



# CHALMERS

---



## **Schakt för VA-ledning**

### **Schakt med slänt alternativt stödkonstruktion**

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Byggingenjör

SIMEON JOHANSSON

JONATHAN SÖDERQVIST



EXAMENSARBETE BOMX03-17-18

# Schakt för VA-ledning

Schakt med slänt alternativt stödkonstruktioner

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

SIMEON JOHANSSON

JONATHAN SÖDERQVIST

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Geologi och geoteknik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2017

Schakt för VA-ledning  
Schakt med slänt alternativt stödkonstruktion  
*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet*  
*Byggingenjör*  
SIMEON JOHANSSON  
JONATHAN SÖDERQVIST

© SIMEON JOHANSSON/JONATHAN SÖDERQVIST, 2017

Examensarbete BOMX03-17-18 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,  
Chalmers tekniska högskola 2017

Institutionen för bygg och miljöteknik  
Avdelningen för Geologi och geoteknik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag  
Fjärrvärme, Borås (Borås energi och miljö, 2016)

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Göteborg 2017



Schakt för VA-ledning

Schakt med slänt alternativt stödkonstruktion

*Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet*

*Byggingenjör*

SIMEON JOHANSSON

JONATHAN SÖDERQVIST

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Geologi och geoteknik

Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

Examensarbetet utförs mot schakt för VA-ledningar. En studie för schakt med slänt alternativt spontkassetter. Fokus kommer ligga på jordtryck och arbetsmiljö. Studien kommer ta upp och jämföra schakt med slänt samt schakt med spont för att kunna ge en klarare bild av vad som är ett mer lämpligt alternativ. Då det dör två personer per år i Sverige på grund av schaktolyckor kommer denna studie även ta stor hänsyn till arbetsmiljön.

I arbetet har vi med hjälp av Veidekke och deras projekt i Borås gällande Överföringsledningar kunnat jämföra resultat och samtidigt arbeta med den geotekniska fakta som redan är etablerad.

För att kunna erhålla förståelse om Schaktning har litteraturstudie genomfördes gällande jordtryck. Vi har även gjort enklare handberäkningar för att kunna få en översiktlig bild av alternativen.

Tolkning av geotekniska dokument har varit hjälpsamt gällande avgränsningar.

Arbetet har klarlagt för oss att schakt med slänt inte är en dålig implementeringsmetod. Det som framgått är att vid schakt med slänt tar man ibland inte hänsyn till säkerhetsåtgärder och kringgår ofta naturförhållanden. Schaktarbete bör ske mer kontrollerat och följa de handböcker och normer som finns tillgängliga för att eliminera risken för skred och personskador. Applicering av rätt metod vid rätt förhållanden är vad som i dagsläget ibland saknas då ekonomi och tid ofta vädersätts på bekostnad av arbetsmiljö.

Nyckelord: Schakt, Slänt, Spont, Anläggning, Geoteknik,

Excavations for water and sewer pipes

Excavations with slopes or shoring

*Diploma Thesis in the Engineering Programme*

*Building and Civil Engineering* SIMEON JOHANSSONJONATHAN SÖDERQVIST

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Geology and Geotechnics

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

The thesis work is carried out against a schematic for water and sewer pipelines. A study for excavations with slopes alternative to trench shoring. The focus will be on soil pressure and working environment. The study will take up and compare excavations with slopes as well with shoring to give a better picture of what is the more suitable alternative.

Every year two people dies in Sweden from excavations accidents, therefore this study will take great interest in the working environment. In the process of this thesis we have been able to compare results with assistance from of Veidekke and their project in Borås regarding transmission lines and working on the geotechnical facts that are already established.

To increase the understanding of excavations, literature studies have been done to understand the theories of soil pressure. We also made hand calculations to get an bired understanding of the options available.

Interpretation of geotechnical documents has been helpful in defining definitions.

The thesis has made it clear to us that excavations is often a useful and relevant implementation method. The problem can be that while working with excavations on site the safety measures does not following up to the hand books, and often do not consider that natural conditions can change over time. Excavations should be a more controlled procedure that follows guides and norms that are available to eliminate the risks. Applying the right methods at right circumstances may eliminate the risk of accidents. Financial and time aspect are two factors that are often valued high, effecting the working environment.

Key words: Excavations, Slopes, Shoring, Geotechnics

# Innehåll

SAMMANFATTNING	I
<i>DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME</i>	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	3
1.4 Metod	3
2 TEORI	5
2.1 Jordarter	5
2.2 Jordtryck	6
2.2.1 Geoteknik	6
2.2.2 IEG	7
2.3 Geotekniska undersökningar	9
2.3.1 CPT-sondering	9
2.3.2 Provgrop	9
2.3.3 Skruvsondering	10
2.3.4 Grundvattenrör	10
2.3.5 Geotekniskklass	11
3 JORDSCHAKT	12
3.1 Schakt med slänt	12
3.2 Schakt inom spont/stödkonstruktion	12
3.3 Föreskrifter för säker schaktning	13
3.4 Brott	14
3.4.1 Slänt	14
3.4.3 Stödkonstruktioner	15
4 BERÄKNINGAR	16
4.1 C-sträckan	16
4.2 S-sträckan	18
4.2.1 S-sträckan ekvationer enligt geoteknik Sällfors. G.	19
4.2.2 S-sträckan Ekvationer enligt IEG	19

5	DISKUSSION	21
6	SLUTSATS	23
7	LITTERATURFÖRTECKNING	24
8	BILAGOR	25
8.1	Bilaga 1	25
8.2	Bilaga 2	26
8.3	Bilaga 3	27
8.4	Bilaga 4	28
8.5	Bilaga 5	29
8.6	Bilaga 6	30
8.7	Bilaga 7	31
8.8	Bilaga 8	32
8.9	Bilaga 9	33
8.10	Bilaga 10	34
8.11	Bilaga 11	35
8.12	Bilaga 12	36
8.13	Bilaga 13	37
8.14	Bilaga 14	38
8.15	Bilaga 15	39
8.16	Bilaga 16	40
8.17	Bilaga 17	41
8.18	Bilaga 18	42

## **Förord**

Detta examensarbetet har utförts våren 2017 som en slutlig examination för Högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör på Chalmers Tekniska Högskola och omfattar 15 högskolepoäng.

Vi vill inleda med att tacka alla som hjälpt oss under projektets gång. Tack till Peter Svenningsson och Jan Gustafsson från Veidekke som guidat oss samt gett oss ett arbete att studera. Vi vill även tacka Mats Karlsson som gav oss klartecken att sätta igång med vår ide kring anläggningsarbetet i Borås.

Sist men inte minst vill vi ägna ett stort tack till vår handledare Anders Bergström, industridoktorand på avdelningen för geologi och geoteknik på Chalmers tekniska högskola. Utan hans tid och tålamod hade arbetet aldrig färdigställts.

Göteborg, Maj 2017

Simeon Johansson och Jonathan Söderqvist

## Beteckningar

$K_a$	Jordtryckscoefficient för aktivt tryck
$K_p$	Jordtryckscoefficient för passivt tryck
$\gamma$	Tunghet (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_w$	Tunghet vatten (kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_k$	Jordens karakteristiska tunghet (kN/m <sup>3</sup> )
$c'$	Kohesionsintercept (kPa)
$c$	Skjuvhållfasthetens Kohesionsandel (kPa)
$\sigma$	Spänning (kPa)
$\sigma'$	Effektivspänning (kPa)
$\sigma'_v$	Vertikal effektivspänning (kPa)
$p_w$	Vattnets portryck
$z$	Jordens djup (m)
$F_\varphi$	Säkerhetsfaktor
$F_{EN}$	Säkerhetsfaktor beaktande säkerhetsklass, Eurocode
$\eta$	Omräkningsfaktor
$\gamma_M$	Partialkoefficient
$u$	vattentryck (kPa)
$\varphi$	Friktionsvinkel (°) (Sällfors, 2009)
$\bar{X}$	Friktionsvinkel (°) (IEG)
$X_d$	Dimensionerande friktionsvinkel (°)
$\beta$	Släntlutning (°)
$p_a$	Aktivt jordtryck (kPa) (Sällfors, 2009)
$p_p$	Passivt jordtryck (kPa) (Sällfors, 2009)
$\sigma_a$	Aktivt jordtryck (kPa) (IEG)
$\sigma_p$	Passivt jordtryck (kPa) (IEG)



Figur 1. Översiktsbild över undersökta områden (WSP, 2016).....	1
Figur 2. Illustration av rasvinkel (SIG, 2015).....	5
Figur 3. Illustrerar fuktig, våt och torr jord (Schakta säkert, 2015).....	6
Figur 4. CPT-sond, Linköping (SIG, 2015).....	9
Figur 5. Exempel på resultat från CPT-sondering, Linköping (SIG, 2015). .....	9
Figur 6. Provtagning med skruvprovtagare (Schakta säkert, 2015).....	10
Figur 7. Schaktning för Gäslössapumpstation, Borås. Författarens egen bild.....	12
Figur 8. Vanliga orsaker till schaktolyckor (Schakta säkert, 2015).....	13
Figur 9. Schakten har rasat på grund av för brant lutning (Schakta säkert, 2015).....	14
Figur 10. Spontkonstruktionen har kollapsat på grund av för klen konstruktion (Schakta säkert, 2015).....	15
Figur 11. Jordtryckberäkningar enligt Geoteknik, Sällfors. G, Göteborg. Författarens egen bild.....	17
Figur 12. Släntdimensioner, Göteborg. Författarens egen bild.....	18
Figur 13. Jordtryckberäkningar enligt Geoteknik, Sällfors. G, Göteborg. Författarens egen bild.....	19
Figur 14. Jordtryckberäkningar enligt IEG, Göteborg. Författarens egen bild.....	20
Figur 15. Bottenuppträckning vid användning av spontkasseter, Stockholm (Schakta säkert, 2015).....	20
Tabell 1. Karakteristiska värden på jords tunghet för vanliga krossmaterial och naturliga material (Trafikverket, 2014).....	16
Tabell 2. Karakteristiska värden för friktionsvinkel som funktion av lagringstäthet för vanliga krossmaterial och naturliga material (Trafikverket, 2014). .....	17



# 1 Inledning

Schakt för anläggning av VA-ledningar utförs i normalfallet antingen som öppen schakt med slänt eller schaktning med spont/ stödkonstruktion. Valet av metod avgörs främst av syn på ekonomi och arbetsmiljökrav. Schakt med slänt är oftast en mindre kostsam arbetsgång och snabbare att utföra än spont men kan vid djupare schakter begränsas till exempel av tillgänglig arbetsyta eller av att schaktvolymerna blir allt för stora. Vid schakt med slänt finns det inget som hindrar de fallande jordmassorna från att begrava arbetare eller installation.

Vid schakt med spont kan en större säkerhetsmarginal säkerställas då det finns fasta och stabila spontväggar som kan hindra jordmassorna att falla över den individ som befinner sig i schakten. I dagsläget omkommer ungefär en till två personer per år i Sverige när släntar rasar. (KOJAPO, 2017). Detta beror på olika faktorer så som slarv, missuppfattningar, naturförhållanden eller undermålig projektering. (Lundström, Odén, & Rankka, 2016)

## 1.1 Bakgrund

Borås energi har gett Veidekke i uppdrag att anlägga överföringsledningar och bygga nya kraftvärme- och avloppsreningsverk. Dessa ska byggas i anslutning till redan existerande avfallsanläggning cirka sju kilometer söder om Borås i Sobacken. Projektet är en totalentreprenad med en ordersumma på 400 miljoner kronor. Detta är ett stort steg för Borås stad att ta i utvecklingen mot ett hållbart samhälle (Borås Energi och Miljö, 2016). Bilden nedan illustrerar en del av anläggningssträckan.



Figur 1. Översiktsbild över undersökta områden (WSP, 2016).

Vid anläggningsarbete för överföringsledningar krävs schaktning för att kunna lägga ner ledningarna och koppla samman dem med varandra. Detta gör att beslut måste tas om vilka metoder som ska användas för att kunna hålla schakterna öppna.

Arbetsmiljömässigt behöver öppna schakter inte vara avsevärt djupa eller stå öppna över en längre tid för att utgöra en risk. Redan vid 1 till 2 meter motsvarar ett schaktras 2 till 3 ton (Lundström, Odén, & Rankka, 2016). Att få den massan över sig utgör ett dödligt hot.

Vid schaktning på grund nivå, det vill säga inte djupare än 1,5 meter, brukar släntning alltid användas om schakten inte ska stå öppet mer än i några dagar. Extremfall finns, exempelvis extrema laster som är närliggande, det vill säga att arbetet utförs vid närliggande järnväg eller tunga byggnader. Vid djupare schakt krävs det en geoteknisk konsultation för att bestämma egenskaperna i jorden. Veidekke har i detta projekt upphandlat WSP för att sammanställa en geoteknisk undersökning. (Svenningsson, 2016).

Vanligt är att företaget väljer släntning före spontning då det ses som en enklare tillvägagångsметод. Det är ett arbetssätt som går att implementera på plats utan att invänta installation av spont. Även om den praktiska kunskapen kring denna metod ofta är god finns det alltid en risk att misstag görs längs med schaktöppningen och att slänten senare rasar in. Detta medför en risk för alla som kommer arbeta i den öppna schakten och ifall att det skulle ske ras är risken för skador väldigt stor. I dagsläget omkommer privatpersoner och yrkesarbetare varje år vid ras (KOJAPO, 2017).

De grundare sträckorna i projektet som ska schaktas har ett djup strax över två meter. Dessa ledningsgravar är för fjärrvärmeledningar. Även om dessa schakter inte är djupa så ska de stå öppna i lite mer än en månad för att kunna slutföra arbetet innan schakten återfylls. Detta är nödvändigt då fjärrvärmerörets medium har en temperatur mellan 70 till 120 grader Celsius och att skarvarna måste kunna kontrolleras efter provtryckning (Borås Energi och Miljö, 2016). Detta görs för att låta rören expandera och komprimera fritt utan påliggande tryck ifrån jordmassor (Gustafsson, 2017).

## 1.2 Syfte

Syftet med vårt arbete är att fördjupa oss om underlaget för beslut om att schakta med öppen slänt alternativt med schaktsläde eller spont, med fokus på geoteknik. För att kunna föra en diskussion om valet mellan dessa två metoder, kommer beräkningar av jordtryck och stabilitet utföras för att bestämma och jämföra geometri och dimensioner. Diskussionen kommer även ta hänsyn till arbetsmiljö utgående från de olika teknikernas och markförhållandenas förutsättningar.

### 1.3 Avgränsningar

Avgränsningar har gjorts så att kontrollberäkningar endast utförts för typsektioner vid specifika delsträckor. De två sträckorna är S1-2 och C6-7 enligt benämning gjord utav Veidekke. Se figur 1. Avgränsning skedde sedan genom de förhållanden som råder längs med anläggningsprojektet.

Sponten/ stödkonstruktionen som Veidekke valt att arbeta med kommer ifrån företaget KOJAPO. Här kommer avgränsningar göras så att spontalternativen de erbjuder är vad arbetet kommer utgå ifrån. Endast en spontgeometri per delsträcka kontrollberäknades

Beräkningarna kommer utgå ifrån statiska förhållanden. Jordarter avgränsas till beräkning av friktionsjord, ej kohesion utan där endast teori.

### 1.4 Metod

Under uppstarten av denna studie mot Veidekkes arbete i Borås genomfördes ett studiebesök på arbetsplatsen för att kunna få en större helhetsbild av vad anläggningsprojektet handlade om. Förstudie gjordes genom inläsning på kontraktshandlingar samt artiklar och veckobrev ifrån Borås Energi och Miljö:s hemsida.

De dokument som sedan legat till grund för detta projekt kommer ifrån WSP som fått i uppdrag av Veidekke att ta fram geotekniska underlag. Det geotekniska underlaget har utgjorts av den geotekniska markundersökningsrapporten (MUR) som bland annat innehåller borrhål, ritningar, grundvattenmätningar samt enstaka CPT-sonderingar.

Arbetet startades med att sammanställa de dokument som Veidekke och WSP tagit fram för att kunna få en överblick av projektet. En kontroll av den projekterade sträckan där jämförelse gjordes mellan konstruktion och tagna tester för att se hur dem dragit slutsatser gällande val av spont eller slänt.

Underlaget gällande vårt arbete togs sedan ut och granskades ytterligare för att kunna särskilja det från mängden men även för att kunna tyda det vi ännu inte förstod. Det konstaterades att ett geotekniskt PM saknades och borde tas fram. Vid samtal med WSP klarlagdes det att det geotekniska PM:et inte kommer att färdigställas innan detta arbete ska vara klart. (Bokvist, 2017). Detta försvarar vårt arbete vilket medför mer generaliseringar.

För att kunna utföra beräkningar av spontning och släntning har en litteraturstudie gjorts i kursboken inom geoteknik som använts på Chalmers tekniska högskola. Dokumentet Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik (IEG) har använts för att göra beräkningar enligt Eurocode. Handböcker som företag använder har likaså legat till grund för arbetet.

Informationssökning från internet har nyttjats för att stödja de olika teorier och tekniker som använts i Veidekkes projekt i Borås.

Rådfrågning och guidning har skett av Jan Gustaffson från Veidekke gällande deras projekt i Borås, Peter Svenningsson regionchef för anläggning har även rådfrågats. Anders Bergström från Chalmers tekniska högskola har handlett arbetet. Kontakt med Håkan Valin, säljare av spontkassetter för KOJAPO har även rådfrågats.

Vid arbete med beräkningar kommer de värden som saknas att tas empiriskt ifrån TK GEO 13. Studien utgår dock i första hand från de dokument som erhållits ifrån Veidekke. Beräkningar utgörs av hand- och överslagsberäkningar. Arbetet omfattar ej finita element beräkningar (FEM).

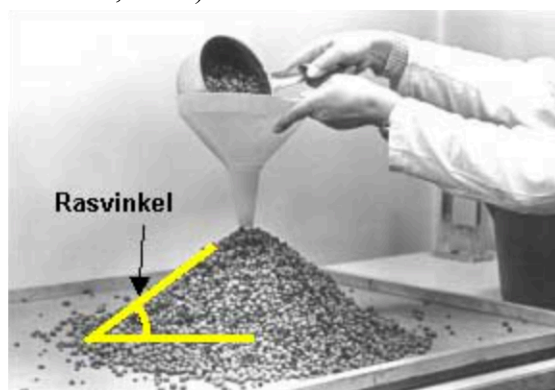


## 2 Teori

### 2.1 Jordarter

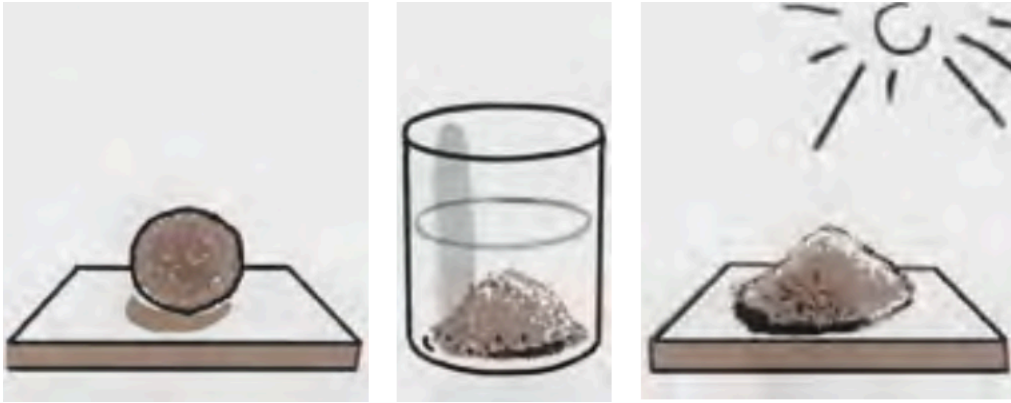
För att ange hållfasthetsegenskaper och beteende av jordar kategoriseras de efter friktionsjordar eller kohesionsjordar. Detta görs då de är uppbyggda på olika sätt. Deras egenskaper gällande stabilitet är beroende av jordkornens sammanhållning och dess inre friktionsvinkel. (Lundström, Odén, & Rankka, 2016).

I en friktionsjord styrs beteendet främst av friktion och tryckkrafter mellan kornen. Krafterna mellan kornen påverkas även av grundvattennivån, då kornens tyngd påverkas enligt Arkimedes princip. (Lundström, Odén, & Rankka, 2016) Vid torr friktionsjord kan egenskaperna av jorden enklare urskiljas. Rasvinkeln, även kallad inre friktionsvinkel ( $\varphi$ ), är ett mått på den maximala vinkeln en jord kan anta utan att ras sker. Figur 2 nedan visualiserar rasvinkeln. Friktingsjord släpper lätt igenom vatten. Det kan resultera i svårigheter vid arbete av jorden då den beter sig annorlunda vid torr, fuktigt eller vått tillstånd. Problematik kan även ske vid vibration då kornen i jorden omlagras till en fastare massa med risk för deformationer och rörelser. (Lundström, Odén, & Rankka, 2016)



Figur 2. Illustration av rasvinkel (SIG, 2015)

Kohesionsjord skiljer sig ifrån friktionsjord på så sätt att den är uppbyggd med både friktion och kohesionskrafter. Kohesionen gör att jordpartiklarna häftar samman. Till kohesionsjordar räknas främst lerjord och dess beteende. De här jordarna kan vara väldigt instabila och tappar sin hållfasthet vid vibration och vid för stor vattenmätning. (Lundström, Odén, & Rankka, 2016). När kohesionsjorden tappar sina hållfasthetsegenskaper antar den en mer rinnande massa.



Figur 3. Illustrerar fuktig, våt och torr jord (Schakta säkert, 2015)

Falsk kohesion är när jorden inte är vattenmättad utan porerna även innehåller luftbubblor. Ytspänningen rund luftbubblorna gör att den sammandragande kraften ökar mellan jordpartiklarna. Detta beteende kan förekomma ovan grundvattennivån och är anledningen till att släntar kan konstrueras brantare än vad jordens friktionsvinkel föreskriver. (Statens Geotekniska Institut, 2017). Skulle jorden torka ut eller utsättas för en stor mängd vatten kan den falska kohesionen förloras vilket kan medföra att ett ras sker. (Lundström, Odén, & Rankka, 2016).

## 2.2 Jordtryck

### 2.2.1 Geoteknik

Den belastning som jorden utövar mot en konstruktion kallas för jordtryck (Sällfors, 2009). Jordelementen i naturen är utsatta för spänningar orsakade av tyngden från ovanliggande jordlager. Spänningen som belastar jordelementen ökar med jorddjupet. Det betyder att konstruktionen måste dimensioneras efter det laterala trycket så en form av jämvikt uppstår mellan stödvägg och jordmassa. Totalspänningen ( $\sigma_0$ ) Beräknas enligt:

$$\sigma_0 = \sum_{i=1}^N g \rho_i z_i \quad (2.1)$$

Jord är ett trefasmaterial som består av en fast, en flytande och en gasfas. Den fasta fasen består mestadels av mineraler eller olika sorters bergartskorn, och ibland även av organiskt material. Det är detta som bildar det "bärande skelettet" i jorden, även kallat för kornskelett. Hålrummet i kornskelettet, porerna, är antingen fyllda med porgas eller porvatten, vanligen förekommer båda delarna (Sällfors, 2009). Vilket gör det väldigt viktigt att skilja på de spänningar som kornskelettet bär, effektivspänningarna, och de spänningar som överförs i vätsketryck. För att kunna urskilja de aktiva spänningarna finns en formel som tillämpats ifrån Arkimedes princip för jord.

$$\sigma_0 = \sigma'_0 + u \quad (2.2)$$

Ekvationen ovan kan användas för att skilja effektivspänningen ( $\sigma'_0$ ) och vattentrycket ( $u$ ). Ekvationen brukas för att urskilja vad kornskelettet bär och hur stor del av totalspänningen som bärs upp av porvattnet.

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi'}{2}\right) \quad (2.3)$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi'}{2}\right) \quad (2.4)$$

För att kunna beräkna jordtrycket krävs en jordtryckskoefficient likt de två ovan (Sällfors, 2009). De är beroende utav vad jorden har för friktionsvinkel då det, som nämnt innan, är en påverkande fallhastighets egenskap hos olika jordar. Se illustrationen i Figur 2.

$$p_a = \sigma' K_a + p_w \quad (2.5)$$

$$p_p = \sigma' K_p + p_w \quad (2.6)$$

Härledande ekvationer gällande det aktiva och passiva jordtrycket beskrivs ovan. Ekvationen skiljer mellan spänningar i jorden och grundvattennivån, (Sällfors, 2009), vilket gör att den är applicerbar för dimensionering där grundvattennivån ej når schaktbotten.

## 2.2.2 IEG

Beräkning av jordtyck utgående från Europastandarder som finns inom geoteknik (IEG, 2011) liknar den beräkningsgång som beskrivs i Geoteknik (Sällfors, 2009). Den friktionsvinkel ( $\bar{X}$ ) som anges ska dock enligt IEG beräknas om till en dimensionerande friktionsvinkel ( $X_d$ )

$$X_d = \arctan \frac{\eta \tan(\bar{X})}{\gamma_M} \quad (2.7)$$

Där  $\eta$  delas upp i 7 delfaktorer och är beroende på omständigheterna runt schaktet. Dessa faktorer berör marken, markundersökningar, stödkonstruktionens geometri och utformning. I situationer där det ej har gjorts fullständiga undersökningar av området och ett fåtal sonderingspunkter har utförts bör ett värde på  $\eta$  väljas mellan 0,8-0,95.

$$\eta = \eta_{1,2,3,4} \eta_{5,6} \eta_7 \eta_8 \quad (2.8)$$

$\gamma_M$  är en partialkoefficient som regleras efter omständigheterna runt schaktet och väljs därefter.

Den dimensionerande friktionsvinkeln som tidigare togs från Ekvation (2.7) använts sedan för att beräkna  $k_a$ - och  $k_p$ -faktorerna.

$$k_a = \tan^2\left(45 - \frac{X_d}{2}\right) \quad (2.9)$$

$$k_p = \tan^2\left(45 + \frac{X_d}{2}\right) \quad (2.10)$$

Därefter beräknas det aktiva- och passiva jordtrycket genom att den vertikala spänningen och ta hänsyn till vart grundvattennivån ligger i marken:

$$\sigma_a = (\sigma_v - u)k_a + u_d \quad (2.11)$$

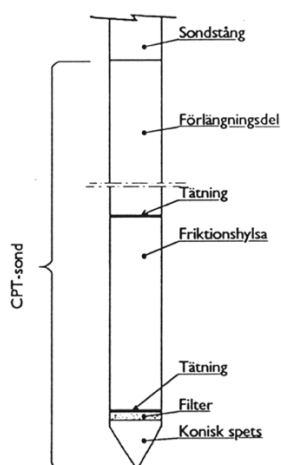
$$\sigma_p = (\sigma_v - u)k_p + u_d \quad (2.12)$$

Jordtrycket kan sedan används för att beräkna en slagen eller vibrerad sponts längd som krävs för att uppnå jämvikt mellan det aktiva- och passiva jordtrycket.

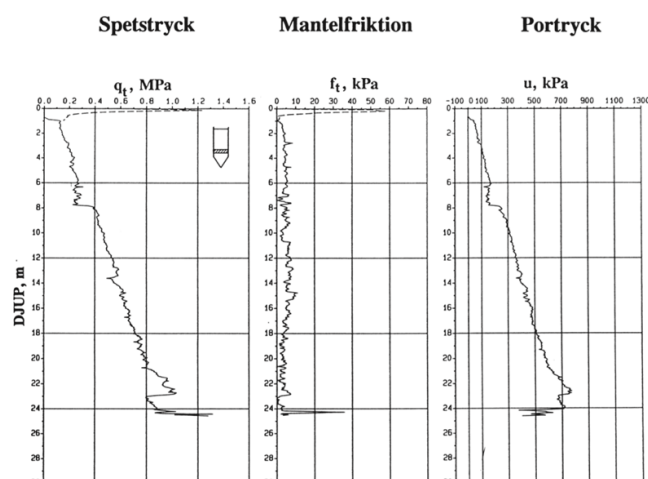
## 2.3 Geotekniska undersökningar

### 2.3.1 CPT-sondering

För att kunna bedöma vad jorden som arbetet kommer att ske i finns det för portryck, spänningar och tunghet något som kallas för CPT-sondering. CPT är en förkortning för *cone penetration test*. Det utförs genom att det driver ner en cylinderformad sond, se Figur 4. i marken med en hastighet på 20mm/s. Konen på cylindern har en spetsvinkel på 60°. Mätningar sker elektroniskt och avläsningsfrekvensen ska vara så tät och noggrann att kontinuerliga kurvor över mätvärdenas variation erhålls med djupet. CPT-sonden registrerar spetsstryck, mantelfriktion och portryck. Datan för dessa registreras på olika delar av sonden och måste därav korrigeras. Utifrån resultatet kan sedan egenskaper på jordlagren utvärderas empiriskt.



Figur 4. CPT-sond, Linköping (SIG, 2015)



Figur 5. Exempel på resultat från CPT-sondering, Linköping (SIG, 2015).

### 2.3.2 Provgrop

En provgrop innebär att en grop grävs i marken för att kunna avgöra visuellt vad det är för jordlagarsföljder, sten- och blockighet, schaktbarhet, bärighet, grundvattennivå och bergyta. Provgropar är undersökningar som utförs i början av projekteringen för att få en bra plan- och profilöverblick under marken samtidigt som det kan förebygga uppkomsten av oanade upptäckter senare i samband med utfört schaktningsarbete. Alla observationer protokollförs och fotografering eller videoinspelningar görs för dokumentation. Ingen människa bör gå ner i provgropen då risk för skred finns. Så snart observationerna är gjorda ska gropen återfyllas så ingen kan falla ner eller befinna sig i den öppna gropen (Trafikverket, 1990).

### 2.3.3 Skruvsondering

Skruvsondering är en vanlig geoteknisk undersökningsmetod. En skruvprovtagare drivs ner i jorden med hjälp av tryck och rotation och kan ta prover genom hela jordprofilen. När skruvsonderingen har kommit till önskat djup tas den upp och jordprover kan tas mellan skruvens flänsar. Tekniken fungerar bäst i fina jordarter så som lera och silt. Block och stenar försvårar provtagningen. Grövre jordar fastnar heller inte mellan flänsarna på skruvsonderingen.

Ett problem med metoden är att det lätt kan ske kontaminering då provet förs upp ur borrhålet av andra jordarter. Störst risk för kontamination är när prover tas under grundvattenytan. Då rinner provet lätt och blandas med andra jordarter på vägen upp från borrhålet. Detta kan dock undvikas om det används ett foderrör kring borren. (Svenska Geotekniska Föreningen, 2013). Figur 6 illustrerar en skruvprovtagning gjord utan foderrör. Foderrör används sällan då de är en mer invecklad arbetsmetod som i sig sedan är väldigt dyr.



Figur 6. Provtagning med skruvprovtagare (Schakta säkert, 2015).

### 2.3.4 Grundvattenrör

För mätning av grundvattentrycket i en jord kan grundvattenrör installeras. Änden av röret har en filterspets som är till för att filtrera bort jord och göra det möjligt att låta vatten tränga in. Detta för att möjliggöra en avmätning av grundvattennivån. (Svenska Geotekniska Föreningen, 2013) Grundvattenrör lämpar sig bäst att användas i dränerade jordar. Detta då flödet i jorden är jämnare och provet kan tas mer exakt (Statens Geotekniska Institut, 2017).



### 2.3.5 Geotekniskklass

För att bedöma komplexiteten för schaktslänter och sponter använda geoteknikern en indelning i geotekniska klasser. Dessa styr hur dimensionering och konstruktionen ska utformas. Det finns tre geotekniska klasser: GK1, GK2 och GK3. GK1 är den lägsta klassen och som inte behöver något geoteknisk kompetens för att utföra schaktning. GK2 är den vanligaste klassen. I denna klass används allmänna beräkningsmetoder. En geoteknisk undersökning krävs även för att veta jord-, berg- och grundvattenförhållandena för att kunna utföra schaktning. GK3 är för mer avancerade förhållanden och det krävs kompetens inom de berörda geotekniska förhållandena. (Ryner, Fredriksson, & Stille, 1996). De geotekniska klasserna tar hänsyn till konsekvenser av personskada som kan ske vid möjlig olycka i de öppna schakten.

Ett geotekniskt PM är en handling som tas fram vid den inledande projekteringen. Det är en utvärdering som grundar beslut efter när det gäller anläggningsfrågor. Underlag till det geotekniska PM:et är till exempel en markgeoteknisk undersöknings rapport, (MUR) som beskriver de undersökningar som utförts för att bestämma mark och jordars egenskaper.

## 3 Jordschakt

### 3.1 Schakt med slänt

Vid byggnation i betong, trä och stål är materialets beteende ofast väl känt. Jord däremot har naturligt varierande egenskaper. Dessutom utförs bestämning av jordens egenskaper utifrån enstaka stickprover i marken. Där utöver kan egenskaperna förändras under tiden schakten grävs och slänten konstrueras. Andra starkt påverkande faktorer för jordegenskaperna är väderlek, grundvattennivån, pålning och vibration av exempelvis byggfordon. (Lundström, Odén, & Rankka, 2016). Släntens utformning kan se olika ut i olika situationer, men generellt följer den formen av en öppen parallelltrapets vars hörnvinklar överstiger 90 grader, se Figur 12. En schaktslänt utformas efter tiden den ska vara öppen, de kringliggande förhållanden, grundvattennivå och utifrån vilken typ av jord som slänten utförs i. Naturligt förekommande slänter kan vara brantare än de som konstrueras av människor även fast naturen i detta sammanhang kan vara en bra riktlinje. (Söderin, 2016).

Schakt med slänt kan dock ur arbetsmiljösynpunkt vara mindre säkert än schakt med spont. Detta gäller speciellt i de fall schaktslänten ställs med relativt brant lutning och vid smala schakter där utrymmet blir begränsat vid ett eventuellt ras. Schakt med slänt är generellt sett en god arbetsmetod då tid och utrymme finns. Denna metod är ofta den entreprenörer väljer att arbeta med då släntkostnader generellt är billigare än spont. (Holsmark, 2017).

### 3.2 Schakt inom spont/stödkonstruktion

Vid schaktning där utrymme saknas för att anlägga slänter eller vid stora djup används spont. En slagen och tätad spont kan även utnyttjas för att förhindra vatteninflödet in i schakten. En normal spont kan till utseende åta liknelse som en kraftig trapetsplåt som antingen slås eller vibreras ned i jorden. Vid speciella fall kan sponten kvarlämnas och då vara en del av konstruktionen.

Linjärt spontsystem, schaktsläde och spontkassetter är en metod som varken kräver nedslagning eller vibration då den endast placeras ned i schakten likt två väggar med en stödaxlar diagonalt placerat mellan dem. Dessa metoder är ett ofta rationellt alternativ i samband med läggning utav längre sträckor. (KOJAPO, 2017).

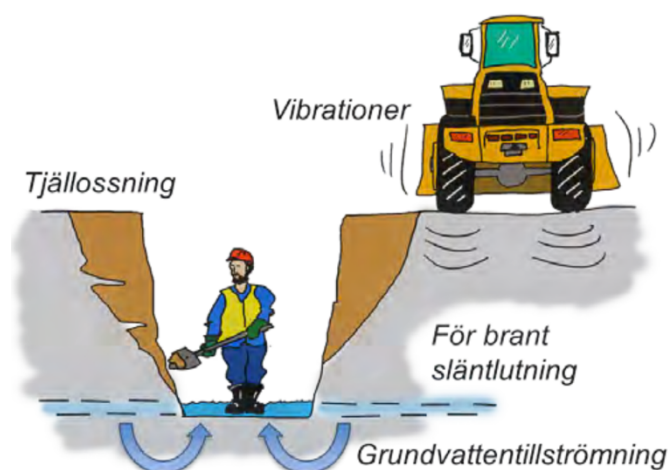
Figur 7 nedan illustrerar användningen av tätandespontkassetter som implementerats av Veidekke vid byggnation av pumphus. Detta då djupet orsakade ett för stort jordtryck för användning av schaktslänt samt att grundvattnet behövdes regleras (Gustafsson, 2017).



Figur 7. Schaktning för Gäslösspumpstation, Borås. Författarens egen bild

### 3.3 Föreskrifter för säker schaktning

Handboken ”Schakta säkert” är ett stöd som den svenska byggsektorn tagit fram inriktat mot anläggningsarbeten, och där specifikt för schaktning. Schakta säkert behandlar riskfyllda fall vid spontning och släntning i öppna schakt samt ger råd och tips hur schakter kan utföras på ett acceptabelt och säkert sätt vid ett antal olika förutsättningar. Användning av handboken ”Schakta säkert” och ett geotekniskt PM bör ske parallellt. I Figur 8 kan de vanligaste olycksorsakerna urskiljas som Schakta säkert behandlar. Figuren illustrerar tydliga risker som ibland kan ignoreras eller förbises vid schaktarbeten.



Figur 8. Vanliga orsaker till schaktolyckor (Schakta säkert, 2015).

## 3.4 Brott

### 3.4.1 Slänt

När en schakt med slänt konstrueras kan de sammanhållande krafterna som uppkommer av fukthalten i jorden bidra till att det kortvarigt går att ställa slänterna mycket brantare än vad som beräknades med enbart friktionskrafter, så kallad falskkohesion. När jorden sedan torkar och portrycket återställs kommer slänten förr eller senare att rasa.

Vid schaktslänter kan feldimensionering eller bristande kunskap leda till skred i schakten och därmed en osäker och farlig arbetsplats. Jordskred inträffar när ett brott längs en glidyta i schaktslänten sker. Vid brott längs glidyta påverkas jordlagren ovanför glidytan av en pådrivande kraft. Kraften får jordlagret att falla in i schaktet. (Statens geotekniska institut , 2016). Se figur 8 ovan för illustration av möjligt ras.

Orsakerna till att brott inträffar kan till exempel vara en ökad belastning ovanför släntkrönet, minskad motvikt i släntens nedre del eller försämrad hållfasthet i jorden. En ökad belastning ovanför släntkrönet kan vara att schaktmassor läggs längs med schaktkrönet vid urgrävning. En minskad motvikt i släntens nedre del kan vara erodering av jord på grund utav vatten. Hållfastheten i schaktslänten kan försämrans av att en höjning av grundvattennivån sker, till exempel vid kraftig nederbörd. (Statens geotekniska institut , 2016)



Figur 9. Schakten har rasat på grund av för brant lutning (Schakta säkert, 2015).



### 3.4.3 Stödkonstruktioner

För att sponten ska kunna utgöra en säker arbetsplats och motverka brott måste den dimensioneras så att den minst uppnår krav enligt brottgränstillstånd. Vid dimensionering använts de farligaste kombinationerna av lasteffekt och bärförmåga. De finns ett flertal typer av brott som skulle kunna uppkomma vid användning av spont, brott i jorden och brott i konstruktionen. De två ska kontrolleras vid beräkning. (Ryner, Fredriksson, & Stille, 1996).

Vid brott i jord gäller det överskridande av totalstabilitet, rotationsstabilitet, stabilitet i schaktbotten och vertikalstabilitet hos sponten. I schaktbotten kan tre olika brott uppstå, bottenuppträckning, hydraulisk uppträckning av botten och hydrauliskt grundbrott.

Brott i konstruktionsdelar innebär brott i spontvägg och hammarband, stämp eller stag samt brott i förankringszon och bergdubb. Alla detaljer i spontkonstruktionen måste därför dimensioneras enligt bestämda normer. Utöver nämnda brottsaker ovan finns orsaker som kan påskynda brott i spontkonstruktionen som måste vägas in i dimensioneringen. Det kan vara saker som pålning intill sponten och påkörningslaster-



Figur 10. Spontkonstruktionen har kollapsat på grund av för liten konstruktion (Schakta säkert, 2015).

## 4 Beräkningar

### 4.1 C-sträckan

C-sträckan innefattar ungefär 2 kilometer med fjärrvärmeledningar. Sträckan är indelad i olika etapper som går ifrån 1 till 7, där varje etapp sträcker sig över varsitt område. Avgränsningar har gjorts så att representativa delar av C-sträckan har kunnat väljas ut för kontrollberäkningar. Området har angränsande hus med tillhörande trafik samt en närliggande järnvägsräls.

CPT-sondering inte varit möjlig eftersom marken varit för hård. (Bokvist, 2017). Värden som använts för beräkning har tagits empiriskt ur TK Geo 13 efter en jämförelse med de skruvprovtagningarna som gjorts.

Undersökningspunkter: 15WC4100, 15WC4120, 15WC4140, 15WC4180, 15WC4260, [GW04260], 15WC4280, 15WC4300, 15WC4581. Se bifogade dokument 1 till 9.

Fjärrvärmeledningen kommer ligga på olika djup men medeldjupet som används vid kontrollberäkningar är 1,65 meter med en schaktbredds botten på 2,8 meter. Jordmaterialet från sammanställningen av undersökningspunkter är grusig sand. Vid beräkning valdes tungheten, ( $\gamma$ ) av sand ifrån TK Geo 13, se Tabell 1.

Tabell 1. Karakteristiska värden på jords tunghet för vanliga krossmaterial och naturliga material (Trafikverket, 2014).

Material/Jordart	Tunghet, kN/m <sup>3</sup>		För friktionsjord motsvarar värdena empiriska medelvärden för naturligt lagrad jord med minst mellanfast lagringstäthet samt utfylld jord som packats enligt AMA 13.
	Naturfuktig jord över GVV	Effektiv tunghet under GVV	
Förstärkningslagermaterial*	22	-	Om sten- och blockhalten i friktionsjord överstiger 15 % ökas tungheten med: 1 kN/m <sup>3</sup> ö GVV 0,5 kN/m <sup>3</sup> u GVV.
Makadamballast	17	-	
Underballast	19	-	
Grovkrossad sprängsten	20	13	För jord med mycket lös och lös lagringstäthet görs avdrag med: 2 kN/m <sup>3</sup> ö GVV 1 kN/m <sup>3</sup> u GVV
Sorterad sprängsten	18	11	
Sprängsten	18	11	
Grovkornig mineraljord	20	13	Värden för lera, gyttja och torv avser vattenmättad jord.
Grus	19	12	
Grusig morän	20	13	*Vid dimensionering mot upplyftning används 20 kN/m <sup>3</sup>
Sand	18	10	
Sandig morän	20	12	
Silt	17	9	
Siltig morän	20	11	
Lera	17	7	
Lermorän	22	12	
Gyttja	14	4	
Torv	11-13	1-3	

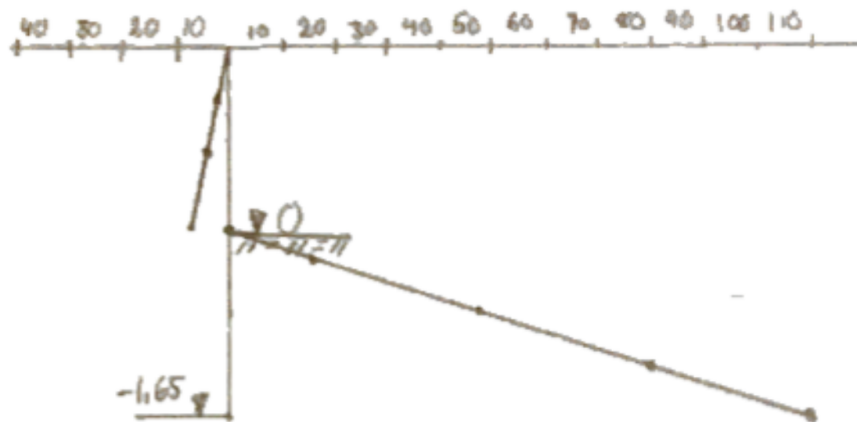
Utifrån schablonvärden i TK geo, se Tabell 2. valdes friktionsvinkeln till 35°.



Tabell 2. Karakteristiska värden för friktionsvinkel som funktion av lagringstäthet för vanliga krossmaterial och naturliga material (Trafikverket, 2014).

Material/Jordart	Friktionsvinkel °	
	Löst lagrad <sup>2</sup>	Fast lagrad <sup>1,2</sup>
Förstärkningslagermaterial	-	45
Makadamballast	-	42
Underballast	-	45
Grovkrossad sprängsten	-	45
Sorterad sprängsten	-	45
Sprängsten	-	45
Grovkornig mineraljord	30	37
Grus	30	37
Grusig morän	38	45
Sand	28	35
Sandig morän	35	42
Silt	26	33
Siltig morän	33	40

Beräkningar av aktivt och passivt jordtryck har utförts för friktionsjord: enligt ekvationerna 2.3 och 2.4. (Sällfors, 2009). Grundvattenytan ligger i det beräknade fallet under schaktbotten och påverkar därmed inte beräkningarna av jordtrycket mot spanten. De resulterande horisontella jordtrycken når 109.598 kPa för passivt och 8.05 kPa för det aktiva.

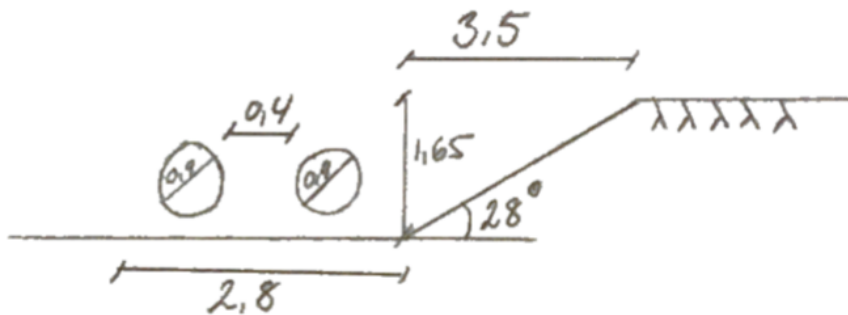


Figur 11. Jordtryckberäkningar enligt Geoteknik, Sällfors. G, Göteborg. Författarens egen bild

Den beräknade slänten kommer få utformning likt Figur 12. nedan. Till underlag av utformning ligger nämnd litteratur samt angränsande sträcka C1-3 där en släntkonstruktion i samråd med geotekniker gjorts. Valet av släntens lutning är gjord efter Schakta säkert (Lundström, Odén, & Rankka, 2016) samt geoteknik (Sällfors, 2009).  $F_\phi$  är säkerhetsfaktorn som sätts till 1,3 efter ekvation (4.1) (IEG, 2011)

$$F_{\varphi} = \frac{\gamma M * F_{EN}}{\eta} \quad (4.1)$$

$$F_{\varphi} = \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta} \quad (4.2)$$



Figur 12. Släntdimensioner, Göteborg. Författarens egen bild.

Vid denna utformning kommer bredden av schaktgropen vid markytan att bli 9.8 meter, alltså drygt 7 meter bredare än vid användning av spont. Detta resulterar i att den volymen bortschaktad jord som ska tas hand om blir större, nästan  $6 \text{ m}^3/\text{m}$  schakt. Beräkningar utförda för spontning gällande schaktdjup på 1.65 meter har utförts så att linjärspont passande schakten valts. Max tillåten last mot spontkassetten för vald spont ligger på  $34 \text{ kN/m}^2$  (Velin, 2017). Kontroll mot brott utfördes genom beräkning av vilojordtrycket. (Trafikverket, 2011). Jordtrycket är mindre än brottgränsen och klarlägger att spont uppfyller säkerhetskraven. Se Bilaga 10.

## 4.2 S-sträckan

S-sträckan omfattar ungefär 300 meter avloppsledning med självfall från nybyggda avloppspumpstationen Gässlösa. Förutom avloppsledningen ska det även läggas nya kablar i schaktet.

Hela sträckan antas ha liknande markförhållanden. Det har gjorts ett antal provborrningar, provgropar och CPT-sonderingar inom S-sträckan. Det har inte sammanställts något geotekniskt-PM för området men de CPT-sonderingar som utförts ligger till grund för de beräkningar som kommer göras för området. Schakten är mellan 5 till 6 meter djup med ett snitt på 5,5 meter. Veidekke har projekterat att de ska använda kassettspont med bredd mellan spontväggar på 5,5 meter. Sträckan går genom den nuvarande bilvägen som kommer behöva stängas av under schaktarbetet. Området är ett industriområde, det gamla reningsverket för Borås stad ligger på båda sidorna av vägen.

Undersökningpunkter: 14WB101, 15VK0100, 15WK0240. (Se bilagor)  
Friktionsvinkel har valts efter de beräkningar som gjordes vid pumphuset och antas vara lika på hela S-sträckan (Bokvist, 2017).

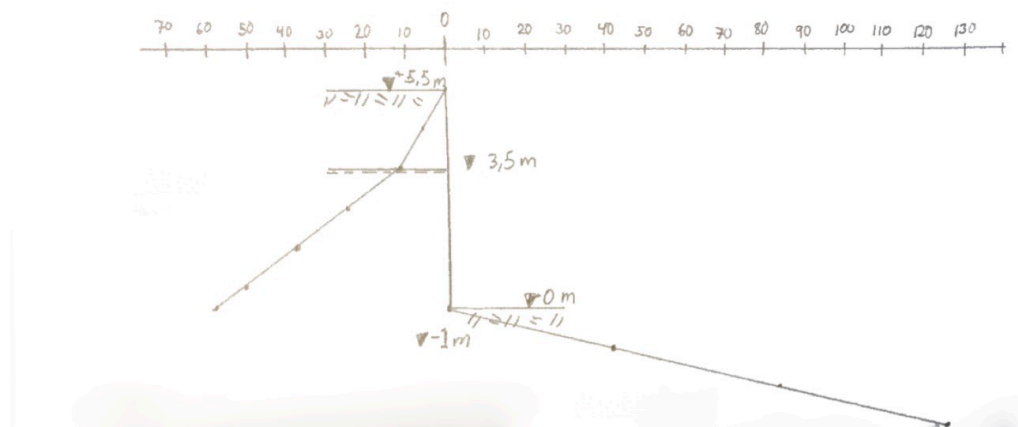
Med hjälp av de CPT-sonderingar som har utförts i området har jordens tunghet satts till  $20 \text{ kN/m}^3$ . Grundvattenundersökning har gjorts med provrör i marken. Grundvattenytan skiftar under året, men med ett medel på våren och sommaren på 2 meter djup, se Bilaga 16. Friktionsvinkeln för jorden är  $32^\circ$ . Den geotekniska klassen är satt till 2 enligt MUR. Portrycket har satts till  $10 \text{ kN/m}^3$  för varje meter under grundvattenytan.

Jordtrycksberäkningar har gjorts enligt två olika modeller. Den ena enligt Geoteknik (Sällfors, 2009), den andra enligt i Implementeringskommission för Europastandarder inom geotekniks tillämpningsdokument (IEG, 2011). IEG hänvisar i vissa fall till sponthandboken (Ryner, Fredriksson, & Stille, 1996).

#### 4.2.1 S-sträckan ekvationer enligt geoteknik Sällfors. G.

Vid beräkning av S-sträckan fås att en säker släntlutning uppnås vid 28 grader för en säkerhetsfaktor på 1,3. Längden mellan de två släntkrönen blir då totalt 27 meter, en yta som inte finns tillgängligt i området som C-sträckan går genom.

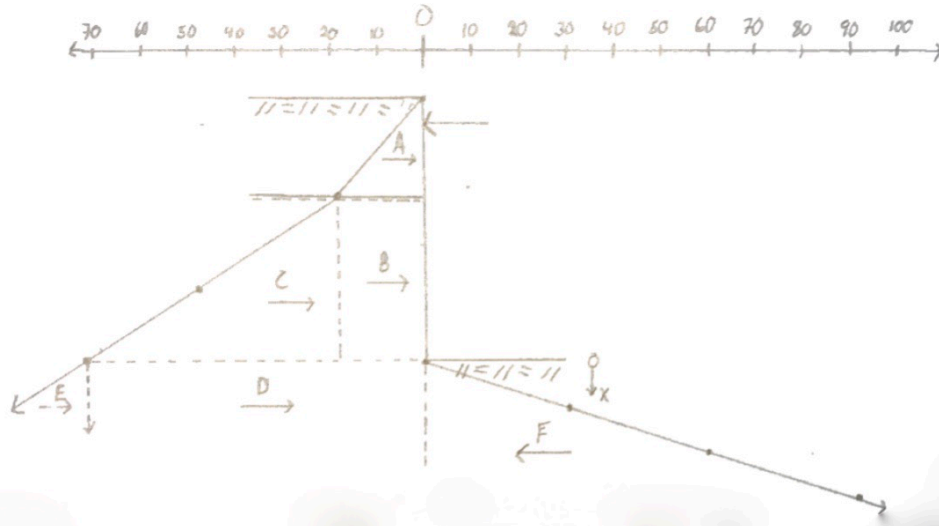
Jordtrycksberäkningarna gjordes enligt geoteknik (Sällfors, 2009) Se Bilaga 18 för beräkningar.



Figur 13. Jordtrycksberäkningar enligt Geoteknik, Sällfors. G, Göteborg. Författarens egen bild

#### 4.2.2 S-sträckan Ekvationer enligt IEG

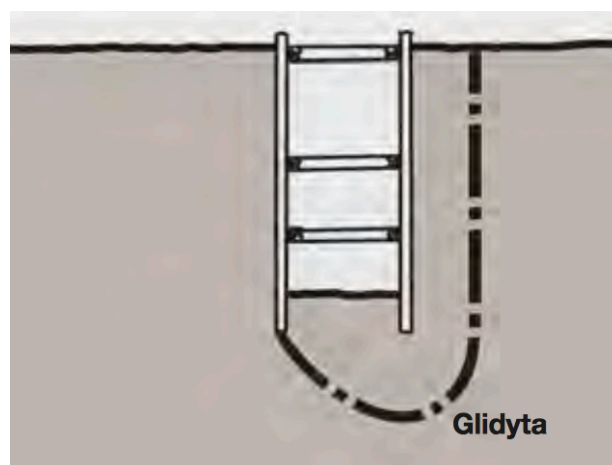
De karakteristiska värdena för jorden beräknas om till dimensionerande värden.  $K_a$  och  $K_b$  är jordtryckskoefficienter för det aktiva och passiva jordtrycket i beräkningarna av jordtrycket. Partialkoefficienten ( $\gamma_M$ ) är satt till 1,3. De omräkningsfaktorer ( $\eta$ ) är satta till  $\eta_{1,2,3,4} = 0,95$ ,  $\eta_{5,6} = 0,85$ ,  $\eta_7 = 1,0$ ,  $\eta_8 = 1,0$ . Beräkning för jordtryck och spontlängd med slagspont har beräknats. För att se beräkningar, se Bilaga 18.



Figur 14. Jordtryckberäkningar enligt IEG, Göteborg. Författarens egen bild.

Jordtrycken har beräknats för en traditionell slagen spont för jämförelse mot spontkassett. Jordtrycket som beräknas för schakten har legat till grunden för de beräkningar på sponten och dess längd för att kunna jämföra med de kassettsponter som ska användas längs sträckan. Jordtrycket har beräknats på så sätt att jorden antas vara homogent och ha samma tunghet genom hela profilen. Slagsspontens längd är 16,75 meter och behövs slå ner 11,25 meter under schaktbotten för att uppnå jämvikt i hammarbandet som är placerat 0,5 meter från slänkrönet. Dessa beräkningar har gjorts efter euro code (IEG, 2011)

Enligt de jordtryck som har beräknats enligt (IEG, 2011) ska sponten klara av jordtrycket som uppstår. Det som kan bli kritiskt är den bottenuppressning som kan ske vid skred utanför spontkassetterna då de inte skyddar mot denna typ av risk. Se figur 15 för illustration av vad som möjligen skulle kunna ske. Vid ett djup på 5,5 meter är det på gränsen att det är säkert att använda kassetter och bör användas med försiktighet. Vid användning av slagspont kan bottenuppressning undvikas vid mindre glidskred utanför schaktets stödkonstruktioner.



Figur 15. Bottenuppressning vid användning av spontkassetter, Stockholm (Schakta säkert, 2015).

## 5 Diskussion

Vid beräkning av släntlutningen på sträcka C6-7 framgick det att en lutning på 28 grader erhålls för att utesluta ras och eliminera risken för personsador. Med en lutning på 28 grader kommer schaktbredden bli cirka 9.8 meter vid markytan och ha schaktvolym per löpmeter schakt på drygt 10 kubik

WSP har gjort liknande beräkningar på en annan del av projektet, vars jordförhållande och strukturella uppbyggnad är liknande. Där har de förslagit en släntlutning 4:1 vilket motsvarar ungefär 76 grader. Detta skulle ge en schaktbredd på 3.6 meter och en bortschaktad volym på 5.28 kubik per meter.

Slänten med lutning på 28 grader tar hänsyn till arbetsmiljö och skapar en trygg arbetsplats för alla som kommer vistas där, men är ej praktiskt tillämpningsbar. Arbetsområdet längs sträckan som den öppna schakten ska ligga på har bitvis en bredd som underskrider 9.8 meter vilket utesluter möjligheten att etablera en säker arbetsplats med hjälp av slänter.

Vid anbud och planering försätts normalt brantare slänter, främst av ekonomiska skäl. Extrakostnader som skulle uppkomma vid 5 kubik extra schaktmassa centralt belagt som i detta fallet Borås, berör mer än bara hanteringen av jord. Arbete med omdirigering av vägar skulle krävas, extra personal samt en tidsfördröjning av anläggningsprojektet.

Det går att urskilja en släntlutning för ledningsschakt i Schakta säkert som hamnar på 1:1 då djup inte överskrider två meter. Det skulle vara en alternativ lösning för arbetet. För att helt eliminera risken för olyckor kommer det troligen krävas spontkassetter. Med hjälp av spontkassetter i detta fall kan bredden minimeras till det som endast behövs för schaktets öppning samtidigt som säkerheten består. Problemet med spont för detta anläggningsarbete är att det kommer krävas en stor mängd spontkassetter för att hålla schakten öppet under tiden arbetet med fjärrvärmeledningarna sammanställs.

Förslag till åtgärd är en kombination av slänt och schaktsläde som fokuserar på arbetsmomenten med personal nere i schakten, eventuellt på bekostnad av ett dyrare projekt. Uppförandet av slänt görs så som föreskrift säger, kanske även brantare för att kompensera upp kostnaderna för schaktkassetterna. Arbetet utförs därefter endast inom schaktsläden som sätts längs med sträckan och upprättar skydd för arbetarna. Samtliga inblandade görs medvetna om kritiska arbetsmoment och risker gällande arbetsmiljö. Detta gör att om ras eller skred skulle uppstå är det endast installationerna som kan komma att ta skada.

Vid beräkning av släntlutningen på sträckan S1-2 framgår likt C6-7 att det krävs en lutning på 28 grader för att utesluta ras och risken för personsador. Med en lutning på 28 grader kommer schaktbredden bli cirka 27 meter vid markytan mellan släntrönen. Likt C-sträckan tar lutningen på 28 grader hänsyn till arbetsmiljön och säkerheten i schaktet. Det kommer även krävas ytterligare utrymme vid schaktet då de jordmassor som schaktas ut ska förvaras längs slänten. Denna bredd på schaktet är dock ej praktiskt tillämpningsbart för området där ledningen ska dras i då det finns verksamhet förlagt på båda sidorna av den väg som ska grävas upp för schaktet. Rent praktiskt används inte slänt som schaktningsmetod vid de djup som S-sträcks är på. Därför är heller inte slänt en tillämplig metod på sträckan.

De två olika metoder i Geoteknik och IEG som har använts för att beräkna det jordtryck som kommer påverka sponten har båda visat sig ge likvärdiga resultat längs hela spontväggen. Vid analys av beräkningsgången kan det tydligt ses att jordtryckskoefficienterna tas fram på samma sätt och att ekvationen för jordtrycket är densamma i båda metoderna.

Den största skillnaden som påverkar jordtrycksberäkningarna är hur den friktionsvinkel som markförhållandena har. I beräkningsgången enligt IEG beräknas den framtagna friktionsvinkeln om till en dimensionerande friktionsvinkel som är mindre än den framtagna. Detta gör att den friktionsvinkel som används vid beräkning av jordtryckskoefficienterna för det aktiva- och passiva jordtrycket blir större respektive mindre jämfört med metoden i Geotekniks boken.

Vid beräkningen av jordtrycket har en viss försiktighet gjorts då det funnits flera osäkerheter i den indata som har använts. Detta har gjort att den spontlängd med ett hammarband som sedan har beräknats ut ur jordtrycksförhållandena kan ha blivit längre än vad den skulle tänkas bli i en verklig spontlängdsberäkning.

Veidekke har i anbudet beräknat att de ska utföra denna sträcka med spontkasseter och det är också vad analysen av de utförda beräkningsresultaten antyder på är den bästa lösningen för att hålla en hög säkerhet kring arbetsmiljön.

## 6 Slutsats

Efter litteraturstudier och förundersökningar kan konstaterande om att öppna schakt med spont och slänt båda har för- och nackdelar.

I dagsläget sker det två dödsolyckor per år på grund av olyckor i samband med schaktarbeten. Anledningen till det kan variera men en är att byggföretag och enskilda utförare inte följer de rekommendationer och normer som hänvisar till jordars olika egenskaper och hållfasthet.

Kunskap och medvetenhet om jordens egenskaper i schakten är den faktor som påverkar mest när det kommer till beslut angående schaktkonstruktionen. En konstruktion måste kunna uppnå jämvikt med jordtrycket för att undvika brott samtidigt som hänsyn tas för ekonomi och tidsperspektiv. För att göra en säker bedömning av platsen måste ofta en professionell geoteknisk bedömning utföras, eventuellt ihop med geotekniska undersökningar.

Det som kommer att skilja sig mellan schaktslänter och spont är det ekonomiska aspekterna och säkerheten. Sponten ses som säkrare då det inte rapporterats om samma mängd olyckor. Detta beror på att en spont dimensioneras och installeras när det sker en mer invecklad schaktning, vilket i sin tur resulterar i att en bredare undersökning gjorts för att optimera konstruktionen. Man följer de handböcker givna för att spontning ska utföras utan olyckor. Hade de haft samma syn på arbetsmetoden som vid schakt med slänt skulle det antagligen förekomma liknande olyckor för schakt med spont.

Sammanfattningsvis har vi kommit fram till att släntning och spontning gällande schakt är två metoder som ibland använts där de inte hör hemma. Hade anpassning av metod, jordförhållande och utförande granskats mer och applicerats bättre skulle riskerna minskats och i flera fall kanske helt eliminerats.

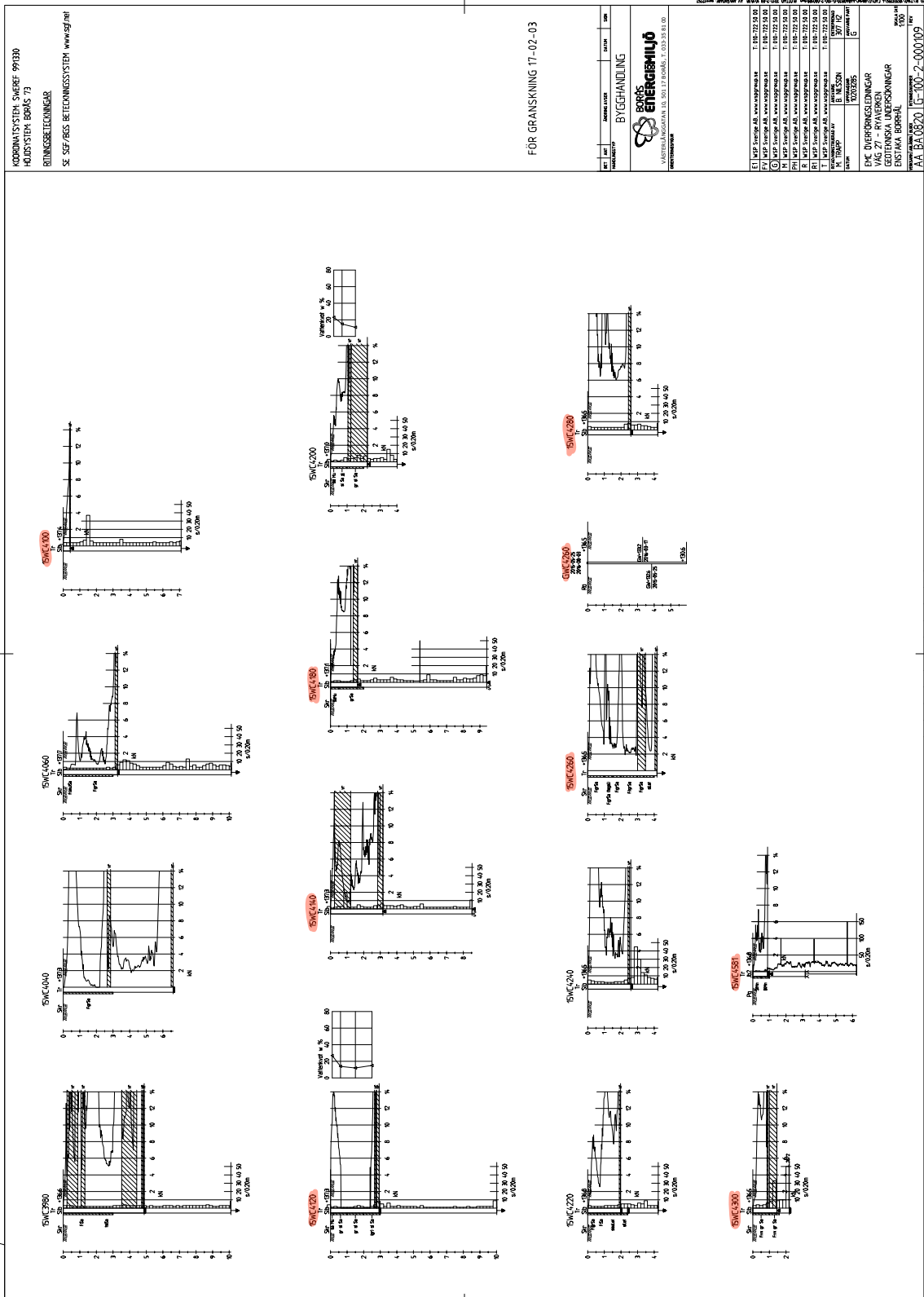
## 7 Litteraturförteckning

- Bokvist, R. (den 12 03 2017). Geotekniker. (S. Johansson, Intervjuare)
- Borås Energi och Miljö. (den 12 Oktober 2016). *Borås Energi och Miljö*. Hämtat från Mer om projektet:  
<http://www.borasem.se/webb/omborasenergiochmiljo/energiochmiljocenter/m eromprojektet.4.7a380766154fd10abfc72698.html>
- Gustafsson, J. (den 19 april 2017). Handledare. (S. Johansson, Intervjuare)
- Holsmark, M. (den 12 april 2017). Kalkylchef. (S. Johansson, Intervjuare)
- IEG. (2011). *Tillämningsdokument EN 1997-1 Kapitel 9 Stödkonstruktioner*. Stockholm: Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik.
- IEG. (2011). *Tillämpningsdokument*. Stockholm: Implementeringskommission för Europastandarder inom geoteknik.
- KOJAPO. (den 25 april 2017). *KOJAPO*. Hämtat från Produktfördjupning:  
<http://kojapo.se/produktfordjupningar/spontsystem/har-ar-rasrisken-storst/>
- Lundström, K., Odén, K., & Rankka, W. (2016). *SCHAKTA SÄKERT*. Hässleholm: AB Svensk Byggtjänst och Statens geotekniska institut/SBUF.
- Ryner, A., Fredriksson, A., & Stille, H. (1996). *Spont Handboken; Handbok för konstruktion och utformning av sponter*. Stockholm: Byggforskningsrådet.
- Söderin, K. (den 11 juni 2016). *Byggnadsarbetaren*. Hämtat från Olycksfall:  
<http://www.byggnadsarbetaren.se/2017/03/-det-behovs-ett-uppvaknande-for-branschen/>
- Sällfors, G. (2009). *Geoteknik* (4 uppl.). Göteborg: Göran Sällfors.
- Statens geotekniska institut . (den 02 februari 2016). *swedgeo*. Hämtat från Varför inträffar skred?: <http://www.swedgeo.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/ras-och-skred/varfor-intraffar-skred/> den 03 maj 2017
- Statens Geotekniska Institut. (den 10 januari 2017). *Swedgeo*. Hämtat från Undersökningsmetoder: <http://www.swedgeo.se/sv/vagledning-i-arbetet/falt-och-laborariemetoder/geotekniska-undersokningar/vad-undersoks/> den 03 maj 2017
- Statens Geotekniska Institut. (den 1 maj 2017). *Swedgeo*. Hämtat från Jords hållfasthet: <http://www.swedgeo.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jords-hallfasthet/skjuvhallfasthet/>
- Svenningsson, P. (den 22 oktober 2016). tal. (S. Johansson, Intervjuare)
- Svenska Geotekniska Föreningen. (2013). *Fälthandbok; Undersökningar av förorenade områden*. Stockholm: Svenska Geotekniska Föreningen.
- Svenska Geotekniska Föreningen. (2013). *Geoteknisk fälthandbok*. Stockholm: Svenska Geotekniska Föreningen.
- Trafikverket . (1990). *Provgropsundersökning*. Hämtat från Trafikverket:  
[https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11203/RelatedFiles/1990\\_020\\_provgropsundersokning.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11203/RelatedFiles/1990_020_provgropsundersokning.pdf) den 05 maj 2017
- Trafikverket. (2011). *TRV Geo, Tra kverkets tekniska krav för geokonstruktioner*. Göteborg: Trafikverket.
- Velin, H. (den 29 april 2017). säljare. (S. Johansson, Intervjuare)






# 8.2 Bilaga 2



## 8.3 Bilaga 3

Bilaga 1:2

 <p><b>Samhällsbyggnad</b>                  Box 13033                  402 51 Göteborg                  Besök: Ullevigatan 17-19                  Växel: 010-722 50 00                  Direkt: 010-722 7236 / -7275/ -7321                  Fax: 010-7227420</p>					Sammanställning av <b>Laboratorieundersökningar</b>														
					<b>Projekt Borås Energi Överföringsledning</b>					Beställare <b>WSP Göteborg</b>									
					Uppdragsnummer <b>10204494</b>					Borrhål <b>15WC4120</b>									
					Fältundersökning 2015-06-22 RJ					Ankomst 2015-06-26									
Provtagningsmetod		PG	Skr X	Kv St I	Kv St II	Labundersökning 2015-08-21													
Grundvattenobservation ej mtb					Datum 2015-06-22					Granskning 2015-08-25 KS									
Djup m	Jordartsbeskrivning <sup>1)</sup>				Den- sitet $\rho$ <sup>2)</sup> (t/m <sup>3</sup> )	Vatten- kvot $w_N$ <sup>3)</sup> (%)	Konfl.- gräns $w_L$ <sup>4)</sup> (%)	Sensi- tivitet $S_t$ <sup>5)</sup> (-)	Skjuvhållfasthet (okorr.) $\tau_{fu}$ <sup>5)</sup> (kPa)	(omrörd) $\tau_r$ <sup>5)</sup> (kPa)	Matr. typ <sup>6)</sup>	Tjälf.- klass <sup>6)</sup>	Anm.						
	0,0 mörkbrun sandig MULLJORD						27												
	0,2																		
	0,2 brun grusig siltig SAND						14												
	1,0																		
	1,0 brun grusig siltig SAND						12												
	2,0																		
	2,0 brun ngt grusig siltig SAND						15												
	3,0																		

1) Jordartsbeskrivning i enlighet med SS-EN-ISO 14688 1:2002 & SS-EN-ISO 14688 2:2004 samt BFR TZ1:1982

2) Skrymdensitet enligt SS 027114, utgåva 2

3) Vattenkvot enligt SS 027116, utgåva 3

4) Konflytgräns enligt SS 027120, utgåva 2

5) Skjuvhållfasthet - konförsök enligt SS 027125, utgåva 1 (avvikelse: lägsta konintrycket för 100 gramskonen är 7 mm enligt SGF:s laboratoriekommittés rekommendationer)

6) Enligt AMA Anläggning 13, Tabell CB/1


\* Tagna med slutare - spår av slutarbleck

Ø Provet fyller ej helt hylsans diameter

L:\5250\10204494 - Borås Överföringsledning\4\_CAD\G\_Undersökningar\4\_Labresultat\

## 8.4 Bilaga 4

Bilaga 1:4

 <p><b>Samhällsbyggnad</b>                  Box 13033                  402 51 Göteborg                  Besök: Ullevigatan 17-19                  Växel: 010-722 50 00                  Direkt: 010-722 7236 / -7275/ -7321                  Fax: 010-7227420</p>					Sammanställning av <b>Laboratorieundersökningar</b>									
					Projekt <b>Borås Energi</b> <b>Överföringsledning</b>					Beställare <b>WSP Gbg</b>				
Fältundersökning 2015-05-25 MS					Borrhål <b>15WC4300</b>					Ankomst 2015-05-28				
Provtagningsmetod PG Skr Kv St I Kv St II					Labundersökning 2015-06-12					Granskning 2015-06-15 AZ				
Grundvattenobservation ej mätbart Datum 2015-05-25					Den- sitet $\rho^{2)}$ (t/m <sup>3</sup> )	Vatten- kvot $w_N^{3)}$ (%)	Konfl.- gräns $w_L^{4)}$ (%)	Sensi- tivitet $S_v^{5)}$ (-)	Skjuvhållfasthet (okorr.) $\tau_{u,5}^{5)}$ (kPa)	(omrörd) $\tau_r^{5)}$ (kPa)	Matr. typ <sup>5)</sup>	Tjälf.- klass <sup>5)</sup>	Anm.	
Djup m	Jordartsbeskrivning <sup>1)</sup>													
0,0 1,0	F / brun grusig SAND, växtdelar /													
1,0 1,6	F / brun grusig SAND, växtdelar /													


1) Jordartsbeskrivning i enlighet med SS-EN-ISO 14688 1:2002 & SS-EN-ISO 14688 2:2004 samt BFR T21:1982  
 2) Skrymdensitet enligt SS 027114, utgåva 2  
 3) Vattenkvot enligt SS 027116, utgåva 3  
 4) Konfliktgräns enligt SS 027120, utgåva 2

5) Skjuvhållfasthet - konförsök enligt SS 027125, utgåva 1 (avvikelse: lägsta konintrycket för 100 gramskonen är 7 mm enligt SGF:s laboratoriekommittés rekommendationer)  
 6) Enligt AMA Anläggning 13, Tabell CB/1  
 \* Tagna med slutare - spår av slutarbleck  
 ø Provet fyller ej helt hylsans diameter

L:\5250\10204494 - Borås Överföringsledning\4\_CAD\G\_Undersökningar\4\_Labresultat\

## 8.5 Bilaga 5

AABA0820-G-MBGR-004-B04:4

Provtagningsprotokoll		Jord			
Uppdragsnummer: 10203906		Punkt nr: <b>W15C4120</b>		Datum: 2015-06-22	
Uppdragsnamn: BEM Överföringsledningar		Metod: Skr Miljö		Ref. yta my	
Sign: RJ					
Jordart	Djup	Anmärkning	PID	Analys	XRF, #
mu	0-0,5		< 3	X	262-263
gr.sa	0,5-1		< 3		264-265
gr.sa	1-1,5		< 3		266,267
gr.sa	1,5-2		< 3		268,269
gr.sa	2-2,5		< 3		270,271
gr.sa	2,5-3		< 3		272,273


## 8.6 Bilaga 6

AABA0820-G-MBGR-004-B04:8

<b>Provtagningsprotokoll</b>		<b>Jord</b>			
Uppdragsnummer:	10203906	Punkt nr:	<b>W15C4260</b>	Datum:	2015-05-25
Uppdragsnamn:	BEM Överföringsledningar	Metod:	Skr Miljö	Ref. yta	my
Sign:	LB				
Jordart	Djup	Anmärkning	PID	Analys	XRF, #
F/grSa	0-1	Brun	< 3		23-24
F/grSa (tegel)	1-1,5	Brun	< 3	X	26-27
F/grSa	1,5-2	Ljusbrun	< 3		28-29
F/torv,grSa	2-3	Mörkbrun	< 3		30-31
F/grSa	3-3,4	Brun	< 3		32-33
siLet	3,4-4	Ljusbrun	< 3		35-36

## 8.7 Bilaga 7

AABA0820-G-MBGR-004-B04:5

					
<b>Provtagningsprotokoll</b>			<b>Jord</b>		
Uppdragsnummer: 10203906		Punkt nr: <b>W15C4180</b>		Datum: 2015-06-22	
Uppdragsnamn: BEM Överföringsledningar		Metod: Skr Miljö		Ref. yta my	
Sign: RJ					
Jordart	Djup	Anmärkning	PID	Analys	XRF, #
sa.mu	0-0,5		< 3		254,255
gr.sa	0,5-1		< 3	X	256,257
gr.sa	1-1,5		< 3		258,259
gr.sa	1,5-2		< 3		260,261

## 8.8 Bilaga 8

AABA0820-G-MBGR-004-B02:1

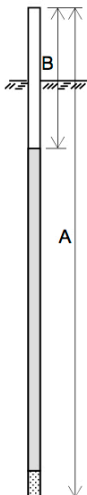


### GW-MÄTNING

PROJEKT: <b>10203906 (Geo 10204494)</b>		BORRHÅL: <b>15WC4260</b>	
SYSTEM: <b>50 mm PEH</b>	INSTALLERAT AV: <b>Lina Börjesson</b>	INSTALLATIONSdatum: <b>2015-05-25</b>	

Filterlängd	<b>2,0</b> Markytans nivå	136,498
Tot rörlängd (A) (inkl filter)	<b>6,00</b> m	
ök rör	<b>0,06</b> m ö my	Toppnivå <b>+136,55</b>
SPETSDJUP	<b>5,95</b> m u my	Spetsnivå <b>130,55</b>

Funktionskontroll						
DATUM	A Total rörlängd	B Avläsning [GW u ök rör]	A-B Vattenhöjd	Nivå	Anmärkning	Sign
2015-05-25	6,00	3,90	2,10	<b>132,65</b>		LB
2015-07-07	6,00	3,55	2,45	<b>133,00</b>		LB
2015-08-26	6,00	3,70	2,30	<b>132,85</b>		LB
2016-03-17	6,00	3,36	2,64	<b>133,19</b>		DA
2016-04-07	6,00	3,37	2,63	<b>133,18</b>		DA
2016-08-03	6,00	3,66	2,34	<b>132,89</b>		DA



Gult fält ska om möjligt fyllas i av fältpersonal

#### Funktionskontroll GW-rör

Tid	Sjunkning

GV\_protokoll\_C.xlsx, GW 15WC4260



## 8.9 Bilaga 9

WSP Sverige AB  
Ullevigatan 19  
402 51 Göteborg  
Tel: 010-722 50 00

AABA0820-G-MBGR-004-B03:1

### Provgropsprotokoll



Projektnummer: 10203285

Datum: 2015-12-22

Bilaga:

Geotekniskt utlåtande

Geotekniker: Sara Jorild		PG nr: 4581	Markyta:	Ref:	2015-11-22		
Grävare:			Fastighet:				
Prov nr	Djup Ref.nivå (m)	Okulärt bedömd jordart	Viktprocent		Schaktbarhet*	Bärighet	Anm.
			Sten 60-200mm	Block >200mm			
	0,0-0,5	StMn*					PID=0,1
	0,5-1,0	BlMn*					
	1,0	Berg*					

\*Bedömning vid undersökningstillfället

#### GRUNDVATTEOBSERVATIONER

	m u my	forsar	rinner	sipprar	Torrt
Vatten tränger fram					
Stabiliserat Gvy					

#### TERRÄNGOBSERVATIONER

Markslag: Gräsmark, viss vegetation

Topografi: Plant

#### MAR KYTANSB LOCKIGHET

Ingen	
Blockfattig	
Rikblockig	
Normalblockig	
Storblockig	
Storblockig > 2000	

#### MÅTT PÅ PROVGROP

Djup	ca 1,0
Ytmått	
Bottenmått	
Volym	

#### KLIMATFÖRHÅLLANDE

Väder	Mulet
Temperatur	
Tjäle	

#### ÖVRIGT

Gropen mättes in med GPS,  
Koordinaterna X: 6400944,872  
Y: 115819,517  
Koordinatsystem Sweref 99 13 30.



Foto 1. Provgrop 15WC4581, orienterande bild. Direkt bakom mättekniker ses Dalbogatan.

R:\7160\102032853\_Dokument\38\_P\1\_RapportG\_Geoteknik\MUR\CC6-C7A\AABA0820-G-MBGR-004-Provgropsprotokoll.doc

## 8.10 Bilaga 10

### Beräkningar Sträcka C

• Antalet Schaktgrip: 1,65 m  
 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$   
 $\varphi = 35^\circ$

$$\sigma'_0 = \gamma \cdot z = 18 \cdot 1,65 = 29,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\left[ \begin{aligned} K_a &= \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = 0,27 \\ K_p &= \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) = 3,69 \end{aligned} \right.$$

$$\left[ \begin{aligned} p_a &= \sigma'_0 \cdot K_a = 8,02 \text{ kPa} \\ p_p &= \sigma'_0 \cdot K_p = 109,59 \text{ kPa} \end{aligned} \right.$$

$$\left[ \begin{aligned} K_0 &= 1 - \sin \varphi = 0,426 \\ p_0 &= \sigma'_0 \cdot K_0 = 12,65 \text{ kPa} \end{aligned} \right.$$

$$F_\varphi = \frac{\gamma_M \cdot F_{EN}}{\eta} = \frac{1,3 \cdot 1}{1} = 1,3 \Rightarrow \left( \begin{array}{l} \gamma_M, F_{EN} \text{ \& } \eta \text{ \u00e4r tabellv\u00e4rden tagna} \\ \text{ur IEG} \end{array} \right)$$

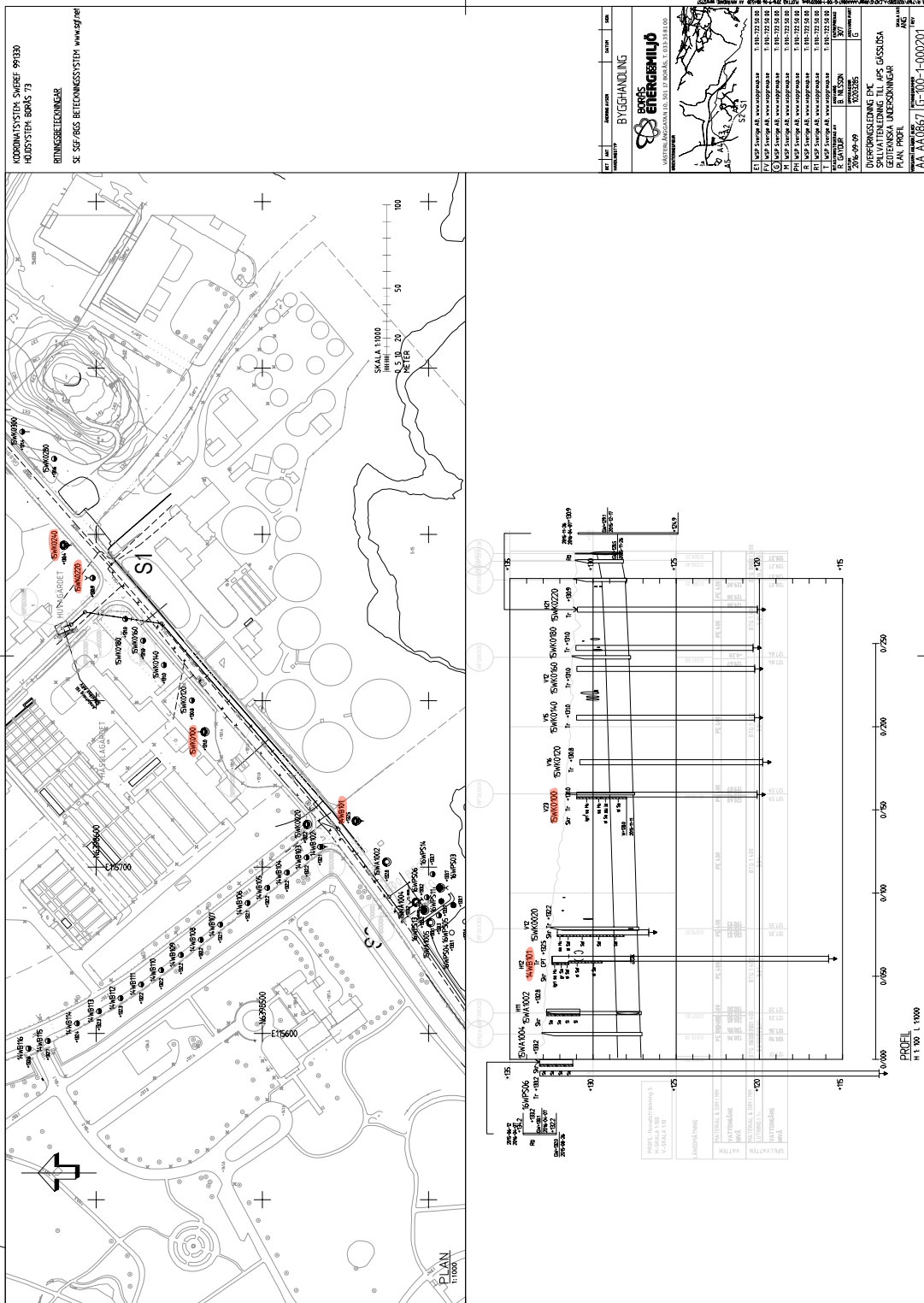
$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{\tan \varphi}{F_\varphi}\right) = 28^\circ$$

28 grader f\u00f6r en s\u00e4ker Schaktst\u00e4nd.

$$S_B = 34 \text{ kN/m}^2 \text{ (Spontens b\u00f6tgr\u00e4ns taget fr\u00e5n KOJAPO)}$$

$$S_B > p_0 \Rightarrow \text{OK} \checkmark$$

# 8.11 Bilaga 11



## 8.12 Bilaga 12

Bilaga 3:4

2016-06-15

### CPT - sondering

Sida 1 av 1

Projekt				Plats										
Borås Överföringsledning 10189847				B 14WB101 20140114										
Djup (m)		Klassificering	$\rho$ t/m <sup>3</sup>	$w_L$	$\tau_{ru}$ kPa	$\phi$ °	$\sigma_{vo}$ kPa	$\sigma'_{vo}$ kPa	$\sigma'_c$ kPa	OCR	$I_D$ %	E MPa	$M_{OC}$ MPa	$M_{NC}$ MPa
Från	Till													
1,00	1,00	Sa Med	2,00			38,6	2,0	0,0			39,2	2,4	2,7	2,1
1,00	1,20	Sa Med	2,00			38,4	5,9	5,9			42,2	4,4	5,1	4,1
1,20	1,40	Sa Med	2,00			35,4	9,8	9,8			19,3	2,6	3,0	2,4
1,40	1,60	Sa Med	2,00			36,0	13,7	13,7			29,1	4,3	4,9	4,0
1,60	1,80	Sa Med	2,00			36,1	17,7	17,7			32,9	5,4	6,4	5,1
1,80	2,00	Sa Med	2,00			35,0	21,6	20,6			27,1	4,8	5,6	4,5
2,00	2,20	Sa Med	2,00			34,1	25,5	22,5			22,1	4,3	5,0	4,0
2,20	2,40	Sa Med	2,00			32,2	29,4	24,4			11,1	3,1	3,5	2,8
2,40	2,60	Sa Med	2,00			33,4	33,4	26,4			17,1	3,9	4,5	3,6
2,60	2,80	Sa Med	2,00			32,2	37,3	28,3			13,2	3,6	4,1	3,3
2,80	3,00	Si Med	1,60		((40,5))	40,8	29,8					2,8	3,1	2,5
3,00	3,20	Si Med	1,60		((35,0))	43,9	30,9					2,5	2,8	2,2
3,20	3,40	Si Med	1,60		((30,6))	47,1	32,1					2,2	2,5	2,0
3,40	3,60	Si Med	1,60		((29,8))	50,2	33,2					2,2	2,4	1,9
3,60	3,80	Si Med	1,60											
3,80	4,00	Sa Med	1,90			38,7	53,7	34,7		79,9	34,0	46,2	36,9	
4,00	4,20	Si D	1,95		((555,7))	(38,7)	57,4	36,4			30,1	40,6	32,5	
4,20	4,40	Sa Med	1,90			38,7	61,2	38,2			79,2	34,7	47,3	37,8
4,40	4,59	Sa Med	1,90			38,6	64,8	39,9			75,1	31,0	41,9	33,5

R:171601102032854\_CAD\GI\_Undersokningar\5\_Utvärdering\BIU\Utvärderat\14WB101\_sand eller lea.cpw

WSP Sverige AB

# 8.13 Bilaga 13

Bilaga 3:14

2016-06-15

## CPT - sondering

Sida 1 av 1


Projekt				Plats										
Borås Överföringsledning 10204494				K-Sträckan										
				Borrhål 15WK0240										
				Datum 2015-11-19										
Djup (m)		Klassificering	$\rho$ t/m <sup>3</sup>	$w_L$	$\tau_{ru}$ kPa	$\phi$ °	$\sigma_{vo}$ kPa	$\sigma'_{vo}$ kPa	$\sigma'_c$ kPa	OCR	$I_D$ %	E MPa	$M_{OC}$ MPa	$M_{NC}$ MPa
Från	Till													
0,00	1,00	Sa Med	1,90				9,3	9,3						
1,00	1,20	Sa Med	1,90			36,9	20,5	20,5			42,3	7,9	9,6	7,7
1,20	1,40	Sa Med	1,90			36,5	24,2	24,2			41,1	8,2	10,0	8,0
1,40	1,60	Sa Med	1,90			37,6	28,0	28,0			53,8	13,2	16,7	13,3
1,60	1,80	Sa Med	1,90			28,5	31,7	31,7			0,1	2,4	2,7	2,2
1,80	2,00	Sa Med	1,90			27,4	35,4	35,4			-2,3	2,4	2,7	2,1
2,00	2,20	Si Med	1,60		((33,6))		38,8	38,8				2,4	2,6	2,1
2,20	2,40	Si Med	1,60		((31,6))		42,0	42,0				2,3	2,5	2,0
2,40	2,60	Si Med	1,60		((40,5))	(26,9)	45,1	45,1				2,8	3,2	2,5
2,60	2,80	Si Med	1,60		((57,6))	(28,9)	48,3	48,3				3,8	4,4	3,5
2,80	3,00	Si Med	1,60		((26,0))	(23,0)	51,4	51,4				2,0	2,1	1,7
3,00	3,20	Si Med	1,30		((22,1))	(21,7)	54,2	53,2				1,7	1,9	1,5
3,20	3,40	Si Med	1,60		((28,4))	(23,3)	57,1	54,1				2,1	2,3	1,9
3,40	3,60	Si Med	1,60		((33,7))	(24,3)	60,2	55,2				2,5	2,7	2,2
3,60	3,80	Si Med	1,60		((42,3))	(25,8)	63,4	56,4				3,0	3,4	2,7
3,80	4,00	Si Med	1,60		((33,3))	(24,0)	66,5	57,5				2,5	2,7	2,2
4,00	4,20	Si Med	1,60		((26,0))	(22,3)	69,7	58,7				2,0	2,2	1,8
4,20	4,40	Si Med	1,60		((26,4))	(22,3)	72,8	59,8				2,1	2,3	1,8
4,40	4,60	Si Med	1,30		((19,9))	(19,9)	75,6	60,6				1,7	1,8	1,5
4,60	4,80	Si Med	1,60		((27,0))	(27,0)	78,5	61,5				2,1	2,4	1,9
4,80	5,00	Si Med	1,30		((22,8))	(22,8)	81,3	62,3				1,9	2,1	1,6
5,00	5,20	Si Med	1,30		((20,3))	(20,3)	83,9	62,9				1,7	1,9	1,5
5,20	5,40	Si Med	1,30		((21,3))	(21,3)	86,4	63,4				1,8	2,0	1,6
5,40	5,60	Si Med	1,60		((22,7))	(22,7)	89,3	64,3				1,9	2,1	1,7
5,60	5,80	Si Med	1,60		((25,4))	(25,4)	92,4	65,4				2,1	2,3	1,8
5,80	6,00	Si Med	1,60		((24,6))	(24,6)	95,5	66,5				2,1	2,3	1,8
6,00	6,20	Cl L	1,60	NCSI	(21,5)	(21,5)	98,7	67,7		1,00				
6,20	6,40	Cl L	1,60	NCSI	(24,6)	(24,6)	101,8	68,8		1,00				
6,40	6,60	Sa L	1,80			33,9	105,2	70,2			37,1	11,8	14,8	11,8
6,60	6,80	Sa L	1,80			34,0	108,7	71,7			38,2	12,3	15,5	12,4
6,80	7,00	Sa L	1,80			34,7	112,2	73,2			43,0	14,5	18,5	14,8
7,00	7,20	Sa L	1,80			34,2	115,8	74,8			40,0	13,3	16,8	13,5
7,20	7,40	Sa L	1,80			33,9	119,3	76,3			38,7	12,9	16,3	13,0
7,40	7,60	Sa L	1,80			35,1	122,8	77,8			46,7	16,9	21,8	17,4
7,60	7,80	Sa Med	1,90			35,9	126,5	79,5			53,6	21,3	27,9	22,3
7,80	8,00	Sa L	1,80			34,6	130,1	81,1			44,2	15,9	20,4	16,3
8,00	8,20	Sa L	1,80			33,4	133,6	82,6			36,0	12,2	15,4	12,3
8,20	8,40	Sa L	1,80			33,5	137,1	84,1			34,0	11,6	14,5	11,6
8,40	8,60	Sa L	1,80			33,9	140,7	85,7			35,9	12,4	15,6	12,5
8,60	8,80	Sa v L	1,70			32,3	144,1	87,1			29,6	10,2	12,7	10,1
8,80	9,00	Sa v L	1,70			31,2	147,4	88,4			25,3	8,9	11,0	8,8
9,00	9,20	Sa L	1,80			34,0	150,9	89,9			41,7	15,3	19,6	15,7
9,20	9,40	Sa L	1,80			33,4	154,4	91,4			34,7	12,3	15,5	12,4
9,40	9,60	Si L	1,70		((145,4))	(31,0)	157,8	92,8				9,2	11,3	9,1
9,60	9,80	Sa v L	1,70			31,2	161,2	94,2			26,5	9,6	11,8	9,5
9,80	10,00	Sa L	1,80			32,8	164,6	95,6			33,1	11,9	15,0	12,0
10,00	10,20	Sa L	1,80			33,1	168,1	97,1			34,3	12,5	15,7	12,6
10,20	10,40	Sa L	1,80			34,0	171,7	98,7			43,1	16,7	21,6	17,3
10,40	10,60	Sa L	1,80			33,4	175,2	100,2			35,9	13,4	16,9	13,5
10,60	10,80	Sa L	1,80			32,9	178,7	101,7			34,2	12,7	16,1	12,8
10,80	11,00	Sa L	1,80			33,5	182,3	103,3			40,4	15,7	20,1	16,1
11,00	11,20	Sa L	1,80			33,2	185,8	104,8			35,9	13,6	17,3	13,8
11,20	11,40	Sa L	1,80			33,8	189,3	106,3			38,5	15,0	19,1	15,3
11,40	11,60	Sa Med	1,90			36,3	193,0	108,0			61,1	31,3	42,3	33,8
11,60	11,62	Sa Med	1,90			36,8	195,0	108,9			65,1	35,8	48,8	39,0

R:1716010203285V\_CAD\G\_Undersökningar\5\_Uhvärdering\K\Utvärderat\15WK0240.cpw

WSP Sverige AB

## 8.14 Bilaga 14

Bilaga 1:2

 <p><b>Samhällsbyggnad</b>                  Box 13033                  402 51 Göteborg                  Besök: Ullevigatan 17-19                  Växel: 010-722 50 00                  Direkt: 010-722 7236 / -7275/ -7321                  Fax: 010-7227420</p>					Sammanställning av <b>Laboratorieundersökningar</b>										
					Projekt <b>Borås Energi</b> <b>Överföringsledning</b>					Beställare <b>WSP GBG</b>					Uppdragsnummer <b>10204494</b>
Fältundersökning <b>2015-11-11 VS</b>					Ankomst <b>2015-11-12</b>					Borrhål <b>15WK0100</b>					
Provtagningsmetod		PG	Skr X	Kv St I	Kv St II	Labundersökning <b>2015-11-30</b>					Granskning <b>2015-12-01 KS</b>				
Grundvattenobservation (vy i borrhålet) Datum 3,0 m u my 2015-11-11					Den- sitet $\rho^{2)}$ (t/m <sup>3</sup> )	Vatten- kvot $w_N^{3)}$ (%)	Konfl.- gräns $w_L^{4)}$ (%)	Sensi- tivit $S_1^{5)}$ (-)	Skjuvhållfasthet (okorr.) $\tau_{10}^{5)}$ (kPa)	(omrörd) $\tau_r^{5)}$ (kPa)	Matr. typ <sup>6)</sup>	Tjälf.- klass <sup>6)</sup>	Anm.		
Djup m	Jordartsbeskrivning <sup>1)</sup>														
0,0 1,2	mörkbrun ngt grusig sandig MULLJORD					22									
1,2 1,45	mörkbrun sandig MULLJORD					35									
1,45 2,0	brun rostfläckig siltig SAND, mullskikt, lerkörtlar, enstaka gruskom					24									
2,0 3,0	brun rostfläckig siltig SAND					15									


1) Jordartsbeskrivning i enlighet med SS-EN-ISO 14688 1:2002 & SS-EN-ISO 14688 2:2004 samt BFR T21:1982  
 2) Skrymdensitet enligt SS 027114, utgåva 2  
 3) Vattenkvot enligt SS 027116, utgåva 3  
 4) Konflytgräns enligt SS 027120, utgåva 2

5) Skjuvhållfasthet - konförsök enligt SS 027125, utgåva 1 (avvikelse: lägsta konintrycket för 100 gramskonen är 7 mm enligt SGF:s laboratoriekommittés rekommendationer)  
 6) Enligt AMA Anläggning 13, Tabell CB/1  
 \* Tagna med slutare - spår av slutarbleck  
 φ Provet fyller ej helt hylsans diameter

L:\5250\10204494 - Borås Överföringsledning\4\_CAD\G\Undersökningar\4\_Labresultat\

## 8.15 Bilaga 15

Bilaga 1:3

 <p><b>Samhällsbyggnad</b>                  Box 13033                  402 51 Göteborg                  Besök: Ullevigatan 17-19                  Växel: 010-722 50 00                  Direkt: 010-722 7236 / -7275/ -7321                  Fax: 010-7227420</p>					Sammanställning av <b>Laboratorieundersökningar</b>										
					Projekt <b>Borås Energi</b> <b>Överföringsledning</b>					Beställare <b>WSP Gbg</b>					Uppdragsnummer <b>10204494</b>
Fältundersökning <b>2015-11-19 VS</b>					Ankomst <b>2016-01-11</b>					Borrhål <b>15WK0240</b>					
Provtagningsmetod		PG	Skr X	Kv St I	Kv St II	Labundersökning <b>2016-01-29</b>					Granskning <b>2016-02-01 KS</b>				
Grundvattenobservation (vy i borrhålet) Datum					Den- sitet $\rho^{2)}$ (t/m <sup>3</sup> )	Vatten- kvot $w_N^{3)}$ (%)	Konfl.- gräns $w_L^{4)}$ (%)	Sensi- tivitet $S_1^{5)}$ (-)	Skjuvhållfasthet (okorr.) $\tau_{10}^{5)}$ (kPa)	(omrörd) $\tau_r^{5)}$ (kPa)	Matr. typ <sup>6)</sup>	Tjälf.- klass <sup>6)</sup>	Anm.		
Djup m	Jordartsbeskrivning <sup>1)</sup>														
0,0 0,2	F / mörkbrun sandig MULLJORD, trärester /														
0,2 1,0	F / brun grusig SAND /														
1,0 1,7	F / brun grusig siltig SAND /														
1,7 2,2	F / mörkbrun lerig MULLJORD, trä- och metallrester /												tjärlukt		
2,2 3,2	brun sandig SILT														
3,2 4,0	mörkbrun torvhaltig sandig SILT, växtdelar					54									

1) Jordartsbeskrivning i enlighet med SS-EN-ISO 14688 1:2002 & SS-EN-ISO 14688 2:2004 samt BFR T21:1982  
 2) Skrymdensitet enligt SS 027114, utgåva 2  
 3) Vattenkvot enligt SS 027116, utgåva 3  
 4) Konflytgräns enligt SS 027120, utgåva 2

5) Skjuvhållfasthet - konförsök enligt SS 027125, utgåva 1 (avvikelse: lägsta konintrycket för 100 gramskonen är 7 mm enligt SGF:s laboratoriekommittés rekommendationer)  
 6) Enligt AMA Anläggning 13, Tabell CB/1  
 \* Tagna med slutare - spår av slutarbleck  
 φ Provet fyller ej helt hylsans diameter

L:\5250\10204494 - Borås Överföringsledning\4\_CAD\G\Undersökningar\4\_Labresultat\

## 8.16 Bilaga 16



### GW-MÄTNING

PROJEKT: <b>10203906 (Geo 10204494)</b>		BORRHÅL: <b>15WK0220</b>
SYSTEM: <b>63 mm PEH</b>	INSTALLERAT AV: <b>Lina Börjesson</b>	INSTALLATIONSdatum: <b>2015-11-17</b>

Filterlängd	<b>2,0</b>	Markytans nivå	130,94
Tot rörlängd (A) (inkl filter)	<b>6,00</b> m		
ök rör	<b>-0,05</b> m ö my	Toppnivå	<b>+130,89</b>
SPETSDJUP	<b>6,05</b> m u my	Spetsnivå	<b>124,89</b>

Funktionskontroll						
DATUM	A Total rörlängd	B Avläsning [GW u ök rör]	A-B Vattenhöjd	Nivå	Anmärkning	Sign
2015-11-26	6,00	2,36	3,64	<b>128,53</b>		LB
2015-12-17	6,00	1,76	4,24	<b>129,13</b>		LB
2016-03-09	6,00	2,00	4,00	<b>128,89</b>		DA
2016-03-23	6,00	2,04	3,96	<b>128,85</b>		DA
2016-04-07	6,00	2,10	3,90	<b>128,79</b>		DA
2016-08-03	6,00	2,45	3,55	<b>128,44</b>		DA

Gult fält ska om möjligt fyllas i av fältpersonal

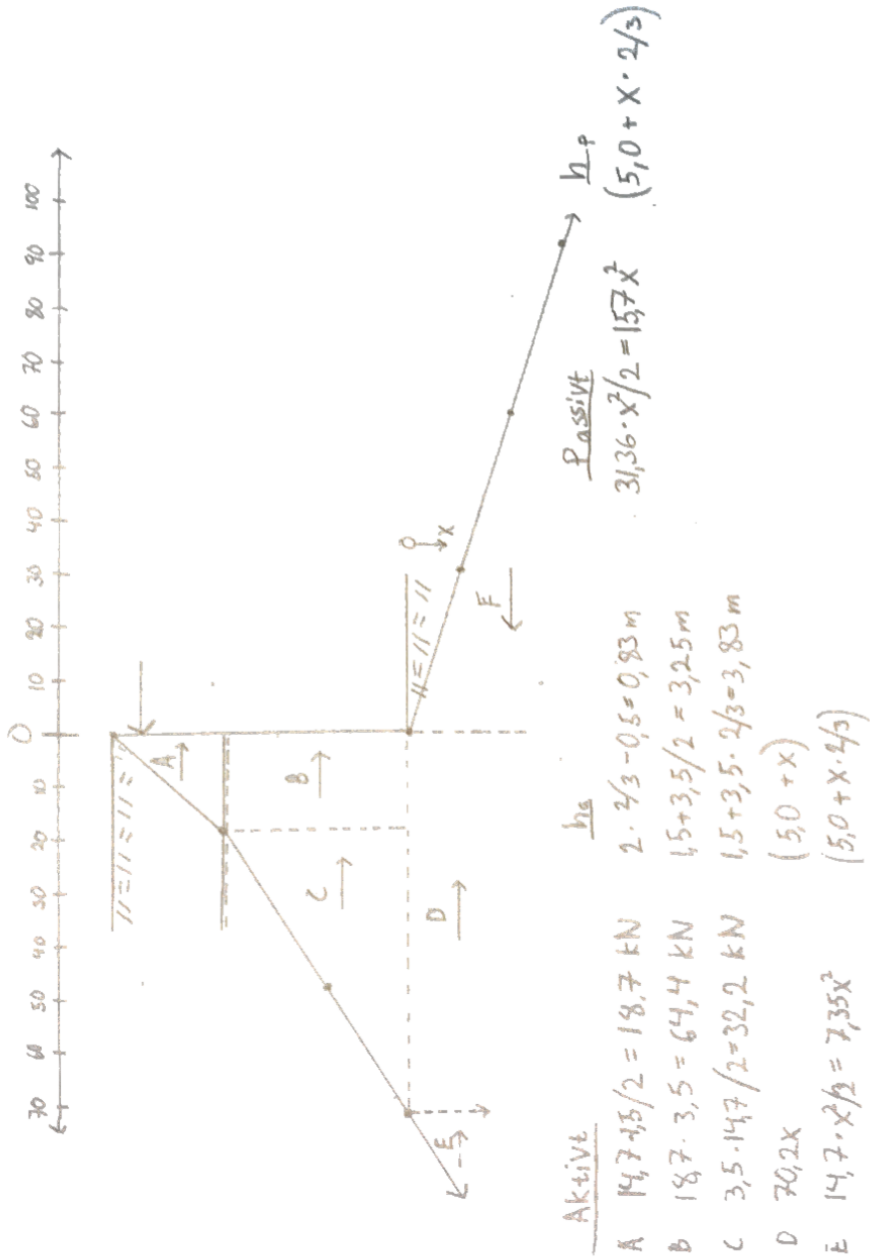
#### Funktionskontroll GW-rör

Tid	Sjunkning

GV\_protokoll\_K, GW 15WK0220



# 8.17 Bilaga 17



## 8.18 Bilaga 18

