

Tredje parts granskning av

Atkins, projekt Frogner Kryssingsspor

Bakgrund

I en andra etapp har Atkins genomfört en utredning för utbyggnad till dubbelspår söderut från stationsområdet för bandelen Frogner Kryssingsspor. Även denna del av utredningen har omfattat fält och laboratorieundersökningar, val av representativa sektioner, tolkning av geometri, portryck och hållfasthet samt beräkning av stabiliteten i utvalda sektioner. För de sektioner som inte uppfyllt NVEs och Jernbaneverkets krav har även bedömningar av erforderliga förstärkningsåtgärder föreslagits.

Undertecknad har av Jernbaneverket, via Atkins, blivit ombedd att göra en tredjepartsgranskning av rubricerade utredning. Detta yttrande gäller undersökningar och beräkningar för utbyggnad av området söder om stationsområdet och omfattar följande sektioner:

Norr om Frogner bru: 30.280, 30.175, 30.065, 29.970

Söder om Frogner bru: 29.880, 29.880T, 29.740, 29.630, 29.520, 29.440, 29. 260, 29.205, 29,040

Undersökningarnas omfattning

Omfattning på en geoteknisk undersökning styrs till stor del av områdets geologi samt syftet med undersökningarna. I detta fall är det primärt fråga om slänternas stabilitet och förhållandena är sådana att stabiliteten behöver förbättras på vissa delsträckor, då säkerhetsfaktorn inte i alla delar når upp till det som Jernbaneverket och NVE normalt kräver.

I de sektioner som väljs ut som representativa bör, som påpekats även i tidigare granskningsrapport, normalt ett par sonderingar utföras. En punkt bör omfatta ostörd provtagning och portrycksmätning. Dessutom bör vingsondering, alternativt CPT-sondering utföras i åtminstone två punkter. Även i denna södra del är den geologiska formationen sådan att djupet till fast botten är ganska stort i stora delar av dalgången och de slänter som finns har sannolikt formats delvis genom erosion och/eller tidigare skred. Tidigare undersökningar som genomförts pekar samtliga ganska entydigt på detta. Därmed skulle kravet på omfattningen av undersökningarna kunna minskas något.

I flera sektioner är underlaget när det gäller jordens egenskaper ganska magert. Undersökningar på större djup än 10 à 15 m är sällsynta. Detsamma gäller portrycksmätningar, som endast utförts i ett fåtal punkter.

Sammantaget är antalet undersökningspunkter i det här aktuella fallet tämligen begränsat och de erhållna resultaten har extrapolerats över större områden än vad som normalt är önskvärt.

Undersökningarnas kvalitet

Den i området aktuella jorden är i många fall mycket lättstörd, vilket medför att det är svårt att ta prover med god kvalitet, vilket i sin tur påverkar resultaten från såväl fält- som laboratorieundersökningarna och man måste vara medveten om svårigheterna att med god noggrannhet bestämma jordens egenskaper i ostört tillstånd.

När det gäller CPTU, så finns en norsk rekommenderad standard, vilken jag utgår från att borrföretaget följt. Detta till trots uppvisar den på CPTU baserade och tolkade odränerade hållfastheten ofta mycket låga värden, stundom negativa. Det är emellertid från sonderingsdiagrammen uppenbart att man inte förborrat genom torrskorpan och att man vid sonderingen genom densamma fått ganska stora negativa portryck. Dessa negativa portryck leder ofta till att portrycksmätaren tappar sin vattenmättnad och därmed blir mätningen av portrycken felaktiga och därmed också den utvärderade hållfastheten. Merparten av de genomförda CPTU-sonderingarna ger därför missvisade värden på den utvärderade hållfastheten och kan därför inte läggas till grund för utvärderingen av hållfastheten. Det framgår heller inte av sonderingsdiagrammen eller dokumentationen i övrigt om man använt s.k. spaltfilter eller vanligt keramiskt filter.

Beträffande vingsondering är det sedan tidigare känt att man erhåller ganska låga värden när man borrar i sensitiv och lättstörd jord. Det är därför troligt att de med vingsond bestämda värdena i lera är för låga och i många fall inte särskild representativa för jordens ostörda odränerade hållfasthet. Det innebär inte att det är dålig kvalitet på undersökningen utan snarare att vingsondering inte är en särskilt lämplig metod att använda i den aktuella jorden. Omvänt kan vingsondering visa för höga värden då jorden innehåller silt- och sandskikt.

I laboratoriet har man utfört ödometerförsök och treaxialförsök, konförsök samt enkla tryckförsök, utöver bestämning av vattenkvoter, flytgränser och densitet. Ödometerförsöken uppvisar inget tolkningsbart förkonsolideringstryck (modulen ökar monotont) och det framgår att proverna är påtagligt störda. Treaxialförsöken ger för de flesta prover en volymändring vid konsolidering som ligger mellan 3 och 4 %, stundom uppåt 7 – 9%.

Det kan därmed konstateras att proverna är delvis störda. Det behöver dock inte innebära att provtagningen är undermålig, utan återigen kan man konstatera att den aktuella jorden är ytterst svår att hantera.

Kommentarer till de i sektionerna redovisade tolkningarna

Norr om Frogner bru

30.280

I text anges att odränerad hållfasthet är baserad på vinge, laboratorieförsök och CPT. På ritning, redovisas enbart en vinge, som dessutom ligger ca 60 m från spåret.

30.175

Eftersom säkerheten är låg, föreslås en spont, som är ca 3 m hög. Det förutsätts att denna konstruktion kan dimensioneras för långtidsfallet, med en bakåtförankring av stag, som är nära 40 m långa. Uppgift saknas om förväntade stagkrafter, men avstånd mellan stagförankringar är angivna. Undertecknad har inte genomfört någon kontrollberäkning av denna konstruktion. Huruvida den angivna stagtypen förmår uppta erforderliga krafter är ej redovisat. Provbelastning av valda stag, som skall uppta krafterna i kvicklera, krävs.

30.065

I denna sektion är samtliga använda hållfastheter helt baserade på empiri och resultat från borrhål i näraliggande sektioner, eftersom några borrhörningar inte redovisas. Säkerhetsfaktorn är förvisso 1,9, men kontroll av att gjorda antaganden är rimliga, bör utföras. En permanent stödmur, drygt 6 m hög, är redovisad öster om spåret, men beräkningar av stabiliteten för denna saknas.

29.970

Samma hållfasthet enligt empiri är antagna i alla tre redovisade borrhål, förmodligen beroende på att den angivna plushöjden är densamma i alla tre hålen. Detta stämmer emellertid inte med nivåerna på sektionsritningen. Dessutom anges LG09 ha den högsta hållfastheten, trots att den på planritningen har den högsta plushöjden.

Söder om Frogner bru

29.880

Hållfastheterna vid höjdområdet är i stort baserade på empiri, även om det finns några undersökningar ner till 10 m djup i västra delen av området.

29.880T

Hållfastheterna är här baserade på empiri och utgör förmodligen ett försiktigt val. Viss uppfyllning medför att säkerheten vid höjden höjs ca 7%.

29.740

Här finns ganska gott om undersökningar på nivåerna ner till 15m, om än bara tre triaxialförsök. Hållfastheterna är i förhållande till undersökningsresultaten valda något

på försiktiga sidan. Hållfastheterna vid höjdområdet, framförallt på större djup, ner till ca 30 m, är baserade på en extrapolering av ovanförliggande undersökningar och medför låga säkerhetsfaktorer för ett stort område och erforderliga förstärkningsåtgärder blir tämligen omfattande.

29.630

Omfattningen på undersökningarna är mycket knapphändiga. Likväl har hållfastheten i mitten av sektionen valts förhållandevis högt. Några pålitliga undersökningar under nivån 5 m finns inte (de som finns verkar påtagligt störda och missvisande).

29.520

Denna sektion ligger bara drygt 100 m från föregående sektion. Underlaget är bättre avseende hållfastheten. Utgående från skjuvhållfastheten från vinge, kon och enkla tryckförsök ger en förväntad hållfasthet för triaxialförsök aktiv som angivits. Ett triaxialförsök är utfört, men pekar på ca 20 kPa lägre värde.

Uppfyllningarna intill spår blir omfattande, återigen till följd av en djup glidyta, där hållfastheterna extrapolerats, snarare än bestämts experimentellt.

Avschaktningen vid Leira är motiverad och bör åtföljas av någon form av erosionsskydd.

29.440

I princip samma borrhål ligger till grund för val av hållfastheter.

Vad som sagts om stabiliteten vid Leira för 29.520 gäller i princip även i denna sektionen.

Av figuren framgår inte så tydligt hur stor uppfyllningen vid kyrkogården är. Verkar som om uppfyllningen borde vara något större för att ge den förstärkningsgrad som redovisas.

29.260

Underlaget beträffande skjuvhållfastheten är tämligen gott, fast även här saknas tillförlitliga undersökningar mot djupet. Det leder till en förstärkning vid kyrkogården som kanske kan ifrågasättas.

Avschaktning vid Leira motiverad och bör kompletteras med erosionsskydd.

29.205

Avschaktning vid Leira motiverad och bör kompletteras med erosionsskydd.

29.040

Underlaget för val av hållfastheter är i hål 11LG02 mycket gott. De bestämda hållfastheterna stämmer mycket väl med empirin, även om triaxialförsöken uppvisar ganska stora konsolideringstörningar.

För övriga delar av slänten har man valt i stort sett samma hållfasthetsfördelning, trots

att nivåskillnaden är dryga 30 m. Det antyder att slänten, kanske trots allt inte primärt är en erosionslänt.

En lång glidyta, närmare 200 m lång och över 30 m djup, med låg säkerhetsfaktor medför mycket omfattande uppfyllningar ner mot Leira. Om dessa skall utföras måste man beakta sättningar och eventuell strukturstabilitet hos materialet, så att uppfyllnaderna i sig inte utlöser ett skred. Det är vidare viktigt att man noga beräknar och föreskriver hur utfyllnaderna skall genomföras och vilka kontrollåtgärder som skall vidtas, så att själva arbetet inte äventyrar den lokala stabiliteten.

Rimlighet i gjorda tolkningar av geometri, portryck och hållfasthet

Det finns en lång erfarenhet från undersökningar på lera av den här typen och databaserna har efterhand byggts på och resulterat i en empiri, som förvisso uppvisar viss spridning, men ändå ger en god uppfattning av vilka egenskaper som kan förväntas hos en viss jord. Utgående från befintliga effektivspänningar och konsolideringsförhållanden, kan en uppskattning av den odränerade och dränerade hållfastheten göras. I denna spekulering ingår dock antaganden om hur slänterna bildats och därmed hur spänningsutvecklingen i slänten varit historiskt.

I norra delen av området är det rimligt att anta, som Atkins gjort, att bassängen ursprungligen hade en nära nog horisontell överyta på höjden +143. Detta har även NGI utgått från i sin tidigare utredning av ett i området inträffat skred. I den redovisning av hållfastheter som jag tagit del av, redovisas hållfastheter baserade på CPTU, kon, enkla tryckförsök, triaxialförsök och vingsondering. Dessutom finns beräknade empiriska värden för den aktiva hållfastheten redovisad. I samtliga diagram redovisas den valda aktiva hållfastheten, s_{uA} , med fet, streckad linje och i vissa diagram finns även s_{uDS} , redovisad, då med prickad linje.

Längre söderöver är det inte lika entydigt att slänten bildats genom erosion och Atkins har då i de flesta fall valt att inte tillgodoräkna sig den högre hållfastheten orsakad av en eventuell överkonsolidering.

Som påpekats tidigare är underlaget när det gäller bestämningen av hållfastheten för en del av sektionerna tämligen magert och enstaka provtagningshål måste antas gälla för stora volymer. Någon särskilt nyanserad beskrivning av hållfastheten har därför inte varit möjlig.

Den odränerade aktiva hållfastheten har genomgående utvärderats som konstant (s_0) ner till ett visst djup (z_1) och därunder ökande med ett visst värde per meter (k).

När det gäller val av ökningen med djupet för s_{uA} så har den genomgående valts till drygt 3kPa/m, vilket stämmer väl med empirin. Valet av s_0 varierar dock ganska mycket, beroende på vilka undersökningsresultat som funnits tillgängliga. Detsamma gäller z_1 . Något resonemang kring generalisering för delområden när de gäller s_0 och z_1 görs inte, kanske delvis för att det är svårt att göra det baserat på det bitvis ganska magra underlaget.

Den enda sektion där man har ett förhållandevis komplett underlag är 29.040 och då har man gjort en välgrundad tolkning som visar sig vara i stort sett liktydig med vad empirin förutsäger, dock med beaktande av att slänten kanske inte bildats genom erosion. I övriga håll, där underlaget varit mer begränsat, har man överlag valt att göra något försiktiga bedömningar. Något annat är kanske svårt att motivera. Detta medför emellertid att hållfastheterna förmodligen är högre i verkligheten än vad som använts i analyserna.

Beräkningar

Stabilitetsanalyserna är utförda med programmet Slope/w. Programvaran är väl utprövad och anses i branschen fungera väl. Man har i beräkningarna av säkerhetsfaktorerna använt cirkulär cylindriska glidytor, vilket är praxis i denna typ av utredningar.

Beräkningarna som genomförts när det gäller *odränerad analys* följer gängse praxis och verkar vara noggrant genomförda. Det framgår att man använt ADP-analys, vilket jag anser att man bör göra i detta fallet. När det gäller val av hållfastheter för sektionerna har detta gjorts baserat på de hållfastheter som utvärderats och diskuterats tidigare.

Beräkningar har även redovisats för dränerad analys. Här har man genomgående för leran använt $c' = 0$ och $\phi' = 30^\circ$. Praxis i Sverige är att man väljer $c' = 0,1 * \tau_{fu}$, ($\tau_{fu} = s_{uDS}$). Portrycket har antagits hydrostatiskt med en grundvattenyta 2 à 3 m under markytan. En känslighetsanalys har sedan gjorts för att se hur säkerhetsfaktorn för dränerad analys påverkas av ev. artesiskt tryck. Det tycker jag är bra, men det hade även varit bra om man kontrollerat den dränerade analysen med en stigande grundvattenyta.

För att inte få allför grunda glidytor har man bara räknat för ett visst minsta djup på glidytan, vilket verkar vara runt 10 m. Jag tror att en mer nyanserad beskrivning av hållfastheten och portrycken för jordprofilen, åtminstone i de övre jordlagren, skulle ge lite grundare glidytor, kanske 4 à 6 m, vilket också är i mer överensstämmelse med det inträffade skredet norr om detta område, som NGI analyserat. Det finns anledning att studera detta närmare så att även dessa glidytor visar sig ha tillfredsställande stabilitet.

Förstärkningsåtgärder

Lokalt är säkerhetsfaktorn mot skred med de antagna hållfastheterna låg i ett flertal sektioner och ganska omfattande förstärkningsåtgärder har föreslagits.

I de lokala slänterna nere vid älven Leira, där säkerhetsfaktorn för dränerad analys är låg, har man föreslagit avschaktning som ger en utfläckning av slänten. Det är den mest effektiva åtgärden. Denna bör emellertid i vissa sektioner kompletteras med något erosionsskydd, i syfte att säkra släntens stabilitet långsiktigt. Det kan vara motiverat att kontrollera dessa slänter även med en stigande grundvattenyta, för att se hur pass känsliga de är.

I några sektioner har man funnit att stabiliteten vid höjdområdet är otillfredsställande när det gäller den odränerade analysen, och då föreslagit uppfyllnad i passivzonen. Även ganska begränsade åtgärder ger beräkningsmässigt god effekt på stabiliteten. Normalt är emellertid en avschaktning i aktivzonen att föredra, men kan här förmodligen av utrymmesskäl inte komma ifråga.

När det gäller områdesstabiliteten, där man avser långa glidytor (upp till 200 m) på ganska stora djup (uppemot 30 m och stundom ännu djupare) så är den i några sektioner otillfredsställande, värst i sektion 29.040. Förstärkningsåtgärderna blir här mycket omfattande och ej heller helt okomplicerade att utföra. Om de kommer till utförande bör man noga föreskriva tillvägagångssätt och kontrollåtgärder.

Det finns emellertid skäl att tro att erforderliga åtgärder kan begränsas, om man genomför en fördjupad utredning av jordens hållfasthetsegenskaper. Bestämningen av hållfastheten baseras i stor omfattning på extrapolationer av resultat från grundare nivåer.

Sammanfattande kommentarer

- Omfattningen av de geotekniska undersökningarna är otillräcklig för en detaljerad dimensionering av erforderliga förstärkningsåtgärder. Framför allt saknas tillförlitliga bestämningar av hållfastheten på större djup, som i många fall är dimensionerande för områdesstabiliteten.
- Jorden är lättstörd och därmed är de verkliga egenskaperna, främst hållfasthetsegenskaperna, svåra att bestämma. P.g.a. störning vid försöksutförandet erhålls dock normalt något låga värden, även om man i skiktad jord kan överskatta hållfastheten. Det är således inte sannolikt att man har överskattat jordens verkliga hållfasthet, utan snarare underskattat den.
- Beräkningarna av säkerhetsfaktorerna verkar väl genomförda och följer gängse praxis.
- De förstärkningsåtgärder som föreslås vid älven Leira är rimliga och ger den ökning av säkerhetsfaktorn som NVE kräver.
- Med de skjuvhållfastheter som valts är stabiliteten vid höjdområdena bitvis otillfredsställande. Begränsade uppfyllnader ger beräkningsmässigt erforderlig höjning av säkerhetsfaktorn, men avschaktning i aktivzonen vore att föredra.
- Områdesstabiliteten är i vissa sektioner otillfredsställande och medför krav på omfattande uppfyllnader. I de fall dessa uppfyllnader kommer till utförande, måste noggranna direktiv för genomförande och kontroll föreskrivas.
- En detaljerad dimensionering av förstärkningsåtgärder skall föregås av kompletterande noggranna geotekniska undersökningar så att osäkerheten i valda

hållfastheter minskas. Detta gäller speciellt hållfastheten på större djup, där områdesstabiliteten är otillfredsställande.

Göteborg 2012-06-01

A handwritten signature in cursive script, reading "Göran Sällfors".

Göran Sällfors
professor