



EXAMENSARBETE INOM SAMHÄLLSBYGGNAD,  
AVANCERAD NIVÅ, 30 HP  
*STOCKHOLM, SVERIGE 2021*

# **Riskhantering för en ledningsschakt**

En tillämpning av SGFs riskhanteringsmetodik i  
utförandeskedet

**ANNIKA BURLIN**

## Förord

Det här examensarbetet utfördes på Avdelningen jord- och bergmekanik, KTH, i samarbete med Skanska Sverige.

Jag skulle vilja tacka alla som har stöttat och hjälpt mig genom detta examensarbete. Särskilt vill jag tacka min handledare *William Bjureland*, doktorand på KTH, samtalen/diskussionerna som vi har haft har hjälpt mig både med de teoretiska och praktiska funderingar som dykt upp under examensarbetes gång; *Stefan Larsson*, professor på KTH, för att ha introducerat mig till ämnet för detta examensarbete samt stöttningen för att slutföra arbetet; *Mats Alexandersson*, Skanska Sverige, för att ha försett mig med de kontakter som jag behövt för att genomföra schakten; markblocket och mätblocket på trafikplats Vega som lånade ut en grävmaskin och mätutrustning. Sist vill jag tacka min familj för stöttning och pepp när motivation och självförtroendet sviktat.

*Annika Burlin*

Stockholm, december 2021

## Sammanfattning

I de flesta anläggningsprojekt finns risk för att släntbrott ska uppstå i någon av de schakter som genomförs fram till avslutat anläggningsprojekt. Riskerna har sitt ursprung i osäkerheten kring jordmaterialets geotekniska egenskaper. Faller denna typ av risk ut under utförandeskedet av ett anläggningsprojekt blir konsekvenserna ekonomiska, tidsmässiga samt arbetsmiljömässiga. Riskerna kan minimeras genom ett strukturerat arbetssätt likt det som presenterats av Sveriges Geotekniska Förening och deras riskhanteringsmetodik för geotekniska osäkerheter.

Genom att ha utfört en schakt som efterliknar en schaktetapp i lera för ledningsarbeten har mätningar på stakkäppar med reflexer utförts. Stakkäpparna var placerade på schaktkrön samt släntfot för att inhämta information om schaktsläntens eventuella rörelser. Detta som en del av att tillämpa observationsmetoden som riskbehandling inom riskhanteringsprocessen. Resultaten av mätningarna i släntfoten indikerar ett eventuellt släntbrott. Mätningarna på stakkäpparna på släntkrönet har däremot en för stor spridning mellan varje mätfälle för att kunna användas som information till riskbehandlingen.

**Nyckelord:** Riskhanteringsmetodik, riskhantering, observationsmetoden, släntbrott

## Summary

In most civil engineering projects, the risk of slope failure has to be considered for all excavations performed until the project is completed. The risk is founded in the uncertainties of the geotechnical properties of the soil that the excavations are performed in. With the risk of slope failure follows the risk towards the project budget, delays versus time plan and injures to those involved in the excavation. To prevent the aforementioned risks the Swedish Geotechnical Society, SGF, have written a report that presents a structured way to perform risk management within geotechnical projects.

By performing an excavation that simulates one that would be excavated for installing pipes within clay, measurement have been performed on wooden sticks that has reflex tape. The wooden sticks were placed on the head and the toe of the excavated slope, with the intention to capture the movement of a beginning slope failure. This was performed by using the observational method for the risk treatment in the risk management process for the excavation. The results of the measurements in the slope toe indicates a beginning of a slope failure. However, due to the large spread of measured results on the excavation head the results could not be used as information for risk treatment.

**Key words:** Risk management, risk treatment, the observational method, slope failure

# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>i</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>ii</b>
<b>Summary</b> .....	<b>iii</b>
<b>1        <b>Introduktion</b></b> .....	<b>6</b>
1.1     Bakgrund .....	6
1.1.1 Mål.....	7
1.2     Begränsningar .....	7
1.3     Disposition .....	7
<b>2        <b>Riskhantering i geotekniska projekt enligt SGFs riskhanteringsmetodik</b></b> .....	<b>8</b>
2.1     Introduktion .....	8
2.2     Riskhanteringsprocessen utifrån SGFs metodbeskrivning för geotekniska projekt .....	8
2.3     Arbetsgången för riskhantering enligt SGFs metodbeskrivning för geotekniska projekt .....	9
2.4     Riskhantering genom ett helt projekt.....	11
<b>3        <b>Riskbehandling i geotekniska projekt</b></b> .....	<b>13</b>
3.1     Introduktion .....	13
3.2     Observationsmetoden .....	13
3.3     Kontrollparametrar för observationsmetoden .....	14
3.4     Användning av observationer för att hantera geotekniska risker ..	15
<b>4        <b>Släntstabilitet</b></b> .....	<b>17</b>
4.1     Introduktion .....	17
4.2     Släntrörelser och släntbrott.....	17
4.3     Schaktning i lera .....	20
4.4     Påverkan av tillförsel av vattnet till jordprofilen .....	21
4.5     Deformationer .....	23
<b>5        <b>Schakten</b></b> .....	<b>25</b>
5.1     Introduktion .....	25
5.2     Utformningen av schakten .....	25

5.2.1	Geotekniska förutsättningar för dimensionering av schakten 25	
5.2.2	Schaktens geometri.....	27
5.3	Stabilitetsberäkningar för schakten .....	28
5.4	Kontroll av schakten .....	28
5.5	Utförande av schakten.....	32
5.5.1	Utförande steg för steg.....	32
<b>6</b>	<b>Resultat från mätningar och observationer av schakten .....</b>	<b>34</b>
6.1	Introduktion .....	34
6.2	Rörelse av stakkäpparna.....	34
6.2.1	Vertikala rörelser av käpparna .....	34
6.2.2	Sista mätningarna.....	37
6.2.3	Spridningen av mätresultaten för stakkäpparna.....	39
6.3	Påverkan av nederbörd .....	42
6.3.1	Jämförelse nederbörd och rörelse av käpp i slänftoten.....	43
6.4	Säkerhetsfaktorn .....	44
6.5	Deformationer .....	44
<b>7</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>45</b>
7.1	Introduktion .....	45
7.2	Riskhantering inom geotekniska projekt.....	45
7.3	Praktisk tillämpning av observationsmetoden vid riskhantering ....	45
7.4	Resultat av utförd schakt .....	46
<b>8</b>	<b>Slutsatser .....</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>Framtida forskning .....</b>	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>Referenser .....</b>	<b>50</b>
<b>11</b>	<b>Appendix .....</b>	<b>53</b>

# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Vid byggnation av vårt växande samhälle behöver vi genomföra en mängd olika schaktarbeten vid uppförandet av anläggningar och infrastruktur. Schaktarbeten är mer en regel än ett undantag i det dagliga arbetet i utförandeskedet av ett anläggningsprojekt. Många av dessa schakter är både djupa och genomförs i stor utsträckning utan stödkonstruktioner såsom sponter eller schaktslädar. Detta förfarande vid schaktning medför alltid en risk att schaktslänterna ger efter och rasar in i schakten, både under pågående schaktning och under den tid som schakten står öppen. Konsekvenserna vid utfall av denna risk i ett projekt blir ekonomiska, tidsmässiga samt arbetsmiljömässiga. I Västervik 2009 omkom en man till följd av de skador han fått efter att ha arbetat i en schakt som rasade in på honom. Under skrivandet av detta examensarbete har ytterligare en arbetsplatsolycka där schaktväggarna rasat in under pågående arbete i en schakt inträffat och orsakat att mannen i schakten omkommit till följd av de skador han fått efter att delvis blivit begravd i rasmassorna (Fryk, 2018 & Söderin, 2017).

Risken för att schaktslänterna kan rasa in har sitt ursprung i osäkerheterna kring jordmaterialets geotekniska egenskaper. Osäkerheter kopplat till jordmaterial som konstruktionsmaterial är inget nytt inom anläggningsbranschen (Spross et al., 2015b). Sveriges Geotekniska Förening (SGF) har identifierat ett behov av en tydligare struktur vid beaktning av risker med ursprung i geotekniska osäkerheter. Detta resulterade i metodbeskrivningen i SGFs rapport 1:2014, Hantering av geotekniska risker i projekt – krav, metodbeskrivning (SGF 2014). Metodbeskrivningen är ett förslag på en riskhantering som kan tillämpas på alla typer av geotekniska projekt och vara utformad sådan att den fyller sitt syfte. De tre huvuddelarna i den riskhanteringen som SGF (2014) presenterar är etableringen av riskhanteringen, bedömningen av risker samt behandlingen av risker. Gemensamt för alla dessa delar är att de innefattar en mängd beslut som måste tas för att komma vidare i riskhanteringen.

Beslut inom riskhantering bör vara grundad på information som är relevant för den risk som beaktas och vara utifrån god basis. Informationen som är nödvändig eller önskvärd beror på vilken typ av risk det är som beaktas och när i tiden under ett geotekniskt projekt som risken behandlas. Under utförandet av ett geotekniskt projekt kan dessa beslut behöva inhämta ytterligare information för att kunna avgöra hur sannolikt riskens utfall är för tillfället.

I detta examensarbete har riskhantering utförts för en schakt som strävat efter att efterlikna en ledningsschakt i lera för exempelvis VA-arbeten. Schakten genomfördes i syfte att testa hypotesen att stakkäppar kan användas för att mäta utvecklingen av deformationer i schaktslänter och därmed kunna användas som en källa till information om schaktens stabilitet.

Den praktiska användningen av test av hypotesen ämnade vara att ett sådant tillvägagångssätt kunde användas som ett underlag till beslut om schaktens stabilitet var tillfredsställande under den tid som schakten stod öppen. Något som är viktigt i sig själv men även kan möjliggöra en bedömning av arbetsmiljö och omkringliggande aktiviteter.

### **1.1.1 Mål**

Examensarbetets mål har varit att undersöka vilken typ av information som är nödvändig för att kunna utvärdera risker i en riskhanteringsprocess. Arbetet har även ämnat att undersöka ett alternativt sätt att inhämta mer information för att kunna göra en ny riskbedömning.

## **1.2 Begränsningar**

Detta examensarbete har berört riskhantering främst i syfte att kunna utföra riskhanteringen för den schakt som genomförts inom ramen för arbetet. Riskhanteringen har därmed endast fokuserat på risken för släntbrott i schaktslänterna. Andra jordmekaniska mekanismer eller aktivitet som påverkar schakten är inte inkluderade i denna rapport. Övriga risker förknippade med exempelvis tidplan eller ekonomi är inte inom ramarna för detta examensarbete. Det finns några andra riskhanteringsmetodiker i andra länder inriktade på geotekniska osäkerheter exempelvis likt den cykliska process GeoQ som föreslås av van Staveren (2006,2009,2013), men i detta examensarbete har den som skrivits av SGF använts.

## **1.3 Disposition**

Detta examensarbete är indelat i fem delar.

Den första delen innehåller en litteraturstudie som är grunden till riskhantering. Andra delen presenteras en tillämpning av riskhanteringen för en schakt som genomförts för detta examensarbete. Tredje delen presenterar resultaten från empirin och mina observationer i schakten. Fjärde delen presenterar en diskussion av resultaten och tillämpningen av riskhanteringen vid schakten. Slutligen presenteras slutsatserna och förslag på framtida forskning.



## 2 Riskhantering i geotekniska projekt enligt SGFs riskhanteringsmetodik

### 2.1 Introduktion

Riskhantering avser enligt standarden SS-ISO 31000:2009 de aktiviteter som samordnas för att styra och leda en organisation med avseende på risk. Risk syftar i standarden till osäkerheternas effekt på mål, där effekterna vid utfallet av en risk kan ses som både positiva och negativa. I detta examensarbete kommer dock risk endast syfta till de negativa effekterna.

Detta avsnitt avser att vara en teoretisk grund till utförandet av riskhanteringen som genomförts i detta examensarbete. Den riskhanteringsmetodik som varit utgångspunkten är den som föreslås i SGF rapporten 1:2014 (SGF, 2014) samt det tillämpningsexempel som Spross et al. (2015a) skrivit. Denna metodik för riskhantering presenteras översiktligt nedan tillsammans med de krav som formulerats för att få en riskhantering som har tillräcklig kvalitet och fyller sitt syfte. Riskhanteringen har i huvudsak studerats från byggskedets perspektiv.

Terminologin i detta avsnitt efterliknar därför den som används i de ovanstående två texterna för riskhantering. Exempelvis syftar geotekniska projekt till de delar i ett projekt som är relaterat till geotekniska osäkerheter. Därför kan geotekniska projekt i detta examensarbete bytas ut mot delmoment eller projektskede.

### 2.2 Riskhanteringsprocessen utifrån SGFs metodbeskrivning för geotekniska projekt

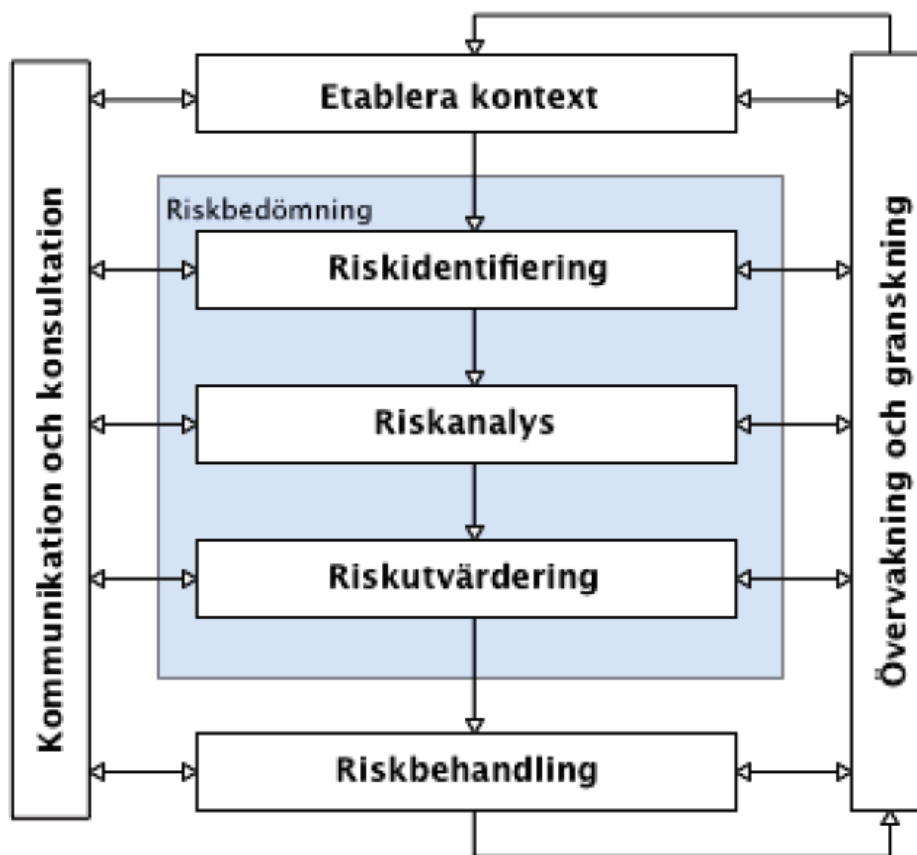
SGFs metodbeskrivning (SGF, 2014) för riskhantering i geotekniska projekt beskriver stegvis en arbetsgång för riskhantering. För varje geotekniskt projekt bör en riskhantering upprättas oberoende av komplexitet och omfattning, den bör dock alltid vara anpassad till det enskilda projektet. Anpassningen av riskhanteringen sker naturligt genom att följa arbetsgången i metodbeskrivningen och är den kritiska delen i att få en riskhantering som är relevant och fyller sitt syfte. Med metodbeskrivningen vill SGF också säkerställa att riskhanteringen blir av tillräcklig kvalitet, alltså en som uppfyller eller överträffar kundens uttalade eller outtalade krav och önskemål.

Tillräcklig kvalitet säkerställs genom att ha formulerat krav på riskhanteringen i metodbeskrivningen (SGF, 2014). Dessa krav är indelade i generella och specifika. De generella består av fyra baskrav som alltid ska uppfyllas i riskhanteringen.

De fyra baskraven är (SGF, 2014):

1. Riskhanteringsens objekt och syfte är angivet,
2. Beslutsfattaren har en risksyn,
3. Varje ingenjör med ett ansvar har nödvändiga kunskaper om riskhantering,
4. Det finns system för kommunikation och informationsöverföring.

De fyra baskraven kompletteras med specifika krav som är kopplade till de olika stegen i arbetsgången för riskhanteringen. Arbetsgången visas schematiskt genom en riskhanteringscykel i **Fel! Hittar inte referenskölla..**



Figur 1, Riskhanteringscykeln efter SS-ISO 31000:2009 och SGF (2014).

### 2.3 Arbetsgången för riskhantering enligt SGFs metodbeskrivning för geotekniska projekt

Riskhanteringscykeln inleds alltid med att etablera riskhanteringsens kontext genom att definiera dess objekt och bestämma förutsättningarna för att hålla den levande genom projektet gång. Genom att identifiera, analysera och utvärdera risker kan det beslutas om risken eller riskerna i projektet är inom en acceptabel nivå eller inte. Risker som är på en oacceptabel nivå behandlas inom riskhanteringen för att nå en acceptabel nivå. Vad som är en acceptabel respektive oacceptabel risk styrs av den riskbenägenhet som definierats i kontexten. Kommunikationen och informationsflöden inom riskhanteringen gör att de olika riskhanteringsstegens resultat förmedlas vidare, hålls levande och att ytterligare kunskap kan inhämtas vid behov. Övervakningen och granskningen avser att säkerställa att riskhanteringen efterlevs och att nya risker som uppstår under det geotekniska projektets gång inkluderas i riskhanteringen (SGF, 2014).

Varje steg i riskhanteringscykeln har tillhörande specifika krav. En sammanställning av de specifika kraven för varje steg finns med i tillämpningsexemplet av Spross et al. (2015a) och återfinns även i tabell 1.

Tabell 1 Sammanfattning av kraven för riskhanteringscykeln enligt tillämpningsexemplet av Spross et al. (2015a)

<b>Steg</b>	<b>Krav</b>
<b>Etablera kontext</b>	Tydliggör vem som är riskägaren. Anpassa etableringen till projektet eller projektdelen och till projektskedet. Gör i ett tidigt skede en första bedömning av osäkerheternas effekt på målet. Ansätt lämplig riskhanteringsklass.
<b>Riskidentifiering</b>	Se riskidentifieringen som en ingenjörsuppgift. Få med alla som kan bidra. Utgå från det mål i projektet som kan vara hotat. Titta på helheten och sammanhanget. Skaffa information.
<b>Riskanalys</b>	Riskanalysens resultat skall redovisas i ett dokument, som är lättillgängligt för de berörda. Skapa och utveckla möjliga händelsekedjor. Bedöm alla olika kategorier av konsekvenser. Använd om möjligt beskrivningar av trolighet som är kopplade till sannolikheter. Se till att riskanalysen innehåller underlag för ett rationellt beslut.
<b>Riskutvärdering</b>	Riskägaren ansvarar för riskutvärderingen. Riskutvärderingen skall beakta konsekvens och trolighet tillsammans, men redovisas separat.
<b>Riskbehandling</b>	Se till att ansvarig är utsedd. Gör riskbedömning av riskbehandlingen. Den kan medföra nya risker. Beskriv riskbehandlingen i ett för arbetsprocessen lämpligt dokument.
<b>Kommunikation och konsultation</b>	Starta riskkommunikationen i tid. Informera alla berörda.
<b>Övervakning och granskning</b>	Gör en uppföljning av: riskbehandlingen riskhanteringsprocessen Skapa underlag för erfarenhetsåterföring.

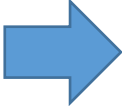
I vilken omfattning dessa krav ska uppfyllas för det enskilda geotekniska projektet och andra anpassningar bestäms utifrån den ansatta riskhanteringsklassen. Riskhanteringsklassen ska vara ansatt utifrån hur troligt riskägaren bedömer det är att uppnå önskad kvalitet på det geotekniska projektet (Spross et al., 2015a). Riskägaren är den person eller organisation som ansvarar för genomförande av riskhanteringen och den som tar beslut under riskhanteringscykeln (SGF, 2014).

## 2.4 Riskhantering genom ett helt projekt

Geotekniska projekts riskhantering bör påbörjas redan i idéfasen och fortsätta arbetas med tills den färdiga produkten nyttjas under driftfasen utifrån det tankesätt som är i SGFs metodbeskrivning (2014). Under dessa olika faser är aktörerna som genomför riskhanteringen olika och målet med riskhanteringen skiljer sig också mellan de olika faserna. Detta kräver en fungerande kommunikation av riskhanteringsresultat mellan de olika faserna. Risker som identifierats och analyserats i en fas kan behöva behandlas, kanske på ett annorlunda sätt, i en annan fas. De olika fasernas aktörer, produkten av riskhanteringen, kraven på produkten av riskhanteringen, riskhanteringsmålet och hur kommunikationen till nästkommande fas ska gå till finns i Tabell 2 Riskhanteringen för olika delar i ett byggprojekt, efter SGF (2014) Tabell 2 som SGF (2014) inkluderat i metodbeskrivningen. För att riskhanteringen ska fortsätta genom hela processen behöver riskhanteringscykeln i *Figur 1, Riskhanteringscykeln efter SS-ISO 31000:2009 och SGF (2014)* Figur 1 upprepas med samma steg för alla faser. Tillämpa en cyklisk riskhantering för geotekniska projekt mellan olika faser föreslås även av van Staveren, (2006, 2009, 2013) genom upprepning av riskhanteringsstegen på nytt när man går in i en ny fas. I SGFs riskhanteringsmetod är det även cyklisk riskhantering inom varje riskhanteringsfas, detta genom kommunikation och konsultation samt övervakning och granskning.

Det är även viktigt att rätt kompetens knyts till riskhanteringsorganisationen. Detta beskrivs i SGF (2014) genom ett krav på att personer som arbetar med riskhantering ska ha en risksyn, något som kräver relevant kompetens. Med det sagt nämns även att det ska vara möjligt att inhämta ny kunskap under riskhanteringsgången. Vikten av att inkludering av personer med rätt kunskap till ett geotekniskt projekts riskhantering har kunna härledas av van Tol (2008) som en indirekt orsak till brott i geotekniska konstruktioner. Genom att ha tittat på 40 geotekniska projekt där det utvecklats jordbrott har det visade sig att 80% av brotten kunde härledas tillbaka till en bristande projektorganisation. Bristen i projektorganisation är utifrån att personer med geoteknisk kompetens inte hade involverats i rätt fas för projektet. Det vill säga det var inte ett tekniskt problem med bristande kunskap som kunde härledas till brotten i de studerade fallen. Korff (2017) har även också identifierat att många brott i nederländska djupa schakter som har analyserats, kunde har förbyggts med en ordentlig riskhantering.

Tabell 2 Riskhanteringen för olika delar i ett byggprojekt, efter SGF (2014).

	<b>Skeden i byggprojekt</b>					
	<b>Idéfas</b>	<b>Design</b>	<b>Anbud</b>	<b>Upphandling</b>	<b>Byggskede</b>	<b>Driftfas</b>
<b>Aktörer</b>	Konsult	Projektör	Entreprenör (anbudsgivare)	Byggherre Entreprenör	Entreprenör	Ägare
<b>Produkt</b>	Rapport	Förfrågningsunderlag	Anbud	Kontrakt	Utförd entreprenad	Bygg konstruktion Underhåll
<b>Produktkrav</b>	Korrekt identifierat projektets fördelar och problem	Tekniskt korrekt, relevant och kalkylerbar	Konkurrenskraftigt	Rättvist förutsägbart	Kvalitetskrav entreprenad  Tid och kostnader hålls	Tillförlitlighet genom implementerat underhållsystem
<b>Riskhanteringsmål</b>	Hitta väsentliga faror och risker (projektrisker)	Identifiera de frågor och faror som skall följas upp under utförandet	Underlag för E:s val av utförande. Underlag för E:s prissättning och riskreserv	Underlag för rättvis bedömning	Identifiering av kritiska arbetsmoment och resurser.	Identifiera frågor som speciellt behöver underhålla
<b>Kommuniceras till nästa skede</b>	Faror och risker  Speciella förhållanden: Komplexitet Krav robusthet	Geotekniska förhållanden med osäkerheter och risker	Gjorda tolkningar av FU och gjorda antaganden om utförande etc.		Speciella delar av den byggda konstruktionen som kräver speciellt underhåll	

## 3 Riskbehandling i geotekniska projekt

### 3.1 Introduktion

Beslut om risker bör vara rationella vilket enligt Baysiansk beslutsteori är den rätta handlingen givet att en subjektiv tanke kan beskrivas med en sannolikhetsfunktion utifrån beslutsfattarens osäkerheter som Raiffa & Schlaifer (1961) samt Benjamin & Cornell (1970) skrivit om. Olika utfall av osäkerheterna kopplas till en funktion för nyttan vid utfallet. Båda dessa funktioner kan uppdateras om ny information framkommer. Det rationella beslutet är det som maximerar den subjektiva nyttan (Peterson, 2013).

Till beslutsfattandet är det därför nödvändigt att ha underlag och information som gör det möjligt att fatta rationella beslut associerade med den risk som behandlas. Hypotesen i detta examensarbete utgår från att delar av riskhanteringen för detta geotekniska projekt redan utförts och att det framkommit under riskhanteringen i ett tidigare skede att risken för släntbrott bör hanteras under utförandefasen för det geotekniska projektet.

För riskbehandlingen och inhämtandet av ytterligare information om risken har observationsmetoden studerats, ett av de fyra förslagen på tillämpbara principer för riskbehandling enligt SGF (2014). Detta examensarbete och dess riskhanteringsprocess utgår från att det inte är möjligt att överföra eller dela risken, detta är mer förknippat till överenskommelser och avtal. De andra två principerna för riskhantering, minska konsekvenserna och minska sannolikheten, ligger inte inom ramarna för detta examensarbete. Dessa principer bör redan ha tillämpats i ett tidigare skede.

### 3.2 Observationsmetoden

När de geotekniska osäkerheterna i ett projekt är stora föreslås det i SGF (2014) att observationsmetoden är en princip som kan övervägas för riskbehandlingen. Nyckelfaktorer för riskhantering och implementering av observationsmetoden i geotekniska projekt diskuteras i Tidlund (2021).

Observationsmetoden formulerades av Peck (1969) utifrån det Karl Terzaghi kallade "learn-as you-go" metoden, en praktisk tillämpning av kunskapen om jordmekanik. Med observationsmetoden ville Peck och Terzaghi minska risktagandet inom geotekniska projekt genom att dra nytta av information från observationer för att minska på onödigt stora säkerhetsfaktorer. Principen för observationsmetoden bygger på att den ursprungliga designen för en utförd geoteknisk konstruktion får förändras till att bättre vara anpassad till de observerade markförhållandena och beteendet i samband med utförandet. Observationerna för detta utförs på parametrar som är förbestämda i syfte att fånga beteenden som är avgörande för konstruktionen.

För tillämpningen av observationsmetoden på geotekniska konstruktioner har det formulerats principer som måste följas om inte något annat anges, principerna finns med i Eurokod 7, Geokonstruktioner (CEN, 2015). Principerna är i observationsmetodens formulering markerade med P innan dess beskrivning. Eurokod 7 (CEN, 2015) formuleringen av observationsmetoden kan ses nedan:

” (1) När förutsägelsen av det geotekniska beteendet är svårt kan det vara lämpligt att tillämpa den metod som benämns ”observationsmetoden”, där dimensioneringen följs upp under byggnadsskedet.

(2)P Följande krav ska uppfyllas innan utförandet påbörjas:

- acceptabla gränser för beteendet ska bestämmas;
- gränserna för möjligt beteende ska bestämmas och det ska visas att sannolikheten för att det verkliga beteendet ligger inom de acceptabla gränserna är godtagbar;
- en plan för uppföljning ska tas fram som ska visa om det verkliga beteendet ligger inom acceptabla gränser. Uppföljningen ska på ett tillräckligt tidigt stadium klargöra detta och med tillräckligt korta tidsintervall för att framgångsrikt kunna vidta korrigerande åtgärder;
- responstiden hos mätinstrumenten och i sättet att analysera resultaten ska vara tillräckligt snabbt för att möjliggöra förändringar i systemet;
- en plan för korrigerande åtgärder ska upprättas, vilken kan följas om uppföljningen visar ett beteende som ligger utanför acceptabla gränser.

(3)P Under byggnadsskedet ska uppföljningen utföras som planerat.

(4)P Resultaten av uppföljningen ska utvärderas vid lämpliga steg och de planerade korrigerande åtgärderna ska vidtas om gränserna för beteendet överskrids.

(5)P Uppföljande instrumentering ska antingen bytas ut eller utökas om den inte ger tillförlitliga data av avsett slag eller i tillräcklig mängd.”

För att följa principerna genom ett projekt behövs en del förberedande arbeten i desginfasen, detta för att kunna sätta upp gränsvärden. Den viktigaste delen av observationsmetoden tycker ändå Peck (1969) är att arbeta med att visualisera alla möjliga händelser som kan inträffa och göra förberedelser för att kunna bemöta oväntade situationer som kan uppstå. Observationsmetoden kan enligt Powderham (2002) ses som ett system för att hantera risker även om det initialt kan väckas oro för att riskerna ökar för någon som får höra om observationsmetoden första gången.

En liknande metodik som observationsmetoden för att komma fram till den slutgiltiga designen för en konstruktion har beskrivits av Stille (1986), genom att tillämpa ”aktiv design”. Med ”aktiv design” utgår man från en preliminär design, men utför observationer under utförandetiden för att minska osäkerheterna och gradvis kunna optimera designen till en slutgiltig.

### **3.3 Kontrollparametrar för observationsmetoden**

För att observationsmetoden ska fylla sitt syfte är det nödvändigt att observationerna genomförs på ett sådant sätt att information som minskar de geotekniska osäkerheterna som finns i den preliminära designen erhålls. Mätningar som används bör fokusera på att kvantifiera osäkerheter som är av epistemisk natur och inte aleatorisk enligt Stille och Holmberg (2010). Detta då epistemiska osäkerheter minskar med ytterligare mätningar medan aleatoriska osäkerheter inte ändras med ytterligare information då de är slumpmässiga. Mätningar utförs på valda kontrollparametrar som faktiskt reflekterar de beteenden och mekanismer som styr (Peck,1969). Detta gör att det måste finnas en teoretisk bakgrund till valda kontrollparametrar, då det inte är möjligt att upptäcka brister om de inte iakttas. Valet av kontrollparametrar är ett kritiskt moment i observationsmetoden då det är beroende av ingenjörens bedömning av lämpliga kontrollparametrar (Spross, 2016).

Kvaliteten på de inhämtade mätvärdena under utförandet är delvis beroende av förståelsen för den tillämpade mätutrustningen. Noggrannheten på mätvärdena blir försämrade av dålig placering och oförsiktig hantering (Spross, 2016).

Förändringar av den preliminära designen vid tillämpning av observationsmetoden motiveras av att kontrollparametrarnas värden är utanför det förbestämde intervallet för vad som är acceptabelt. För att bestämma detta intervall förutsätts det att det finns icke-acceptabla event som kan uppstå vid utförandet av geokonstruktionen. Icke-acceptabla event är definitionen för vad som anses vara brott på den specifika geokonstruktionen. För detta kan brottgränsfunktioner utifrån hållfastheten och lasteffekt tillämpas för att definiera kontrollparametrarnas intervall. Tidsintervallet mellan att uppnå icke accepterade mätvärden och möjligheten att kunna göra en åtgärd är också en viktig del i hur de gränsvärden som ska tillämpas är ansatta (Spross, 2016). Svårigheten att ha tillräckligt med tid mellan observation och åtgärd för spröda brott gör däremot att kontrollparametrarna bör vara baserade på konstruktionens bruksgränstillstånd framför brottgränstillståndet (Korff et al., 2013). Tid är också en viktig parameter för tillämpningen av observationsmetoden för att ta beslut om åtgärder när kontrollparametrarna uppnår gränsvärden. Reaktionstiden från en beslutsfattare kan vara en flaskhals till att sätta in åtgärder i rätt tid identifierade Spross och Larsson (2012).

Korff et al. (2013) har samlat några fördelar och begränsningar med tillämpningen av observationsmetoden. I korta projekt kan exempelvis fördel dras av korttidsbeteenden hos jordmaterial som att dimensionera utifrån den odränerade skjuvhållfastheten eftersom dräneringen av materialet inte hinner med att inträffa. Fördelaktigt är det också att använda mätningar av deformationer i nyttjandet av observationsmetoden. Deformationer är ofta enkla att mäta med bra noggrannhet och i stor omfattning för att det ger indikationer om jordmekanismer som är intressanta att observera. En begränsning med att tillämpa observationsmetoden är om mätningar inte kan utföras på beteenden och parametrar som är viktiga för utvecklingen av brott på en geokonstruktion. Jordmaterials styvhet och hållfasthet är bara svagt korrelaterade, vilket gör att deformationer inte alltid indikerar ett potentiellt brott.

Fördelarna med den stora mängd mätningar som observationsmetoden kräver innebär i små projekt att tillämpningen ofta ses som allt för kostsam i förhållande till en annan typ av dimensionering (Korff et al., 2013).

### **3.4 Användning av observationer för att hantera geotekniska risker**

Det finns många goda exempel (fler än det är möjligt att ta upp i denna text) på hur observationer med det nakna ögat eller assisterat med olika mätmetoder kan vara till stor nytta för att kunna förebygga, varna och öka förståelsen för geotekniska risker. I gruvan Voorspoed i Sydafrika har observationer genomförts kontinuerligt för att inhämta information till deras riskhantering skriver Ekkerd et al. (2017). I detta dagbrott har riskhanteringen med avseende på släntstabilitetsbrott använt sig av karteringsprogram, geodetisk övervakning och regelbundna inspektioner av dagbrottet. Kontrollerna anpassades till olika sektioner i dagbrottet och informationen från dessa användes i en riskplan. Exempel på sådan information som kunnat inhämtas från dessa kontroller och tidigare erfarenheter från inträffade brott i dagbrottet är att släntbrott föregås av flera månader med markrörelser, krypning med 1 mm per dag. Markrörelserna innan brott ökade till 20–100 mm per dag veckorna



innan. Karaktäristiskt för brott i mudrock likt den i Voorspoed är att de oftast utvecklas över en längre tid jämfört med brott i hårdare bergarter. Utifrån den succesiva utvecklingen av släntbrott och interaktioner mellan eventuellt olika brottytor i dagbrottet har det enligt Ekkerd et al. (2017) varit viktigt att inkludera detta i planerandet och utförandet av gruvarbetena.

Det har även varit framgångsrikt vid riskbehandling för bergssluttningar i Schweiz att använda sig av observationer via InSAR vilket visades i ett reportage i Vetenskapens värld (2015). Reportaget utgick från raset av bergssluttningen vid den schweiziska byn Preonzo och hur det förutspåts. Loew et al. (2017) beskriver samma ras och hur flera års observationer används för att bestämma en plan för ett övervakningssystem med larmvärden. Övervakningen utfördes genom att mäta töjningen av några större sprickor, en regnmätare och en totalstation som med 20 minuters intervall mätte på reflektorer som monterats på ytan av den instabila delen av bergssluttningen. Larmvärdena som användes fastställdes utifrån hastigheten av förskjutningarna och spricköppnandet, detta jämfördes sedan med mätningar som gjort vid tidigare brott i bergsslänter som haft liknade geologi.

Bevaka större naturliga slänter med tekniken luftburen LiDAR scanning (ALS) kan generera data som kan vara ett annat hjälpmedel i att förstå när det är risk för jordskred (Lato et al., 2019). I mars år 2014 inträffade ett jordskred i staten Washington i USA, Oso jordskredet. Området där detta jordskred inträffade hade sedan 2003 övervakats med ALS och i efterhand kan man se de små geologiska förändringarna i området som skett över tiden med resultatet av ALS. Med grund i resultaten som samlats in med ALS över tid så menar Lato. et al. (2019) att ALS kan användas som stöd för att bedöma risker för regionala jordskred. Resultaten av ALS blir också ett stöd i kommunikationen om risker samt vara underlag för beslut för att minska risker (Lato et al., 2019).

## 4 Släntstabilitet

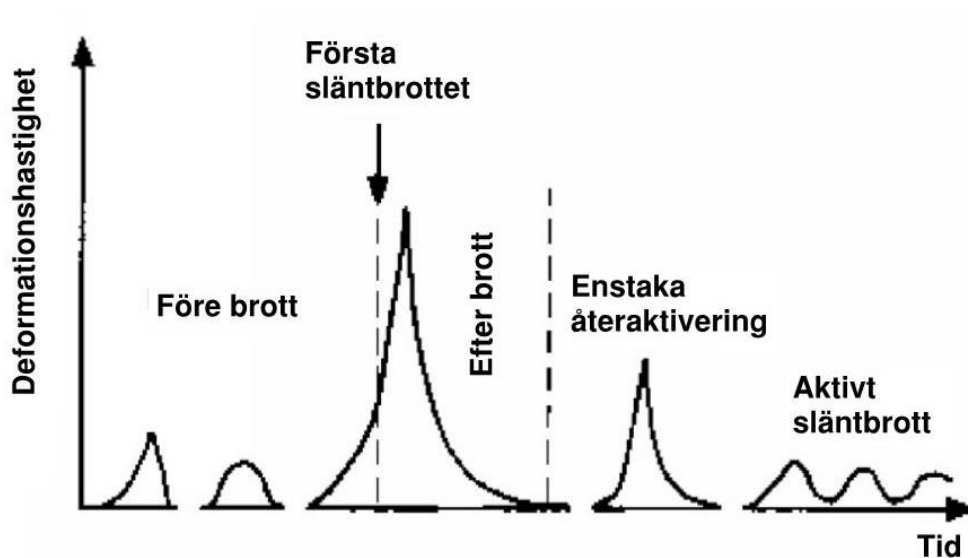
### 4.1 Introduktion

Misslyckande med att upptäcka annalkande släntbrott har rätt parametrar inte undersökts (Terzaghi, 1950). Detta avsnitt berör därför jordmaterials egenskaper och andra inverkanse faktorer som är förknippat med slänter. Detta i syfte att lyfta det som bör observeras utifrån utvecklingen av släntbrott i schaktslänter. Brott syftar i denna text till att de ställda kraven vid dimensionering inte längre uppfylls, detta betyder att släntbrott har inträffat även om schakten inte helt har demolerats genom att schaktslänterna har rasat in.

Utifrån detta har mekanismer som sker över en längre tid i slänter inte varit av intresse i detta avsnitt. Störst intresse har varit att identifiera sådant som är specifikt för schaktning i lera. Många av de artiklarna som refereras till för slänter har varit utifrån naturliga slänter och inte tillfälliga slänter som det är i en schakt. Tillfälliga schakter är majoriteten av gångerna inte öppna tillräckligt länge för att kunna hämta kunskap från. Däremot är mekanismerna i naturliga slänter och tillfälliga schakter de samma även om tidsperspektivet är kortare för en schakt.

### 4.2 Släntrörelser och släntbrott

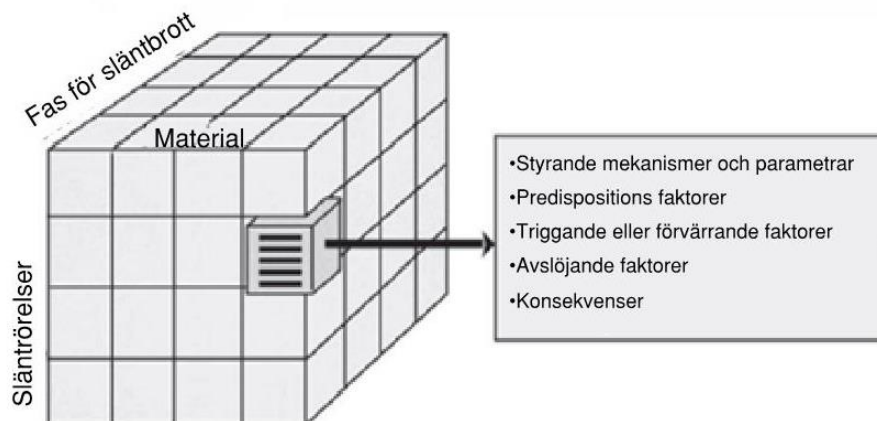
Stabiliteten av en slänt beror på den kombination av inre och yttre faktorer som råder i slänten samt hur de båda samverkar eller motverkar varandra. Vid en ogynnsam kombination av de inre och yttre faktorerna kan slänten rasa eller skreda. Vid ett släntras är det enskilda delar i en slänt som kommer i rörelse medan vid ett skred är det en sammanhängande jordmassa (SGI, 2018). För att underlätta möjligheterna att förstå och analysera den komplexa situationen som råder i en slänt har Vaunat et al. (1994) och Leroueil et al. (1996) föreslagit att släntbrott kan delas in i fyra faser. Benämningarna av indelningen som föreslagits för släntbrott har fritt översatts till förebrottsfasen, initiering av brottfasen, efterbrottsfasen och återaktiveringsfasen. Denna indelning är gjort utifrån fasernas olika jordmekaniska processer och hastigheten med vilken deformationer utvecklas under förloppet av ett släntbrott, se **Fel! Hittar inte referensskälla..**



Figur 2 De olika faserna av ett släntbrott, återskapat från Leroueil (2001).

Släntrörelserna i före brottfasen är alla typer av deformationer som uppstår vid ändrade spänningsförhållanden, krypning och progressivt brott som slutligen leder till det slutliga släntbrottet (Leroueil, 2001). Gradvis gör dessa förändringar att materialet skjuvas och när skjuvytan är kontinuerlig övergår det till initiering av brottfasen. Från det att jordmassorna kommer i rörelse vid brott tills dess att de stannar upp igen är de rörelser som hör till efterbrottfasen. Återaktiveringsfasen är då det uppstår nya släntbrott längs med de sedan tidigare existerande skjuvytorna.

Slänter har också beskrivits utifrån dess geotekniska karaktär för att bättre kunna bedöma dess stabilitet och risker förknippat med detta. Varnes (1978) och Hutchinson (1988) beskrev detta med en matris där ena axeln var jordmaterialet som studerades och den andra axeln var typen av rörelse. Vaunat et al. (1994) och Leroueil et al. (1996) utvecklade denna matris vidare till att ha tre dimensioner, de fyra faserna för släntbrott som beskrivs ovan adderades till matrisen liksom i Figur 3. Detta gör dock att det blir schematiska kombinationer i matrisens "boxar" som representerar situationer som inte är realistiska (Leroueil, 2001).



Figur 3 Matrisen för beskrivandet av slämbrott enligt Leroueil et al. (1996).

Tanken med matrisen i Figur 3 är att ha ett generellt sätt att organisera information för att kunna analysera släntrörelser. Varje "box" i matrisen kan teoretiskt innehålla information om:

- styrande mekanismer och parametrar,
- predispositions faktorer,
- triggande eller förvärrande faktorer,
- avslöjande faktorer,
- konsekvenser.

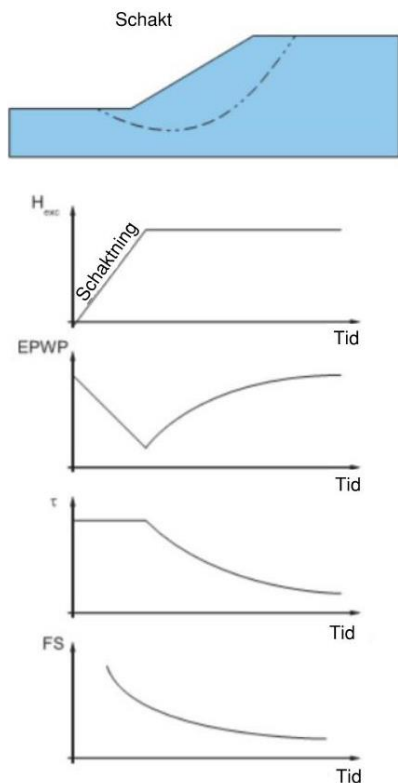
### 4.3 Schaktning i lera

Schaktning innebär för jordmaterialet en spänningsförändring, en minskning av totalspänningen ( $\sigma$ ) och med tiden även en minskning av portrycket ( $u$ ). Beroende på belastningsfallet och konsolideringsegenskaperna i lera har denna avlastning av jordmaterial olika effekt på schaktslänternas skjuvhållfasthet ( $\tau_f$ ). En lera som är tät och odränerad tar det lång tid för skjuvhållfastheten att förändras. Pålastning gör ofta att skjuvhållfastheten blir högre i dessa leror. Avlastning gör däremot inte att skjuvhållfastheten minskar momentant då överkonsolideringsgraden ( $OCR$ ) ökar, belastningsfallet är odränerat. Står schakten öppen längre tid kommer belastningsfallet övergå till dränerat belastningsfall och hållfastheten beror av den dränerade skjuvhållfastheten istället för den odränerade. Skjuvhållfastheten är ofta högre vid ett dränerat fall än ett odränerat när vertikalspänningarna är små och tvärtom vid höga vertikalspänningar. Ekvation 1 visar skjuvhållfastheten enligt Mohr-Coloumbs brottkriterium för effektivspänningar i ett jordmaterial med kohesionen ( $c'$ ) och dess friktionsvinkel ( $\phi'$ ). Ekvation 2 visar hur  $OCR$  beräknas med förkonsolideringstrycket ( $\sigma'_c$ ) och effektiva vertikalspänningen ( $\sigma'$ ). (Das & Sobhan, 2014)

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (1)$$

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'} \quad (2)$$

Konsolideringsegenskaperna för lera gör att vattnet i porerna evaporerar långsammare än jämfört med friktionsjordar (Larsson, 2008). Därför är stabiliteten av en schaktslänt i mättad lera oberoende av spänningssituationen in situ momentant, då  $OCR$  ökar vid avlastning. Denna fördröjning av portryckets förändring i leran gör att portrycket beskrivs som negativt. Men allt eftersom schakten står öppen kommer däremot portrycket förändras, grundvattennivån antar ett nytt jämviktsläge. Denna fördröjning av skjuvhållfasthetens minskning medför att säkerhetsfaktorn för en schaktslänt även varierar med tiden. Den initiala säkerhetsfaktorn är utifrån ett odränerat belastningsfall för lera, korttidshållfastheten/korttidssäkerhetsfaktorn. Med tiden får grundvattennivån en ny jämvikt och säkerhetsfaktorn blir utifrån ett dränerat belastningsfall i lera, långtidshållfastheten/långtidssäkerhetsfaktorn. Denna förändring av portrycket, skjuvhållfastheten och säkerhetsfaktorn i mättade leror vid schaktning visas i Figur 4.



Figur 4 Stabilitetsförhållanden för vattenmättad lera efter Das och Sobhran (2014).

Tiden mellan avlastning och en ny jämvikt för grundvattennivån i schaktslätten beror förutom på lerans konsolideringsegenskaper även på jordlagrens tjocklek i jordprofilen av schakten och schaktens geometri (Leroueil, 2001), vilka skiljer sig från fall till fall. Eigenbrod (1975) har genom en numerisk analys kommit fram till en tidsfaktor för att beräkna tiden tills den nya jämvikten uppnåtts vid schaktning i lera, se för ekvation 3.

$$T = \frac{c_{vs}t}{H^2} = 0.33 \quad (3)$$

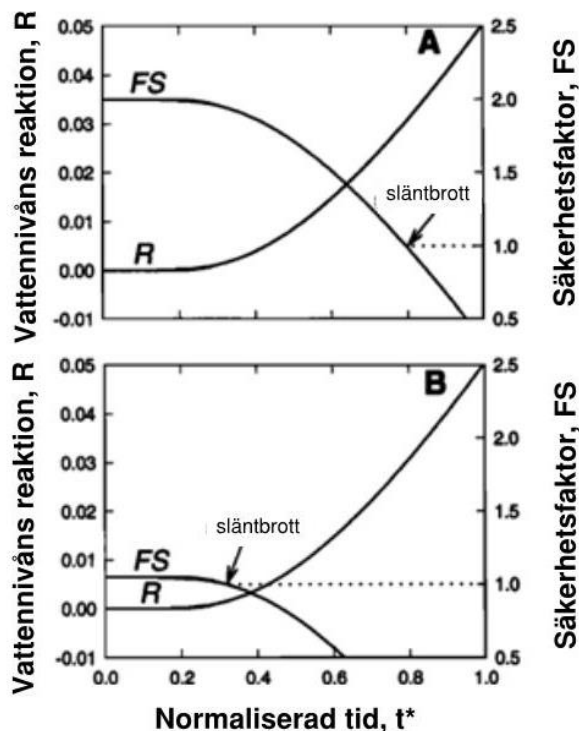
Där ( $H$ ) är djupet på schakten, ( $c_{vs}$ ) är konsolideringskoefficienten och ( $t$ ) är tiden. Denna tidsfaktor varierar dock om schakten som de tillämpas på inte efterliknar den som Eigenbrod (1975) studerade, främst om tjockleken på leran skiljer sig från det.

#### 4.4 Påverkan av tillförsel av vattnet till jordprofilen

Vatten är den faktor som har störst enskild påverkan på utvecklingen av släntrörelser (Leroueil, 2001). De hydrologiska förhållandena i jordprofilen påverkar skjuvhållfastheten som är avgörande för totalstabiliteten av en slänt. Därför är förändringar av vatten i jordprofilen avgörande för utvecklandet av släntbrott. Som nämnts tidigare är det olika reaktioner på tillförsel och avgång av vatten i jordprofilen för olika jordmaterial. Permeabiliteten som är en del av konsolideringsegenskaperna för en friktionsjord är högre än för kohesionsjordar. Detta styr infiltrationen vid nederbörd och hur portrycket förändras i förhållande till nederbörden.

Långvariga regnperioder är förknippat med släntbrott som går djupare ner i jordprofilen, medan korta intensiva regn oftast genererar ytliga släntbrott (Leroueil,

2001). Tidsförhållandet mellan regn och släntbrott, eller snarare förändringen av portrycket i jordprofilen och släntbrott, är viktig att förstå för att kunna förutspå släntbrott. Iverson (2000) har beskrivit sambandet mellan förändringen av vattennivå i jordprofilen ( $R$ ), säkerhetsfaktorn ( $FS$ ) och normaliserad tid ( $t^*$ ). Ytliga, plötsliga jordskred kan ofta beskrivas med graf A i Figur 5, detta är karaktäristiskt för tunna sandiga jordar i branta slänter. Dessa jordar har goda dränerande egenskaper och en hög säkerhetsfaktor, tills regnvatten infiltreras och snabbt ökar portrycket. Släntbrott som utvecklas långsammare och djupare ner i jordprofilen beskrivs i graf B i Figur 5. Detta förekommer för jordar som är mer finkorniga och får större skjuvytor då portrycksnivån vid regn endast ändras litegrann. Denna modell för långsamma och mer plötsliga släntbrott skriver Iverson (2000) tar inte hänsyn till faktorer som kan vara viktiga som jordmaterialet hållfasthet över tid och släntbrotts 3-dimensionella geometrier. Tillförseln av regnvatten är inte de enda som påverkar grundvattennivåerna i en slänt. Grundvattennivåerna i jordprofilen varierar också med årstiderna. Detta gör att effektivspänningens variation över årstiderna resulterar i krympning och svällning i lerslänter. Förskjutningarna som blir i jorden från att genomgå cykler med krympning och svällning har visats sig inte återhämtar sig fullt under en hel cykel. Dessa förskjutningar byggs även på i olika omfattning beroende på vädret för cyklerna (Take, 2003). Svällning kan också ha effekter på kort tid vid schaktning om det finns torksprickor. Vatten i dessa torksprickor kan orsaka släntbrott i schakter (Lundström et al., 2015).

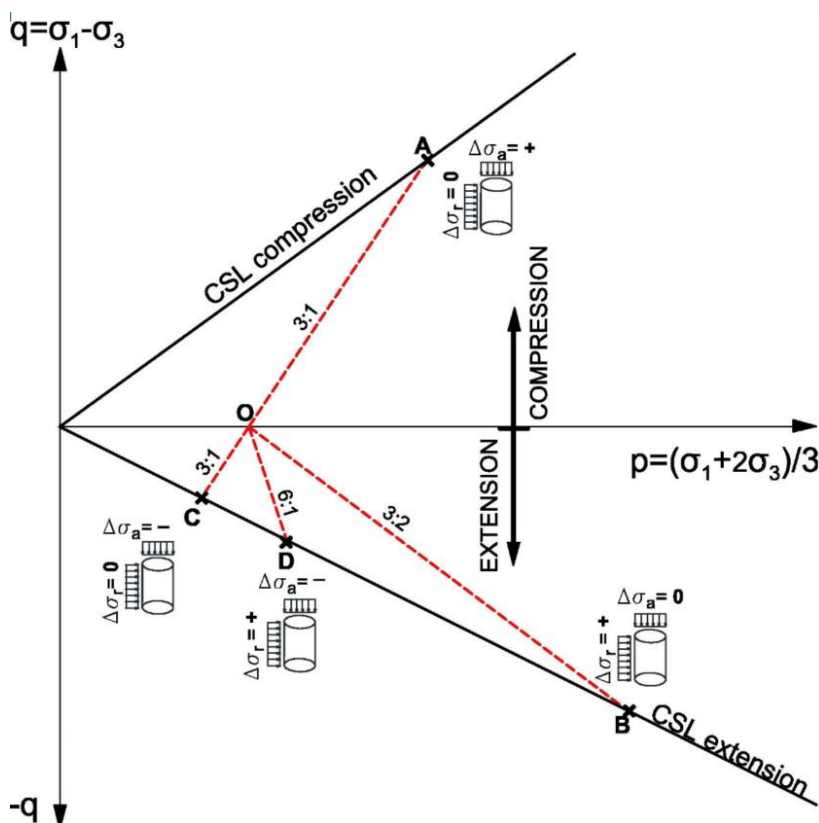


Figur 5 Grafer över vattennivåns respons och säkerhetsfaktorn vid regn. A beskriver beteendet hos en sandig jord medan B beskriver beteendet hos en finkornig jord. Återskapat från Iverson (2000).

## 4.5 Deformationer

Utvecklingen av deformationer är beroende av den tidigare spänningshistoriken och lagringsstrukturen i jordprofilen. Även vattenmättnadsgraden och jordpartiklarnas fördelning, storlek och form är av betydelse för utvecklingen av deformationer. Deformationsegenskaperna för en jord är relaterat till materialets hållfasthet även om det ofta refereras till separat. Deformationer sker genom ändring av volymen, formen eller en kombination av de båda (Larsson, 2008). Volymändrande deformationer är till följd av konsolidering. Den primära konsolideringen är ett resultat av att vattnet i jordens porer avgår. Utvecklingen av den primära konsolideringen är därför styrd av permeabiliteten (Das & Sobhan, 2014).

Rena formändrande deformationer kan utvecklas i helt vattenmättade jordar vid snabba spänningsförändringar, det sker en odränerad skjuvning av jordmaterialet. Deformationerna orsakas av att jordskelettet skjuvas eftersom inget vatten hinner dräneras. Den förändrade spänningssituationen som utvecklar dessa deformationer ses i  $p'$ : $q$  -planet, Figur 6.



Figur 6 Effektivspänningsvägen i ett  $p'$ : $q$ -plan, OC, efter Ignat et al. (2019).



Innan schaktning är effektiva medeltrycket i jorden  $O$  i Figur 6 har den effektiva spänningsvägen, linjen  $OC$  för ett odränerat belastningsfall för en schakt (Ignat et al., 2019).

Utvecklandet av deformationer har av Travenas et al. (1978) föreslagits kunna användas för att visas på att konsolideringsgraden i lera minskar. Förhållandet mellan horisontella och vertikala deformationer,  $dh/dv$ , har i en sammanställning av mätdata från 21 jordbankar ovanpå lera visats ha ett medelvärde på 0.16. För att inte initiera lokala brott i leran föreslår Travenas et al. (1978) och Travenas et al. (1979) att säkerhetsfaktorn ska vara inom intervallet 1.3–1.4. Detta samband överensstämmer med det som uppmäts av Müller et al. (2012) vid Vedabanken, säkerhetsfaktorn var 1.5 och  $dh/dv$  var 0.14–0.19.

## 5 Schakten

### 5.1 Introduktion

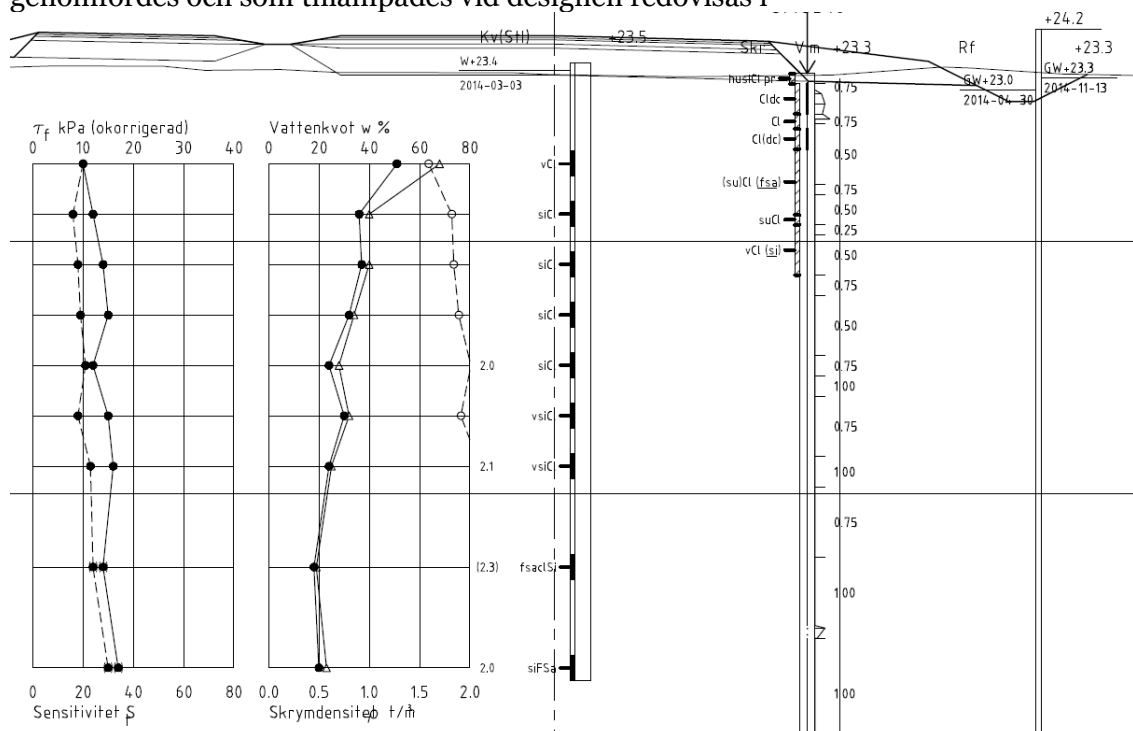
I syfte att undersöka möjligheterna att skapa underlag för rationella beslut om risker förknippade med släntbrott har denna schakt utformats. Schakten avser efterlikna en delsträcka vid exempelvis schaktning för ledningsarbeten. I schakten nyttjas inte stödkonstruktioner för schaktslänterna. Riskhanteringen i samband med denna schakt har eftersträvat att följa den struktur för riskhantering i geotekniska projekt som beskrivits av SGF (2014). Eventuellt angränsande aktiviteter som skulle kunna förekomma vid denna typ av schakter i vanliga fall i ett geotekniskt projekt har exkluderats i detta examensarbete.

### 5.2 Utformningen av schakten

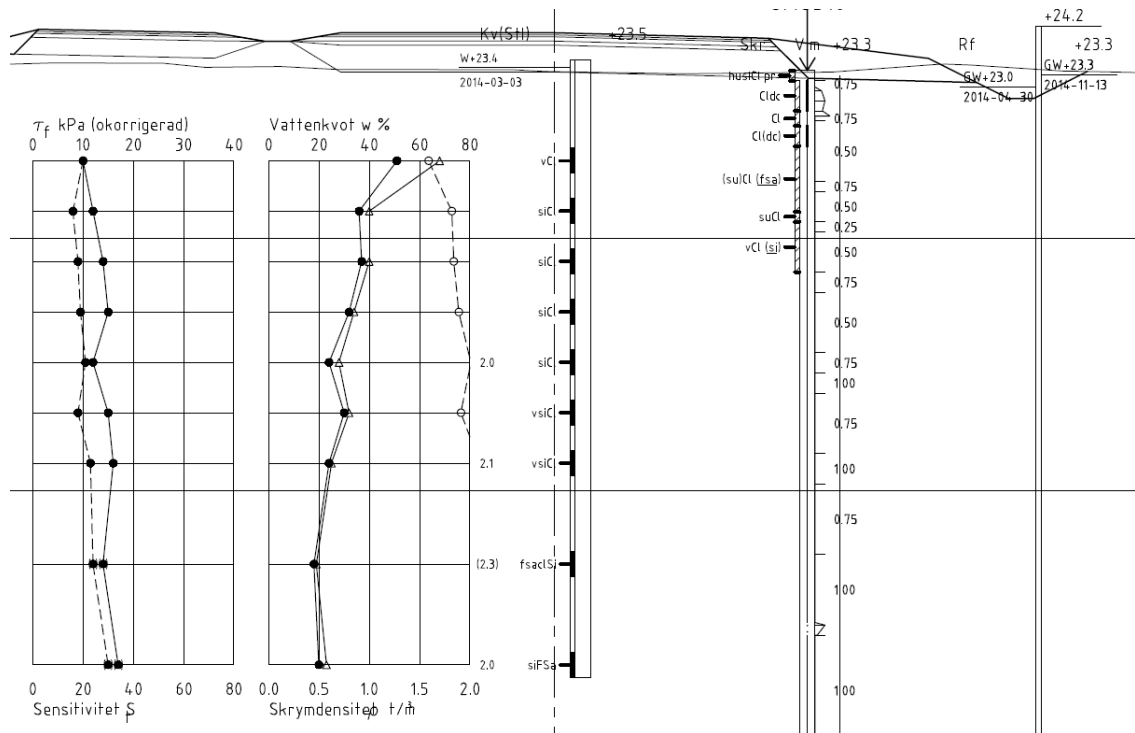
Schakten har utformats utifrån att släntbrott är en risk vid schaktarbeten. Denna risk är inte acceptabel och genomförandet av denna schakt avser att testa ett tillvägagångssätt för riskbehandling av denna risk. Schakten har genomförts för att testa hypotesen att begynnande släntstabilitetsbrott kan identifieras med stakkäppar under utförandet och därmed vara underlag för ett rationellt beslut om risken för släntstabilitetsbrott. I riskbehandlingen har det eftersträvat att tillämpa principen för observationsmetoden.

#### 5.2.1 Geotekniska förutsättningar för dimensionering av schakten

De geotekniska undersökningarna som utförts i närheten av platsen där schakten genomfördes och som tillämpades vid designen redovisas i



Figur 7. Platsen var sedan tidigare nyttjad som åkermark och jordprofilen vid schakttillfället kan ses i Figur 8.



Figur 7 Okorrigerad skjuvhållfasthet, sensitivitet, vattenkvot, skrymdensitet och jordlagerföljd. tart 2 meter under markytan. Utifrån markundersökningar utförda av Structor mark Stockholm AB (2014)

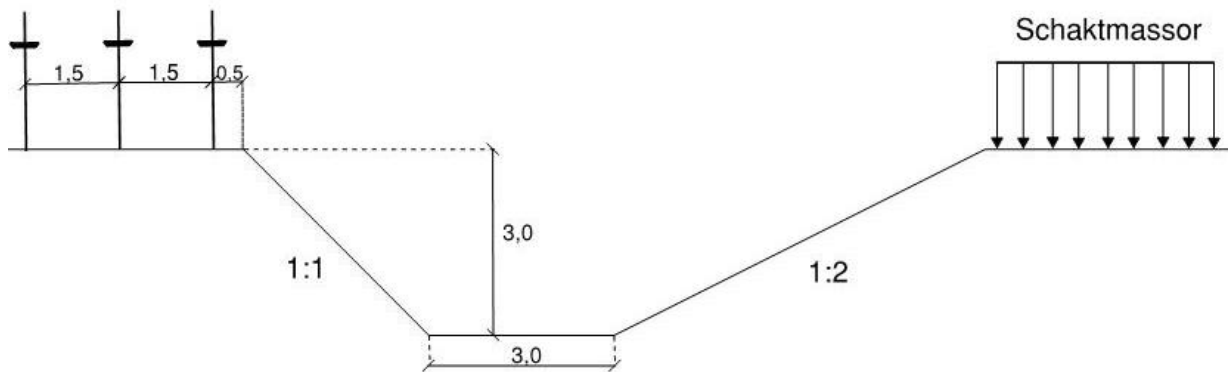


Figur 8 Foto av jordprofilen tagen vid schakttillfället.

### 5.2.2 Schaktens geometri

För utformning av schakter som har ett djup mellan 1,5–4 meter har det tagits fram typschafter i ”Schakta säkert” av Lundström et al. (2015). Typsektionerna är tänkta som ett stöd vid val av utformning av säkra schakter när det inte funnits tid för att göra en stabilitetsberäkning eller andra utredningar som kan optimera för en specifik schakt. Dessa typschafter tar endast hänsyn till risken för skred eller ras. Hänsyn är inte taget till deformationer vid dessa typschafter.

Schakten som utfördes i detta examensarbete hade fokuserade på en av långsidorna på schakten där det genomfördes observationer/mätningar. Därför användes två olika släntlutningar. Sidan där observationer genomfördes avsågs avsiktligt vara mindre stabil för att möjliggöra observationer. Långsidan av den schakten hade släntlutningen 1:1 och utgick ifrån att efterlikna typschaft 3 i Schakta säkert (2015). Typschaft 3 har ett övre jordlager med minst 1 meter torrskorpsslera och därefter lera med den odränerade skjuvhållfastheten 15 kPa. Maxdjupet i typschaften är begränsat till 2,75 meter och schaktkrönet ska vara obelastat. I schakten för detta examensarbete gjordes ett avsteg från det maximala djupet genom att vara 3 meter djupt. Den andra långsidan av schakten hade släntlutningen 1:2 i syfte att undvika släntbrott då inga observationer genomfördes på denna sida. En tvärsektion av schakten visas i Figur 9.



Figur 9 Tvärsektion av schakten med staktkäppar på det ena schaktkrönet och schaktmassor på det andra, mått i meter.

Längden på schakten har i och med de 3-dimensionella effekterna betydelse vid utformningen av schakten. I ändarna av schakten gör kohesionskrafterna i jorden att det blir mer stabilt (IVA., 1995). För att efterlikna en schaktetapp som skulle kunna vara realistisk vid en schakt i ett verkligt projekt valdes längden 18 meter. Röripor levereras ofta i längden 6 meter, då blir schaktens längd 3 röripor.

### 5.3 Stabilitetsberäkningar för schakten

I utformandet av slänten har även släntstabilitetsberäkningar utförts med SLOPE/W för ett odränerat och ett kombinerat fall. Totalsäkerhetsfaktorn från släntstabilitetsberäkningarna är ett värde som kan användas vid beslutsfattande om släntstabiliteten är tillräcklig i riskutvärderingen. Acceptabla gränser för släntstabiliteten finns i IVA Skredkommissionens rapport 3:95, anvisningar för släntstabilitetsutredningar (1995) och där säkerhetsfaktorn för en odränerad analys ska vara  $>1.5$  och vid en kombinerad analys ska totalsäkerhetsfaktorn vara  $>1.35$ . I en kombinerad analys väljs skjuvhållfastheten till det lägsta värdet av det dränerade och det odränerade fallet.

Laster längs med sidan som observerats har exkluderats i detta exempel för att minimera antalet faktorer som påverkar eventuella släntrörelser. Eventuella 3-dimensionella effekter i ändarna på schakten som om nämns av Skredkommissionen (IVA, 1995) har även dem exkluderats.

### 5.4 Kontroll av schakten

I och med de risker som schaktarbeten innefattar bör det vara utsett en person på arbetsplatsen som ansvarar för att arbetena utförs på rätt sätt. Denna person kallas för schaktansvarig i Schakta säkert (2015) och utses av projektet ledningen (projektchef alt. produktionschef) och bör vara kompetent att kunna säkerställa att schaktarbetena utförs på rätt sätt. Som schaktansvarig ska man genomföra en daglig tillsyn av schakten som underlag till att ta beslut om säkerheten av schakten. (Lundström et al., 2015)

Kontroller ska genomföras enligt en kontrollplan där det kontrolleras att förhållandena är de samma som det som angivits i handlingarna och varit till underlag till utformningen av schakten. Det ska också framgå vilka händelser som bör vara under uppsikt under arbetets gång och den tid som schakten står öppen. Mätningar som är eventuellt nödvändiga och tillhörande gräns- och larmvärden samt intervallet som

mätningar ska genomföras. Till detta ska det också finnas en åtgärdsplan för då mätvärdena överskrider gränsvärden (Lundström et al., 2015). För schakten i detta examensarbete kontrollerades släntrörelser med hjälp av stakkäppar med flukter (små plastbrickor) som placerades på schaktkrönet och i släntfoten. Se Figur 10 **Fel! Hittar inte referenskälla.** för exempel på stakkäpp som användes. Stakkäpparna med flukter användes i syfte att synliggöra deformationer av markytan genom att använde ett flertal som bildade syftlinjer längs med släntfoten och schaktkrönet, se Figur 11 och Figur 12 .



Figur 10 Foto av stakkäpp med fluga och reflex.

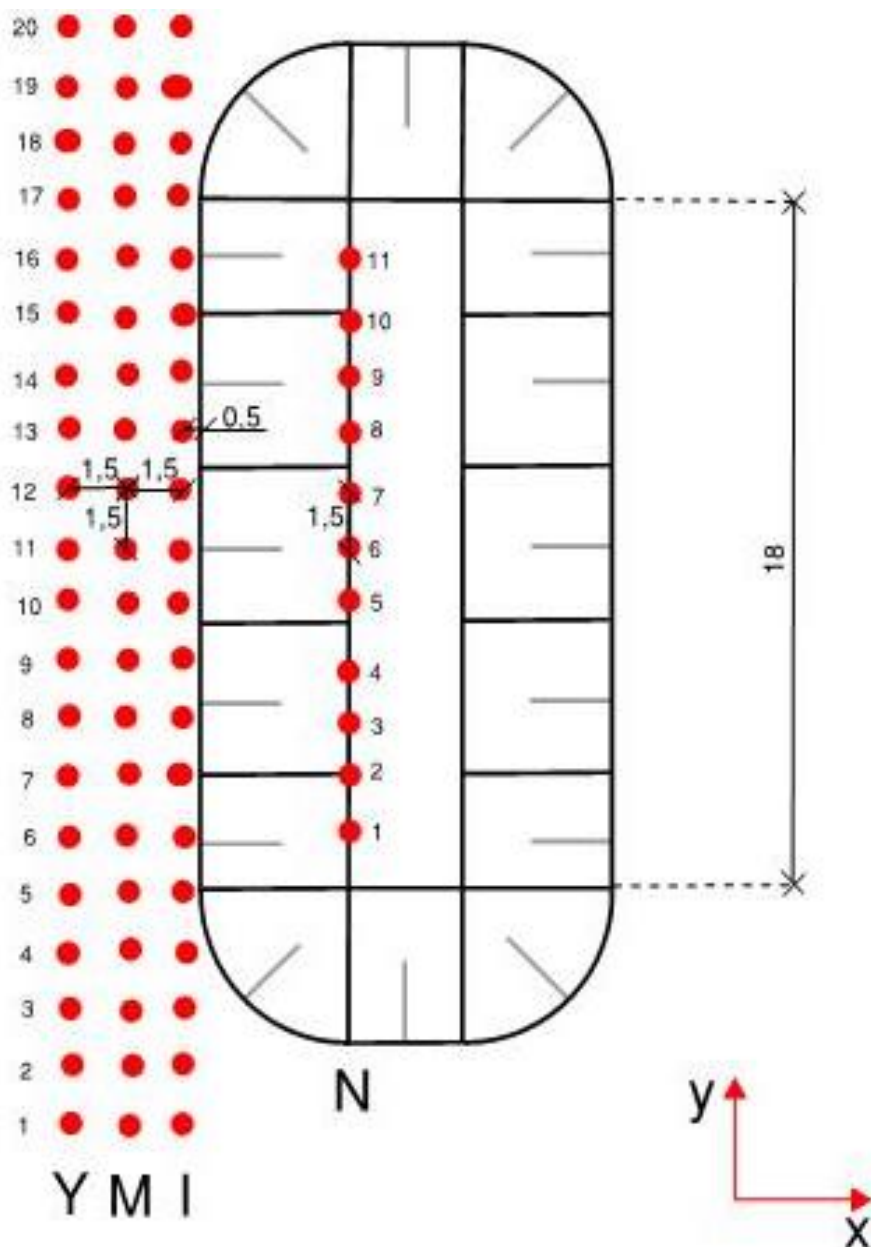


Figur 11 Foto av stakkäppar i slänthot.



Figur 12 Foto av stakkäppar på schaktkrönet.

På stakkäpparna monterades även reflexer för att ha stationära mätpunkter. På så sätt kan gränsvärden för deformationer tillämpas som stöd till beslutsfattande kring schaktens säkerhet. Placeringen av stakkäppar längs med schakten visas i Figur 13, där kan man också se kolumnernas med stakkäpparnas namn och numreringen av stakkäpparna.



Figur 13 Utformningen av schakten med stakkäpparnas kolumner Y, M, I och N samt numreringen av stakäpparna. Mått i meter.



## 5.5 Utförande av schakten

Schakten som varit objekt för riskhanteringen har sedan utförts i verkligheten. Syftet var att testa hypotesen att stakkäppar med flukter och reflexer kan användas för att synliggöra ett begynnande släntbrott i schaktens väggar.

Skanska Sverige AB tillhandahöll plats, material, maskiner och viktiga personer till utförandet. Schakten i fältförsöket stod öppen mellan 30/5–13/6 2017.

### 5.5.1 Utförande steg för steg

Schakten med inmätningar och observationer av stakkäppar utfördes i följande ordning:

- Arbetsberedningen för schakten och dess riskhantering förbereddes och kommenterades av personer med erfarenhet från liknande arbete. Arbetsberedningen reviderades inkomna kommentarer.
- Arbetsberedningen godkändes på projektet efter att det säkerställdes att det fanns personal tillgänglig att ansvara för utförandet.
- Stakkäpparna med flugor och reflexer placerades ut enligt Figur 13 på det blivande schaktkrönet under dagarna 23–24 maj utan att avtäckas ytan. En första inmätning av stakkäpparna med totalstation, Leica TS16 totalstation, genomfördes den 30 maj innan påbörjad schaktning.
- Schakten utformning och genomförande kommunicerades till personer som medverkades och berördes av utförandet innan schaktarbetet påbörjades.
- Schakten grävdes den 30 maj. Schaktarbetet utfördes från kortsidan, schaktmassorna placerades på släntkrönet längst med schaktslätten som hade lutningen 1:2.
- Efter att schaktarbetena avslutades den 30 maj placerades stakkäppar med flugor och reflexer i släntfoten enligt Figur 11. Stakkäpparnas placering mättes in en första gång med totalstation. Uppställningsplatsen av totalstationen vid schakten visas i Figur 14.
- Ytterligare en inmätning av stakkäpparnas position utfördes efter avslutade schaktarbeten. Därefter utfördes inmätningarna under vardagar på dagtid. De första dagarna schakten stod öppen utfördes inmätningarna och observationerna en gång på förmiddagen, en gång mitt på dagen samt en gång på eftermiddagen. Utifrån en tidig analys av resultaten av inmätningarna och delvis begränsad tillgång till totalstation minskade antalet inmätningar den 9 juni till en inmätning per dag.
- Under den tid som schakten stod öppen regnade det vid ett antal tillfällen. Nederbörden (dagliga nederbörds mängden) under den här tiden inhämtades från två mätstationer, en i Tullinge och en i Västerhaninge, som används av Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). Under tiden som schakten stod öppen pågick ingen länshållning, men inga andra synliga inflöden av vatten till schakten förutom regnvatten förekom. Den 13 juni uppmättes den samlade vattenmängden i schakten till ca 30 centimeter.



Figur 14 Fotot visar schakten så under tiden den stod öppen.

## 6 Resultat från mätningar och observationer av schakten

### 6.1 Introduktion

Insamlingen av information om schaktsläntens stabilitet har samlats i detta avsnitt. Det innehåller resultat från mätningar på stakkäpparna, information om nederbördsmängden under tiden schakten stod öppen, beräkningar av säkerhetsfaktorn för släntstabiliteten samt deformationer.

### 6.2 Rörelse av stakkäpparna

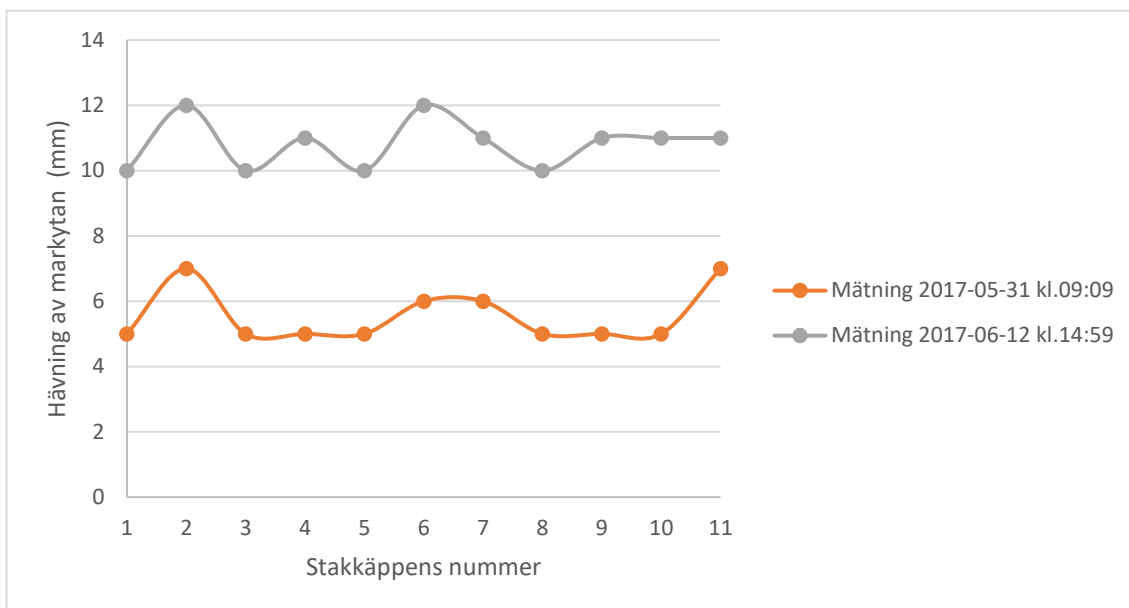
Graferna som visar de observerade rörelserna under genomförandet av schakten visar endast ett urval av de mätningar som genomförts. För att orientera vilken käpp det som är redovisas finns alla käppars benämningar med i **Fel! Hittar inte referenskölla..** Stakkäpp M16 har fått värdet 0 i dessa resultat då reflexen på denna stakkäpp inte kunde mätas in.

Mätningarna genomfördes med olika totalstationer och olika uppställningsplatser utifrån de resurser som var tillgängliga. Stomnätet som användes vid inmätningstillfällena nyttjade bakobjekt, prismor och reflexer, som inte var utplacerade för att göra mätningar i det område som schakten genomfördes. Totalstationer av typen Leica TS16 som användes vid inmätningarna har mätnoggrannheten 2 mm + 2 ppm vid distansmätning på reflektortejp (Leica Geosystems AG, 2016). De 2 ppm som adderas till mätnoggrannheten är ett fel baserat på avståndet mellan objektet som det mäts på och totalstationen, för mätningarna i detta examensarbete kan detta bortses.

De inmätta punkterna var på stakkäpparna i kolumn Y, M och I kan ha blivit vindpåverkade samt att träet i stakkäpparna kan ha torkat och slagit sig så att den inmätta punkten förflyttat sig av andra faktorer än endast markrörelser.

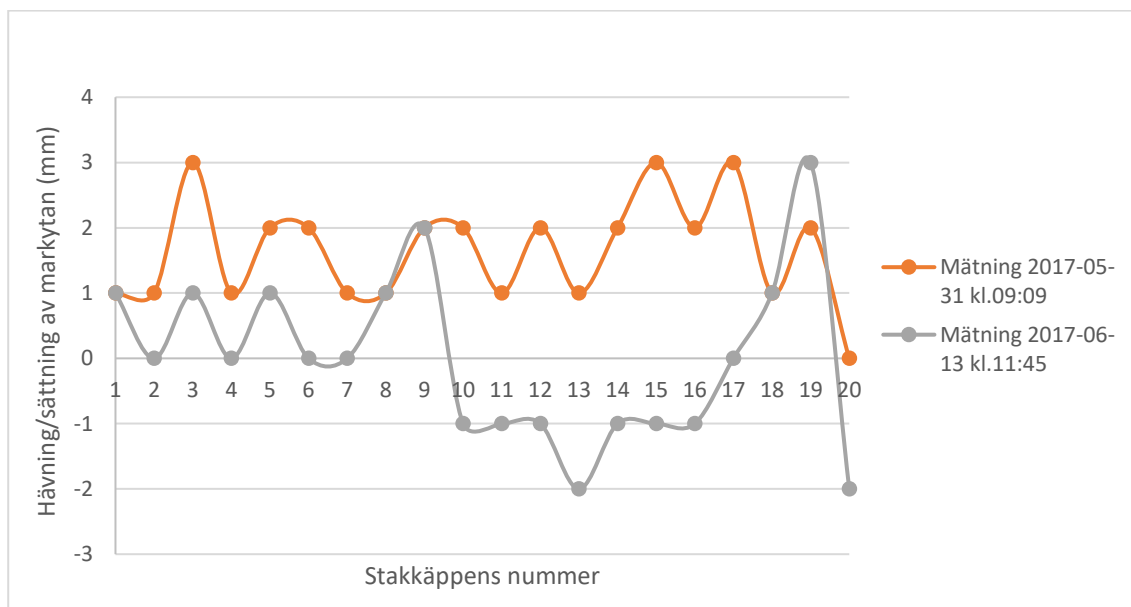
#### 6.2.1 Vertikala rörelser av käpparna

Y-axeln i nedanstående grafer visar hävning alternativt sättning, där positiva värden är hävning medan negativa värden är sättning.



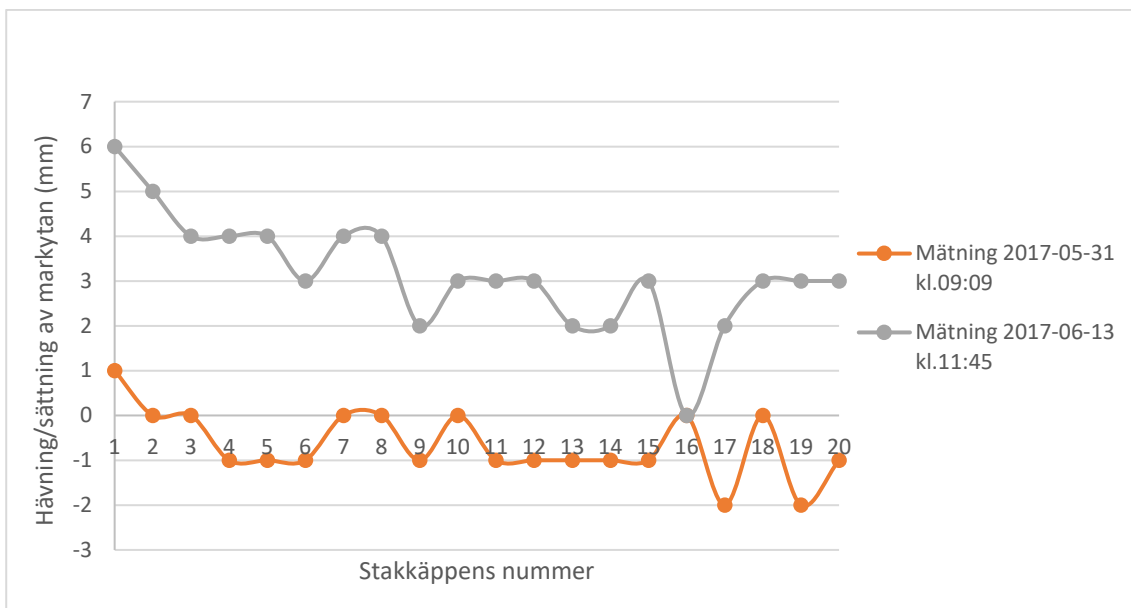
Graf 1 Vertikala markrörelser, kolumn N (linjen med stakkäppar vid släntfot).

Stakkäpparna i kolumn N visar alla hävning. Skillnaden mellan de två inmätningstillfällena i Graf 1 kan indikera att ett släntbrott har inträffat.



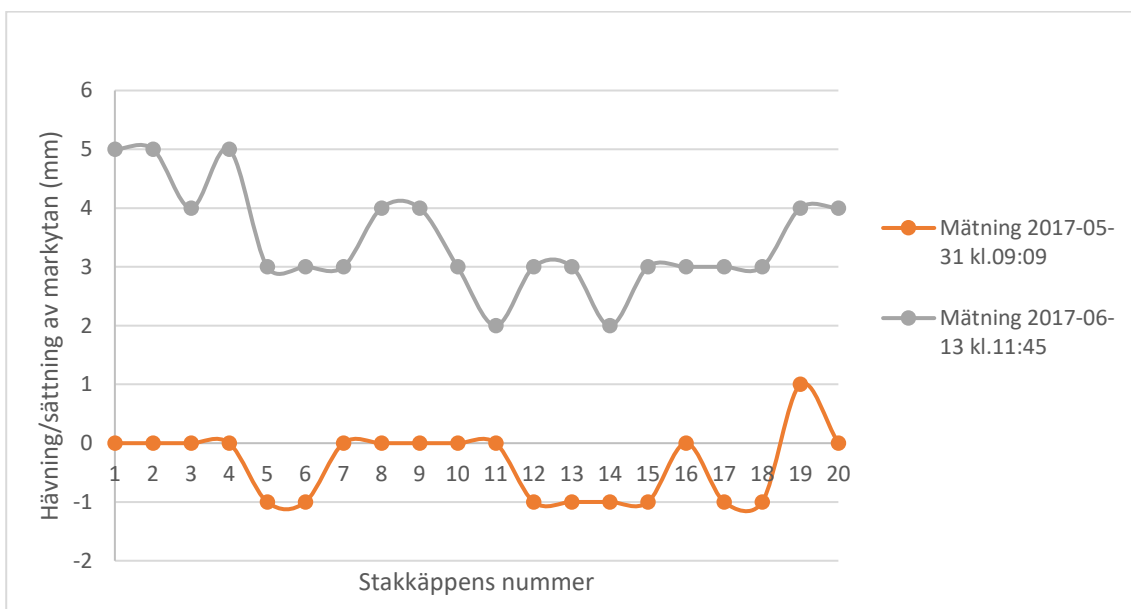
Graf 2 Vertikala markrörelser, kolumn I (linjen med stakkäppar närmast släntkrönet).

Stakkäpparna i kolumn I som visas i Graf 2 visar att marken först ska ha hävt närmast släntkrönet för att sedan att satt sig.



Graf 3 vertikala markrörelser, kolumn M (linjen med stakkäppar i mitten på släntkrönet).

Stakkäpparna i kolumn M som visas i Graf 3 visar att marken ska ha hävts, vilket inte är en rörelse som kan förväntas utifrån att slänten avsåg att skreda. Rörelsemönstret för dessa stakkäppar förväntas vara av sättningar om släntbrottet breder ut sig 2m eller mer i sidled från schaktkrönet, alternativt bör inte dessa stakkäppar visa på någon rörelse alls om släntbrottet är mer ytligt.



Graf 4 Vertikala markrörelser, kolumn Y (linjen med stakkäppar längst bort från släntkrönet).

Stakkäpparna i kolumn Y som visas i Graf 4 visar att marken ska ha hävts, vilket inte är en rörelse som kan förväntas utifrån att slänten avsåg att skreda. Rörelsemönstret för dessa stakkäppar förväntas vara av sättningar om släntbrottet breder ut sig 3.5m eller mer i sidled från schaktkrönet, alternativt bör inte dessa stakkäppar visa på någon rörelse alls om släntbrottet är mer ytligt.

### **6.2.2 Sista mätningarna**

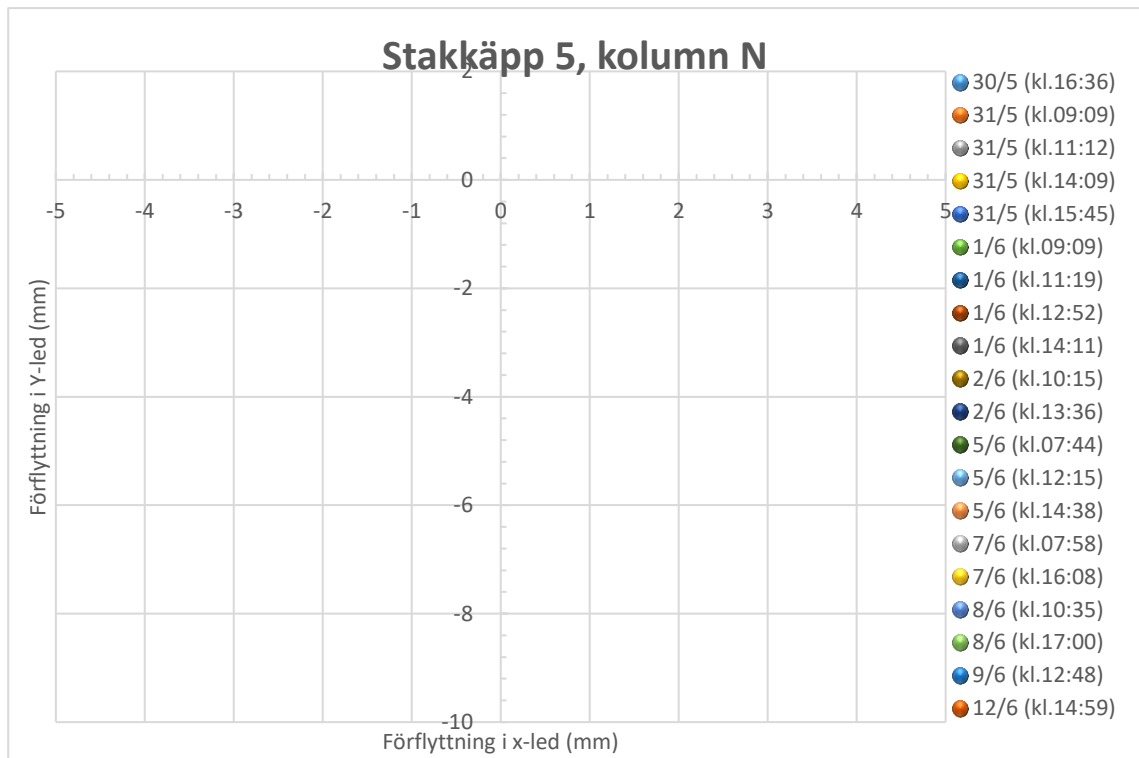
Mätresultaten för kolumn Y, M, och I från mätningen 2017-06-13 kl.11:45 samt mätresultaten för kolumn N från mätningen 2017-06-12 kl.14:59 redovisas nedan i Figur 15. Figuren har ingen skala utan representerar hur stakkäpparna vid sista mätningen rört sig schematiskt utifrån hur de stod initialt. De rutor som är gulmarkerade representerar att stakkäppen har satt sig vid sista mätningen. Vita rutor representera att det är en hävning av stakkäppen utifrån mätresultaten.

20	↖	↖	↖		
19	↖	↖	↖		
18	←	↖	↖		
17	↖	↖	↖		
16	↖	⊗	↖		
15	↖	↖	↖	11	↖
14	↖	↖	↖	10	↖
13	↖	↖	↖	9	↖
12	↖	↖	←	8	↖
11	↖	↖	↖	7	↖
10	↖	↖	↖	6	↖
9	↖	↖	←	5	↖
8	↖	↖	↖	4	↖
7	↖	↖	↖	3	↖
6	↖	↖	←	2	↖
5	↖	↖	↓	1	←
4	↖	↖	↖		
3	↖	↖	↖		
2	↖	↖	↓		
1	↖	↖	↓		
	Y	M	I		N

Figur 15 Schematiskt rörelsemönster för stakkäpparna utifrån de sista mätningarna. Gul ruta representerar att stakkäppen har satt sig och vit ruta representera att stakkäppen har hävts.

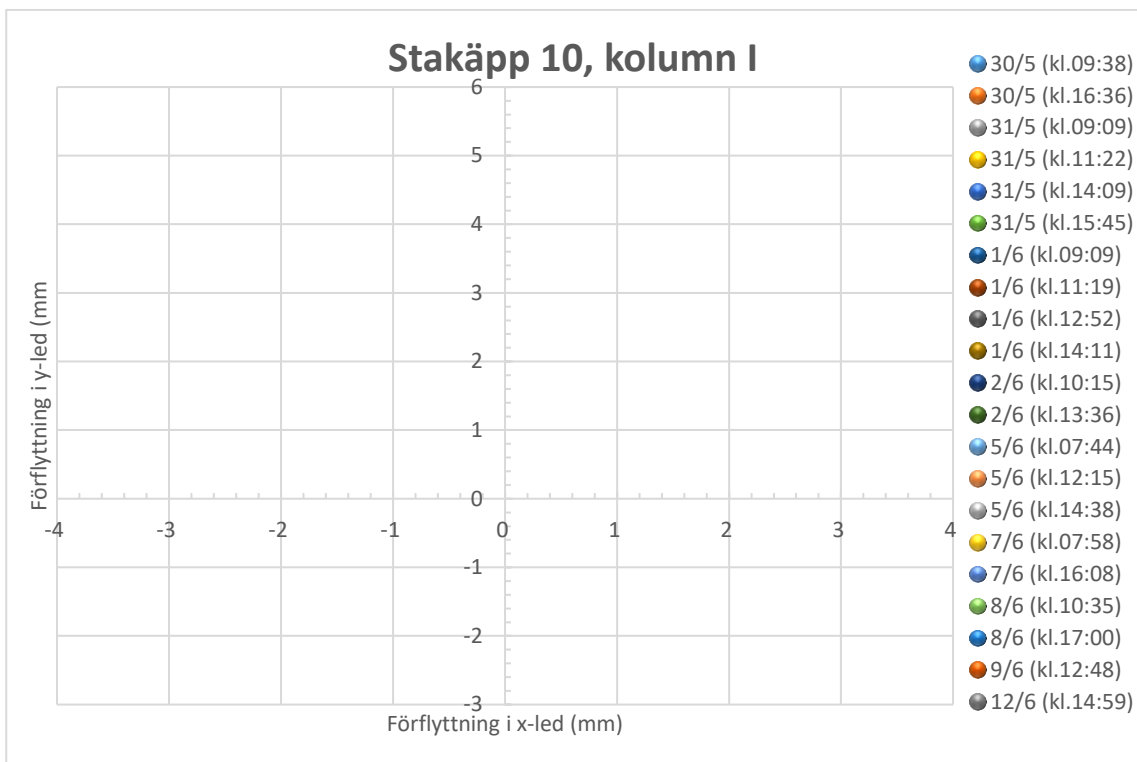
### 6.2.3 Spridningen av mätresultaten för stakkäpparna

Nedanstående grafer visar stakkäpparnas rörelser i xy-planet. Negativa Y-värden visar på att slänten har rört sig i förväntad riktning för ett släntbrott.

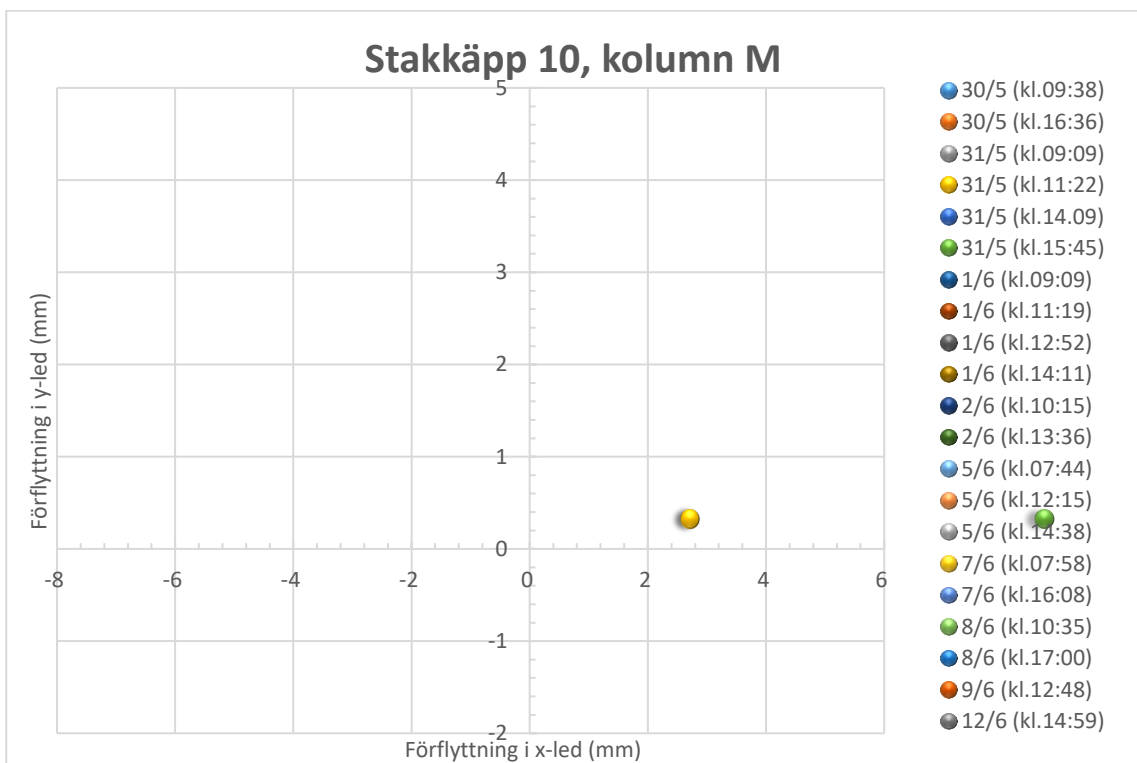


Graf 5 Mätresultat i xy-planet för stakkäpp 5 i kolumn N.

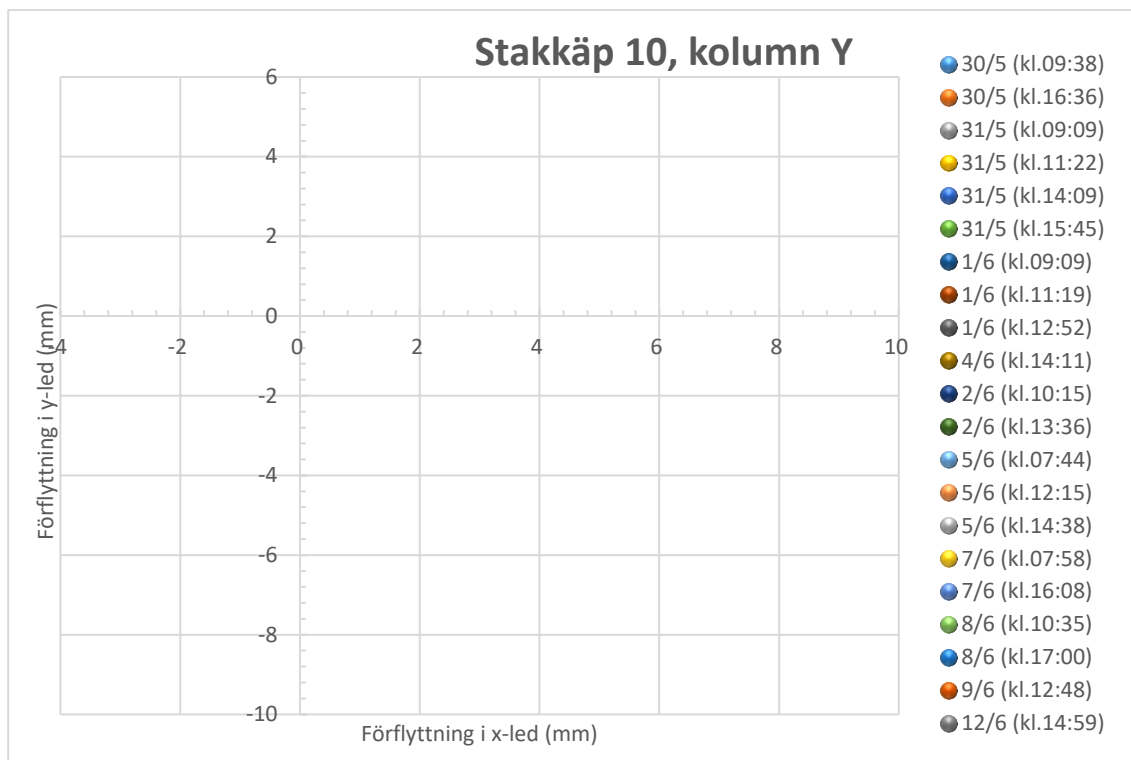




Graf 6 Mätresultat i xy-planet för stakäpp 10 i kolumn I.



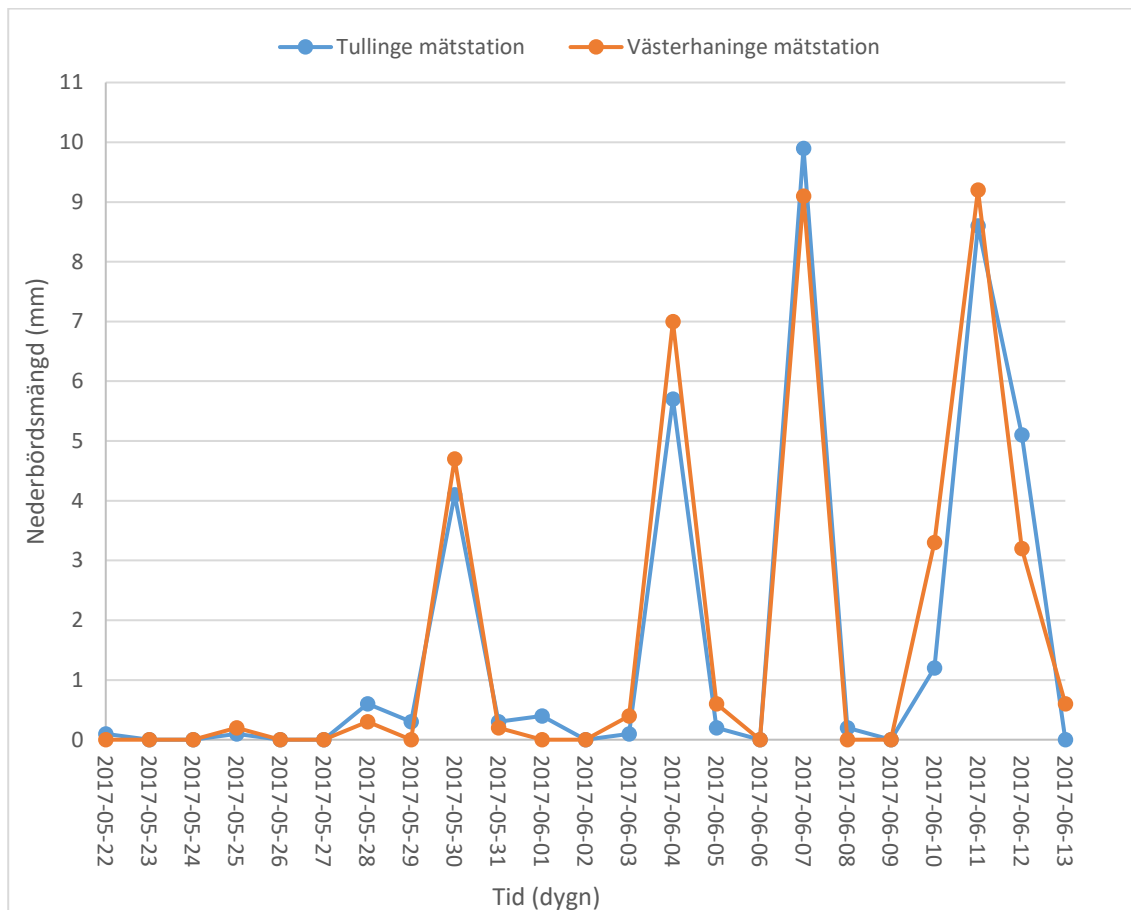
Graf 7 Mätresultat i xy-planet för stakäpp 10 i kolumn M.



Graf 8 Mätresultat i xy-planet för stakkäp 10 i kolumn Y.

### 6.3 Påverkan av nederbörd

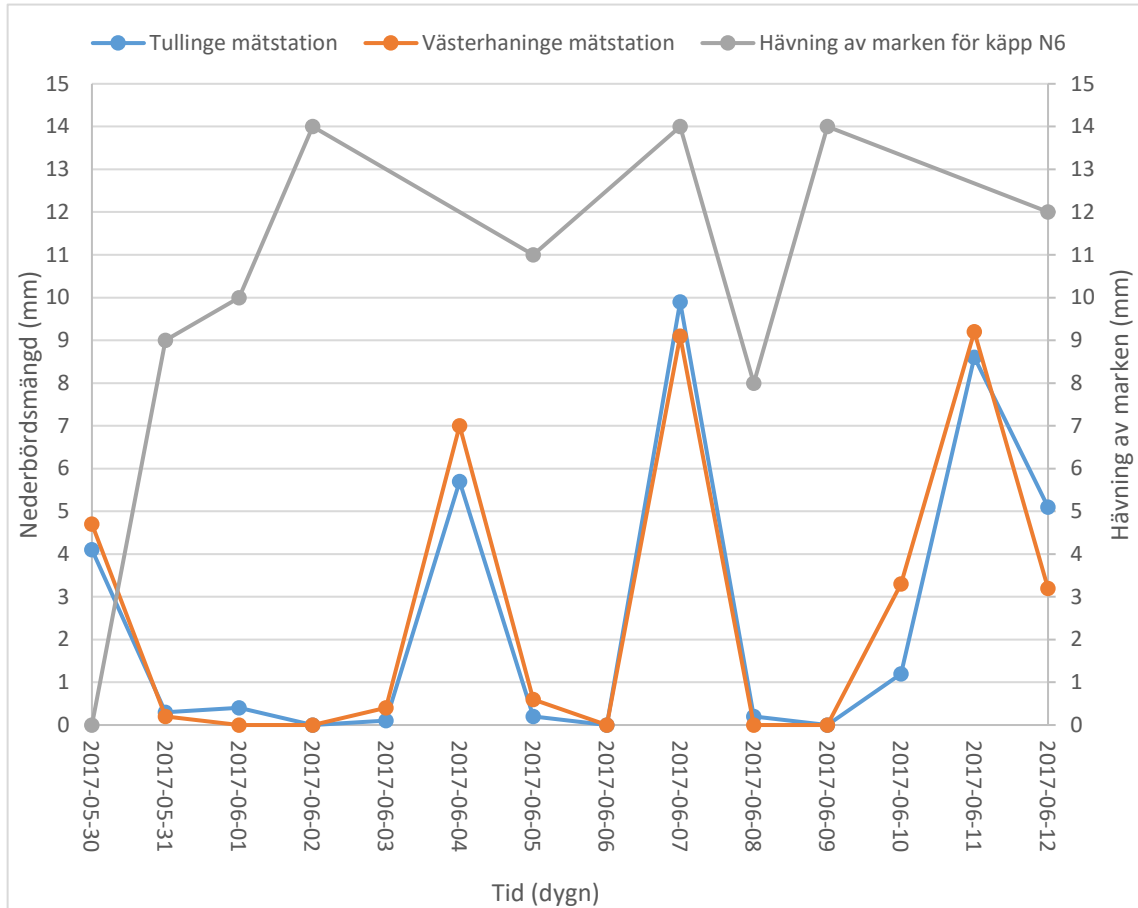
Portrycket i jordprofilen har inte varit känd i schakten, däremot har data med mängden nederbörd i närområdet inhämtats. Nederbördsmängden innan och under den tid schakten stod öppen redovisas nedan.



Graf 9 Nederbördsmängden per dygn (SMHI, 2017).

### 6.3.1 Jämförelse nederbörd och rörelse av käpp i släntfooten

Förändringar av portrycket i jordprofilen kan påverka utvecklingen av släntrörelser därför har nederbörds mängden jämförts med hävningen i en käpp i släntfooten, käpp N6.



Graf 10 Nederbörds mängden under tiden schakten var öppen och hävning av käpp N6.

Utvecklingen av hävningen minskar efter dagar med regn, vilket tolkas som att portrycket i leran ökar vid regn och därför ökar även släntens stabilitet.

## 6.4 Säkerhetsfaktorn

Totalsäkerhetsfaktorn för det odränerade fallet beräknades till 1.39 och det kombinerade fallet hade en beräknad säkerhetsfaktor på 0.72 för de mest kritiska glidytorerna. De båda analyserna är bifogade i appendix.

## 6.5 Deformationer

Det förhållande som presenterades av Travenas et al (1978) för deformationer och föreslogs kunna visa på konsolideringsgraden i lera minskar,  $dh/dv$  har beräknats till medelvärdet -0.18 utifrån  $dt$  mätningar genomfört i detta examensarbete.  $dh$  (x-värde i planet) värdena är hämtade från kolumn I för stakkäpp 6 till 16 och värdena för  $dv$  är hämtade från kolumn N för stakkäpp 1 till 11.

Tabell 3 Förhållandet mellan  $dh$  och  $dv$  enligt Travenas et al (1978) tillämpat på schakten i detta examensarbete.

Stakkäpp för $dh$	$dh$ (mm)	Stakkäpp för $dv$	$dv$ (mm)	$dh/dv$
I 6	-3	N 1	10	-0.30
I 7	-5	N 2	12	-0.42
I 8	-1	N 3	10	-0.10
I 9	-1	N 4	11	-0.09
I 10	-1	N 5	10	-0.10
I 11	0	N 6	12	0
I 12	-1	N 7	11	-0.09
I 13	-2	N 8	10	-0.20
I 14	-2	N 9	11	-0.18
I 15	-5	N 10	11	-0.45
I 16	-1	N 11	11	-0.09
			<b>Medelvärdet</b>	<b>-0.18</b>

Medelvärdet -0.18 i Tabell 3 indikerar att leran inte schakten inte har haft någon odränerad skjuvning, då ett negativt värde inte är fysiskt möjligt.

## 7 Diskussion

### 7.1 Introduktion

Detta avsnitt kommer diskuteras teorin för riskhantering inom geotekniska projekt utifrån den riskhanteringsmetodik som undersökts i detta examensarbete. Observationsmetodens tillämpningsbarhet i riskhantering inom geotekniska projekt undersöks genom diskussion om hur väl resultaten av utförd schakt stödjer hypotesen som arbetet ämnade testa.

### 7.2 Riskhantering inom geotekniska projekt

Att tillämpa någon typ av riskhantering för byggprojekt som innefattar arbetsmoment där man schaktar, men även andra arbetsmoment där geotekniska osäkerheter är närvarande, bör vara en självklarhet. Förutsättningarna och tillvägagångssättet för en riskhantering där geotekniska risker ska behandlas finns med i SGFs metodbeskrivning (2014). I och med att anpassningar av riskhanteringen är en del i metodbeskrivningen bör denna kunna kännas tillämpningsbar även för mycket små byggprojekt.

Nyckeln för att riskhanteringen ska fått ut sin fulla potential är troligen förknippat med personen eller personerna som genomför riskhanteringen. Har man en bristande kunskap om orsakerna till risker kan dessa vara svåra att upptäcka. Vet man inte om att risker finns är det också väldigt svårt att göra något åt dem. Genom att ha genomfört en riskhantering bör också "brandsläckningarna" i utförandeskedet av ett byggprojekt minska. Även om det ofta blir ändrade planer så fort som spaden sätts i marken. Men då bör dessa ändrade planer främst vara utifrån att infrastruktur i marken inte har redovisats rätt snarare än geotekniska osäkerheter.

För att avhjälpa hanterandet av geotekniska risker under produktionsskedet där riskerna faller ut och riskerna förändras behöver det vara känt var man ska vända sig för att göra en ny riskbedömning. För detta är produktionsstöd av specialister inom geoteknik även under produktionsskedet en del i att hålla riskhanteringen levande och aktuell.

### 7.3 Praktisk tillämpning av observationsmetoden vid riskhantering

Att tillämpa observationsmetoden så som den är formulerad i Eurokod 7 (CEN, 2015) i riskhantering kräver att dess tillämpning påbörjas innan byggskedet av ett geotekniskt projekt. Principen för observationsmetoden är att man har en initial design vilken bör vara gjord innan påbörjat byggande i ett geotekniskt projekt. Tillämpningen av observationsmetoden förutsätter också att det ska finnas lämpliga parametrar att observera och att värden för parametrarna att reagera på. Parametrarna som observeras bör ge information om det som är relevant för risker som identifierats i riskhanteringen. I exemplet med schakten i detta examensarbete har deformationer varit en av dessa parametrar som observerats med bakgrunden till att det utvecklas deformationer av slänter innan det blir släntbrott. Men för att deformationer ska kunna vara en lämplig parameter utifrån observationsmetoden behöver responstiden från utvecklingen av deformation till släntbrotten också vara tillräckligt lång för att kunna göra förändringar. Det behövs också värden som anger vad som speglar

acceptabla och oacceptabla beteenden för att observationsmetoden ska kunna ta beslut om det finns behov av att göra förändringar av den design som initialt har föreslagits.

Däremot är metodiken med observationsmetoden en bra utgångspunkt för riskhantering. Som Peck (1969) nämner som den viktigaste delen med observationsmetoden är att både överväga många olika händelser vid ett genomförande av ett geotekniskt projekt och göra förberedelser för att kunna hantera oväntade händelser. Båda dessa delar är vad riskhantering grundar sig på.

## 7.4 Resultat av utförd schakt

I utformningen och genomförandet av riskbehandlingen för schakten har mätningar på stakkäppar använts som ett verktyg i att försöka synliggöra deformationer i marken. Resultaten av mätningarna på kolumn N, stakkäpparna i schaktens slänttä, visar en hävning av marken. Detta skulle kunna vara en indikation av ett begynnande släntbrott. Denna typ av upptäckter under genomförandet av en ledningsschakt bör göra att projektet avbryter arbetena och utföra andra riskbehandlande åtgärder för att inne äventyra arbetsmiljö för rörläggarna, ekonomin i projektet och tidplanen som skulle bli vid ett fullt utvecklat släntbrott.

I utförandet av schakten har ett antal icke trovärda resultat visats på stakkäpparna i kolumn Y och M. Exempelvis visas ologiska utfall i Graf 3 och Graf 4, där stakkäpparna har satt sig för att sedan häva sig enligt samma mönster. Även kolumn I i Graf 2 visar ologiskt utfall, men inte samma mönster som Graf 3 och Graf 4. Detta föranleder tankar kring påverkan av det vegetationslager som var på släntkrönet. Har det haft en påverkande effekt på dessa kolumner som göra att inga släntrörelser hade kunnat visualiseras innan det var ett fullt utvecklats släntbrott?

En påverkande faktor på mätresultaten kan vara att stakkäpparna har stått och svajat i vinden ute på det gärde där schakten genomfördes. Det kan också bero på att mätningarna med totalstationen inte kunnat ha exakt samma uppställning mellan de olika mättillfällena. Under den tid som mätningarna genomfördes användes tre olika totalstationer med anledning av det logistiskt inte var möjligt att göra på annat sätt utifrån de förutsättningarna som var vid detta tillfälle. Det kan också finnas brister i mätningarna utifrån att uppställningarna av totalstationerna har fått genomföra eftersom det inte varit tillräckligt bra utifrån det stomnät som fanns uppbyggt omkring schakten. Kvaliteten på mätningarna skulle kunna noterats om det varit möjligt att kontinuerligt kontrollera mätvärdena. Vilket hade behov göras om det användes i ett skarpt riskbehandlingssyfte.

Även om det finns mer utvecklade verktyg att mäta deformationer med, så som inklinomerar som mäter horisontella markrörelser, har stakkäppar använts i syfte att ha ett verktyg som kan vara tillgängligt vid geotekniska projekt oavsett dess budget. Men de ovannämnda ologiska resultaten får mig att reflektera kring om stakkäppar är ett för simpelt tillvägagångssätt för att få konsekvent tillförlitliga resultat som kan användas som information om risken för släntbrott.

Ytterligare en reflektion från resultaten är om endast att förlita sig på deformationer som blir av spänningsförändringar kanske inte är tillräckligt. Portrycket i jordprofilen är också en viktig parameter vid släntbrott. Det är dock inte helt lätt att identifiera hur snabbt portrycksförändringen har negativa effekter på slänter. Däremot visar Graf 10

att det skulle kunna finnas en potentiell korrelation mellan släntrörelser och nederbörd.

Effekten på schaktens stabilitet som schaktmassorna längs med ena schaktslänthen som inga mätningarna utförandes på är inte möjlig att avgöra. Initiala tanken med schakten till detta examensarbete vara att dessa schaktmassor inte skulle läggas upp på detta sätt. Detta försvårar möjligheterna att bedöma vilken typ av rörelse det är som eventuellt hade utvecklats i slänthen. Det bör också påpekas att det inte är acceptabelt att lägga upp den typ av last som schaktmassorna utgör vid denna schakt. Typsektionen för schakten som tillämpats för denna schakt hade inte beräknats utifrån dessa laster och förfarandet är inte rätt enligt Schakta säkert (Lundström et al., 2015).

Observationerna som gjordes under den tid som schakten var öppen dels genom att titta med det nakna ögat på flugorna har inte kunnat säga något om schaktslänthen har rört sig eller inte under den tid som den stod öppen. Däremot säger mätresultaten av stakkäpparna i kolumn N att det är rörelser i marken. Observationsmetoden säger att det ska vara tillräckligt med tid från observation till utfall för att göra en åtgärd på observationen. Detta tidsintervall bedömer jag vara svårt att hinna agera inom då det kräver en för ögat mer synlig effekt alternativt mer resurser för att övervaka släntrörelserna.



## 8 Slutsatser

Metodiken och tanken med observationsmetoden är lämpligt att utgå ifrån när en riskhantering genomförs för geotekniska projekt även om det är svårt att säga att man kan tillämpa observationsmetoden. Det kan tyckas självklart men riskhantering är ett "tänk först gör sen" moment och mycket i observationsmetoden kan vara behjälpligt i tänkandet av riskhanteringen. Genom att ha inkluderat många olika aspekter under riskhanteringen bör "brandsläckningarna" minska under produktionsskedet av ett geotekniskt projekt.

Det hade behövt genomföras fler försök av schakter med den typ av riskbehandling som testats i detta examensarbete för att kunna dra slutsatser om det är något som fyller sitt syfte. Lera är det jordmaterial som denna typ av hypotes till riskbehandling ändå tycks kunna mest lämplig för. Vid ytterligare försök av detta hypotestestande skulle det vara intressant att använda stakkäppar av annat material än trä, exempelvis plast likt plogkäppar.

## 9 Framtida forskning

Det finns ett vidare behov av att fortsätta studera olika typer av larm-och gränsvärden för olika typer av brott för geotekniska konstruktioner. Generellt för att kunna tillämpa observationsmetoden är detta en viktig punkt eftersom metoden inte får tillämpas utan att dessa har fastställts innan enligt Eurokod 7. Det är också specifikt utifrån detta examensarbete viktigt att det finns larm- och gränsvärden då beslut inom en riskhantering av ett geotekniskt projekt kan utgå ifrån dessa. I detta examensarbete har tiden mellan initiering av brott till fullt utvecklat brott (responstiden) varit intressant utifrån dessa larm-och gränsvärden. Det hade behövts mer information om detta för att kunna bedöma den information som inhämtats om släntrörelser i detta examensarbete.

Larm-och gränsvärden behövs utifrån att kunna bestämma när åtgärder skulle införas för riskhanteringen. Det avgränsar det som är acceptabla nivåer utifrån observationsmetoden. Det förutsätter också att det har identifierats en händelse som är karaktäristiskt för utvecklandet av det typ av brott som ska observeras.

Därför behövs också vidare forskning på vilka händelser som är mest användbara för det brott som observeras. Detta är förknippat med vilka larm-och gränsvärden som är intressanta att fortsätta forskningen kring.

## 10 Referenser

Benjamin, J.R. & Cornell, C.A. (1970). *Probability, statistics, and decision for civil engineers*. New York, NY: McGraw–Hill Book Company.

CEN. (2004). SS-EN 1997-1: 2005 Eurokod 7: *Dimensionering av geokonstruktioner – Del 1: Allmänna regler*, Europeiska kommittén för standardisering, Bryssel.

Das, B. M. & Sobhan, K. (2014). *Principles of geotechnical engineering*. 8 uppl., Stamford: Cengage Learning.

Ekkerd, J., Tsheko, P. & Ruest M. (2017). *Mining in weak mudrock – Voorspoed Mine*. I: E.Friedman (eds.) Proceedings av Bergmeknikdagen 2017. City Conference Center 13 mars, 2017, Stockholm.

Fyrk, J. (2018). *Efter dödsolyckan i gropen – kräver bättre säkerhet: "Sker för lättvindigt"*. Byggnadsarbetaren. 22 februari.  
<https://www.byggnadsarbetaren.se/efter-%09dodsolyckan-i-gropen-kraver-battare-sakerhet-sker-for-lattvindigt/> [2019-01-11]

Ignat et al. (2019) *Triaxial Extension and Tension behavior of Lime-Cement improved clay*. Soils and Foundations 59: 1399-1416

IVA Skredkommissionen. (1995). Rapport 3:95 *Anvisningar för läntstabilitetsutredningar*, Skredkommissionen, Linköping.

Iverson, R. M. (2000). *Landslide triggering by rain infiltration*. Water resources research 36 (7): 1897-1910.

Korff M, (2017). *Learning From Case Studies and Monitoring of Dutch Tunnel Projects*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Forensic Engineering, vol. 170, issue 3, pp. 134-143.

Korff, M., de Jong, E. & Bles, T. J. (2013). *SWOT analysis observational method applications*. I: P. Delange, J. Desrues, R. Frank, A. Puech & F. Schlosser (eds.), Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 2–6 September 2013. Paris: Presses des Ponts, 1883–1888.

Müller, R., Larsson, S. & Westerberg, B. (2012). *Stability for a high embankment founded on sulfide clay*. I Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Geotechnical Engineering. Vol. 166, Issue 1, pp. 31–48.

Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Statens geotekniska institut, Information 1, Linköping.

Lato, M., Anderson, S., & Porter, M. (2019). *Reducing Landslide Risk Using Airborne Lidar Scanning Data*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 145(9), 6019004.

Leica Geosystems AG. (2016). *Leica TS16 User Manual*, version 2.0, Heerbrugg.

- Leroueil, S. (2001). *Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms*. Géotechnique 51 (3): 197-243.
- Leroueil, S., Vaunat, J., Picarelli, L., Locat, J., Faure, R. & Lee, H. (1996). *A geotechnical characterization of slope movements*. Proc. 7th Int. Symp. Landslides, Trondheim 1, 53-74, Balkema, Rotterdam.
- Loew, S., Gschwind, S., Gischig, V., Keller-Signer, A. & Valenti, G. (2017). *Monitoring and early warning of the 2012 Preozo catastrophic rockslope failure*. Landslides, 14 (1), 141–154.
- Lundström, K., Odén, K. & Rankka, W. (2015). *Schakta säkert – säkerhet vid schaktning i jord*. Stockholm: AB Svensk byggtjänst.
- Peck, R. B. (1969). *Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics*. Géotechnique, 19 (2), 171-187.
- Peterson, M. (2013). *An Introduction to Decision theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Powderham, A. J. (2002). *The observational method - learning from projects*. Proceedings of the ICE-Geotechnical Engineering, 155 (1), 59–69.
- Raiffa, H. & Schlaifer, R. (1961). *Applied statistical decision theory*. Boston, MA: Division of Research, Harvard Business School.
- SGF. (2014). *Hantering av geotekniska risker i projekt – krav*. Metodbeskrivning, Svenska geotekniska föreningen, Linköping.
- SGI. (2018) *Ras, skred och slamströmmar*.  
<https://swedgeo.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/ras-och-skred/> (Hämtad 2021-11-19)
- Spross, J., Olsson, L., Hintze, S. & Stille, H. (2015a). *Hantering av geotekniska risker i byggprojekt: Ett praktiskt tillämpningsexempel*, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, Stockholm.
- Spross, J., Olsson, L., Hintze, S. & Stille, H. (2015b). *Would risk management have helped? – A case study*. I: T. Schweckendiek, A.F. van Tol, P. Pereboom, M.T. van Staveren & M.C.B.M. Cools (eds.), *International Symposium on Geotechnical Safety and Risk 2015*, Rotterdam, 13–16 October 2015. Amsterdam: IOS Press, 745–751.
- Spross, J. & Larsson, S. (2014). *On the observational method for ground water control in the Nothern Link tunnel project*, Stockholm, Sweden.
- Spross, J. (2016). *Toward a reliability framework for the observational method*. Diss, Stockholm: Kungliga tekniska högskolan.
- Stille, H. (1986). *Experiences of Design of Large Caverns in Sweden*. In: K.H.O Saari (ed.), *Proceedings of the International Symposium on Large Rock Caverns, Helsinki, 25-28 August 1986*. Oxford, UK: Pergamon Press, 231-241.

van Staveren, M. T. (2006). *Uncertainty and ground conditions: a risk management approach*. Butterworth-Heinemann, Oxford.

van Staveren, M. T. (2009). *Extending to geotechnical risk management*. *Georisk* 3 (3), 178-183.

van Staveren, M. T. (2013). *Geotechnics on the move: guidance for a risk-driven way of working*. *Georisk* 7 (3), 225-236.

SS-ISO 31000:2009 *Riskhantering-Principer och riktlinjer*. SIS Förlag, Stockholm

Stille, H. & Holmberg, M. (2010). *Examples of applications of observational method in tunnelling*. *Geomechanics and Tunnelling*, 3 (1), 77-82.

Structor Mark Stockholm AB på uppdrag av Trafikverket. Stockholm (2014). *Geoteknisk undersökning av Väg 73 Trafikplats Vega*. Ritningsnummer 3 04 G 11 91.

Söderin, K. (2017). *Brister kan ha orsakat dödsfall vid grävolycka*. (2017). <http://www.byggnadsarbetaren.se/2017/03/-det-behovs-ett-uppvaknande-for-branschen/> [2017-04-07]

SS-ISO 31000:2009 *Riskhantering – Principer och riktlinjer*. SIS Förlag, Stockholm.

Tavenas, F., Blanchet, R., Garneau, R. & Leroueil, S. (1978). *The stability of stage constructed embankments on soft clays*. *Canadian Geotechnical Journal*, 15(2): 283-305.

Tavenas, F., Mieussenes, C. & Bourges F. (1979). *Lateral displacements in clay foundations under embankments*. *Canadian Geotechnical Journal*, 16 (3): 532-550.

Terzaghi, K. (1950). *Mechanism of landslides. In application of geology to engineering practice* (Berkley volume) (ed. S. Paige, pp.83-123. New York: Geological Society of America.

van Tol, A. F. (2008). *Schadegevallen bij Bouwputten [Failure Cases of Construction Excavation]*. *Cement* 6:6-13.

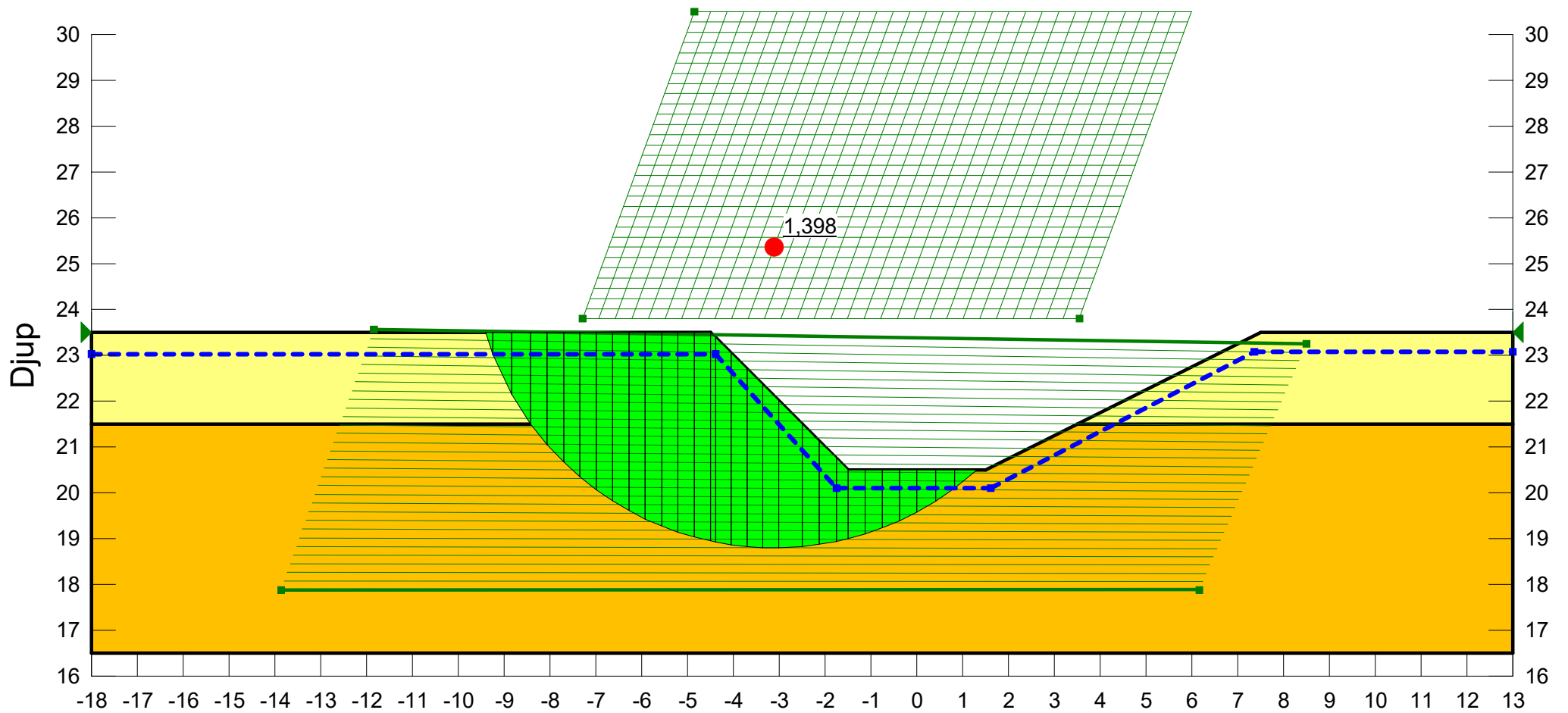
Vaunat, J., Leroueil, S. & Faure, R. (1994). *Slope movements: a geotechnical perspective*. Proc. 7<sup>th</sup> Cong. Int. Assoc. Engng Geol., Lisbon, 1637-1646.

Varnes, D. J. (1978). *Slope movement. Types and processes*. Transportation Research Board Report 176. "Landslides. Analysis and control", p.11-33.

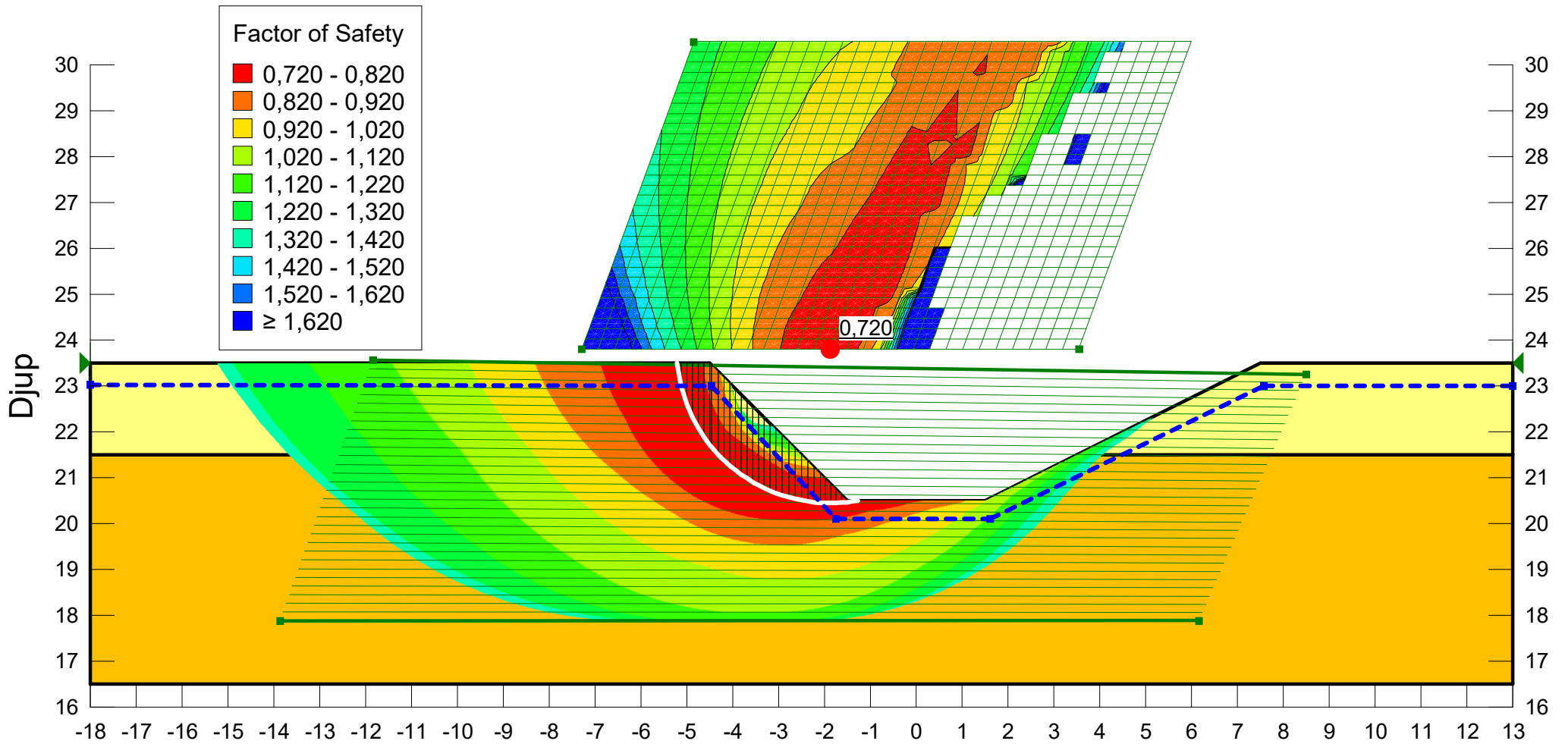
Vetenskapens värld. Säsong 22, avsnitt 18. (2015). Sveriges television, SVT 2, 25 maj.

## 11 Appendix

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kPa)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	C-Maximum (kPa)	Piezometric Line
Orange	Lera	S=f(depth)	16		10	0,8	0	1
Yellow	Torrskorpelera	Undrained (Phi=0)	18	20				1



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	Cu-Top of Layer (kPa)	Cu-Rate of Change ((kN/m <sup>2</sup> )/m)	C/Cu Ratio	Piezometric Line
Orange	Lera	Combined, S=f(depth)	16		30		1	0,08	10	0,8	0	1
Yellow	Torrskorpelera	Mohr-Coulomb	18	2	30	0						1





TRITA-ABE-MBT-2223