

Tjälskadeutredning

BD545 Storsund - Korsträsk

Inger Broberg Kemi
2014

Högskoleexamen
Samhällsbyggnad

Luleå tekniska universitet
Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser

Tjälskadeutredning

BD545 Storsund - Korsträsk

Inger Broberg Kemi

2014-01-11

Förord

Arbetet med denna utredning har varit en oerhört givande resa och det känns som att jag har lärt mig mer på arbetet med denna utredning än vad jag gjort på flera år. Jag inser att jag har haft mycket god nytta av de kunskaper jag tillägnat mig under utbildningen på Luleå tekniska universitet och jag kan bara konstatera att det är med lite saknad jag med denna utredning stänger dörren till en betydelsefull del av mitt liv. Detta samtidigt som jag stampar av otålighet för att få ta del av de varierande och stimulerande kunskaper som väntar på mig i framtiden i mitt högintressanta yrke. Jag kan bara konstatera som så många gjort före mig: Ju mer jag lär mig desto mer finns det att lära.

Denna utredning hade aldrig blivit verklighet om inte min mentor Virgilio Pérez så generöst delat med sig av sin kunskap och erfarenheter. Min tacksamhet vet inga gränser.

Min man Niklas som granskat rapporten och kommit med otaliga kommentarer som alla förbättrat densamma förtjänar ett extra innerligt tack.

Jag vet hur mycket arbete Lajla Sjaunja lagt ner för att granska mina beräkningar och för det arbetet förtjänar hon hel rad med guld stjärnor.

Inger Broberg Kemi

2014-01-11

Sammanfattning

Mellan åren 2011-2012 utfördes en rad skadereducerande och bärighetshöjande åtgärder längs väg 545 Storsund – Korsträsk genom en totalentreprenad. Under mars 2013 dokumenterades att vissa skador som noterats före åtgärder återuppstått samt att nya tillkommit. Denna utredning fokuserar i huvudsak på utskiftningarnas och tjälnedträngningens betydelse för uppkomna skador vid två objekt längs sträckan. Resultatet har föregåtts av bland annat flertalet tjäldjupsberäkningar, deltagande vid provborring och inventering. Analyser av provtagningsresultat, georadar och relationshandlingar. Utredningen visar exempelvis på att de uppkomna skadorna till stor del kan bero på kombinationen av utskiftningsdjup samt utformning av schakt.

Innehållsförteckning

1. BAKGRUND	4
2. SYFTE	6
3. MÅL	6
4. METOD	6
5. AVGRÄNSNING	6
6. FRÅGESTÄLLNING	6
7. LITTERATURSTUDIE	7
8. TIDIGARE GENOMFÖRDA INVENTERINGAR.....	18
9. RELEVANTA DELAR AV FÖRFRÅGNINGSUNDERLAG VID UPPHANDLING AV ÅTGÄRDER.....	22
10. ANALYSMETODER	23
11. RESULTAT	25
12. DISKUSSION OCH SLUTSATS.....	36
13. KÄLLOR	39
14. BILAGOR	41

1. Bakgrund

Väg 545 mellan Storsund och Korsträsk är en viktig transportsträcka för bland annat timmertransporter men även för boende i kringområdet längs med vägen. Vägsträckans dåliga skick föranledde en grundlig upprustning och 2011 fick en entreprenör i Norrbotten detta uppdrag av Trafikverket. Projektet genomfördes i form av en totalentreprenad.

Entreprenören tillsammans med Trafikverket gjorde bedömningen att de skador som uppstått på vägen var ett resultat av dålig bärighet och tjälproblematik. Under perioden juni 2011 - september 2012 genomfördes de åtgärder som ansågs nödvändiga.

De arbeten som utförts är enligt entreprenörens egna uppgifter bland annat utskiftning, nytt förstärkningslager och bärlager samt nytt slitlager. Förutom detta uppger entreprenören att de har bytt ett 40-tal vägtrummor och monterat sidoräcken där det bedömts vara nödvändigt. Enligt entreprenören har åtgärderna resulterat i att vägen har erhållit den högsta bärighetsklassen (BK1) för tung trafik året runt.

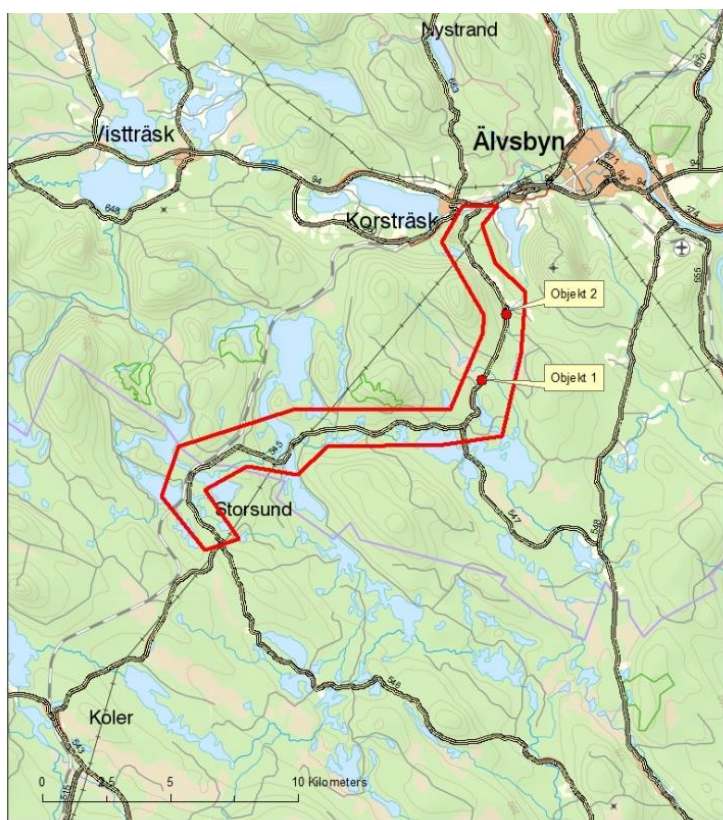
Vid uppdragets inledningsfas godkändes och fastställdes överenskommen tjälinventering av Trafikverket och berörd entreprenör. Efter åtgärderna ska entreprenören ansvara för eventuellt åter uppkomna skador på platser där tidigare skador registrerats. Nya tjälskador som eventuellt uppstår och som inte blivit funna vid den överenskomna tjälinventeringen ansvarar Trafikverket för.

2013 upptäckts de första sprickorna på åtgärdade sträckor. Den 15 mars 2013 genomför Virgilio Pérez, Ramböll RST en översiktlig inventering av vägytan och konstaterar att sprickorna är tjälrelaterade. Förutom dessa skador påträffas andra deformationer.

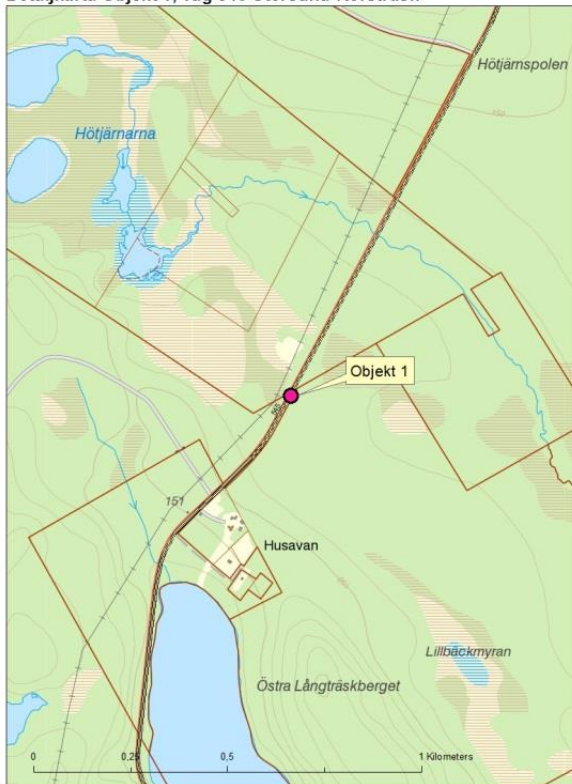
Uppkomna skador föranledde Trafikverket att beställa en skadeutredning av hela sträckan Storsund-Korsträsk av Ramböll RST, i vilken denna tjälskadeutredning ingår.

Objektens placering

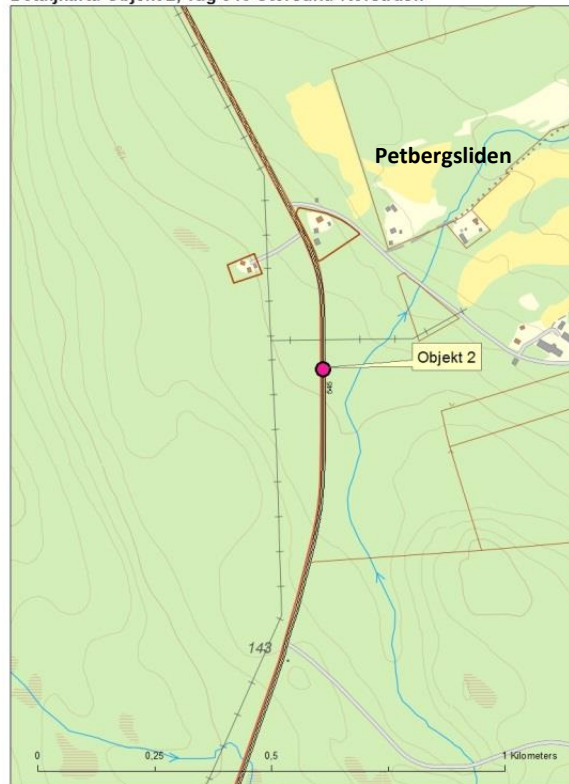
Översiktskarta, väg 545 Storsund - Korsträsk



Detaljarta Objekt 1, väg 545 Storsund-Korsträsk



Detaljarta Objekt 2, väg 545 Storsund-Korsträsk



2. Syfte

Syftet med tjälskadeutredningen är att sammanställa de tjälskaderelaterade deformationer och deras förändring över tid i två objekt (delsträckor) längs väg 545 mellan Storsund - Korsträsk i Älvsbyns kommun.

3. Mål

Målet med utredningen är att redovisa omfattning och möjliga orsaker till de tjälskador som uppkommit efter åtgärd i de selekterade objekten. Dessutom ska ta Trafikverket, om så önskar, kunna ta del av erfarenheterna i denna utredning och förhoppningsvis finna nytta av dem inför kommande liknande vägprojekt.

4. Metod

Tillgängliga handlingar rörande vägprojektet BD545 Storsund - Korsträsk från Trafikverket har studerats.

En tjälskadeinventering har utförts den 19 april 2013 för att dokumentera tjälskaderelaterade deformationer på väg 545. Denna inventering har jämförts med tidigare utförda inventeringar för att belysa deformationsförändringar längs valda objekt.

För att klarlägga vilka åtgärder som utförts av entreprenören har entreprenörens relationshandlingar analyserats.

Tjäldjup – och tjällyftsberäkningar har genomförts. Stefans formel har använts vid tjäldjupsberäkningarna och tjällyftsberäkningar har genomförts i PMS-objekt. Beräkningarna grundar sig på den lagerstruktur som protokollen från den geotekniska undersökningen anger.

Hänsyn har tagits till tolkade radargram och okulära observationer i fält.

En mer utförlig beskrivning av utförda inventeringar och analysmetoder finns under rubrik 10. Analysmetoder

5. Avgränsning

Utredningen inbegriper enbart 2 objekt längs väg BD545 sträckan Storsund-Korsträsk.

6. Frågeställning

De frågor som denna utredning utgått från är:

- Hur har sprickbildningen utvecklas under tiden 2010 - 2013?
- Vad kan ha föranlett de deformationer som uppstått eller återkommit efter åtgärd?

7. Litteraturstudie

En kort sammanfattning av fenomenet tjäle

Under vintermånaderna, det vill säga de månader då temperaturen i luften understiger 0°C, fryser vattnet i marken och tjäle bildas. Hur djupt tjälen tränger ner i jorden beror på temperaturförhållandet på markytan och på värmeflödet från jordens inre upp mot ytan. Tjäldjupet är också starkt beroende av hur stor andel vatten jorden innehåller, med andra ord hur hög vattenkvoten är. Ju lägre vattenkvot desto djupare tränger tjälen ner i marken. Av den anledningen är tjäldjupet betydligt större i torra, grovkorniga jordar än i jordar som är mer finkorniga och har högre vattenkvot såsom silt och lera. Mark som tidigt täcks med snö får ett mindre tjäldjup eftersom snön isolerar mot kylan i luften medan avsaknaden av den isolator som ett snötäcke utgör resulterar i en djupare tjälnedträngning. Detta innebär att tjäldjupet under plogade ytor såsom vägar kan vara mycket stort medan tjäldjupet i de snötäckta vägdikena är mycket grundare.

Vatten som fryser till is expanderar. Detta leder till att marken lyfter i takt med att tjäle bildas. Finns det mycket vatten i jorden som tjälen tränger ner i som det gör i till exempel silt blir tjällyftet större än i grovkorniga jordar med lite vatten. Tjällyftning kan resultera i att objekt i vägkroppen flyttas uppåt i förhållande till dess ursprungliga plats och så kallade trumslag eller blockuppfrysningar uppstår.

På våren höjs temperaturen i marken och tjällossningen börjar, det vill säga att tjälen tinar. Vattnet i marken som i fruset tillstånd orsakade tjällyftningen genom expansion smälter vilket resulterar i att markens volym minskar och sättningar uppstår. Vid hastig tjällossning kan hållfastheten i jorden reduceras eftersom vattnet i jorden inte hinner transporteras bort. Grusvägar drabbas ofta av bärighetsproblem på grund av att hållfastheten i jorden har reducerats under tjällossningen.

Tjällyftning

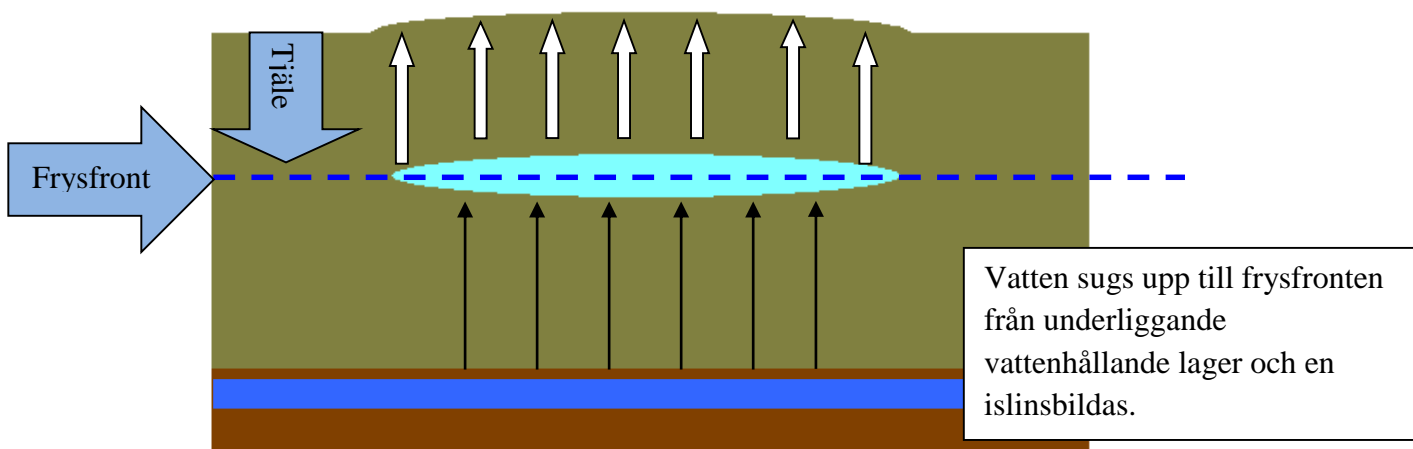
För att tjällyftning ska uppstå krävs att tre villkor uppfylls samtidigt; köldgrader samt tillgång till grundvatten och tjälfarligt material. Tjällyftning beror i huvudsak på att islinser av varierande tjocklek bildas i finkornig jord parallellt med markytan.

Enligt Sven Knutsson, professor i geoteknik vid Luleå tekniska universitet, orsakas tjällyftning av två processer:

- Dels frysning av det befintliga porvattnet i jorden när nollisotermen, tjälens undre nivå, tränger ner. Frysningen av det befintliga porvattnet ger en nio procentig volymökning av jorden på grund av att vatten som fryser till is expanderar. Tjällyftningen i grovkorniga jordar uteblir helt på grund av att porvattnet pressas ut ur jorden i samma omfattning som is bildas i tjälfronten. (Knutsson 1985)

- Dels på grund av en isanrikning i den frysande jorden vilket resulterar i att islinser bildas. Islinserna bildas genom att vatten som kommer från underliggande ofrusna jordlager sugs upp mot frysfronten, se figur 1. Detta medför att frusna islinsrika jordlager får ett överskott av vatten under vintern. Långsam tjälnedträngning är mycket gynnsamt för bildandet av islinser vilket gör att mer vatten binds i väggroppen. Så länge som temperaturen i jorden håller sig just under fryspunkten och tillgången på vatten underifrån är god kan tjockleken på islinserna öka obegränsat. Effekten visar sig genom att marken lyfter. Knutsson menar att den första delen av tjälningprocessen utgör en försumbar del av den totala tjällyftningen medan den huvudsakliga delen står islinnsbildningen i tjälfarlig jord för. (Knutsson 1985)

Figur 1



När islinserna bildas kan ojämna tjällyftningar uppstå, detta på grund av att jordprofilen oftast skiftar mellan olika jordarters förmåga att bilda islinser samt tillgång på grundvatten. Dessa ojämna tjällyftningar kan resultera i att vägkonstruktioner får en överdriven bombering, att skevningar förändras och att trafiksäkerheten minskar. (Simonsen 2001)

Tjällyftning på vägbanor kan resultera i att stenar och konstruktioner i marken såsom vägtrummor förflyttas från avsedd plats och med tiden rör sig upp mot vägytan. Detta kan förklaras med att tjälen får marken att häva sig uppåt och eftersom stenens eller trummans övre del frusit fast i jorden följer de med i hävningen. Mindre partiklar som inte ännu nått av frysfronten rasar ner till tomrummet som bildats på stenens eller trummans ursprungliga plats och hindrar på så sätt trumman eller stenen att återgå till sin tidigare lokalisering när tjälen gått ur marken. (Lindberg 1998)

Enligt Peter Viklander (1998) vid Luleå Tekniska universitet fylls tomrummet upp med vatten från underliggande jord och en islins skapas. På våren när tjälen går ur marken kommer isen under stenen smälta snabbare än jorden runt omkring eftersom den omgivande jorden har lägre värmeledningstal än stenen. Detta innebär att stenen kommer att vara fastfrusen i ett högre läge medan mindre jordpartiklar och vatten kommer att glida ner i utrymmet under

stenen och resultera i att stenen inte kan falla tillbaka i sitt ursprungliga läge när tjälen släpper sitt grepp om den.

Inget upplyft av vägtrummor uppstår där grundläggningsdjupet ligger längre ner än maximalt tjäldjup. Det vill säga om vald grundläggningsmetod inte resulterar i att tjäldjupet ökar mer under trumman än i omgivande jord.

Tjällossning

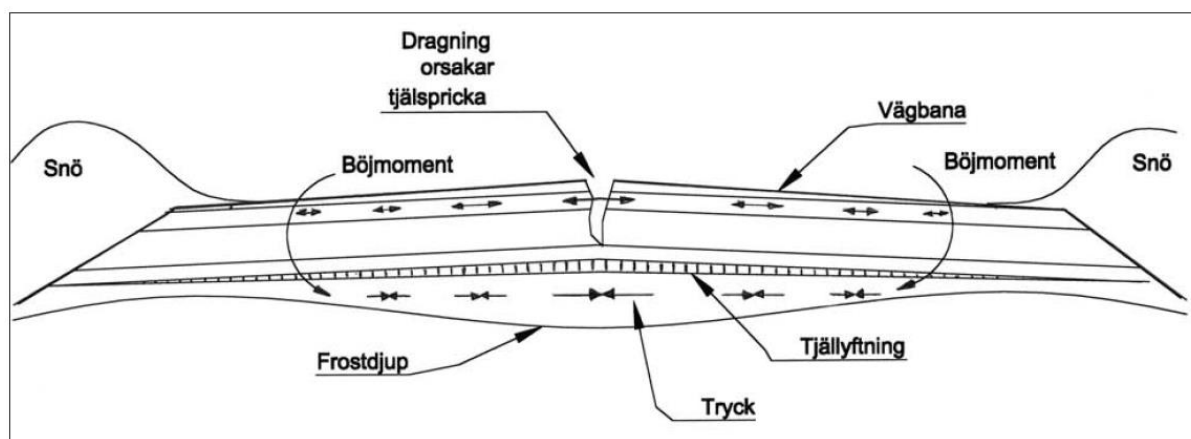
När våren kommer och temperaturen stiger börjar det frusna jordvattnet att tina i huvudsak uppifrån markytan och nedåt. Det innebär att beroende på hur vägen är konstruerad och med vilka material kommer det smältande vattnet dräneras bort eller stanna kvar ovanpå det underliggande frusna jordlagret. Om vattnet inte dräneras bort ökar vattenmättnadsgraden och porvattentrycket i jorden, vilket kan leda till att skjuvhållfastheten i jorden minskar och risken för bärighetsreducering ökar. Detta blir extra synligt på grusvägar där bärighetsförsämringar ofta leder till att vägen klassas ner och tung trafik tvingas ta alternativa vägar. Under tjälnedträngningen sker en volymökning i jorden vilket medför att när tjälen går ur marken sker en volymminskning med konsolideringssättningar som följd. Hur stora sättningarna blir är beroende på jordens sammansättning, jordens egen tyngd och trafikbelastning (Berglund 2009).

Ofta förekommande perioder med snabb tjällossning i tjälfarlig jord kan innebära att finpartiklar avsätts och börjar röra sig uppåt genom vägkonstruktionens olika lager och med tiden förorsaka dräneringsproblem i överbyggnaden. (Öhman 2011)

Tjälspäckor i vägar

Längsgående tjälspäckor i vägmitt och vägkant uppkommer som en konsekvens av att den spänning som bildas i beläggningens bundna ytskikt är större än dess dragkapacitet, se figur 2. Spänningen som uppstår är en följd av det ökande utrymme som islinserna i vägkroppen kräver på grund av den vattenmängd som sugts uppåt. Anledningen till att tjälspäckor ofta uppstår längs vägmitt är på grund av att marken i innerslänterna är isolerade av snö vilket innebär att tjäldjupet där är lägre än under vägytan som ständigt hålls relativt snöfri. Detta innebär att tjällyftningen blir mindre i innerslänt än på vägytan. (Trafikverket 2004) Fenomenet kan beskrivas genom att likna de bundna lagren i vägkonstruktionen vid en rundstav i trä som sitter fast i skruvstäd i vardera ända. Kraften från de expanderande islinserna kan liknas vid en påle som placerad under rundstaven sakta rör sig uppåt. Till slut knäcks rundstaven där den är som svagast, det vill säga i mitten. Detta fenomen uppstår ofta på vägar som är mellan 7-9m breda.

Figur 2



Sprickbildning efter frysning och upptining.

Trafikverket, Publ. nr: 2004:160, ISBN 1401-9612

Metoder för att minimera tjälskaderrelaterade deformationer

Det finns olika metoder för att förhindra att tjälskaderrelaterade deformationer uppstår eller åtminstone begränsa deras omfattning. De vanligaste metoderna är utskiftning av tjällyftande material, nätarmering och isolering med cellplast. Av dessa tre är cellplastisolering den minst utbredda metoden.

Nätarmering innebär att en skarvfri armeringsmatta av stål eller geosyntet placeras i bärlagret eller i beläggningen. Denna matta tvingar de krafter som till följd av tjällyftningen verkar uppåt mot vägytan att dra sig ut mot kanten av armeringen ca 10 cm ut från väggkanten (muntlig, Peréz 2013-09).

För att i möjligaste mån undvika ojämn tjällyftning vid val av utskiftningsdjup på del av sträcka måste hänsyn tas till anslutande ej utskiftade sträckors lagerstruktur. Detta på grund av att den utskiftade delen kommer att bestå av ”bättre” material än den befintliga. Att ta bort all tjälfarlig jord skulle medföra att den utskiftade delen inte skulle röra sig vintertid medan den befintliga skulle resa sig i takt med tjällyftningen. Resultatet skulle bli en väg med en svacka där utskiftning skett. Pérez, 2013:206

Enligt TRVK Väg ska material som används vid återfyllnad tillhöra typ 1 eller 2. Det vill säga icke tjällyftande mineraljordar.

Tjälinventering

Inventering av deformationer ska ske just före tjällossning och vid maximalt tjällyft. För att möjliggöra en utvärdering av om deformationerna beror på tjälskador ska, vid de fall då mätbil används, en vinterbesiktning samt en sommarbesiktning utföras. Sommarbesiktningen ska ske på otjälad vägkonstruktion. Resultaten från mätningarna kan sedan jämföras, de skador som vid sommarbesiktningen försvunnit kan med stor sannolikhet vara tjälrelaterade.

Enligt *VVMB 120 inventering och värdering av befintlig väg* ska en detaljerad inventering utföras om en översiktlig kartering enligt tabell 8.1-1 genomförts och visar på att behovet finns.

Tabell 8.1-1 Översiktlig klassificering av sprickighet och ojämnhet

Sprickighet/Jämnhet	Kommentar
Inga eller några få sprickor. Obetydliga ojämnheter.	Inga åtgärder behöver vidtas ur tjälsynpunkt.
I övriga fall	Utför detaljerad kartering enligt avsnitt 8.1.3

Trafikverket, publ 106:2009

En detaljerad inventering ska genomföras enligt *Bära och brista* (Trafikverket, 2009) Inventerade skador ska värderas enligt *tabell B8.1-3, tabell B8.1-4, tabell B8.1-5, och tabell B8.1-6* om de summerade värdena uppgår till 20 poäng och därutöver ska tjälskadorna anses vara i behov av åtgärd. (Trafikverket 2009)

En ny metodbeskrivning är under uppbyggnad och i den förordas undantag från *Bära och brista* vad gäller utbredning och svårighetsgrad.

I den nya metodbeskrivningen föreslås en femgradig skadeskala där tjälsprickor bör värderas enligt *Tabell 4.1 Tjälsprickor*. Ojämna tjällyft ska inventeras i 30km/h och värderas efter kännetecken, även de enligt en femgradig skala (för metodbeskrivning, arbetskopior, se bilaga 11).

Tabell 4.1 Tjälsprickor

Skadegrad	Värde (mm)
1	< 2
2	2 – 10
3	10 – 30
4	30 – 50
5	> 50

(Trafikverket 2013:xxx)

Georadar

Georadar, Ground Penetrating Radar (GPR) är den generella termen för teknik som används för kartläggning av lagerstrukturer under markytan med hjälp av radiovågor, se figur 3.

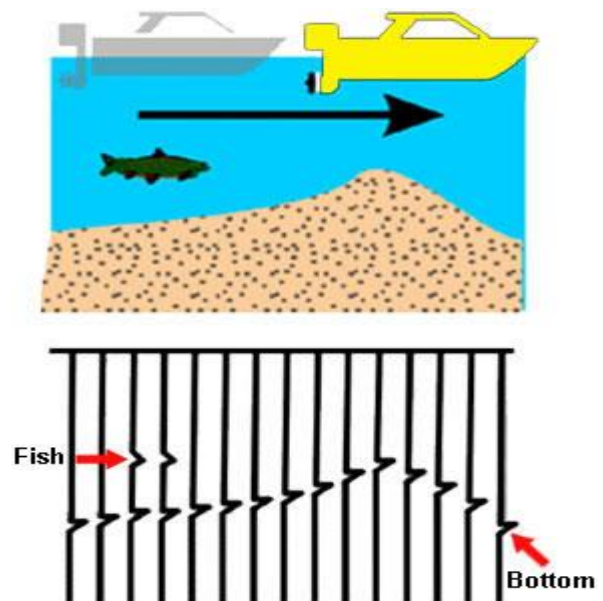
Elektromagnetiska pulser skickas från bilen vertikalt ner genom väggkroppen och terrassen. Pulserna reflekteras mot lagergränser och objekt i väggkroppen. För varje förändring som sker i marken skickas en signal tillbaka till utrustningen i bilen. Sedan beräknas avståndet mellan bilen och lagret genom att multiplicera halva den tid det tar från det att den elektromagnetiska pulsen gått iväg till dess att signalen från det reflekterande lagret eller objektet kommer tillbaka. All information presenteras sedan i vertikala sektionradargram. (Ramböll, RST)

Figur 3

GPR fungerar som ett ekolod



1. Sökaren sänder ut en puls.
2. Pulsen stöter på fisken och en signal studsar tillbaka.
3. Signalen studsar tillbaka från havsbotten.



1. Båten samlar in data allt efter den rör sig framåt.
 2. Insamlad data visas i ett diagram i genomskärning.
- (Sensors & software, internet 2013-12-02, fritt översatt)

Tjälfarlighetsindelning

Nedan följer den indelning av jordars tjälfarlighet som finns att tillgå i VVTK väg 2008:

Tabell 4.3-1 Indelning av berg och jord i materialtyp

Material- typ	Berg- typ	Kul- kvarns- värde	Halten av [vikts-%] x/y			Exempel på jordarter	Tjäl- farlig- hets- klass
			Finjord 0,063/63 mm	Ler 0,002/0,0 63 mm	Organisk jord %/ 63 mm		
1	1 2	≤ 18 19-30	< 10		≤ 2		1
2			≤ 15		≤ 2	Bo, Co, Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, SaMn	1
3A	3	>30	≤ 30		≤ 2		2
3B			16-30		≤ 2	siSa, siGr, siSa Mn, siGr Mn	2
4A			30-40		≤ 2	clMn	3
4B			> 40	> 40	≤ 2	Cl, ClMn,	3
5A			> 40	≤ 40	≤ 2	Si, clSi, siCl, SiMn	4
5B					3-6	gyCl, gySi	4
6A					7-20	clGy,	3
6B					> 20	Pt, Gy	1
7	Övriga material Enligt särskild utredning					Restprodukter, återvunna material mm	

Tabell 4.3-2 Tjälfarlighetsklasser

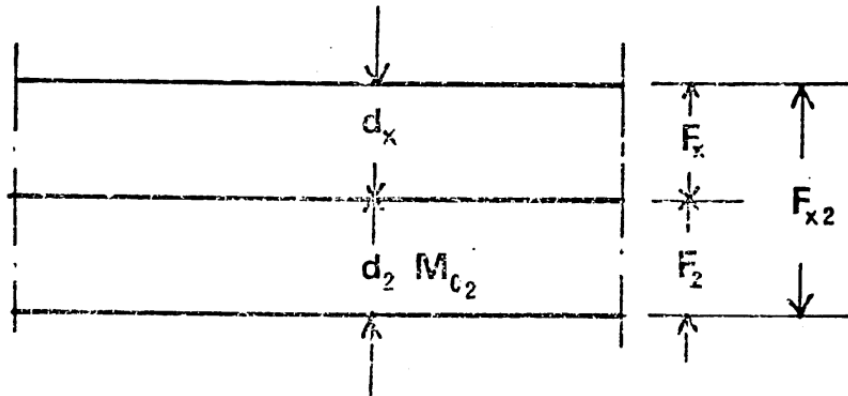
Tjälfar- lighets- klass	Beskrivning	Exempel på jordarter
1	Icke tjällyftande jordarter Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältnings-processen i regel är obetydlig. Klassen omfattar materialtyp 2 samt organiska jordarter med organisk halt > 20 %.	Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, Sa Mn, Pt
2	Något tjällyftande jordarter Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältnings-processen är liten. Klassen omfattar materialtyp 4.	siSa, siGr, siSa Mn, siGr Mn
3	Måttligt tjällyftande jordarter Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältnings-processen är måttlig. Klassen omfattar materialtyp 4A och B.	Cl, ClMn, siMn, siS
4	Mycket tjällyftande jordarter Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältnings-processen är stor. Klassen omfattar materialtyp 5.	Si, clSi, siCl, SiMn

Tjäldjupsberäkning

Följande uppgifter är hämtade ur Sven Knutssons *Tjälningsprocessen: Beräkning av tjäldjup* (1981)

Figur 4

Beräkningsförutsättningar



En uppskattning av tjäldjup i ett område kan genomföras med hjälp av Stefans formel som baserar sig på följande antaganden:

- Konstant temperatur på markytan råder under hela vinterperioden.
- Temperaturen i ofrusen jord är konstant 0°.
- Värmekapaciteten i frusen jord beaktas ej.

Eftersom Stefans formel varken tar hänsyn till att temperaturen under tjälgränsen ofta överstiger 0°C eller till värmekapaciteten i den frusna eller ofrusna jorden leder beräkningarna med denna formel till ett visst överskattat tjäldjup. (Knutsson, 1981)

$$Z = \sqrt{\frac{2\lambda_f}{L} \cdot \int T_s dt} = \sqrt{\frac{2\lambda_f}{L} \cdot F}$$

Z= maximalt tjäldjup

λ_f = värmeledning i frusen jord (W/m²°C)

L¹ = effektiv latent värme (J/m³)

T_s = temperatur vid markytan (°C)

F = Köldmängd tim°C, $\sum |T_{\text{mån}}| \cdot 730$ summa månadsmedeltemperatur multiplicerat med antal timmar i en "tänkt" månad.

Nedan beskrivs beräkningsgången:

Beskrivningen finns att läsa i Sven Knutssons *Tjälningsprocessen: Beräkning av tjäldjup* (1981)

Tjäldjupsberäkningarna är beroende av följande parametrar:

Lagertjocklek (d)=	Varierande
Värmeledningstal ofrusen (λ)=	$(d-\lambda_t) \cdot (S_r+\lambda_t)$
Värmeledningstal frusen (λ_s)=	Baserat på värde i tabell (Nilsson, Gunnel 2003)
Värmeledningstal mättad (λ_m) =	$2,2n \cdot \lambda_s^{1-n}$
Värmeledningstal torr (λ_t)=	$0,034 \cdot n^{-2,1}$ Alt. för naturjordar: $(0,315 \cdot \rho_D \cdot 1000+64,7)/(\rho_s-0,947 \cdot \rho_D \cdot 1000)$
Latent värme (L^1)=	$\rho/(1+w) \cdot w \cdot (333 \cdot 10^6)$
Materialkonstant (M_C) =	$2 \cdot (\lambda/L^1)$
Densitet (ρ)=	(m/v) Varierande värden (Knutsson, Sven 81)
Torr densitet (ρ_D)=	$\rho/(1+w)$
Skrym densitet (ρ_s) =	Antas ligga mellan 2,65–2,7 t/m ² (Larsson, Rolf 2008)
Vattenkvot (w) =	varierande
Vattenmättnadsgrad (S_r) =	$(\rho \cdot \rho_s \cdot w)/(\rho_s(w+1)-\rho)$
Porositet (n) =	$1/(1-\rho/\rho_s) \cdot (w+1)$

Börja med att definiera en materialkonstant

$$M_C = \frac{2\lambda}{L^1}$$

Beräkna den köldmängd som går åt för att frysa första lagret

$$z = d_I = \sqrt{F_1 \cdot M_{C1}}$$

$$F_1 = \frac{d_1^2}{M_{C1}}$$

En förenkling nås genom att betrakta det första lagret som ett ekvivalentlager med samma λ -värde som nästa lager.

Ekvivalentlagrets tjocklek (d_x) fås ur relationen

$$d_x = d_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

Den köldmängd som förbrukas för att frysa det andra lagret med tjockleken ($d_x + d_2$) som har materialparametern (M_{C2}) är:

$$F_x = (d_x + d_2)^2 = M_{C2}$$

det innebär att för att frysa ekvivalentlagret krävs köldmängden:

$$F_x = \frac{d_x^2}{M_{C2}}$$

och för att frysa det andra lagret

$$F_2 = F_{x2} - F_x$$

vilket innebär att för att frysa lager ett och två krävs köldmängden ($F_1 + F_2$).

Nästa steg är att betrakta de två översta lagren som ett ekvivalentlager med ($\lambda = \lambda_3$). Detta lagrets tjocklek (d_y) fås ur relationen

$$d_y = d_1 \frac{\lambda_3}{\lambda_1} + d_2 \frac{\lambda_3}{\lambda_2}$$

Den köldmängd som krävs för att frysa detta ekvivalentlager med materialparametern (M_{C3}) blir således

$$F_y = \frac{d_y^2}{M_{C3}}$$

Enligt figur 4 finns totala köldmängden (F) tillgänglig. För frysning av det tredje lagret återstår köldmängden ($F - F_y - F_2$) till detta måste (F_y) läggas till det vill säga köldmängden för ekvivalentlagret som motsvarar lagren 1 och 2. Därmed fås:

$$z_y = \sqrt{M_{C3} \cdot (F - F_1 - F_2 + F_y)}$$

Tjälnedträngningen i tredje lagret blir således:

$$z_3 = z_y - d_y$$

Det totala tjäldjupet blir därmed:

$$z = d_1 + d_2 + z_3$$

PMS-Objekt

Tjäldjupsberäkning samt tjällyftsberäkning kan även utföras i PMS-Objekt där modellen för att beräkna värmeflöden genom en jordprofil, vertikalt, utgår från klassiska värmeledningsekvationer. Modellen är endimensionell och förhållandena i horisontaltplanet antas vara konstanta. Indata om valt områdes vägytetemperatur fås genom Trafikverkets väderinformationssystem VViS. (TRVMB 301, 2011)

Vid beräkning delas vägkonstruktionen in i celler varpå värmeflödet mellan cellerna beräknas. Lagertjockleken i väggroppen bestämmer storleken på cellerna. För varje simulerad timme har varje cells temperatur beräknats flera gånger. Hänsyn tas till omgivande cellers temperatur och värmeledningsförmåga vid beräkning av ny temperatur för en cell- energi flyttas från varma celler till kalla. (TRVMB 301, 2011)

Lyftningen startar när tjälfronten når ner till tjälfarligt material. Väggroppen lyfter med den maximala lyfthastigheten som motsvara materialets tjälfarlighet om kyleffekten som beräknats med värmeledningsekvationen räcker till. Höga kyleffekter ger tjälnedträngning parallellt med maximal lyftningshastighet. Låga kyleffekter resulterar i en lägre lyftningshastighet än den maximala. Den frusna marken tinar om kyleffekten är negativ. Enligt programmets sätt att räkna bildas det kraftigare islinser (mer lyftning per nivå) i de fall då tjälen tränger ner långsamt. Detta är särskilt värdefullt vid tjällossning då mängden vatten som kommer att frigöras ur islinserna på olika nivåer har stor betydelse. (TRVMB 301, 2011)

I PMS Objekt anges tjäldjupet som utskiftningsdjup. Utskiftningsdjupet i PMS-objekt har upptäckts vara för lågt för förhållanden som råder norr om Dalälven. Av den anledningen finns en rekommendation i TRVR Väg att i vissa fall öka utskiftningsdjupet med upp till 40% eller mer. Bedömningen av faktorn bör grunda sig på varje enskilt fall (TRVMB 301, 2011).

I TRVK 2011 finns villkoret att beräknat tjällyft ska vara mindre än 20 mm.

I VVTR 2008 står följande:” *Utskiftningsdjupet d anges i PMS Objekt som tjäldjup. Observera att maximalt tjällyft vid denna beräkning, enligt VVTK Väg 3.1.1, ska sättas till 20 mm eller mindre.*”

Enligt den rådstabell för utskiftning som finns i TRVR (TRV 2011:073) bör utskiftningsdjupet på vägar med referenshastighet (vr) 70 km/h vara 1,9 m om marken innehåller jord av tjälfarlighetsklass 2-3. Där marken består av jord av tjälfarlighetsklass 4 bör utskiftningsdjupet vara 2,3 m. Dessa djup gäller för klimatzon 5.

8. Tidigare genomförda inventeringar

Längdmättningsproblematik

Längdmätningarna som utförts eftersträckan är olika beroende på vem och när de är utförda. Skillnaderna före och efter genomförandet av åtgärder beror sannolikt på att rullande längdmätning tillämpats och att denna påverkats av utförda plan -och profiljusteringar.

Rambölls två inventeringar 2010 och 2013 består av fotoserier. Detta har inneburit att objekten kunnat identifieras i båda inventeringarna med relativt tillförlitlig längdmätning. Av den anledningen har Rambölls längdmätning bedömts vara enklast och mest korrekt att följa. Härefter refereras längdmätningarna till antingen 2010 – eller 2013 års längdmätning.

Objekt 1





Längd 14/170, (Virgilio Pérez 2010)

Längd 14/240, (Virgilio Pérez 2010)

Objektets placering: 14/230 - 14/340 (2013 års längdmätning). Vid inventering före utförd åtgärd bedöms motsvarande sträcka ha varit placerad mellan 14/170-14/280 (2010 års längdmätning).

Terrängen som omger objekt 1 är låglänt, fuktig, torvrik blandskog.

Vid den gemensamma inventeringen som utfördes med både entreprenör och representant från Trafikverket närvarande 2011 beslutades att sträckan mellan 14/287 och 14/304 (se avsnitt längdmättningsproblematik) skulle armeras. Tabell nedan har tillhandahållits av Trafikverket och är en del av sammanställningen för hela sträckan Storsund – Korsträsk.

Tjälinventering år	Start	Stopp	L	Typsekt	Anmärkning
2009-04-21 (Tj.inv.)	14287	14304	17		Ingen angiven tjälskada
2010-12-22 (Anbud)	14287	14304	17	1	Bärlighetsförbättring
2011-04-28 (Gemen)	14287	14304	17	6	Ny tjälskada efter inventering 28 April, armering, förlängning av bef åtgärd
Avgående arbeten:	Inget				
Tillkommande arbeten:	Armering, förstärkningslager 0,26 m				

Enligt Teknisk PM/Geoteknik från förfrågningsunderlaget för totalentreprenad från den 2009-12-15 utgjordes terrassen under överbyggnaden av grusig sand på 0,4m djup i 14/140. Torv 6B påträffades på 1,3m djup i 14/444, där även vatten observerades på 0,87m djup (se bilaga 1).

Vid den inventering som genomfördes 2010-04-19 av Sven Pettersson och Niklas Olsson konstaterades 2 blockuppfrysningar på längd 14/162 och mellan 14/216 och 14/398 S/sättningar, deformerad körbanan samt sprickor i slänt (se bilaga 2).

Hösten 2010 fotograferades vägytan av Virgilio Pérez, vägtekniker, Ramböll RST fotoserien påvisar bärlighetsproblem, tjälskaderelaterade deformationer samt två 20-30m långa tjälsprickor i vägmitt på en sträcka av 120m mellan km 14/170-14/290 (2010 års längdmätning).

Enligt protokollet från Trafikverkets inventering, utförd 2013-04-19 av Johan Ullberg och Erik Vallin, noteras en 20m lång längsgående spricka i vägmitt mellan 14/124 och 14/144 samt en 17m lång längsgående spricka i vägmitt mellan 14/217 och 14/334 (2013 års längdmätning) (se bilaga 3).

Objekt 2



Längd 16/980 (Pérez, Virgilio 2010)



Längd 17/020 (Pérez, Virgilio 2010)

Längd 17/030 - 17/080 (2013). Före åtgärd bedöms motsvarande sträcka ha varit placerad mellan 16/980 - 17/060 (2010)

Denna sträcka finns ej medtagen i sammanställningen över åtgärder som tillhandahållits av Trafikverket.

Enligt Teknisk PM/Geoteknik från förfrågningsunderlaget för totalentreprenad från den 2009-12-15 utgjordes terrassen under överbyggnaden av siltig morän 4A till ett djup av 1,3m eller siltmorän 5A (se bilaga 1).

2010-04-19 genomfördes en skadeinventering av Sven Pettersson och Niklas Olsson. På sträckan mellan 16/755-17/246 (2010 års längdmätning) konstaterades deformerad körbana och "ssprickor". Försök att utröna vad som menas med ssprickor har gjorts dock utan tillfredsställande resultat (för inventeringsprotokoll se bilaga 2).

Fotografierna som blev tagna av sträckan av Virgilio Pérez 2010 visar på tidigare utförd spårutjämning och möjligen sättningar. Ingen tjälspricka i vägmitt dokumenterades. Noteras bör att inventeringen skedde under hösten varför eventuella tjälsprickor kan vara svåra att se på bilderna.

Enligt Trafikverkets egen inventering som genomfördes 2013-04-19 fanns en 54m lång längsgående spricka i vägmitt mellan 17/023 och 17/077 (2013 års längdmätning) (se bilaga 3).

9. Relevanta delar av förfrågningsunderlag vid upphandling av åtgärder

Administrativa föreskrifter

Enligt punkt **AFD.293 relationshandlingar** ska ”Relationshandlingar för investeringsprojektets genomförande skall utgöra informationsunderlag under garantitid samt efterföljande drift och underhåll för anläggningens hela livslängd.” (TRV Administrativa föreskrifter objektnr: 8211836)

Objektspecifik Teknisk Beskrivning BD-8211836-545

Följande står att finna i den Objektspecifika Tekniska Beskrivningen:

- Vägen ska ”utformas med sidoområdesklass 80km/h VGU låg standard... dimensioneringsperiod 20 år för vägöverbyggnad och för underbyggnad och undergrund”.
- ”Entreprenören skall under funktionstiden åtgärda uppkomna fel enligt följande. Åtgärdande av skador under funktionstiden får endast utföras i samråd med beställaren. Åtgärdade ytor undantas en reglering av bonus vid funktionstidens slut.”
- ”Tjälskador som uppstår under funktionstiden på sträckor där tjälskador inte konstaterats vid skadeinventering/tjälinventeringar eller bilagor i denna handling bedöms inte som ett fel i Förfrågningsunderlag”
- ”Ojämna tjällyft i längsled får ej överstiga 80mm på en sträcka av 20m. Ojämna tjällyft i tvärlid får ej överstiga 30mm på en sträcka av 3m.”
- ”Längsgående sprickor får ej förekomma. Med tjälsprickor menas i detta fall längsgående sprickor med största bredd större än 5mm och längd större än 5m vars utbredning inte primärt är lokaliserad i hjulspår.”
- ”Innerslänter och övre delen av bankslänter täcks inte med jord, eftersom jordlagret skulle försvåra dräneringen av överbyggnaden.”
- ”Erosion i slänter får ej förekomma.”

10. Analysmetoder

För att utröna hur entreprenören konstruerat väggkroppen har relationshandlingen och profilritningen som entreprenören levererat till Trafikverket analyserats genom linjalmätning. Förutom de olika väguppbbyggnadslagrens tjocklekar har utskiftningar, utspetsningar, trummornas placering och armerade sträckor analyserats. Teoretiska utskiftningsdjup och tjällyft har beräknats i PMS-Objekt och har baserats på protokollen från den geotekniska undersökningen. Ett antal olika tjäldjupsberäkningar med Stefans formel har genomförts, resultaten redovisas nedan.

Resultatet från tjälinventeringen som gjordes den 19/4 2013 av Virgilio Perez och som undertecknad deltog i har sammanställts med tidigare tjälinventeringar. Det vill säga den som genomfördes utförts av Virgilio Perez 2010, den som genomfördes gemensamt av Trafikverket och entreprenör, den tjälskadeinventering som den 19/4 2013 utfördes av Trafikverket samt resultatet från analysen av relationshandlingens profilritning. En sammanställning finns redovisad i form av diagram under vardera objekt nedan.

Tjälinventering

Trafikverket genomför en omarbetning av Vägverkets metodbeskrivning VVMB 120 - inventering och värdering av befintlig väg (publ. 2009:106). Tillämpningsbara delar av den kommande metodbeskrivningen har delvis tillämpats i tjälinventeringen. Eftersom vägen tidigare har inventerats efter den äldre skadegradsskalan har även denna inventering graderats efter samma skala för att möjliggöra en jämförelse mellan de olika inventeringarna.

Den 19/4 2013 genomfördes en manuell tjälinventering av sträckan Storsund – Korsträsk där utvalda objekt för denna utredning är belägna. De metoder som användes för att mäta deformationer såsom ojämnheter och sprickor utfördes var genom okulär besiktning, genom fysisk mätning och genom fotografering av vägytan var tionde meter. Vägteknikern Virgilio Pérez, geoteknikern Laila Sjaunja och undertecknad deltog i inventeringen.

Geoteknisk undersökning

För att möjliggöra en närmare analys av aktuell jordprofil har geotekniska provborrningar utförts av Mikael Wiström vid Rambölls Geotekniska avdelning i Boden och Geijer Eriksen, Vectura den 26/6 2013. Geijer stod för provborrningen av överbyggnaden och Mikael för borringen och provtagningen därunder. Vid objekt 1 har två provborrningar utförts, på vägytan och i väggkant. Prover från båda punkterna har analyserats i laboratorium. Vid objekt 2 har tre provborrningar utförts, dels på bägge körbanorna och dels ett i höger kant. Provprotokollen har sedan legat till grund för de tvärsektionsillustrationer, tjäldjups – och tjällyftsberäkningar i PMS-Objekt samt tjäldjupsberäkningarna med Stefans formel som finns beskrivna nedan.

Georadar

Virgilio Perèz, Ramböll RST har genomfört en georadarmätning i fält och Martin Wiström, Ramböll, RST har tolkat radargrammen. Se utdrag nedan.

Tjäldjupsberäkning

Åtta stycken tjäldjupsberäkningar med Stefans formel baserad på den lagerstruktur som påträffats vid varje provpunkt har gjorts. Dessa beräkningar illustrerar de maximala och minimala tjäldjup som kan uppnås vid varje provpunkt och har alla utgått från 39500 tim°C. Fyra beräkningar med olika köldmängder och med uppskattade värden för vardera provpunkt har utförts för att illustrera köldmängdens påverkan på tjäldjup samt ge en uppfattning om ett rimligt tjäldjup. Valda köldmängder är de medelköldmängder som infaller vart annat år, vart femte år, vart tionde år och vart 100:e år i Luleå (Knutsson 2012). Förutom dessa beräkningar har ytterligare fyra beräkningar genomförts i syfte att illustrera hur tjälnedträngningen påverkas vid utskiftning av silt. En tabell som återfinns i Sven Knutssons *Tjälningprocessen: Beräkning av tjäldjup* (1981) samt tabellen nedan har använts som stöd vid val värden på bland annat den frusna jordens värmeledningsförmåga. För att få fram extremvärden har antingen mycket höga eller låga värden valts som värmeledningstal, vattenkvot och densitet på de olika jordlagren. För att få fram så torra förhållanden respektive så blöta förhållanden som möjligt har värdena på vattenmättnadsgraden (S_r) beräknats fram för att ligga så nära 0 respektive 1 som möjligt. Detta eftersom $S_r=1$ är anger en vättemättad jord och $S_r=0$ en torr.

Tabell 3. Värmeledningsförmåga hos några typiska jordarter. Intervallen anger inom vilka gränser egenskaperna normalt varierar. (Efter Sundberg, 1991).

Jordart	Ofrusen mark		Frusen mark	
	Värmeledningsförmåga W/m°C	Värmekapacitet kWh/m ³ °C	Värmeledningsförmåga W/m°C	Värmekapacitet kWh/m ³ °C
Lera	0,85-1,1	0,83-1,0	2,0-2,2	0,54-0,57
Torrskorpelera	1,1-1,4	0,71-0,83	1,7-2,3	0,47-0,57
Siltig lera	1,1-1,5	0,8-0,92	2,3-2,8	0,54-0,57
Silt	1,2-2,4	0,66-0,92	2,3-3,2	0,3-0,57
Sand	0,4-2,6*	0,32-0,88*	0,4-3,3*	0,32-0,57*
Morän	0,6-2,5*	0,37-0,83*	0,5-2,7*	0,15-0,57*
Torv	0,2-0,6*	0,19-1,1*	0,4-1,7*	0,2-0,57*

* Den övre delen av intervallet avser under grundvattenytan och den nedre delen av intervallet avser över grundvattenytan.

11. Resultat

Längd 14/270 (Broberg Kemi, Inger 2013)

Objekt 1

Längd 14/270, (Pérez, Virgilio 2013)



Längd 14/270 (Broberg Kemi, Inger 2013)



Längd ca 14/270 (Broberg Kemi, Inger 2013)

Längd 14/230 - 14/340 (2013 års längdmätning). Före åtgärd bedöms motsvarande sträcka ha varit placerad mellan 14/170-14/190 (2010 års längdmätning).

Terrängen som omger objekt 1 är låglänt, fuktig, torvrik blandskog med tonvikt på gran.

Tjälskadeinventeringen som genomfördes under tjällossningsperioden 2013 visar på en 110 m lång tjälspicka mellan km 14/230-14/340.

Vid tidpunkten för utförandet av provborringen konstaterades okulärt att ett större block i innerslänt börjat glida ner mot dikesbotten samt att marken i innerslänten var mycket blöt och lätt gav efter för tyngd.

Enligt relationshandlingen ska en höjning med 0,8m av vägytan genomförts och åtgärden utförts enligt normalsektion 6, det vill säga:

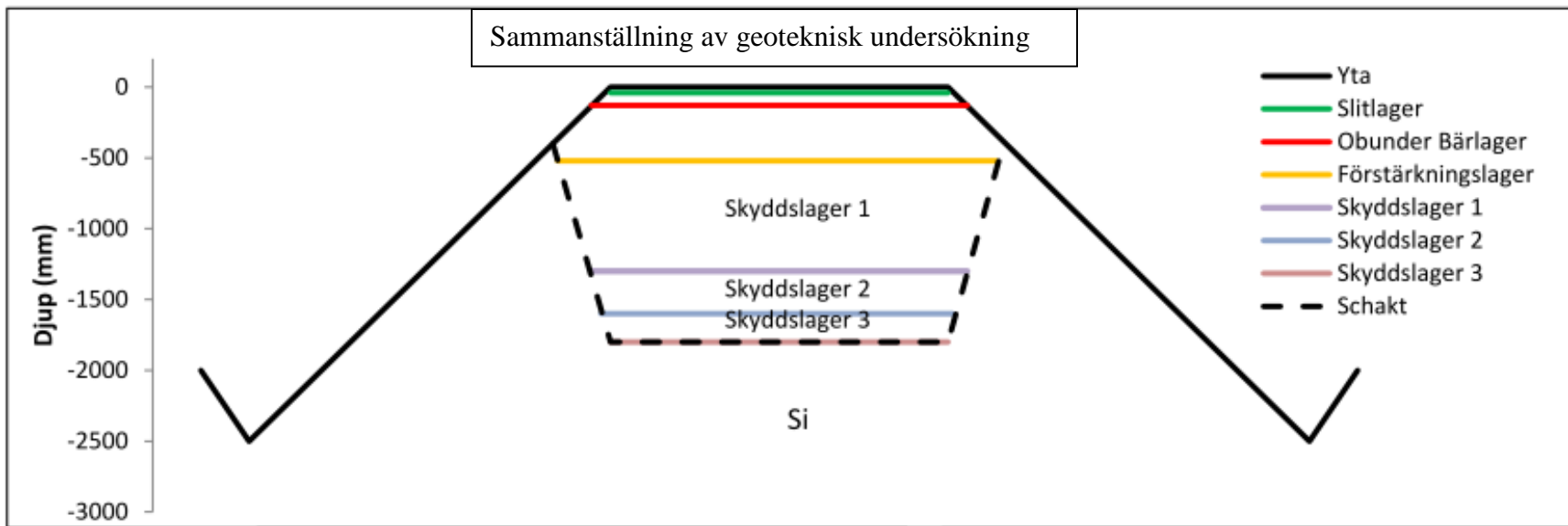
- 40mm beläggningsslager
- 160mm bärlager
- 260mm förstärkningslager
- armering.

Enligt tillgänglig dokumentation av vilka sträckor som blivit armerade finns ingen information om att objekt 1 är armerad (se bilaga 12).

Georadar -och geoteknisk undersökning

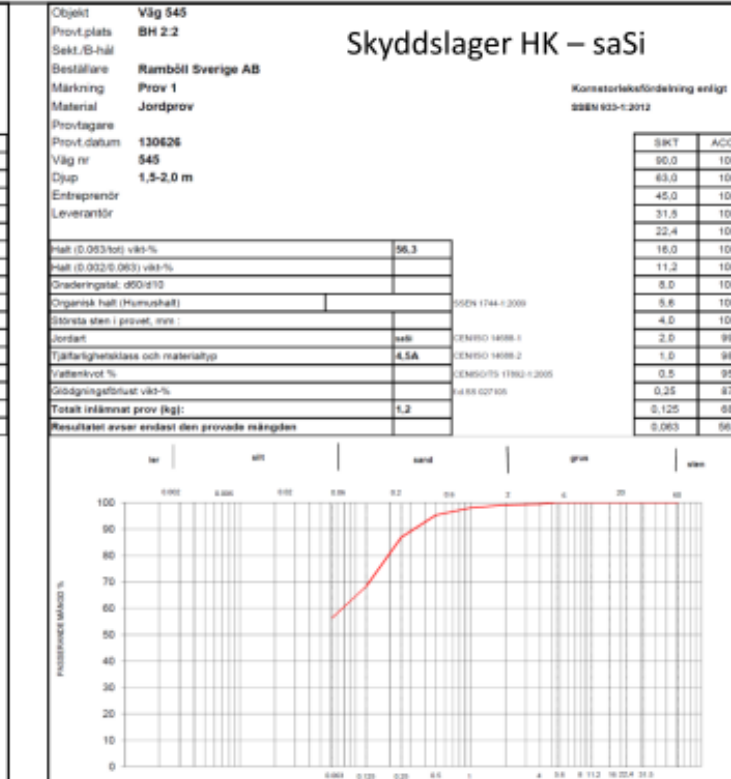
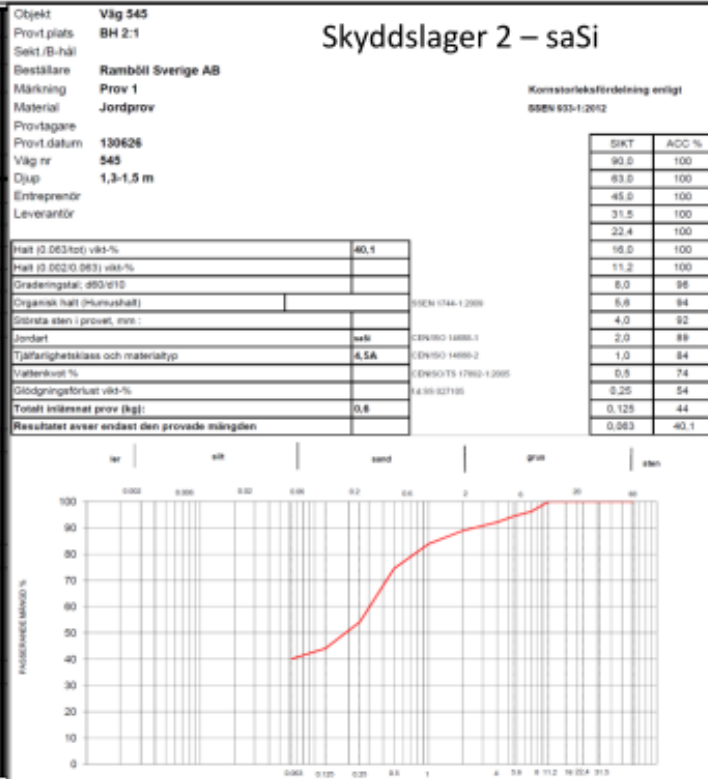


Hål nr:	2		
Sekt.:	H 1,4 m		
Sida:	H 1,4 m		
Lager och djup cm	Mbrityp sten mm	Akum. djup cm	
Bundna lager			
4,0	16,0	4,0	
Total		4,0	
1	<i>B - lag</i>		
	<i>saGr</i>		
	<i>kross</i>		
9,0	35	13,0	
2	<i>F - lag</i>		
	<i>saGr</i>		
	<i>kross</i>		
39,0	70	52,0	
3	<i>Skyddslag</i>		
	<i>saGr(Si)</i>		
		>60,0	



Hål nr	2		
Sekt	H1,4m		
Sida	Höger Kant		
Lager-tjocklek cm	Mbrityp och stenst mm	Akum. djup cm	
Lager: Beläggning			
Fortsättning från Vecturas protokoll			
Lager: OB			
74	<i>saGr</i>	130	140
Lager: Fyllning			
20	<i>saSi (fukt)</i>	150	50
Lager: Fyllning			
30	<i>grSa (fukt)</i>	180	
Lager: Terrass			
70	<i>Si</i>	250	

Hål nr	2		
Sekt	Höger Kant		
Sida	Höger Kant		
Lager-tjocklek cm	Mbrityp och stenst mm	Akum. djup cm	
Lager: Utanför beläggning Endast Geovagn Kontroll av VM prov			
Lager: ÖG/Fyll?			
56			10
140	<i>saGr</i>	150	150
Lager: Terrass			
50	<i>Si (blöt)</i>	200	
Lager: Fyllning			



Provpunkternas placering: Sweref TM 99 Y 7288576; X 770629

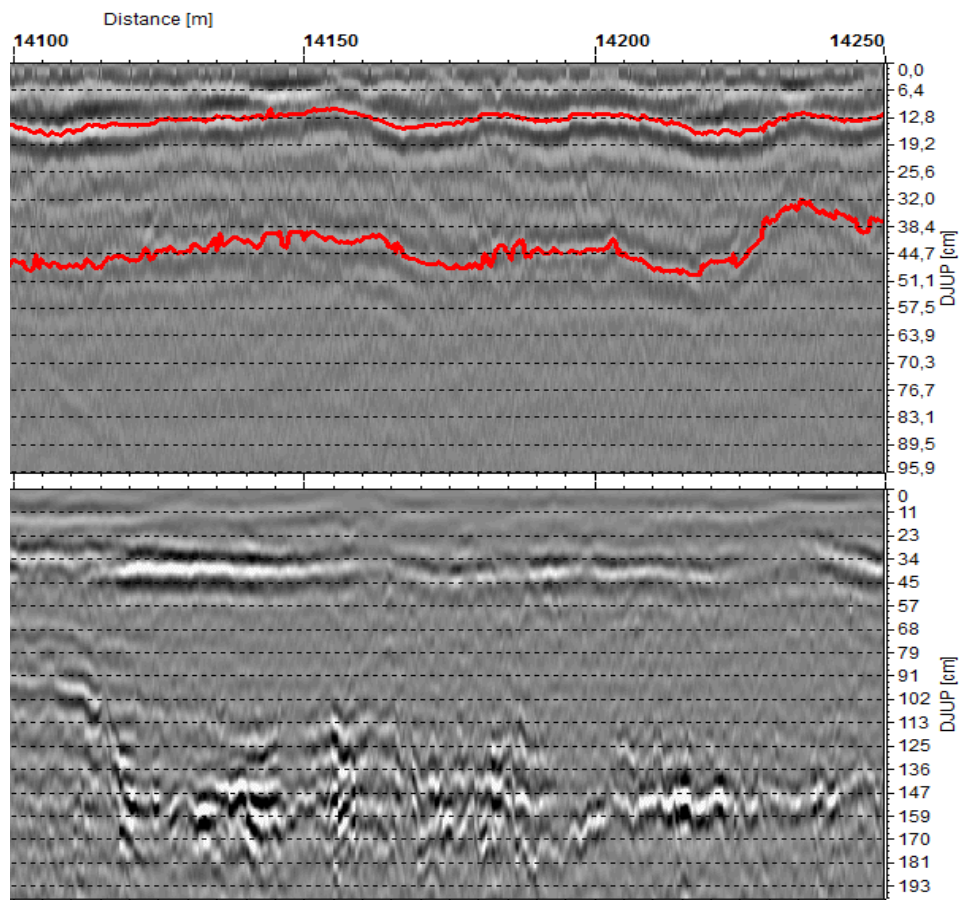
Ramböll RST har genomfört en georadarmätning längs hela sträckan Storsand-Korsträsk och Rambölls geotekniska avdelning i Boden har tagit två borrprover på objekt 1, en på vägbanan och en i vägkant (Se sammanställningen nedan). Enligt protokollet från sagda provtagning påträffades torvresten mellan det grusiga sandlagret och siltlagret. Enligt protokoll från laboratoriet bestod återfyllnadsmaterialet på 1,0–1,3 m djup av sandig silt (saSi), tjälfarlighetsklass 4,5A.

Varken radargrammet eller borrprovet påvisar förekomst av armering.

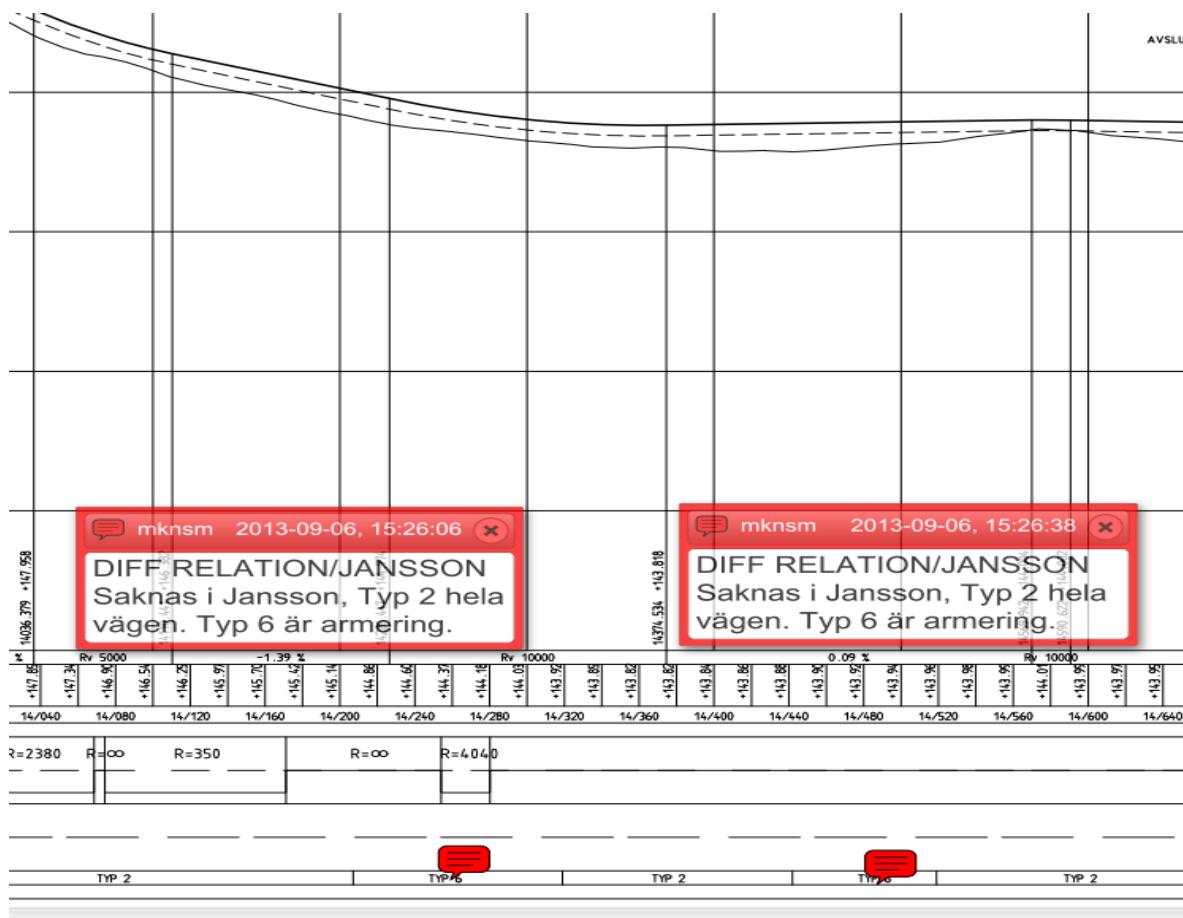
Georadarmätningen visar att djupet på förstärkningslagrets underkant från vägytan varierar mellan 410-550 mm vilket innebär att åtgärden vid mätningen var utförd enligt relationshandlingens normalsektion 2, det vill säga:

- 40 mm beläggningsslag
- 80 mm bärlager
- 260 mm förstärkningslag

Nedan: Radargram tolkad av Martin Wiström, Ramböll RST.



Nedan: Utdrag från relationshandling, kommenterad utifrån radargram av Martin Wiström, Vägtekniker, Ramböll RST.



Tjäldjupsberäkning och PMS-Objekt

Lagerföljden som använts både för följande beräkningar med Stefans formel samt beräkningarna i PMS-Objekt är:

Tjocklek	Lagerstruktur
40mm	Bitumenbundet slitlager
90mm	Obundet bärlager
390mm	Förstärkningslager krossat
780mm	Skyddslager
200mm	3b-blandkornigjord<=30%
300mm	Grovkornig jord
700mm	Silt

Resultatet från tjälberäkningar med Stefans formel finns samlade i tabell nedan.

Tjäldjup max - och minvärden (mm), Stefans formel								
Prov- punkt	Låg λ_s	Hög λ_s	Låg λ_s	Hög λ_s	Låg λ_s	Hög λ_s	Låg λ_s	Hög λ_s
	Låg w	Låg w	Hög w	Hög w	Låg w	Låg w	Hög w	Hög w
	Låg ρ	Låg ρ	Låg ρ	Låg ρ	Hög ρ	Hög ρ	Hög ρ	Hög ρ
2	2229	2311	1990	2223	3135	3320	2506	2752

Rimliga parametrar 26000 tim ^o	Rimliga parametrar 36000 tim ^o	Rimliga parametrar 39500 tim ^o	Rimliga parametrar 45000 tim ^o
2080	2280	2340	2450

Utskiftningen i objektet är utförd till ett djup av 1,8m. Tjälberäkningen med Stefans formel visar på ett minimalt tjäldjup på 1,99m. För att ett så ytligt tjäldjup ska vara reellt krävs det att i princip hela vägkonstruktionen är 100 % vattenmättad samt att materialet har lågt värmeledningstal (för beräkningar se bilaga 4). Tjäldjupet med uppskattade, rimliga värden för objektet ger ett tjäldjup mellan 2,08 m och 2,45 m (för beräkningar se bilaga 5).

De beräkningar som genomförts i PMS-Objekt och manuellt med Stefans formel bygger på den lagerföljd som framkommit vid den geotekniska provtagningen och på den information jag fått av Johan Ullberg, Trafikverket angående högsta tillåtna tjällyft (80 mm). Det högsta tillåtna tjällyftet innebär att beräkningen baserades på referenshastighet (vr) 110 km/h, detta påverkar dock varken tjäldjupet eller tjällyftet i beräkningen. Enligt beräkningen med en korrektionsfaktor på 1,4 blir utskiftningsdjupet och därmed även tjälnedträngningen 2572 mm. En korrektionsfaktor på 1 ger ett utskiftningsdjup på 1837 mm. Tjällyftet påverkas inte i PMS-Objekt av utskiftningsdjupet utan blir i bägge fallen 76 mm (för beräkningar se bilaga 6). Noteras bör att då entreprenören gjorde sina beräkningar i PMS-Objekt fanns inte funktionen med korrektionsfaktor i programmet. Det fanns inte heller något krav i VVTK 2008 på ett ökat utskiftningsdjup norr om Dalälven. Däremot fanns rekommendationen för ett maximalt tjällyft på 20 mm vid beräkningar i PMS-Objekt i VVTR 2008.

Resultat av beräkningar i PMS-Objekt

Provpunkt	max tillåtet tjällyft (mm)	Tjällyft (mm)	Korrfaktor 1 Utskiftning (mm)	Korrfaktor 1,4 Utskiftning (mm)
2	80	76	1837	2572

Objekt 2

Längd 17/030, (Pérez, Virgilio 2013)



Längd 17/060, (Pérez, Virgilio 2013)



Längd 17/030 - 17/080 (2013 års längdmätning). Före åtgärd bedöms motsvarande sträcka ha varit placerad mellan 16/980 - 17/040 (2010 års längdmätning).

Tjälskadeinventeringen som genomfördes under tjällossningsperioden 2013 visar på en 50 m lång och ca 9 cm bred tjälspricka mellan km 17/030 - 17/080.

Den terräng som omger objekt 2 är relativt fuktig blandskog med relativt stor andel björk.

Enligt entreprenörens relationshandling ska en 209 m lång utskiftning till 1,8 m djup skett. Utskiftningen ska ligga mellan km 17/014-17/190 med 17 m spets hitom utskiftningen och 16 m bortom utskiftningen riktning Storsund - Korsträsk.

Vid tidpunkten för provborrningen var materialet i innerslätten mycket blöt och vatten fanns i dikena på bägge sidor om vägen.

Georadar -och geoteknisk undersökning



, Virgilio 2013)

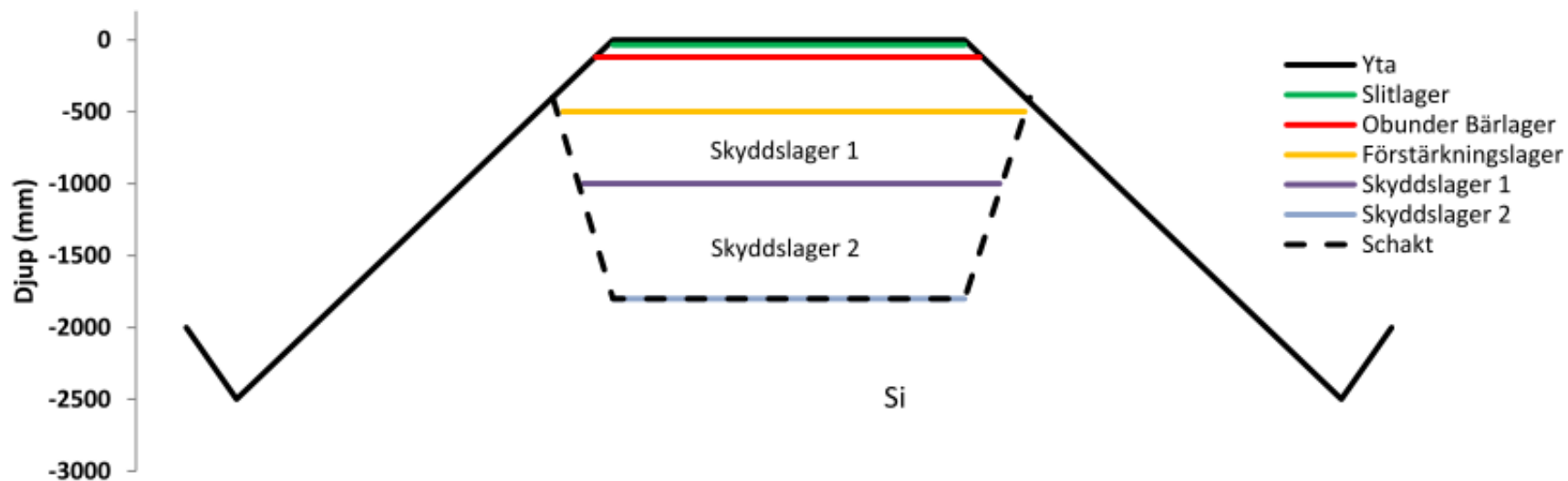
Provpunkternas placering: Sweref TM 99 Y 7291153; X 771591

Provpunkterna 5:1 och 5:3 visar att en utskiftning till 1,8 m djup har utförts.

Återfyllnadsmaterialet mellan 1,0 - 1,8 m djup består av sandig siltig morän (sasiTi) blandad med grusig sand (grSa). Ett prov i innerslänt visar på ett mycket blött massivt siltlager på 1,3 m djup 1,8 m vertikalt ut från väggkant.

En georadarmätning på platsen för detta objekt har genomförts och radargramet tolkats av Martin Wiström, Ramböll. Inga avvikelser gentemot relationshandlingen har dock konstaterats (för radargram objekt 2 se bilaga 7).

Sammanställning av geoteknisk undersökning



Hål nr: 5			Hål nr: 5		
Sida: H 1,5 m			Sida: V 1,4 m		
Lager och djup cm	Mtrl typ sten mm	Akum. djup cm	Lager och djup cm	Mtrl typ sten mm	Akum. djup cm
Bundna lager			Bundna lager		
3,5	16,0	3,5	3,5	16,0	3,5
Total		3,5	Total		3,5
1	<i>B - lag</i>		1	<i>B - lag</i>	
8,5	saGr kross 35	12,0	9,5	saGr kross 35	13,0
2	<i>F - lag</i>		2	<i>F - lag</i>	
27,0	saGr kross 70	39,0	24,0	saGr kross 70	37,0
3	<i>Skyddslag</i>		3	<i>Skyddslag</i>	
	saGr(St)	>50,0		saGr(St)	>50,0

Hål nr: 5			Hål nr: 5			Hål nr: 5			Hål nr: 5		
Sida: H 1,5m			Sida: V 1,5m			Sida: Höger Kant			Sida: Vänster slänt		
Lager-tjocklek cm	Mtrtyp och stensl mm	Akum. djup cm	Lager-tjocklek cm	Mtrtyp och stensl mm	Akum. djup cm	Lager-tjocklek cm	Mtrtyp och stensl mm	Akum. djup cm	Lager-tjocklek cm	Mtrtyp och stensl mm	Akum. djup cm
Lager: Beläggning			Lager: Beläggning			Lager: Beläggning			Lager: Beläggning		
Fortsättning från Vecturas protokoll			Fortsättning från Vecturas protokoll			Utanför beläggning Endast Geovagn Kontroll av VM prov			Vänster slänt 1,8m f bel kant Spade		
50			50			50			10		
Lager: OB			Lager: OB			Lager: OB			Lager: Fyllning?		
50	saGr	100	40	saGr	90	50	saGr	100	80	Vertikal avstånd	90
Lager: Fyllning			Lager: Fyllning			Lager: Fyllning			Lager: Fyllning		
80	grSa (blot)	180	70	grSa (blot)	160	50	grSa (blot)	150	40	saSi (blot)	130
Lager: Terrass			Lager: Terrass			Lager: Terrass			Lager: Terrass		
20	Si (blot)	200	25	saSi	185	20	grSa (blot)	170			
Lager: Terrass			Lager: Terrass			Lager: Terrass			Lager: Terrass		
0	Si (blot)	200	15	Si (blot)	200	30	Si (blot)	200			

Inger Broberg Kemi

Tjälskadeutredning BD545 Storsund – Korstråk version 4.6

Tjäldjupsberäkning och PMS-Objekt

Lagerföljden som använts både för beräkningarna med Stefans formel och beräkningarna i PMS-Objekt är följande:

Tjocklek	Lagerstruktur
35mm	Bitumenbundet slitlager
85mm	Obundet bärlager
270mm	Förstärkningslager krossat
500mm	Skyddslager
800mm	3b-blandkornigjord \leq 30%
200mm	Silt

Resultatet från tjälberäkningar med Stefans formel finns samlade i tabeller nedan (för beräkningar se bilaga 8):

Tjäldjup max - och minvärden (mm), Stefans formel								
Prov-punkt	Låg λ_s	Hög λ_s	Låg λ_s	Hög λ_s	Låg λ_s	Hög λ_s	Låg λ_s	Hög λ_s
	Låg w	Låg w	Hög w	Hög w	Låg w	Låg w	Hög w	Hög w
	Låg ρ	Låg ρ	Låg ρ	Låg ρ	Hög ρ	Hög ρ	Hög ρ	Hög ρ
5	2128	2241	1991	2224	3159	3310	2465	2716

Beräknat tjäldjup utifrån rimliga parametrar och olika tim ^o			
26000 tim ^o	36000 tim ^o	39500 tim ^o	45000 tim ^o
1990	2220	2300	2420

Utskiftning på platsen har skett till ett djup av 1,8 m. Beräkningar med Stefans formel visar på ett uppskattat, rimligt tjäldjup mellan 1,99 - 24,2 m (för beräkningar se bilaga 10) och beräkningar med extremvärden visar på ett tjäldjup mellan 1,99 – 3,31 m (se bilaga 8).

De beräkningar som genomförts i PMS-Objekt och manuellt med Stefans formel bygger på den lagerföljd som framkommit vid den geotekniska provtagningen och på den information jag fått av Johan Ullberg, Trafikverket angående högsta tillåtna tjällyft (80 mm). Det högsta tillåtna tjällyftet innebär att beräkningen baserades på VR100 km/h, detta påverkar dock varken tjäldjupet eller tjällyftet i beräkningen.

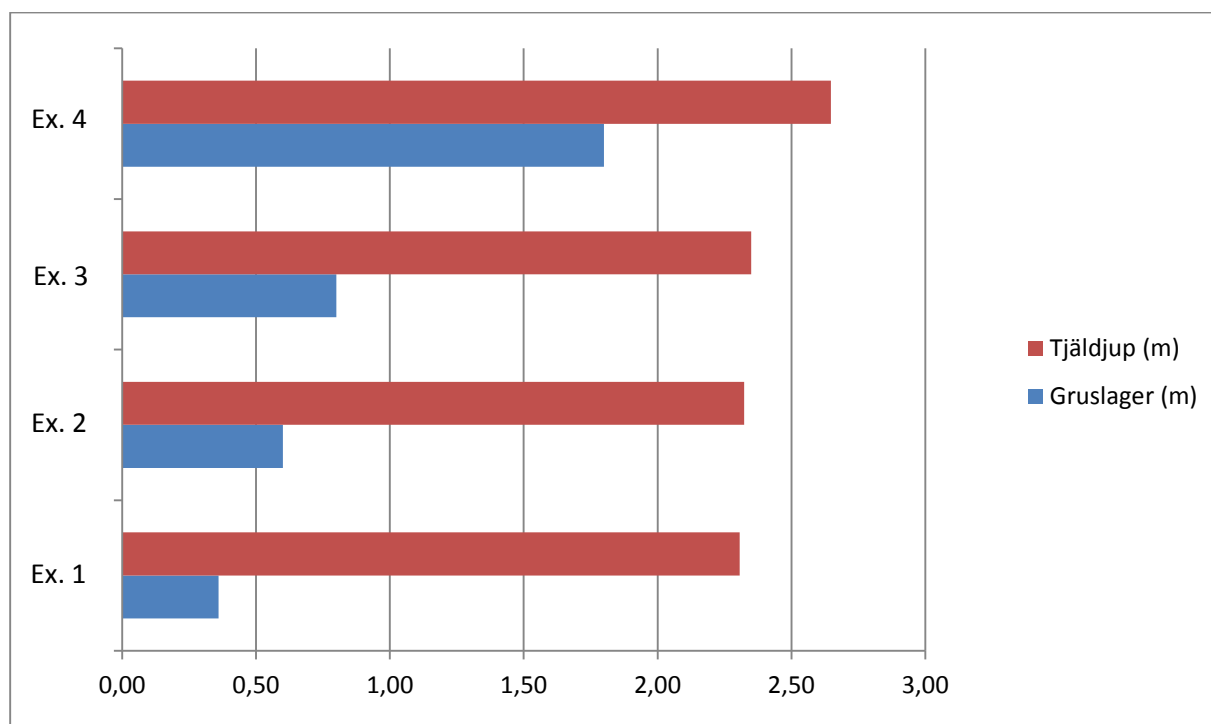
Enligt beräkningen i PMS-Objekt med en korrektionsfaktor på 1,4 blir utskiftningsdjupet och därmed även tjälnedträngningen 2535 mm. En korrektionsfaktor på 1 ger ett utskiftningsdjup

på 1811 mm. Tjällyftet påverkas inte i PMS-Objekt av utskiftningsdjupet utan blir i bägge fallen 125 mm (för beräkningar se bilaga 6). Noteras bör att då entreprenören gjorde sina beräkningar i PMS-Objekt fanns inte funktionen med korrektionsfaktor i programmet. Det fanns inte heller något krav i VVTK 2008 på ett ökat utskiftningsdjup norr om Dalälven. Däremot fanns rekommendationen för ett maximalt tjällyft på 20 mm vid beräkningar i PMS-Objekt i VVTR 2008.

Resultat av beräkningar i PMS-Objekt				
Provpunkt	maximalt tillåtet tjällyft (mm)	Tjällyft (mm)	Korrfaktor 1 Utskiftning (mm)	Korrfaktor 1,4 Utskiftning (mm)
5	80	125	1811	2535

Utskiftningsdjupets påverkan på tjälnedträngningen

Följande diagram som beräknats fram med Stefans formel visar på hur tjälnedträngningen ökar i takt med att silt ersätts med grus/bergkross (för beräkningar se bilaga 9).



12. Diskussion och slutsats

Längdmätning

Den längdmätningens problematik som uppstått beror främst på att rullande längdmätning tillämpats vid inventeringar och åtgärder. Hade GPS-positionering, som är en mer sofistikerad metod, använts vid inmätning hade mätvärdena tvivelsutan varit mer korrekta oavsett förändringar i plan och profil. Dock förutsatt att GPS-mottagarna hade haft hög mätnoggrannhet.

Objekt 1

Provpunkten 2:1 som togs i vägmitt visar på ett 0,2 m tjockt fuktigt grusigt siltlager (tjälfarlighetsklass 4,5A) mellan 1,3 m-1,5 m djup, därefter tar ett 0,3 m sandigt gruslager vid. Detta innebär att entreprenören valt ett enligt TRVK Väg icke tillåtet återfyllnadsmaterial. Materialet i höger kant består av silt från 1,5 m djup enligt provsvar från laboratoriet. Den höga vattenmättnadsgraden i innerslätten indikerar att siltlagret kan börja betydligt högre upp i innerslät än så. Okulärt prov från provpunkt 5, se objekt 2, visar att siltlagret i innerslät där börjar på 1,3 m djup. Om så är fallet även för detta objekt innebär det att entreprenören antingen genom modellering av innerslät eller vid schaktning byggt en siltbarriär mellan väggkropp och dike och på så sätt skapat en bassäng på schaktbotten. Att återfyllnadsmaterialet i väggkonstruktionen är tjällyftande förvärrar naturligtvis saken.

Vid tidpunkten för utförandet av provborrningen konstaterades okulärt att ett ca 40 cm block i innerslät börjat glida ner mot dikesbotten samt att materialet i innerslätten lätt gav vika för tyngd. Detta förmodas bero på hög vattenmättnadsgrad i det relativt finkorniga släntmaterialet. Blocket kan antingen vara uppfrost eller kvarlämnad i innerslät vid modelleringen men den sammantagna okulära bedömningen kan tyda på att det framgent finns risk för släntglidning.

Enligt relationshandlingarna från entreprenören ska sträckan vara armerad. Detta hade vid tidpunkten för georadarmätningen bevisligen inte utförts eftersom varken den geotekniska provborrningen, georadarmätningen eller entreprenörens egen armeringsdokumentation kunde påvisa förekomst av armering. Enligt dokumentation från entreprenören fanns närmaste armering mellan 8/699-8/780 och 15/735-15/792 varför eventuella längdmätningens problem kan uteslutas. Detta förfarande kan anses relativt anmärkningsvärt, trots att det i detta fall handlar om en totalentreprenad. Enligt utsago från Trafikverkets projektledare för objektet Erik Vallin samt Virgilio Pérez har åtgärd på sträckan genomförts efter tidpunkten för georadarmätningen varför det inte går att avgöra om sträckan nu är armerad eller inte. Endast en ny provtagning kan säkerställa att armering av sträckan skett.

Har entreprenören armerat sträckan och samtidigt underlåtit att skifta ut finmaterialet i innerslät bedöms det finnas en överhängande risk att det med tiden kommer att uppstå

släntglidning längs objektets sträckning. Detta på grund av att armeringen tvingar ut krafterna från isbildningen till innerslännt med kantsprickor som följd.

I det material som tillhandahållits av Trafikverket framkommer inte att entreprenören ansvarar för framtida uppkomna kantsprickor.

Relationshandlingen ska kunna betraktas som ett kvitto på vilka åtgärder som genomförts och borde därmed lämnas in till beställaren efter genomförandet och inte som i detta fall före. Det kan finnas omständigheter som tvingar entreprenören att senarelägga vissa åtgärder men detta borde inte hindra Trafikverket att kräva uppdaterade relationshandlingar efter det att samtliga åtgärder genomförts.

Tjäldjupsberäkningar

Resultatet av de beräkningar som ger maximalt och minimalt tjäldjup är att oavsett vilka värden på parametrarna som väljs blir tjälnedträngningen större än det utskiftningsdjup entreprenören valt. I detta objekt har entreprenören enligt den geotekniska provtagningen gjort en utskiftning till 1,8m djup. Enligt de tjäldjupsberäkningar som genomförts tränger tjälren som minst ner till 1,99 m under förutsättning att jorden har låg värmeledning samt att vägkonstruktionen i princip är helt vattenmättad, vilket naturligtvis inte är önskvärt.

Beräkningarna som grundar sig på uppskattade parametervärden ger ett tjäldjup på 2,34 m vid 39500 tim^o (medelvärde per 10 år) vilket bedöms som rimligt.

Beräkningen i PMS-objekt visar på att entreprenörens beräkningar är utförda enligt de för tidpunkten ställda krav. Skulle beräkningarna vara utförda enligt rådande TRVK och TRVR skulle utskiftningsdjupet vara avsevärt större. Man kan endast spekulera i varför rekommendationen på ett maximalt tjällyft på 20 mm som finns i VVTR 2008 och som vid tidpunkten för entreprenörens beräkningar var aktuell nonchalerades.

Objekt 2

Schaktbotten i detta objekt ligger på 1,8m och återfyllnadsmaterialet är enligt Mikael Wiström grusig sand med viss andel siltig morän. Innerslännten utgörs av ett massivt mycket blött siltlager på 1,3m djup, 1,8 meter vertikalt ut från väggkant. Detta innebär att entreprenören har byggt en siltbarriär mellan väggkropp och dike med mycket långsam dränering av vägkonstruktionen som följd. Detta kan förutom de tjälrelaterade deformationer som redan uppstått, leda till släntglidning samt bärighetsproblematik med spårbildningar och sättningar som följd. Entreprenören har även i detta objekt använt ett återfyllnadsmaterial som strider mot TRVK Väg.

Onödig åtgärd?

Det finns ingen dokumentation på att någon tjälspicka förekommit längs objekt 2 före åtgärd. Vid en granskning av de fotografier tagna av Virgilio Pérez 2010 framgår att sträckan däremot hade åtgärdats för bärighetsproblem.

Frågan är varför entreprenören valde utskiftning av hela sträckan och som jag kan bedöma det, bygga in ett problem som inte fanns. I och med att de skiftade ut det material som fanns före åtgärd och bytte ut detta mot ett förmodat bättre material ökade tjäldjupet under väggkroppen samtidigt som siltbarriären de skapat genom olämplig schaktbottenskonstruktion förhindrar dräneringen av densamma.

Tjäldjupsberäkningar

Genomförda tjäldjupsberäkningar visar att även om hela konstruktionen skulle vara vattenmättad och värmeledningen låg skulle tjälnedträngningen ändå bli större än det utskiftningsdjup entreprenören valt. Den uppskattade tjäldjupsnivån baserad på den nu rådande lagerstrukturen och på 39500 tim °C bedöms ge en tjälnedträngning på 2,3 m. Detta visar att tjälen tränger 0,5 m djupare ner under väggkroppen än de 1,8 m som entreprenören valt att skifta ut. Även beräkningarna i PMS-objekt visar på ett betydligt större utskiftningsbehov än vad som utförts och det beräknade tjällyftet bedöms vara 125 mm mot tillåtna 80mm.

13. Källor

Berglund Andreas, *Tjäle – en litteraturstudie med särskilt focus på tjällossning*, Forskningsrapport, 2009, ISSN: 1402-1528, ISBN 978-91-86233-98-3
http://pure.ltu.se/portal/files/3333867/Tjale_Litteraturstudie.pdf

Häggrot Erik, *Kraftspel och deformationer i gravar beroende av tidpunkt för gravsättning*, 2008:097CIV
<http://epubl.ltu.se/1402-1617/2008/097/LTU-EX-08097-SE.pdf>. Hämtad 2013-10-11

Knutsson Sven, Larsson Rolf, Trembley Marius, Öberg-Högsta Anna-lena, *Siltjordars egenskaper*, s. 16, 1998, <http://www.swedgeo.se/upload/publikationer/info/pdf/sgi-i16.pdf>, Hämtad 2013-11-12.

Knutsson, S. (1981) *Tjälningsprocessen: Beräkning av tjäldjup*. 1981:5. Högskolan i Luleå. Avdelningen för geoteknik.

Knutsson Sven, *Tjäle i teori och praktik*, föreläsningmaterial 2012
http://www.ltu.se/cms_fs/1.92504!/file/1-2%20Sven%20Knutsson%20-%20Tj%C3%A4le_2012-03-28_2.pdf. Hämtad 2013-07-03

Larsson Rolf, *Jords egenskaper*, s.11, Statens geotekniska institut (SGI) 2008,
<http://www.swedgeo.se/upload/publikationer/Info/pdf/SGI-I1.pdf>. Hämtad 2013-10-08

Lindberg Fredrik, *STENEN VÄXER UR MARKEN?– Ett försök att mäta stenuppfrysning för ett område i Bollebygds kommun, Västra Götalands län*, 1998, Department of Physical Geography Göteborg, s 7, http://www.gu.se/digitalAssets/1347/1347845_b142.pdf. Hämtad 2013-07-12.

Nilsson, Gunnel, *Varia 527,Handledning i jordartsklassificering för mindre markvärmesystem*, s.21, Statens geotekniska institut (SGI) 2003,
<http://www.swedgeo.se/upload/publikationer/Varia/pdf/SGI-V527.pdf>

Nilsson Martin, *Utskiftningsdjup i Region Norr*, examensarbete 2006:179 Ltu
<http://epubl.ltu.se/1402-1617/2006/179/LTU-EX-06179-SE.pdf>. Hämtad 2013-09-03

PEAB asfalt, Väg 545 Storsund – Korsträsk,
<http://www.peabasfalt.se/Data/Referensprojekt/Infrastruktur/Vag-545-Storsund---Korstrask/>
Hämtad 2013-07-09.

Ramböll RST, *Georadar för bästa vägekonomi*,
<http://rst.ramboll.se/~media/Files/RSE/RST/Georadar1>, Hämtad 2013-12-03

Sensors & software, *GPR ground penetration*, <http://www.sensoft.ca/FAQ.aspx#WhatisGPR>.
Hämtad 2013-12-03

Simonsen Erik, *Vägars Bärighet under tjällossning*, Sammanfattning av doktorsavhandlingen "On Thaw Weakening of Pavement Structures" 1997-2001

http://intra.kth.se/polopoly_fs/1.370677!/Menu/general/column-content/attachment/Vagars_barighet_T4a.pdf. Hämtad 2013-07-12.

Trafikverket, *Väg 545, Storsund–Korsträsk, förbättringsåtgärder*, 2013-02-14

<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Norrbottnen/vag545storsund-korstrask/>. Hämtad 2013-05-14

TRVMB 301, *Beräkning av tjällyftning*, 2011:084

http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6379/TRVMB_301_Ber%C3%A4kning_av_%20tj%C3%A4llyft.pdf, Hämtad 2013-12-03

TRVR 2011:073, TDOK 2011:267, Tabell 3.1-1 Utskiftningsdjupet, kap 3.1.3.2, s. 8

http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6336/2011_073_TRVR_vag_3.pdf. Hämtad 2013-09-06

TRVK, 3.1.3.2 *Utskiftning*, s11, 2011:072

http://publikationswebbutik.vv.se/upload/6335/2011_072_TRVK_vag_2.pdf. Hämtad 2013-11-21

Trafikverket, publ 2009:106, *VVMB 120 inventering och värdering av befintlig väg*, kap 8-10 s.34-42, 2009,

http://publikationswebbutik.vv.se/upload/5096/2009_106_vvmb_120_inventering_och_vardering_av_befintlig_vag.pdf. Hämtad 2013-06-12

Ny metodbeskrivning för *Inventering av tjälrelaterade skador på befintlig väg*, TRV Publ. 2013:xxx, 2013 Material tillhandahållet av Pérez, Virgilio 2013-09.

Viklander Peter, *Stone movements and permeability changes in till caused by freezing and thawing*, Cold Regions Science and Technology, 2000:2, s.151-162

Öhman Julia, *Grundläggning av vindkraftverk i kallt klimat-Simulering av tjälfront på vindkraftverksfundament med TEMP/W*, examensarbete, 2011

<http://pure.ltu.se/portal/files/33093100/LTU-EX-2011-33049864.pdf>. Hämtad 2013-08-10

Muntliga källor:

Pérez Virgilio, Ramböll 2013

Ullberg Johan, Trafikverket 2013

Figur 2: *Sprickbildning efter frysning och upptining*, Trafikverket, ISBN 1401-9612

Publ. nr: 2004:160

http://publikationswebbutik.vv.se/upload/4326/2004_160_sprickfri_och_barig_vag_med_stal_armering.pdf. Hämtad 2013-08-20

Figur 3: Sensors & software, *GPR ground penetration*,
<http://www.sensoft.ca/FAQ.aspx#WhatisGPR>. Hämtad 2013-12-03

14. Bilagor