

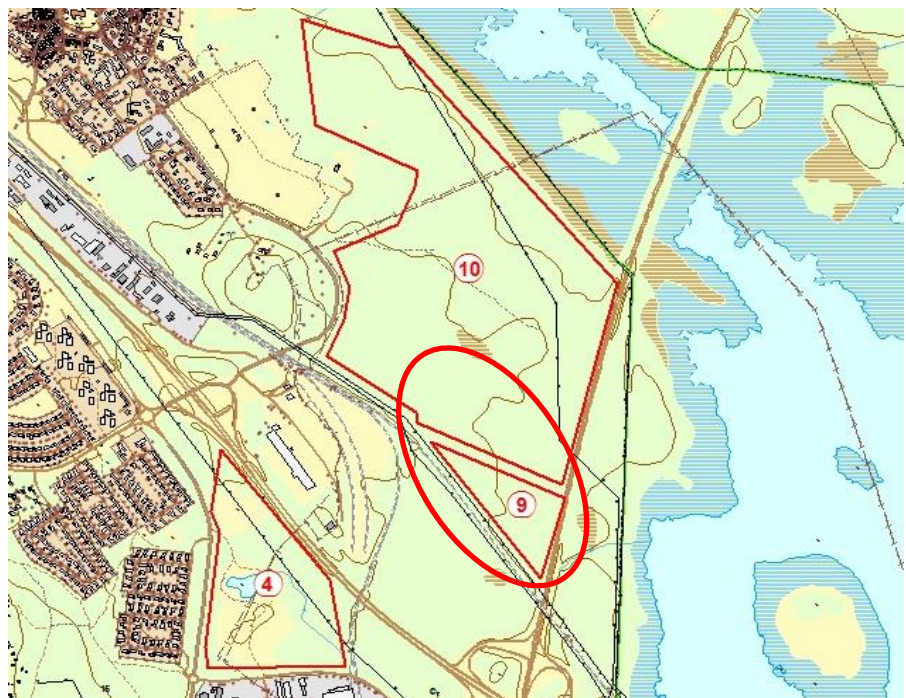


2015-01-15

GEOTEKNIK OCH GEOHYDROLOGI VID KALVHOLMEN

Bilaga 6 till MKB för Efterbehandlingsåtgärder vid Karlshäll

Framställd för:
Luleå Kommun



Uppdragsnummer: 11512420570

Distributionslista:

Marianne Kallin, Stadsbyggnadsförvaltningen

Michael Öhman, Stadsbyggnadsförvaltningen

PM GEOTEKNIK





Innehållsförteckning

1.0 UPPDRAG	1
2.0 TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR OCH UTREDNINGAR	2
3.0 OMRÅDESBESKRIVNING	3
3.1 Lokalisering och topografi	3
3.2 Hydrologiska förhållanden	4
3.3 Jordlagerföljd	4
3.4 Geotekniska förhållanden	5
3.4.1 Densitet, vattenkvot, konflytgräns och sensitivitet	5
3.4.2 Odränerad skjuvhållfasthet	5
4.0 MARKENS HYDRAULISKA EGENSKAPER	6
4.1 Grundvattennivåer och portryck	6
4.2 Hydraulisk konduktivitet i jordlager	7
4.2.1 Slugtest	7
4.2.2 Resultat	7
4.3 Hydrauliska kontakter	8
5.0 STABILITET	8
5.1 Allmänt	8
5.2 Erforderlig säkerhetsfaktor	8
5.3 Beräkningsförutsättningar	9
5.3.1 Utformning och geometri	9
5.3.2 Materialparametrar	9
5.3.3 Grundvattenyta och portryck	10
5.4 Stabilitetsanalyser	10
5.4.1 Planerad deponi	11
5.4.2 Volym muddermassor	12
5.4.3 Känslighetsanalys	12
6.0 SÄTTNINGAR	12
7.0 SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATION	13

BILAGOR

BILAGA A

Sammanställning och utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet

BILAGA B

Grundvattenrörens läge och interpolerad grundvattenyta

BILAGA C

Stabilitetsberäkningar, planerad mudderdeponi



1.0 UPPDRAG

Golder Associates AB (Golder) har på uppdrag av Luleå kommun utfört en geoteknisk och geohydrologisk undersökning för området Kalvholmen (se Figur 1) inom ramen för lokaliseringsutredningen i Karlshäll. Nu innefattar aktuellt område de tidigare studerade område 9 och den södra delen av område 10.

Utredningen har baserats på nu samt tidigare utförda undersökningar. Syftet med undersökningarna var att göra en översiktlig bedömning av markområdets lämplighet för framtida deponering av muddermassor.



Figur 1: Översiktskarta. Aktuellt område är markerat med en röd ring (Föreslagen lokalisering Miljöprojekt Karlshäll).



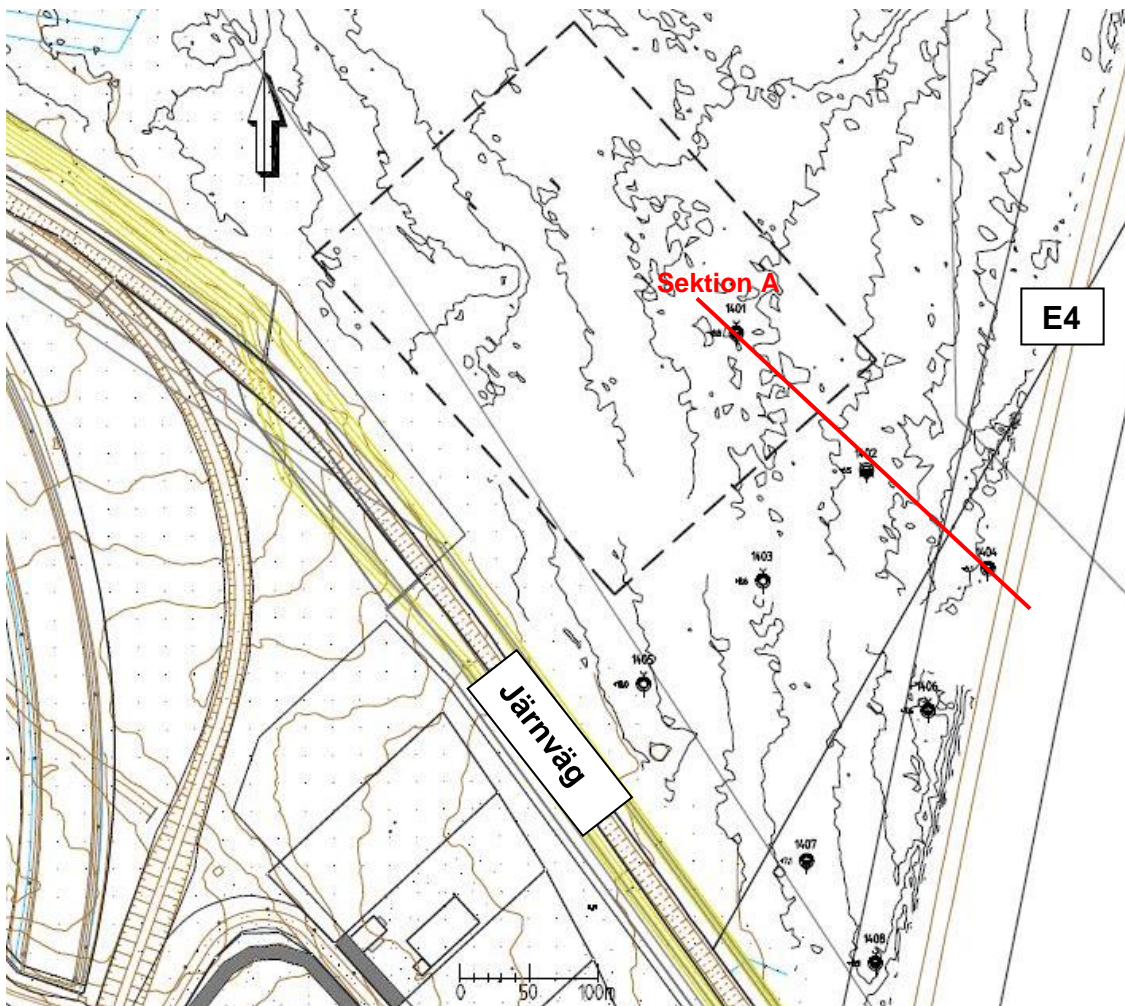
2.0 TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR OCH UTREDNINGAR

Inom och i nära anslutning till det aktuella området har tidigare utförda geotekniska undersökningar funnits att tillgå. Undersökningarna redovisas i sin helhet i följande utredningar:

- "Kalvholmen, Luleå. Miljöprojekt Karlshäll. Markteknisk undersökningsrapport/geoteknik (MUR/Geoteknik)",
Golder Associates, 2015-01-15, Uppdr. nr 11512420570.
- "Översiktlig geoteknisk undersökning för planerat arbetsområde i Gammelstad",
Gatukontoret, Luleå kommun, 1976/77, arkivnummer 40:1.
- "Gammelstadviken, översiktlig redovisning av jordarter" (endast ritning),
NAB konsult, 1976-06-26, Projektnr. 750353-G1, arkivnummer 40:5.

En inventering av arkivmaterialet har utförts och sammanfattats i rapporten *Lokaliseringsutredning Karlshäll – Inventering av befintliga geotekniska undersökningar* (Golder, Maj 2012).

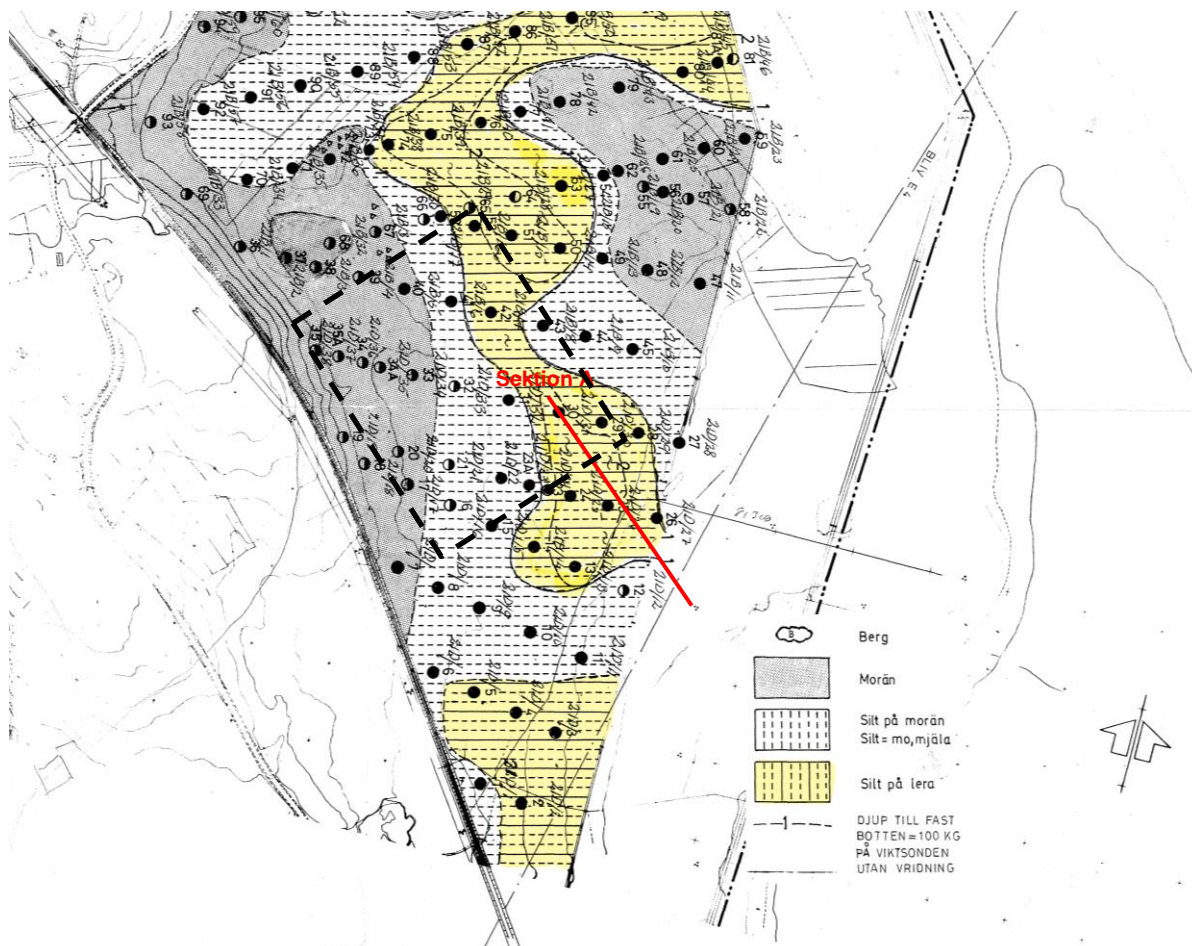
Ett antal geotekniska och geohydrologiska undersökningar utfördes under september/oktober 2014 och finns redovisade i MUR, Golder, 2015, enligt ovan. Borrhålen benämndes med ID "14xx" och läget för dessa undersökningar visas i Figur 2.



Figur 2: Fältundersökningar. Borrplan tillhörande MUR, Golder, 2015-01-15. I figuren visas även läget för sektion A, i vilken stabiliteten analyserats i föreliggande utredning. Ungefärligt läge för föreslagen yta för deponi och arbetsytor är markerad med en streckad rektangel i figuren.



I ovan listade utredningar från åren 1976/77 utfördes också en mängd geotekniska undersökningar. Ett utdrag från dessa med lägen på borrhål samt då tolkad jordlagerutbredning redovisas i Figur 3 nedan. Områden som tolkats som silt på lera är markerat i gult, övriga områden visar morän eller silt på morän enligt legenden. Borrhämlinorna inom aktuellt område benämndes generellt med ID "21D/xxx".



Figur 3: Tidigare utförda geotekniska undersökningar med tolkad jordlagerutbredning. I figuren visas även läget för sektion A, i vilken stabiliteten analyserats i föreliggande utredning. Ungefärligt läge för föreslagen yta för deponi och arbetsytor är markerad med en streckad rektangel i figuren.

3.0 OMRÅDESBESKRIVNING

3.1 Lokalisering och topografi

Kalvholmen är beläget inom fastigheterna Notviken 4:44 och Notviken 4:40 strax norr om trafikplats Notviken. Området avgränsas i sydväst av järnvägen och i öster av väg E4. Området omfattar ca 20 hektar och är en sammanslagning av område 9 och del av område 10 i tidigare utförd lokaliseringsutredning.

Området utgörs idag av svagt sluttande skogsmark. Närmast järnvägen i nordväst ligger marken på nivån ca +10 och sluttar därifrån ner åt sydost till nivån ca +5 -+6 intill väg E4. Längre österut fortsätter marken luta ner mot Gammelstadviken som ligger ca 300 m öster om det aktuella området. I Figur 4 visas ett flygfoto över aktuellt område.



Figur 4: Flygfoto över aktuellt område (Källa: Lantmäteriet).

3.2 Hydrologiska förhållanden

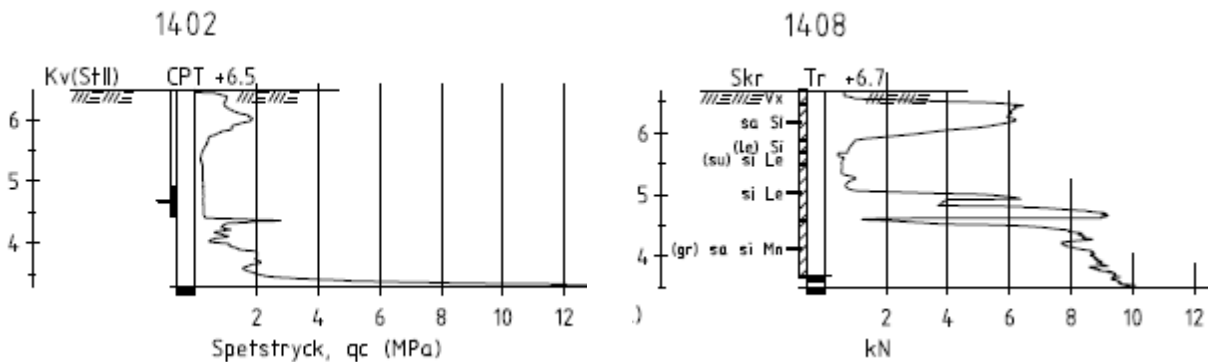
Nederbörden i området uppgår till ca 600 mm/år, och avdunstningen strax över 300 mm/år vilket motsvarar en nettonederbörd på ca 300 mm/år.

Nederbörden över det aktuella området rinner av mot öster i riktning ner mot Gammelstadsviken som ligger ca 300 m öster om området (Figur 4). Gammelstadsviken avrinner vidare via Holmsundet ut i Bottenviken.

3.3 Jordlagerföljd

Inom delar av aktuellt område utgörs marken av fastmark eller siltig sand/sandig silt på morän (Figur 3). En mängd sonderingar (vikt- och slagsonderingar) har tidigare utförts och generellt avbrutits på ca 5-10 m djup utan att stopp erhållits.

I den södra delen av området samt i ett parti i nordost (se gula områden i Figur 3) återfinns dock ett lösare skikt sedimentjord. Inom dessa områden utgörs jordlagerföljden generellt överst av ett lager siltig sand/sandig silt (ca 0-1 m) på ett ca 1-2 m mäktigt lager siltig lera/lerig silt som i sin tur överlagrar morän, se Figur 5. Inom området förekommer även inslag av sulfid-/sulfidhaltig jord. Moränens mäktighet eller djup till berg har inte fastställts. Sonderingarna har avslutats då sonden inte kunnat neddrivas ytterligare enligt normalt förfarande, vilket generellt inträffat i en fast lagrad morän på djupet ca 3-6 m under markytan.



Figur 5 Exempel på sondering som visar på jordlagerföljden inom partierna med ett löst jordlager.

3.4 Geotekniska förhållanden

Utvärdering av de geotekniska förhållandena baseras på nu och tidigare utförda undersökningar inom och i nära anslutning till området.

3.4.1 Densitet, vattenkvot, konflytgräns och sensitivitet

Utförd rutinanalys på leran inom området visar att den kan klassas som en lös sulfidlera. I flertalet punkter har leran bedömts vara siltig.

Skrymdensiteten i leran är ca 1,5-1,55 t/m³. Vid större siltinnehåll bedöms densiteten kunna vara högre.

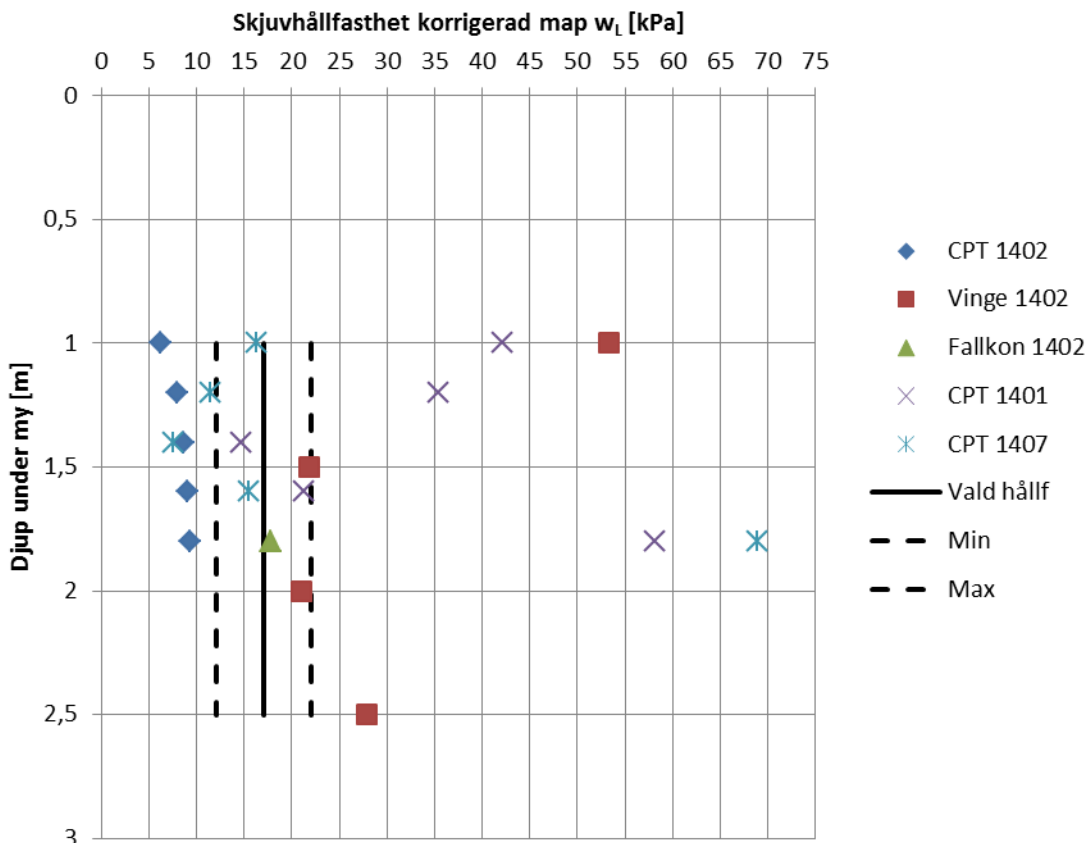
Både den naturliga vattenkvoten och konflytgränsen i leran har bestämts till ca 80-85 %.

Leran kan generellt klassas som mellansensitiv ($S_t=15$).

3.4.2 Odränerad skjuvhållfasthet

Den odränerade skjuvhållfastheten i leran har sammanställts från nu utförda fält- och laborieförsök. I fält har hållfastheten bestämts med CPT-sonderingar och vingförsök och på laboratorium har konförsök utförts. Sammanställning och utvärdering av den odränerade skjuvhållfastheten redovisas i nedanstående diagram (Figur 6) samt i BILAGA A. Läget för respektive borrhål återfinns i Figur 2.

Utförda undersökningar visar på en relativt stor spridning i hållfasthet, både mellan olika borrhål och mellan olika försöksmetoder. Den odränerade skjuvhållfastheten i leran har generellt uppmätts variera mellan ca 7-22 kPa. Till viss del kan spridningen bero på det varierande siltinnehållet i leran. I det aktuella fallet har resultaten från vingförsök och fallkonförsök bedömts vara mest relevanta och hållfastheten har utvärderats till 17 kPa.



Figur 6: Sammanställning och utvärdering av den odränerade skjuvhållfastheten, mot djup under markytan, i den siltiga leran/leriga silten.

4.0 MARKENS HYDRAULISKA EGENSKAPER

Jordlagerföljden i området utgörs generellt av en siltig sandig morän som överlagras av ett ytligt lager av siltig sand/sandig silt, som i den södra samt nordöstra delen av området ligger ovan ett osammanhängande lager av siltig lera/lerig silt. Jordlagrens hydrauliska egenskaper har framförallt utretts i den mättade zonen.

Grundvattenrör finns installerade i morän ca 3 m under marknivån, se lägen i Figur 2. Grundvattennivån har mätts i samtliga installerade grundvattenrör och nivåerna har studerats för att avgöra naturliga grundvattennivåer och strömningsriktningar i området. Vidare har jordlagrens hydrauliska konduktivitet utvärderats från utförda slugtester samt siktkurvor.

4.1 Grundvattennivåer och portryck

Grundvattennivåerna är generellt högre i de västra delarna av området, med en hydraulisk gradient österut i riktning mot Gammelstadsviken, vilket bekräftar att grundvattnets strömningsriktning i stort följer områdets topografi. Uppmätta grundvattennivåer och en interpolerad grundvattenyta redovisas i Bilaga B.

Grundvattenytans läge i förhållande till markytan varierar mellan att ligga på ett djup på 0,45 m under markytan i den nordligaste punkten (1401) och mer än 2,5 m under markytan i den sydvästliga punkten (1405).

Inga portrycksmätningar har funnits tillgängliga vid utförandet av denna utredning, men baserat på jordlagerföljden och topografin i området bedöms portrycket vara hydrostatiskt från grundvattenytan.



4.2 Hydraulisk konduktivitet i jordlager

4.2.1 Slugtest

Slugtest har utförts i samtliga grundvattenrör utom i 1405 då detta installerats på en nivå över grundvattentytan, dvs i den omättade zonen. Ett slugtest utförs genom att generera momentana tryckförändringar i grundvattennivå för att sedan studera återhämtningen till ursprunglig nivå. Tryckförändringarna registreras med hjälp av en diver som installerats i röret och programmerats att registrera tryckvärden med ett visst intervall.

Det finns ett antal olika sätt att generera tryckförändringen. I flera av de installerade grundvattenrören är grundvattentytans läge nära filtrets överkant, varför tillsatt vatten fungerat som slug i de flesta fallen. Ca 1,5 liter vatten tillfördes grundvattenröret momentant i syfte att höja vattennivån i röret och därefter registrerades återhämtningen till den ursprungliga nivån.

I ett rör var vattennivån tillräckligt hög i förhållande till filtternivån så att en mekanisk slug kunde användas för att generera tryckförändringen. Det innebär att en slugkropp sänks under grundvattennivån för att generera en momentan höjning av nivån i röret. När vattennivån har återhämtat sig till sin ursprungliga nivå, tas slugkroppen upp och återhämtningen som följer den momentana sänkningen av grundvattennivå registreras.

4.2.2 Resultat

Genomsläppligheten i jordlagren har utvärderats baserat på genomförda slugtest och analys av siktkurvor.

Samtliga slugtest har utvärderats med hjälp av analysverktyget Hydrobench (Golder Associates AB, 2010) för att beräkna ett transmissivitetsvärde för jordlagren runt de installerade rören. Den hydrauliska konduktiviteten beräknas sedan över en mäktighet som motsvaras av filtrets längd. Slugtesten är av varierande kvalitet, vilket mest sannolikt är en konsekvens av grundvattentytans läge i förhållande till filtrets placering samt eventuella hålrum kring röret som kan medföra risk för uppträngning av vatten längs röret till omättat eller mer genomsläppligt jordlager.

Siktanalyser har gjorts på jordprov i fyra punkter, 1403, 1405, 1406 och 1408. I två av dessa (1405 och 1408) har analyser gjorts på prover från två olika djup; i den djupare moränen samt i den mer ytliga leran eller silten. I de ytliga proverna är andelen finmaterial för stor för beräkning av hydraulisk konduktivitet ska vara möjlig. Siktanalyserna har utvärderats enligt Andersson et al (1984).

Tabell 1: Jordartsbestämning och beräknad hydraulisk konduktivitet (m/s) vid angivna provpunkter och djup.

Provpunkt	Testat djup (m under my)	Jordart	K, siktkurva (m/s)	K, slugtest (m/s)
1403	2,3 - 2,9 (sikt) / 2,5 - 3,0 (slug)	saSiMn	$6 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-6}$
1405	0,5 - 1,0	siLe	-	
1405	1,6 - 2,5	saSiMn	$3 \cdot 10^{-7}$	
1406	2,1 - 3,0 (sikt)/2,5 - 3,0 (slug)	siSaMn	$6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$ - $2 \cdot 10^{-7}$
1408	0,2 - 0,8	sasiLe	-	
1408	2,1 - 3,0 (sikt)/2,5 - 3,0 (slug)	siSaMn	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$

Den beräknade hydrauliska konduktiviteten skiljer sig åt beroende på beräkningsmetod. Jorden i punkt 1403 innehåller en stor andel finmaterial (< 0,063 mm). Det resulterar i stora osäkerheter i analysen varför större vikt bör läggas på den hydrauliska konduktivitet som beräknats utifrån genomfört slugtest (motsvarande en hydraulisk konduktivitet på $8 \cdot 10^{-6}$ m/s). Övriga siktkurvor som analyserats innehåller mindre andel finmaterial och analysen innefattar således mindre osäkerheter.



Den hydrauliska konduktiviteten i 1406 beräknad utifrån analys av slugtest har angetts som ett intervall då resultatet beror av vilken del av kurvan man analyserar. Återhämtningen sker initialt mycket snabbt för att sedan avta och fortsätta betydligt långsammare. Detta är sannolikt en konsekvens av otätheter kring grundvattenröret som kan medföra att filtret står i kontakt med ett mer genomsläppligt lager på en högre nivå än grundvattenrörets filter. Detsamma gäller 1408 där utvärderingen koncentrerats på den senare delen av återhämtningskurvan.

De mer ytliga jordlagren har klassificerats som siltig lera eller sandig siltig lera och kan antas vara relativt tät. Lera har generellt en hydraulisk konduktivitet som är mindre än 10^{-9} m/s. Utfört CRS-försök på leran i punkt 1402 visar på en initial hydraulisk konduktivitet på ca $7 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Sammanfattningsvis kan den hydrauliska konduktiviteten i det vattenförande lagret i morän antas ligga på mellan $8 \cdot 10^{-6}$ m/s och $2 \cdot 10^{-7}$ m/s. Genomsläppligheten minskar sannolikt med djupet då en mer kompakt morän observerats på större djup. Även det ytliga lagret är, åtminstone över delar av området, tätare med en hydraulisk konduktivitet på ca $7 \cdot 10^{-9}$ m/s.

4.3 Hydrauliska kontakter

Inom delar av området återfinns överst i jordlagerföljden ett lager med tätare jord i form av silt och lera. Detta lager är dock inte sammanhängande, vilket sannolikt resulterar i att vatten infiltrerar i områden med genomsläppligare jordar ner till moränen från vilken det rinner vidare i riktning ned mot Gammelstadsviken. Moränens mäktighet är okänd då djup till berg inte fastställts, men baserat på noteringar under fältinsatser kan dess hydrauliska konduktivitet antas minska med djupet och avrinningen således i huvudsak antas ske i den översta delen av moränen.

5.0 STABILITET

5.1 Allmänt

Stabiliteten har i detta skede kontrollerats i en sektion där ett lerlager återfunnits och aktuellt läge visas i Figur 2 och Figur 3. Sektionen sträcker sig från nordväst mot sydost och är placerad i den östra delen av i området. Lera har dock återfunnit även i den södra delen av området och sektionen bedöms representera även det området. Inom övriga delar av området saknas lerlagret och stabilitetsförhållandena bedöms vara goda.

Stabiliteten har studerats för förhållanden som för den planerade mudderdeponin. Baserat på topografi och jordlagerföljd förutsätts stabiliteten vara tillfredsställande god för befintliga förhållanden.

Stabilitetsanalyserna har utförts som kombinerad och odränerad analys med Slope/W version 8.12.3.7901 (GeoStudio 2012). Redovisade säkerhetsfaktorer avser Morgenstern-Price metod för cirkulärcylindriska glidytor. Utförda stabilitetsberäkningar redovisas i sin helhet i BILAGA C.

5.2 Erforderlig säkerhetsfaktor

Stabilitetsberäkningar har utförts som en stabilitetskontroll för att bedöma markens lämplighet för lokalisering av mudderdeponi. För att välja lämplig säkerhetsnivå med avseende på stabiliteten har Naturvårdsverkets Handbok 2004:2; "Deponering av avfall" studerats. I handboken anges rekommenderade lägsta säkerhetsfaktorer, beräknade med totalspänningsanalys, enligt Tabell 2, vilka också använts i föreliggande utredning.



Tabell 2: Rekommenderad säkerhetsfaktor för odränerad respektive kombinerad analys.

**Naturvårdsverkets
Handbok 2004:2**

$$F_c > 1,5$$

$$F_{\text{komb}} > 1,35$$

5.3 Beräkningsförutsättningar

5.3.1 Utformning och geometri

Mot bakgrund av utförda geotekniska undersökningar samt områdets topografi har en representativ sektion genom partierna med lera valts ut för kontroll av stabilitetsförhållandena för planerad deponigeometri.

Muddring av förorenade sediment kommer att utföras i Notviken, söder om nu studerat område. Planen är att avvattna och lägga upp muddermassor inom aktuellt landområde. Volymen muddermassor som kommer att behöva deponeras beror på avvattningsgraden. Förutom muddermassorna finns ytterligare förorenade massor på land, vilka också ska deponeras. Ett rimligt antagande är att den totala volymen massor som ska deponeras kommer att uppgå till ca 150 000 m³. Stabilitetsberäkningar har utförts för att studera möjligheten att deponera massorna på befintlig mark. Deponins höjd är beroende av massornas egenskaper och några olika fall har analyserats inom ramen för föreliggande utredning. Den planerade deponins släntlutningar har antagits till 1:4 vid deponifot och 1:20 uppe på deponin. Det framtida täcksiktets mäktighet har ansatts vara 1,5 m.

5.3.2 Materialparametrar

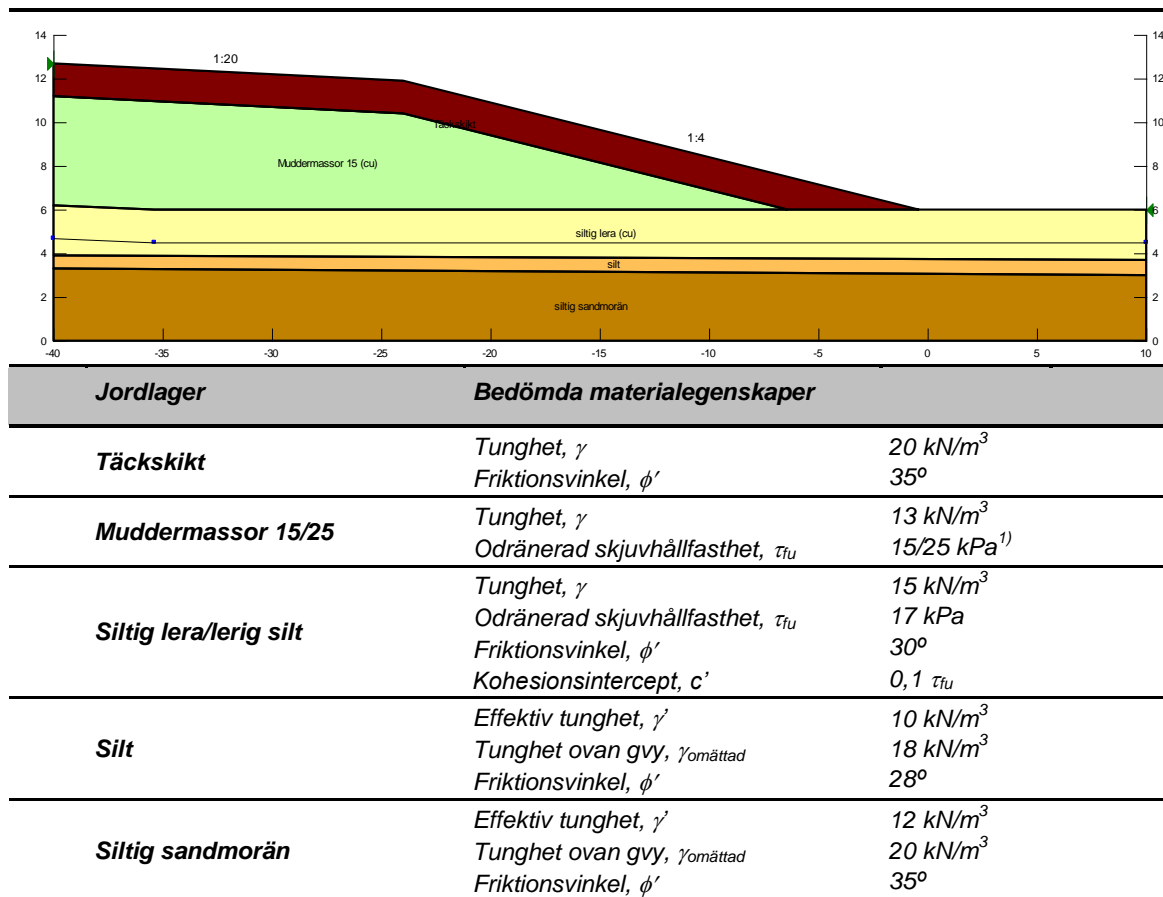
Materialegenskaper samt jordlagrens mäktighet har baserats på nu och tidigare utförda geotekniska undersökningar.

Materialegenskaperna hos muddermassorna kommer att bero på avvattningsteknik och eventuell stabilisering. Baserat på tidigare avvattningsförsök i filterpress kan troligtvis de rena fibersedimenten, vilka utgör ca 1/3 av massorna, erhålla en hållfasthet på ca 5 kPa och resterande 2/3 av muddermassor en hållfasthet på ca 25 kPa. Om massorna blandas väl i samband med muddringen och avvattningen optimeras kan det eventuellt vara möjligt att uppnå 25 kPa i muddermassorna i sin helhet. I de nu utförda stabilitetsberäkningarna har muddermassorna hållfasthet ansatts till 15 kPa respektive 25 kPa, för att kontrollera inverkan på stabiliteten.

I Tabell 3 redovisas de materialparametrar som valts och använts vid stabilitetsberäkningarna. Ingående materialparametrar redovisas även på respektive beräkning i BILAGA C.



Tabell 3 Valda materialegenskaper för beräknade sektioner.



1) Den odränerade skjuvhållfastheten i muddermassorna har ansatts vara 15 respektive 25 kPa i olika beräkningar.

5.3.3 Grundvattenytta och portryck

Grundvattenytan har i stabilitetsberäkningarna ansatts ligga ca 1,5 m under markytan. Portrycket har antagits vara hydrostatiskt från grundvattenytan.

5.4 Stabilitetsanalyser

Inom stora delar av det aktuella området utgörs jordlagerföljden av fastmark eller silt på morän och stabilitetsförhållandena bedöms vara mycket goda. Inom dessa delar är det endast deponins interna stabilitet, beroende på de deponerade massornas egenskaper, som kan påverka stabilitetsförhållandena. Tidigare undersökningar har visat att med avseende på deponins interna stabilitet kan släntlutningen utföras max 1:4.

I östra och södra delen av området förekommer dock upp till ca 2 m lera och inom dessa områden har stabilitetsförhållandena för den planerade mudderdeponin analyserats. Stabiliteten har kontrollerats för Sektion A i Figur 2. För att modellera de minst gynnsamma förhållandena har analysen utförts utan något övre fastare siltlager, eftersom detta lokalt saknas.

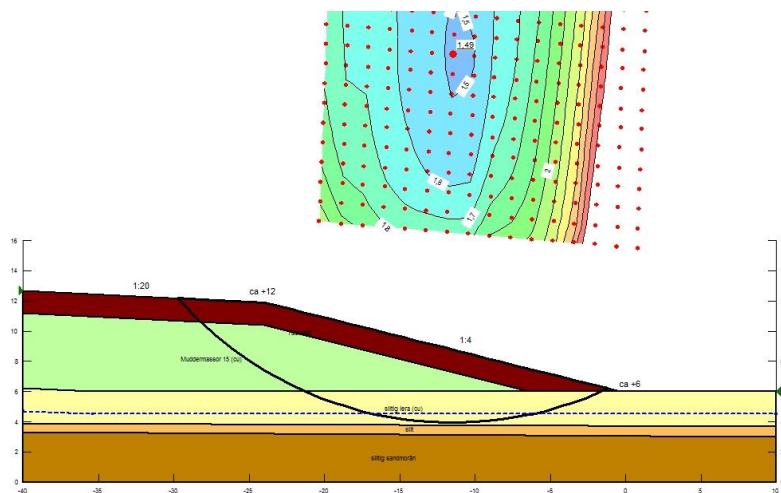
Baserat på topografi och jordlagerföljd förutsätts stabiliteten inom hela det aktuella området vara tillfredsställande god för befintliga förhållanden.



5.4.1 Planerad deponi

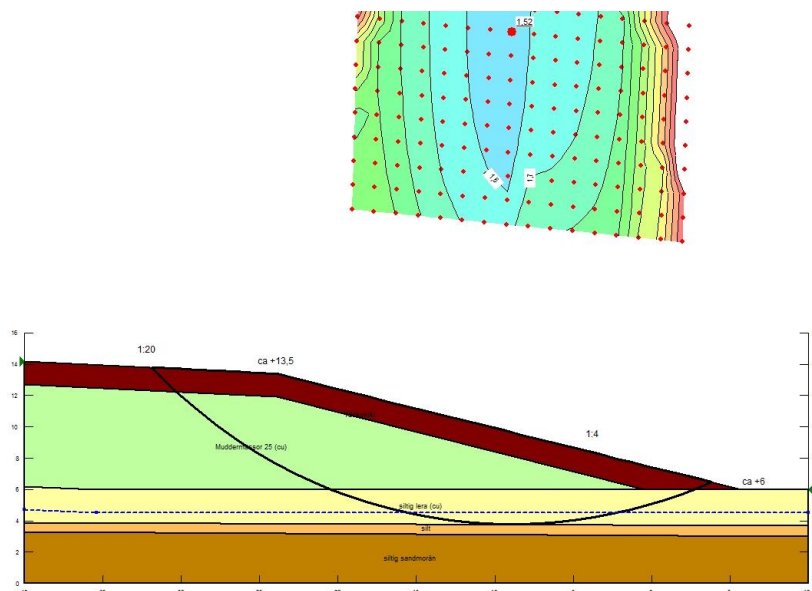
Stabilitetsanalyser har utförts för att undersöka möjligheten att deponera förorenade massor, i huvudsak muddermassor, inom områden med lera. Analyser har utförts med ansättande av en odränerad skjuvhållfasthet i muddermassorna på 15 kPa respektive 25 kPa. Den planerade deponins höjd och lutning har anpassats för att uppnå ställda krav på erforderlig säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott enligt Tabell 2.

Med 15 kPa hållfasthet i muddermassorna kan slänten vid deponifot läggas med lutning 1:4 upp till en höjd på 6 m höjd, se Figur 7. Över denna höjd ska lutningen vara 1:20, vilket beroende på anpassning till befintlig terräng och deponins utformning ger maximal deponihöjd.



Figur 7: Stabilitetsanalys för planerad deponi med odränerad skjuvhållfasthet i muddermassorna på 15 kPa. Sluttäckt deponi med slänthöjd 6 m, odränerad analys.

Om en odränerad hållfasthet på 25 kPa kan erhållas i muddermassorna kan deponin göras något högre, se Figur 8. Slänten kan utföras med lutning 1:4 upp till ca 7,5 m höjd och däröver med lutning 1:20.



Figur 8: Stabilitetsanalys för planerad deponi med odränerad skjuvhållfasthet i muddermassorna på 25 kPa. Sluttäckt deponi med slänthöjd 7,5 m, odränerad analys.

Beroende på muddermassornas egenskaper så bedöms den sluttäckta deponins högsta punkt med lutningar enligt ovan nå upp till ca 10-12 m över markytan.



5.4.2 Volym muddermassor

Det framtida deponiområdet förutsätts vara minst ca 200 m brett och ca 300 m långt. Med släntlutningar och höjder enligt ovan utförda stabilitetsanalyser inom områden med lera, samt under förutsättning att deponin utformas symmetriskt, så har volymen muddermassor uppskattats till drygt 300 000 m³, vilket är betydligt mer än aktuell volym massor som är ca 150 000 m³. Uppskattningen baseras dock endast på en överslagsberäkning där en ca 200 m lång medelsektion antagits vara representativ längs en sträcka av ca 300 m och volymen kan därmed komma att justeras vid detaljstudier.

5.4.3 Känslighetsanalys

I en geoteknisk stabilitetsanalys finns det en mängd indata som påverkar säkerhetsfaktorn mot brott. Parametrar som t ex skjuvhållfasthet varierar i plan, mot djupet och med olika undersökningsmetoder och markens geometri är inte alltid perfekt avbildad. Det finns därför alltid en viss osäkerhet i de resultat som erhålls vid en stabilitetsanalys, vilket skall beaktas vid värdering och hantering av resultatet.

För att kunna göra en bedömning av vilka felmarginaler som finns i beräkningarna har en känslighetsanalys utförts. I den här utredningen har lerans odränerade skjuvhållfasthet (τ_{fu}) studerats och hållfastheten har låtit variera inom ett intervall som bedömts vara en rimlig felmarginal. Vidare har inverkan av grundvattentytans läge studerats.

Odränerad skjuvhållfasthet i underliggande lera

I den nu utförda känslighetsanalysen har den konstant valda odränerad skjuvhållfastheten i den underliggande leran ansatts variera med ± 5 kPa. Muddermassorna har ansatts ha hållfastheten 15 kPa.

Med den lägre hållfastheten, 12 kPa, i leran får deponin göras något lägre för att uppfylla ställda krav på säkerhetsfaktorer. Utförda beräkningar visar att deponins lutning kan vara 1:4 upp till ca 4 m höjd.

Om den odränerade skjuvhållfastheten är 22 kPa, d v s 5 kPa högre än tidigare ansatt, så blir säkerhetsfaktorerna ca 15-20 % högre för ursprunglig deponigeometri. Med denna högre hållfasthet skulle därmed deponin kunna göras ca 1 m högre (1:4 upp till drygt 7 m höjd) och fortfarande uppfylla ställda krav på säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott.

Grundvattentytans läge

Om grundvattentytan ansätts ligga i befintlig markyta, istället för ca 1,5 m under markytan, minskar säkerhetsfaktorn mot kombinerat stabilitetsbrott med ca 3 %. Ställt krav på säkerhetsfaktor mot stabilitetsbrott är dock fortfarande uppfyllt för ansatt deponigeometri. Säkerhetsfaktorn mot odränerat stabilitetsbrott påverkas inte av förändringar i portrycket.

6.0 SÄTTNINGAR

Leran i området klassas enligt utförda försök som lös, mellansensitiv sulfid-lera och bedöms vara normal- eller svagt överkonsoliderad.

Förutsatt normalkonsoliderad lera så kan sättningen i lerlagret (max 2 m) uppskattas till ca 0,3-0,5 m vid en tillskottslast på ca 75-100 kPa (motsvarar ca 6-8 m muddermassor med tunghet 13 kN/m³). Sättningarna bedöms utbildas relativt fort baserat på den ringa mäktigheten hos leran. Storleken på förväntade sättningar i leran anses dessutom vara försumbara jämfört med de sättningar som kommer att utbildas i muddermassorna.



7.0 SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATION

Geotekniska förhållanden

I södra delen av området samt i ett parti i nordost utgörs jordlagerföljden överst av ett silt/sand-lager på ett lösare lager av lera/silt som överlagrar morän på berg. Det ytliga silt/sand-lagret är generellt ca 0-1 m mäktigt och leran/siltan max ca 2 m. Djupet till berg har inte bestämts. Förekommande lera är siltig och med inslag av sulfidjord. Leran bedöms vara mellansensitiv och normalkonsoliderad. Den odränerade skjuvhållfastheten varierar mellan ca 12-22 kPa, beroende på siltinnehållet.

Inom resterande delar av området utgörs marken av fastmark eller siltig sand/sandig silt på morän. Djup till berg har inte bestämts, men är enligt tidigare utförda sonderingar större än 10 m.

Geohydrologiska förhållanden

Nederbörd som faller över området bildar grundvatten och infiltrerar i huvudsak i de områden där ytliga jordlager är mer genomsläppliga, ner till den djupare liggande moränen. Inom partierna med lera rinner vattnet på leran tills mer genomsläppligt jordlager påträffas och möjliggör infiltration ner till det vattenförande lagret i underliggande morän. Genomsläppligheten i moränlagret på ca 3 m djup under markytan ligger kring $8 \cdot 10^{-6}$ m/s och $2 \cdot 10^{-7}$ m/s och antas minska med djupet. Den hydrauliska gradienten i området lutar österut och grundvattenströmningen bedöms således i huvudsak ske i den övre delen av moränen i riktning mot Gammelstadsviken.

Stabilitetsförhållanden

Utförd stabilitetskontroll inom partier med lera visar att med antagna parametrar, vilka bedöms vara valda på säkra sidan, så är det möjligt att uppnå en säkerhetsfaktor på ca $F_c > 1,5$ och $F_{komb} > 1,35$ för en mudderdeponi med en total höjd på ca 10-12 m, förutsatt att den odränerade hållfastheten i muddermassorna är minst ca 15 kPa. Släntlutningen förutsätts vara 1:4 närmast släntfot och 1:20 uppe på deponin. Nivån på släntkrönet, d v s brytpunkten mellan de båda lutningarna, bedöms kunna placeras ca 6-8 m över markytan vid släntfot, men måste anpassas till erhållen hållfasthet i de avvattnade muddermassorna. Ovan nämnda höjder inkluderar sluttäckning.

Förutsatt att deponiområdet är ca $200 \times 300 \text{ m}^2$ så möjliggör stabilitetsförhållandena inom hela det studerade området, inklusive områdena med lera, en deponigeometri som med marginal inrymmer de aktuella ca $150\,000 \text{ m}^3$ muddermassorna.

Områdets utbredning är beroende av den naturliga markens nivåer inom området och av hur anpassningen, med t ex erforderliga lutningar, skall göras mot befintlig terräng. I föreliggande utredning har endast en sektion studerats och variationerna inom området bör detaljstuderas.

Vid fortsatt projektering av deponin bör avvattningstekniken för muddermassorna studeras för att fastlägga muddermassornas odränerade skjuvhållfasthet och därmed kunna optimera utformningen av deponin.

Sättning

Den underliggande leran bedöms vara sättningsbenägen. Baserat på lerlagrets ringa mäktighet bedöms dock totalsättningen ide naturliga jordlagren till max ca 0,5 m. Vidare bedöms dräneringsförhållandena vara goda och sättningarna utbildas kort efter pålastning. Sättningarna i muddermassorna har inte studerats, men förväntas vara av avsevärt större storleksordning.



REFERENSER

Golder Associates AB, 2010. *HydroBench Tutorial Version 1.1*. Software tutorial.

Andersson A.C., Andersson O., Gustafson G., 1984. *BRUNNAR Undersökning – Dimensionering – Borrning – Drift*. Rapport R42:1984.

GOLDER ASSOCIATES AB

Göteborg 2015-01-15

Göteborg 2015-01-15

Malin Sundsten
Geotekniker

Ola Skepp
Granskare

MS/OS

Org.nr 556326-2418

VAT.no SE556326241801

Styrelsens säte: Stockholm

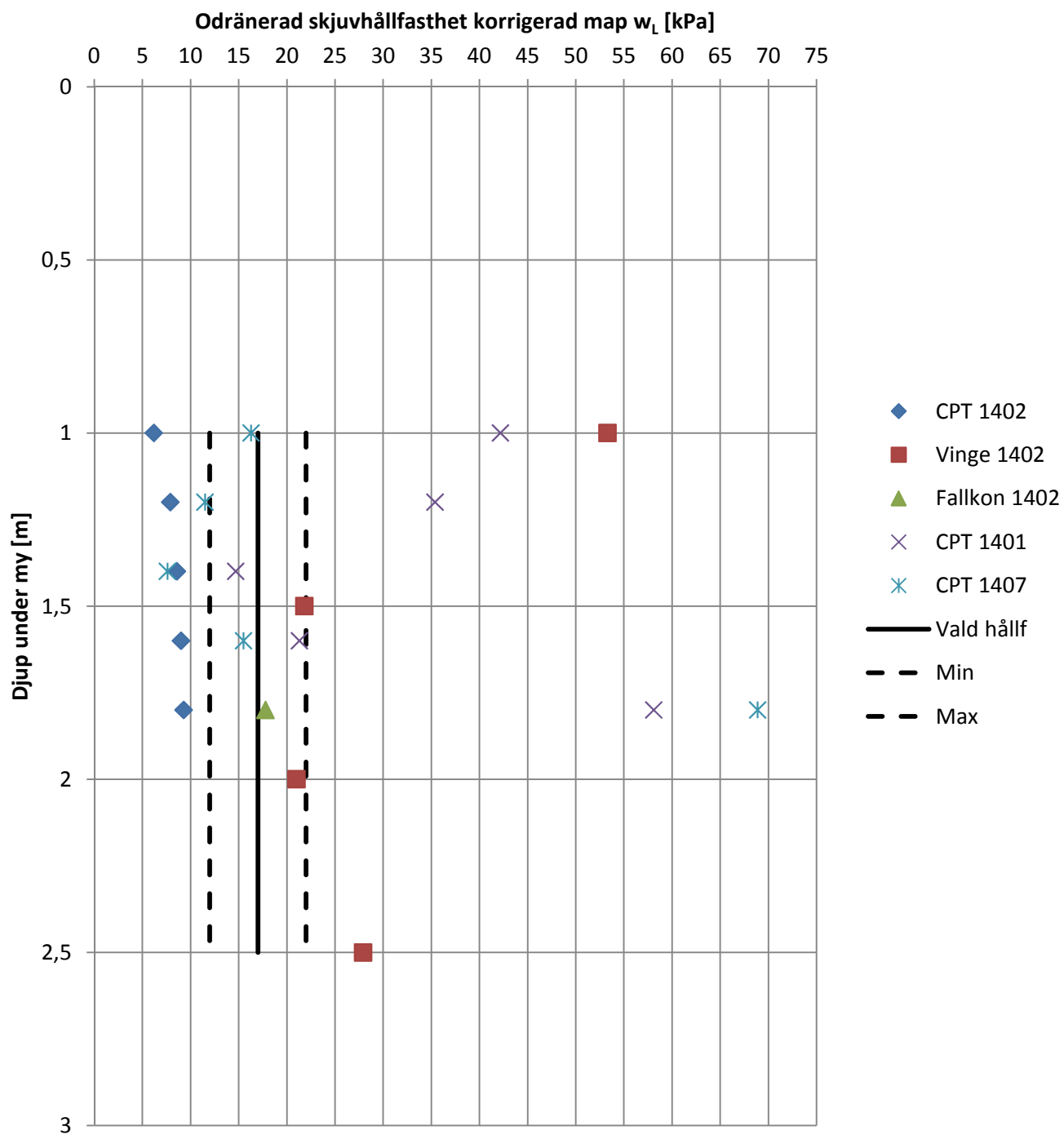
\\sto1-s-main01\projekt\2011\1170151 karlshäll\1170570 delprojekt teknik karlshäll\Vokaliseringsutredning\kalvholmen_område 10_msun\rapport\pm_geo_hydro\pm
geo_kalvholmen_150115.docx



BILAGA A

Sammanställning och utvärdering av odränerad skjuvhållfasthet

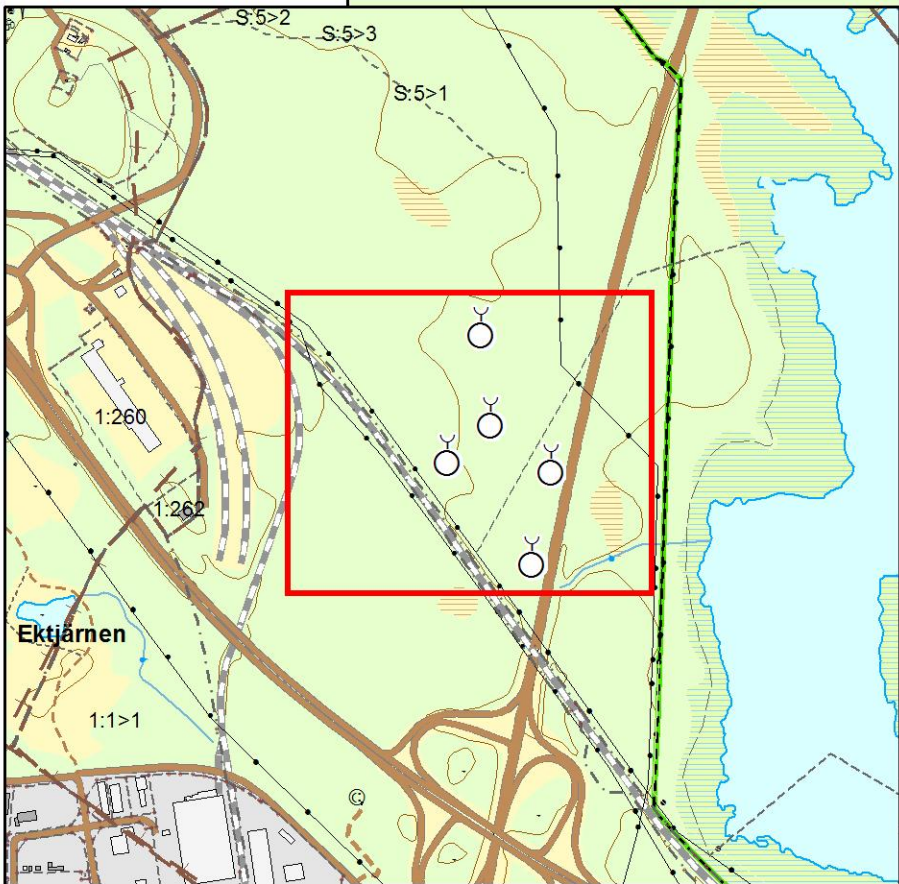
Sammanställning skjuvhållfasthet




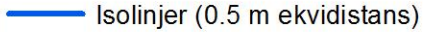


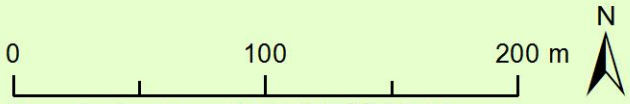
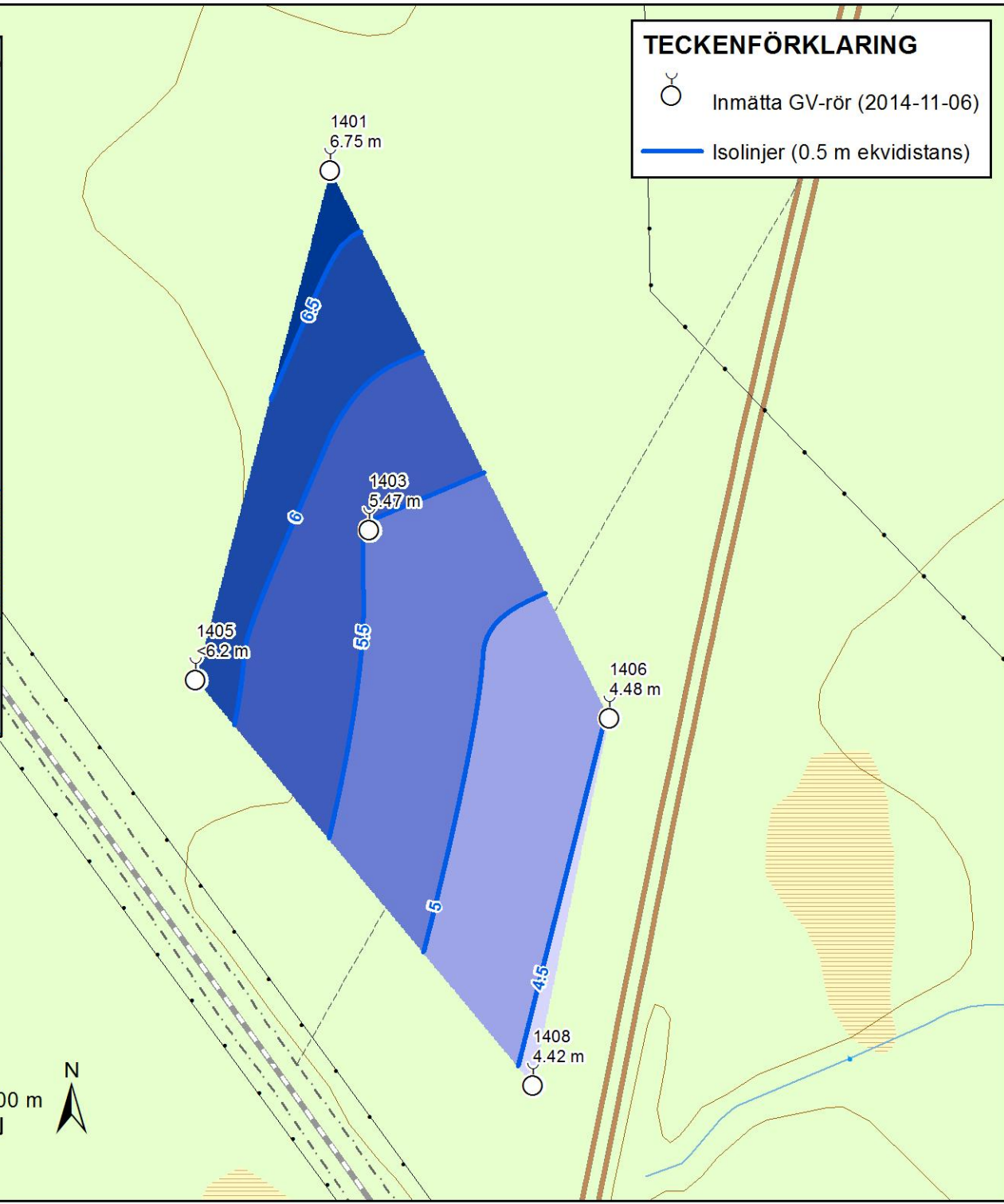
BILAGA B

Grundvattenrörens läge och interpolerad grundvattenyta



TECKENFÖRKLARING

-  Inmätta GV-rör (2014-11-06)
-  Isoliner (0.5 m ekvidistans)



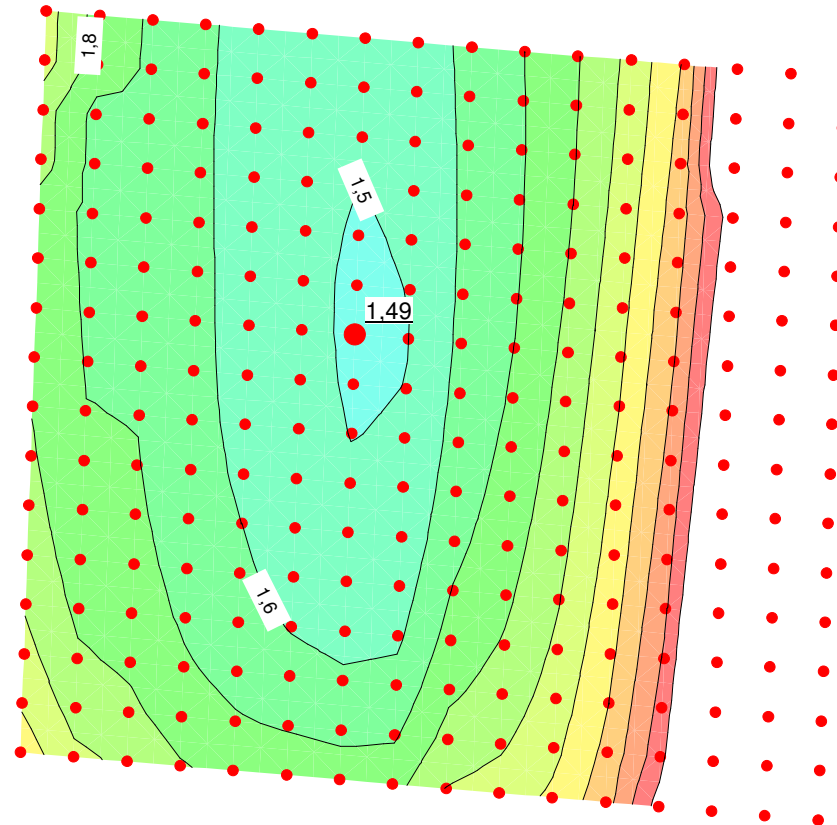
Koordinatsystem: SWEREF 99 21 45
 Höjdsystem: RH2000



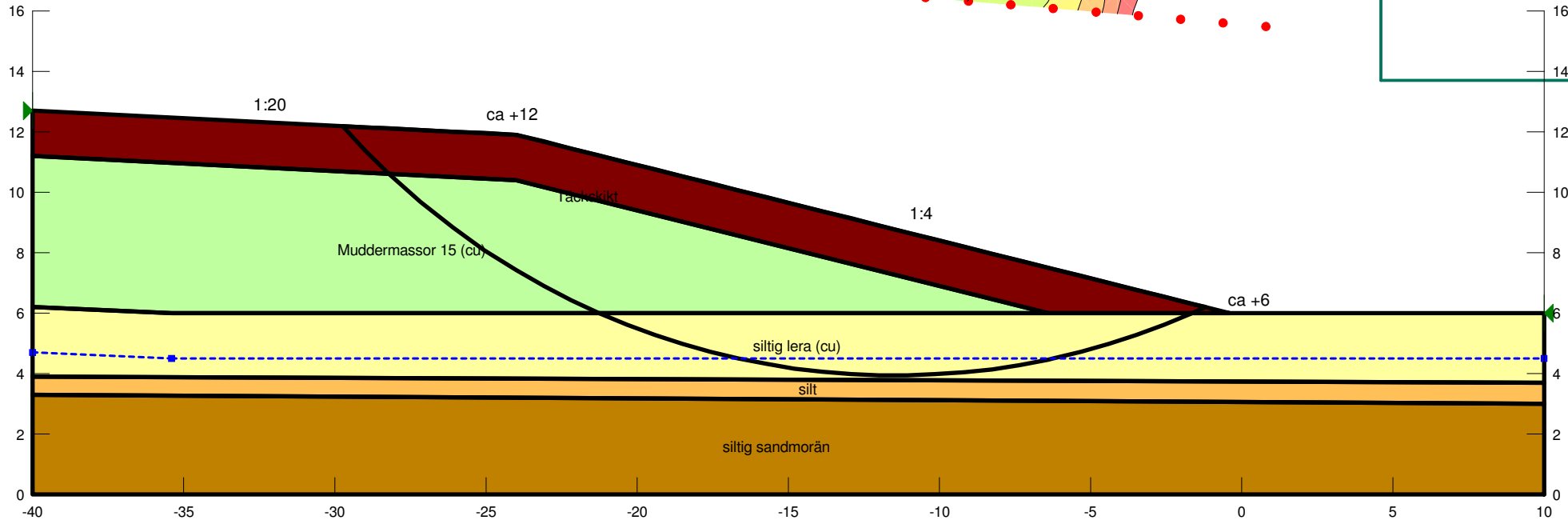
BILAGA C

Stabilitetsberäkningar, planerad mudderdeponi

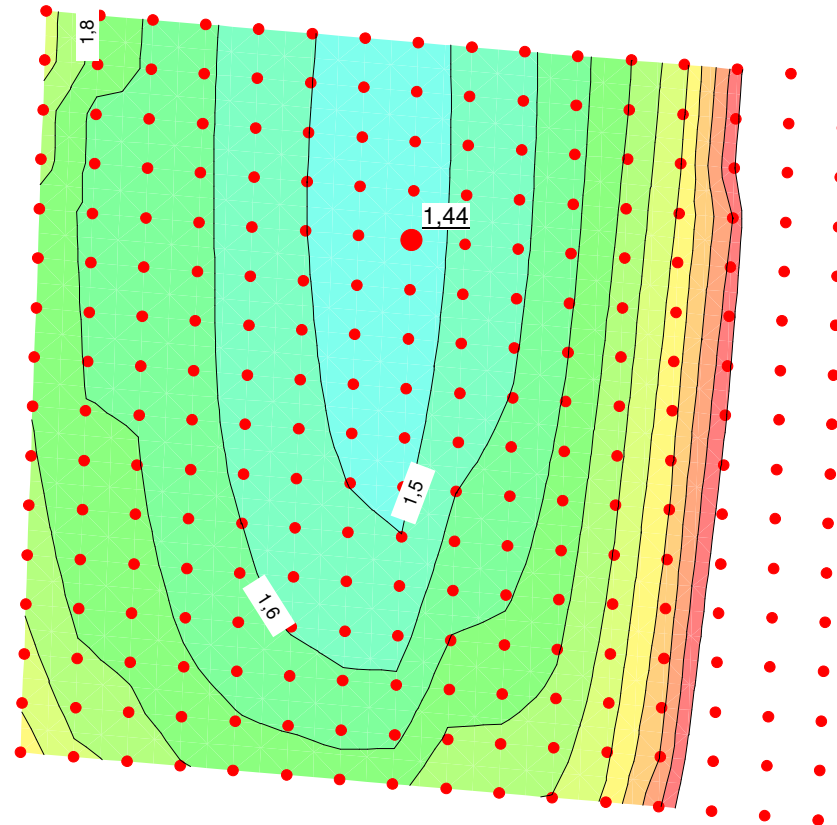
OBJEKT	Kalvholmen, Karlshäll
SKEDE	Lokaliseringsutredning
SEKTION	Sektion A
ANALYS	Odränerad - muddermassor 15 kPa
BESKRIVNING	*
UPPDRAG	Karlshäll - lokaliseringsutredning
UPPDRAGSNUMMER	1151240151
BESTÄLLARE	Luleå kommun
ANALYSDATA	Analystyp: Totalsäkerhetsanalys Beräkningsmetod: Morgenstern-Price (optimization: No) GW & portryck: Piezometric Line Glidytor: Grid and Radius, Left to Right Senast sparad: 2014-12-05; 13:13:25 <small>\\s101-s-mah019\Projekt\2011\1170151 Karlshäll\1170570 Delprojekt Teknik Karlshäll\Lokaliseringsutredning\Kalvholmen - område 10_msun\Beräkningar\A_15.gsz</small>



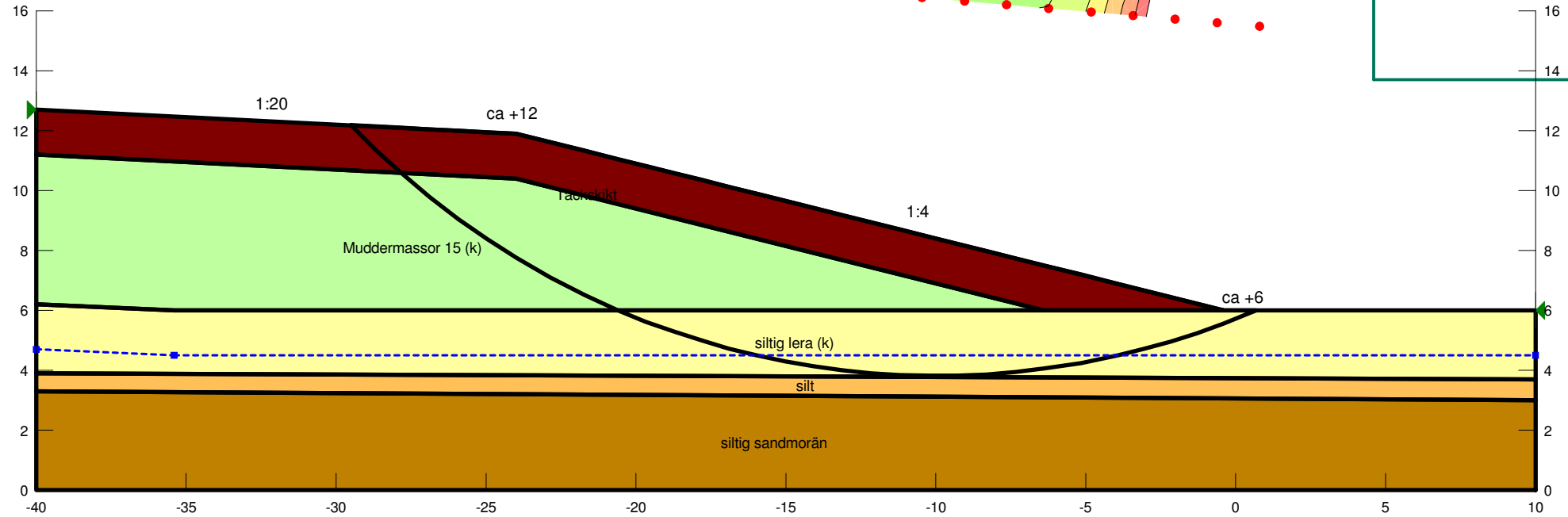
BILAGA			
SKALA	1:200		
JÖRDLAGER OCH MATERIALPARAMETRAR			
Name: siltig lera (cu)	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 15 kN/m ³	Cohesion: 17 kPa
Name: silt	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa
	Phi: 28 °	Constant Unit Wt. Above Water Table: 18 kN/m ³	
Name: siltig sandmorän	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 22 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa
	Phi: 35 °	Constant Unit Wt. Above Water Table: 20 kN/m ³	
Name: Muddermassor 15 (cu)	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 13 kN/m ³	Cohesion: 15 kPa
Name: Täcksikt	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 22 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa
	Phi: 35 °	Constant Unit Wt. Above Water Table: 20 kN/m ³	



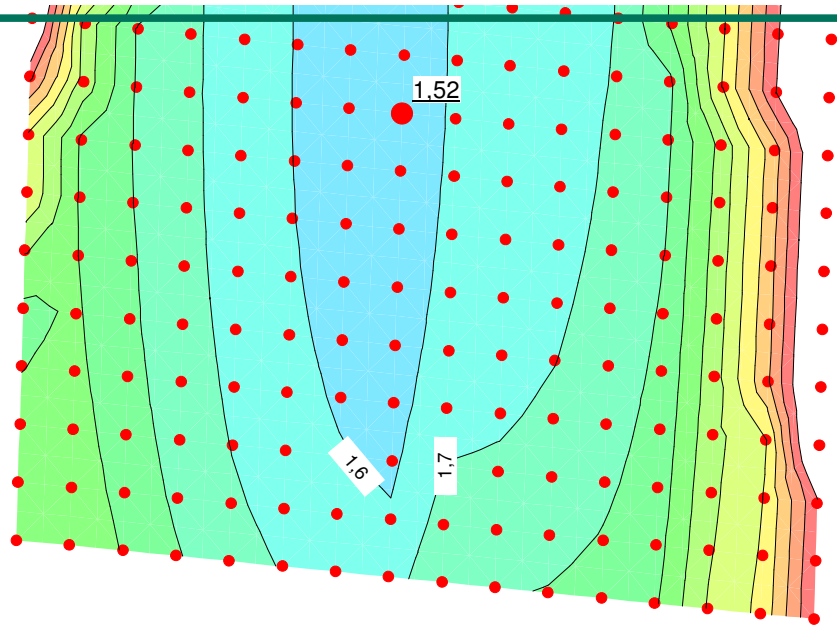
OBJEKT	Kalvholmen, Karlshäll
SKEDE	Lokaliseringsutredning
SEKTION	Sektion A
ANALYS	Kombinerad - muddermassor 15 kPa
BESKRIVNING	*
UPPDRAG	Karlshäll - lokaliseringsutredning
UPPDRAGSNUMMER	1151240151
BESTÄLLARE	Luleå kommun
ANALYSDATA	<p>Analystyp: Totalsäkerhetsanalys Beräkningsmetod: Morgenstern-Price (optimization: No) GW & portryck: Piezometric Line Gridtyor: Grid and Radius, Left to Right Senast sparad: 2014-12-05; 13:13:25 <small>\\s101-s-main\019\Projekt\2011\1170151 Karlshäll\1170570 Delprojekt Teknik Karlshäll\Lokaliseringsutredning\Kalvholmen - område 10_msur\Beräkningar\A_15.gsz</small></p>



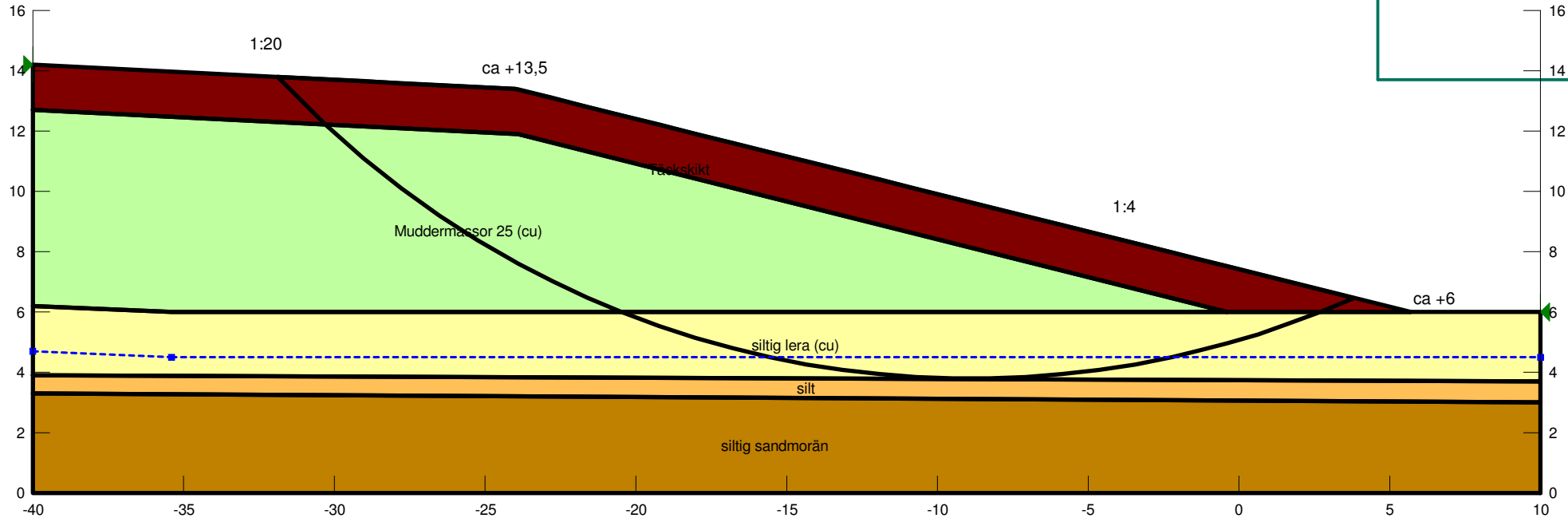
BILAGA	
SKALA	1:200
JÖRDLAGER OCH MATERIALPARAMETRAR	
Name: siltig lera (k)	Model: Combined, S=f(depth) Unit Weight: 15 kN/m ³ Phi: 30 ° C-Top of Layer: 0 kPa C-Rate of Change: 0 (kN/m ² /m) Cu-Top of Layer: 17 kPa Cu-Rate of Change: 0 (kN/m ² /m) C/Cu Ratio: 0,1
Name: silt	Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 20 kN/m ³ Cohesion: 0 kPa Phi: 28 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 18 kN/m ³
Name: siltig sandmorän	Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 22 kN/m ³ Cohesion: 0 kPa Phi: 35 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 20 kN/m ³
Name: Muddermassor 15 (k)	Model: Combined, S=f(depth) Unit Weight: 13 kN/m ³ Phi: 30 ° C-Top of Layer: 0 kPa C-Rate of Change: 0 (kN/m ² /m) Cu-Top of Layer: 15 kPa Cu-Rate of Change: 0 (kN/m ² /m) C/Cu Ratio: 0,1
Name: Täcksikt	Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 22 kN/m ³ Cohesion: 0 kPa Phi: 35 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 20 kN/m ³



OBJEKT	Kalvholmen, Karlshäll
SKEDE	Lokaliseringsutredning
SEKTION	Sektion A
ANALYS	Odränerad - muddermassor 25 kPa
BESKRIVNING	*
UPPDRAG	Karlshäll - lokaliseringsutredning
UPPDRAGSNUMMER	1151240151
BESTÄLLARE	Luleå kommun
ANALYSDATA	<p>Analystyp: Totalsäkerhetsanalys Beräkningsmetod: Morgenstern-Price (optimization: No) GW & portryck: Piezometric Line Gridtyor: Grid and Radius, Left to Right Senast sparad: 2014-12-05; 11:39:15 <small>foto f-a-main019\Projekt2011\1170151 Karlshäll\1170570 Delprojekt Teknik Karlshäll\Lokaliseringsutredning\Kalvholmen Område 10_msu\Beräkningar\A_25.gsz</small></p>

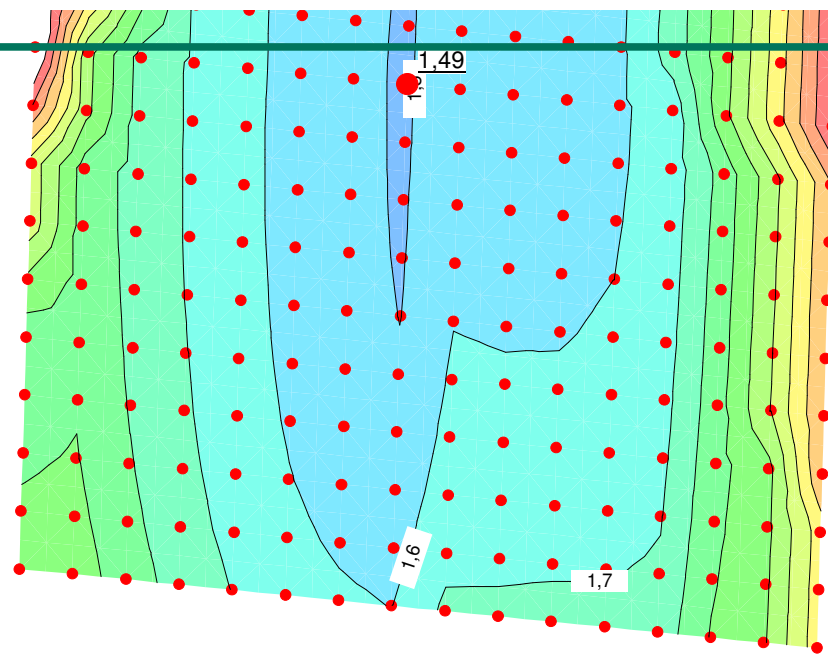


BILAGA	
SKALA	1:200
JORDLAGER OCH MATERIALPARAMETRAR	<p>Name: siltig lera (cu) Model: Undrained (Phi=0) Unit Weight: 15 kN/m³ Cohesion: 17 kPa</p> <p>Name: silt Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 20 kN/m³ Cohesion: 0 kPa Phi: 28 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 18 kN/m³</p> <p>Name: siltig sandmorän Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 22 kN/m³ Cohesion: 0 kPa Phi: 35 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 20 kN/m³</p> <p>Name: Muddermassor 25 (cu) Model: Undrained (Phi=0) Unit Weight: 13 kN/m³ Cohesion: 25 kPa</p> <p>Name: Täcksikt Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 22 kN/m³ Cohesion: 0 kPa Phi: 35 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 20 kN/m³</p>

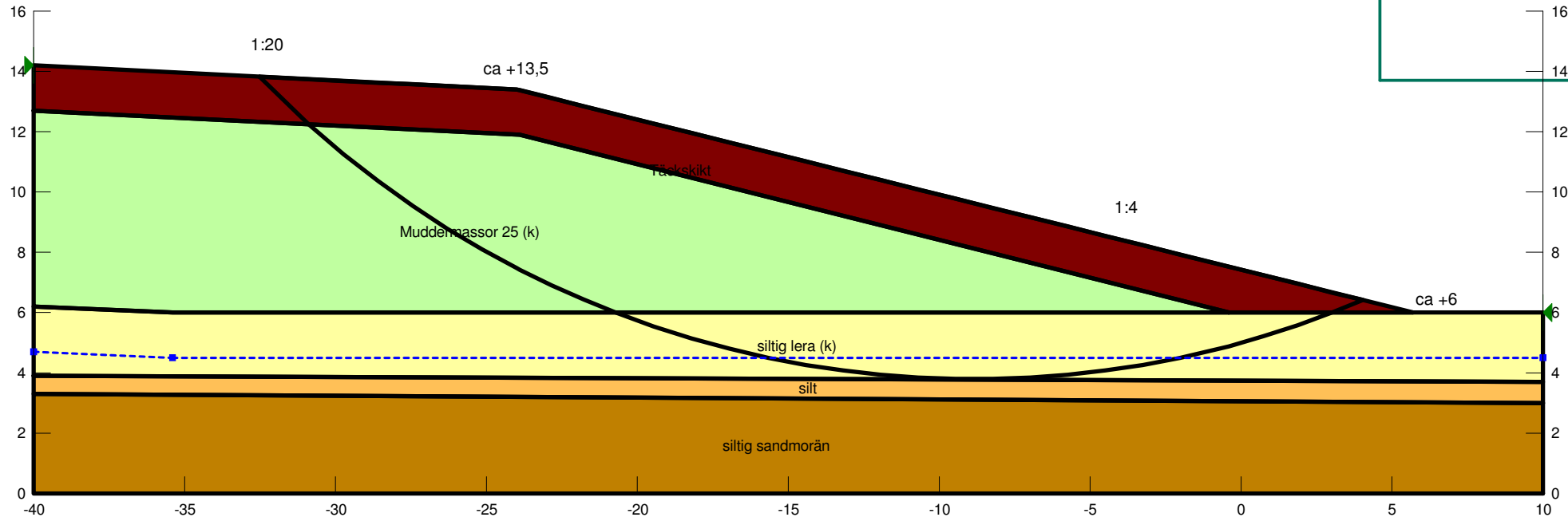




OBJEKT	Kalvholmen, Karlshäll
SKEDE	Lokaliseringsutredning
SEKTION	Sektion A
ANALYS	Kombinerad - muddermassor 25 kPa
BESKRIVNING	*
UPPDRAG	Karlshäll - lokaliseringsutredning
UPPDRAGSNUMMER	1151240151
BESTÄLLARE	Luleå kommun
ANALYSDATA	Analystyp: Totalsäkerhetsanalys Beräkningsmetod: Morgenstern-Price (optimization: No) GW & portryck: Piezometric Line Gridtyor: Grid and Radius, Left to Right Senast sparad: 2014-12-05; 11:39:15 <small>\\stor1-s-man01\Projekter\2011\1170151_Karlshäll\1170570_Delprojekt_Teknik_Karlshäll\Lokaliseringsutredning\Kalvholmen\område_10_msar\Beräkningar\A_25.gsz</small>



BILAGA	
SKALA	1:200
JORDLAGER OCH MATERIALPARAMETRAR	
Name: siltig lera (k)	Model: Combined, S=f(depth) Unit Weight: 15 kN/m ³ Phi: 30 ° C-Top of Layer: 0 kPa C-Rate of Change: 0 (kN/m ²)/m Cu-Top of Layer: 17 kPa Cu-Rate of Change: 0 (kN/m ²)/m C/Cu Ratio: 0,1
Name: silt	Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 20 kN/m ³ Cohesion: 0 kPa Phi: 28 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 18 kN/m ³
Name: siltig sandmorän	Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 22 kN/m ³ Cohesion: 0 kPa Phi: 35 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 20 kN/m ³
Name: Muddermassor 25 (k)	Model: Combined, S=f(depth) Unit Weight: 13 kN/m ³ Phi: 30 ° C-Top of Layer: 0 kPa C-Rate of Change: 0 (kN/m ²)/m Cu-Top of Layer: 25 kPa Cu-Rate of Change: 0 (kN/m ²)/m C/Cu Ratio: 0,1
Name: Täcksikt	Model: Mohr-Coulomb Unit Weight: 22 kN/m ³ Cohesion: 0 kPa Phi: 35 ° Constant Unit Wt. Above Water Table: 20 kN/m ³



Golder Associates är en global medarbetarägd organisation med över 50 års erfarenhet, som i sin rådgivning verkar för att använda jordens möjligheter utan att påverka dess integritet. Vi tillhandahåller kostnadseffektiva lösningar som hjälper våra kunder att nå sina mål inom hållbar samhällsutveckling genom oberoende rådgivning, design och konstruktionslösningar inom våra specialområden miljö, jord, berg och vatten.

För mer information, besök golder.com

Afrika	+ 27 11 254 4800
Asien	+ 86 21 6258 5522
Europa	+ 356 21 42 30 20
Oceanien	+ 61 3 8862 3500
Nordamerika	+ 1 800 275 3281
Sydamerika	+ 56 2 2616 2000

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates AB
Box 869

971 26 Luleå
Sverige
T: 0920-730 30

