h = lamellens höjd [m]

x = hävarm [m]

R = cirkelns radie [m]

N = normalkraft mot glidytan [kN/m]

u = portryck i glidytan [kN/m]

α = glidytans lutning mot horisontalplanet [°]

H_t = djup för vattenfylld spricka genom torrskorpa [m]

y = momentarm [m]

Säkerhetsfaktorn F beräknas med momentjämvikt kring O, se ekvation (2.5).

$$F_{c\phi} = \frac{R \sum [c' \Delta l + (\Delta W \cos \alpha - u \Delta l) \tan \phi' + (T_n - T_n) \cos \alpha - (E_n - E_n) \sin \alpha \tan \phi]}{\sum \Delta W x + y \frac{\gamma_w H_t^2}{2}} \quad (2.5)$$

Vid beräkning av säkerhetsfaktorn av skikt med lera är den odränerade skjuvhållfastheten dimensionerande, då byts c' mot c_u och $\phi = 0$ (SGI, 2023).

2.6.2 Limit Equilibrium Methods

Stabilitet beräknas med kraft- och momentjämviktsmetoder med hänsyn till kraftspelet i jordmassan vilket innebär att båda villkoren för kraft- och momentjämvikt ska vara uppfyllda. Normalt används plana glidytor eller cirkulär-cylindriska för att förenkla beräkningarna. Bakgrunden till förenklingen är observationer som visar på att glidytor i slänter med stor utsträckning i lutningsriktningen har glidit utmed ett plan. För kohesionsjord såsom lera och andra finkorniga jordtyp, är formen cirkelsegment (SGI, 2023).

2.7 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys är en bra metod att använda sig av om det finns osäkerheter kring vilka parametrar som påverkar släntstabiliteten. Detta kan göras genom att analysera hur förändringar i indata påverkar resultatet av säkerhetsfaktorn. Genom att ändra en parameter i taget för olika lastfall, går det att ta reda på vilka faktorer som påverkar släntstabiliteten störst. Känslighetsanalyser används därför till släntstabilitetsberäkningar för att identifiera hur känslig en slänt är för förändrade förhållanden (SGI, 2023).

2.8 GeoStudio

GeoStudio är en programvara och ett numeriskt analysverktyg som används inom geoteknik. I programmet är det möjligt att kombinera fler olika typer av analyser och göra en känslighetsanalys. Med GeoStudio går det att modellera olika markförhållanden både vid och under markytan. Det går att utföra olika analyser av

släntstabilitet med olika förutsättningar som exempel grundvattenflöde, porvattentryck och statiska och dynamiska laster. GeoStudio har olika moduler i programmet och två av dem är SLOPE/W och SEEP/W (Seequent, u.å.).

2.8.1 SLOPE/W

SLOPE/W används för släntstabilitetsanalyser och baseras på Limit Equilibrium Method's för att beräkna säkerhetsfaktorn. Limit Equilibrium avser krafterna som verkar på en del av slänten vilket avser stationära förhållanden. Det finns två viktiga antaganden som LEM grundar sig på. Det första är att säkerhetsfaktorn är konstant längs glidytan och det andra är samma säkerhetsfaktor för varje lamell (Seequent, 2025).

Med SLOPE/W går det att till exempel att modellera komplex stratigrafi, varierande portrycksförhållanden, olika linjära och icke-linjära skjuvhållfastheter, varierande glidytor, förstärkningsåtgärder och punktlaster. Programmet innehåller flera analysmetoder som dränerad analys, odränerad analys och kombinerad analys. För att programmet ska kunna räkna ut säkerhetsfaktorn behövs korrekta parametrar för materialen, som exempel skjuvhållfasthetsparametrar, portryck och materialegenskaper (Seequent, 2025).

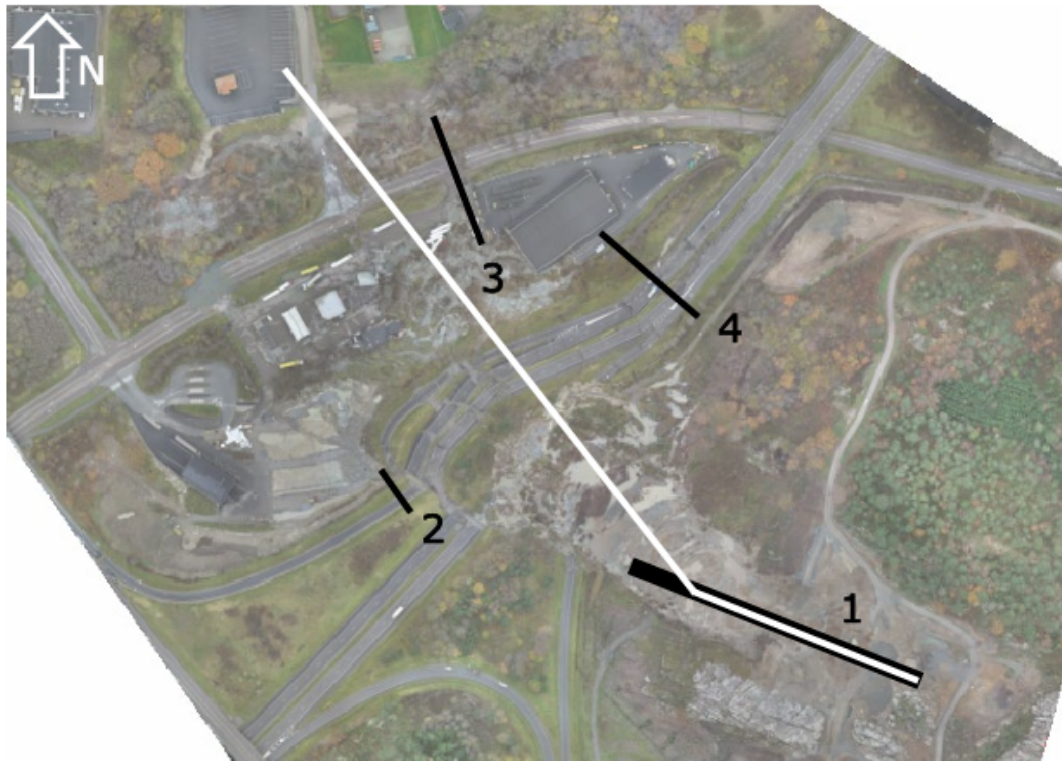
Programmet möjliggör en rad olika alternativ och valmöjligheter för att man ska kunna skapa en modell av verklighet för en grundläggande analys av stabiliteten av slänt. Analysen hittar den mest kritiska glidytan med lägst säkerhetsfaktor. Man kan ändra mellan olika jämviktsmetoder och beräkningsförutsättningar, Morgenstern-price är den metoden som analysen baseras på. Vid modellering i SLOPE/W finns det olika sätt att grafiskt visa den kritiska glidytan, bland annat Entry and Exit, Grid and Radius (Seequent, 2025).

Det finns olika materialmodeller i SLOPE/W för att kunna simulera materialets beteende i marken. Exempel på materialparametrar är $S=f(\text{depth})$, Combined $S=f(\text{depth})$, Mohr-Coulomb och Bedrock. $S=f(\text{depth})$ gör att materialens skjuvhållfasthet ökar med djupet eftersom i normal-lätt överkonsoliderad jord ökar

den odränerade skjuvhållfastheten mot djupet. Combined $S=f(\text{depth})$ är en blandning av odränerad och dränerad analys för lera utvecklad i Skandinavien. Mohr-Coulomb är det vanligaste sättet att beskriva materialens skjuvhållfasthet i en stabilitets analys. Bedrock (impenetrable) är inte riktigt en modell utan en symbol för programmet att indikera att glidytor inte kan komma in i materialet (Seequent, 2025).

3 Förutsättningar för släntstabilitetsanalysen

Stabilitetsanalysen kommer att utföras på en lerslänthet i Stenungsund där det redan har skett ett skred. Den valda sektionen där stabilitetsberäkningar kommer att genomföras är sektion 1 som ligger i den sydöstra delen som visas i Figur 3.1 efter skredet skedde. Analysen kommer att utföras med ett teoretiskt fall och ett verkligt fall.

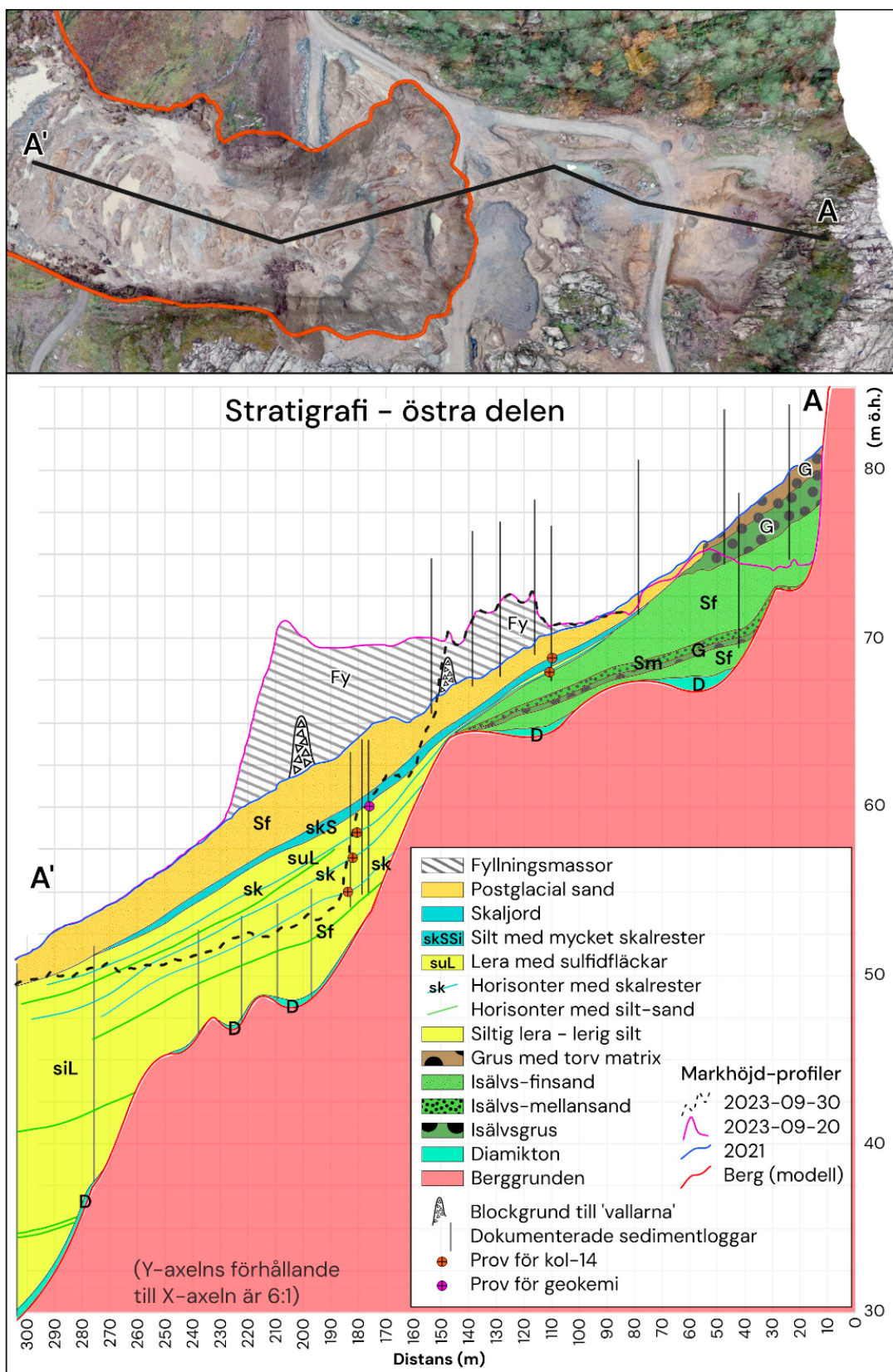


Figur 3.1 Bild på vald sektion. (Foto: Swescan, 2023. Källa: Isacsson m.fl., 2025).

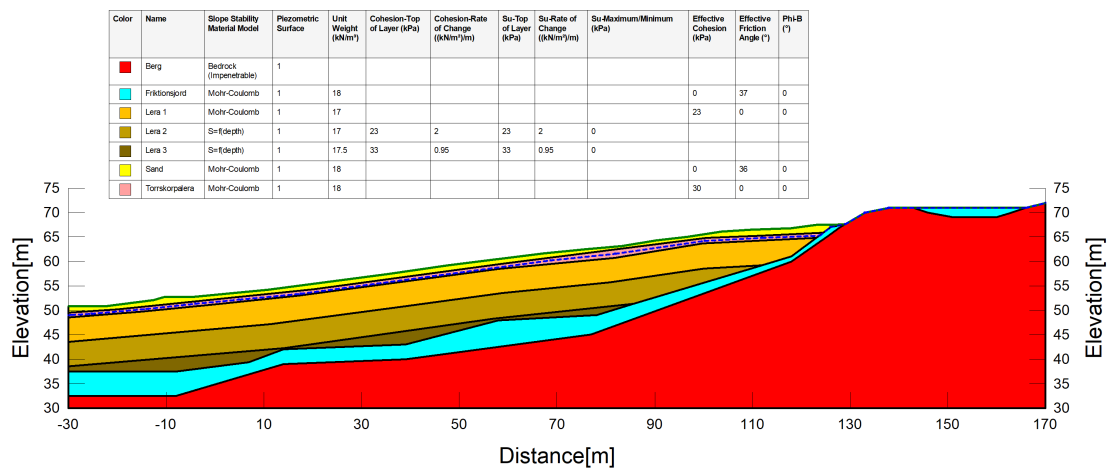
Säkerhetsklass 3 kommer att vara kravet för slänten, då motorvägen, E6:an ligger i närheten som är en livsviktig samhällsfunktion.

3.1 Jordlagerföljd och geometri

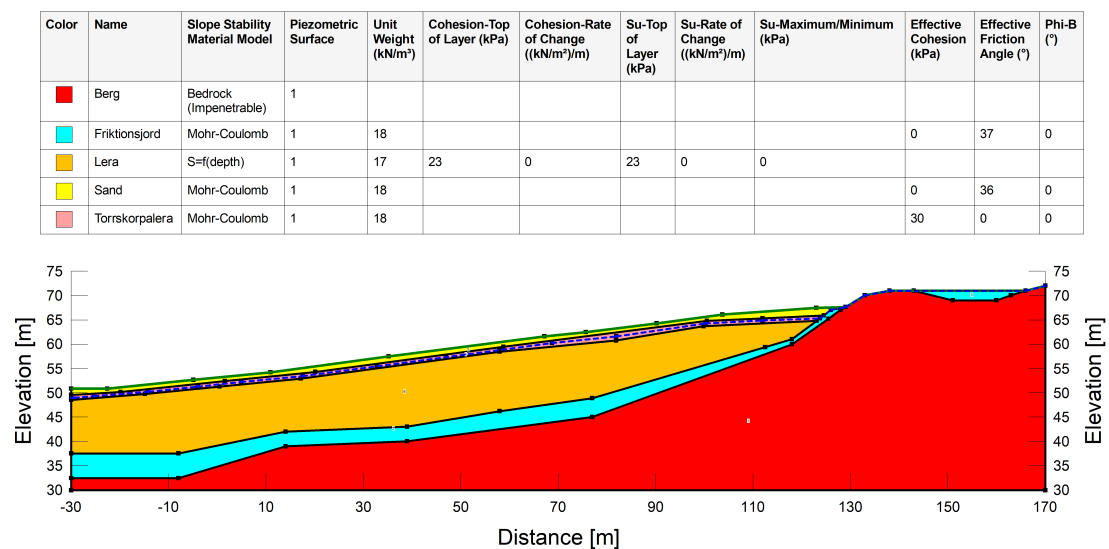
Jordlagerföljd och geometrin för slänten baseras på uppmätt data från området både före och efter skredet skedde, se Figur 3.2. För det verkliga fallet har jordlagerföljd och geometrin hämtats från Isacsson m.fl. (2025) som visas för det verkliga fallet i Figur 3.3. Det teoretiska fallet har bestämts genom en förenkling av det verkliga fallet och visas i Figur 3.4.



Figur 3.2 Höjdprofiler från tre olika tidpunkter: 2021 före exploatering, 2023 efter uppfyllnad, 2023 efter skred. Tolkning av de naturliga jordlagren, baserat på fältobservationer och sonderingar (SGU-rapport 2025:07).



Figur 3.3 Jordlagerföljd och geometri för det verkliga fallet.



Figur 3.4 Jordlagerföljd och geometri för det teoretiska fallet.

3.1.1 Grundvattennivå

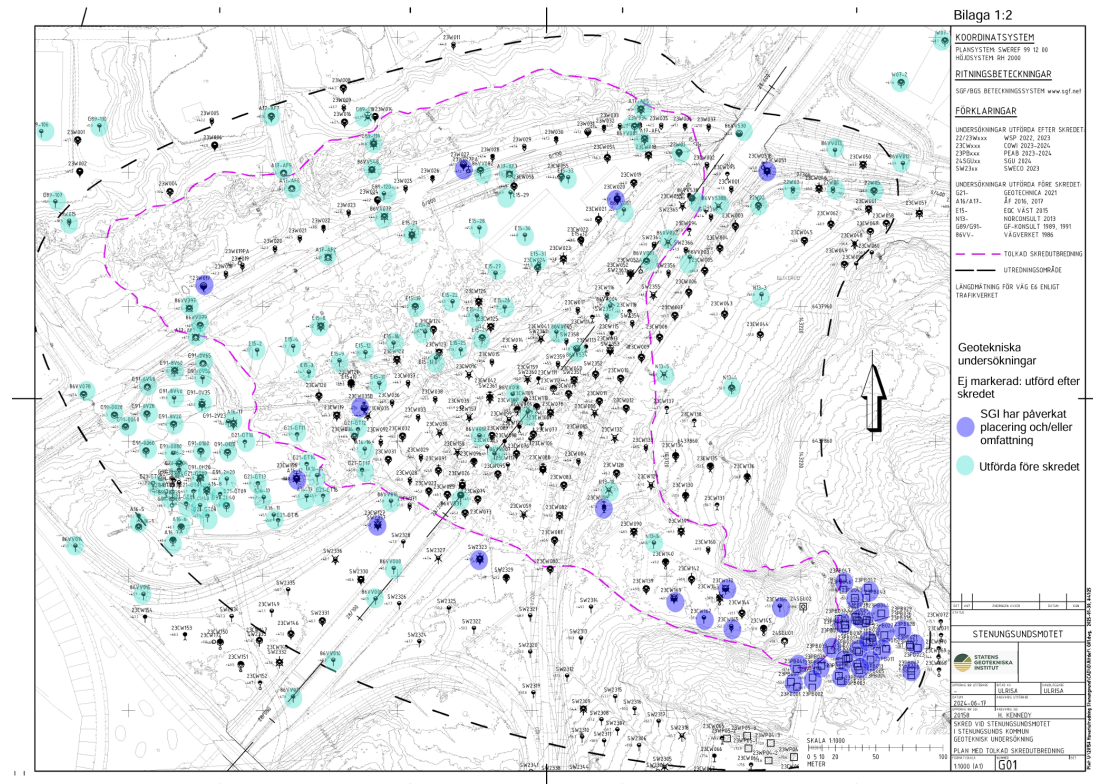
Bestämningen av faktiska grundvattennivåer har inte varit möjliga i området vid det aktuella tillfället vilket beror på saknade mätningar före skredet, därför kan SGU:s grundvattennivåmätningar inte användas direkt. Däremot kan de befintliga mätningarna användas för att bedöma den relativa förändringen av grundvattennivån, ifall om det visar sig vara snabba eller ovanliga förändringar. SGU:S grundvattennivåmätningar sker vid platser som är opåverkade av mänsklig aktivitet eller förändrade markförhållanden, därför kan dessa mätningar inte användas som

regel (SGU, 2023). Mot bakgrund av detta kommer grundvattenytan att antas till nivån av mitten av torrskorpan i båda fallen och antas öka hydrostatiskt mot djupet.

3.2 Materialparametrar

Materialparametrarna tunghet, odränerad skjuvhållfasthet, kohesionsintercept och friktionsvinkel är baserade på mätningarna som gjorts innan och efter skredet.

Mätningarna som har utförts är både ifrån fältundersökningar och laboratorieundersökningar enligt Isacsson m.fl. (2025). Fältundersökningarna bestod av trycksonderingar, CPT-sonderingar, JB-sondering, vingförsök, upptagning av störda prover, upptagning av ostörda prover, porttrycks- och grundvattenmätningar och provtagning av fyllnadsmassor. Medan laboratorieundersökningarna bestod av rutinundersökningar på störda prov, rutinundersökningar på ostörda prov, CRS-försök på prover, direkta skjuvförsök och aktiva, odränerade triaxialförsök. I Figur 3.5 visas alla geotekniska undersökningar i området, både innan och efter skredet (Isacsson m.fl., 2025).



Figur 3.5 Alla geotekniska undersökningar i området som har gjorts (Isacsson m.fl., 2025).

Materialparametrarna för det verkliga fallet för respektive materiallager har valts enligt Isacsson m.fl. (2025) och visas i Figur 3.6 för odränerad analys och i Figur 3.7 för kombinerad analys.

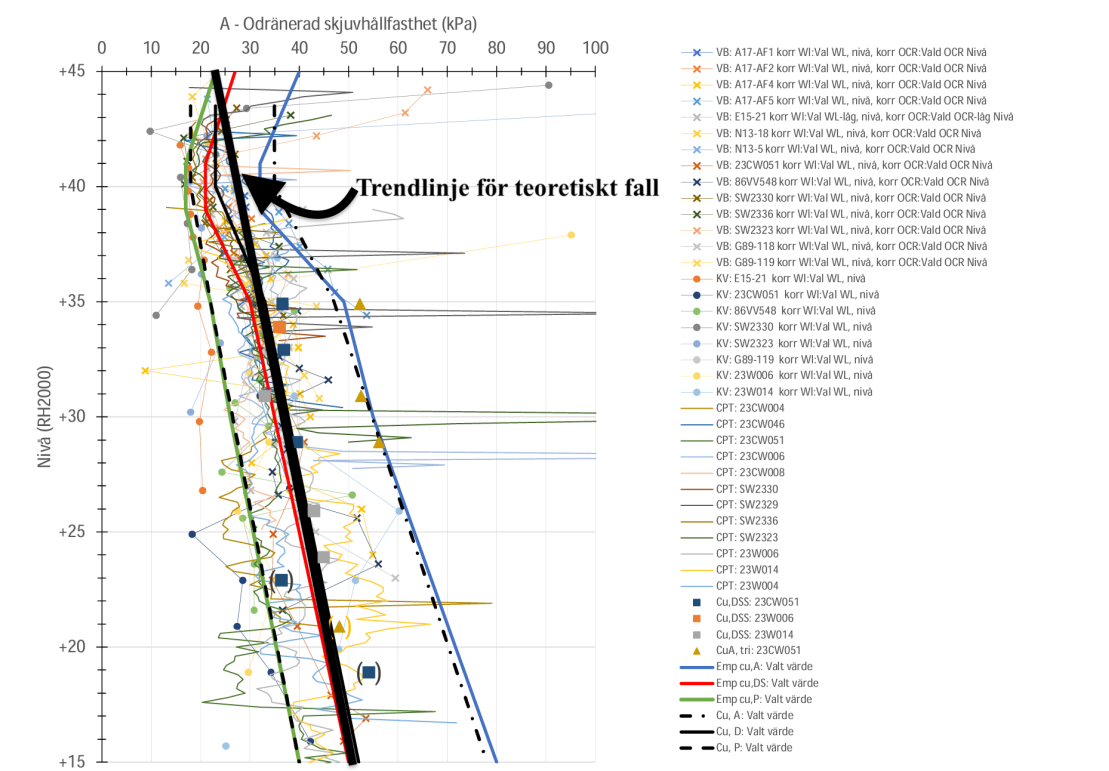
Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Maximum/Minimum (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)
	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
	Frktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18						0	37	0
	Fyllningssand/silt	Mohr-Coulomb	1	18						0	34	0
	Fyllningsspragsten	Mohr-Coulomb	1	20						0	40	0
	Lera 1	Mohr-Coulomb	1	17						23	0	0
	Lera 2	S=f(depth)	1	17	23	2	23	2	0			
	Lera 3	S=f(depth)	1	17.5	33	0.95	33	0.95	0			
	Sand	Mohr-Coulomb	1	18						0	36	0
	Torrskorpälera	Mohr-Coulomb	1	18						30	0	0

Figur 3.6 Materialparametrar för det verkliga fallet för odränerad analys

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	c/Su Ratio	Datum (Elevation) (m)	Cohesion-Datum (kPa)	Su-Datum (kPa)	Phi-B (°)
	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1												
	Frktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18	0	37									0
	Fyllningssand/silt	Mohr-Coulomb	1	18	0	34									0
	Fyllningsspragsten	Mohr-Coulomb	1	20	0	40									0
	Lera 1	Combined, S=f(depth)	1	17		30	2.3	0	23	0	0.1				
	Lera 2	Combined, S=f(depth)	1	17		30	2.3	0.2	23	2	0.1				
	Lera 3	Combined, S=f(depth)	1	17.5		30	3.3	0.095	33	0.95	0.1				
	Sand	Mohr-Coulomb	1	18	0	36									0
	Torrskorpälera	Combined, S=f(datum)	1	18		30		0		0	0.1	0	3	30	

Figur 3.7 Materialparametrar för det verkliga fallet för kombinerad analys

För det teoretiska fallet används samma materialparametrar förutom till leran då jordlagerföljden har förenklats till ett lerlager där lerans odränerade skjuvhållfasthet ökar konstant. Lerlagrets odränerade skjuvhållfasthet har valts utifrån en trendlinje av sammanställda värden, se Figur 3.8. Trendlinjen utgick ifrån den befintliga trendlinjen som visar den odränerade skjuvhållfastheten som använts till det verkliga fallet. Utifrån trendlinjen beräknades den odränerade skjuvhållfastheten till en ökning med 0,96 kPa/m.



Figur 3.8 Den tjocka svarta linjen är vald trendlinje för odränerad skjuvhållfasthet för det teoretiska fallet (Isacsson m.fl., 2025). Omarbetad.

Valda materialparametrar för det teoretiska fallet för odränerad analys visas i Figur 3.9 och för kombinerad analys i Figur 3.10.

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Maximum/Minimum (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)
■	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
■	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18						0	37	0
■	Fyllning: Sand/Silt	Mohr-Coulomb	1	18						0	34	0
■	Fyllning: Sprängsten	Mohr-Coulomb	1	20						0	40	0
■	Lera	S=f(depth)	1	17	23	0,96	23	0,96	0			
■	Sand	Mohr-Coulomb	1	18						0	36	0
■	Torrskorpälera	Mohr-Coulomb	1	18						30	0	0

Figur 3.9 Materialparametrar för det teoretiska fallet för odränerad analys

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	c'/Su Ratio	Phi-B (°)
	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1	24,16867; 194,910541 m								
	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18	0	37						0
	Fyllning: Sand/Silt	Mohr-Coulomb	1	18	0	34						0
	Fyllning: Sprängsten	Mohr-Coulomb	1	20	0	40						0
	Lera	Combined, S=f(depth)	1	17		30	2,3	0,096	23	0,96	0,1	
	Sand	Mohr-Coulomb	1	18	0	36						0
	Torskorpalera	Combined, S=f(depth)	1	18		30	0	3	30	0	0,1	

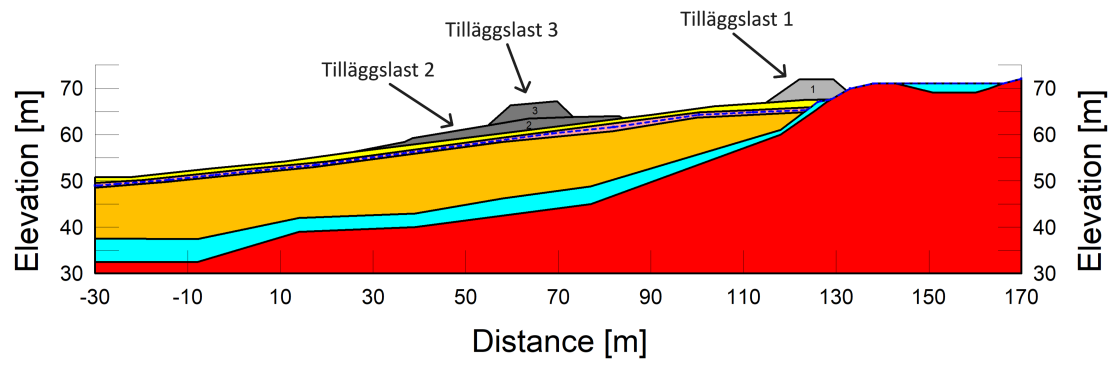
Figur 3.10 Materialparametrar för det teoretiska fallet för kombinerad analys

3.3 Laststeg

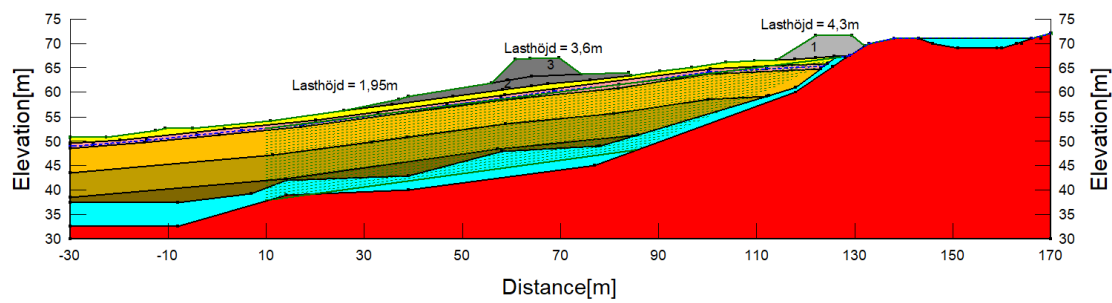
Till känslighetsanalysen används följande laststeg till både den verklighetsbaserade modellen och den förenklade modellen, samt för både odränerad och kombinerad analys:

1. Grundscenario
2. Tilläggslast 1
3. Tilläggslast 2
4. Tilläggslast 2 + Tunghetsanalys
5. Tilläggslast 3

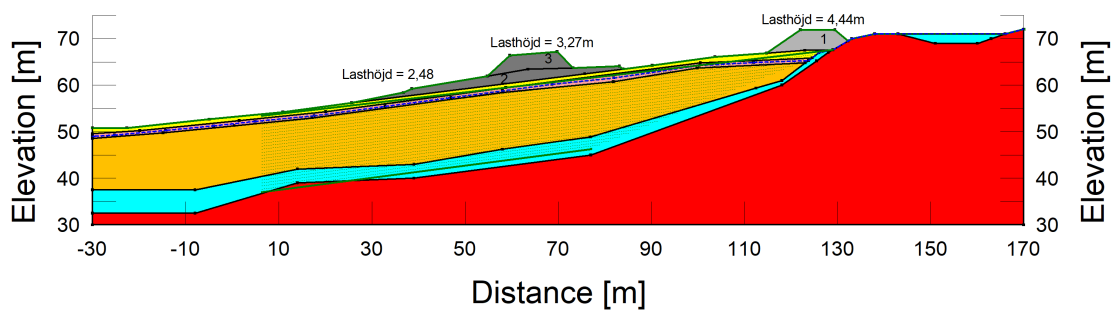
I Figur 3.11 visas var tilläggslasterna är placerade och dess geometri. Tilläggslast 1 består av sand och silt och har tungheten 18 kN/m³ medan tilläggslast 2 och 3 består av sprängsten med en tunghet på 20 kN/m³. Lastens höjd visas i Figur 3.12 för det verkliga fallet och i Figur 3.13 för det teoretiska fallet. I tunghetsanalysen beskrivs hur tilläggslasterna skulle öka i tunghet till följd av vatteninfiltration, där regnvattnet fyller ut hålrummen.



Figur 3.11 Tilläggslasternas utformning och placering.



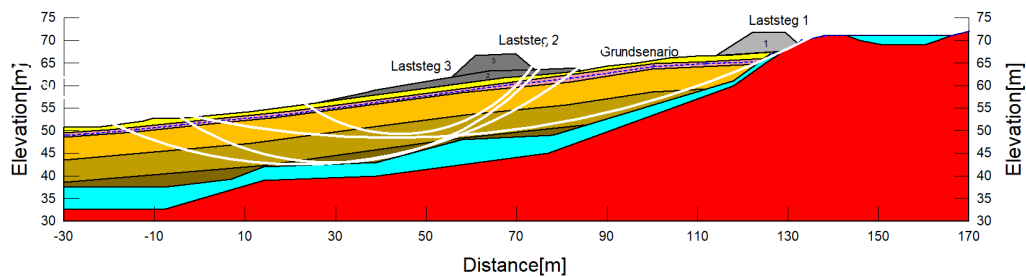
Figur 3.12 Lasternas höjd för det verkliga fallet



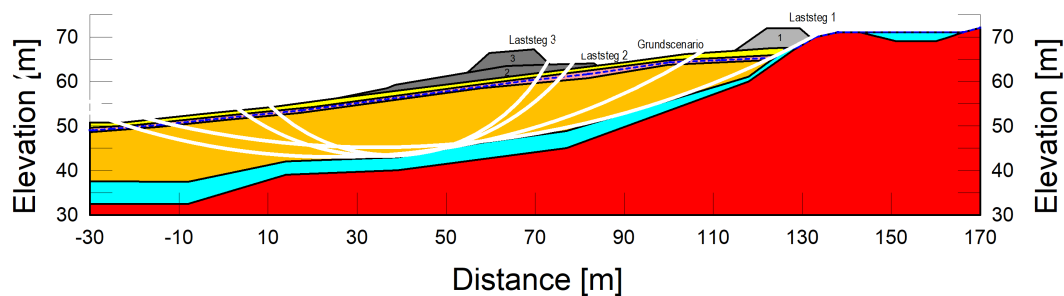
Figur 3.13 Lasternas höjd för det teoretiska fallet

4 Resultat

Säkerhetsfaktorn och placering av den kritiska glidytan för varje lastfall beräknades med GeoSlope för odränerad analys respektive kombinerad analys. Resultatet visar att glidyterna för odränerad analys och kombinerad analys är väldigt lika. I Figur 4.1 och 4.2 har alla kritiska glidytor från varje lastfall sammanställts för både det verkliga fallet och det teoretiska fallet för odränerad analys.



Figur 4.1 Glidyterna för det verkliga fallet (odränerat).



Figur 4.2 Glidyterna för det teoretiska fallet (odränerat).

Resultatet från släntstabilitetsberäkningarna för säkerhetsfaktorn sammanställs i Tabell 4.1. Odränerad analys ska ha en säkerhetsfaktor över 1,65 och kombinerad analys över 1,40 för att uppfylla kravet för säkerhetsklass 3.

Tabell 4.1 Sammanställda resultat av säkerhetsfaktor beräknat i GeoStudio för samtliga av fallen där laststeg 2 har en extra tyngd, där understruken säkerhetsfaktor inte uppfyller kravet.

	Verkligt fall		Teoretiskt fall	
Analysmetod	F_c	F_{komb}	F_c	F_{komb}
Grundscenario	1,66	1,62	<u>1,62</u>	1,60
Laststeg 1	<u>1,60</u>	1,53	<u>1,52</u>	1,52

Laststeg 2	<u>1,28</u>	<u>1,27</u>	<u>1,27</u>	<u>1,26</u>
Laststeg 3	<u>0,91</u>	<u>0,91</u>	<u>0,95</u>	<u>0,95</u>
Laststeg 2 +1[kN/m ³]	<u>1,26</u>	<u>1,25</u>	<u>1,25</u>	<u>1,24</u>
Laststeg 2 +2[kN/m ³]	<u>1,25</u>	<u>1,24</u>	<u>1,23</u>	<u>1,22</u>
Laststeg 2 +3[kN/m ³]	<u>1,23</u>	<u>1,22</u>	<u>1,21</u>	<u>1,20</u>
Laststeg 2 +4[kN/m ³]	<u>1,22</u>	<u>1,21</u>	<u>1,20</u>	<u>1,19</u>
Laststeg 2 +5[kN/m ³]	<u>1,20</u>	<u>1,19</u>	<u>1,18</u>	<u>1,17</u>

4.1 Grundscenario

Säkerhetsfaktorn beräknades för odränerad analys respektive kombinerad analys till 1,66 och 1,62 för det verkliga fallet och 1,62 och 1,60 för det teoretiska fallet. Resultaten visas i Bilaga 8.1-8.4. Alla grundscenariorna förutom för odränerad analys för det teoretiska fallet uppfyller kraven för säkerhetsklass 3. Kravet för säkerhetsklass 3 för odränerad analys är 1,65 vilket gör att kravet precis inte uppfylls då F_c blev 1,62.

4.2 Laster

I resultatet framgår det att säkerhetsfaktorn minskar successivt i alla fallen vid ökande last. Med last 1 sjunker inte säkerhetsfaktorn jättemycket och slänten klarar fortfarande av kraven för kombinerad analys. Dock för den odränerade analysen sjunker säkerhetsfaktorn så att ingen av fallen klarar kravet. F_c för det verkliga fallet beräknades till 1,60 vilket gör att kravet inte uppfylls. För det verkliga fallet blev $F_{komb} = 1,53$ och för det teoretiska fallet blev $F_c = 1,52$ och $F_{komb} = 1,52$. I Bilaga 8.5-8.8 visas den beräknade säkerhetsfaktorn för varje fall och att den kritiska glidyten går vid lasten.

För laststeg 2 sjunker säkerhetsfaktorn mycket mer än vad den gjorde vid laststeg 1. Säkerhetsfaktorn blir tillräckligt låg så att ingen av analyserna eller fallen uppfyller kraven. För det verkliga fallet blir $F_c = 1,28$ och $F_{komb} = 1,27$, medan för det teoretiska fallet blir $F_c = 1,27$ och $F_{komb} = 1,26$. Den kritiska glidyten går nu i stället

vid last 2 och är mycket kortare än för last 1, vilket visas i Bilaga 8.9-8.12 där även den beräknade säkerhetsfaktoren visas.

Sedan när last 3 även läggs på sjunker säkerhetsfaktor relativt mycket.

Säkerhetsfaktorn för varje fall och analys sjunker till mindre än 1 och slänten är därmed ostabil. De beräknade säkerhetsfaktorerna för det verkliga fallet blev $F_c = 0,91$ och $F_{komb} = 0,91$ och för det teoretiska fallet $F_c = 0,95$ och $F_{komb} = 0,95$, vilket beskrivs i Bilaga 8.13-8.16. De kritiska glidyterna har nu lagt sig vid last 3.

4.3 Tunghetsanalys

En tunghetsanalys genomfördes i GeoStudio för tilläggslast 2, där sprängstenens tunghet ökade från 20 kN/m³ till 25 kN/m³ med 1 kN/m³ mellan lasterna. Resultaten redovisas i bilaga 8.13 – 8.16 och visar en liten sänkning av säkerhetsfaktorerna, då säkerhetsfaktorerna sjunker med 0,01 till 0,02 för varje laststeg.

5 Diskussion

Analysen har utförts genom att efterlikna förhållanden som bedöms ha förekommit vid Stenungsundsskredet. Däremot har lastökningen avslutats när säkerhetsfaktorn understigit 1,0, vilket innebär att fokuset ligger på att se övergången när slänten går från stabil till ostabil. I analysen ökades mängden fyllnadsmassor successivt tills säkerhetsfaktorn understeg 1,0. Sedan vid laststeg 2 analyserades hur nederbörd, som en ökad tyngd på fyllnadsmassorna påverkar släntens stabilitet. Släntens fortsatta beteende efter brott analyseras därför inte och resultaten visar främst vilken belastning slänten klarar av innan den blir ostabil.

5.1 Säkerhetsfaktorn

Med den ökade belastningen visar resultatet att säkerhetsfaktorn tydligt minskar, vilket är realistiskt eftersom de pådrivande krafterna längs den kritiska glidyten ökar. För grundscenariot jämfört med last 1 är skillnaden inte så stor, däremot med last 2 och 3 visas en betydlig skillnad. Orsaken kan bero på att last 1 är av sand och silt och last 2 och 3 består av sprängsten som är ett tyngre material och därmed ger en högre belastning på slänten. Resultatet visar även att den kritiska glidyten förändras mellan laststegen. För laststeg 1 befinner sig den kritiska glidyten vid last 1 medan för laststeg 2 och 3 befinner sig den i stället vid last 2 och 3. Detta kan bero på att last 2 är tyngre än last 1, något som gör att de tyngre lasterna styr vart brottet kommer uppstå, eftersom de lasterna har störst inverkan på släntstabiliteten.

Tunghetsanalysen bekräftar att det är last 2 som har störst påverkan på stabiliteten. Där sker en gradvis minskning av säkerhetsfaktorn vid en ökning av sprängstenens tunghet med 1 kN/m^3 för varje laststeg på last 2 genom nederbörd. En tyngre last ger större pådrivande krafter längs glidyten och det är rimligt eftersom de tyngre lasterna styr var brottet uppstår. Stabiliteten i slänten är därför känslig vid tunghetsförändringar av fyllnadsmassor, vilket kan förändras genom hur mycket nederbörd som faller. Det är därav viktigt att ta hänsyn till att fyllnadsmassor kan bli tyngre vid nederbörd och ha med det i beräkningar av släntstabilitet.

Arean på lasten har en stor betydelse och en felkälla är att arean inte är exakt likadan som för det verkliga fallet jämfört med det teoretiska fallet. Detta beror på att de olika fallen modellerades separat. Framför allt är det last 2 som skiljer sig mellan fallen och det teoretiska fallet har en högre lasthöjd. Last 1 skiljer sig väldigt lite och last 3 skiljer sig lite mer. Däremot om lasthöjden för last 2 och 3 läggs ihop så blir skillnaden väldigt liten. Lasterna som ligger på markytan, som är last 1 och 2, kan skilja sig i höjden på grund av att det teoretiska fallet är förenklade och inte har samma markyta. Därför kan lasterna ha en högre höjd i det förenklade fallet. Skillnader i lasternas utbredning och area påverkar släntstabiliteten, där en last med mindre utbredning och därför högre höjd ger en lägre säkerhetsfaktor på grund av högre tryck.

En jämförelse mellan det verkliga fallet och det teoretiska fallet visar att det teoretiska fallet oftast har en lite lägre säkerhetsfaktor, dock är skillnaderna generellt väldigt små. Orsaken kan bero på att det teoretiska fallet är förenklat och inte är lika detaljerat som det verkliga fallet. Både markytan och geometrin är förenklade i det teoretiska fallet och jordlagren har mindre tydliga upphöjningar och är mer homogent än för det verkliga fallet. Därför kan glidyten i det teoretiska fallet bli längre och djupare då glidyten kan utvecklas mer fritt medan det verkliga fallets glidyta kan begränsas genom ojämnheter i jordprofilen.

I det teoretiska fallet har lerlagren från det verkliga fallet förenklats till ett lerlager. Där lerlagret baseras på en trendlinje av sammanställda värden från lerans odränerade skjuvhållfasthet, där den odränerade skjuvhållfastheten antas öka linjärt med djupet. Trendlinjen leder till en högre skjuvhållfasthet där lerlager 1 och lite mer än halva lerlager 2 befinner sig. Även fast det teoretiska fallet har lite högre skjuvhållfasthet i de översta lerlagren så är fortfarande säkerhetsfaktorn lägre. Detta är på grund av att den ökade skjuvhållfastheten inte kan kompensera för de större pådrivande krafterna som uppstår när glidyten blir större. Därför kan det teoretiska fallet leda till mindre konservativa resultat, då fås något lägre värde på säkerhetsfaktorn.

Skillnaden på säkerhetsfaktor mellan odränerad och kombinerad analys är generellt liten, men varierar beroende på lastfall. Det beror på att porvattentrycket inte skiljer sig tillräckligt för att ha en märkbar påverkan på effektivspänningarna, då det är den

odränerade skjuvhållfastheten som styr analysen. Även fast analyserna bygger på olika hållfasthetsparametrar blir resultatet av säkerhetsfaktorn likartade eftersom jordens hållfasthet är liknande beskrivna för de båda fallen.

5.2 Geotekniska undersökningar och materialparametrar

Noggrannheten i geotekniska undersökningar begränsas ofta av de faktiska markförhållandena och det beror på att de mätvärden och antaganden som har använts i analysen är en förenklad beskrivning av verkligheten. Exempelvis har det i analysen antagits homogena materialegenskaper inom varje jordlager, medan naturliga avlagringar förekommer med en viss variation på materialparametrar.

Tillförandet av fyllnadsmassor i öst skedde på grund av flera aktiviteter i samband med olika anläggningsarbete i området vilket kan ha påverkat konsolideringen. När markens massbalans förändras, kan jordlagren anpassa sig genom konsolidering men tillförandet av massor sker relativt snabbt, vilket sannolikt resulterade att underliggande jordlager inte konsoliderades i samma takt.

I Stenungsundsfallet har det använts en blandning av provresultat före och efter skredet. Främst är det mätvärden innan skredet inträffade som har använts, men dessa mättningar ligger på andra sidan av E6:an. Mätvärdena nära området där skredet inträffade är begränsade innan skredet och dessa ligger dessutom nära motorvägen. Det finns därför inga mätvärden nära släntens krön och mätvärdena där, är från efter skredet. Detta kan därför tyda på en del osäkerheter kring bestämmandet av materialparametrar. Mätvärdena för den odränerade skjuvhållfastheten börjar från +45 m.ö.h. och leran börjar på ca +65 m.ö.h. i modellen. Detta medför att den övre delen av leran kan ha en annan skjuvhållfasthet än det använda i analysen.

En annan aspekt är hur portrycket varierar i slänten. Porvattentrycket har antagits öka linjärt och hydrostatiskt mot djupet i den här analysen. Medan i verkligheten kan portrycket vara något högre eller lägre på en viss nivå vilket kan påverka stabiliteten. Det här gör att det blir skillnader mellan de antagna värdena och de verkliga förhållandena i marken vilket kan leda till en viss osäkerhet i parametrarna. Till

exempel simuleringen av nederbörd och ändrade tungheter på fyllnadsmassor har varit homogen vilket inte har tagit hänsyn till den tidsberoende uppbyggnaden av porövertryck.

6 Slutsats

Syftet med examensarbetet var att undersöka hur en slänts stabilitet kan påverkas av fyllnadsmassor och nederbörd och vi anser att vi har erhållit svar på studiens syfte och frågeställningar. Resultatet visar att slänstabiliteten försämras vid ökande mängd fyllnadsmassor och därmed påverkas jämvikten mellan pådrivande krafter och mothållande krafter. Detta leder till att säkerhetsfaktorn minskar eftersom de pådrivande krafterna ökar och de mothållande krafterna i slänten inte klarar av att stå emot. Vid ökad last av fyllnadsmassor förändras och flyttas den kritiska glidyten, där de tyngre lasterna styr var den kritiska glidyten lägger sig.

Resultatet visar också att fyllnadsmassornas tunghet har en betydande inverkan på släntstabiliteten. När tungheten ökar vid nederbörd ökar belastningen ytterligare. Det medför att de pådrivande krafterna längs den kritiska glidyten ökar och leder till att säkerhetsfaktorn minskar.

En jämförelse mellan det verkliga fallet och det teoretiska fallet visar att det teoretiska fallet oftast har en något lägre säkerhetsfaktor. Detta beror på att det teoretiska fallet är mer förenklat, med färre detaljer. Glidyten i det teoretiska fallet kan bli längre och djupare, medan det verkliga fallets glidyta begränsas av ojämnheter i jordprofilen.

Sammanfattningsvis visar resultatet att det är viktigt att beakta förändringar i lasters storlek och tunghet vid släntstabilitetsanalyser. Det är också viktigt att ta hänsyn till osäkerheterna i materialparametrarna, då dessa byggs på begränsade och antagna mätvärden. Detta kan påverka resultatet och är därför viktigt att beaktas vid analysen.

7 Referenser

Boverket. (2025). *Ras och skred*. Boverket. https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/sakerhetsfragor/ras/

Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik. (2010). Tillståndbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar.

Isacsson, U., Sellin, C., Kennedy, H., & Thorén, T. (2025). Skred vid Stenungsundsmotet i Stenungsunds kommun, Geoteknisk utredning av släntstabilitet.

Knappett, J. A., & Craig, R. F. (2012). *Craig's soil mechanics* (8:e uppl.). Spoon Press.

Karlsson, M., & Moritz, L. (2016). Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner-TK Geo 13.

Konitzer, K. (2019). Riskområden för ras, skred, erosion och översvämning.

LEE W. Abramson. Thomas S. LEE. Sunil Sharma. Glenn M. Boyce. (2002). *Slope stability and stabilization methods* (2:a uppl.).

Myndigheten för civilt försvar. (2025). *Varför inträffar skred och ras?* MCF. <https://www.mcf.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/ras-och-skred/varfor-intraffar-skred-och-ras/>

Seequent. (u.å.). *GeoStudio 2D*. Seequent. <https://www.seequent.com/products-solutions/geostudio-2d/#insights-impact>

Seequent. (2025). Stability Modeling with GeoStudio.

SGI. (2023). Utredning av släntstabilitet (1:a uppl.).

SGI. (2025a). *Bra att veta om kvicklera*. <https://www.sgi.se/tjanster-och-verktyg/vagledning/kartlaggning-av-kvicklera/kartlaggning-av-kvicklera/kartlaggning-kvicklera>

SGI. (2025b). *Varför inträffar skred?* Statens Geotekniska Institut. <https://www.sgi.se/vara-expertomraden/skred-ras-och-erosion/skred-och-ras/varfor-intraffar-skred>

SGI. (2025c). *Jordarter*. <https://www.sgi.se/vara-expertomraden/skred-ras-och-erosion/vad-ar-geoteknik/jordarter#:~:text=Lera,av%20finjorden%20utg%C3%B6rs%20av%20lerpartiklar>

SGU. (2020). *Erosion*. SGU. <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/erosion-och-igenvaxning/erosion/>

Sivakugan, N. D. B. M. (2010). *Geotechnical Engineering - A Practical Problem Solving Approach*. J. Ross Publishing, Inc.

SMHI. (u.å.). *Klimatförändringen är tydlig redan idag*. SMHI. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimat>

SMHI. (2025, december 30). *Nederbörd*. SMHI. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/nederbord>

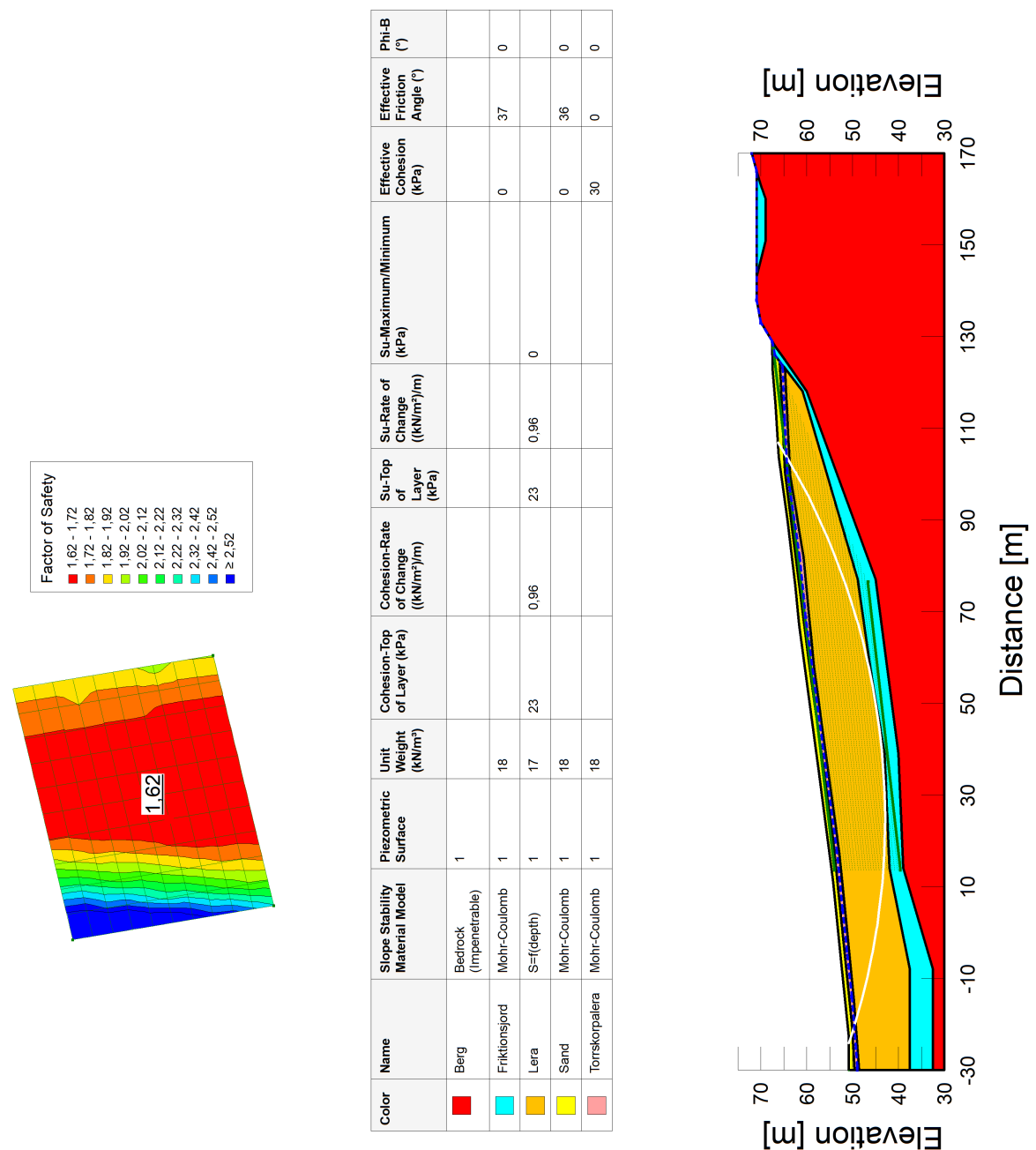
Sällfors, G. (2013). *Geoteknik* (1:a uppl.).

Världsnaturfonden WWF. (2025, december 9). *Klimatförändringarna*. <https://www.wwf.se/klimat/klimatforandringar/#vader-hand-er-med-klimatet>

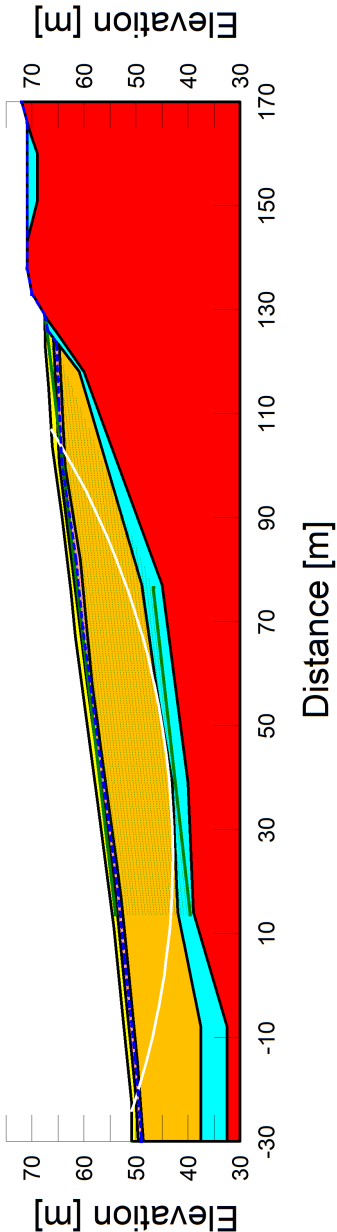
Wikby, P. (2025). *SLOPE/W Student manual*.

8 Bilagor

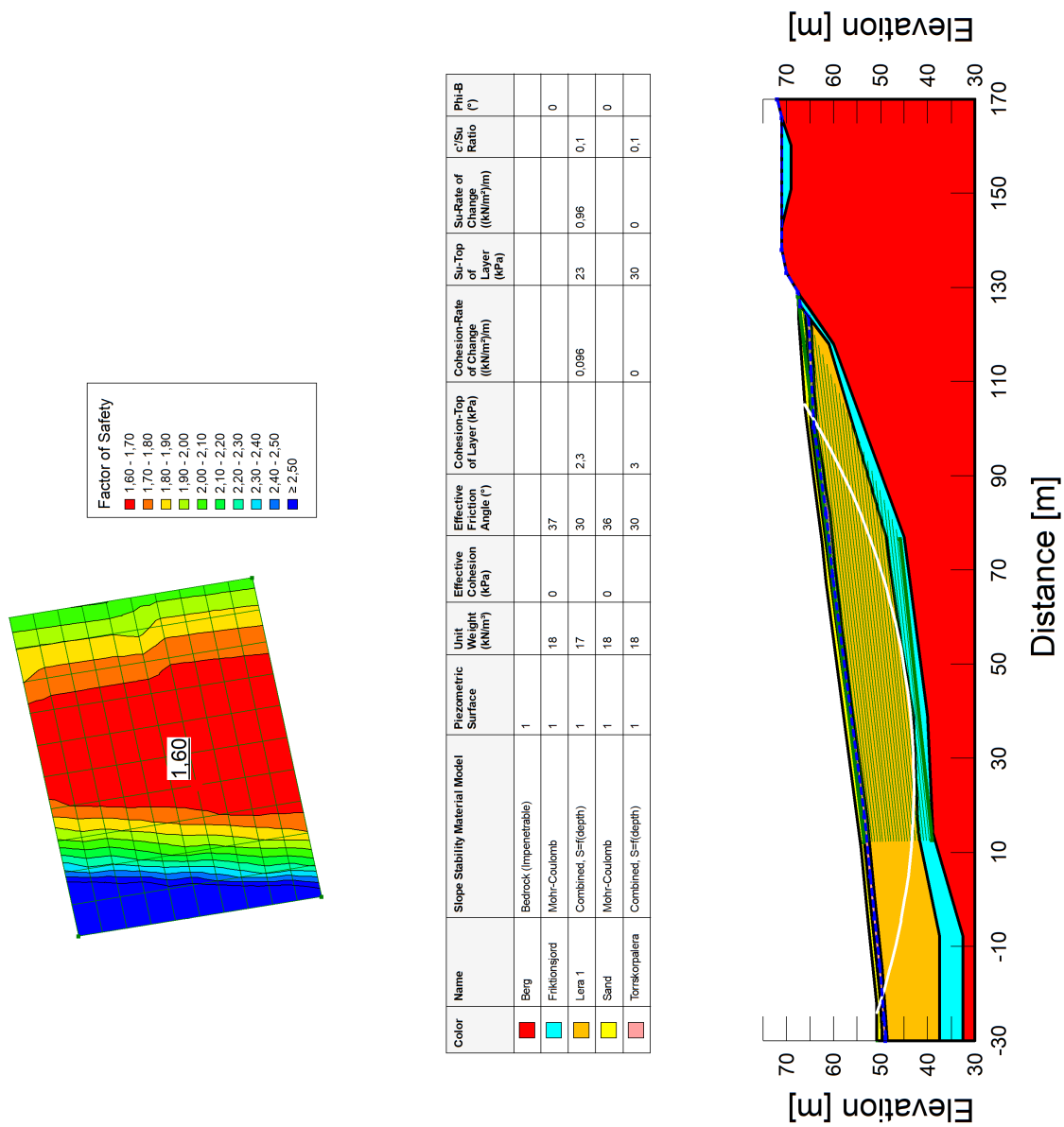
8.1 Teoretiskt fall (Odränerat) – Grundscenario



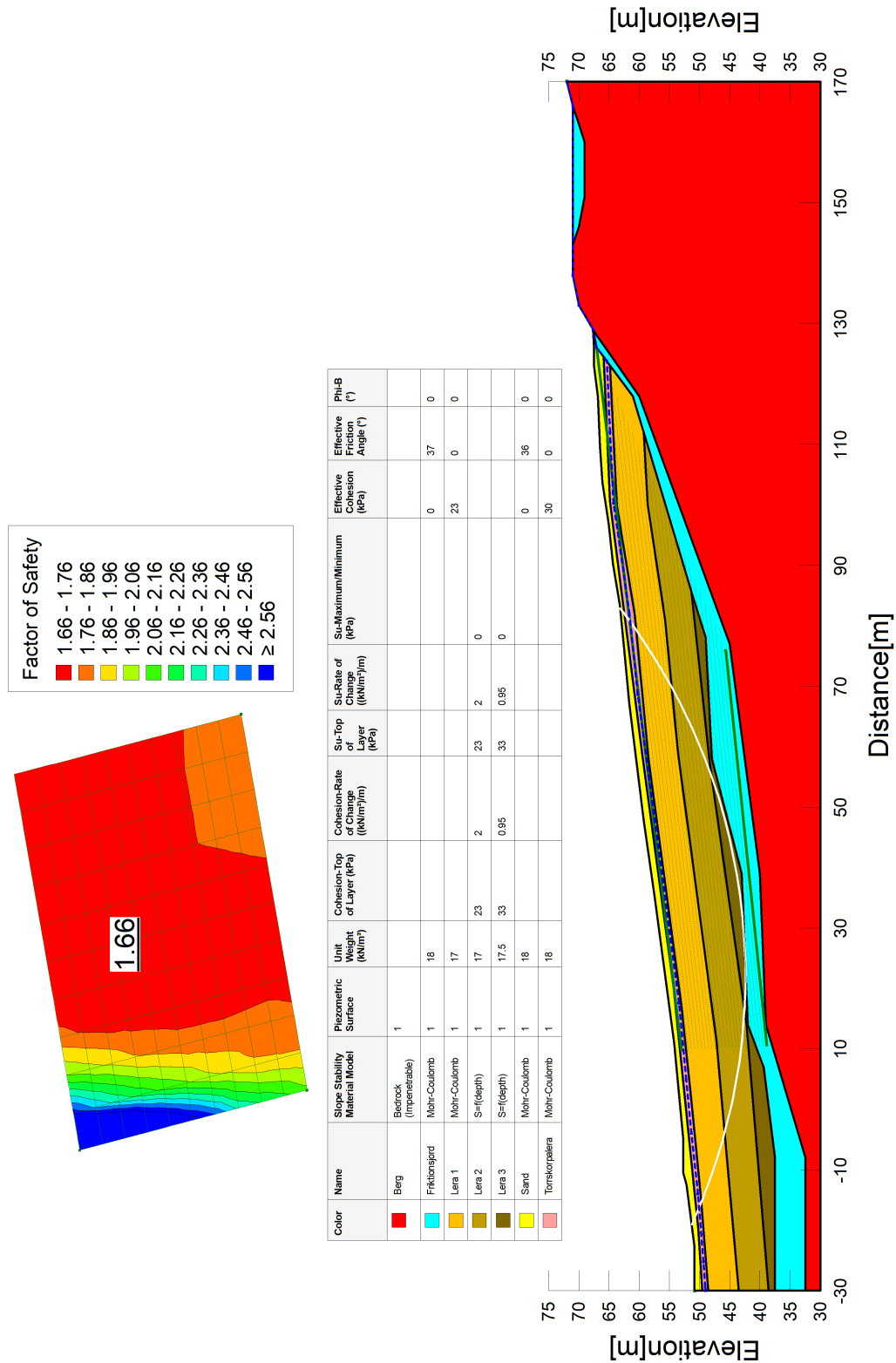
Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Maximum/Minimum (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)
Red	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
Cyan	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18						0	37	0
Orange	Lera	S=f(depth)	1	17	23	0.96	23	0.96	0			
Yellow	Sand	Mohr-Coulomb	1	18						0	36	0
Pink	Torrskorpallera	Mohr-Coulomb	1	18						30	0	0



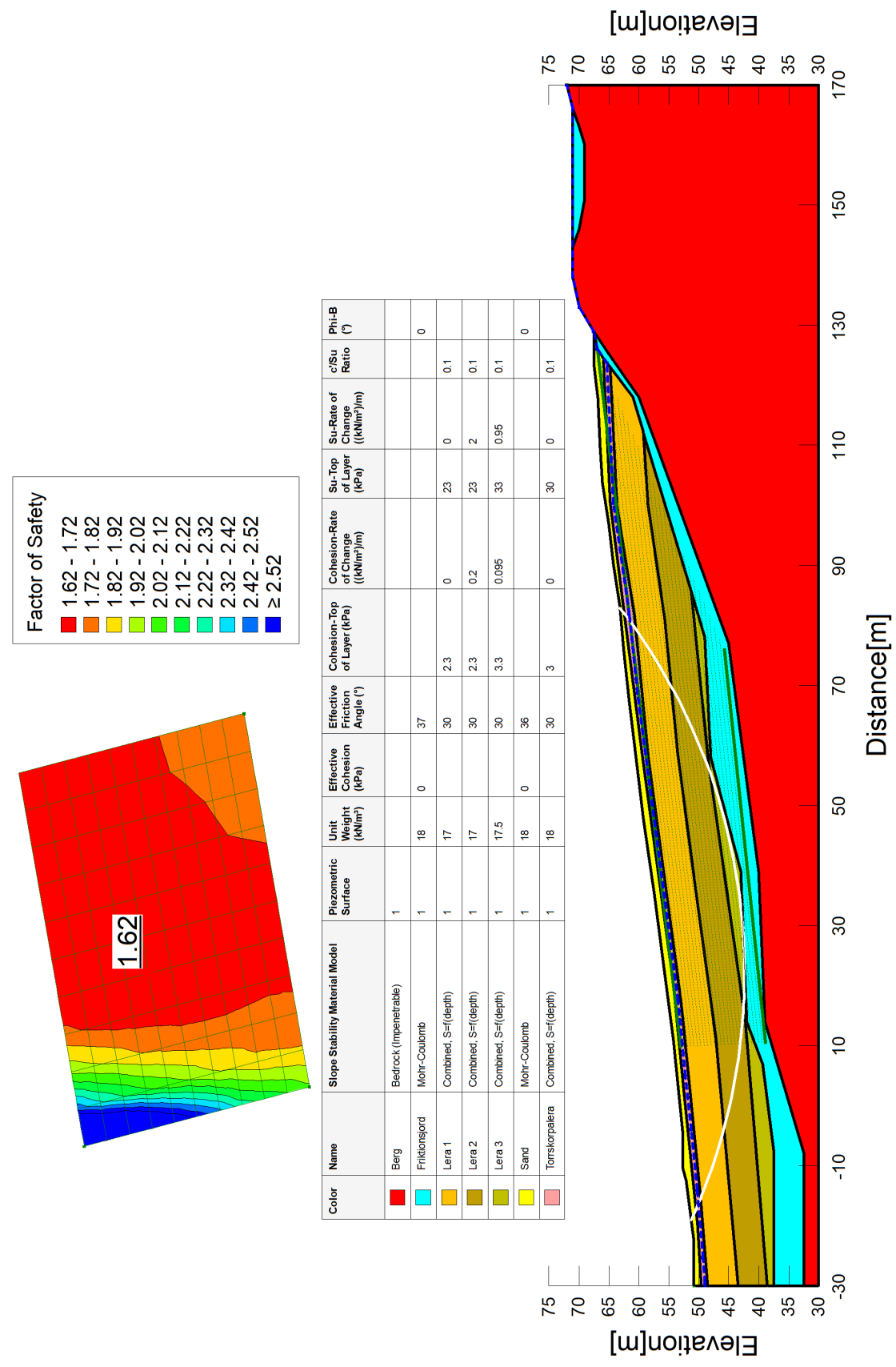
8.2 Teoretiskt fall (Kombinerad) - Grundscenario



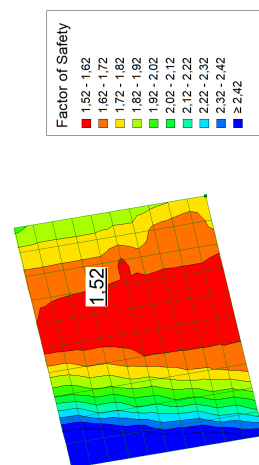
8.3 Verkligt fall (Odränerad) – Grundscenario



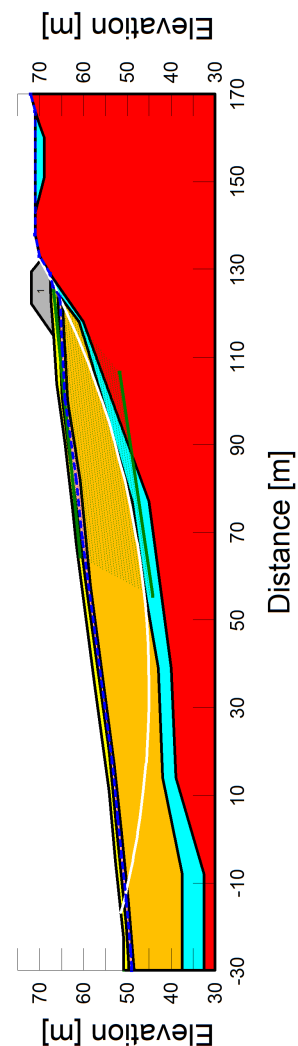
8.4 Verklagt fall (Kombinerad) – Grundscenario



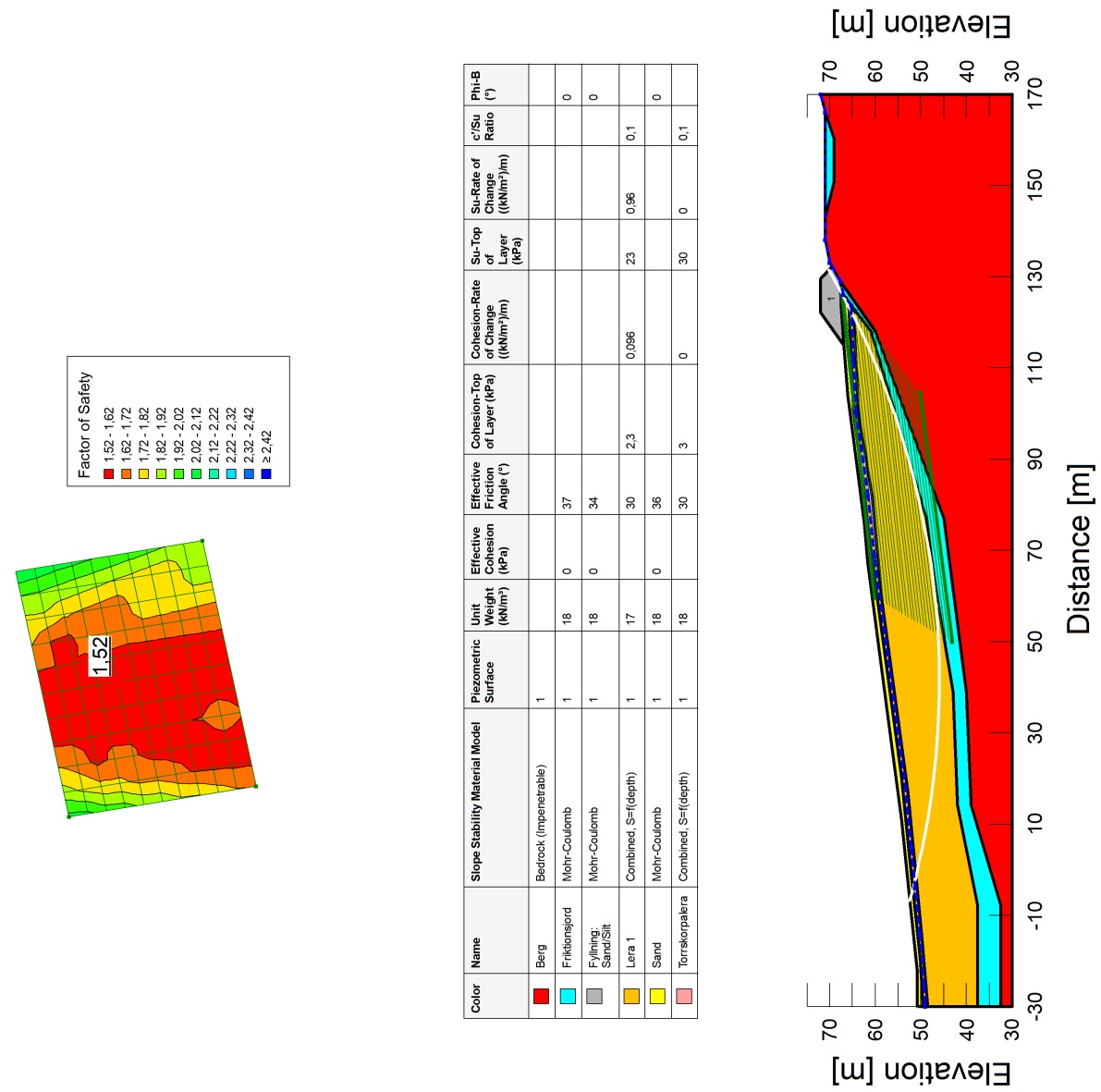
8.5 Teoretiskt fall (Odränerad) – Laststeg 1



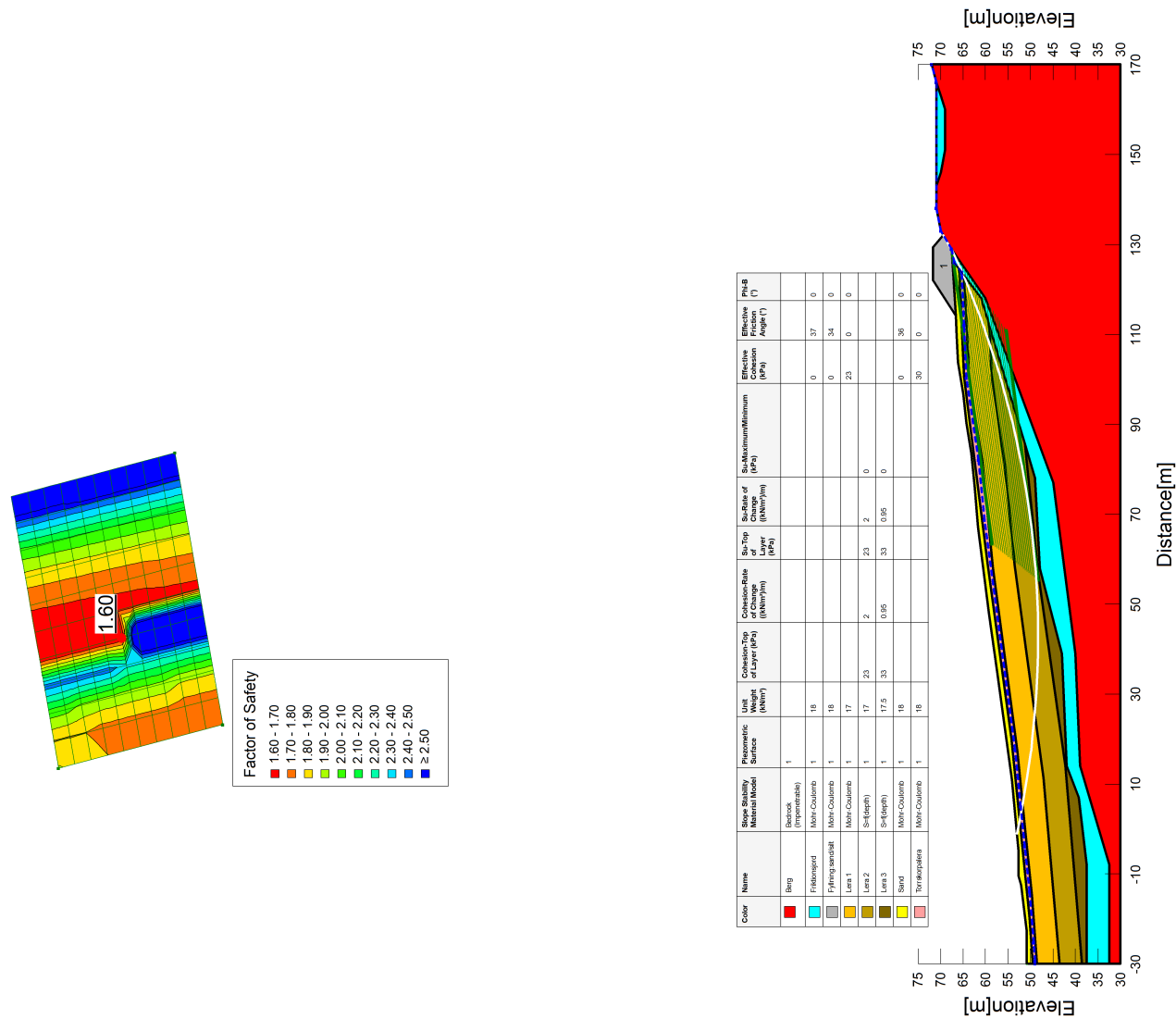
Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m³)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m³)/m)	Su-Maximum/Minimum (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B
Red	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
Cyan	Friktingsjord	Mohr-Coulomb	1	18					0	0	37	0
Grey	Fylling: Sand/Silt	Mohr-Coulomb	1	18					0	0	34	0
Yellow	Lera	S=(depth)	1	17	23	0.96	23	0.96	0			
Light Yellow	Sand	Mohr-Coulomb	1	18					0	0	36	0
Pink	Torrskorpålera	Mohr-Coulomb	1	18					30	30	0	0



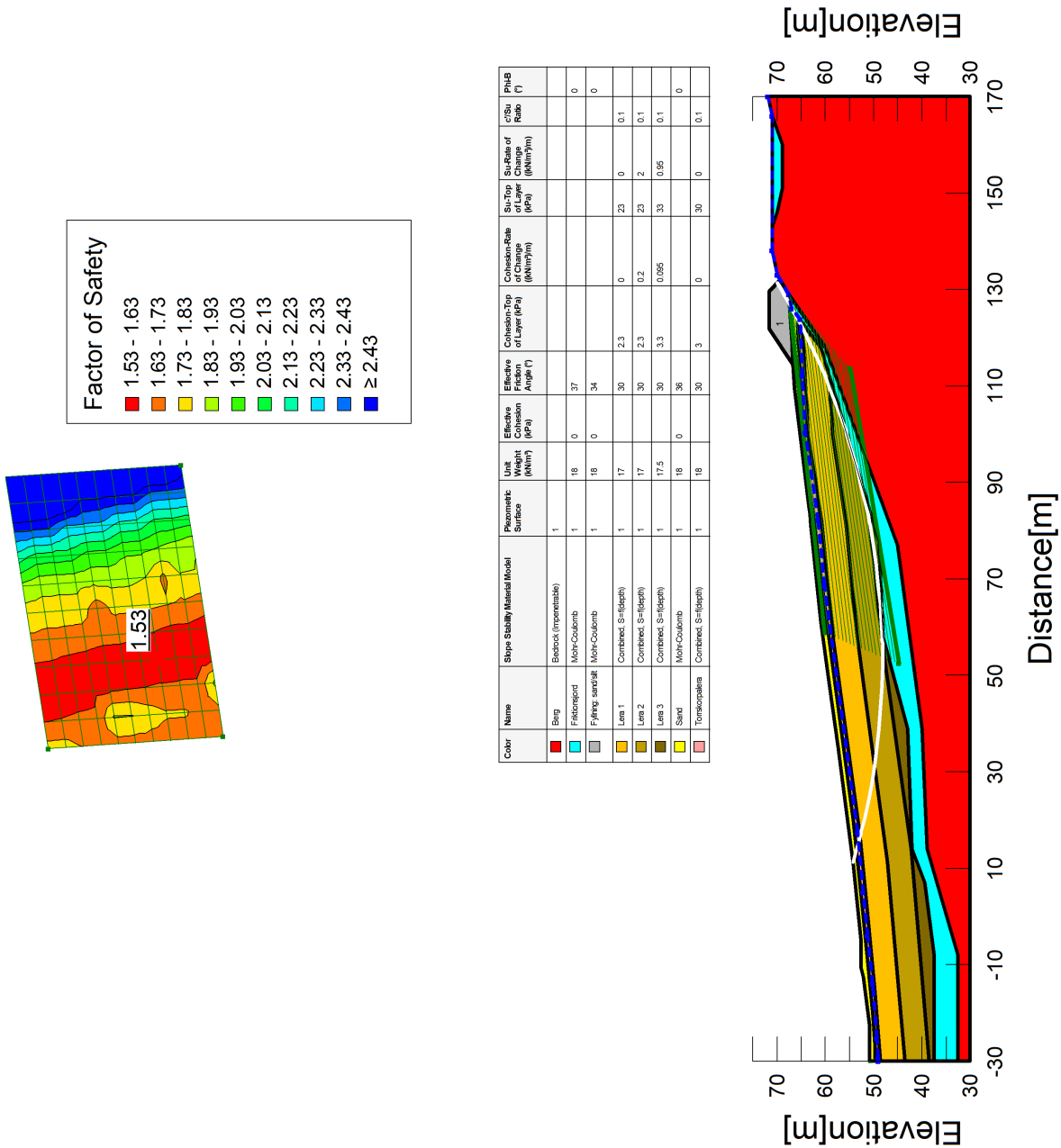
8.6 Teoretiskt fall (Kombinerad) – Laststeg 1



8.7 Verkligt fall (Odränerad) – Laststeg 1

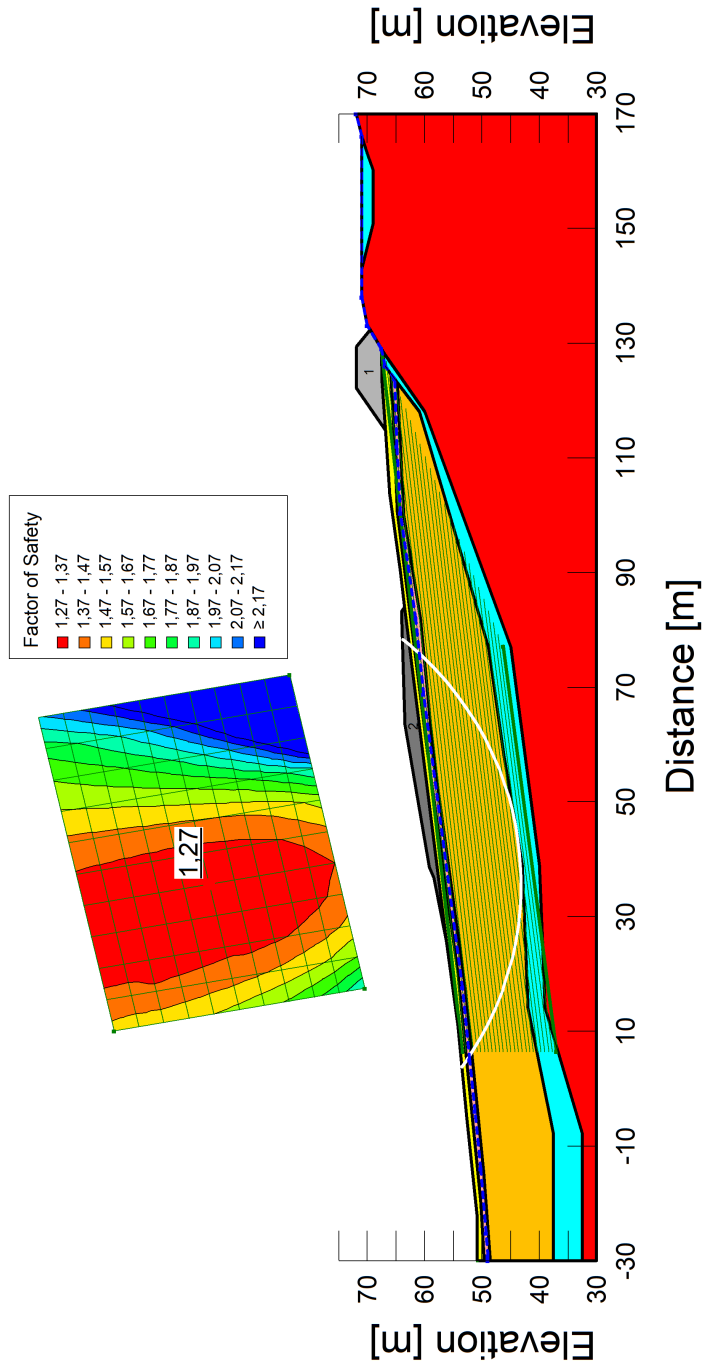


8.8 Verkligt fall (Kombinerad) – Laststeg 1



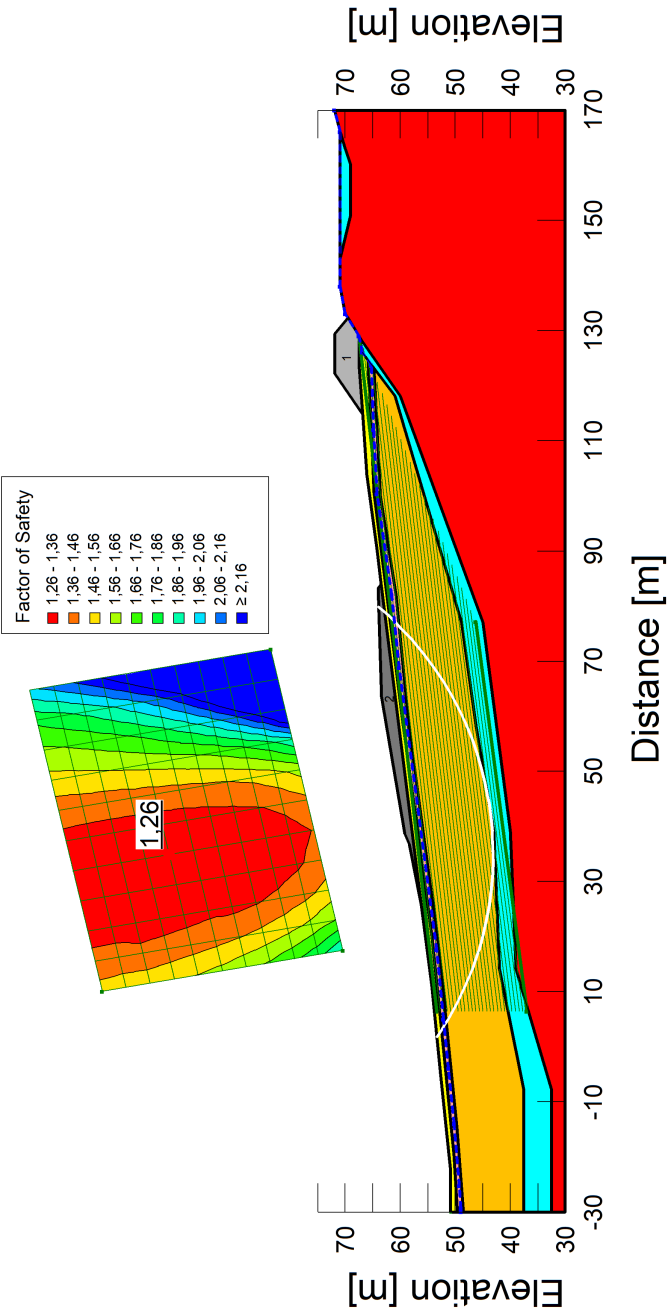
8.9 Teoretiskt fall (Odränerad) – Laststeg 2

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su-Maximum/Minimum (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)
■	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
■	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18						0	37	0
■	Fylling: Sand/Silt	Mohr-Coulomb	1	18						0	34	0
■	Fylling: Sprängsten	Mohr-Coulomb	1	20						0	40	0
■	Lera	S=f(depth)	1	17	23	0,96	23	0,96	0			
■	Sand	Mohr-Coulomb	1	18						0	36	0
■	Torskorpalera	Mohr-Coulomb	1	18						30	0	0



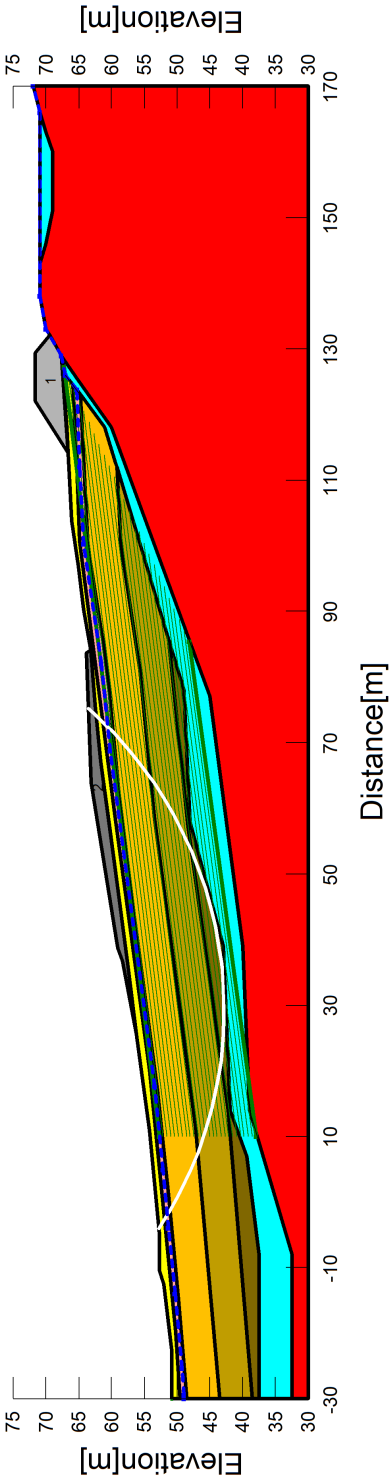
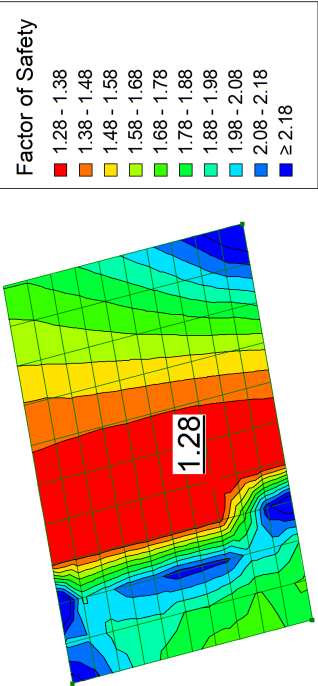
8.10 Teoretiskt fall (Kombinerad) – Laststeg 2

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m ³)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m ³)/m)	c/Su Ratio	Phi-B (°)
■	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
■	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18	0	37						0
■	Fyllning: Sand/Silt	Mohr-Coulomb	1	18	0	34						0
■	Fyllning: Sprängsten	Mohr-Coulomb	1	20	0	40						0
■	Lera	Combined, S=f(depth)	1	17		30	2,3	0,096	23	0,96	0,1	
■	Sand	Mohr-Coulomb	1	18	0	36						0
■	Torskorpalera	Combined, S=f(depth)	1	18		30	0	3	30	0	0,1	



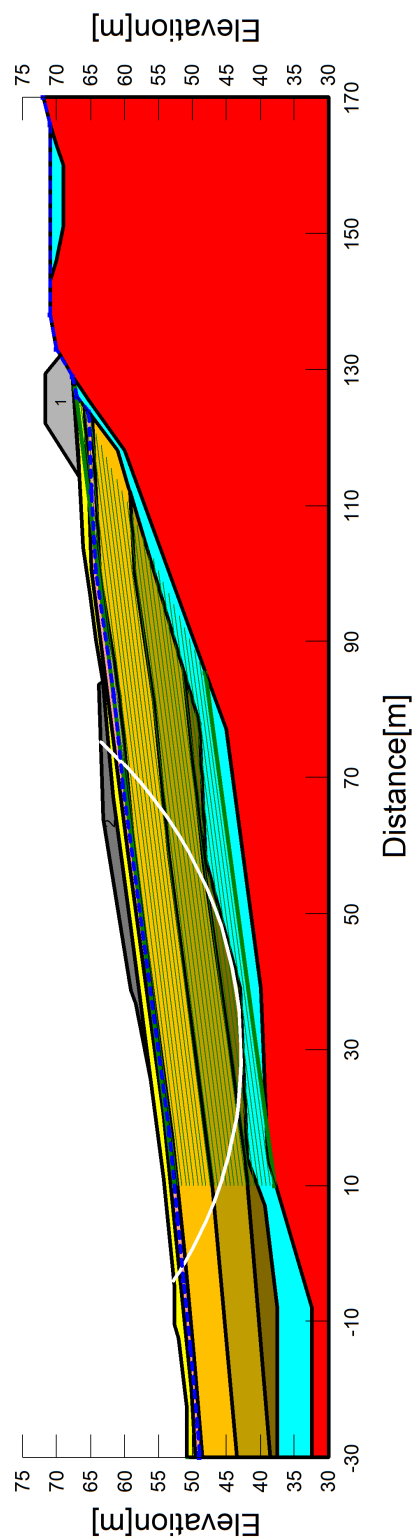
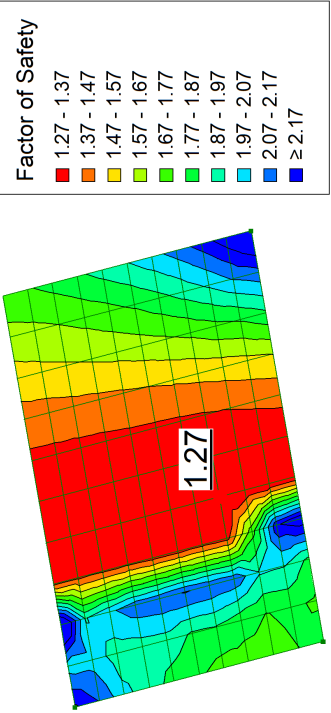
8.11 Verkligt fall (Odränerad) – Laststeg 2

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion, Top of Layer (kPa)	Cohesion, Rate of Change ((kN/m³)/m)	Su, Top Layer (kPa)	Su, Rate of Change ((kN/m³)/m)	Su, Maximum/Minimum (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)
Red	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
Cyan	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18						0	37	0
Grey	Fyllning sand/silt	Mohr-Coulomb	1	18						0	34	0
Dark Grey	Fyllning språglsten	Mohr-Coulomb	1	20						0	40	0
Yellow	Lera 1	Mohr-Coulomb	1	17						23	0	0
Brown	Lera 2	S=(depth)	1	17	23	2	23	2	0			
Dark Brown	Lera 3	S=(depth)	1	17.5	33	0.95	33	0.95	0			
Light Yellow	Sand	Mohr-Coulomb	1	18						0	36	0
Pink	Torskorpalera	Mohr-Coulomb	1	18						30	0	0



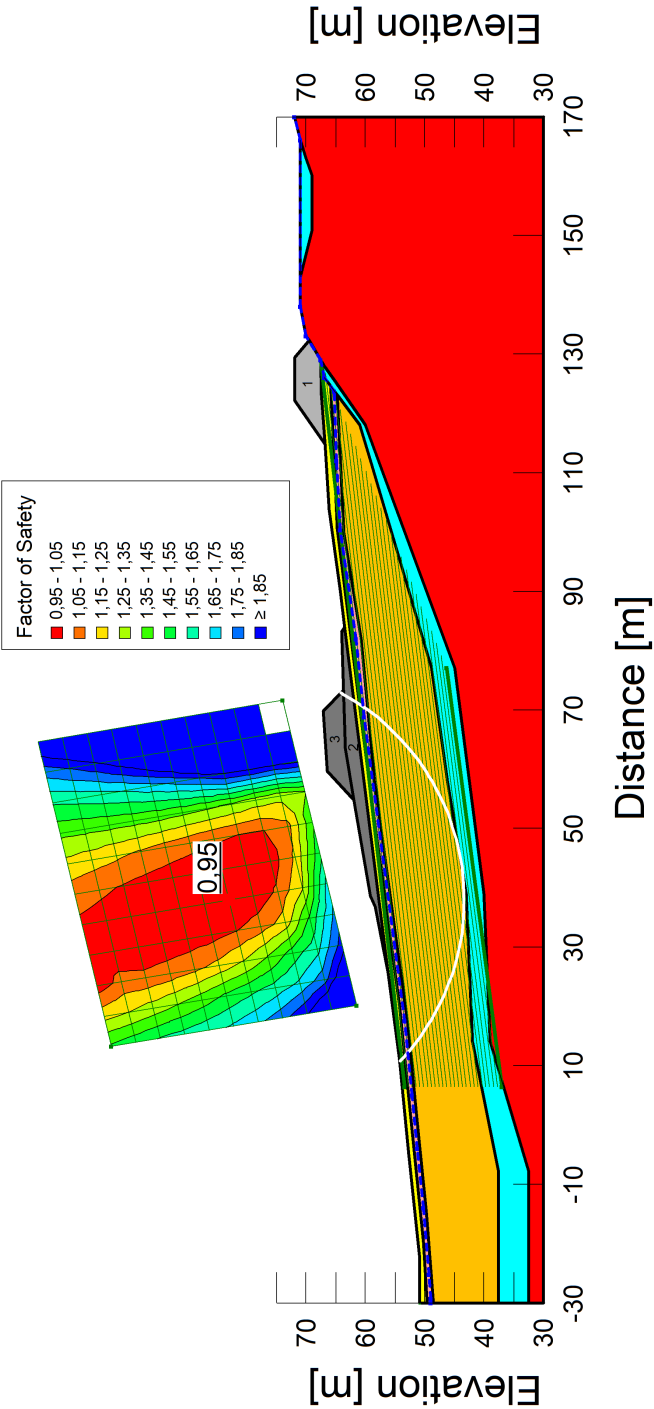
8.12 Verkligt fall (Kombinerad) – Laststeg 2

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kNm ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change (kNm ² /m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change (kNm ² /m)	c/Su Ratio	Phi-B (°)
■	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
■	Fraktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18	0	37						0
■	Fyllning sand/silt	Mohr-Coulomb	1	18	0	34						0
■	Fyllning språgsten	Mohr-Coulomb	1	20	0	40						0
■	Lera 1	Combined, S=((depth)	1	17		30	2.3	0	23	0	0.1	
■	Lera 2	Combined, S=((depth)	1	17		30	2.3	0.2	23	2	0.1	
■	Lera 3	Combined, S=((depth)	1	17.5		30	3.3	0.095	33	0.95	0.1	
■	Sand	Mohr-Coulomb	1	18	0	36						0
■	Tonskorpalera	Combined, S=((depth)	1	18		30	3	0	30	0	0.1	



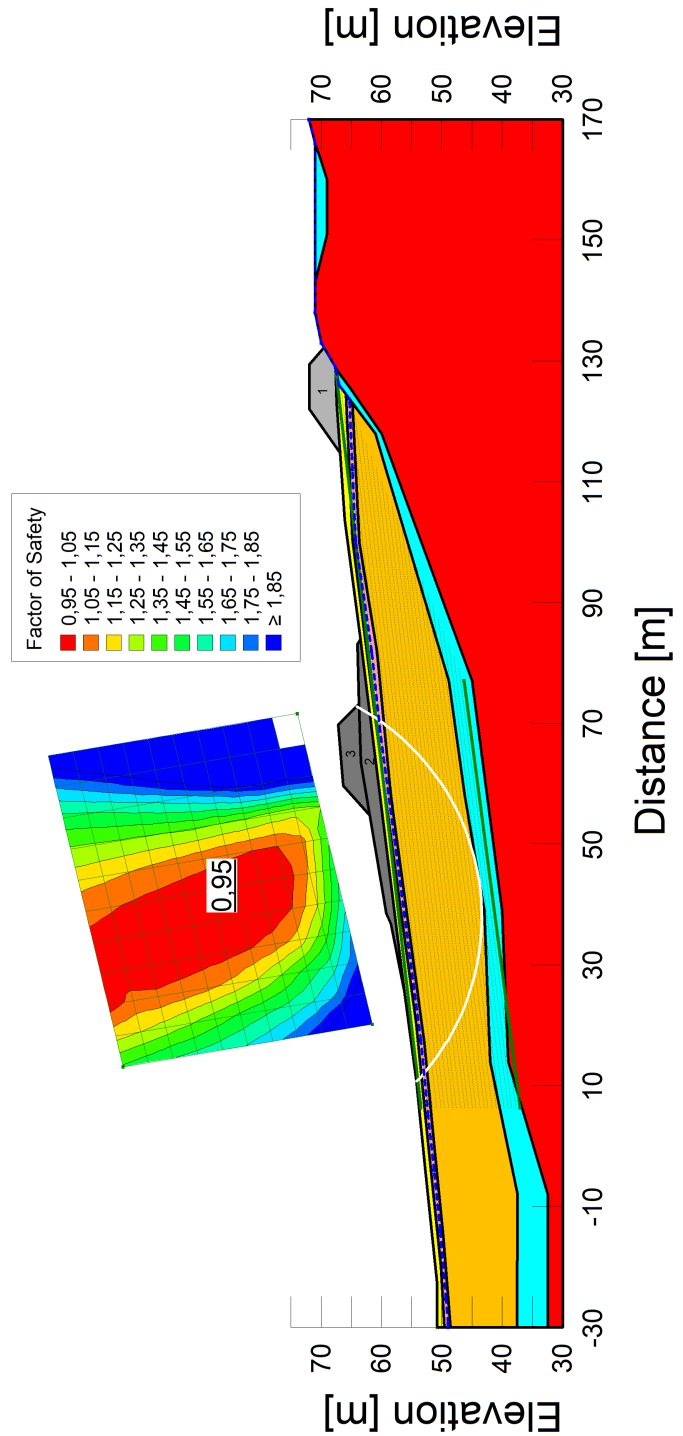
8.13 Teoretiskt fall (Odränerad) – Laststeg 3

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m²)/m)	Su-Maximum/Minimum (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Phi-B (°)
	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18						0	37	0
	Fyllning: Sand/Silt	Mohr-Coulomb	1	18						0	34	0
	Fyllning: Sprängsten	Mohr-Coulomb	1	20						0	40	0
	Lera	S=(depth)	1	17	23	0.96	23	0.96	0			
	Sand	Mohr-Coulomb	1	18						0	36	0
	Torskorpalera	Mohr-Coulomb	1	18						30	0	0

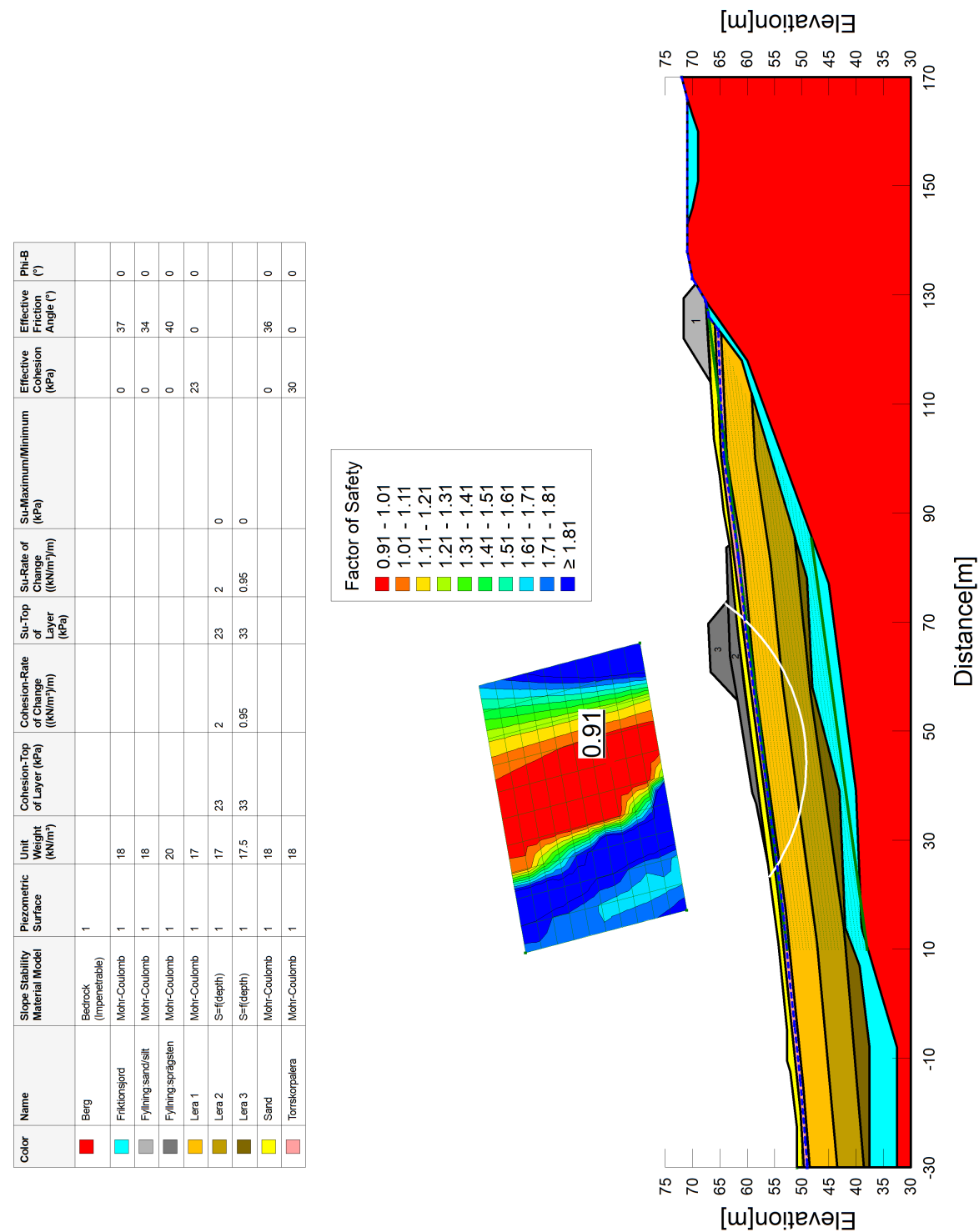


8.14 Teoretiskt fall (Kombinerad) – Laststeg 3

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	c'/Su Ratio	Phi-B (°)
Red	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
Cyan	Friktionsjord	Mohr-Coulomb	1	18	0	37						0
Grey	Fyllning: Sand/Silt	Mohr-Coulomb	1	18	0	34						0
Dark Grey	Fyllning: Sprängsten	Mohr-Coulomb	1	20	0	40						0
Orange	Lera	Combined, S=f(depth)	1	17		30	2,3	0,096	23	0,96	0,1	
Yellow	Sand	Mohr-Coulomb	1	18	0	36						0
Pink	Torskorpalera	Combined, S=f(depth)	1	18		30	0	3	30	0	0,1	

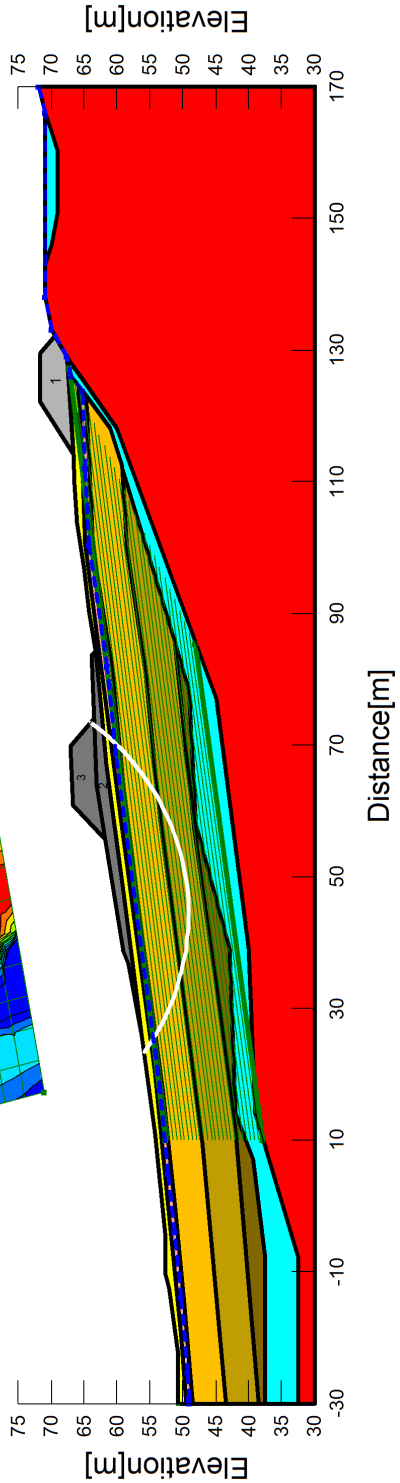
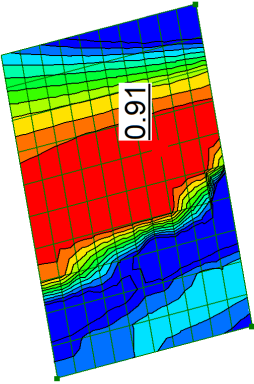
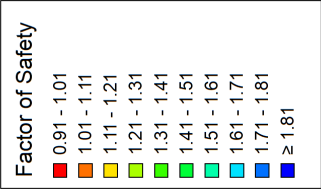


8.15 Verkligt fall (Odränerad) – Laststeg 3

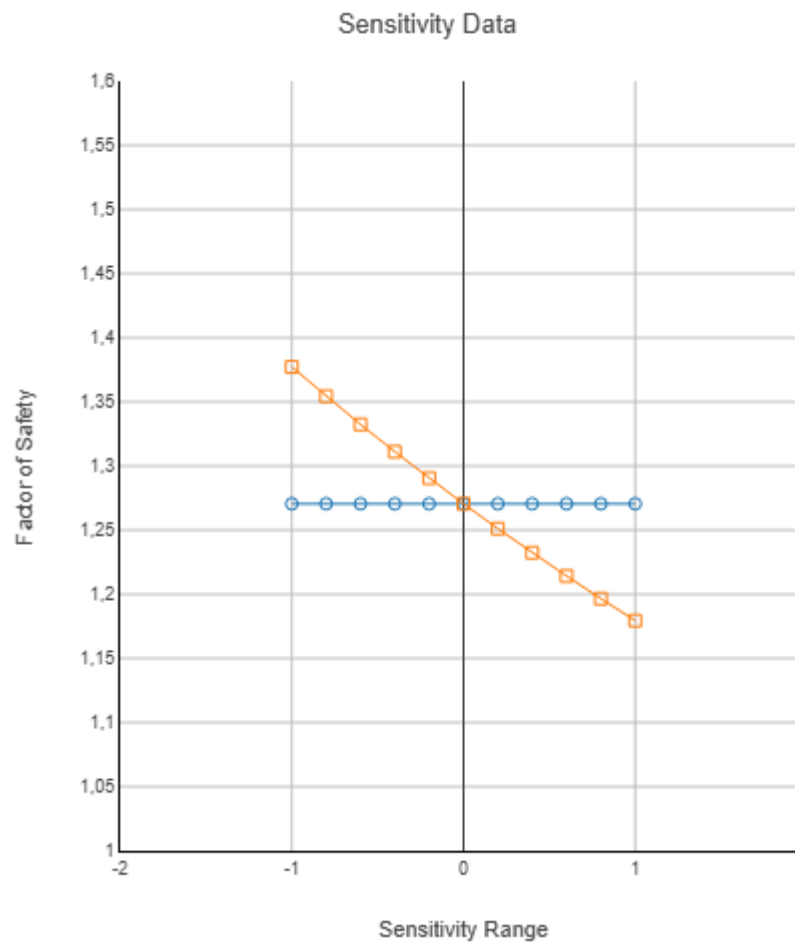


8.16 Verklagt fall (Kombinerad) – Laststeg 3

Color	Name	Slope Stability Material Model	Piezometric Surface	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)	Cohesion-Top of Layer (kPa)	Cohesion-Rate of Change (kN/m ² /m)	Su-Top of Layer (kPa)	Su-Rate of Change ((kN/m ²)/m)	c/Su Ratio	Phi-B (°)
■	Berg	Bedrock (Impenetrable)	1									
■	Friktersjord	Mohr-Coulomb	1	18	0	37						0
■	Fyllning sand/silt	Mohr-Coulomb	1	18	0	34						0
■	Fyllning språgsten	Mohr-Coulomb	1	20	0	40						0
■	Lera 1	Combined, S-r(depth)	1	17		30	2.3	0	23	0	0.1	
■	Lera 2	Combined, S-r(depth)	1	17		30	2.3	0.2	23	2	0.1	
■	Lera 3	Combined, S-r(depth)	1	17.5		30	3.3	0.095	33	0.95	0.1	
■	Sand	Mohr-Coulomb	1	18	0	36						0
■	Tonskorpallera	Combined, S-r(depth)	1	18		30	3	0	30	0	0.1	



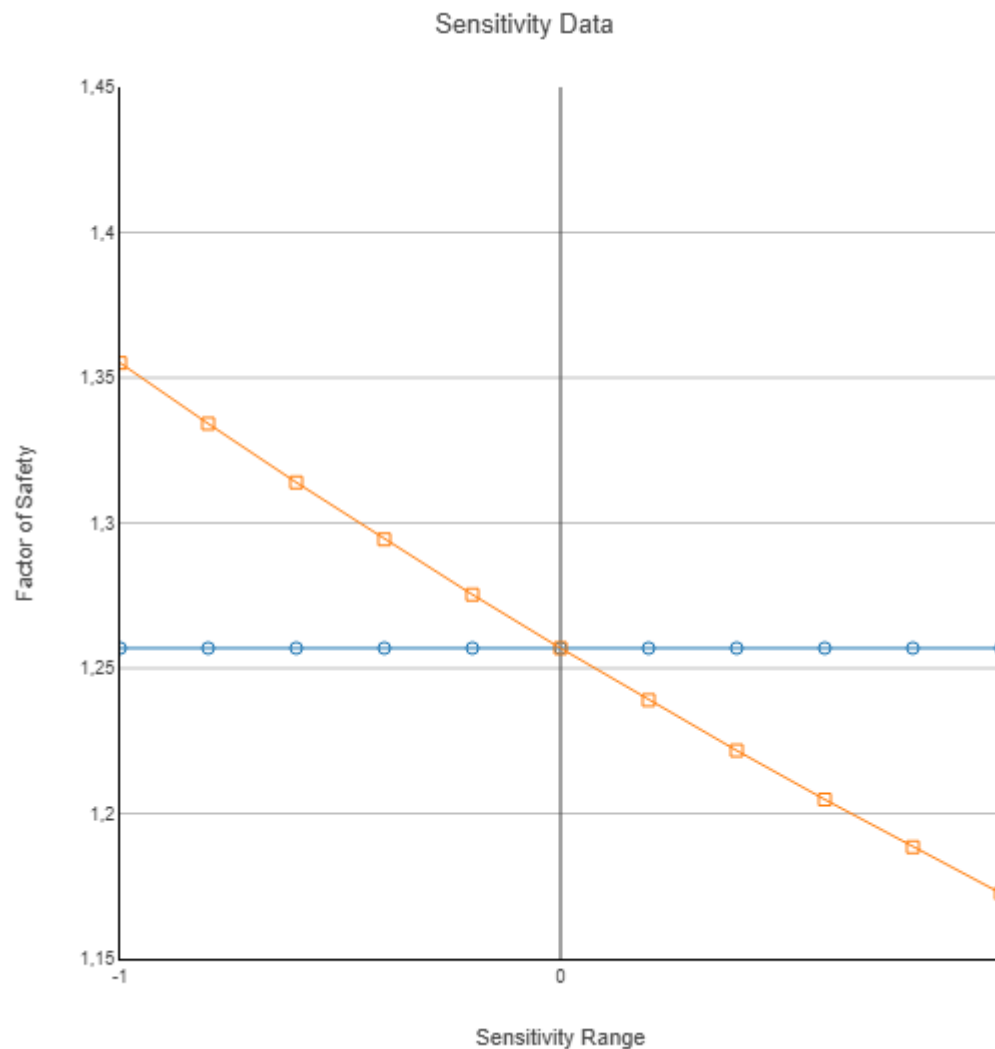
8.17 Teoretiskt fall (Odränerad) – Laststeg 2 + Tunghetsanalys



Sensitivity	Factor of Safety
-5.0000	1,38
-4.0000	1,35
-3.0000	1,33
-2.0000	1,31
-1.0000	1,29
0.0000	1,27
0.0000	1,27
1.0000	1,25
2.0000	1,23
3.0000	1,21
4.0000	1,20
5.0000	1,18

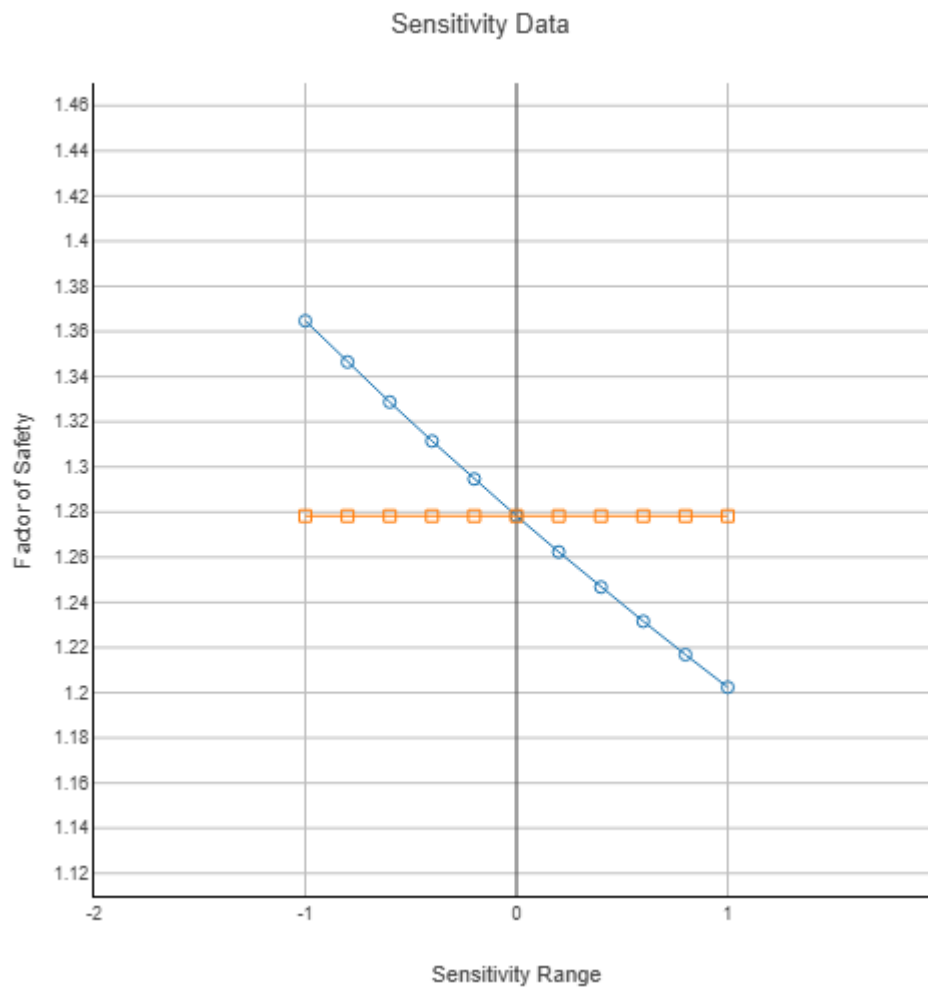
för sprängsten

8.18 Teoretiskt fall (Kombinerad) – Laststeg 2 + Tunghetsanalys



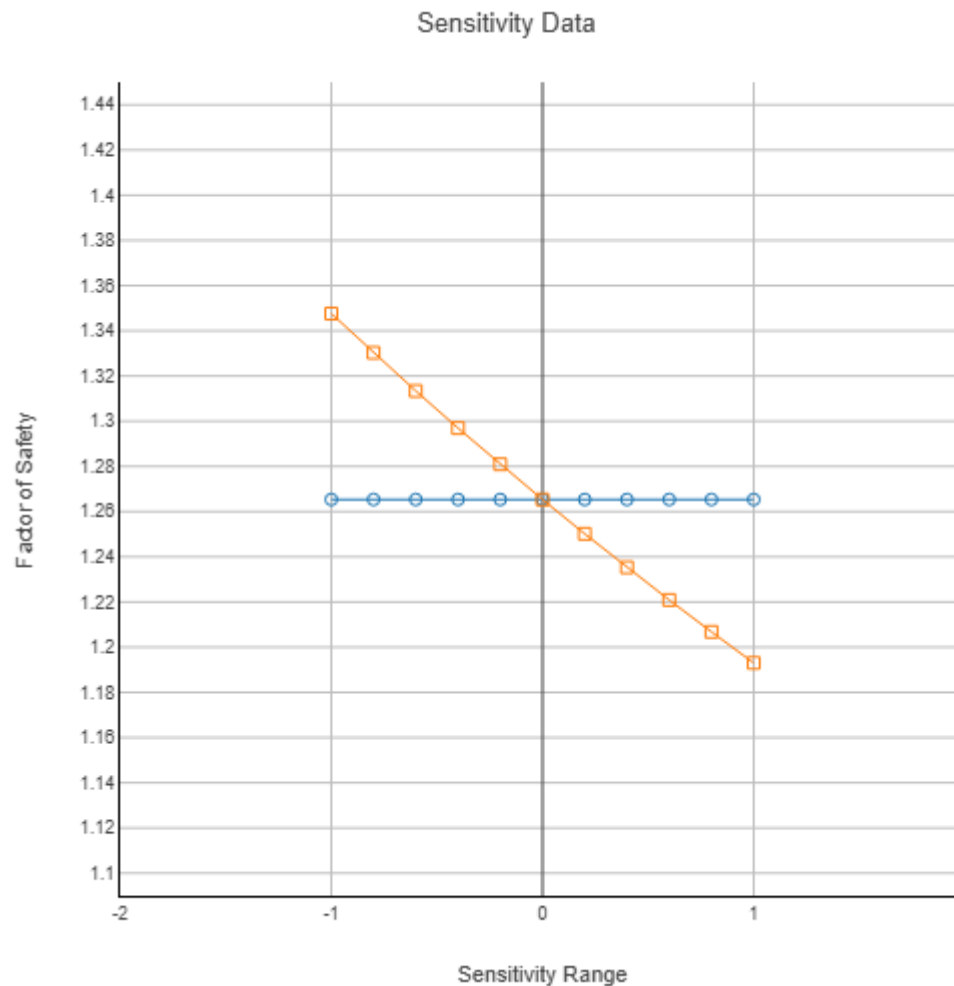
Sensitivity	Factor of Safety
-5.0000	1,36
-4.0000	1,33
-3.0000	1,31
-2.0000	1,29
-1.0000	1,28
0.0000	1,26
0.0000	1,26
1.0000	1,24
2.0000	1,22
3.0000	1,20
4.0000	1,19
5.0000	1,17

8.19 Verkligt fall (Odränerad) – Laststeg 2 + Tunghetsanalys



Sensitivity	Factor of Safety
-5.0000	1.36
-4.0000	1.35
-3.0000	1.33
-2.0000	1.31
-1.0000	1.29
0.0000	1.28
0.0000	1.28
1.0000	1.26
2.0000	1.25
3.0000	1.23
4.0000	1.22
5.0000	1.20

8.20 Verkligt fall (Kombinerad) – Laststeg 2 + Tunghetsanalys



Sensitivity	Factor of Safety
-5.0000	1.35
-4.0000	1.33
-3.0000	1.31
-2.0000	1.30
-1.0000	1.28
0.0000	1.27
0.0000	1.27
1.0000	1.25
2.0000	1.24
3.0000	1.22
4.0000	1.21
5.0000	1.19



CHALMERS