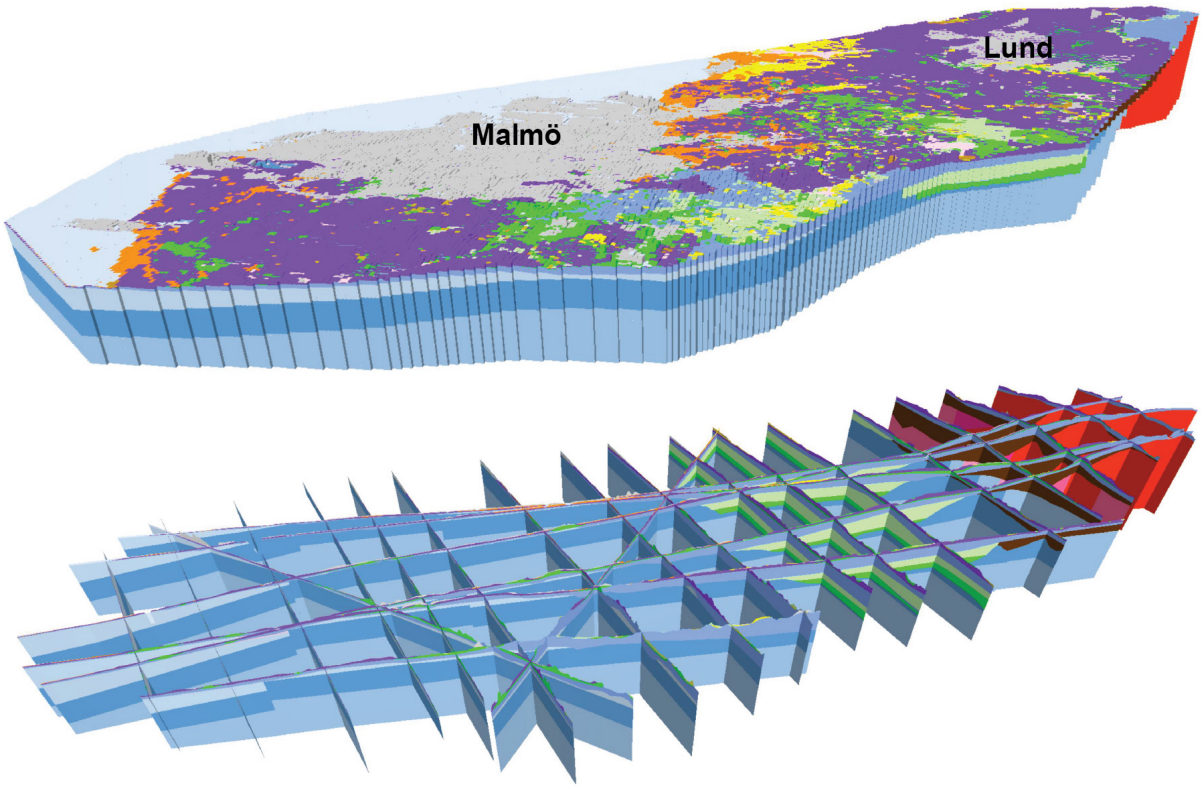
Beskrivning till geologisk 3D-modell över Malmö–Lundområdet

Mikael Erlström, Jonas Ising, Linda Wickström,
Björn Wiberg & Philip Curtis

augusti 2023

SGU-rapport 2023:09



SGU Sveriges geologiska undersökning

Omslagsbild: 3D-modell över Malmö–Lundområdet.
Modellen skapad av: Jonas Ising och Linda Wickström

Författare: Mikael Erlström, Jonas Ising, Linda Wickström,
Björn Wiberg och Philip Curtis
Granskad av: Henrik Mikko och Peter Dahlqvist
Ansvarig enhetschef: Mugdim Islamović

Redaktör: Johan Sporrong

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning 5
Inledning 6
Syfte och målsättning 6
Modellområdet 7
Genomförande 8
Underlagsmaterial 8
Borrhålsdata 8
Geofysisk information 11
Borrhålsmätningar 11
Seismik 11
Data från helikopterburna transient elektromagnetiska mätningar (TEM) 11
SGU:s kartor och beskrivningar 12
Jordlagrens uppbyggnad 13
Jordarter 13
Den kvartära utvecklingen 13
Skållor 14
Morän 15
Isälvssediment 15
Finkorniga glaciala sediment 15
Postglaciala jordarter, torv och gyttja 15
Jordlagrens materialegenskaper 18
Berggrundens uppbyggnad 18
Berggrunden ner till 170 m djup 21
Köpenhamnskalksten (Köpenhamnsledet) 22
Bryozokalksten (Limhamnsledet) 23
Skrivkrita (Krusebergsledet) 23
Referensborrhålet bh 98-1-216 24
Kalkstenens materialegenskaper 26
Geofysiska egenskaper 30
Riksintresse för mineral 30
Hydrogeologiska förhållanden 30
3D-modellen 32
Underlag 32
Modelleringsarbete 32

Datakvalitet och skala....33
Djup till berg....33
Lagerföljder....33
Jordlagren....34
Berggrunden....35
Visualisering av modellen....36
Projektets effektmål....37
Tillgänglighet av data....37
Datavärdskap för geotekniska markundersökningar....39
Referenser....39
Bilaga 1. Exempel på tvärsektioner i modellen

SAMMANFATTNING

Rapporten redovisar en geologisk 3D-modell för Malmö med omnejd som Sveriges geologiska undersökning (SGU) tagit fram och som ger en översiktlig beskrivning av de berggrundsgeologiska och jordartsgeologiska förhållandena i området. Rapporten syftar till att förstå uppbyggnaden av 3D-modellen, som presenteras på SGU:s webbplats (www.sgu.se) och SGU:s 3D-visare (apps.sgu.se/sgu3d).

Syftet med SGU:s 3D-modeller för tätorter är att bättre kunna förse samhället med geologiska underlag för infrastrukturprojekt och undermarksplanering. Modellen för Malmöområdet bygger på insamling, digitalisering, harmonisering och tolkning av extern information som tillsammans med SGU:s befintliga data integrerats i en 3D-modell som innefattar inte enbart Malmö utan även tätorterna Oxie, Arlöv, Lomma, Hjärup, Staffanstorp och södra Lund.

Den externa informationen har främst hämtats från Trafikverkets geotekniska databas, Trafikverkets arkivcenter, Citytunnelprojektet, Malmö GeoAtlas (via Tyréns) och Statens geotekniska institut (SGI). Även bidrag från VA Syd:s undersökningar har ingått i underlaget. Som stöd till modellen i de sydöstra delarna har även data från SGU:s helikopterburna transient elektromagnetiska mätningar (TEM) i sydvästra Skåne ingått. Totalt har över 18 000 lagerföljder från olika typer av borrningar bearbetats och lagrats in i modellen. Därutöver har borrhålsgeofysik och seismiska undersökningar använts som stöd till främst berggrundsmodellen.

Modellen visar en tolkad bild av jordlagren och berggrunden ner till cirka 170 m djup. Modellen baseras på 25 tolkade tvärsektioner som i sin tur baseras på verifierade lagerföljder i borrningar.

Jorddjupsmodellen visar att jorddjupen varierar från några få meter lokalt i centrala Malmö till flera tiotals meter nordost om Malmö. Ännu mäktigare jordlager påträffas mellan Åkarp och Hjärup i den nordväst–sydostligt orienterade Alnarpsdalen. Här är jorddjupen uppemot 100 m. Inom Malmö tätort är jorddjupen i regel mellan 5 och 20 m. Jordlagren inom området har en mycket varierande sammansättning men domineras av olika typer av morän och moränlera med mellanlagrande sand- och siltlager. Isälvsavlagringar förekommer i ytan i begränsad omfattning och består ofta till större delen av sand. I jordlagren kring Kvarnby och Södra Sallerup förekommer även skållor av skrivkrita inlagrade i moränen. De mest varierande lagerföljderna påträffas i Alnarpsdalen. Här förekommer bland annat mäktiga sandiga och grusiga lager som utgör viktiga grundvattenmagasin. I delar av Malmö finns även flera meter med fyllnadsmassor ovanpå de kvartära jordlagren, exempelvis i norra hamnområdet.

Ner till cirka 100 m djup består berggrunden av olika typer av ljusgrå och vita kalkstenslager med varierande kornstorlek, karbonat-, ler- och flintinnehåll. Överst påträffas Köpenhamnsledet (*informellt namn*) (så kallad Köpenhamnskalksten), följt av Limhamnsledet (*informellt namn*) (så kallad bryozokalksten) och Krusebergsledet (*informellt namn*) (skrivkrita). Köpenhamnskalkstenen påträffas inte överallt i Malmö utan ofta bildar bryozokalkstenen berggrundsytan. Skrivkritan påträffas först på 60–80 m djup.

Medeldensiteten på kalkstenen i Limhamnsledet och Köpenhamnsledet varierar mellan 1,85 och 2,65 kg/dm^3 beroende på haltförhållandet karbonat och kisel. Mängden flinta varierar kraftigt både lateralt och vertikalt i berggrunden. Olika källor anger halter mellan 3 och 15 % svart flinta men att uppemot 50 % består av i varierande grad förkislad kalksten. Karbonatbergarternas porositet varierar från några få procent till 45 % vilket även återspeglas i den hydrauliska konduktiviteten som varierar kraftigt mellan 10^{-10} och 10^{-6} m/s. Tryckhållfastheten varierar i förhållande till hårdheten från < 5 MPa till > 100 MPa. Merparten av berggrunden har en hållfasthet mellan 2 och 50 MPa.

INLEDNING

Det finns ett behov av detaljerad geologisk information, inte minst i storstäderna, som underlag till samhällsplanering och inte minst för entreprenadarbeten under mark. Normalt tillhandahåller inte SGU den detaljeringsgraden på den information som SGU tar fram inom sin reguljära verksamhet. Information med högre detaljeringsgrad tas främst fram av andra aktörer inom lokala byggprojekt. Dessa geotekniska undersökningar syftar till att ge projektspecifika och lokala underlag för utformning och genomförande av olika entreprenadarbeten. Det finns dock även ett mervärde för merparten av den här typen av information för utvärderingen av de geologiska förhållandena ur ett större perspektiv. Den här typen av undersökningar rapporteras vanligtvis endast till beställare och används i de flesta fall bara för det aktuella projektet. Detta gör att informationen oftast inte har använts eller tillgängliggjorts för övergripande geologiska beskrivningar utanför de projektspecifika entreprenaderna. Dessutom finns informationen ibland endast tillgänglig under en begränsad tid hos antingen den anlitade konsulten eller hos beställaren. Efter entreprenaden har avslutats händer det att resultaten och även kunskapen om att dessa tappats bort, eftersom det oftast inte finns något intresse, ekonomiska förutsättningar eller huvudman med uppgift att förvalta den.

Från ett samhällsekonomiskt perspektiv är sättet att hantera sådan värdefull information inte hållbart och kan uppfattas som resursslöseri. Som ett led i att försöka tillvarata och använda informationen mer övergripande har SGU inlett ett arbete med att i olika tätorter samla in sådan information för att den ska kunna tillgängliggöras som underlag för kommande projekt och undermarksplanering. I arbetet har det även ingått att tolka och integrera denna externa data med befintlig SGU-information och presentera en konceptuell 3D-modell av jordlagren och den övre delen av berggrunden. Tidigare har detta arbete gjorts för Stockholm och Göteborg. Under kommande år planeras liknande insatser där fler tätorter, tillväxtområden och infrastrukturstråk kommer att inkluderas. Ett speciellt tack riktas till Olof Friberg och Peter Alstorp vid Tyréns i Malmö, Eva Albin vid SGI och Stefan Milotti vid VA Syd för leveranser av data samt hjälp med olika databaser.

Syfte och målsättning

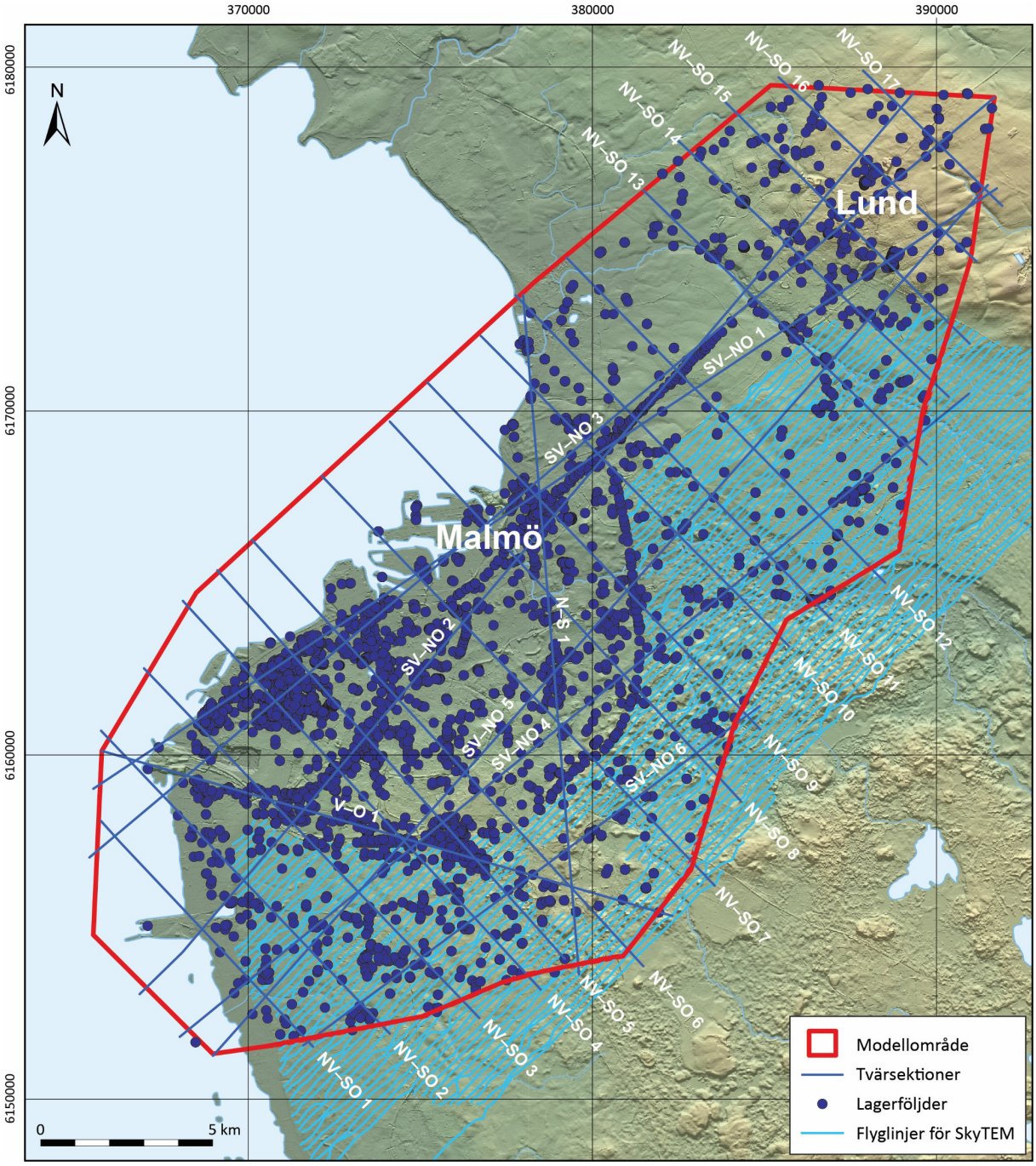
SGU:s arbete syftar inte enbart till att tillvarata och förvalta värdefull geologisk information utan också att bidra med övergripande tolkningar och modeller som ger ett samhällsekonomiskt mervärde för planering av genomförande av nya infrastrukturprojekt där markförhållandena har en viktig roll. Arbetet kräver utifrån SGU:s roll och myndighetsuppdrag en balans mellan insamling, tolkning och tillhandahållande, samtidigt måste det göras en avvägning mellan behov, detaljrikedom och geografisk täckning. En målsättning med arbetet är också att via kommunikation med olika aktörer i anslutning till insamlingen av data främja användandet av SGU:s kartor och databaser, inte minst inom kommunal fysisk planering.

Den geologiska 3D-modellen för Malmö avser att förmedla olika geologiska underlag till användare inom bygg-, planerings-, och transportsektorn. Här ingår såväl kommunala handläggare, tekniska konsulter som entreprenörer inom bygg och anläggningssektorn.

Målsättningen är att SGU:s information och 3D-modell ska stärka kunskapen och förståelsen av de olika geologiska förhållandena och de ingenjörsgeologiska kopplingarna till grundvattenförhållanden, hållfasthet och för hantering och beräkning av schaktmassor med mera. SGU:s modell och ingående datamängd ska även ses som ett underlag som bland annat ur ett samhällsekonomiskt perspektiv kan främja ett ökat användande av äldre data inför nya entreprenadarbeten.

MODELLOMRÅDET

Modellområdet fokuserar på Malmö tätort men inkluderar även omgivande tillväxtområden, tätorter och kommundelar tillhörande Bunkeflostrand, Klagshamn, Tygelsjö, Oxie, Lomma, Åkarp, Burlöv, Hjärup, Staffanstorp och Lund (fig. 1). Modellen går ner till cirka 170 m djup. Modellen överlappar delvis i nordost till området med sektioner som tagits fram mellan Hässleholm och Lund för Trafikverkets projektering för höghastighetsjärnväg (Ising m.fl. 2019).



Figur 1. Kartbild som visar modellområdets utbredning (röd polygon) med läget för borrhålsuppgifter samt de tvärsektioner som presenteras i rapporten.

GENOMFÖRANDE

Projektet har under 2021–2022 bedrivits inom enheten för Samhällsplanering Berg under ledning av Philip Curtis. Mikael Erlström har ansvarat för den berggrundsgeologiska delen och sammanställningen av rapporten, Jonas Ising för tolkning och beskrivning av jordartgeologin, Björn Wiberg för externa kontakter och insamling av geotekniska data. Linda Wickström har tillsammans med Jonas Ising utfört modelleringsarbetet.

I projektets inledande fas medverkade Paula Lindgren för att kontakta konsulter, kommuner, kommunala bolag och myndigheter för att få information om var det finns data som kunde tillgängliggöras för SGU. Informationen som vi har kunnat samla in har i de flesta fall utgjorts av olika slags borrhålsuppgifter. Dessa har i flertalet fall harmoniseras med avseende på koordinatsystem och den terminologi som använts för till exempel benämning av jordarter och bergarter. Detta arbete har till stora delar utförts av extrageologen Frans Lundberg.

Tolkning och modellering har utförts med stöd av programmet Groundhog som utvecklats av den brittiska geologiska undersökningen (BGS). Den tolkade lagermodellen och tvärsnitten har sedan överförts till SGU:s 3D-visare som nås via apps.sgu.se/sgu3d där även ingående datapunkter och länkar till externt material visas.

UNDERLAGSMATERIAL

Borrhålsdata

All geologisk information som kommer fram från geotekniska undersökningar är relevant, men ett urval har gjorts av främst borrhålsuppgifter med lägesuppgifter, djupinformation och uppgifter om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad. Dessutom har det funnits juridiska faktorer att ta hänsyn till som till exempel rättigheter till informationen.

Totalt har 18 630 lagerföljdsuppgifter lagts in i underlaget till modellen och cirka 150 rapporter från olika undersökningar har digitaliserats. Merparten av informationen kommer från Trafikverket, Citytunnelprojektet, Förvaltningsprojekt Malmö stad , SGI och undersökningar för en ny avloppstunnel genom Malmös norra delar samt en eventuell avloppstunnel mellan Malmö och Lund. En sammanställning av olika externa källor som använts redovisas i tabell 1.

Uppgifter från kärnborrhål finns främst från Citytunnelprojektet och förundersökningarna för en ny avloppstunnel genom Malmös norra delar och en tänkt förbindelse till Lund. I övrigt är det mest uppgifter från hammarborrningar och geotekniska sonderingsborrningar.

Inom Malmö tätort finns ett stort antal geotekniska undersökningar gjorda i samband med anläggnings- och byggprojekt. Malmö stad har samlat dessa i en databas (Förvaltningsprojekt Malmö stad) som kan nås, med inloggning, via Tyréns GeoBIM-portal (fig. 2). Här finns cirka 80 000 borrhål som kan nås via den digitala karttjänsten. Ur detta material har ett representativt urval gjorts av undersökningar där det finns någon form av lagerföljdsuppgifter. Dessa uppgifter, till exempel jordart, har harmoniserats och tillsammans med djupinformation överförts till SGU:s inlagringsapplikation ”Jorddagboken”.

Trafikverkets geotekniska databas med borrdata lagras i så kallat *Geosuiteformat* som möjliggör nedladdning och bearbetning av externa användare. Den geotekniska databasen innehåller data från både väg- och järnvägsprojekt (fig. 3).

Trafikverket har också mängder med analog information som finns vid Arkivcenter i Mölndal. Det kan vara dokumentation från äldre vägprojekt men även handlingar som rör grundundersökningar från broar i Trafikverkets ägo.

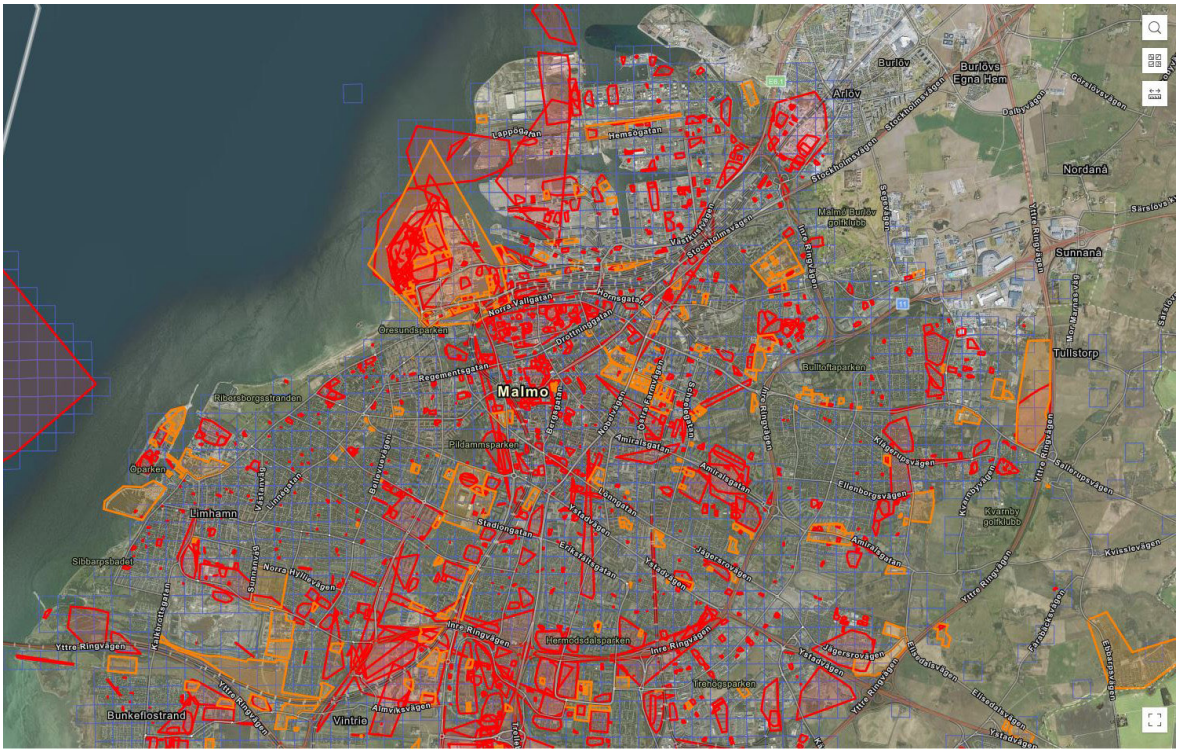
Järnvägsdata som inte är så nya att de finns i den geotekniska databasen (från 2013) har inhämtats genom nedladdning från det arkiv där man samlat de geotekniska undersökningar som gjorts för respektive järnvägsdel. Dessa fås som pdf-filer och är av mycket varierande ålder och användbarhet.

SGI har tidigare gjort en hel del geotekniska undersökningar i området. Dessa är huvudsakligen av äldre datum och gjorda då antalet geokonsulter var litet.

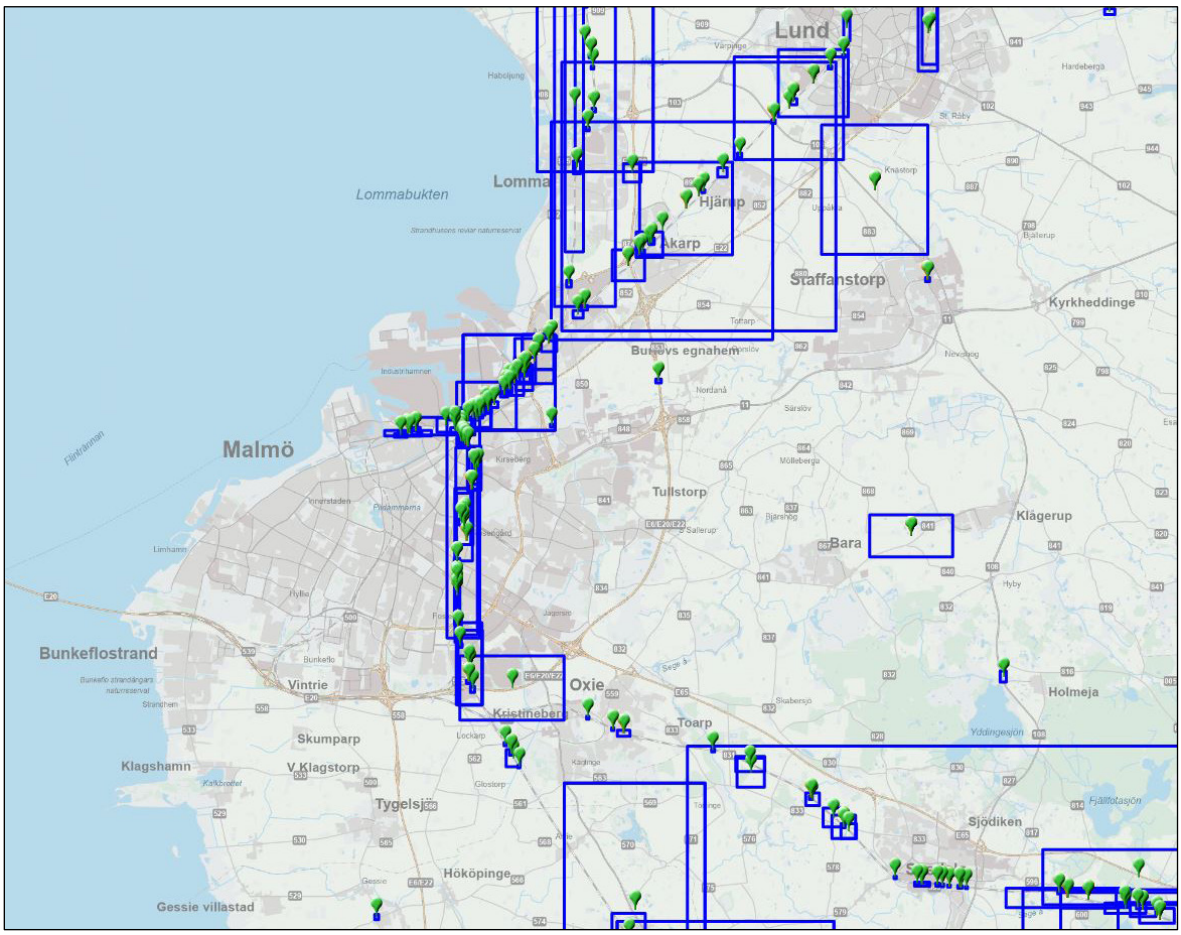
Det ska påpekas att merparten av de geotekniska borrningarna inte når ner i berggrunden då stora delar av området är täckt av lerig morän och moränlera som oftast ger tillräcklig stabilitet för den grundläggning som ska utföras.

Tabell 1. Översikt av externa informationskällor som ingått i arbetet.

Uppgiftslämnare	Projekt	Slag	Omfattning/antal
Sweco/VA Syd	Malmö avloppstunnel Sjölunda Turbinen	Borrhålsdata Borrhålsgeofysik Geotekniska undersökningar	10-talet borrhål till 30–50 m djup
Sweco/VA Syd	Avloppstunnel Malmö Lund	Geotekniska undersökningar	Förundersökningsdata från ett 80-tal provpunkter
Tyréns	Bagers plats GeoAtlas Malmö	Rapport Kärnborrning Geotekniska undersökningar	Två kärnborrningar till cirka 17 m djup. SGU rapport 08-541/2009 GeoAtlas databas (80 000 datapunkter)
Citytunneln	Citytunneln	Rapporter Borrhålsdata Borrhålsgeofysik Reflektionsseismik	Cirka 100 borrhål utmed sträckan Hyllie–Triangeln–Malmö C, mestadels från 1998
Trafikverket	Järnväg norrut E22:an Broarkivet Mölndal Arkivcenter Mölndal TrV:s geotekniska databas	Geotekniska undersökningar	Ett par tusen borrhål i databas samt stora mängder med analog information från geotekniska undersökningar
Malmö Stads Förvaltning	Garage Davidshallstorg	Rapport Borrhålsdata	Fyra kärnborrningar till cirka 23 m djup. SGU rapport 08-1889/2006
PEAB	Malmö Stadium	Rapport Berggrundsuppgifter	Tre provgropar SGU rapport 08-948/2007
WSP	Kvarteret Kaninen	Rapport Kärnborrning	Fyra kärnborrhål till cirka 19 m djup. SGU rapport 08-1665/2008
SGI	Geotekniska undersökningar		Ett 50-tal äldre geotekniska undersökningar
Vasakronan/Geoinvent AB	Rättscentret Malmö	Rapport Kärnborrning	Tre kärnborrhål 16–20 m djup
Svenska Kraftnät	Ledning Hurva–Sege	Geotekniska undersökningar	Information från 595 borrningar



Figur 2. Skärmdump (2023-08-16) via GeoBIM från Förvaltningsprojekt Malmö stad som visar registrerad information (röda polygoner och linjer) från olika projekt om geoteknik, miljögeologi, jordlager och vatten.



Figur 3. Skärmdump (2023-08-16) ur Trafikverkets geotekniska databas som illustrerar var det finns data registrerat med geoteknisk och geologisk information.

Geofysisk information

Borrhålsmätningar

I Malmö finns ett stort antal borrhål från Citytunnelprojektet med information om berggrunden till cirka 40 m djup. Endast ett fåtal borrhål ner till mer än 100 m djup. I de flesta av dessa kärnborrningar och hammarborrningar har det utförts geofysisk borrhålsloggning med mätningar av borrhålsdiametern (Caliper), berggrundens naturliga gammastrålning (*Gamma Ray*), densitet och porositet (*Density* och *Neutron*), resistivitet och konduktivitet (*Resistivity* och *Conductivity*) samt ljudvågors gånghastighet (*Sonic*). I flertalet finns även data från en flödesloggning som ger information om vattenförande zoner (*Spinner*). I borrhålen finns även temperaturmätningar utförda.

I stort sett motsvarande mätningar har även utförts i samband med förundersökningsborrningarna till Malmö Avloppstunnel vid Sjölunda i norra Malmö hamn och vid Turbinen i centrala Malmö, cirka 300 m väster om Malmöhus slott.

Seismik

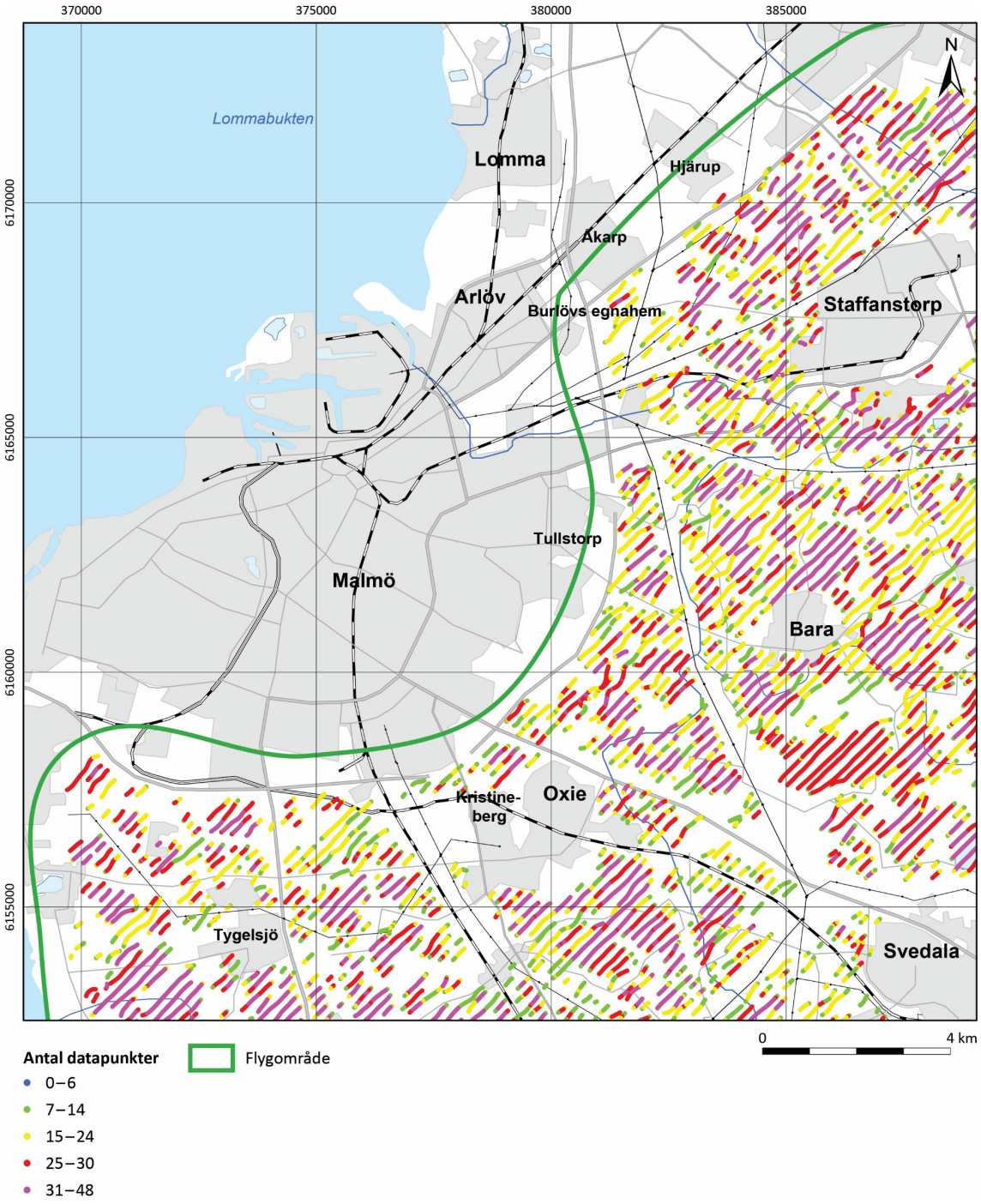
Inför byggandet av Citytunneln utfördes 1999 en reflektionsseismisk undersökning utmed den planerade tunnelsträckningen av City Tunnel Consultants bestående av Skandiakonsult, Ramböll och Halcrow. Totalt insamlades 16,2 km seismik fördelat på åtta profiler med en vibroseismisk källa. För varje skottpunkt gjordes ett frekvenssvep från 30 till 500 Hz under en fem sekunder lång period. Geofonavstånd och skottpunktavstånd var femte meter. Detta skapade högkvalitativa data (30–90 fold) som når ner till 500–1 000 ms TWT (tvåvägs seismisk gångtid, eng. *Two Way Traveltime*). Gånghastighetsanalysen visar på hastigheter mellan 2 100 m/s i den övre delen av berggrunden till 3 700 m/s i den nedre delen, vilket motsvarar toppen av den så kallade Arnager-grönsanden på cirka 1 500 m djup, vilken framträder som en stark reflektor på cirka 900 ms TWT. Syftet med undersökningen var att se om det finns förkastningszoner som skär tunnelsträckningen.

I Malmös norra delar finns även seismik från en undersökning 1999–2000 som Sydkraft AB (numera E.ON) utförde i samband med förundersökningar för deras djupa geotermiborrningar i Malmö norra hamn. Seismiken ger emellertid ingen tydlig information om berggrunden som ligger ytligare än cirka 200 ms TWT (200–250 m). Däremot har undersökningen identifierat deformationszoner och förkastningar i den djupare berggrunden som eventuellt kan påverka berggrunden som ligger ytligare än cirka 200 ms, motsvarande 200–250 m djup beroende på gånghastigheten för de seismiska ljudvågorna i den övre delen av berggrunden och jordlagren.

Data från helikopterburna transient elektromagnetiska mätningar (TEM)

Under oktober och november 2019 utfördes TEM-undersökningar i bland annat sydvästra Skåne. Mätningarna utfördes av företaget SkyTEM Surveys Aps på uppdrag av SGU. Syftet var att öka kunskapen om markens uppbyggnad på djupet med fokus på att kunna identifiera och avgränsa områden med potentiellt stora grundvattentillgångar (Brolin & Dahlqvist 2020).

TEM är en geofysisk metod som kartlägger den elektriska ledningsförmågan i marken. Via en kabelslinga som sitter fast på en ram under en helikopter skickas en kraftig strömpuls som genererar ett varierande magnetfält, som i sin tur ger ett inducerat elektriskt fält i marken. Detta ger i sin tur upphov till ett sekundärt magnetfält, B, ”markens respons”, som mäts av en mottagarspole, även den hängande under helikoptern. Signalstyrkan i mottagarspolen beror på markens elektriska förmåga på olika djup. Med stöd av lagerföljder från referensborrhål kan resistivitetsprofilerna översättas och tolkas till olika jordlager och berggrundslager. Mätningarna ger ofta detaljerad information ner till ett par hundra meters djup.



Figur 4. Karta som visar datatätheten längs med flyglinjerna som ingick i de helikopterburna TEM-undersökningarna kring Malmö.

Mätningarna som utfördes i nordost–sydvästlig flygriktning med ett linjeavstånd på 100–200 m är inte utförda över tätorter vilket gör att det runt Malmö inte finns heltäckande data och där dessutom datakvaliteten är sämre på grund av ledningar, vägar, byggnader med mera. Bäst data som stöd till framför allt jorddjupsmodellen finns i området sydväst och nordväst om Staffanstorp (fig. 4).

SGU:s kartor och beskrivningar

Redan i slutet av 1800-talet framställde SGU de första kombinerade jord- och berggrundskartorna med separata beskrivningar för sydvästra Skåne: serie Aa 91 Malmö (Jönsson 1884), Aa 92 Lund (De Geer 1886) och Aa 138 Börringe kloster (Holst 1911). Dessa ger än i dag viktig information om

markens uppbyggnad, inte minst ur ett historiskt perspektiv innan den stora expansion med utfyllnad och byggnation som skett i Malmöområdet. Det finns även en äldre agrogeologisk karta i skalan 1:20 000 med tillhörande beskrivning för området mellan Alnarp och Lund (Ad 2, Ekström 1953).

Därutöver finns jordarts- och berggrundskartor i skalan 1:50 000 med tillhörande beskrivningar i SGU serie Ae 23, 27, 38, 85 (Ringberg 1975, 1976, 1979, 1987) och Af 191–194 (Sivhed m.fl. 1999). Denna information har på senare år i varierande omfattning uppgraderats i SGU:s digitala databas.

Efter att den nationella digitala och detaljerade höjdmodellen togs fram av Lantmäteriet har delar av jordartskartan i sydvästra Skåne uppgraderats i olika omgångar, först längs kusten i projekt Skånestrand (Malmberg Persson m.fl. 2014, 2016), sedan i projekt Hässleholm–Lund (Ising m.fl. 2019) och nyligen har även jordartsdatabasen inom modellområdet uppgraderats (1:25 000).

Dessutom finns hydrogeologiska kartor och beskrivningar för Malmö SV, SGU serie Ag 4 (Gustafsson 1972) och Malmö SO SGU serie Ag 6 (Gustafsson 1978) samt ett antal kartor och beskrivningar av grundvattentillgångarna i skalan 1:50 000 för Lomma, Staffanstorp och Burlövs kommuner (K 103), Malmö kommun (K 117) och Lunds kommun (K 116) (Gustafsson 2008a, 2008b, 2008c).

SGU:s kartor och beskrivningar finns som nedladdningsbara pdf-dokument via ”GeoLagret” på SGU:s webbplats (apps.sgu.se/geolagret).

JORDLAGRENS UPPBYGGNAD

Jordarter

Jordarterna i sydvästra Skåne är till största delen avsatta av inlandsisen. Mycket har avlagrats direkt av inlandsisen, som morän, men en del har avsatts av smältvatten, som isälvssediment eller finkornigare sediment såsom lera, silt och finsand. En mindre del av jordarterna har bildats efter istiden, som postglacial sand, postglacial lera, svämsediment, gyttja och torv. De olika jordlagrens individuella mäktigheter varierar från några få till flera tiotals meter (se tvärprofiler i bilaga 1).

Den kvartära utvecklingen

Den senaste istiden, Weichselistiden, inleddes för cirka 115 000 år sedan. Dock varierade inlandsisens storlek mycket under istidens gång och isfronten fluktuerade flera gånger fram och tillbaka över Skandinavien. Under en stor del av Weichselistiden var mycket av Sverige fritt från inlandsis, men med ett tundraklimat. För cirka 35 000 år sedan bredde inlandsisen ut sig och täckte nästan hela Skandinavien. Vid cirka 21 000 år före nutid hade isen sin största utbredning och nådde fram till mellersta Jylland och en bit in i norra Tyskland. Hur isen har rört sig i västra Skåne under Weichselisens slutskede är komplicerat och omdiskuterat. Olika isframstötar och mellanliggande avsmältningsfaser har resulterat i flera moränlager med delvis olika bergarts- och kornstorleks-sammansättning.

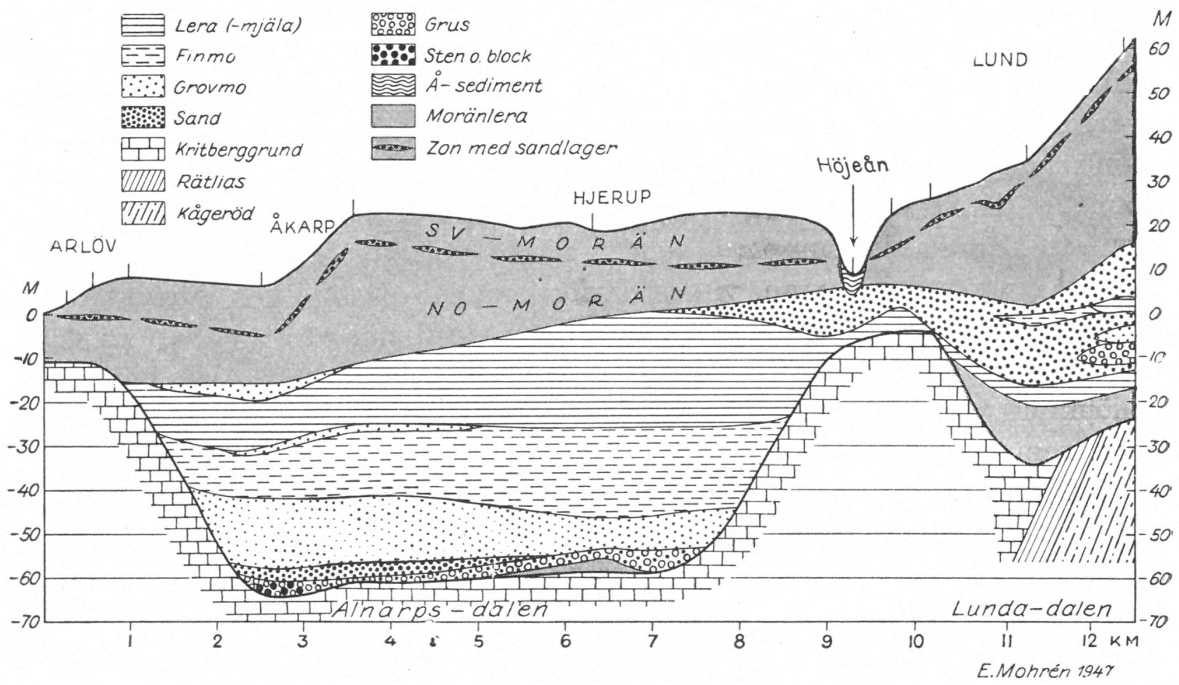
I sydvästra Skåne kan man skilja på tre skilda moräner från Weichselistidens slutskede: Den äldsta moränen har kommit med en is som rört sig från sydost och söder upp över västra Skåne och avsatt leriga moräner och moränleror med innehåll av sedimentära bergarter från östersjösänkan. Denna följdes av en isrörelse från öster och nordost (”nordost-isen”) som avsatte en sandig eller lerig morän (”nordost-moränen”) som innehåller mer av kristallint berg och lerskiffer. När denna is smälte av lämnade den kvar mycket dödis, ofta begravd under jordmassor. Ofta är det tunna sandlager och ibland en markhorisont innan nästa morän. Den sista isframstöten kom också från söder och sydost. Moränen efter denna kallas ofta den lågbaltiska moränen och karakteriseras av hög lerhalt och ett bergartsinnehåll med mycket kritkalksten och flinta.

Inlandsisen smälte slutligen av från området för 16 000–17 000 år sedan (Houmark-Nielsen& Kjær 2003, Hughes m.fl. 2016, Stroeven m.fl. 2016). Det är inte helt entydigt hur isfronten stod vid isavsmältningen i sydvästra Skåne. Isälvsrännor i södra delen av området, mellan Anderslöv och Trelleborg, tyder på att en is i söder legat kvar i sydost och vatten har runnit utefter iskanten och skurit ner i moränen. Mycket dödis låg länge kvar i backlandskapet öster och sydost om Malmö. Ovanpå dödisen bildades smältvattensjöar och i dessa avlagrades sand och lera. När dödisen så småningom smält bort återstod höjder av dessa sediment. Där de består av lera kallas de platåleror och är ofta omgärdade av en vall av sand eller morän. I något stadium har isen i västra delen av området dämt upp issjöar, bland annat vid Staffanstorp. Då låg dödis kvar söder om dessa issjöar.

Alnarpsdalen kallas en dal i berggrunden som sträcker sig i nordväst–sydostlig riktning från Abbekås i sydost till Lomma–Bjärred i nordväst (fig. 5). Dalen är helt igenfylld av kvartära sediment och inte någonstans synlig i markytan. I Alnarpsdalens undre delar finns djupt liggande äldre moräner från Saale- eller Elster-istiderna (Miller 1977). Ovanpå dessa finns stora mäktigheter av sediment från den så kallade Alnarpsfloden som antagligen har dränerat södra delen av Östersjösänkan under delar av senaste istiden, före dess senaste maximum, då södra Sverige var fritt från inlandsis.

Skållor

Öster om Malmö finns flera glacialtektoniska skållor av kalksten. Det är stora block av kalksten, som inlandsisen brutit loss från berggrunden och transporterat en liten bit innan de har avlagrats i moränen. De kan vara hundratals meter långa och flera tiotal meter tjocka (se vidare i avsnittet *Riksintresse för mineral- och kritfyndigheter i skållor*).



Figur 5. Tvärsnitt som visar de kvartära avlagringarna i Alnarpsdalen sydväst om Lund (från Mohrén i Ekström 1953).

Morän

Morän täcker ytan av större delen av området (fig. 6). Jordarten bildades genom att inlandsisen tog upp material från berggrunden och tidigare avsatt jord, transporterade det och krossade det. Materialet avsattes som jordarten morän, både vid botten av en aktiv is och genom framsmältning ur en dynamiskt mer eller mindre död is. Huvuddelen av moräntäcket i Sverige avsattes under den senaste istidens slutskede. I södra Skåne förekommer dock på flera ställen morän som avsatts under tidigare glaciala skeden.

Moränen delas in efter lerhalten i viktprocent av material mindre än 20 mm:

Lerfri morän (grusig, sandig, sandig–siltig) < 5 % ler
Lerig morän (sandig, sandig–siltig) 5–15 % ler
Morängrovlera 15–25 % ler
Moränfinlera > 25 % ler

Till största delen täcks området av moränlera från den sista, baltiska isframstöten, men i backlandskapet öster om Malmö är moränen huvudsakligen sandig eller lerig. Denna sandiga och leriga morän finns också till stora delar under den översta moränleran. Vid bland annat Limhamns kalkbrott och längs bygget av yttre ringvägen söder om Malmö (Jönsson 2000) har moränerna kunnat undersökas men i övrigt är det numera ont om skärningar.

I stora delar av Malmö stad, där moränen är täckt med fyllningsmassor, har det inte gått att särskilja moränlera från lerig morän. Därför har de på jordartskartan slagits samman i detta område.

Isälvssediment

Isälvssediment består av block, sten, grus och sand som transporterats, sorterats och avsatts av smältvatten från inlandsisen. Sedimenten avsattes i tunnlar och sprickor i isens randzon samt framför isfronten. Sedimenten kännetecknas av att materialet är sorterat efter kornstorlek i olika skikt och lager samt att partiklarna är avrundade. Övergångsformer till morän förekommer dock.

Egentliga rullstensåsar är det ont om i området. Råbyåsen, sydost om Lund är det bästa exemplet. Förutom den, förekommer några mindre korta åsar men oftare finns isälvssedimenten i form av kullar eller dalfyllnader. I Malmö fanns bland annat på det som nu är stadsdelen Kirseberg (”Körsbärsbackarna”) stora täkter i isälvsgrus (Jönsson 1884). En stor del av isälvssedimenten i området fortsätter in under den översta moränleran. De är alltså bildade före den senaste isframstöten.

Finkorniga glaciala sediment

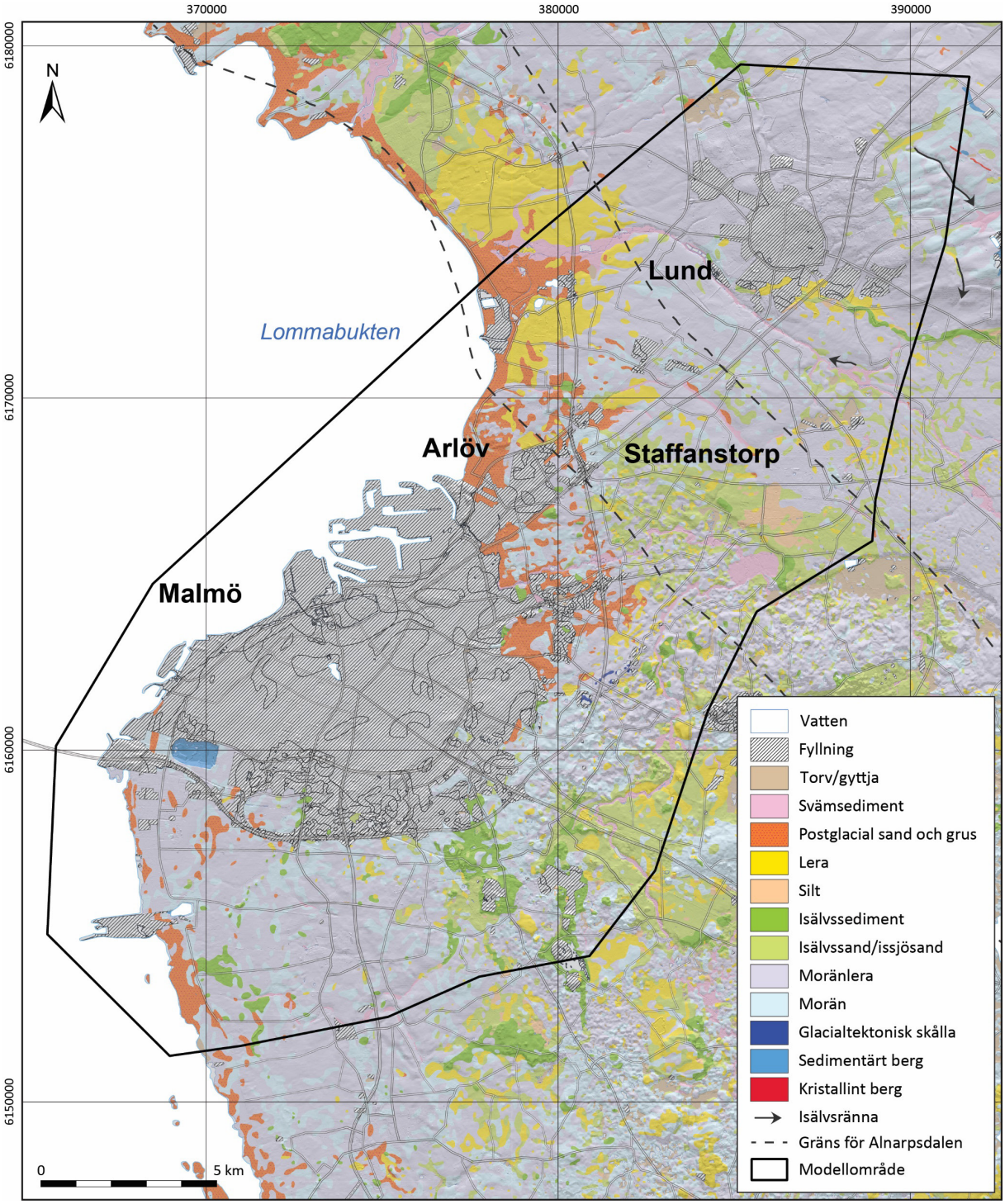
Finkorniga sediment innefattar jordarterna silt och lera, av glacialt ursprung. De bildades genom att de finkornigaste partiklarna transporterades ut i hav eller issjöar av smältvattnet från isen under istidens slutskede. Där kunde de avsättas på havs- eller sjöbottnen och bilda en jordart, varvig lera, som vanligen kännetecknas av en växellagring av silt och lera. Glacial lera finns till stora delar som ”platåleror”, som är avsatta i sänkor uppe på en stagnant is. Det finns också stora mängder lera som ligger under morän och andra sediment. Ett exempel på sådan är Lommaleran som kommer i dagen vid Lomma, och förmodligen är avsatt före den senaste baltiska isströmmen.

Postglaciala jordarter, torv och gyttja

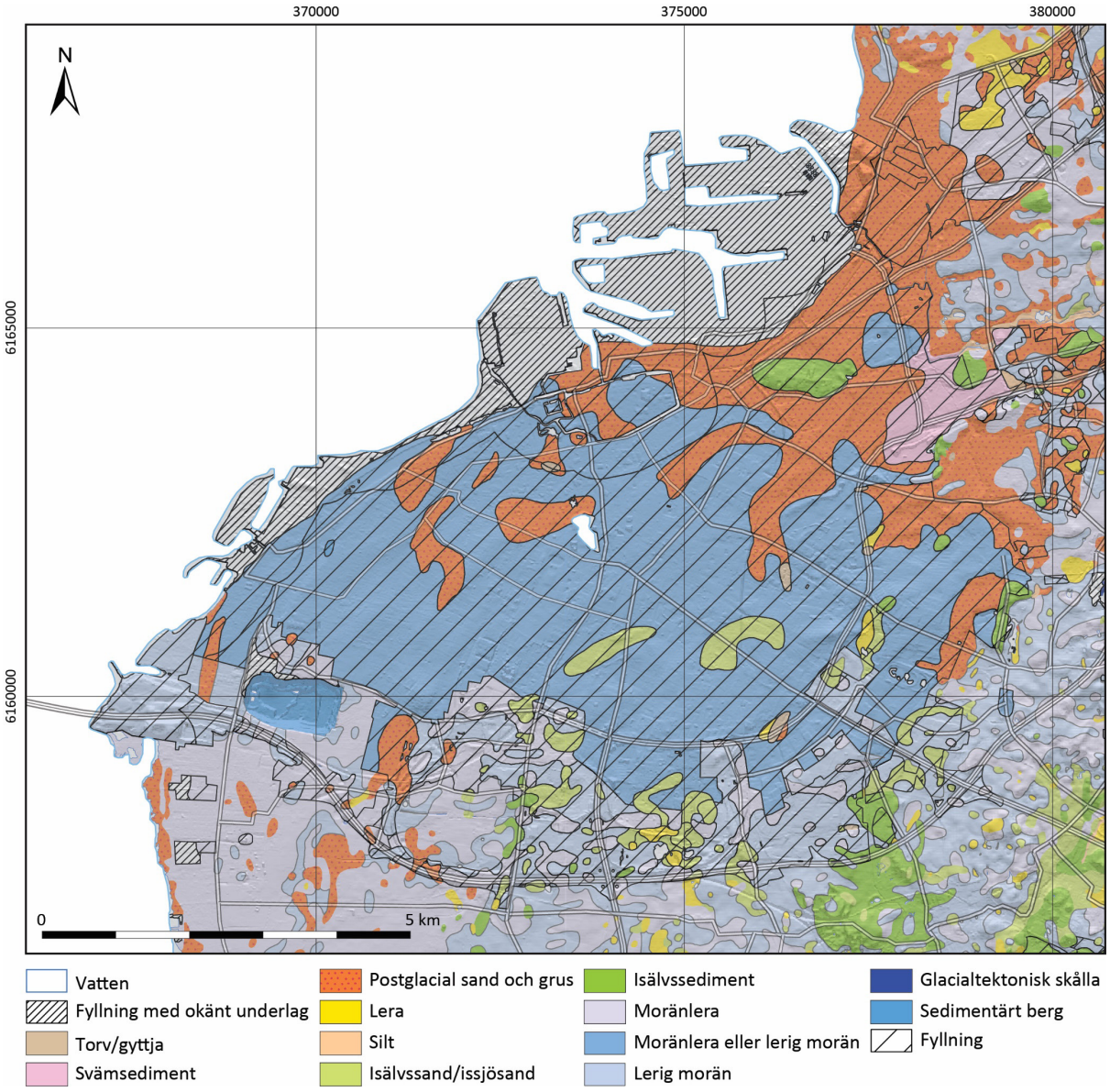
Även under postglacial tid har finkorniga sediment avsatts i hav och sjöar. De postglaciala finkorniga havs- och sjösedimenten utgörs till stor del av omlagrade glaciala finkorniga sediment. De postglaciala finkorniga sedimenten saknar i regel tydlig varvighet (men är ibland skiktade) och kan innehålla organiskt material och molluskskal.

Beteckningen *postglacial sand* omfattar sediment avsatta genom flera olika processer. Till denna grupp hör svallsand, sand som omlagrats av havsströmmar, flygsand, en del fluviala sandiga sediment och även postglacial sand av oklart ursprung.

Svämsediment har bildats, och bildas fortfarande, utmed vattendrag och som deltan vid vattendragens mynning. Sedimenten avsätts vid översvämningar och bildar plana fält utmed vattendragen, ofta med bevarade torrlagda strömfåror. Svämsedimenten består huvudsakligen av sand och silt och innehåller en varierande mängd organiskt material, främst i form av växtrester.



Figur 6. Jordartskarta över Malmö–Lundområdet (SGU:s kartdatabas, Jordarter 1:25 000–1: 100 000). Höjdskuggning från Lantmäteriets nationella höjdmodell är pålagd för att visualisera bland annat erosionsdalar, backlandskapet och platålerorna.



Figur 7. Jordartskarta över Malmö stad med omgivning. Där jordarten närmast under fyllning är känd visas denna. Den är mer översiktlig och osäker i jämförelse med där jordarten går i dagen. (SGU:s kartdatabas, Jordarter 1:25 000–1: 100 000).

I stora delar av Malmö finns mycket postglacial sand under fyllnadsmassor (fig. 7). I många fall har det dock inte varit möjligt att säkert avgöra om sanden är postglacial eller glacialt bildad som isälvs- eller issjösediment. Även svämsediment, huvudsakligen i form av svämsand, finns under fyllnadsmassor i Malmö, speciellt längs Sege å och ett större område vid före detta flygplatsen Bulltofta.

Torv består av mer eller mindre nedbrutna växtdelar som bevarats i fuktig miljö. Torvmarker uppkommer genom igenväxning av sjöar eller genom försumpning i anslutning till källor eller på andra ställen där grundvattenytan ligger nära markytan. På många ställen förekommer också tunt torvtäcke (< 0,5 m) på annan jordart.

Gyttja består av finkorniga rester av döda organismer och avsätts på botten av sjöar eller grunda havsvikar. De gyttjiga sedimenten kan delas in i gyttja respektive lergyttja/gyttjelera. Gyttja har en organisk halt som är högre än 20 %. Lergyttja/gyttjelera har en organisk halt på 2–20 %. Dessa jordarter finns ofta nära markytan i områden som har varit sjöar men som har vuxit igen eller dikats ut.

Torv och gyttja finns i området huvudsakligen i sänkor i backlandskapet. I tätbebyggda områden är torven och gyttjan till stora delar bortgrävd.

Jordlagrens materialegenskaper

Aktuella jordlager av moränlera och lerig morän som förekommer i Malmö–Lundområdet har stor variation avseende överkonsolideringsgrad, men de är generellt mycket överkonsoliderade. De har en i huvudsak hög till extremt hög odränerad skjuvhållfasthet även om moränleror med medelhög odränerad skjuvhållfasthet förekommer. Således är grundläggningsförhållandena generellt goda med avseende på moränens bärighet och risk för sättningar.

Problem som kan uppstå är om moränen har en relativt liten mäktighet (när man har utfört exempelvis schaktarbeten) då det finns risk för hydraulisk upptryckning av botten. Detta på grund av det vattentryck som kan förekomma i kalkberget eller övergångszonen mellan morän och kalkberg. För en mer detaljerad beskrivning av moränlerornas materialegenskaper i Skåne hänvisas till en studie av SGI (Larsson 2000).

I övrigt finns en del information om jordlagrens materialegenskaper angivna i underlaget till upphandlingen av Citytunnelentreprenaderna vid Malmö centralstation. I denna redovisades generella värden för ett antal olika jordarters materialegenskaper. Även om dessa värden avser förhållandena i centrala Malmö ger de ändå en uppfattning om förväntade egenskaper för merparten av jordlagren inom modellområdet (tabell 2, Citytunneln 2005).

Tabell 2. Generella värden på materialegenskaper för olika jordarter i centrala Malmö. Uppgifterna är hämtade från förfrågningsunderlaget till Citytunnelentreprenaden (Citytunneln 2005). Inom parenteserna anges typiska värden.

Jordart	Tunghet[1], kN/m³	Odränerad hållfasthet, kPa	Kohesion, kPa	Friktionsvinkel, grader	Elasticitetsmodul, MPa
Fyllning och postglaciala jordarter	18–22 (20)	–	0	28–35 (30)	10–30 (20)
Moränlera[2]	20–22 (21)	90–400 (150)	10–25 (20)	29–33 (30)	20–100 (40)
Sand och silt	18–21 (20)	–	0	28–36 (32)	20–40 (25)
Sandig morän	20–22 (21)	–	0	30–36 (33)	30–100 (50)

1) Vattenmättnad 2) Överkonsoliderad

BERGGRUNDENS UPPBYGGNAD

I modellområdet överlagras det kristallina urberget av en cirka två kilometer mäktig sedimentär berggrund av trias, jura, krita och paleogen ålder (245–50 miljoner år gammal). Det djupt liggande urberget domineras av gnejs och amfibolit av samma slag som påträffas på Romeleåsen. Dess uppbyggnad präglas av den Sveconorvegiska bergskedjebildningen för 1,1–0,9 miljarder år sedan genom bland annat basiska intrusioner och omvandling av cirka 1,7 miljarder år gammal granitisk berggrund (Ulmius m.fl. 2018, Stephens & Wahlgren 2020).

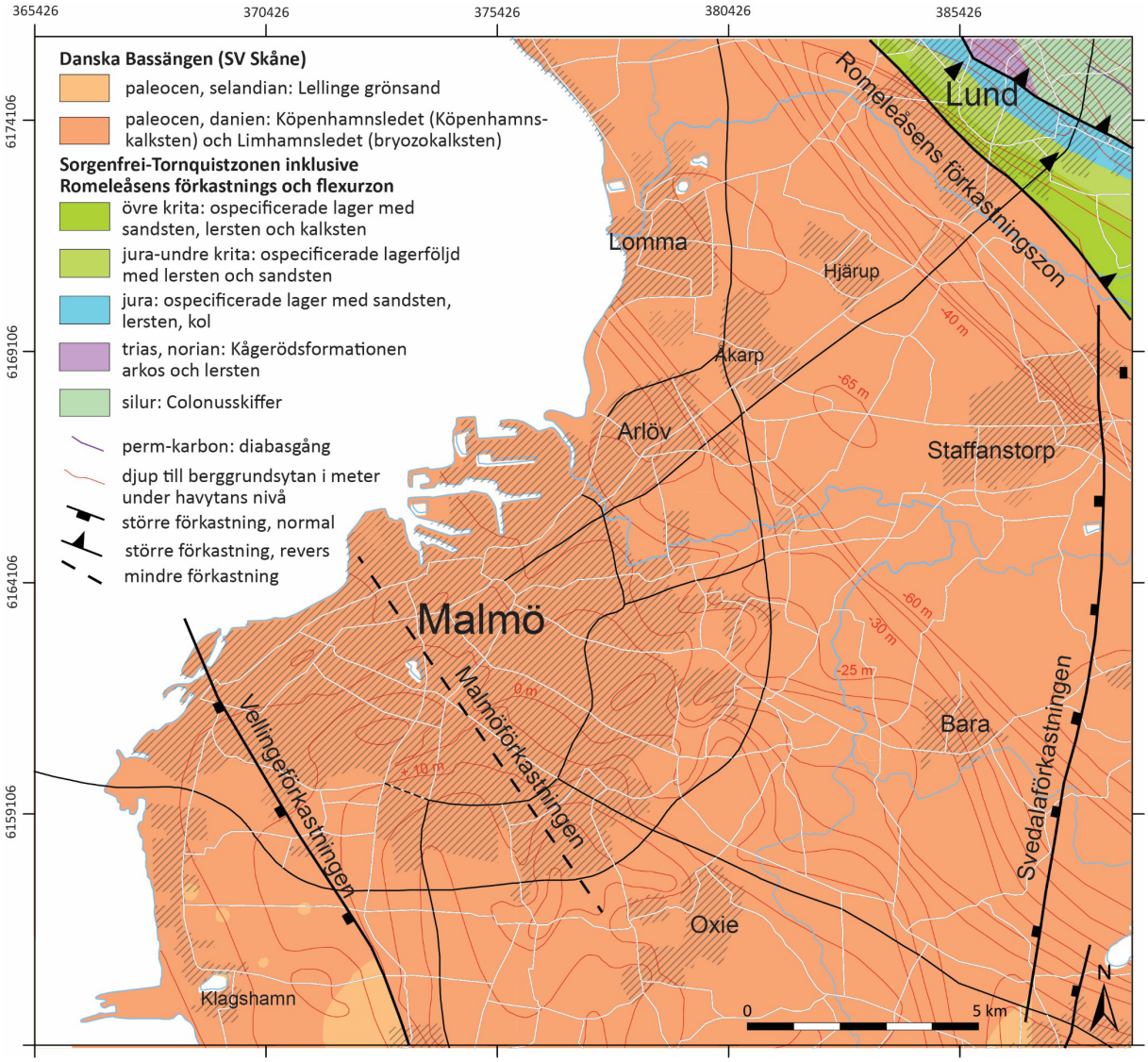
Den sedimentära berggrunden tillhör geologiskt sett en del av ett större sammanhängande område som kallas Danska Bassängen. Tvärs genom Skåne, från Helsingborg till Ystad, avgränsas detta område i nordost av Romeleåsens förkastningszon som också utgör Sorgenfrei-Tornquistzonens sydvästra avgränsning (fig. 8). Upprepade tektoniska rörelser i denna har haft stor inverkan på den sedimentära berggrundens uppbyggnad inom såväl som utanför zonen (Sivhed m.fl. 1999, Erlström 2020).

Under yngre krita, för cirka 70–80 miljoner år sedan, i samband med att Alperna bildades i södra Europa, inträffade de största förkastningsrörelserna i Sorgenfrei-Tornquistzonen. Kompression i jordskorpan gjorde att berggrunden inom zonen höjdes kraftigt. Den vertikala rörelsen var i storleksordningen en till två kilometer vilket resulterade i omfattande erosion av upphöjd berggrund samtidigt som stora sedimentmäktigheter avsattes i det sänkta området i Sydvästskåne, som då täcktes av ett hav. Närmast Romeleåsen avsattes också under yngre krita flera hundra meter

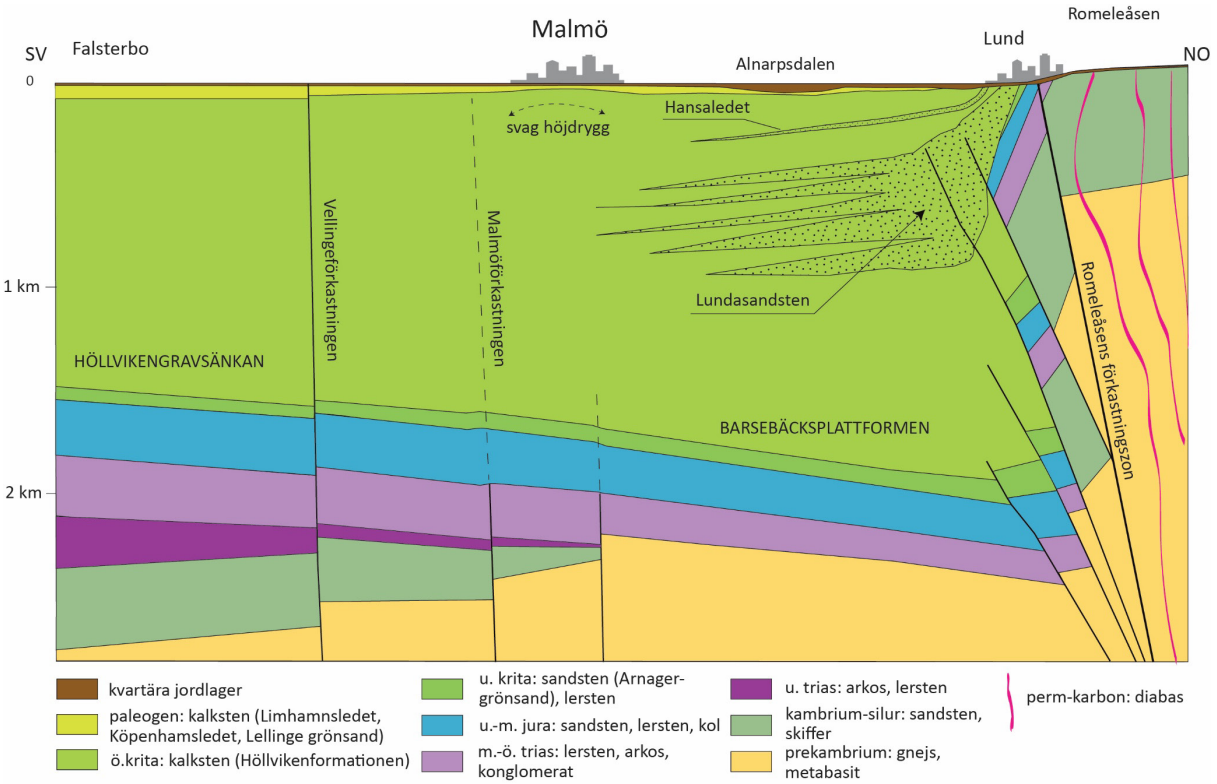
med sandstensdominerade lager som bildar den så kallade Lundasandstenen (fig. 9) (Erlström 1990). Längre ut i Danska Bassängen bildades däremot under yngre krita.

Förkastningsrörelserna under yngre krita resulterade också i överskjutna ”hängande” bergblock med brantstående äldre berggrund (trias–jura–undre krita) utmed Romeleåsens förkastningszon (fig. 9). Karakteristiskt är även att berggrundslagren är omböjda ”svagt vinklade” upp mot åsen som ett resultat från en regional upphöjning och erosion av den sydvästra delen av Skandinaviska halvön under främst neogen tid för 2–20 miljoner år sedan (Japsen m.fl. 2002). Omböjningen har resulterat i en varierande bred zon med avskurna successivt äldre lager som bildar berggrundsytan in mot Romeleåsens förkastningszon. Vinklingen avtar successivt åt sydväst och lagringen blir i stort sett horisontell på 10 km avstånd från åsen.

De avskurna och kraftigt vinklade lagren och hängande bergblocken närmast åsen utgör en några få hundra meter till någon kilometer bred zon med varierad och svårtolkad geologisk uppbyggnad som kallas Romeleåsens förkastnings- och flexurzon (se berggrundskartbladen Af 192, 194 och 214, Sivhed m.fl. 1999, Erlström m.fl. 2004). Zonen passerar genom södra delarna av Lund och



Figur 8. Översiktlig berggrundskarta baserad på SGU:s berggrundskartor i SGU:s serie Af (Sivhed m.fl. 1999). Observera att kartan delvis kommer att uppdateras i SGU:s databas baserat på resultaten som framkommit vid modellarbetet och de helikopterburna TEM undersökningarna. Främst gäller det utbredningen av Köpenhamnsledet och djupet till berggrundsytan.



Figur 9. Schematiskt tvärsnitt av de djupgeologiska förhållandena mellan Lund, Malmö och Falsterbo.

brunnsborrningar bekräftar en zon med varierande förekomst av berggrund från trias, jura och krita. Även seismiska undersökningar i samband men Lunds olika geotermiprojekt verifierar en zon med brantstående och vinklade lager.

Malmö ligger i en övergångszon mellan den så kallade Barsebäcksplattformen, där det djupt liggande urberget stupar svagt åt nordost, och Höllvikengravsänkan där urbergsytan stupar stegvis åt sydväst. I övergången mellan dessa finns en svag höjdrygg i berggrunden som sträcker sig i nordvästlig riktning genom centrala Malmö och vidare ut mot Saltholm (fig. 8 & 9). Höjdryggen påverkar även den ytnära berggrunden vilket gör att Köpenhamnskalkstenen saknas uppe på ryggen på grund av erosion (fig. 9 & 11).

I anslutning till höjdryggen finns den svagt indikerade så kallade Malmöförkastningen. Denna har identifierats söder om Malmö i såväl äldre seismik från OPAB:s oljeprospektering på 1970-talet som i den nyligen utförda helikopterburna TEM-undersökningen. I resultaten från den reflektionsseismiska undersökningen för Citytunneln framträder även ett antal mindre nordväst–nordnordvästligt orienterade deformationszoner som bedöms knutna till den svaga höjdryggen i berggrunden genom centrala Malmö och den indikerade Malmöförkastningen i Malmös södra utkanter (fig. 9). Dessa tolkades som mindre förkastningar och påverkar främst den djupare berggrunden. De vertikala rörelsebeloppen i förkastningarna är endast 5–10 ms TWT vilket motsvarar maximalt cirka 20 m. Högre upp i berggrunden blir dessa förkastningar mindre framträdande i seismiken. Även om inga senare rörelser indikeras är det inte uteslutet att viss reaktivering skett senare som gett upphov till ökad sprickighet.

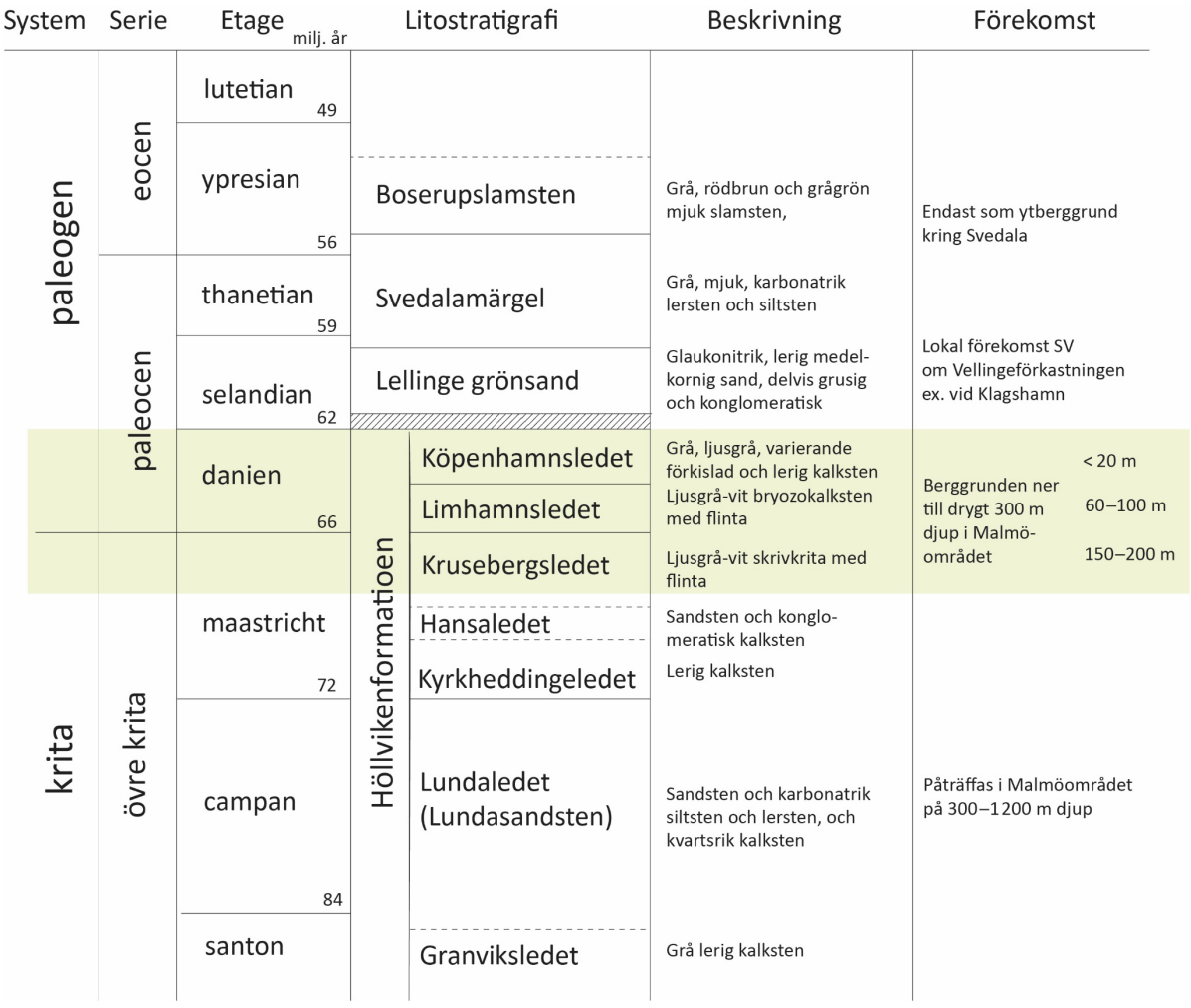
Vellingeförkastningen är den klart tydligaste förkastningen. Den var mest aktiv under trias. De senaste rörelserna skedde för cirka 50 miljoner år sedan vilket resulterat i att paleocen berggrund (Lellinge grönsand) bevarats fläckvis i det sänkta området sydväst om förkastningen. Förkastningen är som namnet anger tydligast i Vellingeområdet. Vellingeförkastningen framträder i resultaten

från de helikopterburna TEM-undersökningar som en högresistiv zon i berggrunden i djup mellan 70 och 130 m under markytan.

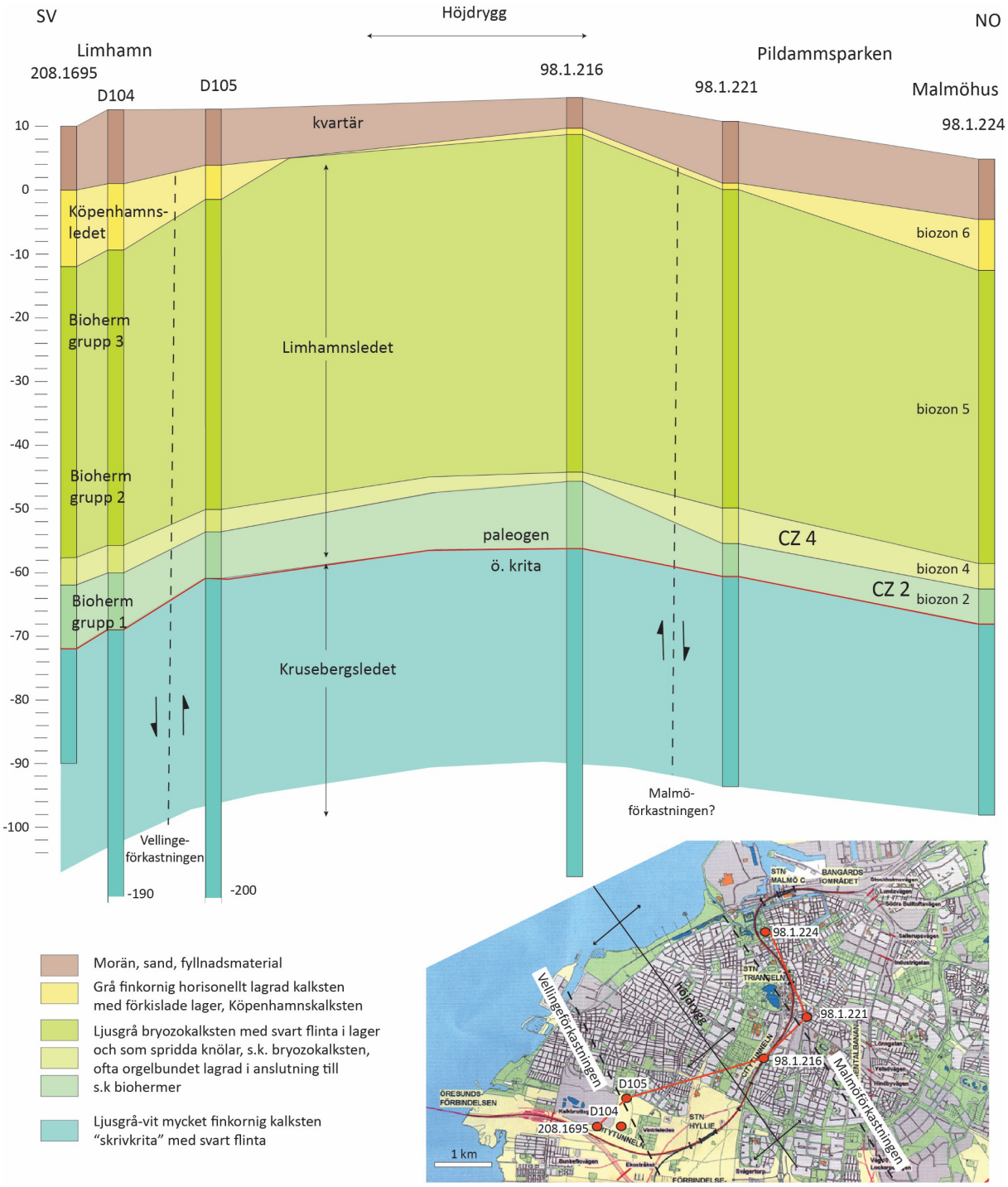
Berggrunden ner till 170 m djup

Ytberggrunden i Sydvästskåne består till merparten av medelkornig bryozokalksten med flinta tillhörande Limhamnsledet och Köpenhamnsledets ljusgrå bergarter som domineras av finkornig karbonat, kvarts, lera, flinta och förkislade lager (fig. 11 & 12a–d). Dessa båda enheter är tillsammans cirka 60–100 m tjocka. Den huvudsakliga skillnaden mellan bryozokalksten och Köpenhamnskalksten är att den senare är vanligtvis tätare och mer horisontellt lagrad. En annan tydlig skillnad är förekomsterna av mycket hårda, uppemot metertjocka förkislade grå–mörkgrå kalkstenslager och flinta till skillnad från den svarta knöliga flintan i Limhamnsledet (fig. 12c–d).

Ännu yngre (paleocen) karbonatrik grönsand (Lellinge grönsand) finns fläckvis, väster om Vellingeförkastningen vid Klagshamn och inom ett mindre oregelbundet område söder om Svedala (utanför modellområdet). I Svedalaområdet förekommer även slamsten och märgel av yngsta paleocen och eocen ålder, så kallad Svedalamärgel och Boserupslamsten (fig. 10) (Gustafsson & Norling 1974, Erlström & Rasmussen 2007). Dess berggrundsenheter har inte påvisats inom modellområdet.



Figur 10. Stratigrafiskt schema och uppbyggnad av den övre delen av den sedimentära berggrunden i Sydvästskåne.



Figur 11. Tvärsektion genom Malmö som visar berggrundens uppbyggnad och indelning, baserat på ett antal djupare borrhål från Citytunnelundersökningarna. Berggrundens uppbyggnad i borrhålet 98-1-216 visas i figur 13.

Köpenhamnskalksten (Köpenhamnsledet)

Köpenhamnsledet saknas eller är endast några få meter mäktigt i centrala delarna av Malmö. Detta beror på den höjdrygg som går genom Malmö som påverkat både avsättningsförhållanden och senare erosion (fig. 11). Söderut och norrut ökar mäktigheten på ledet till cirka 20 m.

Övergången till bryozokalkstenen är ofta svår att identifiera enbart på kaxprov från borrningar men vanligtvis utgör en högre frekvens bryozoer och svart flinta en särskiljande karaktär. Borrtekniskt är Köpenhamnskalkstenen generellt också hårdare.

Bryozokalksten (Limhamnsledet)

Limhamnsledet består huvudsakligen av 5–50 cm mäktiga lager med kalcilutit och kalkarenit med mellanliggande tunna märgel och lerlager samt med varierande inslag med knölig svart flinta (fig. 12b). Totalt är Limhamnsledet cirka 60 m mäktigt i Malmöområdet. Merparten av ingående karbonatpartiklar härrör från millimeterlånga skalfragment av bryozoer. Bryozoer eller mossdjur är bottenlevande, fastsittande och kolonibyggande organismer med ett yttre skelett av karbonat. I enskilda kalkstenslager kan fossila bryozofragment utgöra uppemot 45 % av bergarten. Övriga komponenter, undantaget flintan, utgörs av karbonatrikt slam med liten andel lermineral.

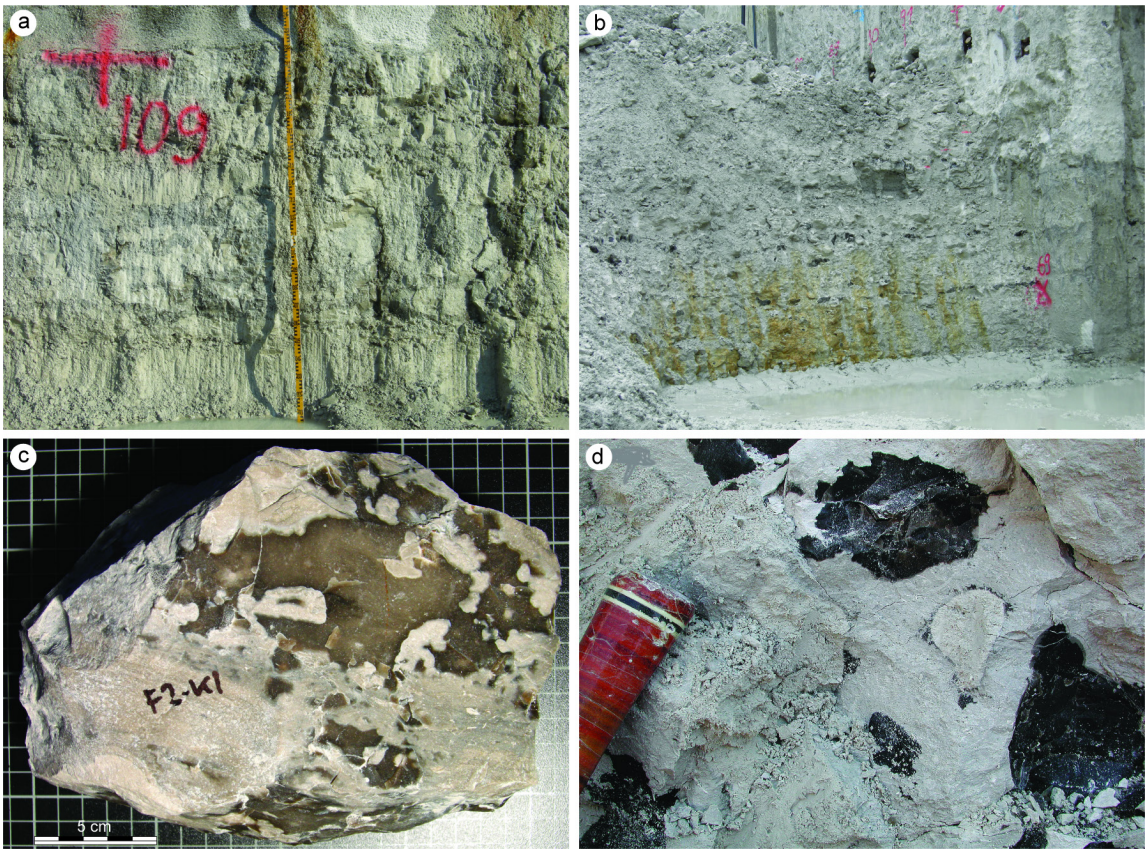
Bryozoerna bildar ofta, under gynnsamma förhållanden, revliknande strukturer, så kallade biohermer. Dessa är oftast utformade som 5–10 m höga avlånga bankar som kan vara 100–200 m långa. Inom bankarna är lagringen omböjd och stupar ut från den strukturens mitt. Biohermernas tillväxt och utbredning styrdes av vattendjup, vattenströmmar och tillförsel av näringsämnen vilket gör att storlek och förekomst varierar (Thomsen 1983). Det förekommer också, tillsammans med biohermerna med bryozokalksten, lokala förekomster med oregelbundna linser av korallkalksten. I Limhamns kalkstensbrott är de endast några meter höga och några tiotals meter i diameter. Biohermer och korallkalksten bildades främst på lämpligt djup utmed den forna kustlinjen som låg nordost om Malmö och modellområdet. Bryozobiohermer är påvisade vid byggandet av Öresundsbron, på Saltholm och vid Stevns Klint, vilket motsvarar i stort sett ett stråk utmed den svaga höjdrygg som sträcker sig genom Malmö mot Saltholm. Det är därför möjligt att de endast förekommer på och sydväst om höjdryggen eftersom denna verkar ha styrt vattendjup och strömningsförhållandena för dessas bildning (Bjerager m.fl. 2010).

Förekomsten av biohermer i Limhamns kalkstensbrott (Nielsen m.fl. 2009) består av tre bioherm-generationer. Dessa åtskiljs av erosionsytor som representeras av uthålliga hårda kalkstenslager, så kallade hårdbottenytor (Holland & Gabrielson 1979). Flinta påträffas frekvent i lagerföljden. Ofta som 5–20 cm tjocka lager med svart-vit knölig flinta (fig. 12d).

Skrivkrita (Krusebergsledet)

Under Limhamnsledet följer på cirka 60–80 m djup Krusebergsledet från övre krita (fig. 11), som domineras av mycket finkorniga kalkstenar. Överst består ledet av flera hundra meter ljusgrå–vit skrivkrita med flinta, som gradvis på djupet övergår i grå lerig kalksten. Övergången från Limhamnsledets bryozokalksten till skrivkritan i Krusebergsledet syns tydligt i resistivitetsdata som en övergång från låg- till högresistiv berggrund. I ett borrhål i Malmö syns skillnaden i resistivitet också i de geofysiska loggarna i övergången mellan de båda leden (fig. 13).

Karbonatrika leror och märgelavsnitt förekommer frekvent i lagerserien, och i övergången mellan Limhamns- och Krusebergsleden finns decimetertjocka mörka leror som tydligt framträder i borrhålsgeofysiska data i bh 98-1-216. Lerlagren bedöms bidra till den hydrauliska gräns som finns i övergången till skrivkritan i Krusebergsledet. Gränsen mellan Limhamnsledet och Krusebergsledet framträder också som en markant skillnad i resistivitet på cirka 80–100 m under havsytans nivå.



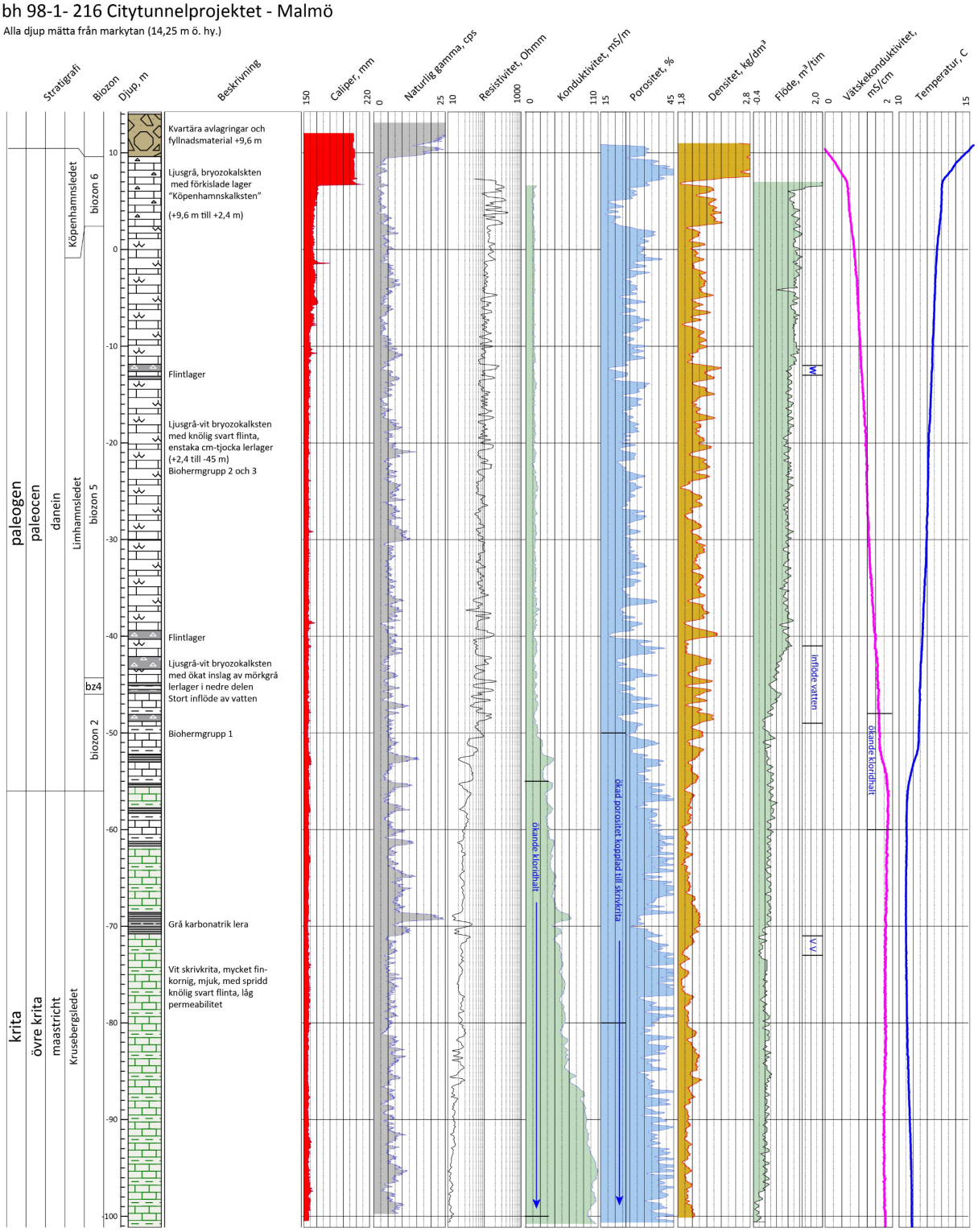
Figur 12. Exempel på de dominerande bergartsleden i Malmöområdet. **a)** schaktvägg genom cirka 2,5 m Köpenhamnskalksten vid byggandet av den underjordiska stationen vid Centralstationen i Malmö. Notera ljusgrå oregelbundna partier med förkislad kalksten, **b)** schaktvägg med bryozokalksten, tunnelbygget vid centralstationen i Malmö. Notera band med knölig svart flinta, **c)** detalj av typiskt gråbrun förkislad kalksten och brungrå flinta typiskt förekommande i Köpenhamnskalkstenen, **d)** detalj som visar karakteristisk svart-vit knölig flinta som förekommer i bryozokalkstenen. Foto: Mikael Erlström.

Referensborrhålet bh 98-1-216

De flesta kärnborrningarna som har utförts för olika infrastrukturprojekt inom modellområdet når inte djupare än cirka 50 m. Det gör att beskrivningen av berggrunden därunder oftast enbart är baserad på kaxbeskrivningar från brunnsborrningar och i vissa fall geofysiska loggar. Inom området finns dock tre cirka 100 m djupa kärnborrningar, däribland bh 98-1-216 (fig. 13), utförda utmed Citytunnelsträckningen där det både finns borrkärna och geofysiska loggdata. I detta borrhål består berggrunden ner till 45 m djup av några få meter med Köpenhamnskalksten följt av bryozokalksten tillhörande Limhamnsledet. Gränsen mellan Köpenhamnsledet och Limhamnsledet är svårbedömd. Övergången från Limhamnsledet till Krusebergsledet (skrivkrita) utgörs på 45 till 55 m djup av 3–4 tydliga flint- och lerlager. I samma avsnitt sker en påtaglig förändring av vattenföringen. Flödesloggen visar ett ökat inflöde från cirka 200 l/h (50 m djup) till 1 000 l/h (40 m djup) (fig. 13).

Under 55 m djup består berggrunden av skrivkrita (Krusebergsledet). Vid cirka 52 m djup framträder i temperaturloggen och konduktivitetsloggen för formationsvätskan en tydlig förändring som bedöms vara orsakat av att det finns två akvifärer. En övre i bryozokalkstenen och en undre i skrivkritan. I den undre är vattenföringen låg på grund av relativt täta lager med mycket finkornig kalksten. Salthalten ökar signifikant med djupet från samma nivå.

Karbonatrika leror och märgelavsnitt förekommer frekvent i lagerserien, och i övergången mellan Limhamns- och Krusebergsledet finns flera decimetertjocka mörka leror som tydligt framträder som toppar i kurvan för den naturliga gammastrålningen. Lerlagren bedöms bidra till den hydrauliska gräns som finns i övergången mellan Limhamnsledet och Krusebergsledet.



Figur 13. Borrhålet bh 98-1-216 i Malmö borrat i samband med förundersökningarna för Citytunneln.

Kalkstenens materialegenskaper

I samband med arbetena med Öresundsbron, Citytunneln i Malmö och Metron i Köpenhamn har flera undersökningar gjorts av berggrundens fysikaliska och tekniska egenskaper. Inför arbetena med Öresundsbron gjorde SGI en sammanfattning av egenskaperna som noterats vid äldre arbeten i Limhamns kalkstensbrott och fördjupningen av Malmö hamn (Bergdahl & Petersson 1992). Nya tekniska undersökningar gjordes därefter av både Danish Geotechnical Institute (DGI) och SGI i ett schakt vid Lernacken söder om Malmö (Bergdahl & Steenfelt 1994, DGI 1994). Ytterligare tekniska undersökningar gjordes 1998 i samband med kärnborrning och geofysisk borrhålsloggning för Citytunneln (Galsgaard m.fl. 1998). Resultaten från Citytunneln redovisas, förutom i ett antal opublicerade projektrapporter, i en sammanfattande publikation av Jackson m.fl. (2004). Därutöver finns resultat från undersökningar i samband med byggandet av Metron i Köpenhamn (Foged m.fl. 2007). I flera av dessa rapporter och publikationer refereras det dessutom till resultat från ett antal opublicerade konsultrapporter som vi tyvärr inte haft tillgång till. Därför får vår beskrivning här ses som en översikt av de fysikaliska och tekniska egenskaperna utifrån den information som finns i de rapporter och publikationer vi refererar till.

Resultaten i dessa visar på en stor spridning av de tekniska egenskaperna som främst beror på kalcit- och kiselutfällningar som bildats i samband med de bergartsbildande processerna. Berggrunden har i de olika byggprojekten i området klassificerats i fem hårdhetsklassser (H1–H5) som i stort beror på mineraliseringarnas omfattning. Kalkstensberggrundens fysikaliska och tekniska egenskaper beror också till merparten på bergartens hårdhet (Larsen m.fl. 1995). Nedan ges en kort beskrivning av klasserna.

H1: Lösa lager med karbonatslam och lerig kalksten, inga sekundära utfällningar av kisel eller kalcit. Kan smulas sönder för hand.

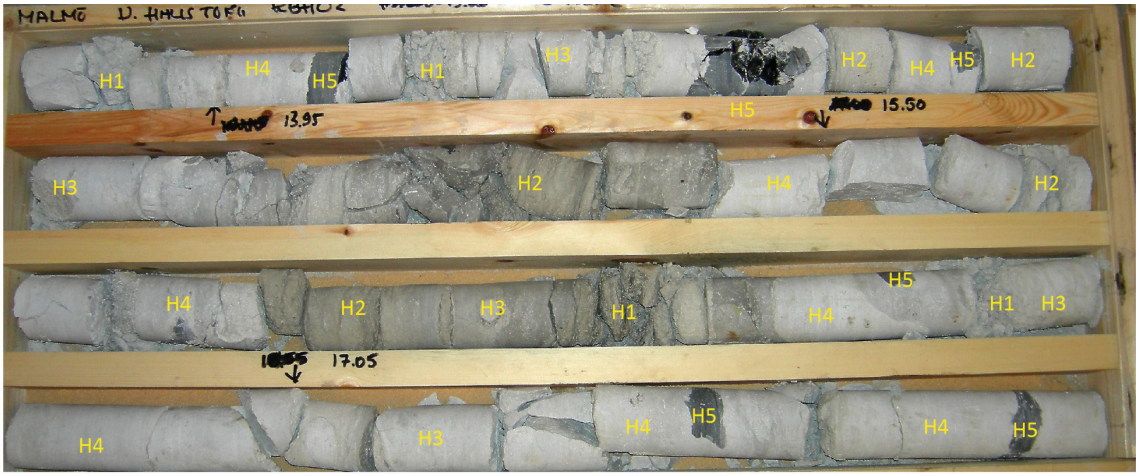
H2: Svagt cementerad kalksten ofta mycket porösa lager (Ø > 35 %) med bryozokalksten. Endast 5–10 % av porutrymmet cementerat med kalcit. Flintnoduler förkommer ofta. Kan skäras sönder med kniv.

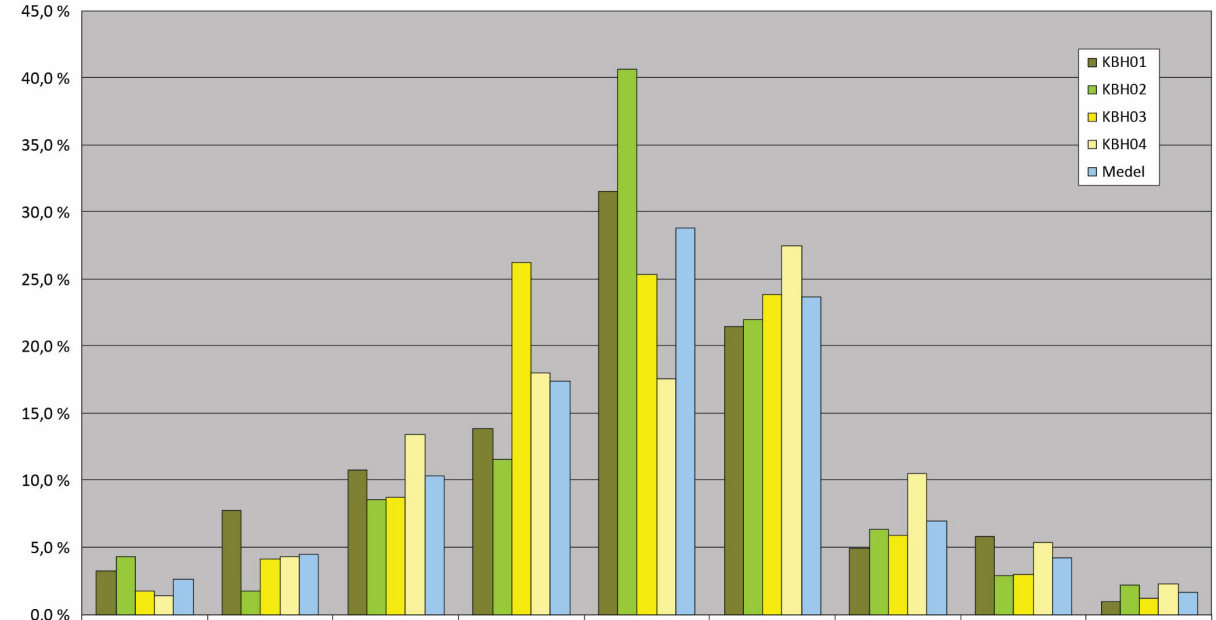
H3–H4: Gradvis alltmer cementerad och omvandlad kalksten. Varierande porositet 5–25 %. Dominerar Köpenhamnsledets kalkstenslager. Kan skrapas med kniv.

H5: Flinta och förkislad kalksten. Kan inte skrapas med kniv.

Merparten av berggrunden faller inom hårdhetsklasserna H2–H4 vilket exemplifieras av klassningen av fyra 26–30 m djupa kärnborrningar vid Davidshallstorg i centrala Malmö. Borrningarna utfördes som en förstudie för ett tänkt underjordiskt garage (fig. 14, Erlström 2007).

Hårdheten beror helt på hur omvandlat bergartens ursprungssediment är, vilket domineras av karbonatpartiklar (fossilfragment), lermineral och kvarts. Efter att sedimentet avsatts på bottnen i det grunda marina hav som täckte Skåne under paleogen tid för cirka 65 miljoner år sedan, påbörjades en successiv mekanisk kompaktion med ökat begravningsdjup. Denna följdes av en kemisk omvandling och kristallisering av kalcit och kisel. Graden av omvandling och kristallisering har varit beroende av ett cirkulerande porvatten mättat på kalcium, karbonat och kisel. Ur ett mättat porvatten har sedan kalcit och kisel kristalliserat i porutrymmet. Mängden löst kalcium i porvattnet var högre i kalksten med relativt hög andel lättlöslig aragonit. De enskilda lagrens hårdhet varierar därför i förhållande till den ursprungliga mängden aragonitskaliga fossil och hur poröst sedimentet varit. Ofta varierar också hårdheten inom varje enskilt lager till följd av att ursprungssedimentet omlagrats av grävande organismer (bioturbering) som skapat en oregelbunden kaotisk textur med stora skillnader i porositet och kornstorlek vilket i sin tur gett helt skilda förutsättningar för sekundära kristalliseringar (fig. 15).

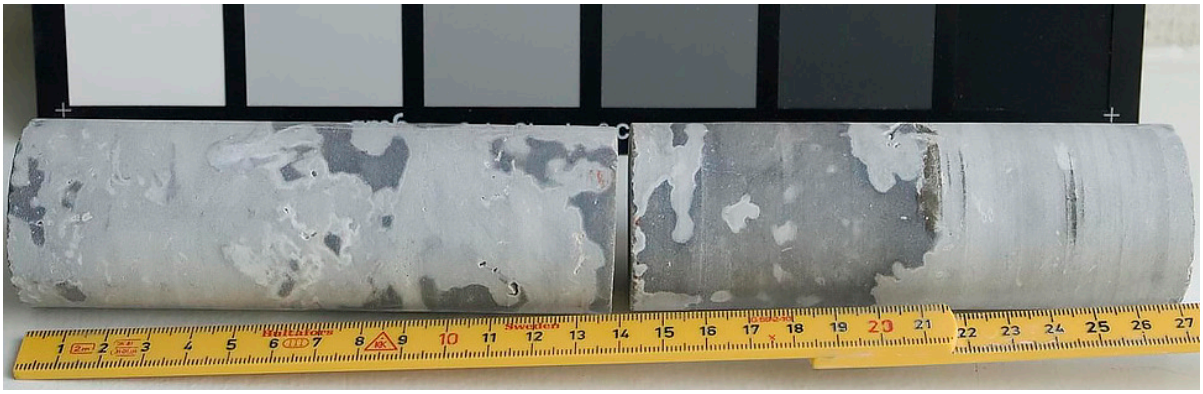




	H1	H1-H2 blandat	H2	H2-H3 blandat	H3	H3-H4 blandat	H4	H4-H5 blandat	H5
KBH01	3,2 %	7,7 %	10,7 %	13,8 %	31,5 %	21,4 %	4,9 %	5,8 %	1,0 %
KBH02	4,3 %	1,7 %	8,5 %	11,5 %	40,6 %	22,0 %	6,3 %	2,9 %	2,2 %
KBH03	1,7 %	4,1 %	8,7 %	26,2 %	25,4 %	23,8 %	5,9 %	2,9 %	1,2 %
KBH04	1,3 %	4,3 %	13,4 %	18,0 %	17,6 %	27,4 %	10,5 %	5,3 %	2,2 %
Medel	2,6 %	4,5 %	10,3 %	17,4 %	28,7 %	23,7 %	6,9 %	4,2 %	1,7 %

Figur 14. Exempel på hårdhetsklassning av Limhamnsledet i fyra kärnborrningar vid Davidshallstorg i Malmö. Överst foto som visar ett exempel på borrkärnornas utseende med varierande hållfasthet. Nederst stapeldiagram som visar hårdhetsfördelningen (figuren modifierad efter Erlström 2007).

Det huvudsakliga bidraget till hårdheten är dock hur mycket kisel som fällts ut i bergarten. I det ursprungliga sedimentet ingick en stor mängd biogen amorf kisel från döda kiselalger och svampdjur (fig. 16a). Den lättlösliga kiseln fälldes ut sekundärt som mikrokristallin kisel (flinta) i bergartens porutrymmen och hålrum. Denna process skedde relativt ytligt i det nyligen avsatta sedimentet i gränsen mellan oxiderande och reducerade förhållanden (fig. 16b–d). Gynnsamma redoxförhållanden för flintbildning fanns bland annat i hålrum i bottensedimentet som skapats av grävande bottenlevande organismer, som till exempel krabbor (fig. 15 & 16c). Detta har resulterat i oregelbundet formade flintkonkretioner som ofta återspeglar grävgångarnas ursprungliga form, speciellt i Limhamnsledets bryozokalksten.



Figur 15. Exempel på oregelbunden förkisling i Köpenhamnskalksten (H4–H5) i en borrkärna från Malmö centralstation, sannolikt orsakad av grävande organismer som omlagrat det ursprungliga bottensedimentet (Erlström 2006). Mörkgrå områden består nästan uteslutande av utfälld kisel. Foto: Per Lindh.

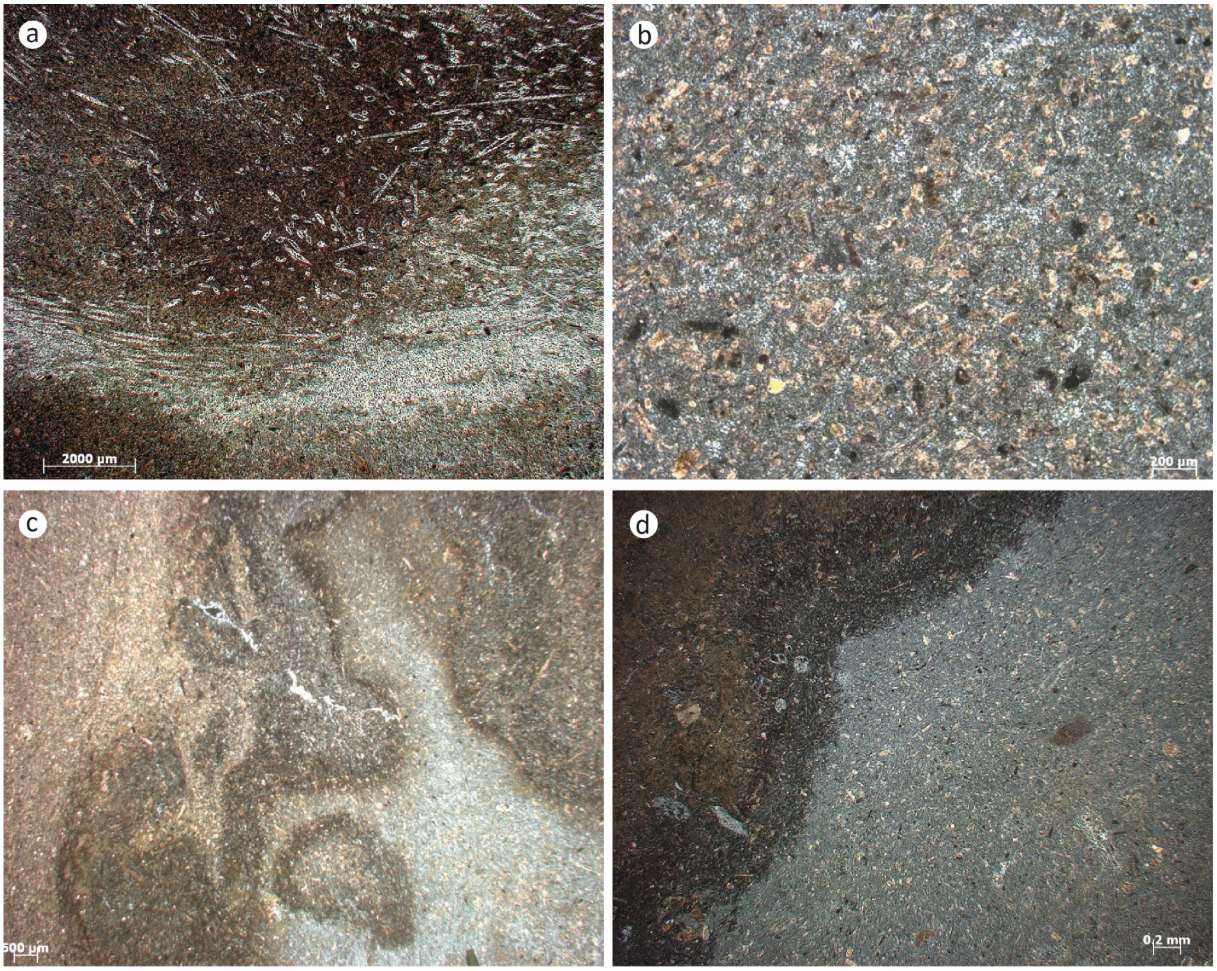
Andelen flinta och kalkstenens hårdhet varierar vertikalt och lateralt inom både Limhamnsledet och Köpenhamnsledet. Detta beror framför allt på hur snabb sedimentationen varit. Perioder med långsam sedimentation resulterade i hårdare lager medan snabbare sedimentation gav mindre tid till omkristallisering och utfällning av kisel.

Köpenhamnskalkstenen är i Malmö ofta kraftigt förkislad (fig. 15). Det är vanligt med oregelbundna upp till metertjocka lager med i varierande grad grå förkislad kalksten medan det i Limhamnsledet är mer spridda knölar med svart flinta som följer lagringen (fig. 12d).

Medeldensiteten på kalkstenen varierar mellan 1,85 och 2,65 kg/dm^3 beroende på haltförhållandet karbonat och kisel. H1–H2-klasserna har ofta en densitet under 2,1 kg/dm^3 (Bergdahl & Peterson 1992). Flintans densitet varierar mellan 2,55 och 2,67 kg/dm^3 beroende dess vattenhalt. Mängden flinta varierar kraftigt både lateralt och vertikalt i berggrunden. Larsen (1991) anger att cirka 15 % av lagerföljden utgörs av flinta medan DGI (1998) demonstrerar att i borrningarna utmed Citytunneln består bryozokalkstenen endast av 3 % svart flinta (H5) (medelvärde) men att uppemot 50 % av lagerföljden innehåller mer eller mindre förkislad kalksten (H3–H4). En äldre undersökning av bryozokalkstenen på Saltholm visar en flinthalt på 15 % (DGI 1969). Samtliga dessa utredningar påpekar också att det finns stora lokala variationer.

Porositeten varierar från några få procent för H4–H5-bergarter till uppemot 45 % för H1–H2-typer. Den hydrauliska konduktiviteten för enskilda lager och borrningar varierar också kraftigt från 10^{-10} till 10^{-6} m/s. Gällande tryckhållfastheten (”*unconfined compressive strength*”) är det likaså en stor variation i värdena, från < 5 MPa för H1 till > 100 MPa för H5. Vidare beräknades att 26,4 % av 320 000 m^3 stor bergvolym i Malmö hamn har en tryckhållfasthet som är lägre än 10 MPa och för 80 % av volymen varierade tryckhållfastheten mellan 2 och 50 MPa (Bergdahl & Petersson 1992). Likartad variation gäller elasticitetsmodulen som för de hårdaste bergarterna (H4–H5) är över 20 000 MPa men endast ett par tusen MPa eller lägre för H1–H2 (Bergdahl & Petersson 1992, Kryger-Hansen & Foged 2002).

Från Citytunnelarbetena i centrala Malmö finns även en översikt av de olika hårdhetsklassernas materialegenskaper som låg till grund för upphandlingen av entreprenaderna vid Malmö centralstation (tabell 3, Citytunneln 2005).



Figur 16. Mikroskopfoton som visar varierande grad av förkisling i tunnslipsprov från Köpenhamnskalkstenen vid Malmö centralstation (Erlström 2006). **a)** nålformade spikler av amorf kisel från fossila svampdjup i en finkornig, tät kalksten (så kallad kalcilutit), **b)** heterogen textur med kiselutfällningar (mörkgrå–ljusgrå) och gulbrun mestadels omkristalliserad kalcit, **c)** oregelbundet formade mineraliseringar av kisel (ljusgrå partier), sannolikt i äldre grävgång, **d)** tät mikrokristallin kvarts (flinta), grå partier.

Tabell 3. Generella värden för kalkstensberggrundens hållfasthet- och deformationsegenskaper utifrån de olika hårdhetsklasserna H1–H5. Uppgifterna hämtade från förfrågningsunderlaget till Citytunnelentreprenaden (Citytunneln 2005). Inom parenteserna anges typiska värden.

Hårdhetsklass	Enaxlig tryck-hållfasthet, MPa	Draghåll-fasthet, MPa	Elasticitets-modul, MPa	Skjuvhållfasthet	
				Kohesion, MPa	Friktionsvinkel, grader
H1[1)]	0,05–0,5 (0,3)	–	0,04	0,02	27
H2	3–10 (6)	0,3–2 (0,6)	0,5–3 (1)	0,5–1 (0,5)	45–55 (50)
H3	5–25 (12)	0,4–4 (2)	1–10 (4)	1–3 (1)	45–55 (50)
H4	10–75 (35)	0,6–9 (5)	5–25 (12)	3–9 (4)	50–55 (55)
H5	100–400 (250)	10–40 (25)	20–50 (35)	–	–

1) Värdena baserade på moränlera på grund av avsaknad av mätvärden för H1

Geofysiska egenskaper

I samband med undersökningsborrningar för Citytunneln 1998 gjordes även omfattande geofysisk borrhålsloggning (jämför loggar i bh 98-1-216 i figur 13) och seismiska undersökningar.

Mätningarna av borrhålsdiametern (Caliper) visar att borrhålen är mer oregelbundet formade i övre delen av berggrunden vilket kan koppas till ytnära uppsprickning. Detta gäller främst Köpenhamnsledets berggrund där en 4–6 m mäktig uppsprucken ytberggrund har påvisats i flertalet borrhål. Lokalt har större hålrum djupare ner i berggrunden påvisats i enskilda borrhål (Galsgaard m.fl. 1998).

Borrhålsmätningar av den naturliga gammastrålningen visar på mycket låga värden både för Limhamnsledets och Köpenhamnsledets berggrund. Enstaka toppar med höga gammanivåer kan knytas till de lerlager som påträffas främst i gränsen mellan de båda leden. I övrigt är det svårt att enbart med stöd av den geofysiska signalen särskilja Köpenhamnsledets och Limhamnsledets bergarter åt. Likaså är det svårt att korrelera enskilda lager mellan olika borrhål eftersom den geofysiska loggsignaturen är betingad av de lokala laterala och vertikala variationerna i hårdhet, flintlager, porositet och lermineralhalt som finns.

Den mest påtagliga skillnaden i loggsignalerna är mot den underliggande skrivkritan tillhörande Krusebergsledet som visar något högre naturlig gammastrålning, högre porositet och lägre densitet i förhållande till både Limhamnsledet och Köpenhamnsledets berggrund. Resistivitetsloggen visar en relativt jämn resistivitet för skrivkritan medan den är oregelbunden med toppar med avsevärt högre resistivitet som tycks sammanfalla med lager med flinta och förkislad kalksten i de överliggande leden. Mot djupet blir resistiviteten successivt lägre på grund av ökad kloridhalt i formationsvattnet. I flertalet borrhål har även flödesloggning utförts och dessa visar att merparten av vatteninflödet i borrhålen sker i undre delen av Limhamnsledet.

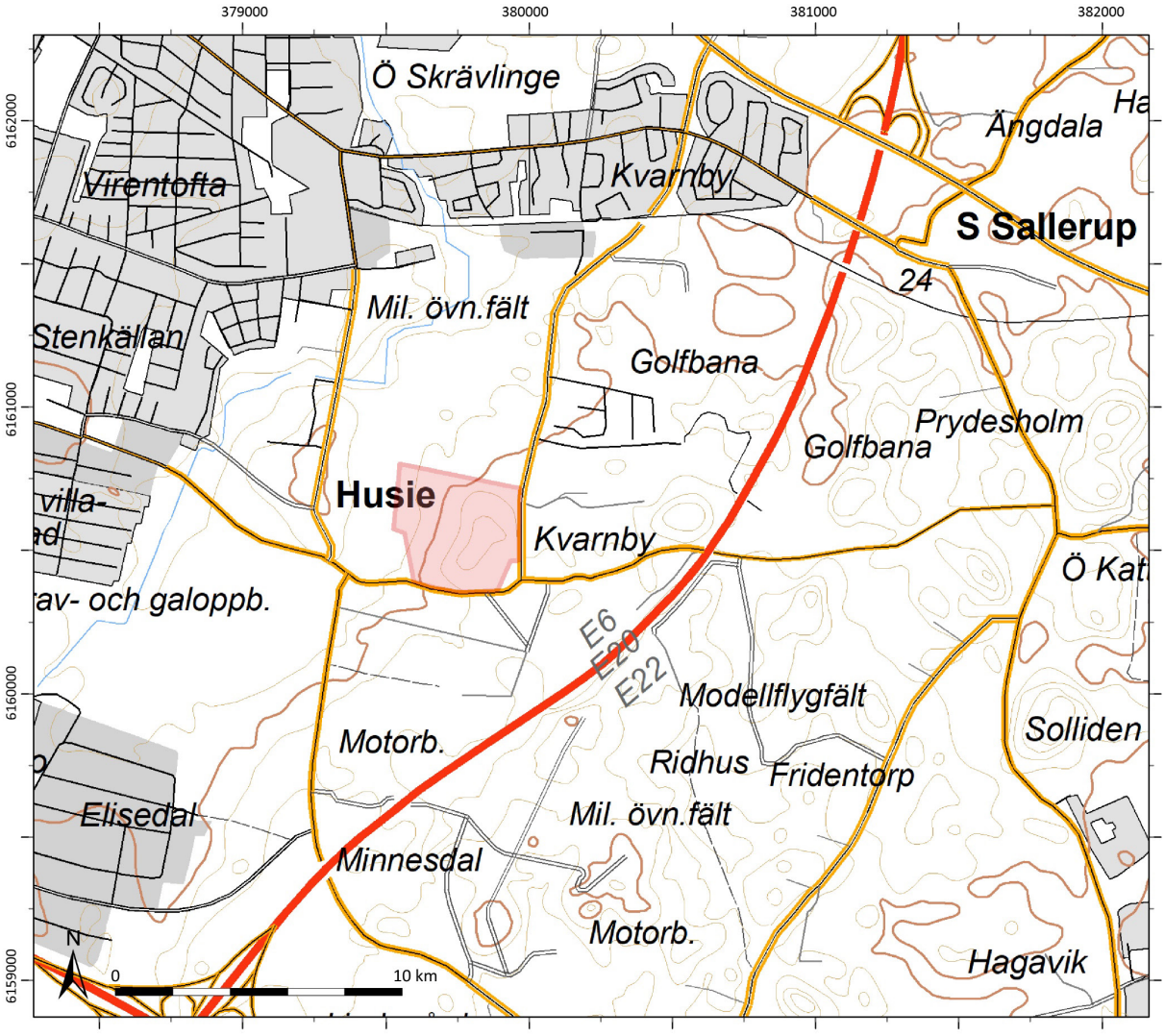
Berggrundens seismiska egenskaper har registrerats med så kallad *Vertical Seismic Profiling* (VSP). Dessa mätningar ger seismiska gångtider för de övre metrarna av berggrunden på < 2 000 m/s som orsakas av en relativt mer uppsprucken berggrund. Därunder är gånghastigheten > 2 500 m/s (Galsgaard m.fl. 1998).

Riksintresse för mineral

Det enda riksintresset för mineral som finns inom projektområdet ligger i östra utkanten av Malmö och berör kritfyndigheten vid Kvarnby. Nära det utpekade riksintresset har man tidigare brutit kalksten ur istranporterade kalkstenskållor i jordlagren. Bland annat bearbetades kalkstenskållorna fram till 1998 av Malmökrita AB, som råvara för framställning av filler i papper. I dag är ett område sydsydost om de gamla brotten och öster om Husie kyrka utpekat som riksintresse för mineral (dnr 41-1527/99; fig. 17). Avsikten med riksintresset är att ett framtida återupptagande av fyndighetens bearbetning ska vara möjlig. Skållorna påträffas i ett cirka 4,5 km långt och uppemot 800 m stråk mellan Minnesdal (379230/6159327) och Grantofta (382631/6163485). De enskilda skållornas utbredning och mäktighet inom området är inte känt i detalj. Bäst kunskap finns i området mellan Husie, Kvarnby och Södra Sallerup. Som mest har mäktigheter på uppemot 30 m dokumenterats i borrningar, främst i anslutning till det nerlagda kritbrottet, cirka 650 m väster om Södra Sallerups kyrka (Ringberg 1979).

HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Det största och viktigaste grundvattenmagasinet finns i Limhamnsledets bryozokalksten. Huvuddelen av vattenföringen sker längs horisontella sprickor och lagringsplan. Ibland förstärks detta magasin genom att ytliga kvartära grus- och sandavlagringar står i direkt förbindelse med berggrunden. Grundvattenmagasinet är till övervägande del slutet och grundvattnets trycknivå står



Figur 17. Karta som visar läget för riksintresseområdet (ljusröd polygon) för kritfyndigheten mellan Husie och Kvarnby.

därigenom högre än det tätande materialets undre gränsyta. I allmänhet erhålls de största vattenmängderna i berggrundens översta 30 m. Grövre brunnar kan ofta provpumpas med 5–20 l/s. Den hydrauliska konduktiviteten varierar mellan 10^{-1} och 10^{-5} m/s i bryozokalkstenen medan den är mellan 10^{-7} och 10^{-10} m/s i den underliggande skrivkritan (Krusebergsledet) (Bergdahl & Petersson 1992).

Inom Malmö stad finns cirka 775 brunnar registrerade i SGU:s brunnsdatabas. Av dessa är ett 30-tal utförda i jordlagren medan de övriga är utförda i det sedimentära kalkberget vilket utgör berggrund under hela Malmö stad. Dessa har generellt en hög kapacitet, medianvärde 10 500 l/tim att jämföra med cirka 700 l/tim för hela landet. Medianvärden för jorddjup och antal borrade meter i berggrunden är 9 respektive 27 m. De relativt grunda brunnarna beror till stor del på de ovanligt goda förutsättningarna och tillgångarna på grundvatten i berggrunden under Malmö stad. Vattenkvaliteten i Malmö stad är ett i allmänhet tjänligt, relativt hårt vatten. De problem som kan förekomma är höga järn-, mangan- och nitrathalter. Salt grundvatten förekommer på större djup inom hela området. I de centrala delarna av Malmö har salt grundvatten (Cl^-=1 200 mg/l) påträffats 150 m under havsytans nivå, sannolikt orsakat av relikt saltvatten. Närmast kusten i Malmö–Limhamnsområdet är höga kloridhalter även vanliga i berggrundens övre del på nivåer kring 10 m under havsytans nivå. En bidragande orsak till grundvattnets höga salthalt i nordligaste Malmö är att området utgör gammal utfylld havsbotten.

Malmös vattenförsörjning baseras i dag på vatten från två områden, dels från Grevieområdet i Staffanstorps kommun där djupa jordbrunnar i den så kallade Alnarpssänkan försörjer Malmö stad med cirka 5,5 Mm^3 vatten/år. Merparten av Malmös vattenförsörjning (cirka 23 Mm^3/år) kommer från infiltrerat vatten från Vombsjön via vattenverket i Vomb, Lunds kommun. I Malmö stad finns även en reservvattentäkt i Käglinge med tillhörande skyddsområde och områdesföreskrifter.

I Malmö stad finns också några nedlagda bergborrade reservvattentäkter i Bunkeflostrand, Bulltofta samt Tygelsjö. Dessa saknar skyddsområden och tillhörande föreskrifter.

I området nordost om Malmö som innefattar Staffanstorp, Burlöv och Lomma kommuner finns de största grundvattentillgångarna i Alnarpsdalens mäktiga sand- och grusavlagringar. Jorddjupet är mestadels relativt stort, upp till 80 m. Borrningar i Alnarpsdalen har generellt en hög kapacitet, medianvärde 7 200 l/tim. Medianvärden för jorddjup och totaldjup på brunnarna i Staffanstorps kommun är 39 respektive 56 m. Vattenkvaliteten i dessa brunnar karakteriseras i allmänhet som tjänligt men relativt hårt vatten. De problem som kan förekomma är höga järn-, mangan- samt nitrathalter samt i vissa djupa brunnar och i området Uppåkra–Bjällerup även problem med höga kloridhalter.

Till merparten försörjs dock dessa tätorter av ytvatten från Bolmen och Vombsjön via VA-Syds distribution och vattenreningsverk i Vomb och Stehag.

3D-MODELLEN

Underlag

Underlag som använts i modelleringsarbetet är

- berggrundsdatabas 1:50 000–1:250 000
- jordartsdatabas 1:25 000
- jorddjupsmodell
- lagerföljder från olika källor (se nedan)
- djupet till berggrundsytan baserad på resultaten från de helikopterburna TEM-undersökningarna
- topografiska underlag – Lantmäteriets LIDAR–baserade höjddata, omgjort till ett grid med 20 m pixelstorlek
- geologiska djupsektioner som tagits fram i tidigare projekt (Ising m.fl. 2019)

Modelleringsarbete

Arbetet med att rita sektioner och modellera jordlager och berggrunden har genomförts med hjälp av Groundhog (BGS Groundhog® Desktop Copyright © BGS (UKRI) 2021)).

Modelleringsarbetet är baserat på geologiska sektioner genom projektområdet samt utbredningen av de olika geologiska enheterna. Sektionerna är ritade med hjälp av geologisk information från lagerföljder från borrhål och stenbrott samt modellerat djup till berg från SGU:s jorddjupsmodell samt modellering av TEM-data (Dahlqvist & Brolin 2020).

Illustrationer på några exempel på sektioner redovisas i bilaga 1.

Datakvalitet och skala

Kvaliteten av använda djupuppgifter varierar beroende på datakälla vilket beaktats vid tolkning och modellering. I SGU:s brunnsdatabas finns en stor mängd information tillgänglig som gäller jord och berg och grundvatten. Uppgifterna kommer huvudsakligen från brunnsborrare och kvaliteten på informationen är därför kraftigt beroende av informationslämnarnas geologiska kompetens, noggrannhet och ambitionsnivå. Det finns ofta mer detaljerad information från kärnborrhål från stora infrastrukturprojekt, geotermiundersökningar eller andra forskningsprojekt som innebär att de representerar en högre datakvalitet än data från enklare jordsonderingar. Vi har antagit att alla borrhålen är vertikala eftersom det enbart i vissa fall finns information avseende lutning och orientering. Det betyder att alla antecknade ”djup” och motsvarande nivåer är osäkra för eventuella icke vertikala brunnar. Större avvikelser i borrhålslutning har mest påverkan på djupnivåerna för olika lager i de djupare borrhålen.

Utgångspunkten för utbredningen av det översta jordlagret respektive berggrundsenheten baseras på jordartskartan (1:25 000) och berggrundskartan (1:50 000). Underliggande jordlager baseras till delar på borrhålsdata men till stor del bygger de på en konceptuell modell. 3D-modellens noggrannhet varierar i djupled. Den är bättre närmare markytan och i områden med tätare geologisk information. Modellen har även störst noggrannhet nära de områden där det finns sektioner.

Djup till berg

Jorddjupet är av stor betydelse inom till exempel planering av olika typer av byggande, infrastruktur och grundvattenskydd. Det kan beräknats genom interpolation av kända jorddjupsdata från olika borrningar och andra djupuppgifter. För att kunna tolka bergöverytans läge har vi använt oss av lagerföljder från borrhål, SGU:s jorddjupsmodell (uppdaterad 2021), tolkat djup till berg från överlappande flygburna TEM-undersökningar (resistivitetsundersökningar) (Brolin & Dahlqvist 2020) och isolinjer från berggrundskartdatabasen.

I de delar av sektionerna där de olika informationskällorna visar liknande djup till bergöverytan är tolkningen av hög tillförlitlighet. Däremot är tillförlitligheten låg där det finns stora skillnader. I områden med låg tillförlitlighet behöver kompletterande borrningar göras för att säkerställa djup till berg om det är en viktig parameter för ett planerat projekt.

Kalkstensberggrunden i modellområdet är relativt mjuk vilket innebär att det kan vara svårt att skilja berggrund och jordlager åt i borrningar. I jordlagren finns även glacialtektoniska skållor av kalkstensberggrund, det vill säga partier av berggrund som har flyttats av isen från sin ursprungliga plats som kan göra det svårt att i enskilda borrningar tolka om det är berggrund eller del av jordlager. I modellen har dessa kända skållor inkluderats i moränen.

Ett område där tolkningen av djup till berg skiljer sig mycket åt mellan de olika informationskällorna är Alnarpssänkan och särskilt dess nordöstra kant och botten.

Lagerföljder

De lagerföljder som har använts i uppbyggandet av den geologiska modellen är hämtade från databaser på SGU (brunnsdatabasen, lagerföljder från jordartskartläggning, grundvattenundersökningar) och borrhål från externa undersökningar som samlats in i projektet (bland annat Citytunneln och olika konsultfirmor) (se Borrhålsdata under avsnittet *Underlagsmaterial*). Tolkningen av lagerföljderna är baserade på borrkax, borrkärnor, sonderingar och geofysiska undersökningar, där borrkärnor ger störst säkerhet gällande tolkning av lagerföljden.

I allmänhet har vi använt lagerföljder inom 50 m avstånd från varje sektion, men i områden med färre djupuppgifter kan detta avstånd vara upp till 150 m.

Lagerföljderna har harmoniserats och vi har skapat en konceptuell lagerföljd som omfattar både jordlager och berggrund, som sedan har använts i modelleringsarbetet. Under arbetets gång har den anpassats för att kunna visualisera de geologiska förutsättningarna under markytan på bästa sätt. Den konceptuella lagerföljden för de harmoniserade lagerföljderna är inte den samma som använts i sektionsritningen, utan i borrhålen har vi försökt att hålla den så lik originaluppgifterna som möjligt.

Jordlagren

Modellen för jordarterna baseras i ytan på jordartskartan. På djupet är modellen delvis mycket förenklad. I borruppgifterna kan man oftast inte skilja de olika moränerna åt och ofta är moränlera klassad som lera. Modellen måste också förenklas för att det inte går att ha för många tunna lager, till exempel där postglacial lera, sand, gyttja och torv fyller ut sänkor i terrängen. Därför utgår modellen på många ställen från en generell lagerföljd för området.

Jordarterna har vid modelleringen delvis slagits samman och klassats annorlunda än på jordarts-kartan (tabell 4).

Tabell 4. Jordlager samt vatten i modellen i ordning uppifrån och ner.

Lager (uppifrån och ner i modellen)	Färg i modellen	Inkluderar jordarterna	Kommentar
Vatten			Ingår som översta lager i modellen
Fyllning			Av olika sammansättning och kornstorlek
Torv		Kärrtorv och mossetorv	
Svämsediment		Alla postglaciala fluviala sediment	
Postglacial sand–grus		Postglacial sand, postglacial finsand, flygsand, postglacialt grus	Postglacial sand och grus är inte alltid säkert åtskilda från glaciala sediment. På den tryckta jordartskartan var glacial och postglacial sand ej åtskilda
Postglacial lera–gyttja		Postglacial lera, postglacial silt, gyttjelera, lergyttja och gyttja	Kan delvis även ligga på postglacial sand–grus
Glacial grovsilt–finsand 1		Glacial grovsilt–finsand, glacial silt	
Glacial lera		Glacial lera	En del postglacial lera på jordartskartan har blivit omklassad till glacial, då den bedöms vara tunn postglacial lera som överlagrar glacial lera
Isälvssediment 1		Isälvssediment, isälvssand, isälvsgrus	Isälvssediment avsatta vid den senaste isens avsmältning.
Moränlera 1		Moränlera, lerig morän	Baltisk morän, översta lagret av morän, ofta moränfinlera. Ibland är den tolkad som glacial lera i brunnsborrningarna
Isälvssediment 2		Isälvssediment, isälvssand, isälvsgrus	Isälvssediment avsatta mellan NO-moränen och den senaste, baltiska moränen
Lerig morän 2		Lerig morän, sandig morän, moränlera	Ofta kallad NO-morän, kan också delvis innefatta en äldre baltisk moränlera.
Glacial grovsilt–finsand 3		Glacial grovsilt–finsand, glacial silt	Djupt liggande sediment i Alnarpssänkan
Lerig morän 3		Lerig morän, sandig morän	Djupt liggande sediment i Alnarpssänkan
Isälvssediment 4		Isälvssediment, isälvssand, isälvsgrus	Djupt liggande sediment i Alnarpssänkan
Jordart, ospecificerad			Djupt liggande jord som vi ej har kunnat klassa med hjälp av tillgängliga uppgifter

Berggrunden

Det finns endast enstaka berghällar i modellområdet som kan bekräfta berggrundens utbredning i ytan. Det innebär att tolkningen av berggrundens utbredning och sammansättning främst baseras på borrhålsinformation. Det finns inga strukturmätningar inlagrade i SGU:s databaser som har kunnat användas för att beräkna lagrens lutning under modelleringsarbetet.

I tabell 5 ges en förklaring till den indelning och tolkning som gjorts av berggrunden, med början av de yngsta bergartsenheterna.

De avgränsningar av berggrundsenheterna som visas i sektionerna ska ses som en visualisering av den geologiska enhetens volym. Man kan generellt sett inte tolka in lagringen i jordlagren eller i berggrunden inom varje enskild volym.

Avgränsningen av Lellinge grönsand, både mäktighet och utbredning, har gjorts från de brunnsuppgifter som finns på den tryckta berggrundskartan om djup till toppen av enheten. Resistivitetsdata från flygburna mätningar har inte kunnat skilja enheten från de ovanliggande jordlagren.

Det har i praktiken varit svårt att skilja de olika kalkstensenheterna åt i majoriteten av de tillgängliga lagerföljderna. De använda uppgifterna om lagrens mäktighet kommer från redan kända uppgifter från bland annat beskrivningar till kartbladen och andra undersökningar, se sammanställningen i figur 11.

Vid framställningen av sektionerna framkommer det att Köpenhamnsledets utbredning är mindre än vad som tidigare var känt. Den nya utbredningen är använd i modelleringsarbetet och berggrundskartdatabasen kommer att uppdateras utifrån dessa uppgifter. Det är sedan länge känt att det finns skållor av kalksten i jordlagren (se avsnittet *Den kvartära utvecklingen*) som bildats i samband med inlandsisens rörelser. Ett sådant området finns runt Kvarnby. Djup till berg i detta område, enligt både jorddjupsmodell och resistivitetsmätningar, visar att berggrundsytan även har naturliga höjder och att skållorna finns i jordlagren ovanför berggrundsytan.

Limhamnsledets mäktighet har antagits vara 60 m i hela projektområdet enligt uppgifter i figur 11 och dess utbredning har inte ändrats. Krusebergsledet är den mäktigaste enheten och utgör det understa lagret i större delen av modellområdet. Modellen omfattar bara den översta delen av enheten.

De paleozoiska skiffrarna i den norra delen av modellområdet har slagits ihop till en geologisk enhet eftersom man inte kan urskilja dem i borrhål utan att genomföra mer detaljerade undersökningar. På grund av områdets komplicerade tektoniska utveckling och få hällblottningar där man kan göra strukturmätningar, är det också svårt beräkna hur dessa lager stupar och därmed deras utbredning och mäktighet under markytan.

De permiska diabaserna som bildats som gångbergarter i den paleozoiska och prekambriska berggrunden i den norra delen av modellområdet har inte tagits med i modelleringsarbetet eftersom de i allmänhet är för smala för att visas som ytor i den skala som modellen representerar. Berggrundskartan i figur 8 visar deras förekomst inom modellområdet.

Modellområdet korsas även av åtta deformationszoner. På grund av de sedimentära bergarternas mjukhet är de inte synliga som höjdskillnader i landskapet. Utbredningen av zonerna baseras mestadels på berggrundens ålder på ömse sidor och på geofysiska indikationer i de helikopterburna TEM-mätningarna samt indikationer i djupare seismiska data. Den vertikala skillnaden är en grov uppskattning och ska även den ses som schematisk. Det gäller också stupningen av de olika berggrundsenheterna längs med Romeleåsens förkastningszon. Det finns inga strukturmätningar på hällar vid markytan som kan styrka den befintliga tolkningen.

Tabell 5. De olika berggrundsenheterna som används i den geologiska modellen.

Lager (yngst till äldst)	Färg i modellen	Bergart	Kommentar
Lellinge grönsand		Sandsten	
Köpenhamnsledet		Kalksten med flinta	Köpenhamnskalksten
Limhamnsledet		Kalksten med flinta	Bryozokalksten
Krusebergsledet		Kritkalksten	Skrivkrita
Lundaledet		Sandsten	Lundasandsten
Jura till undre krita		Lersten och sandsten	Ospecificerade sedimentära bergarter från jura till undre krita
Kågerödsformationen		Arkos och lersten	
Permiska diabaser		Diabas	
Paleozoiska skiffrar		Lerskiffer	Lerskiffrar från ordovicium och silur

Visualisering av modellen

I figurerna 18a–c exemplifieras blockmodeller för den kombinerade jord- och berggrundsmodellen och nätverket med tolkade tvärsektioner. Ett urval av dessa sektioner visas i bilaga 1 med tillhörande teckenförklaring. Notera att berggrundsytan skiljer sig delvis från den som hittills redovisats i SGU:s berggrundsdatabas (jämför med figur 8). Skillnaden berör mest utbredningen av Köpenhamnsledet vilket bättre kunnat kartläggas med stöd av de nya datapunkter som tillkommit i det här arbetet. SGU:s databas kommer att uppdateras i anslutning till att modellen nu redovisas. Färgerna för de olika lagren som visas i modellen redovisas förutom på sektionerna i bilaga 1 även i tabellerna 4 och 5. Illustrationerna visar uppbyggnaden ner till cirka 170 m djup. Höjdskalan är även förstorad 20 gånger för en bättre vertikal upplösning.

Tabell 6. Listning av samtliga tvärsektioner som tolkats och som utgör underlaget till 3D-modellen bygger på. Läget för sektionerna visas i figur 1. Tvärsektioner markerade med * illustreras i bilaga 1. I de redovisade tvärsektionerna anges även de korsande sektionerna. Använda lagerföljder i de olika borrhålen illustreras inte eftersom bilden då blir för plottrig. De röda vertikala linjerna anger läget för tolkade förkastningar.

Nordvästlig–sydostlig riktning	Sydvästlig–nordostlig riktning	Västlig–ostlig riktning	Nord–sydlig riktning
NV–SO 1*	SV–NO 1	V–O 1	N–S 1*
NV–SO 2	SV–NO 2		
NV–SO 3*	SV–NO 3*		
NV–SO 4	SV–NO 4		
NV–SO 5*	SV–NO 5*		
NV–SO_6	SV–NO6*		
NV–SO 7*			
NV–SO 8			
NV–SO_9*			
NV–SO 10			
NV–SO 11*			
NV–SO 12			
NV–SO 13*			
NV–SO 14*			
NV–SO 15*			
NV–SO 16			
NV–SO 17			

PROJEKTETS EFFEKTMÅL

Malmöprojektets effektmål är att resultaten ska kunna bidra till planeringen under den tidigaste fasen av större infrastrukturprojekt. För att uppnå målet för Malmö och andra städer krävs det att SGU fortsätter att samla in relevanta externa data och kontinuerligt utöka observationstätheten samt förbättra data- och tolkningskvalitet.

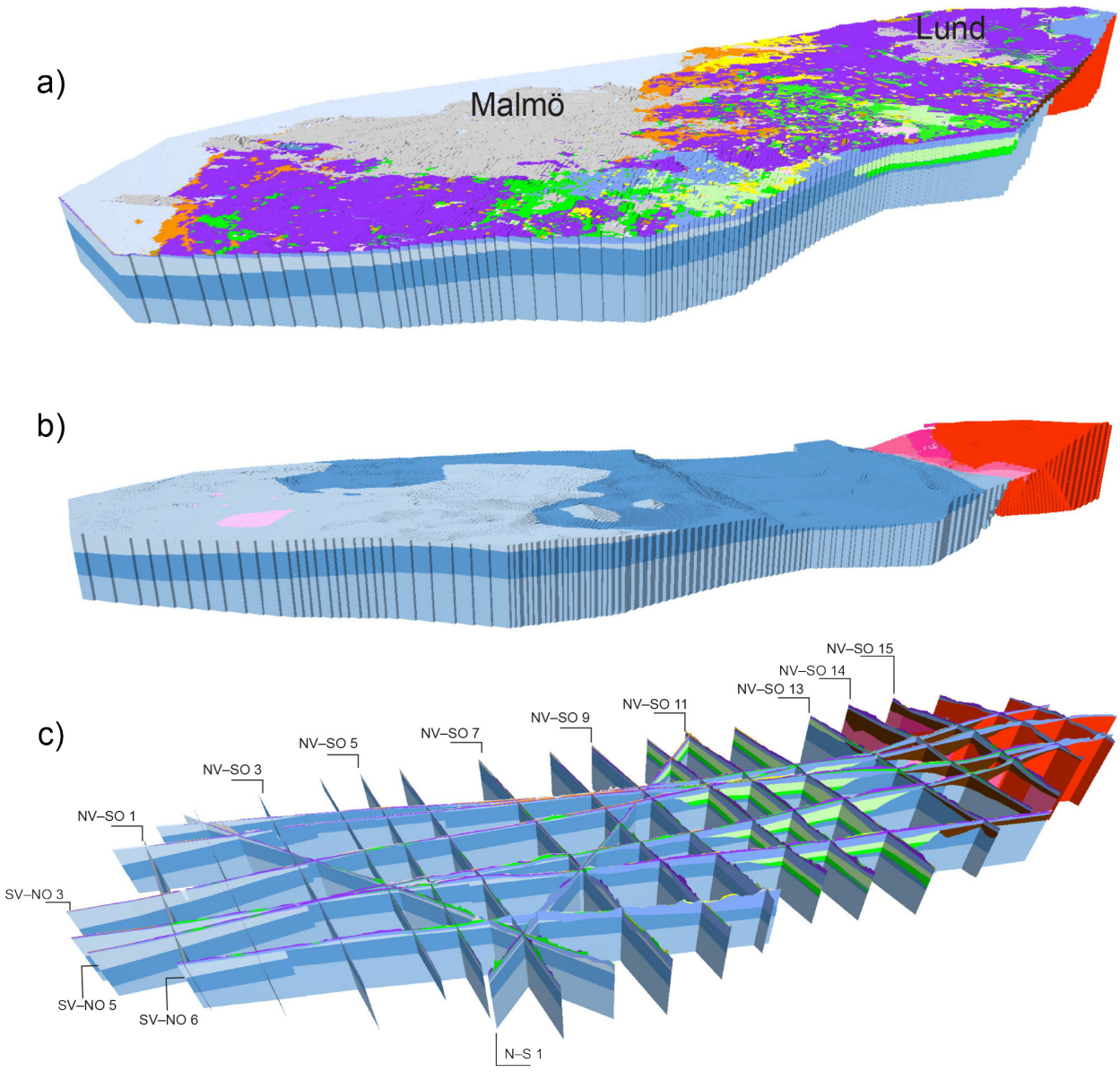
Den nuvarande 3D-modellen och observationer representerar bara en grund för framtida arbete. Att bygga tätt, både ovan och under mark kräver mer detaljerad information än var SGU normalt tillhandahåller och SGU behöver fortsätta att samla in, lagra och tillhandahålla geologisk information från externa aktörer med avsikten att, tillsammans med SGU:s egen information, förbättra planeringsunderlagen inför framtida byggnationer och infrastruktursatsningar.

Tillgänglighet av data

Projektets resultat är tillgängliga i SGU:s 3D-visare (apps.sgu.se/sgu3d/). Modellen kan laddas ner i kmz-format (oppna.info/extension/kmz) och GeoPackage (www.geopackage.org)

De flesta kärnborrhål som använts har borrats av olika entreprenörer i samband med planering av infrastrukturprojekt. Borrhålspositionerna och geometrierna visualiseras tillsammans med modellen i 3D-visaren. Dokument med information relaterat till ett specifikt borrhål (till exempel borrhålsloggar), finns listade i metadata som referensdokument (Ref-dokument.) Dessa dokument kan begäras ut genom att skicka ett e-postmeddelande med borrhålens namn och filnamn till

kundservice@sgu.se. Märk meddelandet med Borrhålsinformation Infrastruktur. Dokumenten kan vara skyddade enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. Användning av informationen kan i sådana fall kräva upphovsmannens samtycke. SGU tar inte ansvar för informationens riktighet.



Figur 18. Exempel på visualiseringar av 3D-modellen: **a)** kombinerad blockmodell med jordlager och berggrund, **b)** blockmodell av berggrunden, **c)** tolkade tvärsektioner som utgör underlaget till blockmodellerna. Märkta sektioner illustreras i bilaga 1. Sektionernas läge visas även i figur 1. Notera att modellexemplen är visualiserade med något olika betraktningsvinklar. Djupen i modellerna är genomgående cirka 170 m.

Datavärdskap för geotekniska markundersökningar

Geotekniska markundersökningar utförs för att fastställa jord-, berg- och grundvattenförhållanden. Det gör man genom att bestämma jordarternas och bergarternas tekniska egenskaper samt genom att samla in annan relevant information inom det aktuella undersökningsområdet.

Arbetet som har startats upp är ett förberedande arbete med målsättningen att etablera ett nationellt datavärdskap för geoteknisk information. Lantmäteriet är samordnare och SGU kommer att vara datavärd och specifikationsansvarig. SGI är förvaltningsmyndighet för geotekniska och miljögeotekniska frågor och agerar i projektet som en samverkansaktör och bidrar med specialistkompetens inom geoteknik.

I arbetet ingår publicering av datamängden på Nationella geodataplattformen (NGP) som Lantmäteriet tillhandahåller. På NGP ska det vara möjligt för alla att få tillgång till datamängder som behövs i samhällsbyggnadsprocessen.

Fördelarna med att nationellt tillgängliggöra data är många och stora. Ett nationellt datavärdskap för geotekniska markundersökningar kommer att ge förutsättningar för en effektivare samhällsbyggnadsprocess och avsevärda kostnadsbesparingar.

REFERENSER

Bergdahl, U. & Petersson, E., 1992: SVEDAB. The Öresund Link. Preliminary report on previous geological and geotechnical investigations for the offshore part, Swedish territory. *SGI report dnr 2-318/92*.

Bergdahl. U. & Steenfelt, J.S., 1994: Digest report on strength and deformation properties of Copenhagen limestone, *SGI/DGI report dnr: 2-9405-244*, 67 pp.

BGS Groundhog® Desktop Copyright © BGS (UKRI) 2021.

Bjerager, M., Surlyk, F., Lykke-Andersen, H., Thibault, T. & Stemmerik, L., 2010: Danian cool-water coral reefs in southern Scandinavia localised over seafloor highs. *Marine and Petroleum Geology 27*, 455–466.

Brolin, C. & Dahlqvist, P., 2020: Bearbetning av helikopterburen TEM-data i delar av Skåne och Blekinge – datarapport. *SGU-rapport 2020:40*. Sveriges geologiska undersökning, 80 s.

Citytunneln, 2005: Entreprenad E101 Malmö C Nedre, tunnel och ramp. Krav och föreskrifter för funktion, utformning och projektering. Handling 8.1, Förfrågningsunderlag Citytunneln.

De Geer, G., 1886: Beskrifning till kartbladet Lund. *Sveriges geologiska undersökning Aa 92,* 102 s.

DGI, 1969: Saltholm Lufthavn, Geotekniske rapporter. Undersøgelser før 1969. Før: Udvaljet vedrørende Københavns Lutfhavns fremtid – Lufthavnsdirektoratet.

DGI, 1994: Limestone – a geological and rock mechanical description, *Report No. 1 submitted to Øresundskonsortiet. DGI and DGU, PA3 GEOI 106*, dated 1994-05-24.

Ekström, G. 1953: Beskrivning till kartbladet Lund. *Sveriges geologiska undersökning Ad 2,* 102 s.

Erlström, M., 1990: Petrology and deposition of the Lund Sandstone, Upper Cretaceous, southwestern Scania. *Sveriges geologiska undersökning Ca 74*, 91 s.

Erlström, M., 2006: Mikroskopering av Köpenhamnsledets bergarter. Profil 215, E101, etapp 2. Citytunnelprojektet Malmö central. *Sveriges geologiska undersökning uppdragsrapport dnr: 08-82/2006*, 18 s.

Erlström, M., 2007: Malmö kommuns parkerings AB – geologisk undersökning för parkeringsgarage inom Davidshallstorg. *DGU uppdragsrapport, dnr: 08-1889/2006*, 10 s + 4 bilagor.

Erlström, M., 2020: Chapter 24, Carboniferous-Neogene tectonic evolution of the Fennoscandian transition zone southern Sweden. *In* M-B. Stephens & J. Bergman Weihed (eds) Sweden Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society Memoir 50*, 603–620.

Erlström, M. & Rasmussen, K., 2007: Undersökning av en paleocen lagerföljd i Ystad hamn och koppling till andra förekomster i Skåne. *SGU-rapport 2007:1*. Sveriges geologiska undersökning, 12 s.

Erlström, M., Sivhed, U., Wikman, H. & Kornfält, K.A., 2004: Beskrivning till berggrundskartorna 2D Tomelilla NV, NO, SV, SO, 2E Simrishamn NV, NO, 1E Örnahusen NV (in Swedish with an English summary). *Sveriges geologiska undersökning Af 212–214*, 141 s.

Foged, N., Jakobsen, L., Jackson, P., & Erichsen, L., 2007: Rock Mass Characterization for tunnels in the Copenhagen Limestone, 11th congress of ISRM, Lisboa, 1025–1030.

Japsen, P., Bidstrup, T. & Lidmar-Bergström, K., 2002: Neogene uplift and erosion of southern Scandinavia induced by the rise of the South Swedish Dome. *In* A.G. Doré, J.A. Cartwright, M.S. Stoker, J.P. Turner & N. White (eds) Exumation of the North Atlantic Margin: Timing, Mechanisms and Implications for Petroleum Exploration. *Geological Society, London. Special Publications 196*, 183-207.

Galsgaard, J., Salomonsen, I., Chrøis Schuldt, J. & Erlström, M., 1998: Malmö Citytunneln. Boring Campaign 1998. Geological Model. *Danish Geological Institute Report 155 16214*, 33 p +20 appendices.

Gustafsson, O., 1972: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet 1C Trelleborg NV/2C Malmö SV. *Sveriges geologiska undersökning Ag 4,* 37 s.

Gustafsson, O., 1978: Beskrivning till hydrogeologiska kartbladet 1C Trelleborg NO/2C Malmö SO. *Sveriges geologiska undersökning Ag 6,* 72 s.

Gustafsson, M., 2008a: Grundvattentillgångarna i Lomma, Staffanstorp och Burlövs kommuner. *Sveriges geologiska undersökning K 103*.

Gustafsson, M., 2008b: Grundvattentillgångarna i Malmö kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 117*.

Gustafsson, M., 2008c: Grundvattentillgångarna i Lunds kommun. *Sveriges geologiska undersökning K 116*.

Gustafsson, O. & Norling, E., 1974: New finds of Paleocene (Selandian) strata in Skåne, southern Sweden. A preliminary report. *Geologiska föreningens i Stockholm Förhandlingar 95*, 253–260.

Holland, B. & Gabrielson, G., 1979: Guide to Limhamn Quarry. *In* T. Birkelund & R.G. Bromley, Cretaceous-Tertiary boundary events. *University of Copenhagen*, 142–150.

Holst, N.O., 1911: Beskrivning till det geologiska kartbladet Börringe, *Sveriges geologiska undersökning Aa 138,* 135 s.

Houmark-Nielsen, M. & Kjær, K. H., 2003: Southwest Scandinavia, 40–15 ka BP: palaeogeography and environmental change. *Journal of Quaternary Science 18,* 769–786.

Hughes, A. L. C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. S., Mangerud, J. & Svendsen, J. I., 2016: The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas 45,* 45 s.

Ising, J., Bergström, U., Erlström, M., Grigull, S., Malmberg Persson, K., Wickström, L., Lundqvist, L. & Engdahl, M., 2019: Hässleholm–Lund – uppgraderad geologisk information inför projektering av höghastighetsjärnväg. *SGU-rapport 2019:03*. Sveriges geologiska undersökning, 51 s.

Jackson, P.G., Steenfelt, J.S., Foged, N. & Hartlén, J., 2004: Evaluation of Bryozoan limestone properties based on in-situ and laboratory tests. *Proceedings ISC-2 Geotechnical and Geophysical Site Characterization, 19–22 September*, 1813–1820.

Jönsson, J., 1884: Beskrifning till kartbladet Malmö. *Sveriges geologiska undersökning Aa 91, 36 s.*

Jönsson, K.-M., 2000: Sedimentologiska och litostratigrafiska undersökningar i södra Malmös kvartära avlagringar, Södra Sverige. *Examensarbete i geologi vid Lunds universitet – Kvartärgeologi, nr 117. 34 s.*

Kryger-Hansen, H. & Foged, N., 2002: Kalkens bjergmekaniske egenskaber, *DGF Bulletin 19, Danish Geotechnical Society*, 31–34.

Larsen, G., Frederiksen, J., Villumsen, A., Fredericia, J., Gravesen, P., Foged, N. & Baumann, J., 1995: A guide to engineering geological soil description. *Dansk Geoteknisk Førening Bulletin 1.*

Larsson, R., 2000: Lermorän – en litteraturstudie. Förekomst och geotekniska egenskaper. *Varia 480*. Statens Geotekniska Institut, 73 s.

Malmberg Persson, K., Nyberg, J., Ising, J. & Persson, M., 2014: Skånes känsliga stränder – ett geologiskt underlag för kustzonsplanering och erosionsbedömning. *SGU-rapport 2014:20*. Sveriges geologiska undersökning, 29 s.

Malmberg Persson, K., Nyberg, J., Ising, J. & Rodhe, L., 2016: Skånes känsliga stränder – erosionsförhållanden och geologi för samhällsplanering. *SGU-rapport 2016:17*. Sveriges geologiska undersökning, 61 s.

Miller, U., 1977: Pleistocene depostits of the Alnarp Valley, southern Sweden – Microfossils and their stratigraphical application. University of Lund. Department of Quaternary Geology. *Thesis 4*. 125 s.

Nielsen, L., Schack Von Brockdorff, A., Bjerager, M. & Surlyk, F., 2009: Three-dimensional architecture and development of Danian bryozoan mounds at Limhamn, south-west Sweden, using ground-penetrating radar. *Sedimentology*. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2008.00993.x

Ringberg, B., 1975: Beskrivning till jordartskartan Trelleborg NV/Malmö SV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 23,* 64 s.

Ringberg, B., 1976: Beskrivning till jordartskartan Malmö NV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 27,* 100 s.

Ringberg, B., 1979: Beskrivning till jordartskartan Malmö SO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 38,* 179 s.

Ringberg, B., 1987: Beskrivning till jordartskartan Malmö NO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 85,* 147 s.

Sivhed, U., Wikman, H. & Erlström, M., 1999: Beskrivning till Berggrundskartorna 1C Trelleborg NV och NO samt 2C Malmö SV, SO, NV och NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 191, 192, 193, 194, 196, 198,* 143 s.

Stephens, M.B. & Wahlgren, C-H., 2020: Chapter 15: Polyphase (1.9–1.8, 1.5–1.4 and 1.0–0.9 Ga) deformation and metamorphism of Proterozoic (1.9-1.2 Ga) continental crust Eastern Segment, Sveconorwegian orogen. *In* M-B. Stephens & J. Bergman Weihed (eds) Sweden Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society Memoir 50*, 351–396.

Stroeven, A. P., Hättestrand, C., Kleman J., Heyman J., Fabel D., Fredin O., Goodfellow B. W., Harbor J. M., Jansen J. D., Olsen L., Caffee M. W., Fink D., Lundqvist J., Rosqvist G. C., Stömberg B. & Jansson K. N., 2016: Deglaciation of Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews 147,* 91–121.

Thomsen, E., 1983: Kalk og kridt i den danske undergrund. Geologisk institut, Aarhus Universitet rapport, 65 s.

Ulmius, J., Möller, C., Page, L., Johansson, L. & Ganerod, M., 2018: The eastern boundary of Sveconorwegian reworking in the Baltic Shield defined by 40Ar/39Ar geochronology across the southernmost Sveconorwegian Province. *Precambrian Research 307*, 201–217.

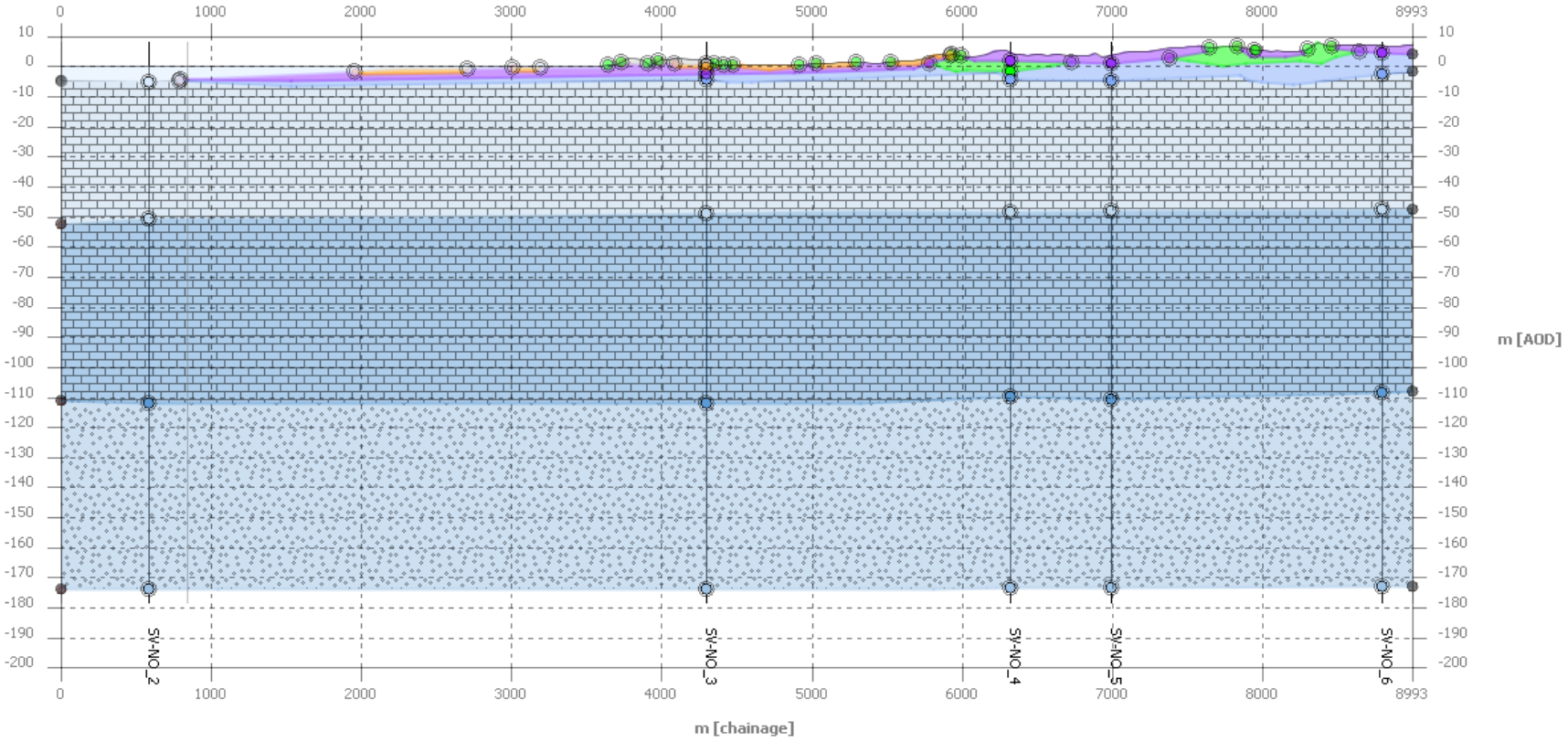
BILAGA 1. EXEMPEL PÅ TVÄRSEKTIONER I MODELLEN

Allmän information till tvärsektionerna

I bilagan exemplifieras jord- och berggrundslagren i 13 av totalt 25 tolkade tvärsektioner som ingår i modellen. I tvärsektionerna visas i de flesta fall även skärningspunkterna för korsande sektioner. Notera att längdskalan i illustrationerna för främst de längre SV–NO-ligt orienterade profilerna är komprimerad i förhållande till de kortare NV–SO-liga. Detta beror på den aktuella tvärsektionens längd som anpassats till att passa in på en liggande A4. Djupskalan är även förstärkt cirka 20 gånger. Teckenförklaringen för varje tvärsektion är i bokstavsordning och representerar inte som brukligt en stratigrafisk indelning av jordlagren och berggrunden med det översta lagret överst i teckenförklaringen (se tabell 4 och 5 för ytterligare information). Notera även att teckenförklaringen enbart refererar till de objekt som finns i den aktuella sektionen.

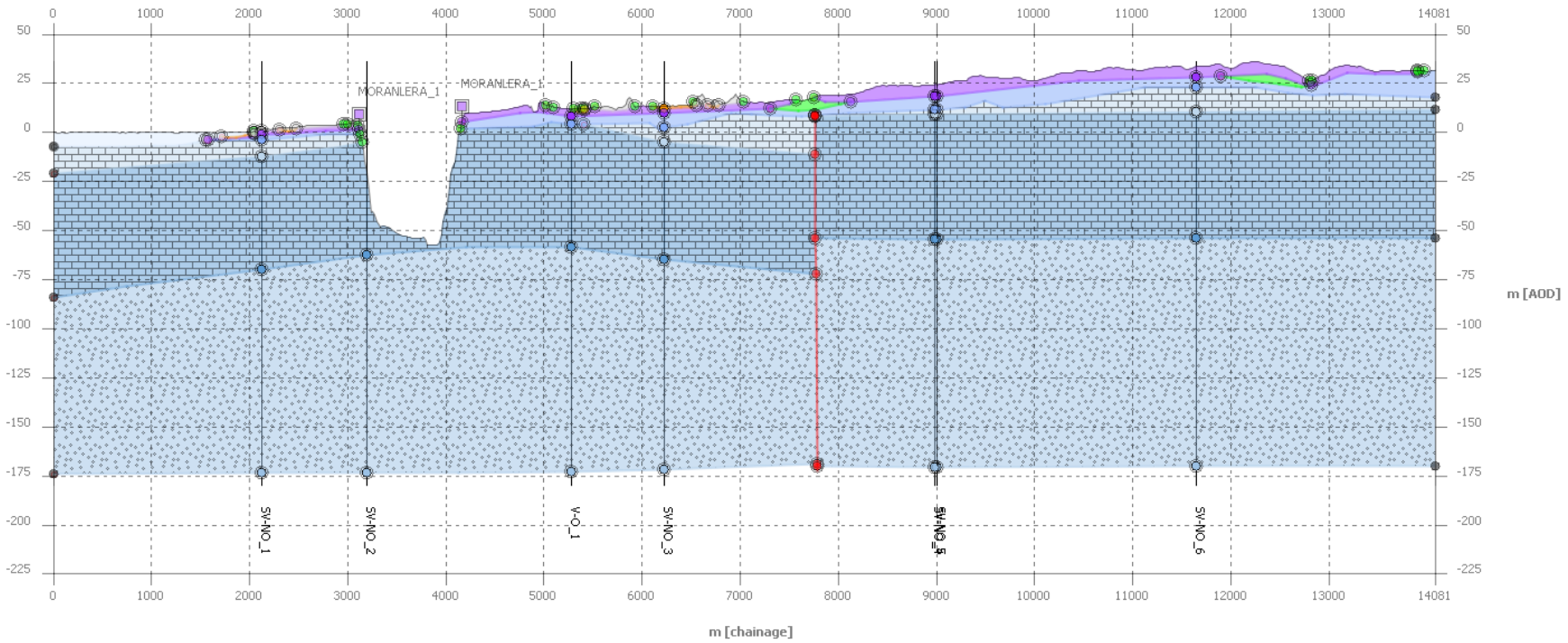
SEKTION NV–SO 1

- FYLLNING
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- KÖPENHAMNSLEDET
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL SAND–GRUS
- VATTEN



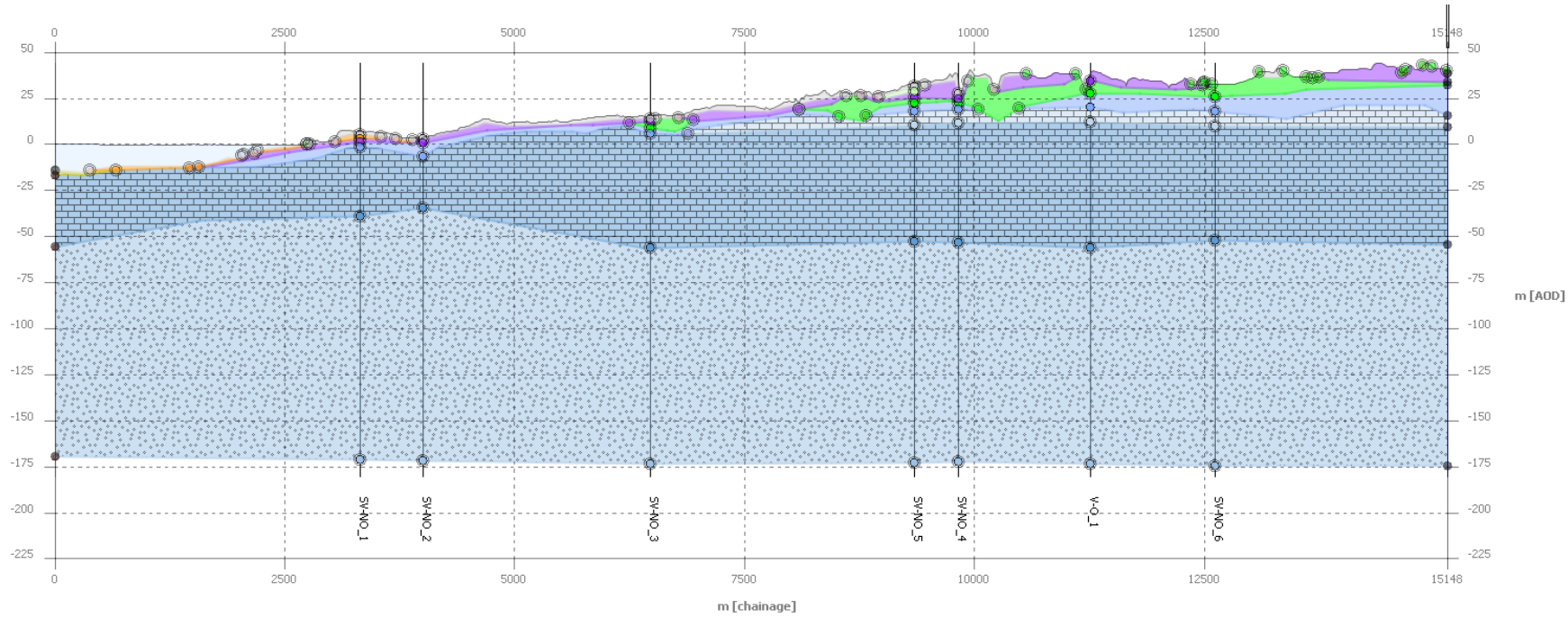
SEKTION NV–SO 3

- FYLLNING
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- KÖPENHAMNSLEDET
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- POSTGLACIAL SAND–GRUS
- SVÄMSEDIMENT
- VATTEN



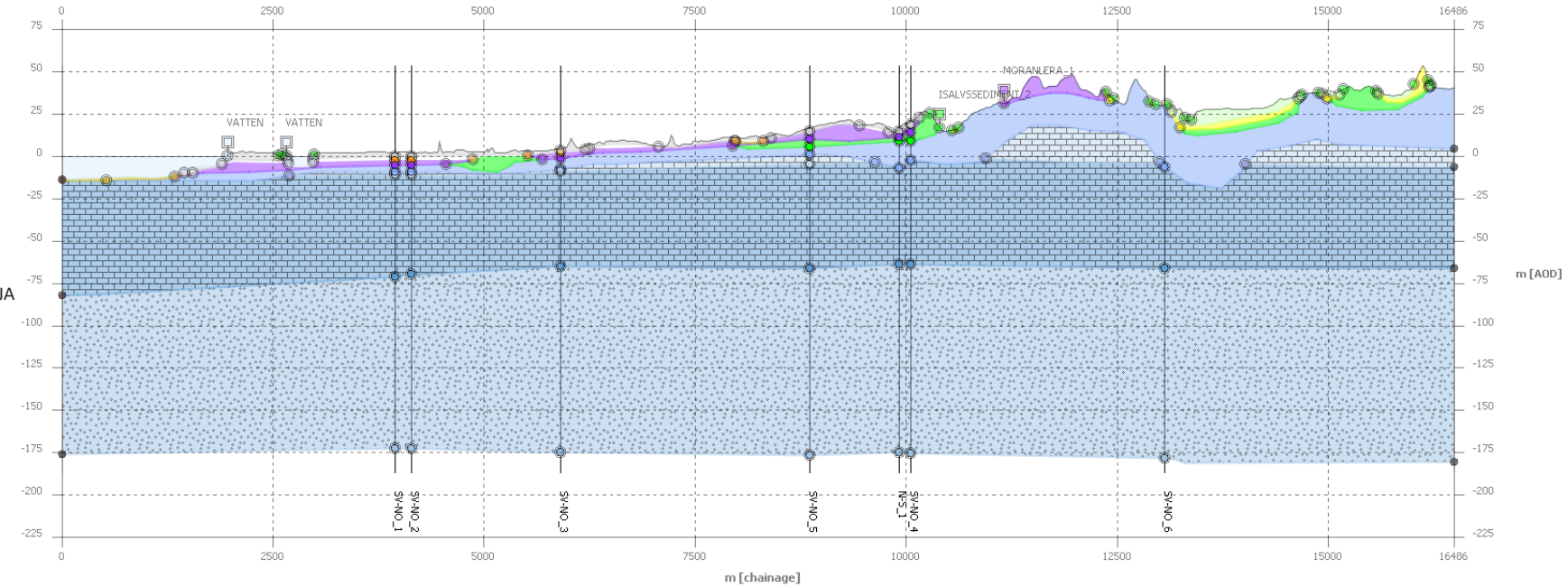
SEKTION NV–SO 5

- FYLLNING
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 1
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- KÖPENHAMNSLEDET
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- POSTGLACIAL SAND–GRUS
- VATTEN



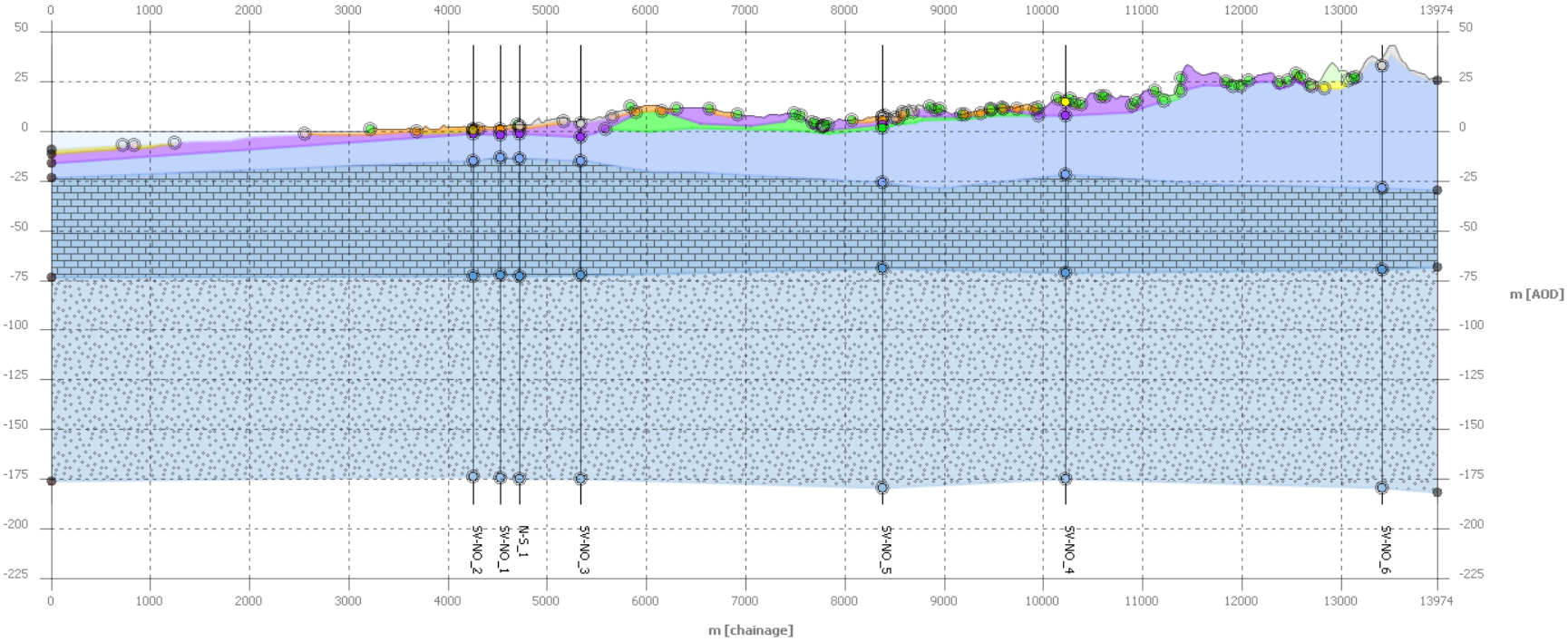
SEKTION NV–SO 7

- FYLLNING
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 1
- GLACIAL LERA
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- KÖPENHAMNSLEDET
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- SVÄMSEDIMENT
- VATTEN



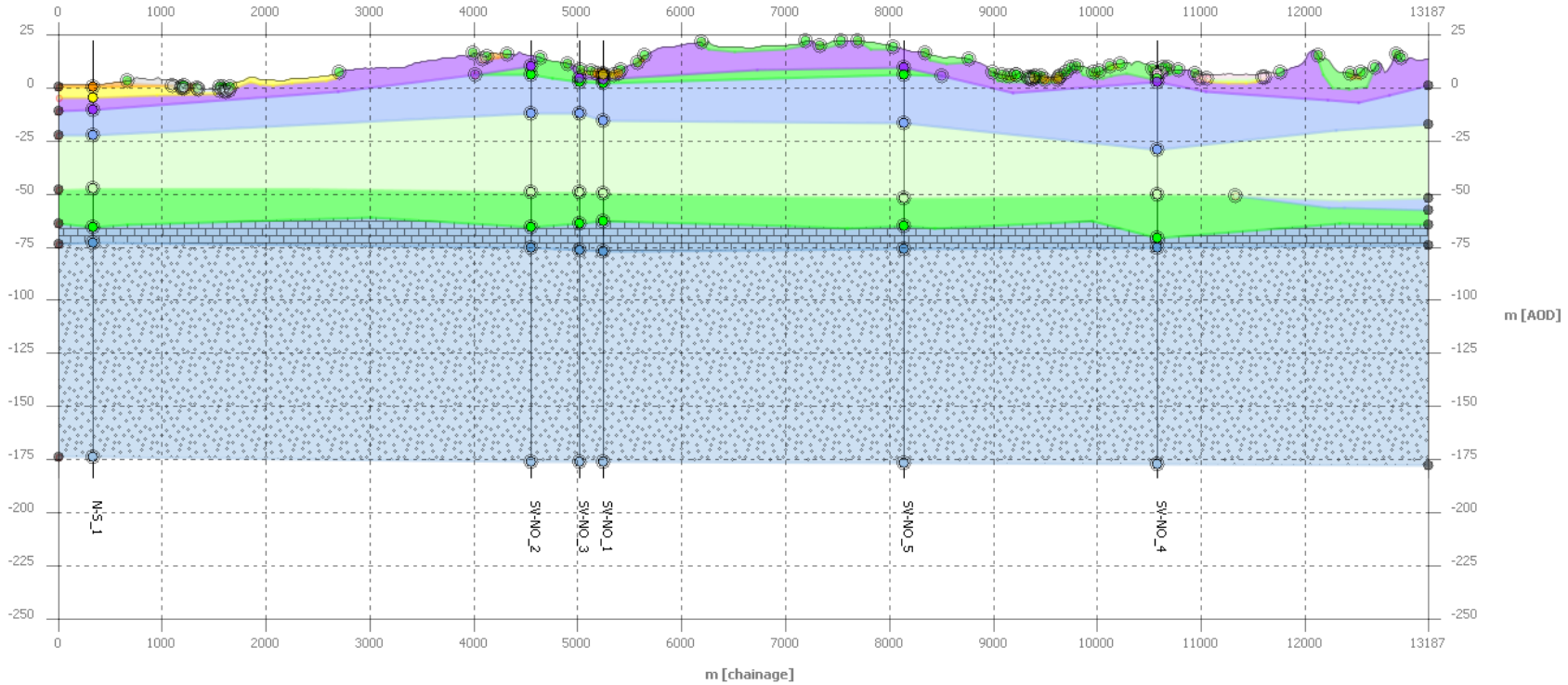
SEKTION NV–SO 9

- FYLLNING
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 1
- GLACIAL LERA
- ISÄLVSSEDIMENT 1
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- POSTGLACIAL SAND–GRUS
- SVÄMSEDIMENT
- VATTEN



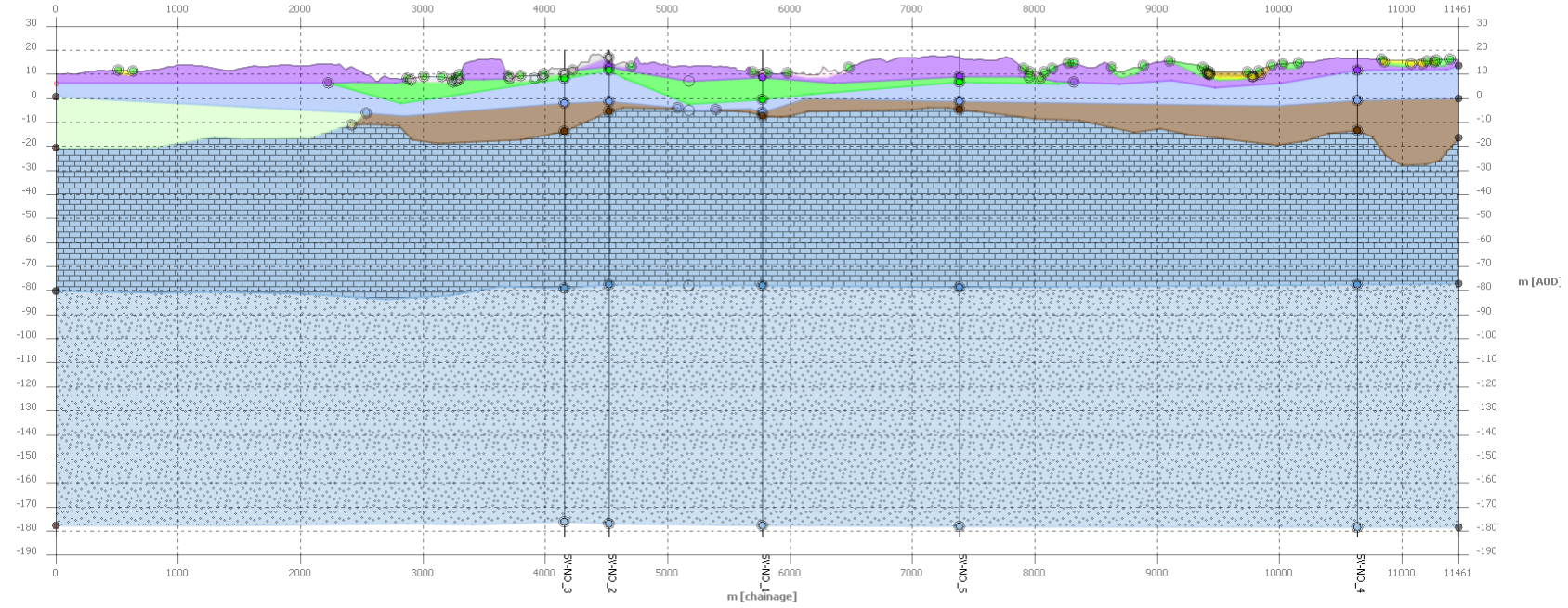
SEKTION NV–SO 11

- FYLLNING
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 1
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 3
- GLACIAL LERA
- ISÄLVSSEDIMENT 1
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- ISÄLVSSEDIMENT 4
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LERIG MORÄN 3
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- POSTGLACIAL SAND–GRUS
- SVÄMSEDIMENT
- TORV
- VATTEN



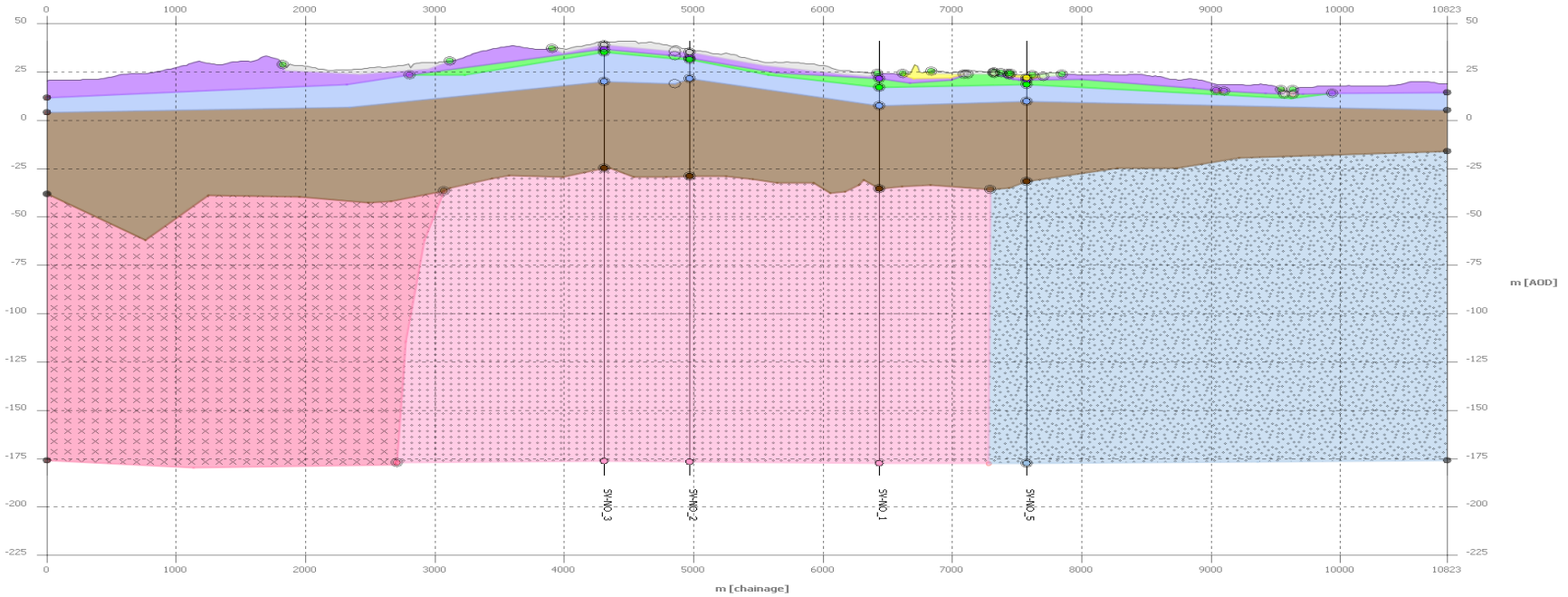
SEKTION NV–SO 13

- FYLLNING
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 3
- GLACIAL LERA
- ISÄLVSSEDIMENT 1
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- JORDART OSPECIFICERAD
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- SVÄMSEDIMENT
- TORV
- VATTEN



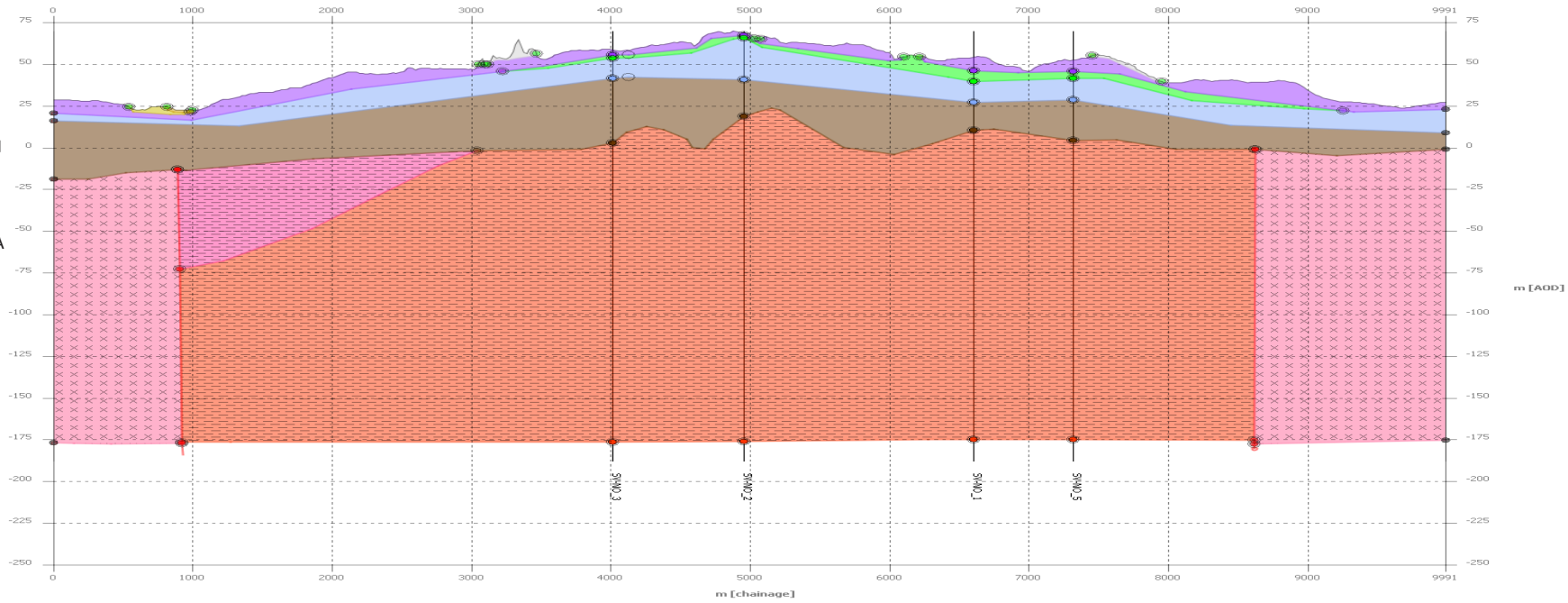
SEKTION NV–SO 14

- FYLLNING
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 1
- GLACIAL LERA
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- JORDART OSPECIFICERAD
- JURA TILL UNDRE KRITA
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LUNDALEDET
- MORÄNLERA 1
- SVÄMSEDIMENT

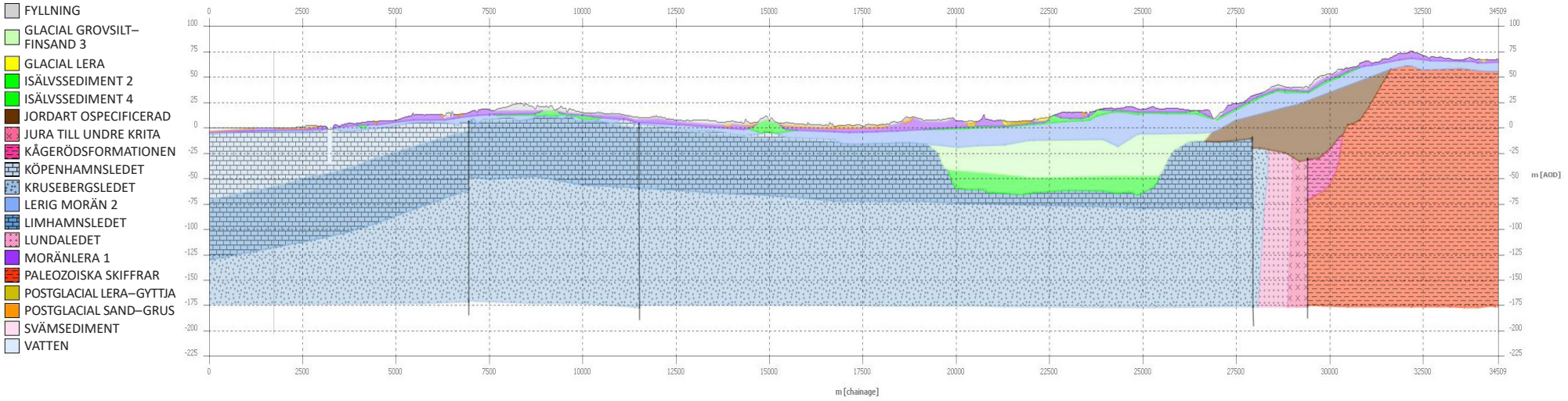


SEKTION NV–SO 15

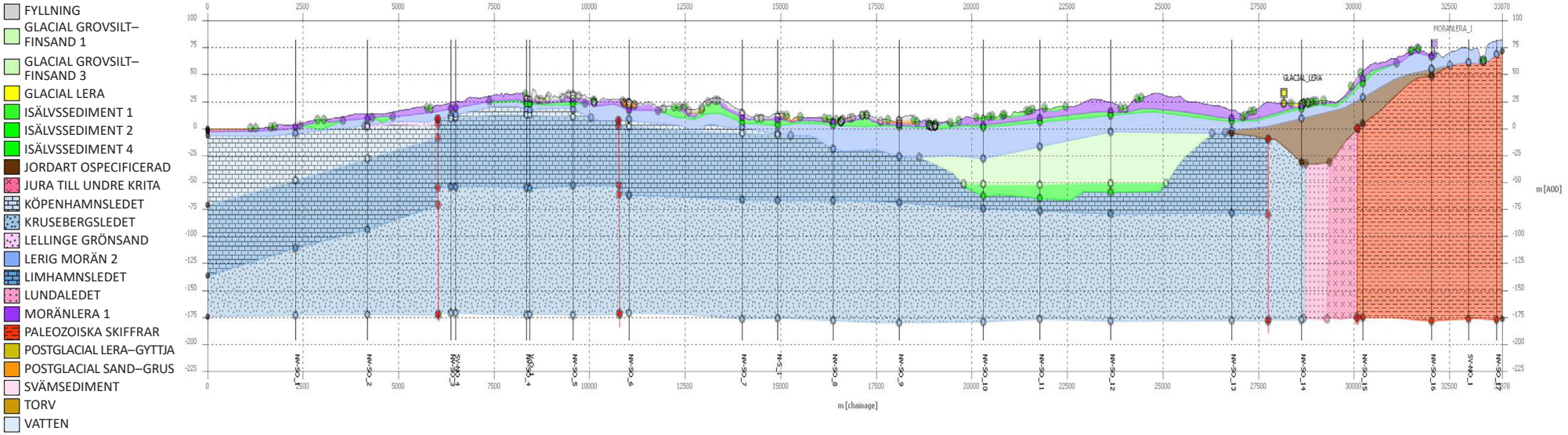
- FYLLNING
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- JORDART OSPECIFICERAD
- JURA TILL UNDRE KRITA
- KÅGERÖDSFORMATIONEN
- LERIG MORÄN 2
- MORÄNLERA 1
- PALEOZOISKA SKIFFRAR
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- TORV
- VATTEN



SEKTION SV–NO 3 (utan skärningspunkter)

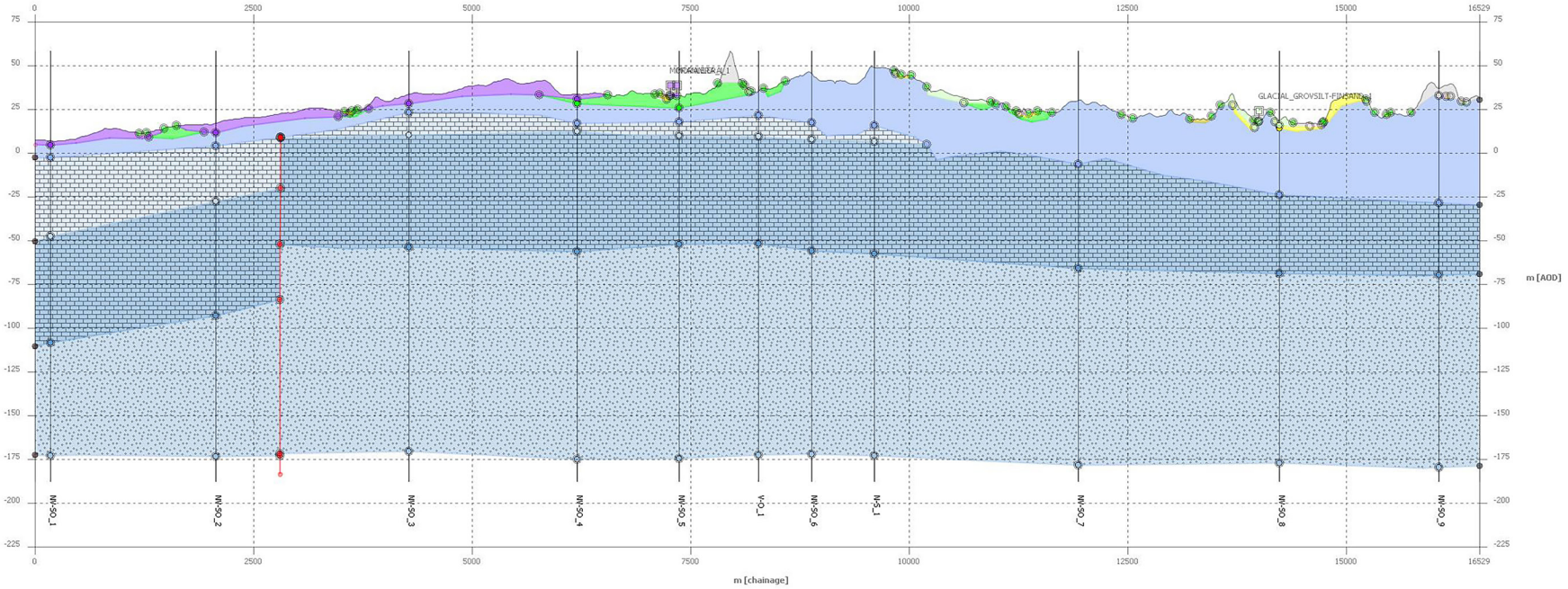


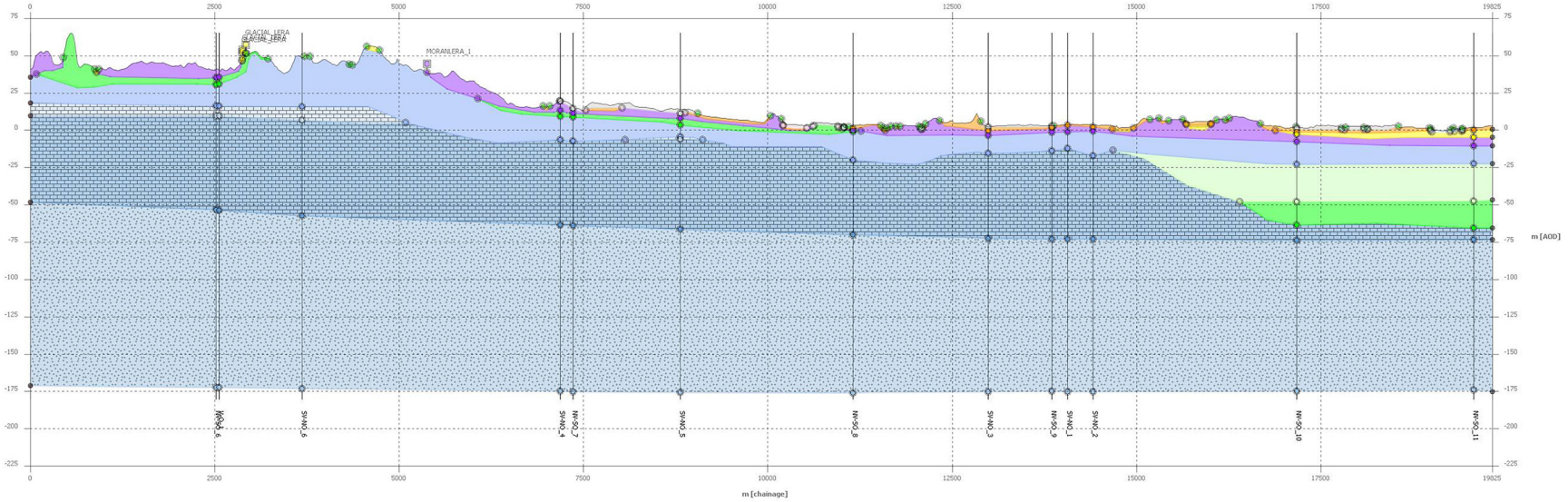
SEKTION SV–NO 5 (med skärningspunkter)



SEKTION SV–NO 6

- FYLLNING
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 1
- GLACIAL LERA
- ISÄLVSSEDIMENT 1
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- KÖPENHAMNSLEDET
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- SVÄMSEDIMENT



SEKTION N–S 1

- FYLLNING
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 1
- GLACIAL GROVSILT–FINSAND 3
- GLACIAL LERA
- ISÄLVSSEDIMENT 2
- ISÄLVSSEDIMENT 4
- KÖPENHAMNSLEDET
- KRUSEBERGSLEDET
- LERIG MORÄN 2
- LIMHAMNSLEDET
- MORÄNLERA 1
- POSTGLACIAL LERA–GYTTJA
- POSTGLACIAL SAND–GRUS
- SVÄMSEDIMENT
- TORV
- VATTEN