

# Osäkerhetsmodeller för geoteknisk riskhantering

Kostnaden för skador som i någon form är kopplade till byggsektorn är stora. I storleksordningen 20–30 miljarder kronor per år (SGI, 2013). **Av dessa beräknas cirka en tredjedel bero på geotekniska orsaker, det vill säga cirka 10 miljarder kronor per år.** De geotekniska orsakerna är av typen felbedömd hållfasthet, mer vattenförande berg och större påldjup än förväntat, och oförutsedda skred. Med riskhantering, ordning och reda på alla geotekniska data och användning av nyligen utvecklade osäkerhetskartor kan dessa skador begränsas.

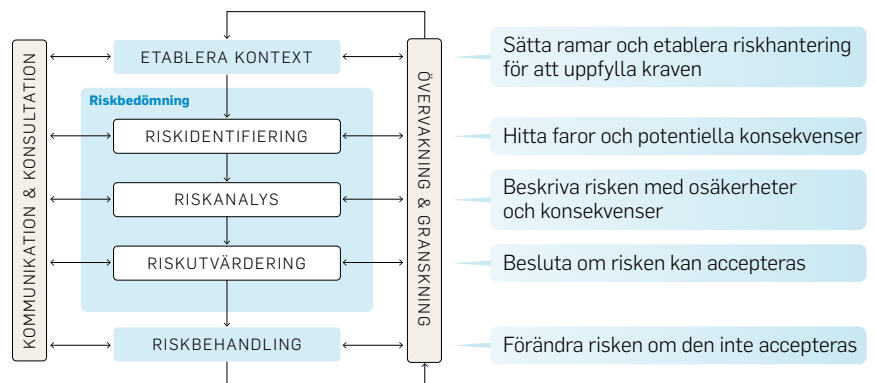
TEXT MATS SVENSSON

**A**ena sidan är det inte orimligt att dessa felbedömningar uppstår. Jordvolymen undersöks oftast genom punktvisa detaljerade undersökningar, men mellan dessa punkter har vi teoretiskt inte en aning om förhållandena. Å andra sidan har vi ett dimensionerande regelverk, handböcker med mera som med säkerhetsfaktorer och liknande ska fånga upp dessa osäkerheter. Dessa osäkerheter riskerar, om de inte hanteras på rätt sätt, att leda till kostsamma konsekvenser som utgör risker i byggprocessen. Och risker skapar otrygghet och kostar pengar. Därför är det önskvärt att minimera dessa risker.

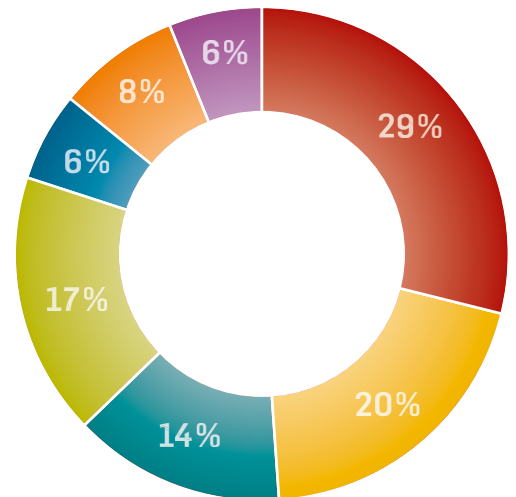
Det viktigaste är att redan från början i ett byggprojekt tillämpa en riskmetodik (Spross, Nilsson, 2015), se figur 2. En del av en sådan riskmetodik är att ta kontroll över storleken på de geotekniska osäkerheterna.

Det kan göras genom att:

1. ha god ordning och reda på all geoteknisk information och en effektiv helt digital analys- och beräkningskedja
2. ta fram så kallade osäkerhetskartor.



Figur 2. Matris för geoteknisk riskhantering (Spross, Nilsson, 2013).



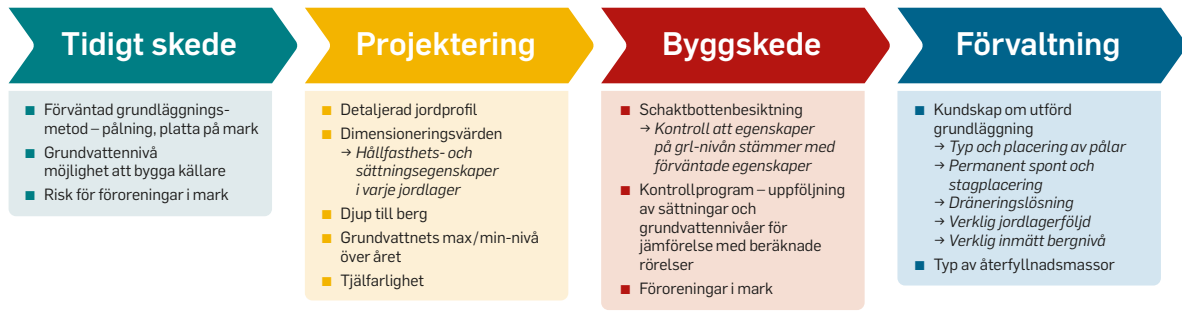
- Brist på teknik (adekvat teknik saknas)
- Brist på kunskap/kompetens i projektet
- Bristande geo-information om egenskaperna hos jord och berg
- Bristande beslutsprocess
- Mänskliga faktorer (misstag)
- Utomstående faktorer (naturolyckor eller annan ej påverkbar faktor)
- Annat

Figur 1. Fördelning av faktorer som orsakar skador och ökade byggkostnader (SGI, 2013).

## OLIKA GEOTEKNISKA BEHOV I OLIKA SKEDEN

Beroende på projektstorlek och i vilket skede ett projekt är, behövs olika typer av information och detaljeringsgrad på den aktuella geotekniska informationen, se

Figur 3. Olika skeden kräver olika typer av geoteknisk information och också olika detaljeringsgrad.



figur 3. Av all information är kunskapen om hur djupt berget ligger, den s.k. bergmodellen, ofta både alternativskiljande och en av de mest kostnadsdrivande parametrarna.

**Tidigt skede**

I ett tidigt skede är det viktigt att få en god bedömning av vilken typ av grundläggningsmetod som är aktuell, hur djupt berget ligger för att kunna bedöma ungefärliga pållängder, finns det risk för föroreningar i marken, eller om det är möjligt att bygga med källare. Eftersom val av grundläggningsmetod m.m. kan vara både alternativskiljande och kostnadsdrivande är det viktigt att ha kontroll över hur stora osäkerheterna är vid bedömningen av dessa parametrar. Risken är att ett felaktigt beslut i detta skede medför stora kostnadsökningar i ett senare skede.

Tillgängligt underlag i detta skede är oftast SGU:s kartunderlag och eventuella tidigare undersökningar. Det görs sällan några nya geotekniska undersökningar i detta skede.

**Projektering**

Det är oftast under projekteringen som de geotekniska undersökningarna utförs. I det skedet är det viktigt att det finns en tydlig

beskrivning av vilken typ av byggnad eller anläggning som ska byggas. Till exempel om den ska byggas med källare. För att få ut så mycket som möjligt av fältundersökningen är det viktigt att 1) rätt undersökningsmetoder används, och 2) antalet undersökningspunkter och dess placering görs så optimalt som möjligt.

En osäkerhet avseende både syftet med undersökningen och förväntad geologi kan medföra att fel undersökningsmetoder väljs, med riskerna att rätt analys av resultaten inte kan göras eller att undersökningen måste göras om.

Resultatet av den geotekniska undersökningen är en analys, tolkning och slutligen en beskrivning av de byggnadstekniska förhållandena avseende undermarken – jordlagermodell, bergmodell, dimensionerande grundvattennivå, hållfasthetsegenskaper, rekommenderad grundläggningsmetod, förslag på dräneringslösningar under byggtiden, och dyligt, se figur 4.

**Byggskede**

Ur både tidplane- och kostnadssynpunkt brukar entreprenörer framhålla att det viktigaste är att ett byggprojekt flyter på så som det är planerat och räknat med i kalkyl- och anbudsarbetet. Om de geotekniska förhållandena avviker från vad som är bedömt i projekteringsskedet, t.ex. om bergets överyta ligger betydligt djupare än vad geomodellen visade, kan det i värsta fall bli nödvändigt att t.ex. byta grundläggnings-

metod från plintar till pålar, vilket då utgör en ekonomisk risk. Om den verkliga bergöverytan ligger ytligare än vad som tolkades i projekteringsskedet och uppgiften är att göra en djup schakt är risken att det blir betydligt mer bergschakt än planerat, med ökade kostnader för schaktarbetet som konsekvens.

**Förvaltning**

En ofta förbisedd del i de relationshandlingar som tas fram efter avslutat byggprojekt är de geotekniska delarna, särskilt om det är mer avancerade grundläggningar som tex pålning eller permanenta sponter med stag förankrade i ankarplattor. Dessa saknas ofta i relationshandlingar.

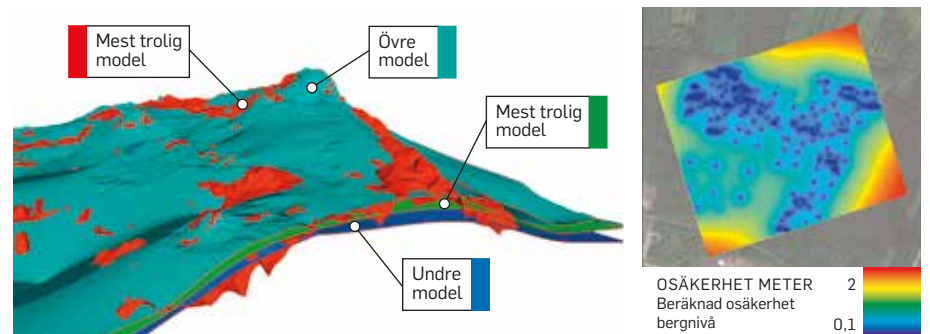
Ännu mer sällan förvaltas den kunskap om undermarksförhållandena som entreprenören erhåller i samband med schaktarbetena. Det kan vara av stort värde att mäta in framschaktad bergyta, utbredning av olika jordarter och dokumentera för framtida bruk. Den typen av information är värdefull vid t.ex. senare tillbyggnad, förtätning av bebyggelse eller ökad last i form av påbyggnad av nya våningsplan.

**VERKTYG OCH METODIK**

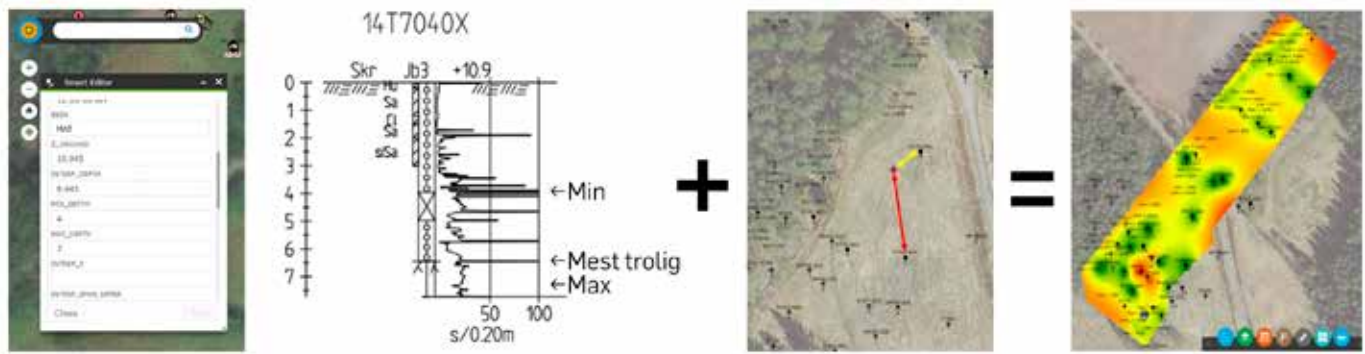
I ett pågående utvecklingsprojekt har metodik och verktyg för att oavsett skede beräkna vilka osäkerheter som finns både avseende geometri och designparametrar. Projektet har fokuserat på en av de mest kostnadskritiska geometriska objekten,



Figur 4. Tolkad Geomodell / Jordlagermodell.



Figur 5. Beräknad bergmodell över del av området invid batterifabriken Northvolt, Skellefteå, med tillhörande osäkerhetskarta. Osäkerheterna anges som standardavvikelse (m). Bergmodellen är validerad mot inmätt bergyta (röd).



Figur 6. Indata till beräkningarna beräkning av både bergmodell och tillhörande osäkerhetskarta utgörs av en individuell bedömning av osäkerheten i varje undersökningspunkt samt avstånd till närmaste undersökningspunkt.

djup till berg, samt lerors skjuvhållfasthet. I denna artikel presenteras hur den del som beräknar osäkerheten för en bergmodell kan användas.

### Verktyg

Slutresultatet från verktyget är en 3D-modell för en bergöveryta med tillhörande osäkerhetskarta, dvs. hur stor är osäkerheten i varje enskild punkt på bergmodellens yta. Utöver den "bäst gissade" bergmodellen (för vilken osäkerhetskartan gäller) beräknas och visualiseras också en min- och en maxyta, se figur 5.

Den beräknade bergmodellen är framtagen med en modifierad variant av GempPy, ett verktyg för att ta fram tredimensionella geologiska modeller ([www.gempy.org](http://www.gempy.org)) och som vanligen används i mer storskaliga geologiska modelleringar inom prospektering. Modellen utnyttjar den individuella osäkerheten i varje undersökningspunkt samt avstånd till närmaste undersökningspunkt. Ett exempel på en punkts individuella osäkerhet är att en bergnivå är olika lätt att tolka från en geoteknisk jord-bergsondering (Jb), se figur 6.

### Metodik

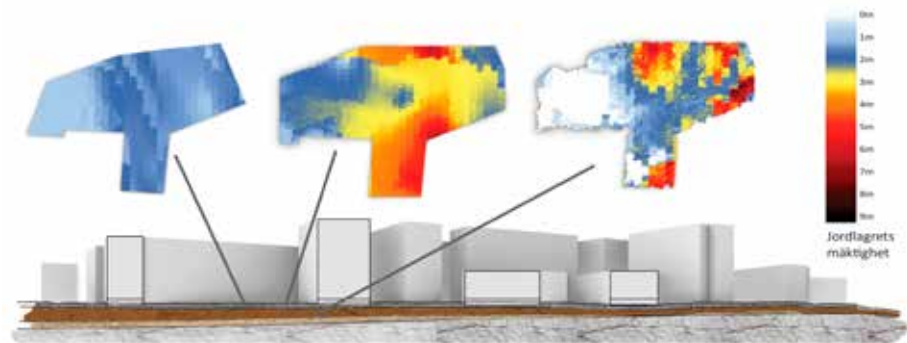
Genom att fältgeoteknikern, direkt efter utförd undersökning, lägger in tre bedömningar av bergnivån i databasen:

1. mest trolig
2. ytligast rimlig
3. djupast rimlig

får beräkningsmodellen möjlighet att ta hänsyn till osäkerheten i varje individuell punkt, se figur 6. Därefter kan handläggande geotekniker, som har tillgång till samtliga undersökningsresultat, ta stöd av samt revidera de individuella tolkningarna i det vidare arbetet med materialet.

I projektet har beräkningsmodellen validerats mot fem avtäckta och inmätta bergtytor i pågående projekt, det vill säga de framräknade bergmodellerna har jämförts med facit.

Beräkningsmodellens träffsäkerhet har visat sig vara cirka 0,5-1,0 meter. Bättre träffsäkerhet än så är inte rimligt att förvänta i det skandinaviska urberget och med



Figur 7. Illustration av bedömda grundläggningsförhållanden. Projekt CV-staden, Örebro (Jernhusen).

ett traditionellt avstånd mellan undersökningspunkterna.

### ORDNING OCH REDA PÅ GEOTEKNISK INFORMATION

En förutsättning för att effektivt kunna ta fram ovan angivna osäkerhetskartor är att all geoteknisk information finns samlad i en gemensam databas. I det aktuella fallet har det så kallade GeoBIM-konceptet använts, i vilken kärnan är en modern databas åtkomlig via ett webgränssnitt ([www.geobim.se](http://www.geobim.se)). Via gränssnittet väljs den datamängd man vill använda för framtagning av en bergmodell ut och importeras i framtaget program, vilket sker i en strömlinjeformad process, utan behov av transformering av dataformat.

Samma databas och informationsmängd används för att göra beräkning av ovan presenterade osäkerhetskartor.

### EXEMPEL OLIKA SKEDEN

Beroende på skede och typ av projekt används olika omfattning och typer av analyser avseende osäkerheterna på den framtagna bergmodellen. Nedan redovisas några exempel på hur de geotekniska förhållandena, med fokus på bergmodell, har använts i olika skeden och i olika typer av projekt.

#### Exempel CV-staden, Örebro

Ju tidigare strategiska beslut som tex grundläggningsmetod och typ av stomsystem kan tas ju tidigare fångar man kostnadsramarna för ett byggprojekt. I projekt CV-staden

(Centralverkstaden), Örebro, var syftet är att stödja Jernhusens utveckling i ett sådant tidigt skede. Slutprodukten blev ett dokument som kunde användas som beslutsunderlag och som informerar om förutsättningarna och möjligheterna för byggnadskonstruktion i området. Avsikten var öka träffsäkerheten i tidiga beslut. Utredningen tog avstamp i en översiktlig geoteknisk kartläggning.

Tillgängligt geotekniskt underlag samlades i en gemensam databas, varifrån en översiktlig geomodell togs fram. Geoteknikerna skapade tack vare en helt digital kedja och ett effektivt arbetsflöde på kort tid en generell bild av områdets markegenskaper och jordlager. Utifrån detta underlag skapade Tyréns konstruktörer sedan en konceptuell karta över tänkbara scenarion ur både grundläggningssynpunkt och med avseende på konstruktionssystem, se nedan.

#### Översikt slutsatser

Generellt rekommenderades pålad grundläggning över hela fastigheten, undantaget västra delen som bedömdes vara möjlig att grundlägga direkt på berg, och i den östra delen där plattgrundläggning på bärig sand bedömdes vara möjlig, se figur 7. Parkering i källarplan rekommenderades i områdets centrala del där grundvattennivån bedömdes vara lägst.

#### Exempel Einar Mattsson

I nedan visat exempel för nyexploatering av flerbostadshus i ca 10 våningar, se figur 8, är



Figur 8. I tidigt skede framtagen bergmodell för bedömning av lämplig grundläggningsmetod, samt mängden bergschakt i projekt Rasbranten.



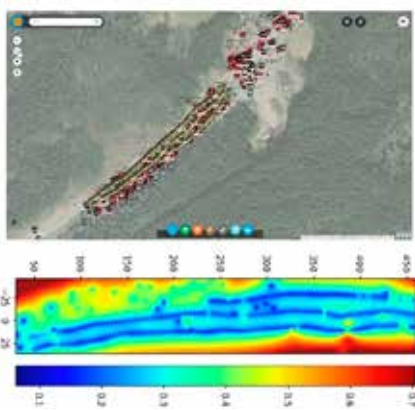
Illustration av Kv. Rasbranten, Stockholm. Varg arkitekter / Einar Mattsson.

→ syftet att i ett tidigt skede bedöma vilken grundläggningsmetod som är mest trolig. Det geotekniska underlaget bestod av ca 10 sonderingar för bedömning av djup till berg och ett fåtal provtagningar i jord. På kort tid togs en geomodell fram där de hållfasthetsmässiga egenskaperna i jordlagren ovanpå berget bedömdes vara för låga för ytlig grundläggning, samtidigt som bergets överyta bedömdes ligga inom rimligt djup för pålgrundläggning, se figur 8.

Bergmodellen användes för att i det tidiga skedet skapa en så träffsäker kalkyl som möjligt.

#### Varbergstunneln

I bergtunnelprojekt är en av de mest kritiska punkterna alltid de så kallade tunnelpåslagen. Några av de viktigaste frågorna att i förväg ha en god uppfattning om är; På vilket djup ligger bergets överyta? Hur stor är bergtäckningen? Vilken bergkvalité har vi? I utvecklingsprojektet har Varbergstunneln använts som pilotprojekt under utvecklingen av osäkerhetsmodellen. Med en unik tillgång också till framschaktad och inmätt bergöveryta har den framtagna algoritmen därmed kunnat valideras. Träffsäkerheten visade sig vara 0.5-1.0 m, vilket



Figur 9 Osäkerhetskarta för bergets överyta från det södra tunnelpåslaget i Varbergstunneln.

bedöms vara väldigt bra med tillgängligt geotekniskt undersökningsmaterial. I figur 9 visas framtagen osäkerhetskarta.

#### E20 Bälinge – Vårgårda

I infrastrukturprojekt är masshantering en av de mest kostnadsdrivande (och klimatpåverkande) parametrarna. I den typen av projekt är det därför för byggskedet av största vikt att den framtagna bergmodellen är så träffsäker som möjligt. De två viktigaste aspekterna är:

1. att vald schaktmetod och maskinpark överensstämmer med vad som är planerat, och

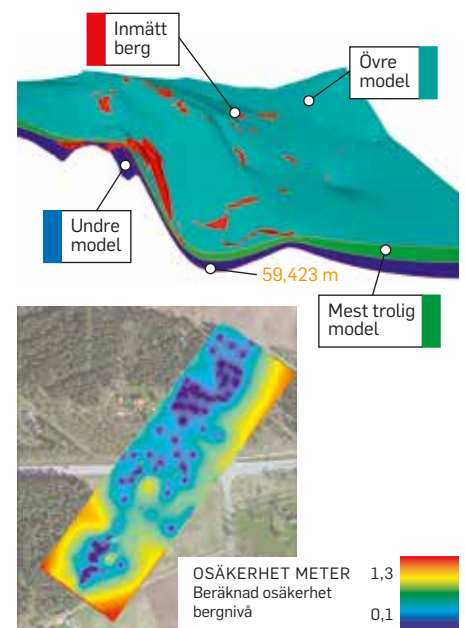
2. att med så kallat säkra osäkerheter avseende bergnivån kan formerna för den ekonomiska ersättningen tydliggöras på ett helt nytt sätt i kontraktet mellan entreprenör och byggherre. I exemplet nedan visas framtagen bergmodell med tillhörande osäkerheter i projekt E20 Bälinge-Vårgårda, se figur 10.

#### SAMMANFATTNING

En beräkningsmodell för beräkning av bergmodell med tillhörande osäkerhetskarta har nyligen utvecklats och med god träffsäkerhet validerats mot framschaktade och inmätta bergtytor. Därmed finns det nu ett verktyg som oavsett skede gör det möjligt att ha full kontroll på t.ex. inom vilka delar av en fastighet de största osäkerheterna (m) på en framtagen bergyta finns. De säkra osäkerheterna gör det möjligt för en byggherre att med större trygghet än tidigare använda den digitala 3D-modellen som underlag för upphandling av entreprenör med tillhörande större tydlighet i den ekonomiska riskfördelningen.

Beräkningsverktyget baseras på en helt digital kedja där indata hämtas från en databas där undersökningsdata efter kvalitetsgranskning laddas upp efter att fältingenjören har angett individuella osäkerheter för varje punkt.

Det databasbaserade och helt digitala



Figur 10 Framtagen bergmodell med tillhörande osäkerheter i projekt E20 Bälinge-Vårgårda. Osäkerheterna för bergnivån anges i m.

arbetsättet gör det samtidigt möjligt att mycket snabbt få fram bergmodeller för användning i mycket tidiga skeden då informationen är begränsad. Dessa modeller används oftast för strategiska bedömningar av grundläggningsmetod och dylikt.

#### TACK TILL

FoI-projektet *Osäkerhetsmodeller - för optimal resursanvändning i infrastrukturprojekt* har möjliggjorts genom finansiering av Sven Tyréns Stiftelse, BIG (TRV 2018/11941), BeFo (407) och SBUF (13493). Slutrapportering av projektet görs i december 2021. ■

#### MATS SVENSSON

Affärsutvecklare GEO, PhD  
Tyréns

