© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

4. Ulvsundadepån – fördelar och konsekvenser med en wiresågad 22 meter hög vertikal slänt

Lars Bergkvist, Anja Olsson och Mehdi Bagheri, Golder Associates AB,
Curt Wichmann, Nitro Consult AB

Bakgrund

I Ulvsunda industriområde, beläget i Bromma i Stockholm, bygger SL en depå för Tvärbanans Solnagren vid Ekbacksvägen. Depån skall rymma 56 vagnar som skall trafikera tvärbanan från Sickla udde till Solna station. Då en ny depå för Tvärbanans alla vagnar kräver en relativ stor markyta för att kunna användas effektivt så var det ett krav att kunna utnyttja hela det område man fick bygglov för vid Ulvsunda. Det innebar att man behövde utnyttja marken ända fram till gränsen för det bygglov man fick.

Då bergytan var kraftigt kuperad i området med över 20 m i höjdskillnad så krävdes en vertikal bergslänt för att kunna nyttja marken fullt ut. Lösningen för att kunna ta ut berget med en vertikal lutning på bergslänten blev därför wiresågning. Den resulterande bergslänten är i skrivande stund i princip färdigställd och utgör vad vi vet idag Sveriges till ytan största wiresågade slänt.

Den wiresågade slänten är sammanlagt ca 3000 m^2 med en maxmal höjd på ca 22 m och en längd på över 140 m. Systembultningen omfattade över 300 bultar med längder på 6 till 12 m och kompletterat med selektiva bultar uppskattar vi att över 450 bultar använts för att säkra stabiliteten.

Slänten kan sägas bestå av två delar, en sydlig del som är helt rak i plan och där själva vagnhallen för depån skall anläggas direkt intill, samt en nordlig del som är sågad i flera riktningar och där anslutande spår in till vagnhallen kommer att vara belägna. I den södra delen kommer bergväggen att vara synlig inne i depåns uppställningshall.

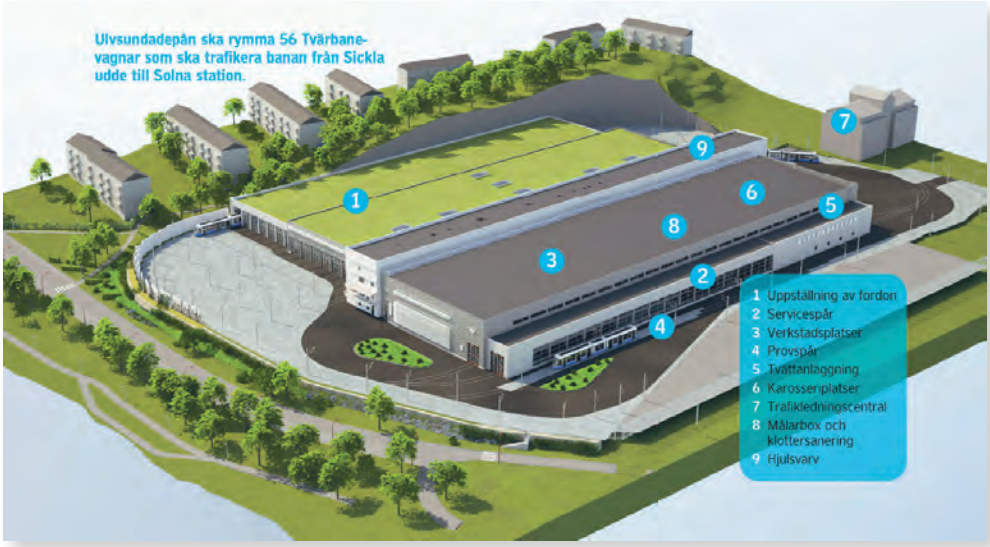
Förberedande arbeten

Wiresågningen av slänten var alltså en förutsättning för projektets genomförande. Wiresågning innebär dels att en del förberedande arbeten skall utföras innan berget slutligen tas ut samt även att kompletterande arbeten hela tiden kan bli aktuella.

Injektering

För att undvika grundvattensänkning i området väster om schakten och förhindra utrinnande vatten i bergskärningen som även kan ge problem med omfattande framtida svallisbildning utfördes ridåinjektering av berget innan sågning och bergs-

© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors



Figur 1. Bild från SLs informationssida visande den färdigbyggda Ulvsundadepån. Mörkt skuggad bakom huset med grönt tak syns den vertikalt sågade bergslänten.

chakt påbörjades. Ridåinjekteringen utfördes i två rader där injekteringen skedde successivt med injektering i vartannat hål och vattenförlustmätning i vartannat hål till dess att tillräcklig täthet uppnåddes. Injekteringen skedde från bakom planerad kontur och ner till ca 5 meter under färdig botten.

Förförstärkning

För att säkra det kvarstående släntkrönet och förebygga blockutfall i samband med sprängningar utfördes förförstärkning i form av krönbultar. Krönbultningen utfördes före sprängningsarbetena med ingjutna 6 meter långa kamstålsbultar, diameter 25 mm. Bultarna monterades längs hela släntkrönet. Krönbultarna har ett inbördes avstånd på 1 meter och är monterade 0,5 m meter bakom slutlig kontur. Bultarna är riktade så att varannan är ca 10 ° från vertikalen och varannan ca 45°.

Geologisk kartering

I ett tidigare skede av projektet hade en bedömning av bergets kvalitet gjorts. Däremot fanns det inte sedan tidigare någon bedömning av sprickornas geometri och karaktär. En geologisk kartering utfördes därför efter avtäckning av bergytan. Syftet med karteringen var främst att ta fram ett underlag för att kunna beräkna vilken erforderlig förstärkning som behövdes för att slänten skulle kunna betraktas som stabil. Den geologiska karteringen användes som underlag för beräkningar i programmen Fracman och UDEC där empiriskt framtagna systembultningslösningar testades tills vi fann ett system som minimerade riskerna för utfall.

© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Wiresågning

Wiresågning påbörjades i ett tidigt skede samtidigt som injekteringarna pågick. Wiresågningen skedde i två olika varianter. Den s.k. blind-cut-metoden, dvs när man sågar sig ner i berget från ytan, skedde via borrade grovhål, ca 250 mm i diameter, med ett avstånd emellan på 6 meter. Denna metod användes för större delen av skärningen. I södra och norra änden användes en metod där man kärnborrar ett i princip horisontellt hål in till närmaste vertikala grovhål varefter man drar vajern runt.

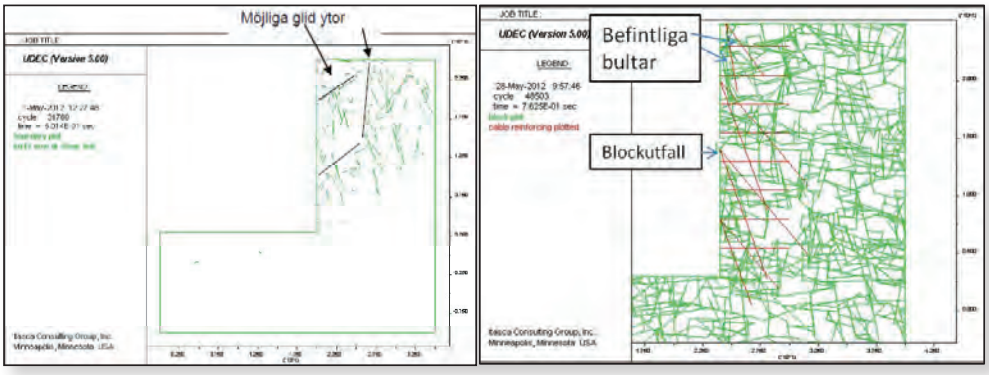
Arbeten i samband med losshållning av berg

Systembultning

Med anledning av bergsläntens höjd och risken för ogynnsamma stora slag med lutning ut mot slänten utarbetades ett förslag för systembultning som i princip innebär att ytterligare 1-2 rader ”krönbultar” monteras längre ned på slänten. Dessa s.k. ”krönbultar” monteras då i ett liknande mönster som de egentliga krönbultarna vid sluttningskrönet, i det här fallet riktade så att varannan är ca 20° från vertikalen och varannan ca 40°. De kompletterande raderna med ”krönbultar” placerades så att de överlappades, dvs den nedre raden påbörjades i nivå ovanför den övre radens fulla bultlängd. ”Krönbultarna” som monterades på den wiresågade väggen hade längden 12 eller 8 m och monterades utan bricka. ”Krönbultarna” kompletterades med ett system med 6-meters horisontella bultar. Systembultningens effektverkan verifierades sedan i UDEC

Baserat på sluttningens totala höjd delades sedan slänten in i olika avsnitt så att den översta raden ”krönbultar” i den wiresågade slänten sattes ca 5 m nedanför krönet.

Som komplement till systembultningen rekommenderades selektiva bultar på 4 m. I verkligheten har både 3, 4, och 6 meter långa bultar använts vid selektiv bultsättning. All selektiv bultning har anvisats på plats av bergsakkunnig.

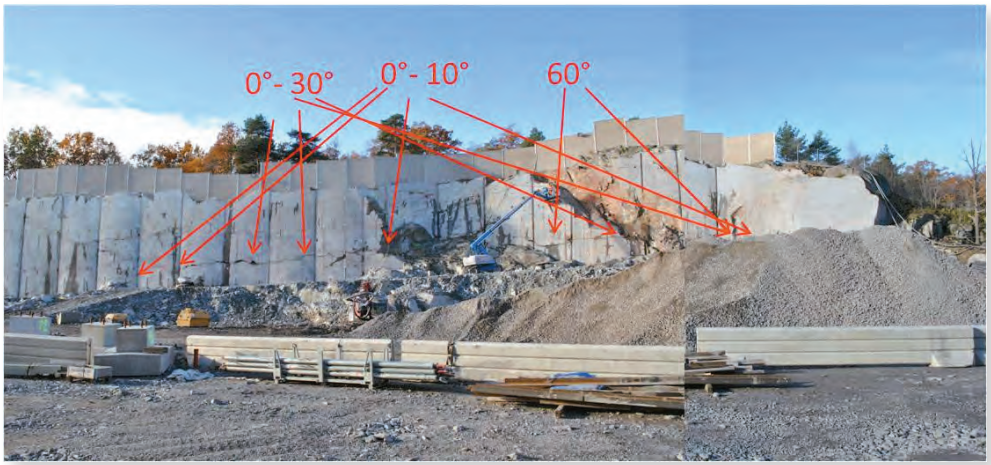


Figur 2. Till vänster ses analysresultatet från en DFN-modell som visar risken för ogynnsamma sprickplan enligt karteringen och till höger visas en sektion där använd systembultning i simuleringsmodellen har testats för utfall.

© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Selektiv bultning vid större lerslag

När den sågade slänten frilades efter sprängning identifierades ett lerfyllt slag ca 7-8 m under släntkrön som löpte utefter hela norra delen av slänten. Leran utgjordes av en glacial lera och fyllde hela slaget vars tjocklek varierade mellan 2 och 10 cm. Eftersom leran i slaget utgjordes av ett homogent material så antogs att denna spricka inte hade någon inre friktion.



Figur 3. Släntens norra delar där ett större lerslag fanns. Pilarna visar vilka olika stupningar som uppmättes för detta lerslag.

Figur 4. Lerslaget i den del där 60° lutning ut mot slänten kunde observeras. M Bagheri från Golder Associates kontrollerar stupningen

Stupningen i den lerfyllda sprickan varierade kraftigt och vid ett av de ställen där den först observerades hade den en mycket ogynnsam riktning med ca 60° rakt ut mot slänten (se fig. 3 och 4) Ställvis var variationen i lutning vid den sågade ytan från ca 45° ut mot slänten till att vara horisontell 1 m därifrån (se fig. 4).

Sedimentfyllda sprickor/slag av den här typen är relativt vanliga i Stockholmsområdet och tros ha uppkommit i samband med förändrade spänningsförhållanden vid inlandsisens avsmältning. I samband med avsmältningen har de öppna sprickorna fyllts med lera från strömmande vatten. I leran som fyllt slaget här vid Ulvsunda har vi t.ex. kunnat se varvighet vilket tyder på en succesiv fyllning av sprickan under lång tid. En teori kring hur dessa sprickor bildas är att det är flera äldre sprickor som samverkar vid ogynnsamma spänningsförhållanden, så att nya sprickor bildas mellan dessa och

© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Figur 5. Variation i stupning illustrerat med en kniv instucken i leran.

slutligen utgör en längre sammanhängande spricka med varierad geometri. Sprickan vi idag kan se vid Ulvsunda kan sägas vara ett exempel på detta. Vissa partier av slaget kan därför ha kraftiga stupningar upp mot 60-70 grader men i sin helhet är antagligen slaget att betrakta som relativt flackt. En skillnad i observationen av detta lerfyllda slag i sågad bergslänt jämför med lerfyllda slag som observeras i konventionellt sprängda bergslänter torde vara att vi i den nu exponerade ytan verkligen kan se att det handlar om ett enda sammanhängande slag med varierande geometri. I normalt sprängda bergslänter är det lätt att anta att det är flera olika slag med lerfyllning som förekommer.

I takt med att schaktningsarbetena fortsatte och en större yta av slänten exponerades konstaterades att det förelåg stor risk att berget ovanför lerslaget skulle kunna glida ut. Därför monterades prismor i släntens överkant för att dagligen mäta eventuella rörelser av berget. Ett kompletterande system av selektiva bultar utarbetades efter det att slagets lutning kontrollerats med hjälp av en sticksond som stacks in så långt det gick i leran (max 1 m). Sonderingen av lerslaget visade att det fanns alla lutningar från 60° mot öst till ca 20° mot väst (se fig. 3). Det gick även att se direkt på sågade ytan att slaget i viss mån även lutar mot syd i södra delen och mot norr i norra delen.

Beräkningar byggda på de uppmätta lutningarna av slaget visade att ett relativt stort antal bultar behövdes för att säkerställa släntstabiliteten.

Figur 6. Del av den sågade slänten där vi monterade selektiva bultar ovanför lerslaget och samtidigt kontrollerade slagets lutning.

© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Dessa beräkningar förutsätter dock att den lutningen vi angett är konstant och då slaget som ovan nämnts tolkades mindre rätlinjigt än vad modellerna förutsade så användes modellen mer som en bas vid förstärkningen. Vi anvisade ett antal bultar ovanför slaget där vi samtidigt sonderade för att om möjligt kunna extrapolera hur slaget fortsatte (Se fig. 6). Om borrningen visade att ”släppor” förekom där slaget borde påträffas enligt den lutning som noterats vid vägg så förstärkte vi ytterligare högre upp. Om det däremot inte förekom några ”släppor” så antog vi att slagets lutning hade minskat i riktningen in i berget. På det här viset bedömde vi att släntens stabilitet säkrades.

Wiresågning – metod som är här för att stanna

Att använda sig av wiresågning vid bergschakter är en metod som används alltmer frekvent på grund av dess fördelar. Det är bara ett fåtal år sedan wiresågningen var en metod som endast utnyttjades vid mycket speciella tillfällen eftersom den ansågs dyr och oprövad. Idag är de flesta medvetna att de kan lägga in den i projekteringsstadiet som ett krav om det är motiverat.

Varför har då wiresågningsmetoden fått sådant uppsving och hur kan den förbättras ytterligare?

Det är tydligt att metoden har ett flertal fördelar jämfört med konventionell konturhålsborrning, åtminstone i stadsmiljö eller annan infrastrukturtät miljö. Det är en utmärkt metod om utrymmet nedanför slänten skall utnyttjas maximalt då den i princip kan läggas precis innanför gränsen för bygglovet och där vara vertikal. I den begränsade miljö som städer ofta utgör kan detta vara en mycket viktig faktor, Ulvsundadepån är ett tydligt exempel på denna fördel.

Figur 7. Wiresågningsslits. I det här exemplet kan man se hur den sågade ytan har tryckts ihop i de övre ytliga delarna medan den fortfarande är öppen längre ned

Andra fördelar som brukar belysas.

- Begränsat utrymmesbehov, maskinerna tar inte speciellt stor plats
- Vibrationsdämpande, speciellt viktigt i bebyggd miljö
- Estetiskt, förespråkare bland t.ex. arkitekter finns (geologiska strukturers skönhet!)

© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

- Produktionstider, kan ge fördelar om sågningen är färdigställd innan sprängning utförs
- Geologi, kan ge en bättre bild av geologin vid aktuell plats, t.ex. hur stora strukturer ser ut i sin helhet

Av de fördelar som kort beskrivs ovan anser vi att den vibrationsdämpande effekten i kombination med att det går att planera in en vertikal slänt är den fördel som är viktigast. Detta gäller speciellt i områden som Stockholm där vibrationer från sprängningar är ett av de krav som oftast utgör begränsningen vid bergschakt. Det finns ett begränsat antal undersökningar utförda som visar hur stor den vibrationsdämpande effekten egentligen är och hur stor betydelse det har om den sågade slitsen trycks ihop av bergets egen kraft innan sprängningarna (se fig.7). Vår erfarenhet är att den dämpar betydligt, även om slitsen är ihoptryckt.

Wiresågning – Hur kan metodiken ytterligare förbättras

Med vår erfarenhet från Ulvsundadepån i färskt minne vill vi belysa några punkter som vi anser kunna förbättra och förenkla proceduren med wiresågning.

Följande aspekter vill vi ta upp för diskussion

- Geologiskt underlag – Kan t.ex. karteringen förfinas för att speciellt belysa de problem som kan uppstå vid wiresågning
- Kärnkartering – Då wiresågningsmetoden i princip alltid kräver kärnborrning bör åtminstone en översiktlig kartering av dessa kärnor utföras i samband med upptagen.
- Storlek på sågytor – Dimensionering av sågytorna beroende på geologiska förhållanden
- AMA – Anvisningar och reglering för wiresågning saknas ännu i AMA och MER

Geologiskt underlag

Konventionell geologisk kartering av sprickor har stor betydelse vid stabilitetsberäkningar för systembultning. Detta kan sägas vara än viktigare vid wiresågning då det ofta är svårare att tolka sprickorna på en sågad vägg jämfört med en sprängd slänt.

Något som oftast görs vid karteringen är även en bedömning av bergkvaliteten inom aktuellt område. Denna kvalitetsbedömning har en tendens att bli ganska generell där man t.ex. anger att ungefär hälften av berggrunden består av klass 1 och hälften av klass 2 enligt RMR-systemet. Wiresågningen, och då främst kärnborrningen som behövs utföras, är dock för ett lyckat resultat mer beroende på förekomsten av slag och mindre svaghetszoner än vad en generell bergkvalitet visar. I tillägg till den generella kvalitetsbedömningen bör man därför på något vis ange sprickegenskaper och tendenser till slag där problem kan uppstå

© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

Figur 8. En nästan färdig slänt i Ulvsunda sedd mot söder.

Kärnkartering

En utförligare geologisk prognos kan enligt ovan underlätta för wiresågningsentreprenören och här finns alltså en bra möjlighet att kunna verifiera och uppdatera kunskapen om geologin i aktuellt område. Borrkärnor är något man tar upp i princip vid varje wiresågning och visst händer det att de karteras översiktligt, åtminstone ger det wiresågaren själv en uppfattning om bergets egenskaper. Vi anser det dock befogat att en sakkunnig geolog är med. Ytterligare information skulle enkelt också fås fram med hjälp av en borrhålskamera.

Storlek på sågytor

Även denna faktor beror till stor del på vilka slag eller svaghetszoner som uppträder i bergmassan som skall sågas. En bättre geologisk prognos borde kunna ge entreprenören en större möjlighet att dimensionera vilka ytor som mest troligt skulle ge störst fördel vid utförandet.

© 2013, Svenska Bergteknikföreningen och författarna/Swedish Rock Engineering Association and authors

AMA

Anvisningar och reglering för wiresågning saknas ännu i AMA och MER. Eftersom wiresågning numera är att betrakta som en normalt förekommande metod vid bergschakt bör detta införas i AMA. Vi presenterar inget förslag för detta i den här artikeln men föreslår att detta utreds snarast möjligt.

Kontinuerlig uppföljning

Det finns en viss risk med att vertikalt sågade slänter som den vid Ulvsunda ser så oerhört stabil ut då bergväggen mer eller mindre ser ut som en betongvägg. För ett oerfaret öga betraktas nog en sågad slänt som mycket ofarligare är en sprängd. Det kanske allra viktigaste i samband med stora wiresågade slänter är dock att ha en kontinuerlig uppföljning under friläggandet av väggen så att projekterad system- och selektiv förstärkning utförs i tid.