

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Peaty ground- made for mass stabilization

Madelene Markusson.

WSP Sverige AB, SWEDEN, madelene.markusson@wspgroup.se

ABSTRACT

Roslagsbanan is a narrow gauge railway in the northeast region of Stockholm. The railway was built in the early 1900s. WSP has produced construction documents for the part Rydbo-Åkers Runö and the construction of this part took place in the year 2013 and 2014. The part was divided in three segments. In the second segment there is an area called Täljö station where mass stabilization was used as ground reinforcement. Soil layers at Täljö station generally consist of an upper layer of peat and mud with a thickness of up to 4 m resting on soft clay down to at most 15 meters below the ground surface. The area has previously had problems with settlements and in 2007 tracks adjustment and reinforcement through mass stabilization of peat layer of the existing track was done.

Mass stabilization is a fast and cost effective method for hardening the loose soil layers by adding binding agents. With this method the entrepreneur do not have to transport poor masses to landfill and refill with qualified filling. This saves time, money, and is a gentle method for reinforcement from an environmental perspective since existing soil layer is used on-site (in-situ) so that transport and thermal ballast are minimized. Another advantage of mass stabilization is that the working area size can often be reduced since the excavation of the slope can be avoided. Based on the good experience from previous stabilization works mass stabilization in combination with lime cement columns in the claylayer were also selected for the new renovation and construction of a new track. Work on Roslagsbanan is a good example of how mass stabilization effectively can be used to reinforce organic soils and cohesive soils under road- and railway embankments.

Keywords: Masstabilisering, kalkcementpelare, torv, peat, järnväg

1 BAKGRUND

Roslagsbanan är en smalspårig järnväg från början av 1900-talet. Roslagsbanan trafikerar Stockholms nordöstra förorter och denna artikel behandlar främst Täljö station på sträckan Rydbo-Åkers Runö.

Bansträckningen går genom fastmarkspartier men korsar däremellan gamla havsvikar med organisk jord och sediment av lera.

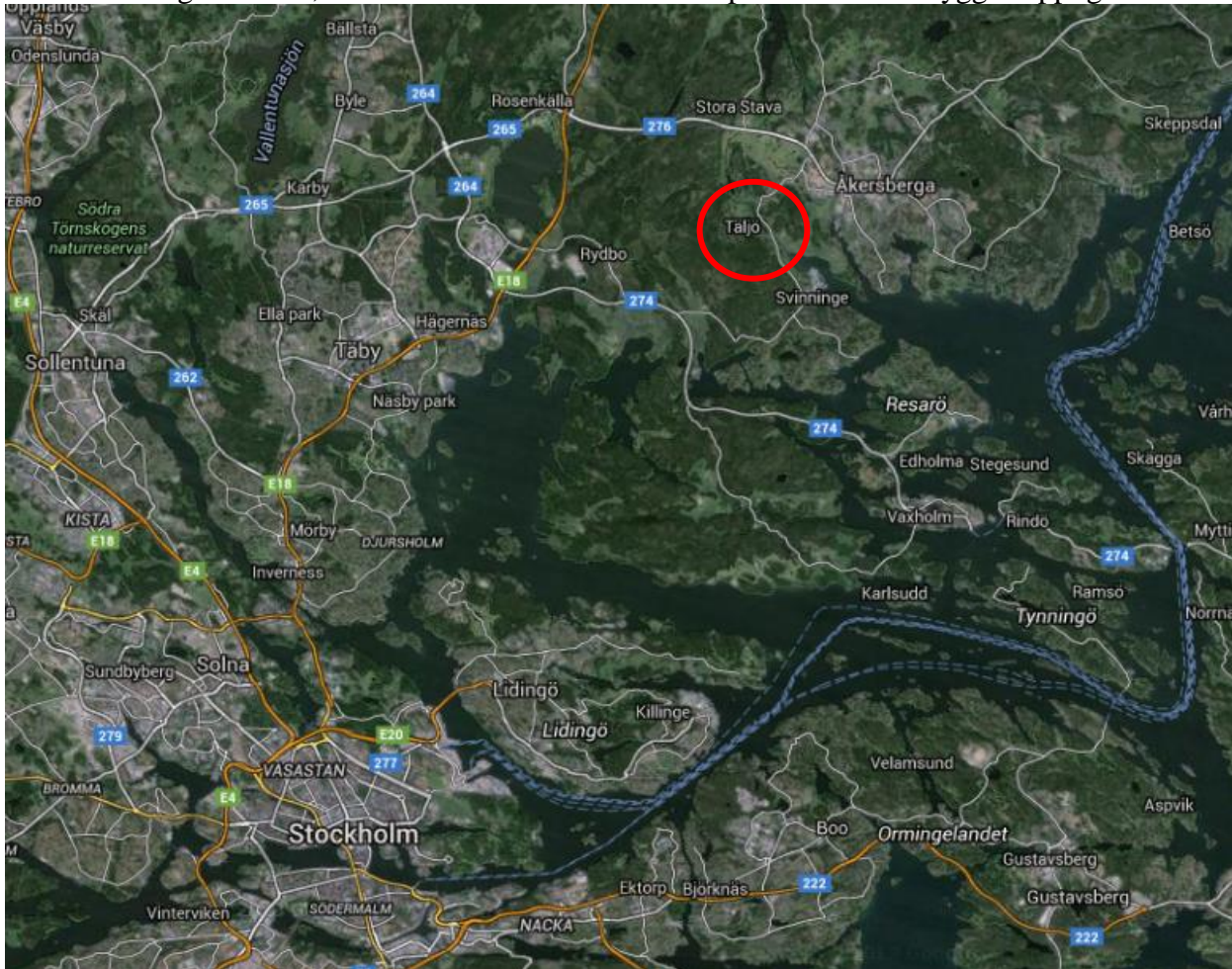
Banan byggdes genom utläggning av trärustbädd men var i övrigt oförstärkt. När banan skulle färdigställas försenades invigningen på grund av skred i järnvägsbanken, dock ej på aktuell sträcka. Järnvägsbanken har sedan erhållit sättningar som på vissa avsnitt uppgår till ca 1 meter.

2 PROJEKTERING AV UPPRUSTNING STRÄCKAN VIGGBYHOLM-ÖSTERSKÄR

År 2007 projekterade WSP Sverige AB, på uppdrag av Stockholms Lokaltrafik (SL), en upprustning av sträckan mellan Viggbyholm och Österskär. Upprustningen innebar bl.a. att masstabilisering utfördes som förstärkningsåtgärd på en sträcka av ca 500 meter på delsträckan Rydbo- Åkers Runö. En stor del av problemsträckan låg vid Täljö station. Här passerar banan flera områden där jordlagren består av torv och gyttja med underliggande lager av lera vilket med årens lopp inneburit problem med både stabilitet och sättningar vilket resulterat i att regelbundna spårjusteringar erfordrats. Då upprustning av banan beslutades, vilket innebar ökad standard genom att tex betongslipers och helsvetsade räler anlades, fanns mindre tolerans för regelbundna justeringar.

Vid Täljö station förelåg problem med att plattformselementen satt sig och stationen planerades att rivas. Sonderingar genom befintlig bank, utförda år 2007, visade på att banken satt sig mellan 0,5 till 2 meter i den

organiska jorden. Upprustningen innebar att den gamla banken ersattes med en ny bank och masstabilisering utfördes under den nya bankens hela bredd. Därefter skulle en temporär stationen byggas upp igen.



Figur 1 Kartbild hämtad från google maps. Aktuellt område är inringat med rött.

3 GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN VID TÄLJÖ STATION

3.1 Terräng

Järnvägsträckningen går över kärrmark mellan ca km 23+120 till 23+500. Marknivån över den skogsbevuxna kärrmarken är ca +24,5 till +25 mellan 23+140 och 23+280 och ca +22 på resterande sträcka, med små variationer.

3.2 Jordlagerbeskrivning

I läget för befintlig järnväg finns överst någon till ett par meter fyllning. Där marken är orörd består jordlagren överst av 1 à 4 meter torv och gyttja. Därunder finns lera som vilar på friktionsjord på berg. Djupet till

fasta jordlager eller berg varierar mellan ca 5 till 15 meter. Torven är i allmänhet medel- till högförmultnad. De övre delarna av leran är gyttjig.

Torven och gyttjan har vid sidan av järnvägsbanken en korrigerad odränerad skjuvhållfasthet som är ca 4 kPa ner till 4 meters djup från markytan.

Lerans korrigerade odränerade skjuvhållfasthet bedöms vara 5 kPa på 4 meters djup från markytan, med en ökning av 1,5 kPa/meter mot djupet därunder.

Leran är mellan- till högsensitiv med värden mellan 8 och 63 och under ca 12 meter djup klassificeras leran som kvick. Torvens och gyttjans densitet är ca $1,2 \text{ t/m}^3$. Leran har en densiteten på mellan ca $1,4$ och $1,7 \text{ t/m}^3$ där

de lägre densiteten på leran gäller den övre gyttjiga leran.

Den naturliga vattenkvoten (w_N) i torven och gyttjan varierar mellan ca 100 och 550 % och konflytgränsen (w_L) varierar mellan ca 100 till 500 %. Lerans naturliga vattenkvot varierar mellan ca 60 till 80 % och konflytgränsen varierar mellan ca 40 och 60 %.

Leran bedöms vara överkonsoliderad med ca 25 – 30 kPa (OCR ca 1,7) under banken. Kompressionsmodulen M_L är låg. I torven och gyttjan bedöms M_L vara ca 130 kPa och i leran ca 150 – 300 kPa.

3.3 Hydrogeologiska förhållanden

Enligt utförda grundvattenmätningar ligger grundvattentrycket i friktionsjorden under leran något över markytanivån.

4 MOTIV TILL VALD FÖRSTÄKNINGSMETOD

Olika åtgärdsmetoder övervägdes såsom förstärkning genom KC-pelare eller pådäck, eller urskiftning av torv- och lerjordar. Valet av masstabilisering motiverades med att metoden bidrar till en miljömässig nytta genom att befintliga massor nyttjas på plats (in-situ) så transporter och tillförd ballast kan minimeras. Masstabilisering bedömdes även vara en snabb och kostnadseffektiv metod att hantera sättningsproblematiken samt att det var ur största vikt för SL att snabbt kunna ta järnvägen i bruk igen.

5 FÖRUNDERSÖKNING OCH GENOMFÖRANDE AV MASSTABILISERADE PROVYTOR

5.1 Provytor

Vald förstärkningsmetod blev masstabilisering genom inblandning av cement och granulerad masugnslagg (Merrit 5000) i den organiska jorden.

För att säkerställa antagandena vid projekteringen och optimera inblandningen av blandningar utfördes provinbladningar på en provyta intill planerad förstärkning.

Det beslutades att ett område närmast Täljö station var bäst lämpad. Provytan var ca 20 x

5 meter och 4 st inblandningar användes vilket innebar att provytan delades in i 5x5 meter stora rutor.

Följande fyra provinbladningar provades

- I 200 kg/m³ och 70/30 (cement/ merit) med extra vatten vid utförandet
- II 200 kg/m³ och 70/30 (cement/ merit) utan extra vatten vid utförandet
- III 250 kg/m³ och 70/30 (cement/ merit) utan extra vatten vid utförandet
- IV 250 kg/m³ och 70/30 (cement/ merit) utan extra vatten vid utförandet, fyllnadshöjd det dubbla strax intill stabilisering.

Provytorna fylldes upp med 0,5 meter fyllning ovan en geotextil strax efter utförd stabilisering utom för provyta nr IV där 1 meter fyllning lades ut ovan geotextilen efter stabilisering. Två peglar installerades mitt på varje provyta. Peglarna installerades på geotextilen innan fyllningen lades ut. Efter 7 dygn lades ytterligare 0,5 meter fyllning upp på ytorna I till III.

Strax innan stabiliseringen genomfördes luckrades jorden upp av en traktorgrävare. Stabiliseringen genomfördes med trumverktyg.

5.2 Provning

Provning genomfördes genom kärnprovtagning med S-Geoborr med en kärndiameter av 102 mm och ytterdiameter av 158 mm. Ett kärnborrhål utfördes på varje yta och 3 till 4 delar av kärnan provtrycktes på SGI's laboratorium i Linköping. Ett par KPS-sonderingar med vinge utfördes på alla ytor utom yta IV där endast sondering kunde genomföras pga den stabiliserade ytans höga fasthet. Pelarvingborr gick endast att genomföra i yta I då den stabiliserade jorden i övriga ytor var för fast. Provning utfördes 1 vecka, 2 veckor samt 5 till 6 veckor efter stabiliseringen.

5.3 Utvärdering av provningen

Den stabiliserade massan var inte homogen och fastheten varierade både mot djupet och i sidled. Eftersom provningen utförts med olika metoder som provar olika stora volymer samt bedöms ha olika noggrannhet vid utvärdering av den stabiliserade jordens

skjuvhållfasthet gjordes en subjektiv viktning av resultaten med avseende på metodernas noggrannhet och metod vid utvärdering. Kärnprovtagning viktades högst (7/10) och sondering med 50 mm spets respektive CPT-sondering viktades lägst (2/10). Generellt tenderade utvärderingen av skjuvhållfastheten med tryckförsök i laboratorium ge ett lägre värde än vid utvärdering av sonderingar.

Efter 1 till 2 veckor var bindemedlet fortfarande varmt vilket betyder att bindemedlet fortfarande brinner och hållfastheten ökar med tiden. Däremot efter 5 till 6 veckor hade bindemedlet svalnat betydligt. Någon markant förändring av skjuvhållfastheten med tiden noterades dock inte. Slutsatsen var att detta berodde på att provomfattningen var för lite samt att massan var för inhomogen för att kunna göra denna bedömning.

Nedanstående tabell redovisar en subjektiv bedömning av skjuvhållfastheten för respektive delyta med bedömda min- och maxvärden i den stabiliserade volymen.

Tabell 1 Sammanställning utvärderad odränerad skjuvhållfasthet.

Provyta	Min (kPa)	Medel (kPa)	Max (kPa)
I (200 kg/m ³)	80	150	270
II (200 kg/m ³)	110	210	330
III (250 kg/m ³)	200	330	530
IV (250 kg/m ³)	200	390	600

Projekteringen baserades på att skjuvhållfastheten i den masstabiliserade jorden skulle vara minst 50 kPa i hela det stabiliserade blocket och ett snittvärde som borde överstiga 100 kPa vilket samtliga provtytor motsvarade.

Någon effekt av tillsatt vatten för provyta I kunde inte skönjas. Det är dock viktigt att torven som har sämst egenskaper vid stabilisering blandas med den underliggande gyttn och leran.

Med ledning av den utförda provningen valdes mängden 200 kg/m³ och blandningen 70% cement och 30% Merrit 5000.

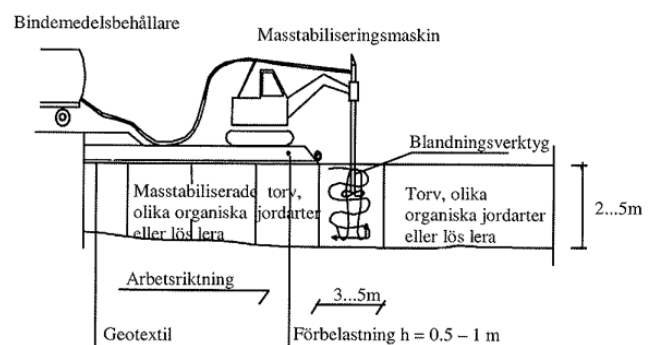
5.4 Uppföljning av sättningsmätning I provytorna

Under provningsperioden, dvs ca 6 veckor, har 5 stycken avvägningar av markpeglar utförts. Måttliga rörelser på mellan 0 till 4 cm har uppkommit vid belastning av provytorna. Den provyta som satts sig mest är yta 4 som bedöms ha fått den högsta skjuvhållfastheten och den bästa stabiliserande effekten.

6 GENOMFÖRANDE AV UPPRUSTNINGEN AV BANAN

Åtgärderna för upprustningen utfördes under trafikavstängning varför tillgänglig tid för genomförandet var begränsad.

Vald inblandningsmängd blev mängden 200 kg/m³ och blandningen 70% cement och 30% Merrit 5000. Förstärkningen genomfördes därefter genom att den befintliga bankroppen samt även överbyggnadsmaterial schaktades bort. Arbetet utfördes succesivt i etapper om ca 5 meter/dag med efterföljande utläggning av underballast efter att den stabiliserade ytan härdat. Arbetena försvårades av att inblandningsverktyget stötte på hinder i form av rustbädd av trästockar. I vissa fall utfördes förskaktning för att rensa bort rustbädden. Efter stabiliseringen påfördes en temporär överlast för att komprimera den stabiliserade jorden. Överlasten lades 1 meter över planerad markyta och med en liggtid av 2 till 4 veckor. Pga den korta tid som överlasten kunde ligga bedömdes att kvarvarande krypdeformationer kan förekomma.



Figur2 Principskiss masstabilisering

7 PROJEKTERING AV SYSTEMHANDLING ÅR 2010 AV STRÄCKAN RYDBO-ÅKERS RUNÖ

År 2010 fick WSP i uppdrag av SL att upprätta en systemhandling för sträckan Rydbo- Åkers Runö där Roslagsbanan föreslog byggas ut till dubbelspår. Vid Täljö station innebar projekteringen av nytt dubbelspår att nytt spår skulle förläggas på södra sidan utmed befintligt spåret med ett spåravstånd på 9 meter med samma profilnivå. Anläggningen och de åtgärder som planerades skulle också förbereda för en framtida övergång till normal spårvidd med tillhörande ökning av trafiklasten (STAX 22,5 ton).

Befintlig temporär plattform norr om befintligt spår skulle rivras och ny mittplattform skulle anläggas.

I samband med framtagandet av systemhandlingen var det av stort intresse att göra en ny utvärdering av utförda förstärkningar eftersom det planerades att utföra liknande förstärkningar i samband med dubbelspårsutbyggnaden. Därför utfördes ytterligare sättningsuppföljning. Den tidigare stabiliserade sträckan var ca 10 till 15 meter bred och stabilisering hade utförts till fasta jordlager eller till som mest 4 meters djup. Förstärkningsarbetena hade utförts sommaren 2007 samt sommaren 2008.

7.1 Sättningsuppföljning

Sättningsmätningar hade pågått under perioden 2007-09-10 till 2010-11-26 dvs under drygt 3 år efter att järnvägens överbyggnad var iordningställd. Mätningar hade utförts på slipers i spårmittpunkt med ett c/c avstånd av 20 meter.

7.2 Resultat sättningsuppföljning

Efter analys av sättningsmätningarna syntes det tydligt att de större sättningarna hade utbildats inom områden där det underliggande oförstärkta lerlagrets mäktighet ökade.

Sträckan 23+120 till 23+270

På denna sträcka installerades 7 st mätpunkter. Totalsättningen varierade mellan

ca 0,5 till 3 cm. Sättningarna bedömdes ha avklingat.

Sträckan 23+390 till 23+460

På denna sträcka installerades 8 st mätpunkter. Totalsättningen varierade mellan ca 1 till 11,5 cm. Sättningarna hade utbildats relativt jämt över sträckan förutom mellan km 23+360 och 23+380 där en sättningsdifferens på ca 8,5 cm uppmätts vilket därmed ej uppfyllde de krav på differenssättningar i längsled som ställts. För sträckan 23+390 till 23+360 bedömdes sättningarna ha avklingat. För resterande del mellan km 23+360 och 23+440 bedömdes sättningarna inte ha avklingat. Här uppskattades sättningshastigheten till 3 cm/år. Det gjordes en bedömning att sättningarna skulle fortsätta utbildas i den oförstärkta leran under den massstabiliserade torven.

7.3 Konsekvenser för föreslagen utbyggnad till dubbelspår

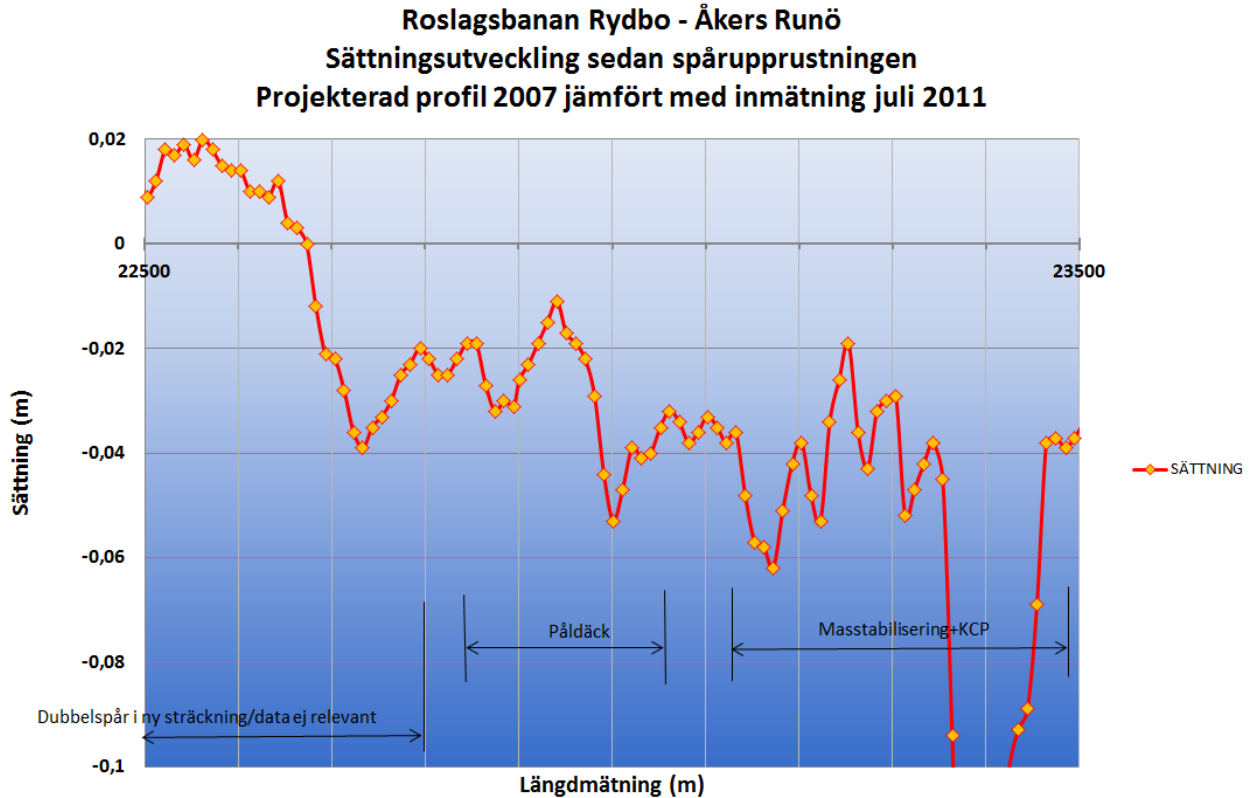
Nya Täljö station planerades att byggas med spåravstånd 6 meter samt mittplattform på sträckan fram till km 23+360. Detta innebar höga sättningskrav (max 1 cm mellan spår och plattform). Eftersom mätningarna visade på att sättningarna avklingat på denna sträckan bedömdes förutsättningarna som goda för förstärkning av kommande dubbelspår på liknande sätt som utförts för upprustningen.

För sträckan 23+360 till 23+420 visade mätningarna att det fanns risk för att sättningarna under det nya dubbelspåret inte skulle kunna uppfylla ställda krav om förstärkningen utfördes på liknande sätt som för upprustningen. Man rekommenderade därför i systemhandlingskedet att förstärka det nya spåret med KC-pelare alternativt lastkompensation med lättfyllning på hela eller delar av sträckan.

8 PROJEKTERING AV BYGGHANDLING AV STRÄCKAN RYDBO-ÅKERS RUNÖ

8.1 Ytterligare uppföljning av pågående sättningar fram tom juli 2011.

Tidigt i projektering togs beslut om att ytterligare sättningmätningar skulle utföras mellan december 2010 till juli 2011.

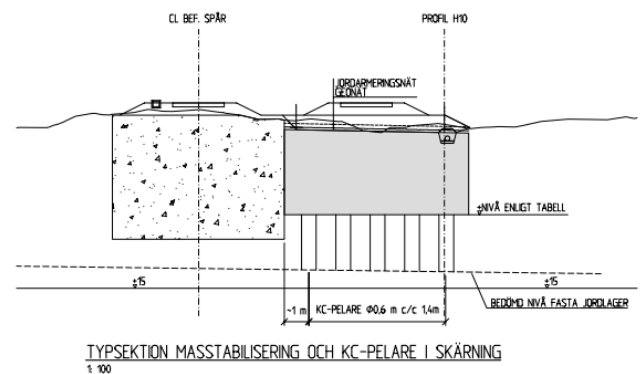


Figur 3 Sättningsutveckling på aktuell sträcka sedan spårupprustningen, perioden 2007 tom juli 2011

Sättningsuppföljning för befintlig masstabilisering visar att banken har satt sig mellan 1 och 11,5 cm. Sättningarna under nytt spår bedöms bli större eftersom marken här är obelastad sedan tidigare samt att inom viss del av sträckan så är lerdjupet större än under tidigare utförd masstabilisering.

8.2 Föreslagen förstärkning

Av denna anledning föreslogs masstabilisering i kombination med KC-pelare med en diameter av 60 cm med ett c/c-avstånd på 1,4 m i leran. Utförda beräkningar av framtida sättningar i KC-pelarblocket visar en sättning om ca 0,07 m som till största delen skulle utbildas inom 6 månader.

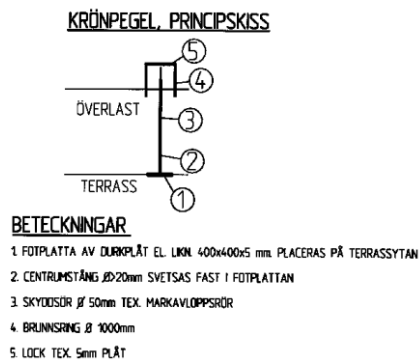


Figur 4 Principsektion masstabilisering med KC-pelare

8.3 Kontrollprogram

För att kontrollera rörelser i samband med entreprenadarbetena samt följa upp

förstärkningsåtgärdernas funktion togs ett kontrollprogram fram. Detta omfattade etablering och mätning av ett antal kontrollsektioner. Dessutom föreskrevs sättningsuppföljning med hjälp av krönpegel var 20:e meter som installerades höger 5,5 meter och höger 11 meter. Kontroll av krönpegel skulle utföras vid uppfyllning ca halva bankhöjden samt omedelbart efter avslutad uppfyllning av banken. Därefter 1, 2, 4, 8, 16, 24, 36, 52 veckor efter full uppfyllning av banken. Enligt kontrollprogrammet skulle även en inklinometer och en slangsettningsmätare installeras i km 23+180.



Figur 5 Principskiss krönpegel

9 UTFÖRANDE

Arbetet pågick fram tom sommaren 2014. Trafiken släpptes på under hösten 2014. Veidekke var huvudentreprenör vid Täljö station och Keller var underentreprenör och ansvarig för masstabiliseringen och KC-pelarförstärkningen. Första steget i utförandet var att Veidekke demonterade spår och frigjorde ytorna som skulle stabiliseras samt byggde arbetsvägar på ömse sidor om området som skulle stabiliseras. Efter det installerades KC pelare över hela ytan upp till 0,5 meter över den nivå som utförda undersökningar visade på att torvlagret underkant låg på. Detta för att få god kontakt med masstabiliseringen. När KC pelarna installerats kunde masstabiliseringen ta vid. Utrustningen utgörs av en grävmaskin med ett blandningsverktyg se bild nedan, samt bindemedelsvagn med kompressor.

Då bindemedelsvagnen måste fyllas på flera gånger om dagen och uppfyllning tar tid så användes två bindelsvagnar.



Figur 6 Inblandningsverktyg (Foto: Keller Grundläggning)



Figur 7 Masstabilisering med bindemedelsvagn (Foto: Keller Grundläggning)

9.1 Uppföljning i byggskedet

Några mätvärden från slangsettningsmätare har ej erhållits.

Installerad inklinometer vid km 23+180 visar ej på några avvikelser i rörelserna.

Mätvärden från markpegel har erhållits för perioden 5 maj tom 15 maj 2014 på en del av sträckan mellan km 23+140 till 23+260.

Mätresultatet visar på rörelser på upp till 10 mm.

Enligt spärmätning utförd hösten 2014 ligger nedspåret, dvs det nya spåret upp till 4,9 cm lägre i z-led än de projekterade höjderna.

Störst avvikelse är det på sträckan där lerdjupet är som störst mellan km 23+350 till 23+420. Enligt samma mätningar ligger uppspår, det befintliga spåret upp till 3,4 cm lägre än projekterade höjder på samma delsträcka.



Figur 8 Masstabilisering (Foto: Keller Grundläggning)

10 SLUTSATSER

Då förstärkning med enbart masstabilisering i torv utfördes, blev resultatet ur sättningsynpunkt ej tillfredställande. Då byggnation av dubbelspår utfördes och metoden med masstabilisering tillsammans med KC-pelare valdes blev resultatet att utbildade sättningarna blev betydligt mindre. En erfarenhet är att det är viktigt att uppföljning utförs enligt föreslaget kontrollprogram och att mätresultaten dokumenteras och sammanställs. Det blir annars svårt att följa upp om sättningarna blev som utförda beräkningar förutspådde. I detta projekt finns brister i uppföljning och dokumentation vilket försvårat analysen av förstärkningens resultat. Masstabilisering tillsammans med KC-pelare var för detta projekt en snabb och smidig förstärkningsåtgärd då både tidsaspekten och miljöaspekten vägde tungt.

11 REFERENSER

- Nilsson Gunnar (2007), Utvärdering av masstabiliserade provtytor, upprustning av Roslagsbanan Täljö station 23+100- 23+500, WSP.
- Friberg Per (2010), Sätninguppföljning för masstabiliserade ytan mellan 23+120-23+270; 23+320-23+480, WSP
- Bygghandling Roslagsbanan, Rybo-Åkers Runö (2013), WSP