

## DIGITALT GEOTEKNISKT FÖRVALTNINGSKONCEPT

# För nyttiggörande av information i ett LCC-perspektiv

Ett digitalt förvaltningskoncept har utvecklats för att skapa förutsättningar för **en mer effektiv och transparent hantering av geoteknisk information genom hela byggprocessens livscykel**. Tekniken och metodiken för ett stort geotekniskt språng är nu på plats, men är branschen redo att tillämpa det nya på bred front?

TEXT: MATS SVENSSON



**O**avsett vad som ska byggas - en byggnad, väg, bro eller järnväg - är det viktigt att känna till de geotekniska förutsättningarna, inklusive grundvatten och eventuella föroreningar i marken. All information om förhållandena under markytan samlas oftast in med hjälp av geotekniska borrhagnar och görs i olika utsträckning beroende på aktuell projekttyp och projektfas.

I ett tidigt skede används endast arkivmaterial, medan det i ett senare skede görs mer detaljerade undersökningar. Att jobba för hållbarhet innebär att vi också inom

geotekniken måste ha ett livscykelperspektiv. Vi behöver ha digitala system, databaser och processer som kan förvalta all den kunskap om undermarksförhållandena som tas fram under byggtiden för framtiden. Att ha all data i god ordning i en professionell och välstrukturerad databas är dessutom avgörande för att kunna dra nytta av det nya universum som har öppnats med IoT- och AI-metoder.

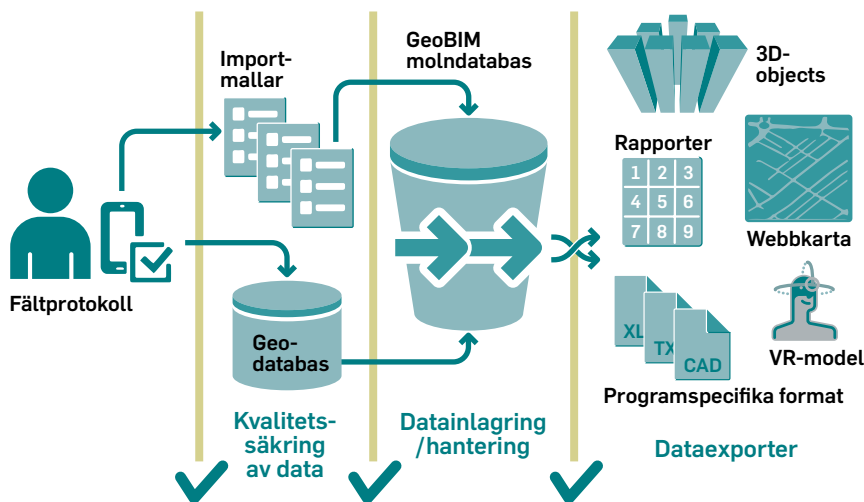
Även om olika initiativ för att hantera smidig digital överföring och standardisering av geotekniska dataformat har pågått i många år (AGS, LAS, SGF, buildingSmart, OGC, DIGGS, IFC, CoClass) återstår mycket arbete innan full kompatibilitet mellan alla data och alla programvaror inom de geo-

tekniskt relaterade underjordsdisciplinerna kommer att bli verklighet. Därför är planeringen av geotekniska undersökningar ofta icke-optimerad och den fulla potentialen i hela det geotekniska datasetet används sällan. Inte sällan tappas data och tolkningar bort mellan olika skeden och olika intressenter.

Med visionen om full transparens mellan alla skeden och aktörer i ett byggprojekt - från idé till rivning av en geokonstruktion - har GeoBIM-konceptet utvecklats, se figur 1.

GeoBIM-konceptet möjliggör:

- Enkel åtkomst till all data (geoteknik, förorenad mark, geologi/berg, grundvatten) för alla aktörer



Figur 1. GeoBIM-konceptet möjliggör ett helt digitalt arbetsflöde från fältundersökning med borrhavn, via analyser och beräkningar till visualisering av slutlig geomodell i 3D, kartredovisning eller olika typer av rapporter och datasammanställningar.

- Dimensionering styrd av kända geotekniska osäkerheter
- Flexibelt arbetsflöde och snabb anpassning till användarens behov och specifik programvara

Detta möjliggör inte bara ett smidigt, kvalitets säkrat och effektivt arbetsflöde för alla geotekniska designapplikationer, det möjliggör också en avsevärt *uppdaterad geoteknisk process*.

#### STORT INFORMATIONSTAPP

Inte sällan pekar man i tvister och i media ut oförutsedda geologiska och geotekniska förhållanden som orsak till förseningar och mer kostsamma projekt. En begränsad öppenhet mellan olika intressenter som är ovilliga att dela med sig av kunskap och data är en av anledningarna, vilket i sin tur ofta sägas styras av de avtal som används.

I upphandlingsfasen (totalentreprenad) levererar till exempel beställaren ofta endast den geotekniska faktarapporten (MUR) till entreprenören, även om mycket arbete i projekteringsfasen har lagts ner på att tolka de geotekniska förutsättningarna. Detta resulterar ofta i olika tolkningar av de geotekniska förhållandena, långa diskussioner och ibland i juridiska tvister.

Vid överlämning av färdig anläggning till anläggningsägaren, ofta den så kallade beställaren, försvinner också mycket information eftersom det i branschen saknas system och rutiner för att lagra och hantera all geoteknisk information som har samlats in under både projektering och byggnation. Värdefull information från byggskedet är till exempel var pålar har installerats. Med tanke på att broar och vägar i Sverige nu dimensioneras för en livslängd på 120 år är

detaljerad geoteknisk information, inklusive geokonstruktioner, mycket värdefulla när till exempel en bro ska breddas eller ett hus ska kompletteras med fler våningar eller byggs till.

Om det fanns en transparens mellan olika aktörer och de olika skedena skulle data kontinuerligt delas mellan alla parter, se figur 2, och många problem skulle förhindras och färre tvister skulle uppstå. Konceptet GeoBIM möjliggör och underlättar ett sådant arbetssätt och en sådan process.

#### DIGITAL GEOTEKNISK FÖRVALTNINGSPLATTFORM

GeoBIM-konceptet med tillhörande digital plattform har huvudsakligen tre olika användningsområden, med fokus på effektivisering och kvalitetssäkring av:

- Hantering och lagring av data
- Det dagliga geotekniska hantverket
- Avancerad dataanalys

#### Hantering och lagring av data

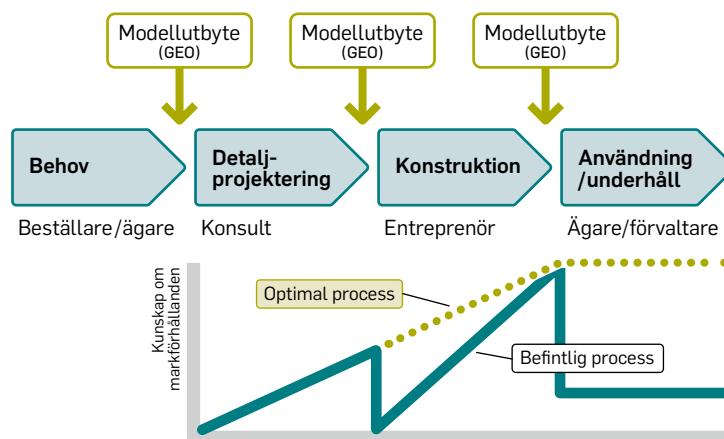
Databasen är förberedd för import/export av alla geotekniskt relaterade datatyper som används i Sverige (2024). För de datatyper där en formatstandard finns, till exempel SGF-dataformatet<sup>4</sup>, används denna. För andra metoder har branshexperter inom respektive område (miljögeo, geofysik etc.) gemensamt definierat ett dataformat för vilken en leveransspecifikation har tagits fram. Vid import av data görs först en valideringsprocess för kvalitetssäkring av data innan den laddas upp i databasen. Alla borrhål visualiseras i en kartvy.

#### Det dagliga geotekniska hantverket

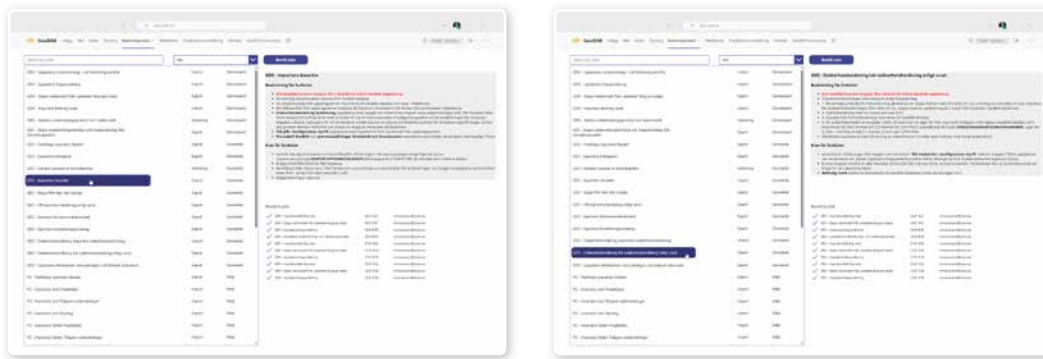
Det dagliga geotekniska designarbetet börjar med att ta fram en faktarapport (MUR) med sonderings- och provtagningsdata från fältundersökningar. Om all data samlas in och samma databas kan mycket av det dagliga geotekniska hantverket automatiseras och kvalitetssäkras. Ett exempel är att automatiskt jämföra alla borrhålsnivåer med den digitala höjdmodellen (DEM). När det finns en skillnad uppmärksammas användaren för att eliminera sådana grundläggande feltolkningar. Att omvandla all sonderingsdata till skjuvhållfasthetsdiagram med hjälp av de empiriska relationer som används i branschen är ett annat effektivt och kvalitetssäkrat grundverktyg, vilket möjliggörs av ett helt digitalt arbetsflöde.

#### Avancerad dataanalys

Att ha tillgång till alla data i ett projekt i samma digitala miljö gör det möjligt att



Figur 2. När geoteknisk information lämnas över från ett skede till nästa eller mellan olika aktörer är det vanligt att delar av den geotekniska informationen försvinner eller fastnar hos någon aktör. Ett tydligt exempel är att entreprenören i TRV-projekt sällan får ta del av de detaljerade tolkningar av geoförhållandena som projektören har gjort utan enbart får se de undersökningsdata som levereras i Geoteknisk Markundersökningsrapport (MUR).



Figur 3. En av vyerna i GeoBIM-plattformens kontrollpanel.

VÄNSTER Funktionen *Import av fältdata* är markerad.

HÖGER Funktionen *Beräkna en 3D-modell över bergets överyta med tillhörande osäkerhetsbedömning* är markerad.

→ effektivt implementera avancerade tolkningsverktyg som ibland har utvecklats av branschens egna experter. Specifika urval av data plockas då ut automatiskt och skräddarsys för den specifika applikationen. Ett exempel är de verktyg för hantering av geotekniska osäkerheter och statistiska analyser av förorenade volymer, som visas senare i denna artikel.

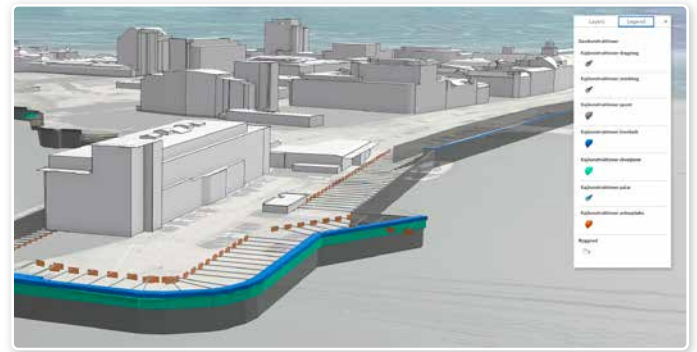
#### Microsoft Teams-applikation skapar tillgänglighet

Vid utvecklingen av det digitala konceptet har två nyckelfaktorer varit att undvika att utveckla verktyg och funktioner som redan finns tillgängliga i branschen (oftast under dyra licenser) samt att till de digitala verktyg och funktioner som har utvecklats inom konceptet och som finns i plattformen för alla aktörer. Därför har all GeoBIM-funktionalitet implementerats i den allmänna Microsoft 365 Teams-plattformen, inklusive till exempel verktyg för att bestämma osäkerheter på lagergeometrier med hjälp av Monte Carlo-simuleringsteknik och designvärden med hjälp av MVA-metodik, se figur 3. Microsoft Teams används av de flesta aktörerna i branschen och därmed tillgängliggörs all funktionalitet för alla aktörer i ett projekt, inklusive till

exempel miljömyndigheter, utan dyra licenser.

#### Geokonstruktioner

För att uppnå definitionen av en komplett förvaltningsmodell av all geotekniskt relaterad information är det också nödvändigt att införliva de geotekniska konstruktioner (geokonstruktioner) som installeras under byggskedet. Eftersom det inte finns några standarder för detta har även här branschexperter i Sverige samlats och kommit överens om vilken information som är värdefull/nödvändig att ha med i databasen för förvaltningsändamål, se figur 4. Den överenskomna nödvändiga informationen har



Figur 4. Visualisering av de geokonstruktioner som har importerats och förvaltas i GeoBIM-databasen för projekt Nyhamnen i Malmö.<sup>5</sup>

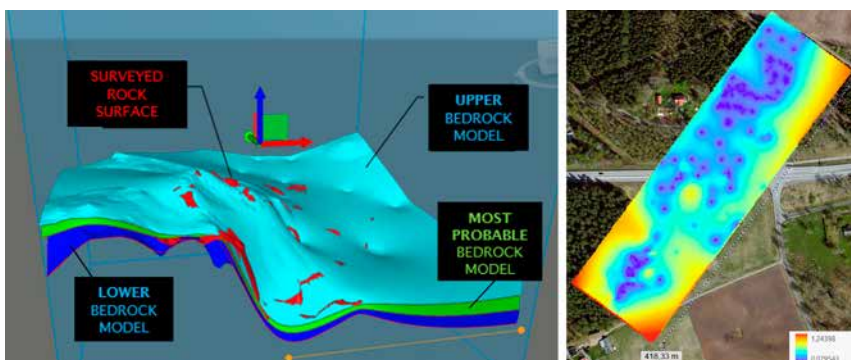
formaliserats i leveransspecifikationer som finns tillgängliga för nedladdning från GeoBIM-plattformen. Specifikationer för pålar, påldäck, ankare, spont och LC-pelare finns tillgängliga (2024).

#### BERÄKNING AV SÄKRA OSÄKERHETER

Ett stort problem inom geoteknik är osäkerheter både när det gäller den tolkade geologiska modellen och designvärdena. Skälen är flera - den naturliga geologiska variationen, fel vid empirisk omvandling från sonderingsresultat till tekniska hållfasthetsegenskaper etc. Resultaten presenteras i fakta- och designrapporter (MUR, Projekteringsunderlag/PM). Det finns dock ingen standardiserad procedur för att specificera osäkerheterna, varken när det gäller stratigrafin eller designvärdena, till exempel odränerad skjuvhållfasthet.

Inom GeoBIM-konceptet har verktyg utvecklats för att hantera både osäkerheterna avseende tolkning av jord/berg-lagerföljd<sup>2</sup> och dimensioneringsvärdena<sup>3</sup>. För bestämning av osäkerheterna i jordlagerföljd och bergnivå har en algoritm baserad på individuella osäkerheter som tilldelats varje sondering utvecklats. Avståndet till närmaste sonderingspunkt används också i algoritmen. Resultatet blir till exempel tre bergmodeller och en osäkerhetskarta, se figur 5.

För att få en objektiv förutsägelse av den odränerade skjuvhållfastheten har ett verktyg som använder multivariatanalys (MVA)



Figur 5. VÄNSTER Modeller över bergöverytan – mest trolig bergmodell, ytligast rimliga bergmodell samt djupast rimliga bergmodell. Den röda ytan är inmätt verklig bergöveryta. HÖGER Osäkerhetskarta, vilket är en visualisering i plan av de beräknade osäkerheterna för den mest troliga bergöverytan.<sup>2</sup>

utvecklats, vilken baseras på forskning utförd vid KTH<sup>3</sup>. GeoBIM-plattformen har implementerat en modul som hämtar data som användaren väljer i databasen, varefter en analys med hjälp av MVA-metodiken utförs. Resultatet presenteras med en objektivt bestämd odränerad skjuvhållfasthet med tillhörande känd osäkerhet (COV), se figur 6.

#### EN UPPDATERAD GEOTEKNISK PROCESS

Med tillgång till ovan beskrivna digitala plattform och verktyg för hantering för kvantifiering av de osäkerheter som geoteknik alltid lever med föreslås en ny geoteknisk process och ett nytt arbetsflöde, se figur 7. Den uppdaterade geotekniska processen styrs av en ständig uppdatering av osäkerheterna både vad gäller den geologiska modellen och designvärdena. Så snart ny information läggs till i databasen räknas osäkerheterna om och jämförs med de tillåtna osäkerhetskriterier som beslutas i början av ett projekt eller i det aktuella skedet. Genom att följa denna process kan aktiviteter som undersökningsprogram optimeras och riskfördelningen mellan beställare och entreprenör kan bli tydligare.

Med detta föreslagna nya arbetsflöde, som dock inte tar hänsyn till juridiska aspekter, skulle alla intressenter ha ständig tillgång till samma uppdaterade information via samma digitala plattform/databas där alla data, tolkningar och modeller kan samtolkas och visualiseras.

#### SENSORDATA OCH DIGITAL GEOTEKNISK TVILLING

Efter att ha nått nivån att helt digitalisera den geotekniska processen, från fältplanering till överlämning av en digital geoteknisk förvaltningsdatabas och förvaltningsmodell

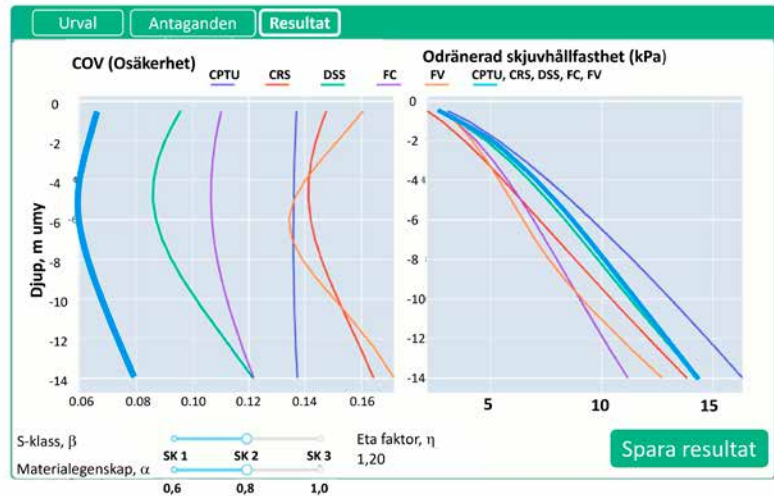
till beställaren att använda i ett livscykelperspektiv, är det dags att höja blicken mot nästa utvecklingsnivå. Inspirerade av IoT-sektorn har därför nyligen ett utvecklingsarbete avseende strukturerad hantering av strömmande geotekniska sensordata påbörjats, med början i automatiska mätare för grundvattennivåer, se figur 8, och tunnelrörelser övervakade av extensometrar, se figur 9. En uppenbar användning av strömmande sensordata, särskilt i byggskedet, är att kontinuerligt jämföra rörelserna/nivåerna mot framtagna larmnivåer.

En mer sofistikerad användning är att kombinera undersökningsdata i databasen, den tolkade geomodellen

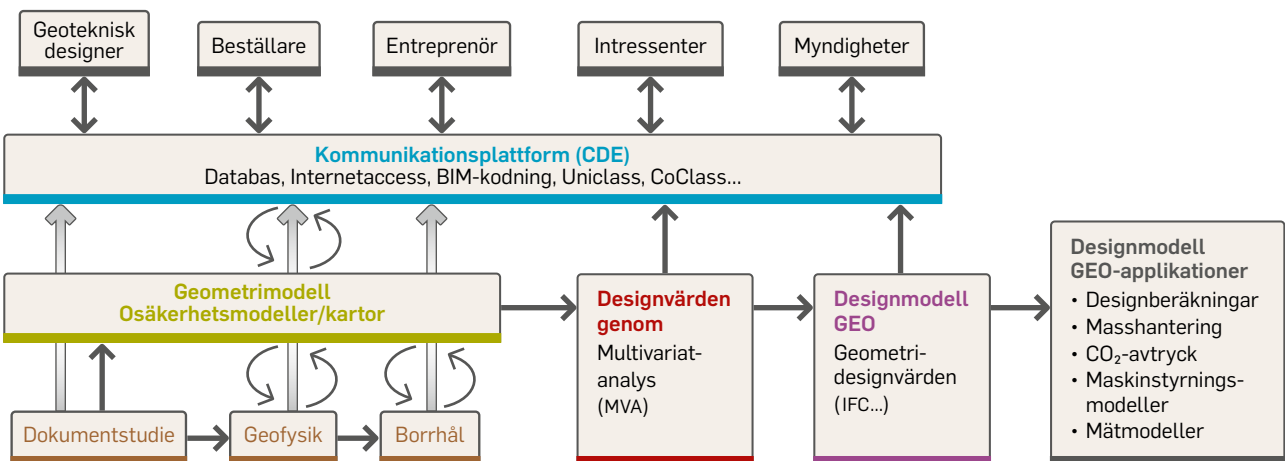
från designfasen, kontinuerligt uppdaterade med verkliga värden från strömmande sensordata i byggskedet och med hjälp av AI-metodik träna en AI-algoritm för att förutsäga framtida geotekniskt beteende.

I denna process kan även FE-modellerna kalibreras och användas för att förutsäga framtida geotekniska scenarier. Den digitala geomodellen, som inte bara inkluderar geometri och fysikaliska egenskaper utan även ett geotekniskt beteende, skulle då kunna betraktas som en *digital geoteknisk tvilling*.

Även i projekt där allt går enligt plan är den kontinuerliga uppföljningen av det geo-



Figur 6. Diagram över den odränerade skjuvhållfastheten beräknad med MVA-metodik. I det vänstra diagrammet syns det tydligt att osäkerheten (COV) är betydligt lägre då beräkningen enligt MVA-metodiken kombinerar alla de olika metodernas bestämning av skjuvhållfastheten jämfört med osäkerheten för varje enskild metods bestämning av den odränerade skjuvhållfastheten.<sup>2</sup>



Figur 7. Baserat på de beräkningsmodeller för hantering av olika typer av geotekniska osäkerheter som har utvecklats inom ramen för GeoBIM-konceptet föreslås en ny uppdaterad geoteknisk projekteringsprocess enligt figuren.

tekniska beteendet mycket värdefull då det ger de projektansvariga en trygghet att allt är under kontroll.

Genom att kombinera information från undersökningar i tidigare skeden och förutsägelser med kontinuerligt inflytande sensordata i samma system kan också orsaker till avvikelser mellan förväntade och faktiska resultat snabbt och rationellt identifieras, vilket gör att rätt beslut kan fattas i tid.

### SLUTSATSER

Ett digitalt geotekniskt förvaltningskoncept med tillhörande digital plattform för förvaltning av geoteknisk information i ett livscykelperspektiv har utvecklats, och implementerats i Microsoft 365 Teams skal för ökad tillgänglighet i branschen.

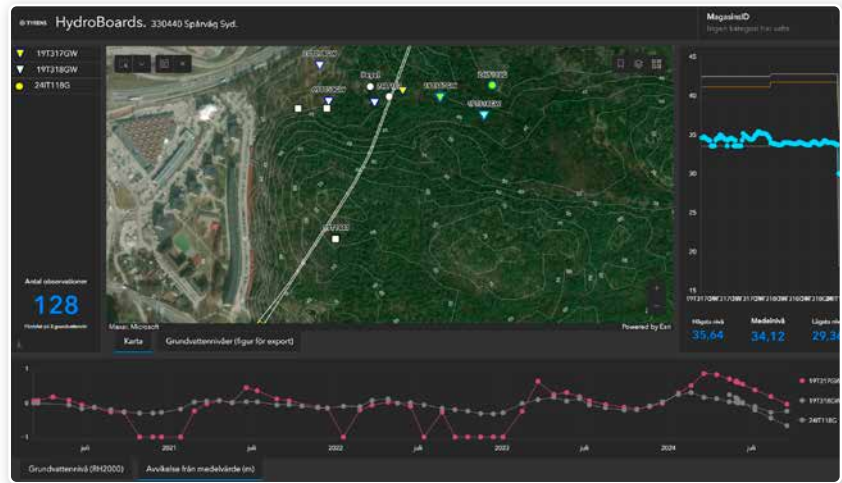
Databasen och den tillhörande metodiken möjliggör kvalitetssäkring, enkel tillgång till data, geomodeller och geotekniska konstruktioner för alla aktörer i alla skeden. GeoBIM-konceptet skapar möjligheter att minska geotekniskt relaterade risker, undvika missförstånd och juridiska tvister. GeoBIM-konceptet möjliggör också flexibla och avancerade analyser som utnyttjar hela den datamängd som kontinuerligt byggs på genom ett helt byggprojekt.

Med en helt digitaliserad geoteknisk process baserad på avancerade algoritmer för beräkning av olika så kallade säkra geotekniska osäkerheter föreslås en ny uppdaterad geoteknisk process som styrs av osäkerhetskontroll av geotekniska parametrar.

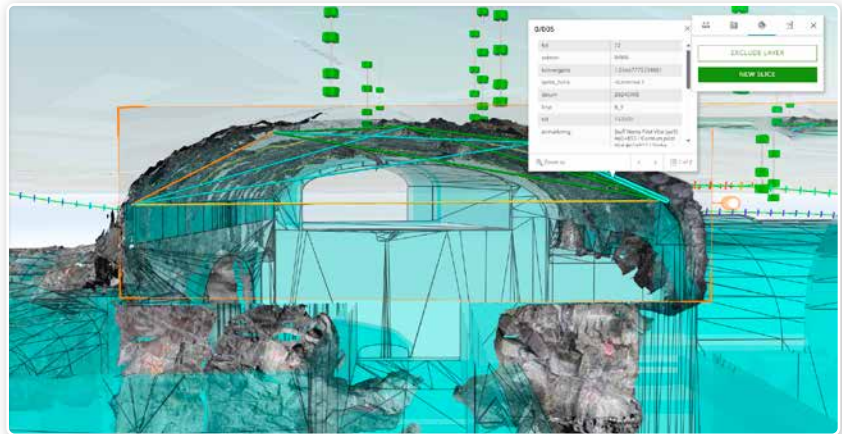
Att implementera en ny geoteknisk designprocess kräver att man övervinner vissa idag gällande och/eller hävdade juridiska hinder och sedan länge väletablerade arbetsflöden. Goda exempel, utbildning av branschens geotekniker, inklusive miljö-, berg- och grundvattendisciplinerna samt öppensinnade användare bland alla aktörer är nyckelfaktorer för att lyckas.

I pågående arbete utvecklas och implementeras funktionalitet för övervakning av geotekniskt relaterade strömmande sensordata, vilket gör det möjligt att definiera geotekniska digitala tvillingar. Detta öppnar för framtida geotekniska scenariostudier och till exempel proaktivitet för att förebygga naturolyckor.

Ovan nämnda kräver dock gemensamma överenskommelser om standardiserade dataformat och processer och mer transparens och förtroende mellan alla geotekniska aktörer. Det spelar ingen roll hur sofistikerade verktyg och processer som utvecklas av enskilda aktörer om inte det geotekniska samfundet som helhet samarbetar. Tekniken för ett stort geotekniskt språng finns nu. Är vi, som en gemensam geoteknisk bransch, redo? ■



Figur 8. I pågående vidareutveckling av GeoBIM-plattformen utvecklas funktionalitet för standardiserad import och hantering av strömmande sensordata från byggskedet till databasen, till exempel från automatiska grundvattenmätare. Figuren visar pilottest i projekt Spårväg Syd, Stockholm.



Figur 9. Visualisering av automatisk rörelsemätning med extensometrar i pågående tunnelbyggnad. Alla data sparas och förvaltas i GeoBIM-databasen. Kontinuerligt jämförs erhållna data med i projektledningen överenskomna larmnivåer.

### Referenser

- 1 M. Svensson M. and O. Friberg, Effektiv kommunikation av georelaterad undermarksinformation i ett LCC-perspektiv, Grundläggningdagen 2019, Proceedings, Mars, 2019
- 2 M. Svensson and O. Friberg, GeoBIM for handling geological and geotechnical uncertainties in tunnelling, ITA-AITES World Tunnel Congress, WTC2022, Bella Center, Copenhagen 22-28, 2022
- 3 A. Prästings, Managing uncertainties in geotechnical parameters: From the perspective of Eurocode 7, PhD thesis, KTH Royal Institute of Technology, 2019
- 4 SGF, SGF:s dataformat, SGF Rapport 3:2012 (in Swedish), Swedish Geotechnical Society, Linköping, 2012
- 5 M. Svensson, O. Friberg and D. Hagerberg, GeoBIM for increased efficiency of the remediation process of contaminated sites, Smart Built Environment Report nr U8-2020-06, (in Swedish), 2023

### TACK TILL

Den digitala plattformen för geoteknisk informationshantering, konceptet GeoBIM, har utvecklats med finansiellt stöd från Sven Tyréns Stiftelse, Smart Built Environment, Stiftelsen för bergteknisk forskning (BeFo), Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och Trafikverket (TRV).

### MATS SVENSSON

PhD,  
Affärsutvecklare GEO, Tyréns

