

Projektnamn

Västlänken och Olskroken planskildhet

Dokumenttyp

PM

Ärendenummer

TRV 2016/3151

Skapad avJonas Sundell, Ezra Haaf,
Jakob Malm**Filnamn**

MPU02_30TE_025_00_0001

Godkänt av

Karl Persson

Godkänt datum

2016-02-10

Version

-

Uppdrag

MPU 02

PM Beskrivning Hydromodell

Underlagsdokument till PM Hydrogeologi,
ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken
och Olskroken planskildhet

Ändringslogg

Version	Datum	Ändring	Godkänt av

Innehåll

1	Inledning	4
1.1	Syfte med modellen	4
1.2	Övergripande koncept och antaganden	4
1.3	Höjd och koordinatsystem	5
2	Teori	5
2.1	Variogram – lägesberoende mellan punkter med data	5
2.1.1	<i>Experimentellt variogram</i>	6
2.1.2	<i>Modellerat variogram</i>	6
2.2	Kriging	6
3	Indata	7
3.1	Sonderingsdatabas	7
3.2	Grundvattennivåer	8
3.3	Marknivåmodell	8
3.4	Utbredning av ytligt berg	8
4	Modell för bergytans nivå	8
4.1	Hantering av indata	9
4.2	Variogram för bergytans nivå	9
4.3	Interpolationssteg	10
4.4	Probabilistisk modell	12
5	Grundvattennivåmodell	14
5.1	Hantering av indata	15
5.2	Interpolationssteg	15
6	Jordlagermodell	16
6.1	Hantering av indata	17
6.2	Variogram för jordlager	18
6.3	Interpolationssteg	20
6.4	Probabilistisk modell	21
6.5	Riskområde för marksättning	23
7	Referenser	24

Bilaga 1 Filer som använts som underlag vid modellering

1 Inledning

Föreliggande rapport utgör ett underlagsdokument till PM Hydrogeologi som ingår i Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken och Olskroken planskildhet.

Utredningsområdet för Västlänken täcker in stora delar av Göteborg. Inom området finns en stor datamängd geologisk information i form av till exempel geotekniska sonderingar, grundvattennivå-observationer och observationer av bergytans läge i dagen. Denna information är nödvändig för att beskriva områdets geologi och hydrogeologi. För att kunna hantera den stora mängden information på ett överblickbart, transparent och effektivt sätt, har en geologisk modell upprättats inom ramen för den hydrogeologiska utredningen för ansökan om tillstånd för vattenverksamhet. Modellen beskriver i huvudsak nivåer för bergöverytan, lerans under- och överkant och grundvattnets trycknivå i det undre magasinet. Lera har varit nödvändigt att skilja från övriga jordlager då marksättningar främst kan uppkomma inom områden med lera.

En beskrivning av osäkerheter i modellen har genomförts för att hantera risker kopplade till den förväntade grundvattensänkningen från Västlänken. Exempel på en sådan risk är skador till följd av marksättningar. Osäkerheter förekommer dels i tolkningen av enskilda sonderingsresultat och dels inom områden där sonderingar saknas. För att beskriva och kvantifiera osäkerheter har geostatistiska metoder använts¹.

1.1 Syfte med modellen

Det övergripande syftet med modellen är att beskriva förväntade värden och osäkerheter i bergnivå och mäktighet för enskilda jordlager inom Västlänkens utredningsområde. Det övergripande syftet rymmer också att interpolera förväntade värden för områdets grundvattennivå. Nedan listas ett urval av modellens detaljerade syften:

- Underlag för bedömning av grundvattenmagasinens utbredning.
- Modellgeometri för numeriska grundvattenmodeller.
- Underlag för bedömning av områdets känslighet för marksättningar orsakade av grundvattensänkning.
- Underlag för bedömning av naturvårdens känslighet för grundvattenpåverkan.
- Underlag för bedömning av påverkan på förorenade områden.
- Visualisering. Genom modellen kan samlad information från sonderingar, grundvattenmätningar mm presenteras på ett åskådligt sätt.

1.2 Övergripande koncept och antaganden

Modellen baseras på att geologin inom Göteborgs stad inom utredningsområdet generellt kan konceptualiseras till att bestå av denna lagerföljd:

- Postglacialt avlagrad friktionsjord, fyllnadsjord eller organiska avlagringar (överst)
- Lera
- Friktionsjord

¹ Variogram har använts för att beskriva osäkerheter i data. Interpolationsmetoden kriging har använts för att simulera det mest förväntade värdet på bergnivå eller ett enskilt jordlagers mäktighet och osäkerheterna i skattningen av dessa. För interpolation av grundvattennivåer har interpolationsmetoden "minimum curvature" använts.

- Bergyta (underst)

Inom områden där undersökningsdata indikerar avsaknad av lera förutsätts i modellen ett mycket tunt lerlager. Även om det förekommer lera som är växellagrad med andra jordarter inom vissa delar, förutsätts i modellen endast ett lager lera.

För de fall då risk för skada ska bedömas är det av betydelse att studera osäkerheter i modellen. I ett område med många sonderingar är osäkerheterna generellt sett mindre jämfört med ett område med ett fåtal sonderingar. Osäkerheterna för de olika geolagren (bergnivå samt lerans läge och mäktighet i jordprofilen) har kvantifierats genom så kallade variogram, vilka beskriver hur samvariationen minskar med ökade avstånd mellan provtagningspunkter. Detta beskrivs mer ingående i kapitel 2.1.

Grundvattennivåmodellen beskriver grundvattnets trycknivå i det undre och det övre magasinet. Det undre magasinet utgörs av friktionsjorden mellan lera och berg. Uppmätta grundvattennivåer i det undre magasinet har använts som indata. Interpolation har genomförts inom bedömda magasinområden. Eftersom kriging inte kan hantera interpolation inom avgränsade områden har istället metoden "minimum curvature" använts.

Ett övre grundvattenmagasin förekommer där leran överlagras av fyllnadsmaterial och vatten normalt förekommer i fyllningen. Detta magasin kan vara hydrauliskt förbundet med det undre magasinet, eller helt åtskilt genom att leran är vattentät. I förekommande fall har övre grundvattennivå interpolerats mellan mätvärden i grundvattenrör. Interpolationen har begränsat sig till områden med flera rör i närheten av varandra (<50 m), medan grundvattennivå på andra platser representeras av enskilda siffror vid de platser där mätningar förekommer.

Programvaran Surfer 11 har använts för interpolering av geologiska data. Stokastisk simulering har genomförts i programvaran R.

1.3 Höjd och koordinatsystem

Höjdsystem är RH2000. Koordinatsystem är SWEREF 99 12 00. Samtlig data har konverterats om till dessa format. Interpolation har genomförts med en upplösning om 10 x 10 meter.

2 Teori

För interpolation och bedömning av osäkerheter i jord- och bergnivåmodellen har interpolationsmetoden kriging (Issaks & Srivastava, 1989) använts. Krigingmetoden går ut på att ta hänsyn till den rumsliga variationen hos en variabel. Kriging är en geostatistisk metod för att interpolera fram värden av en viss variabel i icke provtagna punkter. Skillnaden mot andra interpolationsmetoder är att kriging tar hänsyn till den verkliga autokorrelationen, det statistiska sambandet, som finns i insamlad data. Denna autokorrelation beskrivs av ett variogram vilket är ett diagram som visar variansen beroende av avstånd och riktning mellan provtagna punkter. Till punkterna som beskriver det experimentella variogrammet, anpassas en funktion, som matematiskt beskriver den rumsliga variationen hos aktuell variabel. Det modellerade variogrammet används i kriginginterpolationen för att beskriva hur sonderingar på avstånd från en punkt som ska interpoleras ska viktas in i modellen. Eftersom autokorrelationen beaktas, kan förutom det interpolerade väntevärdet också ett mått på osäkerheten i interpolationen beskrivas.

2.1 Variogram – lägesberoende mellan punkter med data

Ett variogram beskriver hur snabbt samvariationen minskar med ökande avstånd från punkter som innehåller data. Den bakomliggande principen är att två punkter nära varandra är mer lika jämfört med två observationer på större avstånd. Eftersom de bakomliggande strukturerna som styr datavärdena ofta är riktningsberoende kan data variera mer i en riktning jämfört med andra. Exempel på en sådan struktur är områden där flertalet dalgångar ligger i nordnordvästlig riktning. I och med

detta varierar också bergnivåerna mindre i nordnordvästlig riktning jämfört med övriga riktningar. Eftersom variogrammet är riktningsberoende kan storleken på den anisotropi (olika viktning av data i olika riktningar) som förekommer i datamängden kvantifieras.

Variogrammet är en tredimensionell funktion där två oberoende variabler, riktningen och avståndet, beskriver vektorn h , och i sin tur variogramvärdet $\gamma(h)$. Variogramvärdet är ett mått på hur snabbt medelskillnaden mellan datapunkter ökar beroende av avstånd och riktning.

2.1.1 Experimentellt variogram

Det experimentella variogrammet beräknas från den datamängd som ska undersökas. I Västlänkenprojektet har en stor mängd geoteknisk data samlats in för att beskriva områdets geologi. Dessa data har koordinater X, Y och datavärden v . Beroende av vad som ska mätas kan v exempelvis beskriva tolkad nivå för berg eller lerans mäktighet. Avståndet och riktningen mellan datapunkter, h , kan beskrivas av koordinaternas lägeskillnad Δx och Δy . Den totala mängden datapunkter inom ett visst avstånd och riktning definieras av $N(Dx, Dy)$. För vart och ett av samtliga datapar (i och j) med avståndet h , beräknas kvadratsumman av skillnaden mellan dessa, $\sum (v_i - v_j)^2$. Det experimentella variogrammet kan då beskrivas som halva medelvärdet av den kvadrerade skillnaden mellan de parvisa datavärdena:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(i,j)|h_{ij}=h} (v_i - v_j)^2$$

2.1.2 Modellerat variogram

Till det experimentella variogrammet anpassas en matematisk funktion som beskriver det modellerade variogrammet. Detta är nödvändigt för kriginginterpolationen. Flera olika typer av funktioner kan användas, var för sig eller tillsammans. För de data som har modellerats i Västlänkenprojektet har fyra typer av modeller visat sig vara lämpliga: *nugget effekt*-, *gausisk*-, *sfärisk*- och *exponentiellmodell*.

En *nugget effekt* uppkommer när det förekommer en varians på små avstånd. Exempel på en sådan varians är provtagnings- eller tolkningsfel. Nugget effekten beskriver variogramvärdet för $h=0$.

$$\gamma(h) = C_0$$

Där C_0 är en konstant >0 .

Det *sfäriska variogrammet* definieras enligt följande, där C_3 är en konstant:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_3(1,5h - 0,5h^3) & h < 1 \\ C_3 & h \geq 1 \end{cases}$$

Det *exponentiella variogrammet* definieras enligt följande, där C_1 är en konstant:

$$\gamma(h) = C_1(1 - e^{-h})$$

Det *gaussiska variogrammet* definieras enligt följande, där C_2 är en konstant:

$$\gamma(h) = C_2(1 - e^{-h^2})$$

För att anpassa det experimentella variogrammet till ett modellerat variogram har minsta kvadratmetoden använts. Med minsta kvadratmetoden väljs en formel för det modellerade variogrammet som minimerar kvadratsumman av felen mellan modellerat och experimentellt variogram.

2.2 Kriging

Genom det modellerade variogrammet kan vikten av datapunkter kring en punkt som ska interpoleras beräknas. Viktningen avgör vilket inflytande de olika datapunkterna har för den nya punkten som ska

interpoleras. Den generella formeln för kriging är formulerad som en viktad summa av den datamängd som används för interpolationen:

$$\hat{V}(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i * V(x_i)$$

Där:

$V(x_i)$ är det uppmätta värdet på platsen med ordningen i .

w_i är viktningen av värdet på platsen med ordningen i .

x_0 är platsen som ska interpoleras.

n är antalet värden som används i interpolationen.

Viktningen, w_i , beror av variogrammodellen som har beskrivits ovan. Från interpolationen med kriging beräknas också osäkerheten för det interpolerade värdet. Osäkerheten i interpolationen beskrivs av en beräknad standardavvikelse. Från kriginginterpolationen erhålls därmed ett väntevärde och en standardavvikelse för samtliga platser där interpolationen sker. Probabilistisk modell

I en stokastisk modell simuleras samtliga möjliga utfall för en variabel. Den stokastiska simuleringen genererar en sannolikhetsfördelning ur vilken sannolikheten för ett visst värde kan utläsas. Detta kan jämföras med en deterministisk modell som endast använder ett värde för att beskriva en variabel.

Som nämdes i tidigare kapitel beräknas ett väntevärde och en standardavvikelse vid kriging. Med antagande om att variabeln som ska skattas kan beskrivas av en normalfördelning kan sannolikheten för ett värde av en viss storlek på en enskild plats beräknas. MPU Hydromodell innehåller flera lager information: bergnivå och mäktighet för tre jordlager (fyllnad, lera, friktion). En grundläggande förutsättning för att genomföra en stokastisk simulering är att variablerna är oberoende av varandra. Mäktigheten för ett enskilt jordlager är beroende av den totala jordlagermäktigheten vilken i sin tur är beroende av bergnivå. För att kunna genomföra stokastiska simuleringar måste data transformeras så att beroenden inte förekommer. Istället för att modellera till exempel lermäktigheter har data för lermäktigheter räknats om till andelen lera av den totala jordmäktigheten. Hur transformationen har genomförts i detalj beskrivs i kapitel 6.

När geodata är transformerad så att beroenden saknas mellan olika variabler kan en stokastisk, så kallad Monte Carlo-simulering, genomföras. Denna simulering genomförs i programvaran R. Monte Carlo-simuleringen baseras på att värden slumpas från en definierad fördelning. Fördelningarna definieras av de väntevärden och standardavvikelser för geolager (bergnivå och jordlager) som beräknas genom kriging-interpolationen.

För att beräkna en sannolikhetsfördelning för lermäktigheten måste även bergnivå beaktas. Först slumpas en bergnivå där jordmäktigheten beräknas från marknivå ner till berg. Sedan slumpas andelen lera, varefter lermäktigheten kan beräknas. Denna process upprepas ett stort antal gånger, t.ex. 1000, och en sannolikhetsfördelning för lermäktigheten erhålls. Genom denna process kan en stokastisk simulering genomföras samtidigt som beroenden mellan de olika geolagren beaktas. Detaljer kring den stokastiska simuleringen redovisas i kapitel 6.4.

3 Indata

Jord- och bergnivåmodellen är uppbyggd av geotekniska sonderingar i en sonderingsdatabas, information om lägen för platser där bergytan går i dagen samt en laserscannad marknivåmodell. En sammanställning av de filer som använts vid modelleringen återfinns i bilaga 1.

3.1 Sonderingsdatabas

Totalt har information från 15000 sonderingar samlats i en Access-databas. Genom denna är det möjligt att spåra data från en specifik sonderingspunkt för att jämföra modellens resultat. Underlag

kommer dels från i Västlänksprojektet genomförda sonderingar, dels äldre sonderingar från andra projekt. Inom de delar som i första hand berörs av Västlänken har i princip samtliga sonderingar från geoarkivet på Stadsbyggnadskontoret i Göteborgs Stad inhämtats. På större avstånd från tunneln har mindre djupgående inventering utförts. Inom de mer perifera områdena har även SGU:s brunnarsarkiv varit en viktig tillgång.

3.2 Grundvattennivåer

Grundvattennivåmodellen är uppbyggd av grundvattennivåobservationer lagrade i Trafikverkets grundvattendatabas (TMO) samt en tabell med platser där enskilda observationer av grundvattennivå förekommer, till exempel provgropar.

3.3 Marknivåmodell

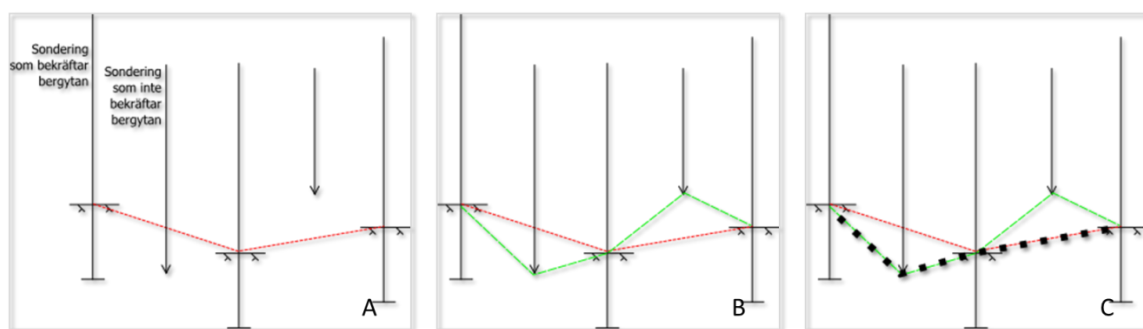
Laserskannad markyta från Lantmäteriet via Trafikverket.

3.4 Utbredning av ytligt berg

Utbredning av ytligt berg används också som underlag för modellen. Denna information har inhämtats från en jordartskarta sammanställd inom projekt Västlänken. Kartan baserar sig på fältkartering, karta från Stadsbyggnadskontoret, sonderingar och SGU:s karta.

4 Modell för bergytans nivå

Bergytenivåmodellen beskriver bergöverytans nivå i meter över havet. För att beakta all tillgänglig information har modellen genomförts i flera steg. Både sonderingar som bekräftar bergytan och sonderingar som är avbrutna innan bergytan, har beaktats i modellen. Om endast sonderingar som bekräftar bergytans nivå skulle användas i en interpolering av bergnivå, är det möjligt att sonderingar som inte bekräftar bergytan har en underkant som är lägre än interpolationen, se Figur 1A. Trots att det finns information som visar att bergytan inom vissa områden ligger på en lägre nivå, skulle denna inte beaktas för detta fall. Om samtliga sonderingar skulle användas för att interpolera bergytan skulle det första fallet A inte inträffa, däremot skulle det finnas platser där bergytan uppenbart är för hög på grund av sonderingar som har avbrutits innan bergnivån har nåtts, detta fall illustreras av Figur 1B. Det bästa antagandet om bergytans nivå från tillgänglig information är därför den lägsta nivån från de båda interpolationerna A och B, se Figur 1C.



Figur 1. Interpolation med sonderingar till berg (A, röd linje), samtliga sonderingar (B, grön linje) och lägstanivån av de båda interpolationerna (C, svart streckad linje).

Ytterligare steg är nödvändiga i interpolationen för att hantera den stora mängd datapunkter med ytnära berg som samlas i kluster. Om data med ytnära berg skulle hanteras på samma sätt som övriga sonderingar, skulle dess kluster dominera interpolationen och därmed leda till en för hög nivå för bergöverytan. Hur detta hanteras beskrivs mer ingående i kapitel 4.3.

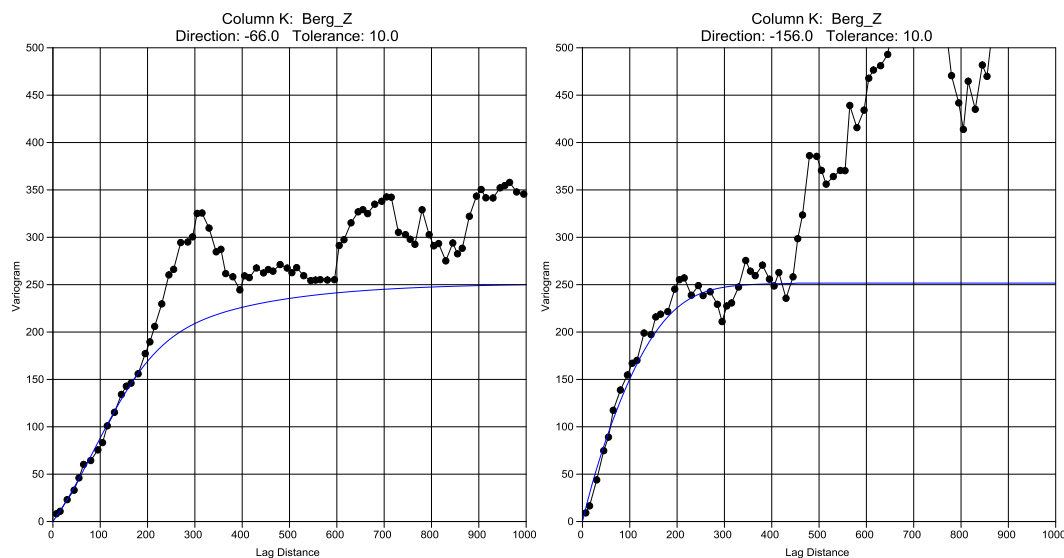
4.1 Hantering av indata

Följande indata har använts vid modelleringen:

- *Sonderingar i förmodat berg.* Jord- och bergsonderingar som går genom bergytan ingår i denna grupp. Sonderingar som har en stoppkod 94 eller 95 enligt SGFs, Svenska Geotekniska Föreningen, nomenklatur ingår i gruppen. Dessa stoppkoder innebär stopp mot förmodat berg respektive sondering i förmodat berg. 5300 sonderingar ingår i denna grupp.
- *Övriga sonderingar.* I denna grupp ingår övriga 7700 sonderingar.
- *Ytnära berg.* Detta område motsvarar de platser i projektets jordartskarta markeras som ytnära berg. Det ytnära berget har tilldelats nivåer från marknivåmodellen. På en radie av 30 meter från en sonderingspunkt har nivåer från det ytnära berget inte använts då sonderingspunkten anses mer tillförlitlig än tolkningen av ytnära berg.
- *Linjer för dalgångar mellan områden med ytnära berg.* Som motvikt till den stora datamängden ytnära berg har linjer som visar mitt för dalgångar använts för att ge sonderingsresultat inom dalgångar en större betydelse. Läget för dessa linjer har först beräknats automatiskt och sedan manuellt justerats. Linjerna har inte använts i de fall sonderingar helt saknas inom en dalgång.

4.2 Variogram för bergytans nivå

I Figur 2 nedan redovisas variogram för bergytans nivå för två riktningar. Det experimentella variogrammet är beräknat från sonderingar som bekräftar bergöverytan. Det modellerade variogrammet beskrivs av en exponentiell och gaussisk modell. Inom området för modellen är det generellt korta avstånd mellan sonderingar. Därför är det viktigt att det modellerade- och det experimentella variogrammet visar god överensstämmelse på korta avstånd. Det modellerade variogrammet är därför optimerat för avstånd upp till 200 meter. Den bästa anpassningen har valts genom iterativa beräkningar med minsta kvadratmetoden. På avstånd större än 200 meter minskar överensstämmelsen mellan modellerat och experimentiellt variogram. Detta är inte av någon större betydelse inom modellområdet då dataunderlaget generellt har en hög täthet.



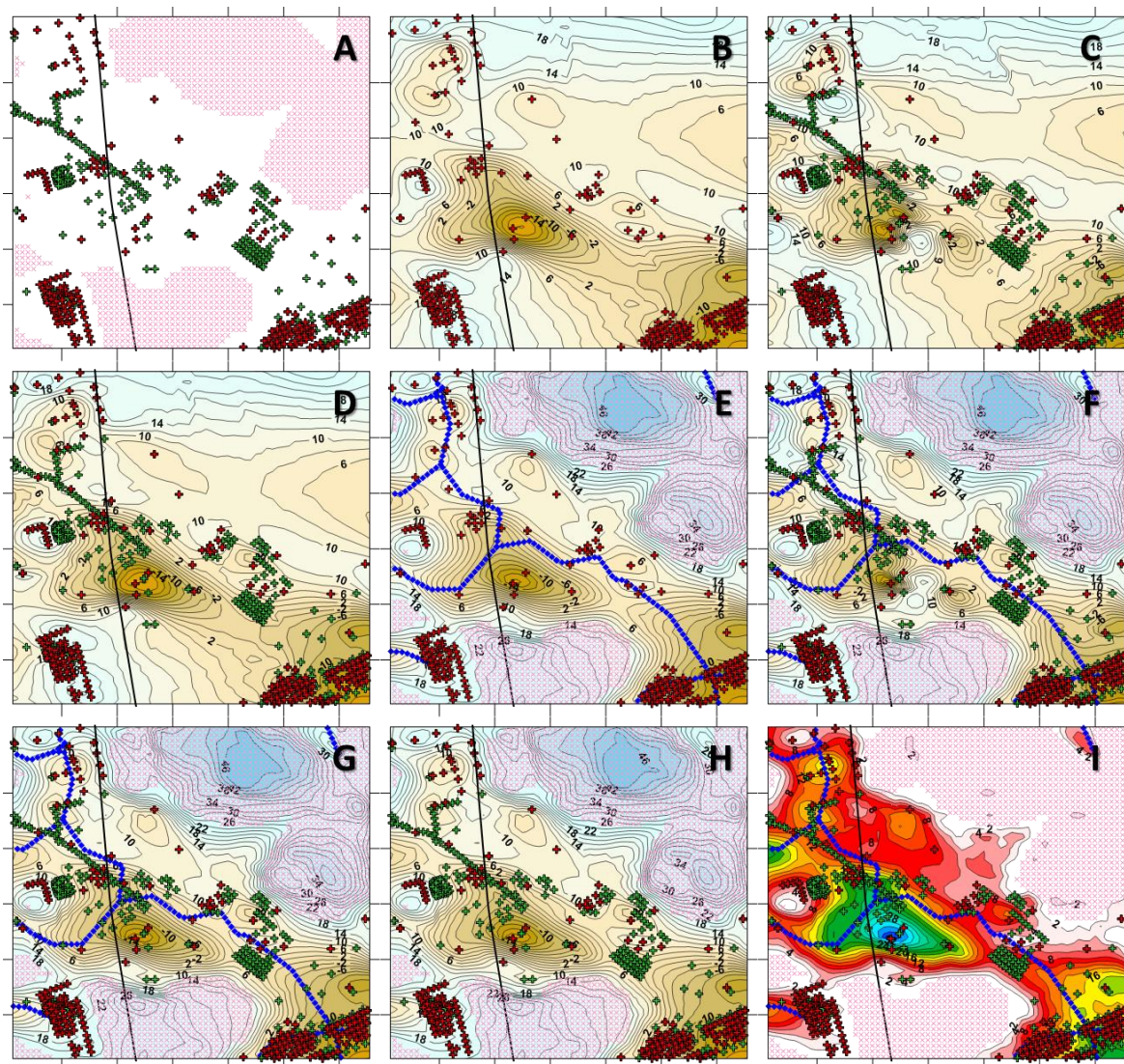
Figur 2. Variogram för sonderingar som bekräftar bergöverytan. Siffrorna anger riktning, -66 (den vänstra bilden) är i NNV riktning, -156 (den högra bilden) är i ONO riktning. Den horisontella x-axeln visar avstånd i meter (h) och den vertikala y-axeln variogram $\gamma(h)$. Experimentellt variogram från data; punkter, redovisas tillsammans med modellerat variogram; blå linje.

Från Figur 2 framgår att variogramvärdet varierar på olika avstånd beroende av riktning. Detta innebär att det finns anisotropi i data för sonderingar som bekräftar bergöverytan. Anisotropin innebär att om en punkt ska interpoleras så representerar sonderingar i riktning mot ett visst väderstreck denna punkt bättre jämfört med sonderingar i andra väderstreck. Väderstrecken i variogrammet i Figur 2 omfattar även den motsatta riktningen. Riktningen -66, NNV, innefattar således även riktningen, +114, SSO.

Variogramvärdet är generellt som lägst i riktningen -66 (NNV) jämfört med övriga riktningar. Variogramvärdet ökar sedan successivt till riktningen -156 (ONO). Den dominerande riktningen för dalgångarna i området är NNV. Det är därför logiskt att om en ny punkt ska interpoleras i en dalgång, representerar en sondering i samma riktning som en dalgång denna punkt bättre än en sondering på tvärs riktning mot dalgången. Vid den vidare interpolationen har detta inneburit att sonderingar i riktningen -66 från en punkt som ska interpoleras har fått större betydelse vid interpolationen jämfört med sonderingar i övriga väderstreck. Mellan dessa båda riktningar sker en gravis övergång i hur datapunkter viktas in i modellen.

4.3 Interpolationssteg

Eftersom modellen innehåller flera typer av data har det varit nödvändigt att genomföra interpolationen i flera steg. Kriging och variogram i Figur 2 har använts i samtliga interpolationssteg. Stegen framgår av Figur 3 och punktlistan efter figuren.

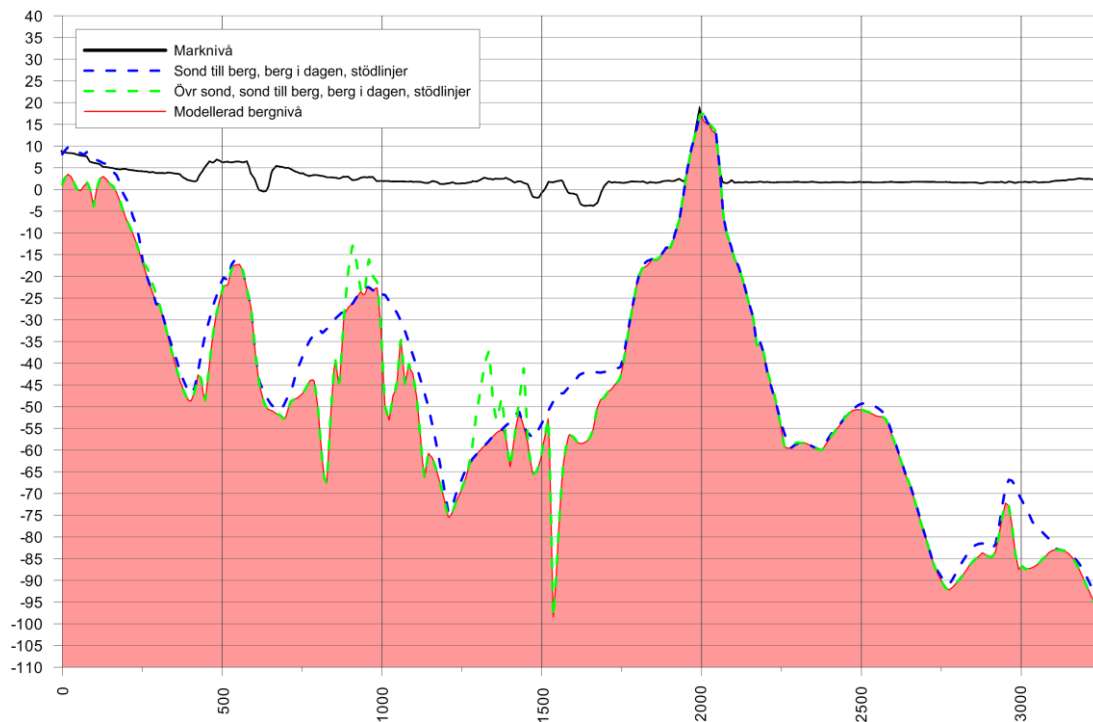


Figur 3. Interpolationssteg A-I i modellen för bergytans nivå (meter över havet). Varje streck på axlarna visar 100-meter.

Dessa steg (jämför med Figur 3) har ingått för att skapa modellen för bergytans nivå:

- A. I det första steget framgår sonderingar till berg som röda kors, övriga sonderingar som gröna kors och områden med bergytan i dagen som rosa kryss.
- B. Den första interpolationen sker endast med sonderingar som går till berg.
- C. Resultatet av B jämförs med lägstanivån för övriga sonderingar. De övriga sonderingar som har en högre nivå än B sorteras bort. En ny interpolation genomförs med kvarvarande sonderingar (3900 st) och sonderingar som går till berg.
- D. De lägsta nivåerna från B och C väljs.
- E. En linje (blåa punkter) som går längs med dalgångarna mellan områden med ytnära berg och har punkter var 10:e meter tilldelas värden från D. Ny interpolation med värden från linjen, sonderingar till berg och bergytan i dagen. Utan detta steg skulle det i smala dalgångar med ett fåtal sonderingar och berg i dagen på båda sidor om dalgången, interpoleras värden i dalgångens mitt från de mer närliggande värdena med berg i dagen istället för sonderingar i dalgången.
- F. Interpolation med värden på linjen som i E, samtliga sonderingar och värden från områden med bergytan i dagen.
- G. De lägsta nivåerna från E och F väljs.
- H. Resultatet av G jämförs mot markytans nivå för att säkerställa att bergytan inte överstiger denna. Resultatet av detta steg utgör den slutgiltiga deterministiska bergytanivåmodellen.
- I. I denna bild visas jorddjupet i meter. Det har erhållits genom differensen av marknivå och bergytanivå.

I Figur 4 tydliggörs behovet av att dela upp interpolationsprocessen i flera steg. Eftersom sonderingar som inte går till bergöverytan innehåller information om bergets högsta möjliga nivå, sonderingens underkant, är denna också viktig i interpolationen. I de fall en interpolation av dessa understiger nivå för interpolation med endast sonderingar till berg är det därför viktigt att de beaktas. Därför väljs också den lägsta nivån i stegen D och G, vilket framgår av Figur 4.



Figur 4. Profil längs med del av den planerade sträckningen för Västlänken. Den översta, linjen visar marknivån. Den blåstreckade linjen visar interpolation med sonderingar till berg, punkter med bergytan i dagen och linjen i dalgångarnas mitt, steg E. Den grönpunktade linjen visar interpolation med övriga sonderingar, sonderingar till berg, punkter med bergytan i dagen och linjen i dalgångarnas mitt, steg F. De lägsta värdena av E, F och markytans nivå blir den resulterande bergytanivåmodellen, det röda området.

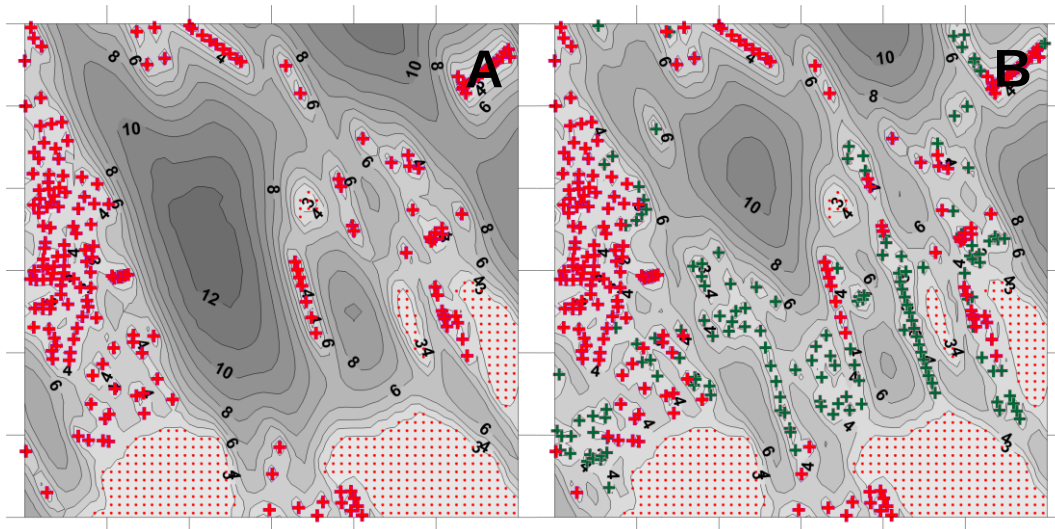
4.4 Probabilistisk modell

Osäkerheter i bergytans nivå är av stor vikt vid beräkning av risk för marksättningar. Om bergytan är beräknad till en för hög nivå underskattas jordlagermäktigheten och därmed sättningens storlek. Om bergytan är beräknad till en för låg nivå överskattas jordlagermäktigheten och sättningens storlek. Genom att beskriva samtliga möjliga utfall av bergytanivån för en viss plats, möjliggör detta vidare beräkningar av samtliga eventuella utfall av en marksättnings storlek.

Interpolationsmetoden kriging förutsätter normalfördelad data. Histogram över sonderingsdata visar också att normalfördelning är ett rimligt antagande för bergytan. Möjligtvis kan erosion ha orsakat att bergtopparna generellt har mindre variation jämfört med dalgångarna. Denna möjliga avvikelse mot sonderingsdata, som i huvudsak finns i dalgångarna och vilka variogrammen baseras på, blir dock ändå representerad av den stora mängden data för ytnära berg.

Variogram i Figur 2 kan användas för att beskriva hur osäkerheterna ökar med avstånd från en provtagningspunkt. I Figur 5 har standardavvikelsen beräknats från kriging-interpolationen. Vid interpolation med kriging genereras ett väntevärde och en standardavvikelse för var och en av de punkter som interpoleras. Standardavvikelsen beskriver prediktionsfelet i den aktuella interpolationspunkten.

I Figur 5A redovisas standardavvikelsen från interpolation med sonderingar till berg och punkter med bergytan i dagen. Från figuren framgår att standardavvikelsen är mindre närmare sonderingspunkter jämfört med längre bort från dessa. I Figur 5B redovisas standardavvikelsen från interpolation med samtliga sonderingar och punkter med bergytan i dagen. Även i denna bild är standardavvikelsen mindre nära områden med data jämfört med områden längre bort.



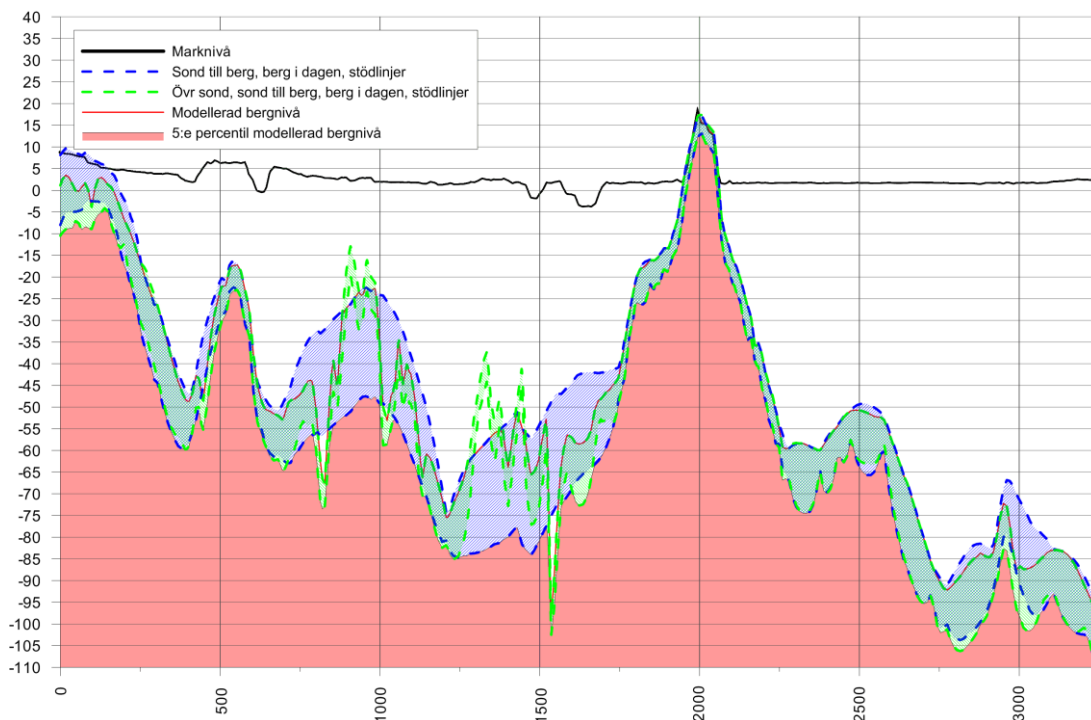
Figur 5 Standardavvikelse (meter över havet) från kriging-interpolationen. A visar standardavvikelse från interpolation med sonderingar till berg (röda kors) och ytnära berg (punkter i kluster). B visar standardavvikelse från interpolation med sonderingar till berg, lägsta nivå för övriga sonderingar (gröna kors) och ytnära berg.

Eftersom bergytan förutsätts variera med en normalfördelning kan de standardavvikelser som redovisas i Figur 5 användas för att beräkna samtliga möjliga bergytanivåer för en viss plats givet modellantagandena. Detta har genomförts enligt följande steg:

1. Medelvärde för interpolation av sonderingar till berg beskrivs av E i Figur 3. Standardavvikelsen beskrivs av A i Figur 5.
2. Medelvärde för interpolation av samtliga sonderingar beskrivs av F i Figur 3. Standardavvikelsen beskrivs av B i Figur 5.
3. Vid simulering av möjliga utfall måste alltid samma percentil för steg 1 och 2 jämföras och det lägsta värdet av dessa väljas. T.ex. måste medelvärdet av steg 1 jämföras mot medelvärdet av steg 2 och det lägsta värdet av dessa väljs. På samma sätt måste 10-percentilen i steg 1 jämföras mot 10-percentilen av steg 2 och det lägsta värdet av dessa väljs.
4. Beroende av antalet simuleringar som önskas fortsätter beräkningarna enligt 1-3. När antalet simuleringar som önskas har genomförts, kan fördelningar för var och en av platserna där simuleringen har genomförts tas fram. T.ex. kan en fördelning med percentiler, medelvärde, median och standardavvikelse för bergytan redovisas. Det lägsta värdet vid jämförelse av motsvarande frekvens i 1 och 2 skapar sedan den resulterande fördelningen för möjliga bergytanivåer.

Steg 3 kan också förklaras genom Figur 6. Till modellerade medelvärden av bergnivå i Figur 4 har 5-percentilen lagts till i figuren (rött ifyllt område). Utmed vissa delar samvarierar såväl 5:percentilen som medelvärdet för både sonderingar till berg och samtliga sonderingar (t.ex. mellan 1800 och 2200). Utmed andra delar är såväl 5:e percentilen som medelvärde endast beroende av antingen sonderingar till berg eller samtliga sonderingar (t.ex. vid 1300 och 1550). Till sist visar figuren att för vissa delar är medelnivån beroende av en urvalsgrupp samtidigt som den 5:e percentilen är beroende av en annan (t.ex. vid 1700). Vid längdmätning 2000 m där bergytan är i dagen finns också en skillnad på ca tre meter mellan medelvärdet och 5-percentilen. Detta beror på att punkterna som representerar bergytan i dagen ligger på ett avstånd av 10 meter från varandra och inte som en sammanhängande yta. Om en högre upplösning på interpolationen hade valts så skulle det bli mindre skillnad mellan

medelvärde och 5-percentilen vid platsen för en sonderingspunkt till berg. Upplösningen på 10 x 10 meter bedöms vara tillräcklig för modellens syften.



Figur 6. Profil längs med del av den planerade sträckningen för Västlänken. Skillnaden mot Figur 4 är att för interpolation med sonderingar till berg, samtliga sonderingar och den resulterande bergytanivån har 5-percentilen för dessa lagts till i figuren. Ytan mellan medelvärdet och 5-percentilen har skrafferats.

Sannolikheten att den 5-percentilen skulle representera den verkliga bergnivån på samtliga platser samtidigt är mycket mindre än 5 procent. Däremot är det 5 procents sannolikhet att 5-percentilen inträffar på en plats om resterande interpolationspunkter betraktas oberoende av denna. Om 5-percentilen är den verkliga bergnivån på en plats är det samtidigt möjligt att någon annan percentil är den verkliga bergnivån på en annan plats. Interpolationspunkter nära varandra är i praktiken inte oberoende av varandra, däremot, som variogrammen visar, ökar oberoendet mellan interpolationspunkterna med avståndet.

5 Grundvattennivåmodell

För att kunna bedöma grundvattenpåverkan och sättningsrisker är det viktigt att utgå från en verklighetsnära beskrivning av rådande grundvattenförhållanden och flödesmönster. I detta fall åstadkoms denna beskrivning genom att samla och granska grundvattendata från ett större antal observationsbrunnar (grundvattenrör), brunnsborrningar och andra geotekniska undersökningar och utifrån dessa mätdata interpolera fram utbredning och genomsnittliga nivåer för övre och undre grundvattenmagasin inom utredningsområdet. Den vertikala utbredningen av undre grundvattenmagasin begränsas nedåt av bergöverytan och uppåt av lera där sådan förekommer. Grundvattnet i det undre magasinet antas därför i huvudsak flöda i friktionsjorden närmast bergöverytan. I områden där det finns lera kan även ett övre grundvattenmagasin förekomma. Informationen om övre magasin utbredning är mer begränsad varför interpolationen begränsats till en radie av 50 meter från varje mätpunkt. Utsnitt av interpolerade grundvattenmagasin, interpolationsområdesgränser och indata vissas i Figur 7 för undre magasin.

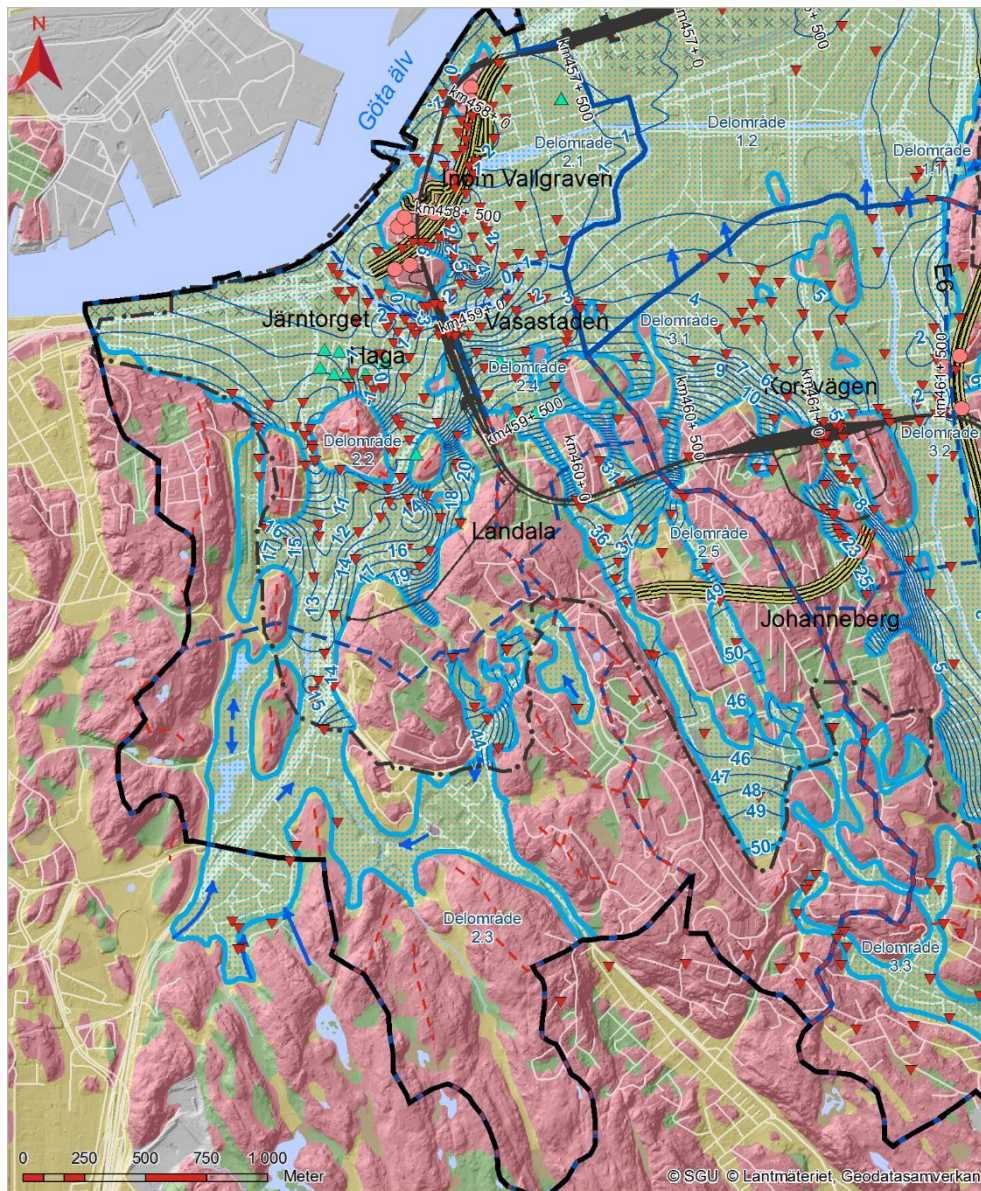
5.1 Hantering av indata

All tillgänglig grundvattendata har genomgått kvalitetsgranskning där det även ingår jämförelse med närliggande mätpunkter. Inom områden där det finns gott om högkvalitativ data, det vill säga granskade längre mätserier från grundvattenrör, så har data av lägre kvalitet konsekvent sällats bort. Det finns dock områden som helt saknar grundvattenrör vilket innebär att annan geoteknisk grundvatteninformation utnyttjats i möjligaste mån. Det kan exempelvis handla om enstaka observationer från geotekniska sonderingar eller brunnborrningar. Det finns även områden där det helt saknas närliggande grundvatteninformation. Detta leder med nödvändighet till att precisionen i modellen kraftigt varierar inom utredningsområdet där tätheten mellan indatapunkterna blir ett mått på modellens lokala noggrannhet. I aktuell version av grundvattenmodellen har undre magasin interpolerats med hjälp av information från 465 mätpunkter varav knappt 400 utgörs av grundvattenrör och resterande utgörs av information från andra geotekniska undersökningar och brunnborrningar. Interpolationen för övre magasin bygger på information från 370 grundvattenrör.

5.2 Interpolationssteg

Till skillnad från bergmodellen, som interpolerats med krigingmetoden, har metoden minimum curvature använts för grundvattenmodellen. De två metoderna ger snarlika resultat men med minimum curvature ges möjlighet att ansätta avgränsningar mellan närliggande interpolationspunkter. Detta gör att det interpolerade fältet inte direkt påverkas av information från punkter på motsatt sida om en avgränsning. Dessa avgränsningar har utnyttjats för att ansätta grundvattendelare utifrån höjddata i bergmodellen. Metoden minimum curvature ger också möjlighet att ansätta hög- och lågpunkter (åsryggar och sänkor) i det interpolerade fältet. Ett vattendrags utbredning sammanfaller med lokala lägstanivåer för grundvattenytan och den typen av information har även ansatts i modellen. För undre magasin ansätts också bergmodellen som ett gränsvärde för grundvattenmagasinets utbredning. Det innebär att där bergnivån ligger över grundvattennivån så begränsar berget grundvattenmagasinets utbredning.

Nackdelen med minimum curvature jämfört med krigingmetoden är att det inte går att göra en statistisk osäkerhetsanalys. I områden där det är tätt mellan mätpunkter blir noggrannheten hög. Detta verifieras genom att ta bort en interpolationspunkt och se hur interpolationen förändras och hur väl den överensstämmer med det saknade värdet. Ju färre indatapunkter desto osäkrare blir interpolationen och därför har ett arbete med att höja noggrannheten genom att anlägga nya grundvattenrör pågått under hösten 2015.



Figur 7. Utsnitt av interpolerade medelnivåer för grundvattenytan i undre magasinet. Röda trianglar markerar mätpunkter för grundvatten vilka alltså utgör indata för interpolationen.

6 Jordlagermodell

Syftet med jordlagermodellen har varit att modellera läget för lerans över- och underkant då dessa är kritiska för bedömning av risk för marksättning. En detaljerad indelning av de jordarter som förekommer över respektive under leran har inte varit ett modelleringsmål. Göteborgs jordlagerföljd har konceptualiserats till att överst bestå av ett lager fyllnadsjord och ytligt förekommande svalljord, därunder ett lager lera och underst friktionsjord, Figur 8. Detta är en kraftig förenkling då lagerföljden kan vara betydligt mer komplex. Förenklingen anses dock relevant med hänsyn till modellens syften. I och med förenklingen kan lermäktigheten inom vissa områden överskattas, vilket är ett konservativt antagande vid bedömningen av risk för marksättningar. Modellens överkant avgränsas av markytanivåmodellen och dess underkant avgränsas av bergytanivåmodellen. I och med denna avgränsning skapas ett beroende mellan de enskilda jordlagrens mäktighet och berg- och marknivå. Det finns även beroenden mellan de enskilda jordlagren. För att hantera detta måste konvertering genomföras som tar hänsyn till att data är beroende av varandra. I och med att beroenden finns måste också modellen genomföras i flera steg. Hur beroenden har hanterats och modellering har genomförts

förklaras nedan. Osäkerheter i lermäktigheten och lerans läge i jordprofilen är av stor betydelse vid beaktande av risk för marksättningar. För att beakta osäkerheter har också en probabilistisk jordlagermodell tagits fram.

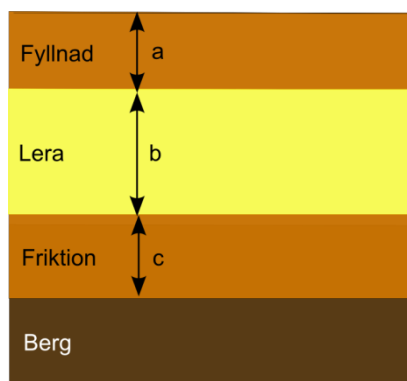
6.1 Hantering av indata

Från samtliga sonderingar som anger uppgifter om lera har lermäktigheten beräknats. Lermäktigheten har beräknats från den översta nivåangivelsen till den understa nivåangivelsen där lera förekommer, även i de fall där andra jordlager förutom lera förekommer däremellan. För att alltför tunna lerlager inte ska överskatta den totala lermäktigheten väljs jordlager tunnare än en decimeter bort innan denna beräkning sker. Dessa räknas istället till jordlagren som kommer över och under det borttagna jordlagret. Även om de tunna lagren plockas bort ur modellen förekommer platser där den totala lermäktigheten överskattas på grund av att modellen inte tar hänsyn till att det förekommer friktionsjord mellan lerlagren. Detta är ett konservativt antagande vid bedömning av risk för marksättningar.

Enligt motsvarande princip som för bergnivåmodellen har sonderingar där lera ingår i tolkningen grupperats i två grupper. I den första gruppen ingår sonderingar där det är en annan jordart eller berg under den delen som är tolkad som lera (6500 st. sonderingar). I den andra gruppen ingår sonderingar som har avbrutits utan att hela lermäktigheten har sonderats (1300 st. sonderingar). Utöver dessa två grupper ingår ett tredje urval där hela jordlagermäktigheten har sonderats ner till berg utan att lera har påträffats (180 st. sonderingar). Övriga sonderingar, det vill säga sonderingar där hela profilen till berg inte är jordartsbestämd används inte i jordlagermodellen.

Modellerna för mark- och bergöveryta utgör övre och undre gränser för jordprofilen. I ett första steg i modelleringen av jordlager interpoleras lerans överkant (se avsnitt 6.3). Från skillnaden mellan lerans överkant och bergnivån har andelen lera beräknats, se Figur 8 och ekvation nedan. Inom flera områden där utfyllnad och schakt har skett inom årens lopp skiljer sig referensnivån för sonderingar jämfört med den laserscannade marknivåmodellen. Eftersom den vidare modelleringen utgår från marknivåmodellen används denna istället för sonderingens inmätta överkant. För de sonderingar som inte når till berg har bergets nivå antagits från bergnivåmodellen.

Andelen lera av den totala jordlagermäktigheten, p_b , definieras som:
$$p_b = \frac{b}{b + c}$$

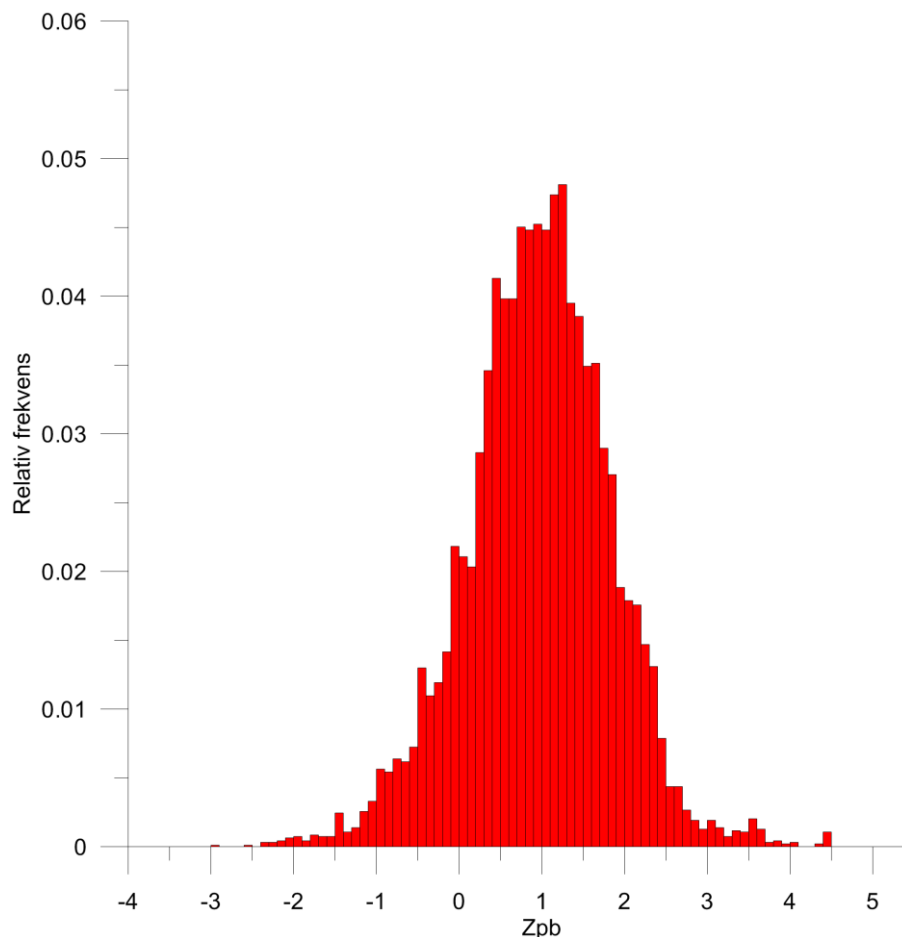


Figur 8. Konceptuell profil där jordmäktigheten; a , b och c , markeras för respektive jordlager; fyllnad, lera friktion.

Genom omvandlingen till proportioner kan lerans andel simuleras oberoende av bergnivån. En fördel med detta angreppssätt jämfört med att direkt interpolera lerans underkant är att det finns fler sonderingar som används för bergnivåmodelleringen (ca 13000) jämfört med för jordlagermodelleringen (ca 8000). För platser där det finns uppgifter om bergnivån men inte om jordlager ger den interpolerade proportionen på den platsen lerans mäktighet och underkant. Detta är ett geologiskt rimligt antagande då lermäktigheten är beroende av den totala jordmäktigheten.

För de sonderingar som helt saknar lera och enbart består av friktionsjord har hela jordlagerföljden antagits tillhöra det understa lagret c .

Interpolering med kriging förutsätter normalfördelad data. En proportion kan anta värden mellan 0 och 1. Värdet 0 innebär att ett visst jordlager saknas helt och värdet 1 innebär att det är det enda jordlagret som finns. Eftersom normalfördelningen är kontinuerlig och kan anta värden utanför detta spann, måste p_b och p_c transformeras så att dess värden kan representeras av en normalfördelning. En lämplig transformation är att proportionerna representerar fördelningsfunktionen för den standardiserade normalfördelningen med medelvärde 0 och standardavvikelsen 1. Genom detta kan sannolikheterna i sin tur transformeras till den standardiserade normalfördelningens värden, z . Resultatet av denna transformation framgår av Figur 10.



Figur 9. Resultat av transformation av p_b till den standardiserade normalfördelningens värden z .

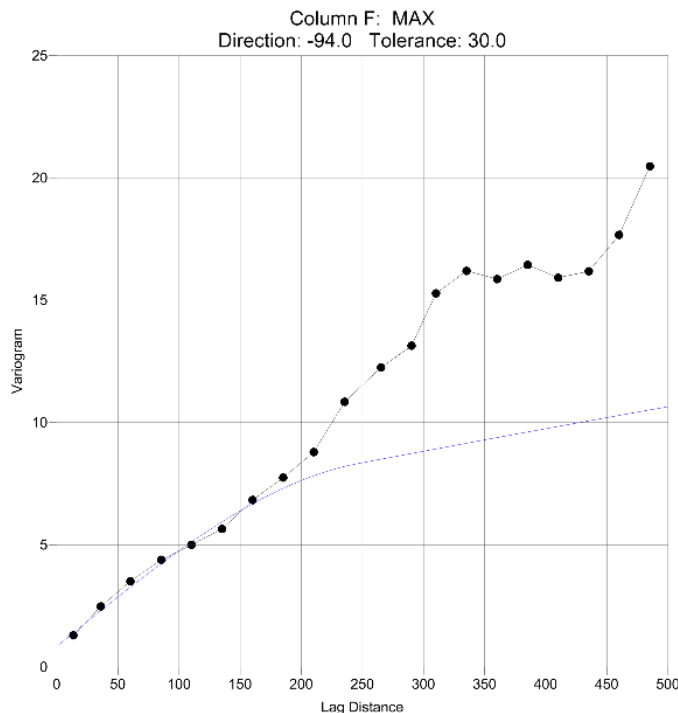
Från Figur 9 framgår att transformationen av p_b för z -värden väl kan beskrivas av normalfördelningen. För den vidare beräkningen har de fall där hela jordlagerprofilen tolkats att endast bestå av lera, $p_b = 1$, antagits till $p_b = 0,99$. För normalfördelningens z -värden skulle $p_b = 1$ motsvara oändligheten, $z(p_b = 0,99)$ motsvarar istället z -värdet 2,33. Motsvarande gäller de proportioner som är 0, dessa har antagits till 0,01, vilket motsvarar z -värdet -2,33. Detta antagande innebär att mellan den interpolerade nivån för lerans överkant och bergnivån kommer såväl lagret med lera (b) som det grovkorniga materialet (c) alltid vara representerat även om de ibland kommer att vara mycket tunna.

6.2 Variogram för jordlager

På motsvarande sätt som vid interpolation av bergöverytans nivå har variogram beräknats för lerans överkant och för proportionen lera transformerade till normalfördelningens z -värden.

I Figur 10 och Figur 11 nedan redovisas experimentella och modellerade variogram för lerans överkant och proportionen lera. De experimentella variogrammen för proportionen lera är beräknade från

sonderingar där proportionen är; $\sigma > \rho_b > 1$. Till de experimentella variogrammen har en matematisk modell anpassats som beskriver det modellerade variogrammen. Den bästa anpassningen har valts genom iterativa beräkningar med minsta kvadratmetoden. Den anpassade variogrammodellen är det som används i interpoleringen.

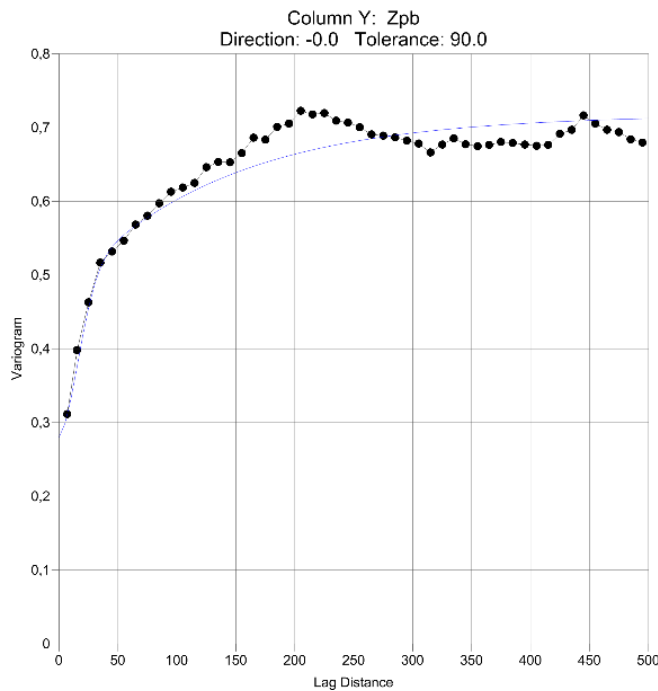


Figur 10. Variogram för lerans överkant. Den horisontella x-axeln visar avstånd i meter och den vertikala y-axeln varians. Experimentellt variogram från data; punkter, redovisas tillsammans med modellerat variogram; blå linje.

Till skillnad från variogrammen för sonderingar till bergytans nivå framgår en så kallad nugget-effekt (se 2.1.2) tydligt i variogrammen för jordlager. Eftersom variogrammen i Figur 11 och Figur 12 inte utgår från origo förekommer osäkerheter även i provtagningspunkten. Nugget-effekt framträder på grund av att två sonderingar mycket nära varandra har gett upphov till olika resultat. Att nugget-effekt framgår tydligt för jordlagermodellen men inte i bergmodellen, beror sannolikt på att det är svårare att sondera en exakt jordlagerindelning jämfört med bergnivå. Nugget-effekt kan delvis också bero på att leran har förenklats till att endast bestå av ett lager istället för, som ett urval sonderingar visar, flera lager. I modellen innebär en nugget-effekt att standardavvikelsen i provtagningspunkten kommer att vara över noll.

Likasom för bergnivåmodellen förekommer en anisotropi i variogrammet för lerans överkant. Anisotropin följer i huvudsak motsvarande mönster som för bergnivåmodellen; sonderingar i dalgångars huvudsakliga riktningar (NNV-SSO) ges större betydelse vid interpolation av en ny punkt jämfört med sonderingar tvärs dalgångarnas huvudsakliga riktning. För lerans överkant är det modellerade variogrammet anpassat för avstånd upp till 200 meter. Denna anpassning är motiverad då avståndet mellan sonderingspunkter till lera generellt mindre än 200 meter inom modellområdet.

Även variogrammet för proportionen lera, Figur 11, visar en tydlig nugget-effekt. På avstånd om ca 40 meter börjar variogrammet att plana ut. På det avstånd där utplaningen är uppnådd nås korrelationslängden, det största avstånd där man kan se ett inflytande från en enskild mätpunkt. På detta avstånd motsvarar variogrammets varians variansen för hela datamängden. När korrelationslängden är uppnådd innebär det att en enskild mätpunkt inte längre påverkar osäkerheterna. Osäkerheterna på detta avstånd motsvarar då de osäkerheter som ges av variansen för hela urvalet. För variogrammet i Figur 11 uppnås utplaningen efter ca 150 meter i riktningarna.

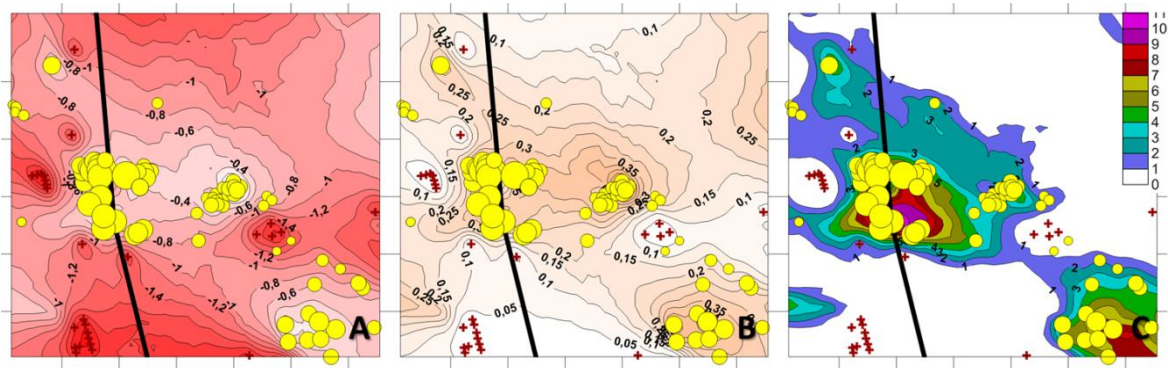


Figur 11. Variogram för z_{pb} , lermäktighetens andel av skillnaden mellan lerans överkant och bergnivå transformerat till den standardiserade normalfördelningens värden, z . Endast sonderingar med proportionen $0 > p_b > 1$ har använts för att skapa variogrammet. Den horisontella x-axeln visar avstånd i meter och den vertikala y-axeln varians. Experimentellt variogram från data; punkter, redovisas tillsammans med modellerat variogram; blå linje.

6.3 Interpolationssteg

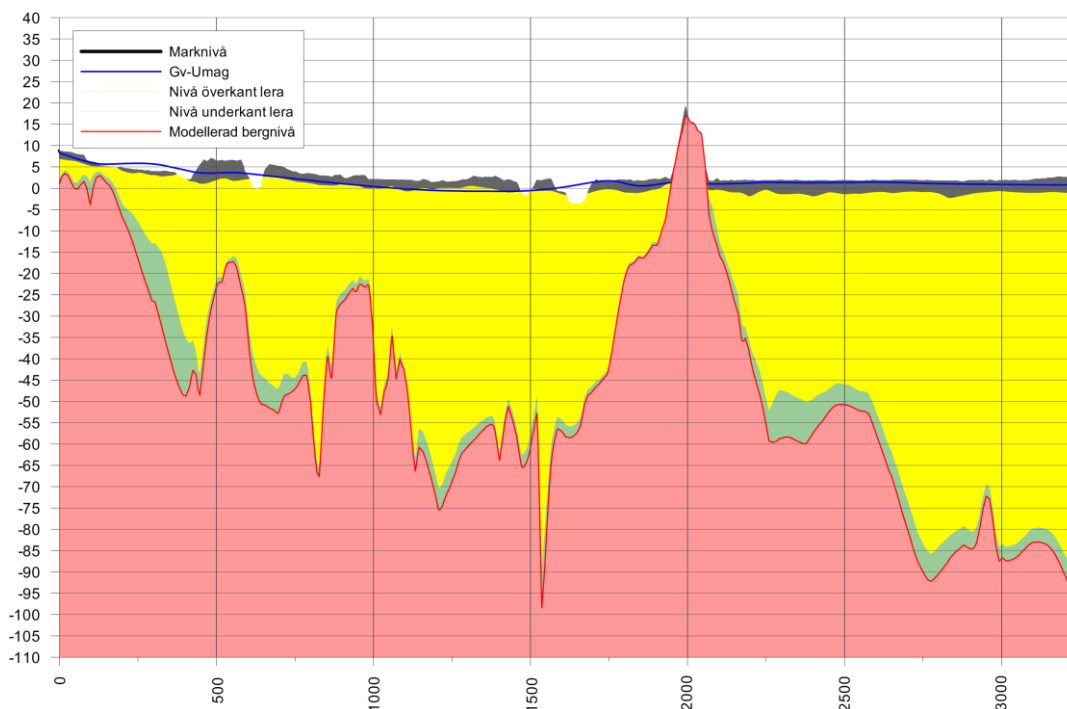
Eftersom lerans mäktighet beräknas via den standardiserade normalfördelningens värden z och som en proportion av skillnaden mellan lerans överkant och bergnivå måste interpolationen genomföras i flera steg. Interpolering genomförs med kriging och de variogram som presenteras i kapitel 6.2. I ett första steg interpoleras överkanten lera. Resultatet av interpolationen jämförs med bergyttnivå och marknivå så att det inte under- respektive överstiger dessa ytor. För lermäktigheten framgår interpolationsstegen i Figur 12 enligt följande:

- Andelen lera konverterat till normalfördelningens värden, z_{pb} , interpoleras genom kriging och variogram i Figur 11.
- Interpolationsresultatet av A räknas om från normalfördelningens värden, z_{pb} , till proportionen p_b .
- Genom andelen lera och den totala jordlagermäktigheten i Figur 4I kan lermäktigheten i modellen beräknas. Resultatet av denna beräkning framgår av Figur 12C.



Figur 12. Steg vid interpolation av lermäktighet; det mittersta jordlagret b. Gula punkter visar sonderingar med lera (desto större punkt, desto mäktigare är leran). Röda kors visar sonderingar som inte innehåller lera. I A visas interpolationen och sonderingarnas värde av zpb. I B har interpolationsresultatet av zpb räknats om till proportionen pb. I C har lermäktigheten i meter beräknats från pb och skillnaden mellan lerans överkant och bergets nivå.

Från den totala jordlagermäktigheten, lerans överkant och lerans mäktighet kan mäktigheten av lager c (det undre grovkorniga materialet) beräknas. Genom att marknivån är känd och samtliga jordlagermäktigheter är kända kan över- och underkanten för respektive lagers nivå beräknas. Resultatet av denna beräkning visas i jordprofilen i Figur 13.



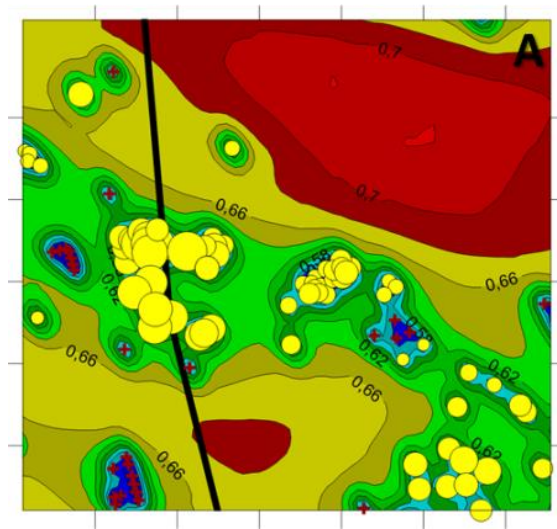
Figur 13. Profil längs med del av den planerade sträckningen för Västlänken. Nivå för lerans över- och underkant har beräknats enligt kapitel 6.3. Grundvattennivån i det undre magasinet har beräknats enligt kapitel 5.2. Bergytans nivå har beräknats enligt kapitel 4.3.

6.4 Probabilistisk modell

Osäkerheter i lerans läge och mäktighet är av stor betydelse vid beräkning av eventuella marksättningar. Lerans mäktighet och läge i förhållande till grundvattennivån, och därmed portrycket, påverkar sättningens storlek. Under- eller överskattningar av lerans mäktighet och dess läge innebär även att sättningsbeloppet under- eller överskattas. Genom att modellera sannolikhetsfördelningar för mäktigheter och lägen för leran möjliggör detta vidare beräkningar av risken för marksättningar.

På motsvarande sätt som i fallet för beräkning av bergytan kan variogrammen användas för att beskriva hur osäkerheterna ökar med avstånd från en provtagningspunkt. I Figur 14 har

standardavvikelsen beräknats från kriging-interpolationen av lerlagret z_{pb} . Vid interpolation med kriging beräknas som tidigare nämnts väntevärden och standardavvikelser. Väntevärdet representerar de resultat som presenterades i tidigare kapitel.



Figur 14. Beräkning av standardavvikelse för z_{pb} (A) och z_{pc} (B) från respektive kriging-interpolation. en (A). Gula cirklar visar sonderingar med lera. Röda kors sonderingar utan lera.

Den probabilistiska beräkningen av lermäktigheten har genomförts enligt följande steg:

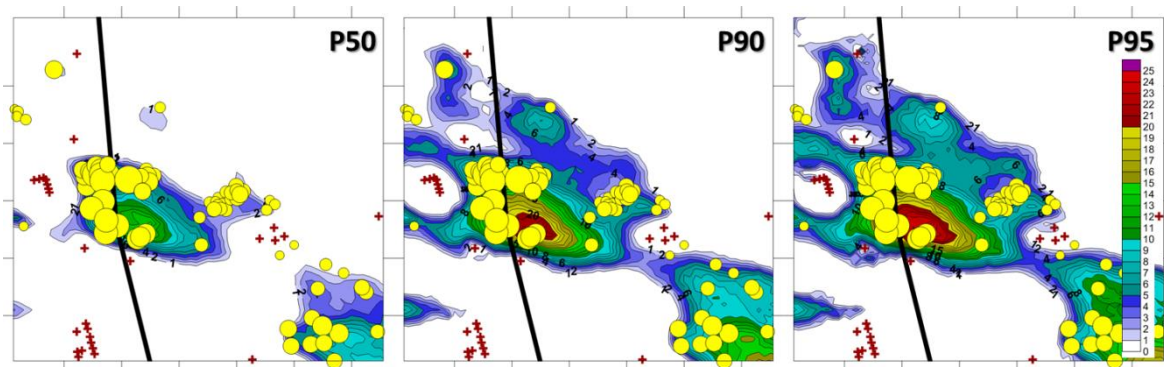
1. Ett värde för bergöverytan simuleras enligt beskrivning i kapitel 4.4.
2. Ett värde för lerans överkant simuleras från en normalfördelning där medelvärdet representeras av interpolationen och standardavvikelsen från kriging-interpolationen enligt motsvarande princip som för bergnivåmodellen. Max- respektive minvärde från simuleringen styrs av marknivå- respektive bergnivåmodellen.
3. Ett värde för mäktigheten av lager $j_{b+c} = b+c$, beräknas från differensen mellan det simulerade värdet av lerans överkant i steg 2 och det simulerade värdet för bergöverytan i steg 1.
4. Ett värde för z_{pb} simuleras från en normalfördelning där medelvärdet representeras av den tidigare interpolationen av z_{pb} , se Figur 12A, och standardavvikelsen enligt beskrivning ovan, se Figur 14.
5. Det simulerade värdet för z_{pb} konverteras till p_b .
6. Lermäktigheten, b , beräknas enligt: $b = p_b * j_{b+c}$.
7. Nivån för gräns mellan respektive jordlager a , b och c beräknas.
8. Beroende av valet av antalet simuleringar fortsätter beräkningarna enligt 1-7. I detta projekt har antalet simuleringar som genomförts valts till 1000. När samtliga simuleringar har genomförts har fördelningar för var och en av platserna där simuleringen har genomförts tagits fram. Från dessa kan t.ex. percentiler, medelvärde, median och standardavvikelse för lermäktighet och nivåer redovisas.

Enligt motsvarande resonemang som för bergnivåmodellen ska värdet i interpolationspunkterna betraktas var för sig. En viss percentil för lermäktigheten kan representera det verkliga värdet på en

plats, t.ex. den 5:e, samtidigt som en annan percentil, t.ex. den 95:e, representerar det verkliga värdet på en annan plats.

6.5 Riskområde för marksättning

För sättningsberäkningar är det av intresse att veta om grundvattennivån i det undre magasinet överstiger lerans underkant eller inte. Med antagandet om att det inte är någon kapillär stighöjd av betydelse i friktionsjorden kan en grundvattensänkning endast orsaka en sättning i leran där grundvattnets trycknivå ligger över lerans underkant. Det är därför viktigt att veta inom vilka områden dessa förutsättningar kan vara uppfyllda. Steg 1-8 ovan tillsammans med den tidigare redovisningen av beräkningen av grundvattennivå i kapitel 5, kan också användas för att beräkna sannolikheten för hur stor del av lermäktigheten som är täckt av trycknivån i det undre grundvattenmagasinet. Detta område kallas i detta PM "blöt lera". Resultatet av denna beräkning redovisas i Figur 15.



Figur 15. Modellering av mäktigheten lera som täcks av grundvattennivån i det undre magasinet, meter. Bilden visar den 50:e, 90:e och 95:e percentilen. Antalet simuleringar har varit 1000.

Figur 15 visar skillnaden i mäktighet för blöt lera för 50:e till 95:e percentilen. På grund av de stora provtagningsfelen (nugget-effect) för lera, se Figur 11, visar simuleringen där lermäktigheten är som störst, att intervallet för blöt lera varierar från 50:e percentilens 15 meter till 95:e percentilens 25 meter.

Samtidigt som det finns områden med stor varians finns det områden som helt saknar blöt lera i såväl den 50:e som den 95:e percentilen. För den 95:e percentilen är sannolikheten för mer än en meter blöt lera mindre än fem procent i de vita områdena i Figur 17. Gränsen kan användas för att definiera ett riskområde inom vilket det är möjligt att en grundvattensänkning skulle kunna orsaka en marksättning. Utanför riskområdet är sannolikheten för en marksättning till följd av en grundvattensänkning liten.

7 Referenser

Issaks, H. E., & Srivastava, M. R. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. Oxford: Oxford University Press.

Bilaga 1 Filer som använts som underlag vid modellering

Sammanställning geotekniska undersökningar utförda inom projekt Västlänken			
Filnamn	Datum version som använts	Beskrivning	Sökväg på IDA
AKF05-08-067-00_001	2015-08-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{6ca24427-45be-4371-bf15-16207fb4d79e}
AUTOGRA.F.DB F-Aug2015	2015-08-14	Sonderingar utförda inom projektet av ÅF	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{2252b050-1bdb-46be-a3fe-69b0857ba81d}
AUTOGRA.F-Sep2015	2015-10-14	Sonderingar utförda inom projektet av ÅF	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{c540ebf5-c3d7-4c55-a9a5-2a58dbf02307}
Borrdata_gv-ror_v35-44.zip	2015-11-16	Sonderingar utförda inom projektet av COWI	
Sammanställning geotekniska undersökningar inventerade av projekt Västlänken			
Filnamn	Datum version som använts	Beskrivning	Sökväg på IDA
AKF05-08-067-00_002	2015-03-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas tidigare utförda undersökningar, km 452+700 - 458+600	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{ed6ca429-f5b4-4fi2-9abe-95086f7c41fd}
AKF05-08-067-00_003	2015-03-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas tidigare utförda undersökningar, km 458+600 - 460+000	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{4d65973a-5c3f-417a-89c7-a63a9e9d2352}
AKF05-08-067-00_004	2015-03-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas tidigare utförda undersökningar, km 460+000 -	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{bc008327-3029-444c-95fc-5c7b6ae69f89}
AKF05-08-067-00_005	2013-07-08	AKF05_GeoSuitedatabas arkiv_GW_PP (Grundvattenrör, porttryckstationer), VER1.0	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{7ba9802c-2841-461f-aad0-0527db52d550}
AKF05-08-067-00_101	2015-03-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas inventerade geotekniska undersökningar, MPU område 1	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{f5133b58-a9a3-44e2-b9ac-07400294dd19}
AKF05-08-067-00_102	2015-03-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas inventerade geotekniska undersökningar, MPU område 2A	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{32f95ad6-9880-4202-9242-6f49fb646c27}
AKF05-08-067-00_103	2015-10-12	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas inventerade geotekniska undersökningar, MPU område 2B	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{fa12e25c-d408-469b-b3b3-f7c4636a192d}
AKF05-08-067-00_104	2015-03-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas inventerade geotekniska undersökningar, MPU område 3A	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{533e1efa-9103-420b-9745-fdab3a64c239}
AKF05-08-067-00_105	2015-03-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas inventerade geotekniska undersökningar, MPU område 3B	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{92b17714-f91b-4943-8e7f-e4dab14bba2f}
AKF05-08-067-00_106	2015-03-31	Västlänken AKF05 GeoSuitedatabas inventerade geotekniska undersökningar, MPU område 4A	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{3144f004-6b33-4678-a901-0490aff18be5}

AKFo5-08-067-00_107	2015-03-31	Västlänken AKFo5 GeoSuitedatabas inventerade geotekniska undersökningar, MPU område 4B	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{3417ff72-70f9-4f32-9743-635326b85ado}
SonderingJordlagerAVMI.xlsx Sonderingspunkter.xlsx	2015-10-23	Data inventerat från SGUs brunnarsarkiv och SBK	
AKF4_SGU_brunnar_inventering_20130408	2014-03-12	SGU_brunnar_inventering_20130408, SWEREF99 12 00, RH2000,SAM	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{f5dd023e-d0e8-450f-bd0f-33dedbc152a7}
Golder_Delsjövågen	2015-10-23	Delleverans, kompletterande inventering	
Underlag för grundvattennivåer			
Filnamn	Datum version som använts	Beskrivning	Sökväg på IDA
Grundvattennivåer undre magasin-2015-10-29.xlsx	2015-10-29	Representativa grundvattennivåer tolkade från grundvattendata i TMO	
Komplettering-Grundvattennivåer övre magasin-20151029.xls	2015-10-29	Representativa grundvattennivåer tolkade från grundvattendata i TMO	
Utvalda grundvattennivåmätningar från geoinventering	2015-10-29	Urval av mätvärden från borrhål, sonderingar och provgropar.	
Underlag för utbredning av ytligt berg			
Filnamn	Datum version som använts	Beskrivning	Sökväg på IDA
MPU02_Jordartskarta_justerad	2015-10-16	Jordartskarta baserad på fältkartering, karta från Stadsbyggnadskontoret, sonderingar och SGU:s karta	pw://pwidaext.trafikverket.se:PWInvestering_Syd_Goteborg/Documents/D{6b678509-0b9a-4896-84c1-8f409500b964}