



Figur 1: Järnväg på prefabricerade brobanor enligt ett koncept som är vanligt utomlands och som skulle kunna snabba upp byggprocessen genom industrialiserat byggande.

Rationella markundersökningar för transportinfrastruktur

Ett rationellt och industrialiserat byggande av infrastruktur kräver att markundersökningar genomförs med rätt volym på insatser, snabbt och standardiserat, och som en del i den överordnade byggprocessen. I ett pågående forskningsprojekt (REICOR) används moderna metoder och ett sammanhållet arbetsflöde för att anpassa markundersökningar till det industriella arbetssätt som en föreslagen broförlagd järnvägssträckning kräver. En antagen men realistisk sträckning mellan Hässleholm och Lund beskrivs med hjälp av bland annat maskininlärning baserad på befintliga geodata, systematisk expertanalys av geologiska basdata, drönarburna- och markbaserade geofysiska undersökningar, arkeologisk fjärranalys samt traditionella geotekniska undersökningar. Slutmålet är att ta fram en behovsstyrd och stegvist förfinad markmodell, anpassad till projektets behov vid olika tidpunkter, där undersökningsinsatser i de olika stegen systematiskt och transparent baseras på utfallet av de tidigare resultaten

Det finns ett stort behov av att kunna färdigställa svenska järnvägsprojekt på kortare tid än vad som hittills varit normalt. Ett skäl är att tillräckligt snabbt kunna föra över mer transportarbete till den klimativänliga järnvägen, ett annat är att det snabbare skall kunna gå att få avkastning på de stora investeringar som görs. För att detta ska bli möjligt behövs en mer rationell och industrialiserad byggprocess där andra lösningar än den traditionella banvallslösningen måste övervägas. Ett utomlands väl beprövat alternativ är att använda prefabricerade brobanor (Figur 1), enligt det koncept som till exempel Kina har använt för sin rekordsnabba utbyggnad av höghastighetsjärnvägar, och som i Japan har använts i många decennier. Det är dock inte nog med enbart en snabbare byggprocess eftersom förundersöknings-



Alfredo Mendoza
Teknisk geologi LTH, Lunds universitet



Mehrdad Bastani
Sveriges geologiska undersökning



Joakim Robygd
Teknisk geologi LTH, Lunds universitet



Sakarias Lindgren
Arkeologi, Uppsala universitet



Tina Martin
Teknisk geologi LTH, Lunds universitet



Peter Jonsson
Teknisk geologi LTH, Lunds universitet



Ulf Håkansson
Skanska Sverige AB



Torleif Dahlin
Teknisk geologi LTH, Lunds universitet

och tillståndsprocessen är alltför tidsödande med dagens rutiner. Metodik för rationella markundersökningar som svarar upp mot ett industrialiserat byggande är nödvändig för att snabbare, enklare och billigare producera en markprognos för att miljöpröva, kostnadsberäkna och riskbedöma projektet. Effektiva metoder för planering, projektering, underlag för miljöprövning och byggande med korrekt dimensionering behöver därför utvecklas och anpassas till de geotekniska och geologiska förutsättningarna i Sverige och till de modernare produktionsmetoderna.

Planering, byggande och underhåll av transportinfrastruktur möter ofta komplexa utmaningar på grund av markförhållanden. Dessa kan inkludera till exempel problematiska markegenskaper, felaktiga massbalanser, samt påverkan på naturreservat och arkeologiska lämningar. Sådana förhållanden kan, om de konstateras i ett sent skede, leda till oönskade ekonomiska, miljömässiga, politiska och sociala konsekvenser. Sent förändrade underlag brukar orsaka förseningar och därigenom fördyringar, och kan i värsta fall leda till skador på miljö, egendom eller människor.

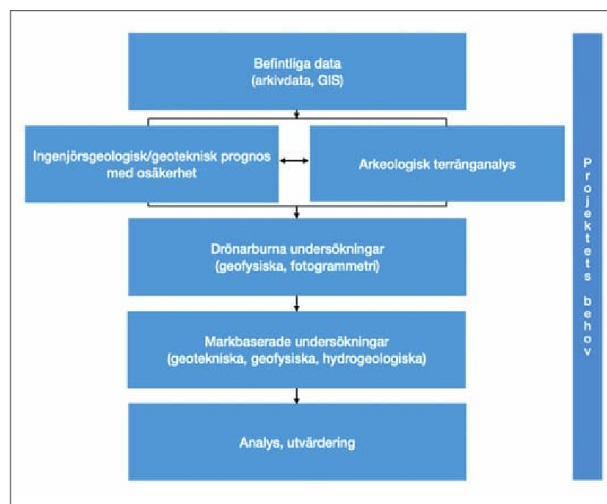
Om byggprocessen rationaliseras finns det alltså ett uppenbart behov av en mer rationell förundersökningsprocess där rätt kunskap om markförhållanden tidigt tas fram. Efter hand som projektet fortskrider skall sedan underlaget integreras, uppdateras och kommuniceras kontinuerligt genom projektets samtliga skeden, baserat på de behov som finns. När byggskedet har avslutats är det viktigt att data från förundersökning och byggskede samlas och lämnas vidare till förvaltningsorganisationen för anläggningen, eftersom informationen är värdefull för förvaltning och eventuell ombyggnad eller senare utbyggnad.

Här presenteras ett projekt där vi arbetat med utveckling och test av en metodik för rationella markundersökningar som illustreras av flödesschemat i Figur 2. Målet är att snabbt och med standardiserad metodik producera en markprognos för miljöprövning, kostnadsberäkning och riskbedömning av projekt.

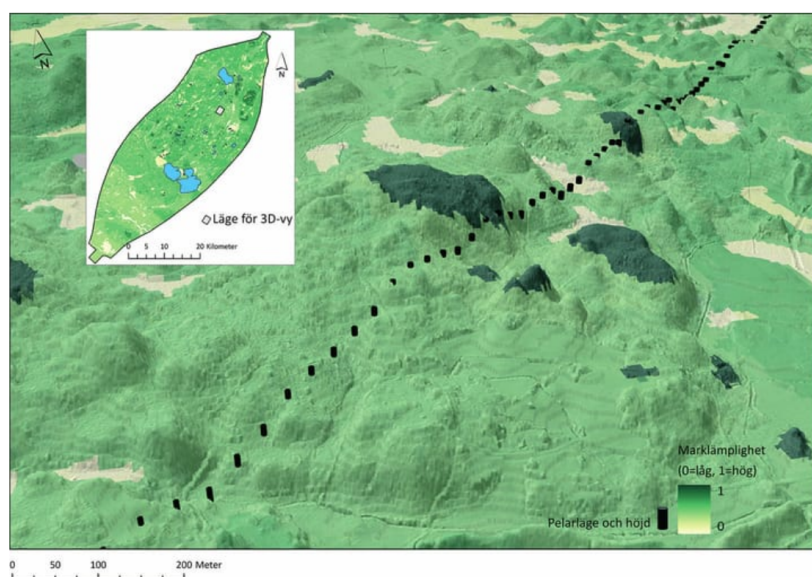
Metodiken testas för närvarande på representativa delar av en tänkt pelarför-lagd järnvägssträcka Hässleholm – Lund, och ingår i forsknings- och utvecklingsprojektet ”Rationella och effektiva markundersökningar för industrialiserat byggande av ny järnväg” – REICOR.

Geodataintegration och ingenjörsgelogisk prognos

Metodiken bygger på maximalt utnytt-



Figur 2: Flödesschema för den metodik som utvecklas och testas inom REICOR-projektet.

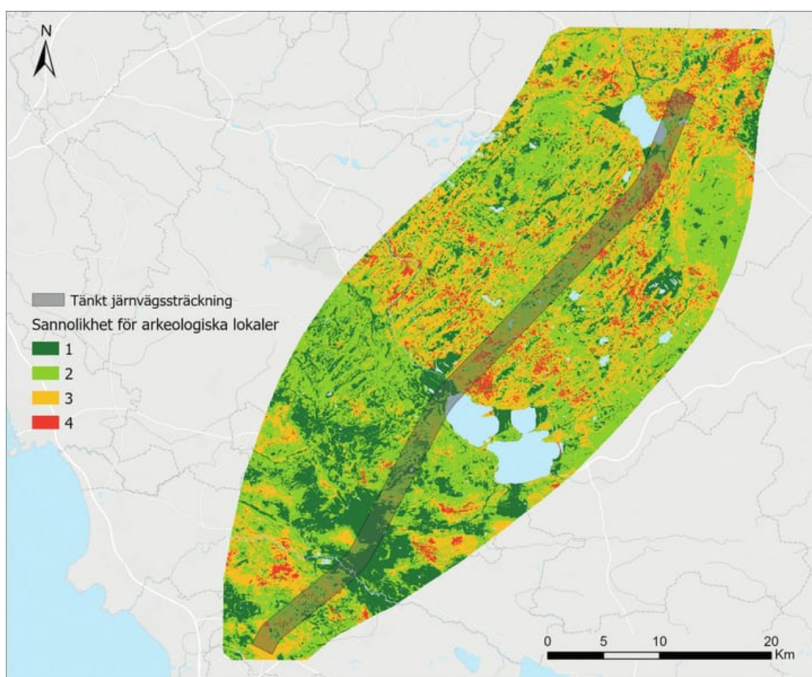


Figur 3: Samlad bedömning av markens tekniska lämplighet för grundläggning baserad på arkivmaterial och expertbedömningar, visualiserad tillsammans med lägen och höjd för pelare.

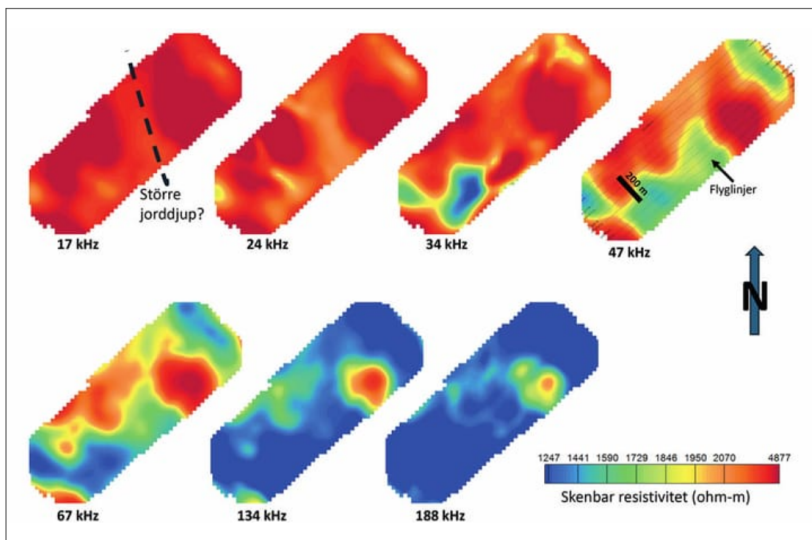
jande av arkivdata och inkrementell kunskapsutvidgning med snabb och yttäckande datainsamling. I det första steget samlas relevanta och befintliga data såsom typ av jordarter, bergarter, jorddjup, marklutning och grundvattenrelaterade parametrar i en gemensam spatial databas. Detta är i enlighet med gängse metodik, men bedömningen av dataunderlaget skiljer sig åt. I normala fall bedöms lämpligheten av ingående parametrar av geotekniska handläggare och sedan görs en provtagningsplan upp. Ett alternativ som vi testar är att samla in bedömningar från en expertgrupp som viktar inflytandet på bygghänsynen av de ingående parametrarna. Detta görs via parvisa jämförelser mellan typfall ur det (befintliga) geologiska underlaget. Det finns ett antal fördelar med tillvägagångssättet: fler personer

sätter sig in i det grundläggande underlaget och dessa har möjlighet att systematiskt diskutera varje parameter. De sammanställda bedömningarna gör också att variationerna i resultaten kan användas för att uppskatta osäkerheten. Resultatet av experternas arbete appliceras på projektområdet, och resulterar i en karta, som innefattar både den samlade lämplighetsbedömningen av expertgruppen och osäkerheterna i bedömningen.

Kombinerat med den expertbaserade utvärderingen används en maskininlärningsteknik som tränas på öppna brunn-data (SGU:s brunnarkiv) tillsammans med geologiska basdata. Resultatet är en modell som i kartform visar ”geologisk komplexitet”. Denna beskrivs som antalet lager i lagerföljden från markyta till berggrund.



Figur 4: Sannolikhet för arkeologiska lokaler, där 1 (grönt) = låg risk och 4 (rött) = hög risk.



Figur 5: Kartor med skenbar resistivitet från drönbaserade EM mätningar. Lägre frekvenser tränger djupare ner i marken, detta betyder att kartan med 17 kHz speglar variationer i berggrunden medan kartan med 188 kHz främst visar variationer i jordtäcket.

Den initiala arkivstudien är härmed färdig gällande markförhållanden och ger en överblick över undersökningsstråket. Från kartan kan områden med låg lämplighet för ändamålet identifieras liksom områden med hög lämplighet (och därmed lägre undersökningsbehov). Kombinerat med osäkerhetskartan (Figur 3) kan områden med hög lämplighet men med hög osäkerhet i bedömningen också pekats ut. På så vis kan en riskbaserad bedömning av förundersökningsbehovet göras, och produktionsplaneringen kan tidigt dra nytta av resultaten.

Arkeologisk terränganalys

Parallellt genomförs en arkeologisk landskapsanalys med syftet att ta fram en arkeologisk riskbedömningsmodell längs den planerade järnvägssträckningen. Denna inkluderar både kända fornlämningar och potentiella, ännu okända, fornlämningar. De prediktiva modellerna är framtagna med maskininlärningstekniken Maximum Entropy, som passar väl för denna typ av problem.

Prediktionsmodellerna fokuserar på de tre vanligaste typerna av fornlämningar inom studieområdet: gravar, boplatssom-

råden, och agrara lämningar (jordbrukslämningar). Analysen bygger på data från Riksantikvarieämbetets Kulturmiljöregister (KMR), samt databasen AGES, som utvecklas inom forskningsinfrastrukturen Swedigarch.

Resultatet från de tre prediktiva modellerna kombineras till ett raster och viktas utifrån så kallad "utgrävningskomplexitet", vilket är en uppskattning av hur resurskrävande varje fornlämningstyp skulle vara att undersöka. Figur 4 visar den arkeologiska riskbedömningsmodellen över området, där röda pixlar indikerar områden med hög sannolikhet för komplexa och resurskrävande fornlämningar, och gröna pixlar indikerar områden med låg sannolikhet för desamma. Områden med hög sannolikhet kännetecknas bland annat av områden med goda förutsättningar för jordbruk, närhet till vattendrag, och låg terränglutning.

Det är viktigt att notera att prediktiva modeller alltid har viss osäkerhetsfaktor, särskilt när de försöker förutsäga mänskligt beteende över lång tid. Tillgängliga data om arkeologiska lokaler är också olika omfattningsrika beroende på landskapstyp, med mer information i tätbefolkade områden och mindre i exempelvis skogsmark. Detta är ett resultat av att majoriteten av alla arkeologiska undersökningar utförs inom ramen för så kallad exploateringsarkeologi – arkeologi som utförs innan byggnader och infrastruktur anläggs på en plats. Det innebär att en prediktiv arkeologisk modell behöver ta hänsyn till en rad komplexa källkritiska faktorer. Om detta görs kan dock goda resultat uppnås.

Drönburna undersökningar

I nästa steg undersöks utvalda delar av sträckan med hjälp av drönburen geofysik. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har utvecklat ett drönbaserat elektromagnetiskt (EM) system för att kartlägga variationer i markens elektriska resistivitet. Med systemet är det möjligt att snabbt samla in data över områden som är några kvadratkilometer stora. Informationen kan sedan användas för att planera mer detaljerade markundersökningar och borrhningar. Kartor som visar den skenbara resistiviteten vid olika frekvenser kan tas fram redan i fält. Högre frekvenser avspeglar mer ytnära information och lägre frekvenser innehåller information från större djup, se Figur 5. Kartorna visar till exempel förekomst av konduktiva leror eller mer resistiv berggrund och kan även indikera förändringar i jorddjup.

När markens egenskaper är lämpliga, kan även drönburen georadar användas för att få en mer detaljerad bild av mark-

lagren i begränsade områden. Radarutrustningen flygs på en fixerad höjd över marken (enstaka meter) med ett 80 eller 120 MHz system som positioneras med nätverks-RTK. I samarbete med UAS-gruppen på Trafikflyghögskolan LTH har ett system för automatisk navigation och höjdhållning implementerats. Drönaren har härvid försetts med altimeter för höjdhållning och ett framåtriktat radarsystem för att undvika kollisioner. Ett exempel visas i Figur 6.

Markbaserade undersökningar

Längs utvalda sträckor utförs ännu mer detaljerad markbunden geofysik i form av markbaserad georadar, elektrisk resistivitetstomografi (ERT) och seismik, vilket ger en mer högupplöst bild av markens variation med djupet. Beroende på markförhållandena kan metoder utelämnas, till exempel markbaserad georadar i områden med lerjordar. Figur 7 visar ett exempel på elektrisk resistivitetstomografi (ERT), som illustrerar markens förmåga att leda elektrisk ström – dock med väsentligt högre upplösning än den drönarburna EM-metod som beskrivits ovan. Eftersom resistiviteten varierar beroende på materialets egenskaper kan metoden användas för att identifiera områden med till exempel högt eller lågt lerinnehåll, eller förekomsten av berg.

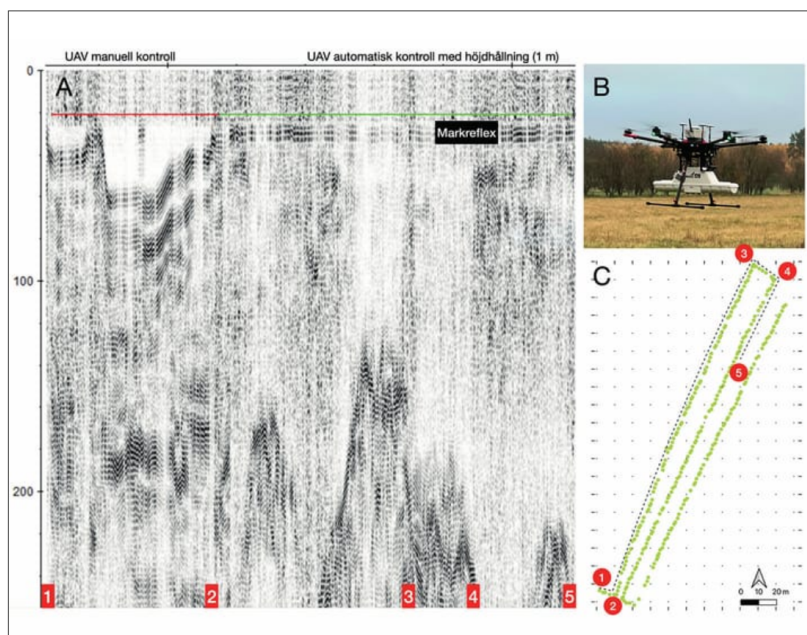
Med detta kombinerade underlag planeras omfattning och lägen för borrhning, provtagning och sonderingspunkter för bättre förståelse av markens vertikala och laterala variation och komposition samt för att kunna erhålla värden på de geotekniska egenskaperna.

Övergripande nytta med projektet

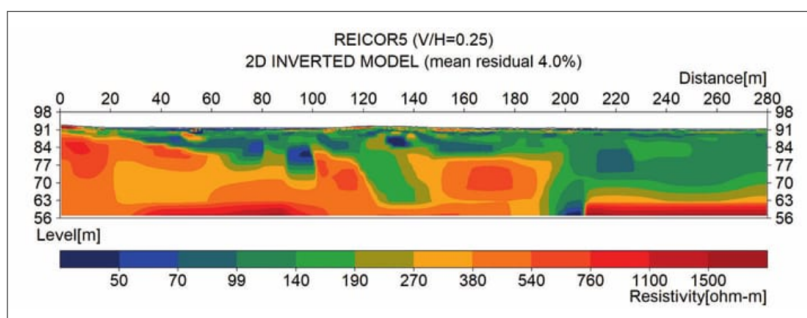
Projektets huvudsakliga nytta är att bidra till att rationalisera byggandet av nya järnvägar genom att i hela byggprocessen använda ett industrialiserat tankesätt. Detta innebär att förundersökningar genomförs behovsstyrt, stegvis och så långt möjligt baserat på standardiserade och så långt möjligt automatiserade förlopp. Undersökningarna utförs tidigt över stora områden och blir anpassade till en ny planprocessmetodik samt de upphandlingssteg som finns, vilket främjar nära samverkan med alla intressenter. Alla aktörer som är involverade i planerings- och byggprocessen kommer att dra nytta av resultaten, vilket i förlängningen gynnar hela det svenska samhället.

Anpassningsbar och skalbar metodik

Den föreslagna förundersökningsmetodiken är både anpassningsbar och skalbar, vilket gör att den kan användas i olika



Figur 6: Drönarbaserad georadarmätning (B) med 120 MHz centerfrekvens. Den vänstra delen (A) av bilden visar ett resulterande radargram. Här visas de första ca 250 m av den totala profilängden, jämför karta (C) nere till höger i figuren. Notera markreflexen som markerats i radarbilden. I den första delen av profilen flygs drönaren manuellt till startpunkten (röd markering i radargrammet), därefter sker flygningen autonomt. Radargrammet visar flygningen som en funktion av tid, varför de olika segmenten här inte avspeglar flygsträckan. Sträckan 1–2 har t.ex. flygits med betydligt lägre hastighet än de andra varför den framstår som ”längre” i diagrammet medan detta egentligen visar att det tog längre tid att flyga den korta sträckan. Detta kan korrigeras i senare bearbetningssteg.



Figur 7: Resultat av en markbaserad elektrisk resistivitetstomografi. De röda partierna i bilden kan vara relaterade till berg eller grovkorniga jordar medan de blå-gröna utgörs av finkornigare jordar.

miljöer och för projekt av varierande storlek och upplägg. Exempel på sådana projekt inkluderar exempelvis Skagerack-banan (Oslo - Göteborg) och sträckan Stockholm - Oslo. Metodiken kan även anpassas och tillämpas på byggandet av andra typer av infrastruktur, såsom vägar och kraftledningar.

Om FoU-projektet

Projektet utförs inom ramen för projektet: InfraSweden/Vinnova-projektet ”REICOR – Rationella och effektiva markundersökningar för industrialiserat byggande av ny järnväg” (projekt 2022 00188), Trafikverkets projekt TRV2019/70975, samt SBUF projekt 13996 och 14113. Projektet genomförs av en forskargrupp med med-

lemmar från Teknisk geologi och Trafikflyghögskolan vid LTH/Lunds universitet, institutionen för Arkeologi och antik historia vid Uppsala universitet, Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Skanska Sverige AB som också medfinansierar. ■

Annonsprislista 2025

Ladda ner prislistan från vår hemsida:

byggteknikforlaget.se