

Tvärförbindelse Arlanda-Roslagsbanan

PM Geoteknik, Hydrogeologi och Berg

Till:

NOK, Nordostkommunerna

Utgiven av:


Golder Associates AB

Box 20127

104 60 Stockholm Besöksadress: Östgötagatan 12, 116 25 Stockholm
Sverige

08-506 306 00

2018-06-30



Innehåll

1.0	BAKGRUND	1
2.0	OMFATTNING	2
3.0	UNDERLAG	2
4.0	NUVARANDE MARKANVÄNDNING	3
5.0	PLANERAD ANLÄGGNING	3
6.0	BEFINTLIGA MARKFÖRHÅLLANDEN	4
6.1	Topografi och ytbeskaffenhet	4
6.2	Geoteknik	5
6.2.1	Alternativ Syd (25+115 – 40+750)	5
6.2.2	Alternativ Nord (25+115 – 40+400)	6
6.2.3	Alternativ Mitt (25+115 - 40+678)	7
	Geohydrologi	9
6.3	Grundvatten i jord	9
6.3.1	Högt belägna skogsområden och myrmarker	9
6.3.2	Ängsmark på morän	9
6.3.3	Skogs-, åker och ängsmark på sandiga och grusiga jordar	9
6.3.4	Åker-och ängsmark på leriga jordar	9
6.3.5	Grundvattenmätning	10
6.4	Grundvatten i berg	10
	Bergteknik	11
6.4.1	Alternativ Syd	11
6.4.2	Alternativ Nord	12
6.4.3	Alternativ Mitt	13
6.4.4	Bergmaterial	13
7.0	GEOTEKNISKA FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER	14
7.1	Alternativ Syd	14
7.2	Alternativ Nord och Mitt	14
8.0	FÖRSLAG TILL FORTSATTA ARBETEN	15
8.1	Geoteknik	15

8.2	Geohydrologi.....	15
8.3	Bergteknik	15
9.0	BILAGOR	16

1.0 BAKGRUND

En tvärförbindelse mellan Roslagsbanan och Arlanda flygplats utreds av Stockholms Nordost i samarbete med Sigtuna kommun och Swedavia. Arbetet har under utredningens gång stämts av med representanter för Stockholm Nordost, Sigtuna kommun, Swedavia, Stockholms läns landstings trafikförvaltning och tillväxt- och regionplaneförvaltningen samt Region Uppsalas kollektivtrafikförvaltning, UL. Särskilda avstämningar har även ägt rum med Swedavia om säkerhetsfrågor kopplat till flygtrafiken och med länsstyrelsen om kulturmiljö och arkeologi.

Stockholm Nordost har som gemensam målsättning att utbyggnaden genomförs för att

- förbättra kollektivtrafiksystemet med Arlanda som kollektivtrafiknod och arbetsplatskoncentration
- stärka arbetsmarknadsregionen genom att knyta ihop regionkärnorna, samt
- öka den internationella tillgängligheten för nordostsektorn och Stockholmsregionen.

Tvärförbindelsen är utredd tidigare i en idéstudie och i en förstudie. En fördjupad förstudie/programstudie inleddes 2014 och blev våren 2015 en del av utredningsarbetet inom Sverigeförhandlingen. Studien avbröts i februari 2016 i och med beslut om vilka åtgärder som skulle gå vidare inom Sverigeförhandlingen. Därefter beslutade Nordostkommunerna att färdigställa den fördjupade förstudien om Roslagsbanans förlängning till Arlanda i egen regi.



Figur 1 Vald korridor, UA3 i förstudien, som nu studeras vidare

Föreliggande PM har ursprungligen tagits fram under år 2016 inom Trafikförvaltningens uppdrag "Programstudie – Tvärförbindelse Arlanda-Roslagsbanan". Inom samma uppdrag har ett undersökningsprogram fokuserat till de tre dalgångarna Lundby, Tadem och Bensta tagits fram specifikt för alternativ Syd.

Under åren 2017 – 2018 inom Nordostkommunernas uppdrag "Roslagsbanan till Arlanda", har endast ett fåtal av dessa geotekniska respektive geohydrologiska fältundersökningar kunnat utföras på grund av projektets tidiga skede och begränsad markåtkomst. Exempelvis har undersökningar inom Vallentuna kommun helt utgått till följd av utebliven markåtkomst.

En komplettering av föreliggande PM har utförts med insamlad information från utförda fältundersökningar omfattande sonderingar, resistivitetsmätningar och installation av grundvattenobservationsrör. Resultaten från utförd geoteknisk fältundersökning redovisas i detalj i Golders rapport "Markteknisk undersökningsrapport (MUR)/ Geoteknik", daterad 2018-05-22.

I bilagorna 1 och 2 har endast alternativ Mitt uppdaterats medan alternativen Syd och Nord redovisas enligt tidigare utredning (2015 – 2016). Inom Arlandaområdet har endast alternativ Mitt bedömts som genomförbart, varmed Syd och Nord betraktas som förkastade alternativ.

2.0 OMFATTNING

Föreliggande PM omfattar geotekniska, hydrogeologiska och bergtekniska förutsättningar och utgör underlag till "Roslagsbanan till Arlanda lägesrapport december 2018".

Övriga underlagsrapporter är:

- PM BEST
- PM Mark
- PM Miljö
- PM Konstbyggnad och gestaltning
- Markteknisk undersökningsrapport (MUR)/Geoteknik
- Succesivanalys kostnad Roslagsbanan till Arlanda
- Från Molnby till Arlanda Arkeologisk utredning, etapp 1
- Trafikutredning Roslagsbanan till Arlanda
- Samhällsekonomisk analys av Roslagsbanan till Arlanda

3.0 UNDERLAG

För denna PM har följande underlag använts:

- Inledande platsbesök;
- Remisshandling, Förstudie Tvärförbindelse Roslagsbanan Arlanda, daterad 2012-11-19, erhållen från Trafikförvaltningen i anbudsfrågan, april 2015;

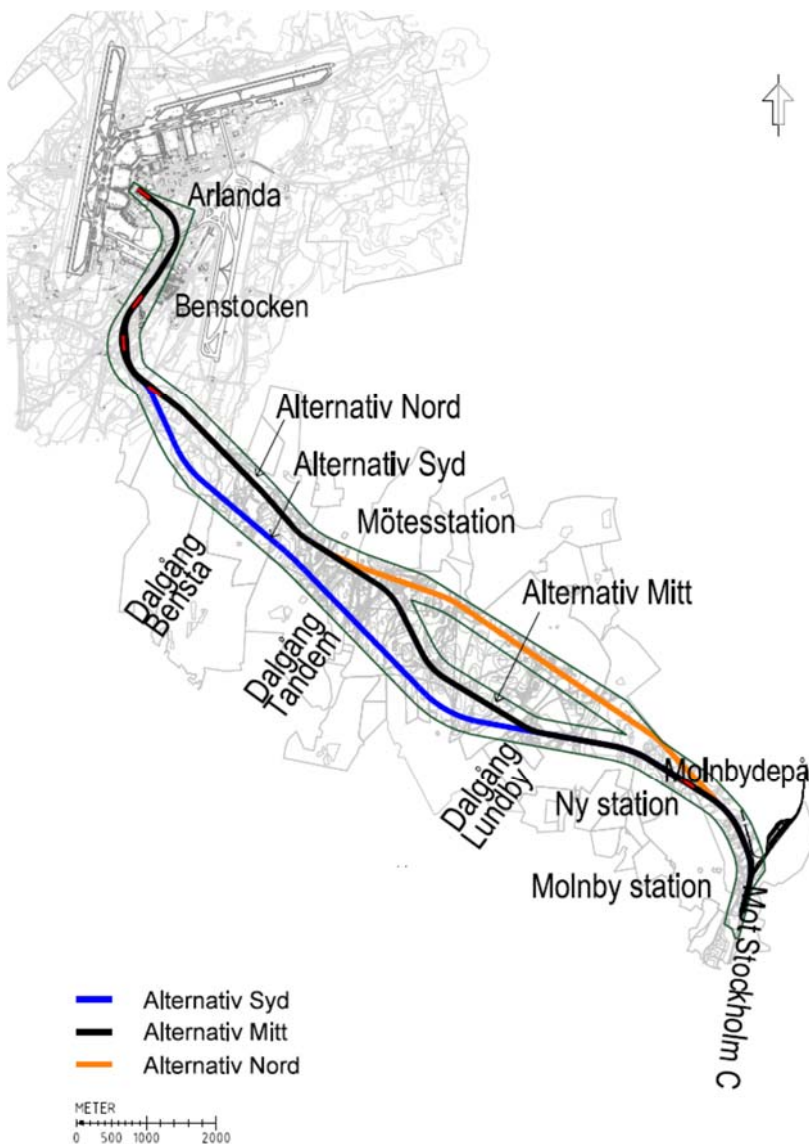
- Geologiska kartbladet Uppsala SO Ae 10 och Uppsala SV Ae 9. SGU;
- Berggrundskartan Uppsala SO Af 106 och Uppsala SV Af 105. SGU;
- Fastighetskartan;
http://www.trafikverket.se/contentassets/b75d020bdba84d55bec2eba0655aeabc/06_trv_dalmalm.pdf
- Markteknisk undersökningsrapport (MUR)/ Geoteknik, daterad 2018-05-22, upprättad av Golder.

4.0 NUVARANDE MARKANVÄNDNING

Inom utredningsområdet finns både kommunal och privat fastighetsmark. I norr finns Arlanda flygplats och i den centrala delen finns Kyssinge golfklubb. Inom exploateringsområdet förekommer även flertalet riksintressen, fornlämningar, naturminnen och nyckelbiotoper vilka delvis används som odlings/åkermark. I övrigt finns det både statliga och privata vägar samt markförlagda ledningar. Längst i söder ligger Molnby Station.

5.0 PLANERAD ANLÄGGNING

Inom korridor UA 3 utreds i detta skede en eventuell nyanläggning av ca 15 km järnväg för förlängning av Roslagsbanan från befintliga Molnby Station fram till Sky City, Arlanda.



Figur 2 Studerade alternativ

6.0 BEFINTLIGA MARKFÖRHÅLLANDEN

6.1 Topografi och ytbeskaffenhet

Samtliga tre alternativ går igenom kuperad skogsmark och passerar tre dalgångar (Lundby, Tadem och Bensta). I dalgångarna finns framförallt åker- och ängsmark med lösare jordarter. Skogspartierna utgörs av fastare mark och berg i dagen. I skogspartiet mellan Lundby och Tadem ligger Kyssinge golfbana. Arlandaområdet utgörs till största del av hårdgjorda ytor i form av vägar, parkeringsytor och övriga flygplatsanläggningar.

Genom det aktuella området rinner två vattendrag, Märstaån och Hargån.

6.2 Geoteknik

Rådande markförhållanden beskrivs översiktligt utifrån SGU:s jordarts- och jorddjupskartor med start från anslutningen vid Molnby station, se bilaga 1 respektive bilaga 2. Generellt beskrivs endast jordarternas utbredning i eller nära markytan. För delsträckor där geotekniska undersökningar har utförts är beskrivningen kompletterad med mer detaljerad information.

Enstaka äldre sonderingar från SGU:s arkiv, med mer detaljerade uppgifter om de förekommande jordlagrens mäktigheter, är inarbetade i nedanstående beskrivning.

Generellt utgörs de lösare jordarna i dalgångarna av lera, gyttja och torv. De fastare skogspartierna utgörs av sand och morän.

Dalgångar och mellanliggande höjdparter är namngivna utifrån befintliga områdesbenämningar, se figur 1 och "PM Konstbyggnad och gestaltning".

6.2.1 Alternativ Syd (25+115 – 40+750)

25+115 – 28+900 – Molnby/Rösjökilen – Marken närmast Molnby station utgörs av gyttjelera (eller lergyttja) med ett tunt eller osammanhängande ytlager av torv. Vidare går banan genom ett område som huvudsakligen består av morän med inslag av berg i dagen och tvärgående svackor med lera, postglacial finlera och kärrtorv. Mot slutet av delsträckan finns ett område med blockrik ytmorän. I närområdet förekommer ändmoräner.

Jorddjupen varierar mellan 0 och 10 m. För merparten av delsträckan är jorddjupen som mest 5 m. De större jorddjupen finns vid Molnby station och i några av svackorna.

28+900 – 30+700 – Dalgång 1, Lundby karakteriseras huvudsakligen som ett lösjordsparti vilket till största del utgörs av postglacial finlera, gyttjelera och kärrtorv. I dalgångens början finns två mindre fastmarkspartier där det första utgörs av postglacial sand och det andra (Husbyön) av isälvsediment som övergår till morän och berg i dagen. Här finns även ett flertal ändmoräner i direkt anslutning till den föreslagna bansträckningen.

I dalgångens första halva uppgår jorddjupen som mest till 5 m. Efter Husbyön ökar jorddjupen och uppgår som mest till 20 m.

30+700 – 32+600 – Tjusta utgörs marken i huvudsak av berg i dagen och morän. I övrigt förekommer enstaka svackor med lera.

Jorddjupen är mellan 0 och 3 m.

32+600 – 34+050 – Dalgång 2, Tadem, utgörs växelvis av lera (även gyttjelera/lergyttja förekommer), morän och berg i dagen.

Jorddjupen varierar mellan 0 och 20 m.

Enligt utförda geotekniska undersökningar, i undersökningspunkt 17GA15 och resistivitetlinjerna L7 och L6, är jordlagerföljden lera, på friktionsjord på berg. I punkt 17GA16 har ingen lera påträffats.

Den översta metern av leran utgörs av kultiverad jord bestående av humusjord, gyttja och torrskorpelera. Därunder följer lera med en mäktighet på upp till 8 m. Leran är gyttjig och på djupet förekommer tunna sandskikt. Friktionsjordens mäktighet varierar mellan 0 och 10 m. I undersökningspunkt 17GA15 har block påträffats i friktionsjorden.

34+050 – 34+800 – Skalmsta är huvudsakligen ett bergparti. Efter ungefär halva delsträckan finns en ca 75 m bred tvärgående lersvacka.

Jorddjupen är mindre än 1 m, med undantag för lersvackan där jorddjupen uppgår som mest till 10 m.

34+800 – 35+300 – I Dalgång 3, Bensta finns postglacial finlera. I slutet av delsträckan övergår leran till postglacial sand.

I dalgångens början uppgår jorddjupen till 10 m. I övrigt varierar de mellan 0 och 5 m.

35+300 – 38+100 – I Stensta utgörs marken till en början växelvis av morän och berg i dagen, med inslag av lösjordssvackor. Härfter följer ett område med sand samt enstaka sträckor med morän och berg i dagen. Vid km ca 37+400 korsas Stockholmsåsen. Efter Stockholmsåsen finns sand med ett tunt eller osammanhängande ytlager av torv.

För den första halvan av delsträckan uppgår jorddjupen som mest till 5 m medan de i den andra halvan huvudsakligen är 5 - 10 m.

38+100 – 40+150 – Arlandaområdet utgörs i huvudsak av lösare jordlager såsom torv, gyttjelera och lera med undantag för kortare sträckor med berg i dagen. Vid km ca 39+600 – 40+150 finns ett sammanhängande område med kärrtorv.

Jorddjupen varierar mellan 0 och 5 m. I kärrtorvsområdet kan jorddjupen dock uppgå till 20 m.

40+150 – 40+750 – Vid anslutningen till **Sky City** utgörs marken till en början av sand och övergår senare till växelvis förekomst av lera, morän och berg i dagen.

Jorddjupen varierar mellan 0 och 10 m.

6.2.2 Alternativ Nord (25+115 – 40+400)

25+115 – 26+800 – Molnby/Rösjökilen – Delsträckan går i samma linje som alternativ Syd, se avsnitt 6.2.1.

26+800 – 29+200 – Rösjökilen – Banan går genom ett område som består av morän med inslag av berg i dagen och tvärgående svackor med lera, postglacial finlera, kärrtorv och mossetorv. Mellan km ca 28+200 och 28+600 finns det ett område med blockrik ytmorän.

Jorddjupen är för huvuddelen av delsträckan som mest 5 m. På ett fåtal ställen uppgår de till 10 m.

29+200 – 30+200 – Sträckningen genom **Dalgång 1, Lundby** är kortare än för alt Syd, men är i övrigt av samma karaktär. Här utgörs marken av postglacial finlera och kärrtorv. I slutet av dalgången, innan övergången till skogsmark, förekommer berg i dagen.

Jorddjupen varierar mellan 1 och 10 m, där de minsta återfinns i dalgångens slut.

30+200 – 31+200 – I **Tjusta** utgörs marken växelvis av berg i dagen, morän samt svackor innehållande lera och postglacial finlera.

Jorddjupen varierar mellan 0 och 3 m.

31+200 – 32+700 – Delsträckan genom **Tjusta/Kyssinge** utgörs huvudsakligen av postglacial finlera med inslag av morän och berg i dagen. Vid km ca 31+600 finns ett område med gyttjelera (eller lerygttja) och ett tunt eller osammanhängande ytlager av torv.

Jorddjupen varierar mellan 0 och 3m.

32+700 – 34+150 – Sträckningen genom **Dalgång 2, Tadem** är längre än för alt Syd. Marken utgörs av finlera med inslag av berg i dagen. Mellan km 32+700 och 33+300 finns det kärrtorv.

Jorddjupen varierar mellan allt från 0 till 20 m.

34+150 – 34+700 – **Skalmsta** är ett skogsparti som utgörs av morän och berg i dagen, med undantag för en lersvacka vid km ca 34+300.

Jorddjupen längs denna delsträcka är mindre än 5 m.

34+700 – 35+050 – I **Dalgång 3, Bensta** finns glacial lera och postglacial finlera. Här finns ett flertal ändmoräner i nära anslutning till den föreslagna bansträckningen.

Jorddjupen varierar mellan 3 och 20 m, med störst djup i dalgångens mitt.

Enligt utförd geoteknisk undersökning i undersökningspunkterna 17GA06 och 17GA07 samt resistivitetlinjerna L01 och L02 är jordlagerföljden lera på friktionsjord på berg. Lerans översta meter utgörs av sandig torrskorpelera. Lerans mäktighet uppgår till ca 2,5 m. Friktionsjorden utgörs av sandig siltig morän med en mäktighet som varierar mellan 0,5 och 7 m. I friktionsjorden har block påträffats.

35+050 – 37+400 – För delsträckan genom **Stensta** utgörs den första halvan växelvis av berg i dagen, morän och lösjordssvackor. Den andra halvan utgörs huvudsakligen av sand. Mellan km ca 37+000 och 37+200 korsas Stockholmsåsen. Efter Stockholmsåsen finns sand med ett tunt eller osammanhängande ytlager av torv.

För delsträckans första halva uppgår jorddjupen som mest till 5 m medan de i den andra halvan huvudsakligen varierar mellan 5 och 10 m.

Utförd geoteknisk undersökning vid km ca 35+400, i undersökningspunkterna 17GA04 och 17GA04B, bekräftar den ovan beskrivna variationen i jorddjup. I 17GA04 finns ca 1 m friktionsjord på berg och ca 20 m åt sydost, i 17GA04B finns 1,5 m lera på 1,5 m friktionsjord på berg.

37+400 – 40+400 – Delsträckan sammanfaller med alternativ Syd (längdmätning alt Syd, 37+700 – 40+750), se avsnitt 6.2.1.

6.2.3 Alternativ Mitt (25+115 - 40+678)

25+115 – 29+650 – Molnby/Rösjökilen – Delsträckan sammanfaller med alternativ Syd, se avsnitt 6.2.1.

29+650 – 30+400 – Förgrening från alt Syd sker på Husbyön, mitt i **Dalgång 1, Lundby**. Området efter Husbyön karakteriseras som ett lösjordsparti bestående av kärrtorv, gyttjelera (eller lergyttja) och postglacial finlera. I områdets början förekommer ändmoräner.

Jorddjupen är minst i delsträckans början samt slut, där de minsta är 0 m, och ökar mot mitten till som mest 20 m.

30+400 – 32+800 – I **Tjusta** utgörs marken växelvis av berg i dagen, morän och svackor innehållande lera och postglacial finlera. Även ytlager av torv förekommer. Jorddjupen varierar mellan 0 och 5 m.

32+800 – 34+300 – I **Dalgång 2, Tadem** finns postglacial finlera med inslag av berg i dagen. I dalgångens början, vid km ca 32+900 och 33+200 – 33+500 förekommer områden med kärrtorv.

Jorddjupen varierar mellan 0 och 20 m.

34+300 – 36+650 – Delsträckan genom **Skalmsta, Bensta** och **Stensta** sammanfaller med alt Nord (längdmätning alt Nord km 34+150 – 36+500), se avsnitt 6.2.2

36+650 – 38+000 – Delsträckan från **Stensta till Arlanda** utgörs huvudsakligen av sand. I början och slutet av delsträckan förekommer berg i dagen. Mellan km ca 37+250 och 37+350 korsas Stockholmsåsen. Efter Stockholmsåsen finns sand med ett tunt eller osammanhängande ytlager av torv.

Jorddjupen varierar mellan 0 och 10 m.

38+000 – 39+000 – Arlandaområdet, del 1 – Området utgörs huvudsakligen av morän. På första halvan av sträckan förekommer berg i dagen och ett område med glacial lera.

Jorddjupen varierar mellan 1 och 10 m.

39+000 – 40+150 Arlandaområdet, del 2 sammanfaller i stort sett med alt Syd (längdmätning alt Syd km 38+950 – 40+150) och alt Nord (längdmätning alt Nord km 38+600 – 39+800)

40+150 – 40+678 – För anslutningen till **Sky City** se beskrivning för alt Syd, km 40+150 – 40+750, avsnitt 6.2.1.

Geohydrologi

Följande beskrivning är skriven för alternativ Syd men kan betraktas som gällande för hela utredningsområdet.

6.3 Grundvatten i jord

6.3.1 Högt belägna skogsområden och myrmarker

Inom högt belägna skogsbeklädda områden med berg i dagen förekommer grundvatten huvudsakligen i moräntäckta svackor i berggrunden. Svackorna kan i dessa typer av områden helt eller delvis förväntas vara täckta av myrar. Tjockleken av grundvattenförande morän varierar från 0,5 till 2 m. Den förekommande vattenförande torvens mäktighet kan i myrmarkerna förväntas uppgå till ca 1 m. I större myrar kan torvtjockleken eventuellt uppgå till 2 m. Den hydrauliska konduktiviteten i moränen kan förväntas vara mellan $1 \cdot 10^{-7}$ och $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Den hydrauliska konduktiviteten i vattenmättad torv kan vara betydligt högre, upp till $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, beroende på vilken grad av förmultning torven har genomgått.

6.3.2 Ängsmark på morän

Ängsmark inom den planerade sträckningen förekommer huvudsakligen på moränjordar med en tjocklek upp till drygt 5 m, även om tjockleken av morän kan vara något större lokalt. Djupet till grundvattenytan varierar och beror framför allt på topografin, men ligger generellt 0 – 2 m under markytan, där det grundare gäller lägre belägen mark. Moränen under dessa ängsmarker kan ha hydrauliska konduktiviteter mellan $1 \cdot 10^{-7}$ och $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Eftersom grundvattnet kan förväntas förekomma under öppna förhållanden är lagringskapaciteten (magasinskoefficienten) nästan densamma som den effektiva porositeten, d.v.s. drygt 0,1 (10 %) som kan förväntas i en siltig-sandig morän.

6.3.3 Skogs-, åker och ängsmark på sandiga och grusiga jordar

Sandiga och grusiga jordar består sannolikt av mycket genomsläppliga glaciofluviala sediment. Sådana sediment påträffas längs med den planerade sträckningen vid den östra delen av Arlanda flygplats, där Stockholmsåsen korsar den planerade sträckningen. Där Alternativ Syd korsar Stockholmsåsen, km ca 37+400 – 37+500, går den igenom ett yttre vattenskyddsområde för en av Sigtuna kommuns vattentäkter som befinner sig inom Stockholmsåsen söder om den planerade sträckningen. Djupet till grundvattnet i Stockholmsåsen överskrider åtminstone 3 m vid den föreslagna sträckningen. Sandiga och grusiga jordar kan även påträffas i den östra delen av dalgången vid Husbyön. En del av dessa jordar vid Husbyön kan vara täckta av yngre glaciala- och postglaciala leror. Mäktigheten och hur mycket grundvatten som kan förekomma i de glaciofluviala sedimenten vid Husbyön är okänt. Den hydrauliska konduktiviteten i glaciofluviala sediment kan variera mellan $1 \cdot 10^{-3}$ och $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Där glaciofluviala sandiga och grusiga jordar är synliga vid markytan, såsom vid Stockholmsåsen eller Husbyön, förekommer grundvatten under öppna förhållanden med en lagringskapacitet som nästan är densamma som den effektiva porositeten, d.v.s. 0,1 – 0,3 (10 – 30 %). Om glaciofluviala och vattenmättade jordar förekommer under leran vid Husbyön (och även annorstädes) och om grundvattentrycknivån ligger ovanför lerans underkant kan grundvattnet förekomma under slutna förhållanden. I sådana fall är lagringskapaciteten betydligt lägre, uppskattningsvis mellan $1 \cdot 10^{-4}$ och $1 \cdot 10^{-5}$.

6.3.4 Åker-och ängsmark på leriga jordar

Åkermark och även lågt belägna ängsmarker längs med den planerade sträckningen förekommer på leror med mäktigheter på upp till över 10 m. Under dessa leror förekommer morän med förmodade mäktigheter på 3 – 5 m, kanske på sina håll även mer inom större åkermarksområden som exempelvis vid Husbyön. Underliggande morän kan förväntas vara vattenmättad och dessa grundvattenmagasin kan ha en hydraulisk konduktivitet på mellan $1 \cdot 10^{-7}$ och $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Till skillnad från grundvatten under moränängsmark

förekommer grundvattnet här under slutna förhållanden med en lagringskapacitet på ca $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-5}$. Inom lågt belägna områden kan åkermarken tidvis vara översvämmad (sk mader) under snösmältning eller nederbördsrika tidsperioder. Ytvatten i vattendrag eller sankmarker ovanpå leran och vatten i maderna har inte direkt kontakt med grundvattnet i underliggande morän p.g.a. den mellanliggande täta leran.

6.3.5 Grundvattenmätning

Alternativ Nord 35+050 – 37+400 och Mitt, 34+300 – 36+650 – För delsträckan genom **Stensta** har ett grundvattenobservationsrör, 17GA04B vid km ca 35+400 (alt Nord) och 35+600 (alt Mitt), installerats.

Grundvattennivån i röret har vid installationstillfället uppmätts till ca 1 m under markytan.

6.4 Grundvatten i berg

I berggrunden förekommer grundvatten i spröda strukturer som sprickor, krosszoner och genomsläppliga förkastningar som i sin tur styr grundvattenförhållandena i berggrunden. Berggrunden längs med sträckningen består huvudsakligen av massformiga sena graniter av Prekambrisk ålder (cirka 1750 my bp) samt något äldre gnejsiga graniter (cirka 1850 mybp). Vid den västra delen av den planerade sträckningen förekommer glimmerskiffrar och sedimentära gnejser med foliationsplan som stryker in en nordostlig-sydvästlig riktning och med en brant stupning. Större mängder grundvatten i berggrunden kan förväntas i de mer folierade glimmerskiffrarna mot väster samt i lokala krosszoner och genomsläppliga förkastningar. Krosszoner och förkastningar kan förväntas förekomma under lertäckta dalgångar där inlandsisen har haft en större möjlighet att erodera bort svagare berggrund. Enligt SGU (SGU:s Kartgenerator: berggrund) förekommer en större krosszon längs med den nordvästra sidan av dalgången vid Husbyön. Grundvattnet strömmar i berggrunden i ett nätverk av i princip tvådimensionella strukturer (sprickor och krosszoner) med en förväntad stor lokal variation i hydraulisk konduktivitet mellan $1 \cdot 10^{-9}$ och $1 \cdot 10^{-3}$ m/s beroende på genomsläppligheten i, och frekvensen av, krosszoner, förkastningar och sprickor. Den hydrauliska konduktiviteten i berg är dessutom beroende på i vilken skala man observerar. Man kan också förvänta sig att glimmerskiffrar och sedimentära gnejser kommer att ha en högre hydraulisk konduktivitet än massformiga graniter och gnejsiga graniter. I högt belägna områden inom direkta tillrinningsområden av grundvatten ner i berggrunden kan man förvänta sig att grundvattnet i det ytliga berget förekommer under öppna förhållanden med lagringskapaciteter motsvarande sprickporositeten i berggrunden (i storleksordningen 0,1 % utanför sprickzoner). I lågt belägna områden där berggrunden ligger under vattenmättade jordar, exempelvis i sank dalgångar, förekommer grundvattnet under slutna förhållanden med grovt uppskattade lagringskapaciteter på mellan $1 \cdot 10^{-4}$ och $5 \cdot 10^{-6}$.

Bergteknik

Nedanstående beskrivning är skriven för alternativ Syd, men kan betraktas som gällande för hela utredningsområdet.

6.4.1 Alternativ Syd

Alternativ Syd kommer att gå i flera bergskärningar med en sammanlagd längd på ca 6 km, varav ca 600 – 800 m utgörs av bergtunnel, se *Tabell 1*. Därtill kan ca 50 – 100 meter betongtunnel i bergskärning tillkomma. Jordtäcket tjocklek längs bergskärningarna varierar från 0 till 3 meter enligt SGU:s jorrdjupskarta. Längs den planerade bergtunneln och större delen av bergskärningarna består berggrunden av granitiska bergarter. Nära Molnby finns dock en sträcka på ca 400 m med glimmergnejs och nära Arlanda en sträcka på ca 700 m med glimmerskiffer.

Bergartsfördelningen och bergskärningarnas längder längs förslagen bansträckning redovisas i *Tabell 1*. Större delen av öppna schakter samt hela tunnelsträckan bedöms gå i granit, granodiorit, tonalit och andra granitoider, dock bedöms kortare sträckor med gnejsig struktur kunna förekomma. Nära Molnby finns en del glimmergnejs, medan Arlandaområdet till stor del består av glimmerskiffer med mindre andel glimmergnejs och leptit, en mycket finkornig kvarts-fältspatbergart.

Tabell 1 Alt Syd - Bergskärningar i öppen schakt och tunnel, med bergarter

Från [km]	Till [km]	längd [m]	Schakttyp	Bergart
25+700	25+900	200	Öppen	Granit
26+060	26+430	370	Öppen	Glimmergnejs
26+550	26+900	350	Öppen	Gnejsig granit
27+000	27+200	200	Öppen	Gnejsig granit
27+650	27+825	175	Öppen	Granit
27+920	28+420	500	Öppen	Gnejsig granit
28+500	29+100	600	Öppen	Granit
29+625	29+725	100	Öppen	Granit
30+725	30+975	250	Öppen	Gnejsig granit
31+150	31+800	650	Öppen	Granit
32+375	32+625	250	Öppen (delvis betongtunnel?)	Granit
33+525	33+625	100	Öppen	Granit
34+050	34+200	150	Öppen (delvis betongtunnel?)	Granit
34+200	34+410	210	Bergtunnel	Granit
34+410	34+470	60	Bergtunnel I, liten bergtäckning	Granit
34+470	34+790	320	Bergtunnel	Granit
35+400	35+825	425	Öppen	Granit
35+750	35+825	75	Öppen	Glimmerskiffer/ Glimmergnejs
36+450	37+075	625	Öppen	Glimmerskiffer/ Glimmergnejs
37+900	38+080	180	Öppen	"Leptit"
39+600	39+850	250	Öppen	Gnejsig granit

6.4.2 Alternativ Nord

En mycket översiktlig och ungefärlig uppskattning av bergartsfördelningen och bergskärningarnas längder längs alternativ Nord redovisas i *Tabell 2*. Bergslänterna bedöms vara lägre för detta alternativ än för alternativ Syd och antas därför vara gynnsammare för bergstabiliteten, med mindre risk för skred av mycket stora block eller hela bergväggar. För alternativ Nord utgår bergtunnlar helt.

Tabell 2 Alt Nord - Bergskärningar i öppen schakt, med bergarter

Från [km]	Till [km]	längd [m]	Schakttyp	Bergart
25+700	25+900	200	Öppen	Granit
26+200	26+370	170	Öppen	Glimmerskiffer/ Gnejs
26+620	26+900	280	Öppen	Gnejsig granit
27+000	27+250	250	Öppen	Gnejsig granit
27+430	27+525	95	Öppen	Granit
27+650	28+850	1 200	Öppen	Gnejsig granit
28+300	28+375	75	Öppen	Granit
28+675	29+180	505	Öppen	Granit
29+940	30+150	210	Öppen	Gnejsig granit
30+275	30+450	175	Öppen	Granit
30+750	30+860	110	Öppen	Granit
31+400	31+475	75	Öppen	Granit
31+625	31+700	75	Öppen	Granit
32+000	32+125	125	Öppen	Granit
32+425	32+675	250	Öppen	Granit
33+800	34+100	300	Öppen	Granit
34+350	34+650	300	Öppen	Granit
35+575	35+700	125	Öppen	Granit
36+550	36+820	125	Öppen	Glimmerskiffer/ Gnejs
37+580	37+770	270	Öppen	Glimmerskiffer/ Gnejs
38+200	38+575	190	Öppen	Leptit
39+100	39+200	375	Öppen	"Leptit"

6.4.3 Alternativ Mitt

En mycket översiktlig och ungefärlig uppskattning av bergartsfördelningen och bergskärningarnas längder längs alternativ Mitt redovisas i *Tabell 3*. Bergslänterna bedöms vara lägre för detta alternativ än för alternativ Syd och antas därför vara gynnsammare för bergstabiliteten med mindre risk för skred av mycket stora block eller hela bergväggar. För alternativ Mitt utgår bergtunnlar helt.

Tabell 3 Alt Mitt - Bergskärningar i öppen schakt, med bergarter

Från [km]	Till [km]	Längd [m]	Schakttyp	Bergart
25+700	25+900	200	Öppen	Granit
26+060	26+380	320	Öppen	Glimmerskiffer/ Gnejs
26+550	26+900	350	Öppen	Gnejsig granit
27+000	27+200	200	Öppen	Gnejsig granit
27+650	27+730	80	Öppen	Granit
27+730	27+830	100	Öppen	Gnejsig granit
27+920	28+030	110	Öppen	Gnejsig granit
28+050	28+250	200	Öppen	Granit
28+150	28+250	100	Öppen	Granit
28+550	29+150	600	Öppen	Granit
29+300	29+450	150	Öppen	Granit
29+635	29+720	85	Öppen	Granit
30+500	31+050	550	Öppen	Gnejsig granit
31+900	32+000	100	Öppen	Granit
32+350	32+850	500	Öppen	Granit
34+050	34+250	200	Öppen	Granit
34+450	34+550	100	Öppen	Granit
35+300	35+450	150	Öppen	Granit
35+450	35+550	100	Öppen	Pegmatit
35+750	35+800	50	Öppen	Glimmerskiffer/ Gnejs
35+950	36+100	150	Öppen	Glimmerskiffer/ Gnejs/ Pegmatit
36+700	36+950	250	Öppen	Glimmerskiffer/ Gnejs/ Pegmatit
37+700	37+820	120	Öppen	"Leptit"
38+100	38+200	100	Öppen	Glimmerskiffer/ Gnejs
39+600	39+900	300	Öppen	Gnejsig granit

6.4.4 Bergmaterial

Beträffande bergmaterial för ballaständamål klassificeras graniten, enligt SGU:s webbaserade ballastkarta, som god, medan glimmerskiffern har hög glimmerhalt och kan betraktas som dålig. Utifrån erfarenheter från ett tidigare projekt¹ inom ett område med glimmerskiffer, där den vid kartering hade visat sig vara mycket

¹ Nybyggnad av terminalbyggnad F, Arlanda flygplats.

skiffrig och omvandlad, bedöms den endast kunna användas för terrassutfyllnad med låga krav avseende tjälfarlighet.

7.0 GEOTEKNISKA FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER

Områdets varierade karaktär med högre belägna kuperade skogsområden och flacka dalgångar innebär att flertalet olika förstärkningsåtgärder i mark, kommer att behövas oavsett valt alternativ.

Inom höglänt terräng och fastmarksområden kommer schakt i berg och friktionsjord, delvis under grundvattenytan, att behöva utföras. I dalgångarna där lösare jordar förekommer kommer förstärkningsåtgärder såsom kalkcementpelare, massutskiftning och lättfyllning att erfordras. Eventuella brostödsfundament i lösjordsområden kommer att grundläggas på pålar.

För samtliga undermarksanläggningar i anslutning till befintliga anläggningar (exempelvis inom Arlandaområdet) kommer temporära geokonstruktioner, såsom sponter, att erfordras. Vidare kräver dessa särskild hantering av grundvattnet för att säkerställa såväl schakt i torrhet under byggtiden som innehållande av krav med avseende på omgivningspåverkan.

En optimering av banans eventuella framtida sträckning utifrån rådande markförhållanden kan minska omfattningen av markförstärkningsåtgärder. Detta genom att med hjälp av geotekniska undersökningar ytterligare lokalisera fastmarkspartier och bestämma de lösa jordarnas hållfasthets- och deformationsegenskaper. En optimering med hänsyn till geotekniska förutsättningar måste dock värderas gentemot andra kriterier och hänsyn relevanta för utbyggnad av bana i denna typ av miljö.

7.1 Alternativ Syd

I syfte att iaktta största möjliga hänsyn till rådande natur- och kulturmiljö har, för alternativ Syd, en hög profil valts. Den valda höjdsättningen innebär ett stort antal brokonstruktioner som i huvudsak är belägna i dalgångarna, de geotekniskt sämre partierna. För en fullständig förteckning över föreslagna broar och deras placering, se "*PM Konstbyggnad och gestaltning*". Att dalgångarna passeras via broar medför en mindre omfattning av markförstärkningsarbeten jämfört med alternativ Nord och Mitt.

7.2 Alternativ Nord och Mitt

Höjdsättningen för alt Nord och Mitt har satts med ambitionen att i största möjliga mån följa områdets topografi. Detta innebär färre antal broar, jämfört med alt Syd, och istället mer förstärkningsåtgärder av marken i lösjordsområdena i kombination med massutskiftning och uppfyllnader för järnväg på bank.

8.0 FÖRSLAG TILL FORTSATTA ARBETEN

8.1 Geoteknik

För fortsatt lokalisering och projektering behövs bland annat:

- Markåtkomst för utförande av geotekniska undersökningar för ett eller flera av de framtagna alternativen;
- Framtagning av ett nytt undersökningsprogram för och genomförande av kompletterande geotekniska fältundersökningar, specifikt för valt alternativ.
- Klarläggande av Swedavias och Sigtuna kommuns planer inom Arlandaområdet, i syfte att kunna utföra erforderliga utredningar och undersökningar inför dimensionering av nödvändiga temporära och permanenta geotekniska förstärkningsåtgärder.

8.2 Geohydrologi

Där den föreslagna sträckningen korsar vattenskyddsområdet vid Stockholmsåsen måste skyddsåtgärder vidtas för att skydda vattentäkten från föroreningar både under bygg- och drifttiden. Om underjordsarbeten planeras inom vattenskyddsområdet kan inget material avlägsnas som befinner sig en meter ovan högsta historiskt uppmätta grundvattennivåer inom skyddsområdet. Även andra skyddsåtgärder inom vattenskyddsområdet kan vara nödvändiga och en dialog bör föras med Sigtuna kommun angående vattenskyddsområdet innan förhandlingar påbörjas med länsstyrelsen och mark- och miljödomstolen.

Där tunnlar och stora skärningar kan påverka grundvattnet bör tredimensionell grundvattenmodellering genomföras, baserad på ett gediget geohydrologiskt undersökningsprogram där den lokala geologin beaktas. Underlaget från detta program kan sedan användas vid myndighetsförhandlingar avseende huruvida tillstånd enligt miljöbalken krävs.

Inom Arlandaområdet, där en tunnel kan behövas under taxibanan söder om Terminal 5, kan stora mängder grundvatten förekomma i glaciofluviala sediment och i morän under de leror som förekommer längs med Märstaån. Det är oklart hur stor utbredningen är av dessa eventuellt vattenförande sediment och huruvida dessa sediment har direkt kontakt med Märstaån. Även detta behöver utredas vidare med undersökningar och modellering med hänsyn till risk för grundvattenpåverkan, sättningar, inläckage etc.

Vidare behöver även utredningar avseende riskbedömning och hantering av grundvattenavsänkningar under byggtiden utföras.

Det ovan nämnda geotekniska undersökningsprogrammet omfattade även geohydrologi. Inför fortsatt projektering behöver det därmed omarbetas för att gälla ett valt alternativ och genomföras.

Grundvattennivån i installerat grundvattenobservationsrör, 17GA04B behöver mätas kvartalsvis i syfte att fånga upp årstidsvariationerna. En längre mätserie är fördelaktig.

8.3 Bergteknik

Någon bergkartering avseende bergmassans karaktär eller tekniska egenskaper har inte utförts. Inte heller avseende tunnel- och schaktstabilitet. Områden med leptit och glimmerskiffer/glimmergnejs kan vara mycket skiffrika - i synnerhet nära Arlanda och kan komma att orsaka stora skred om planstrukturerna har en ogynnsam riktning i förhållande till höga schaktväggar. Områden med granitoider bedöms innehålla bergmassa som huvudsakligen bedöms hålla god kvalitet för bergarbeten. Lokalt kan det dock förekomma risk för skred längs plan med ogynnsam riktning.

Sådana risker kan minimeras om sprängda slänter kan utföras med flack lutning och användas som täkter för terrassfyllnad och annan ballast.

Riskerna för instabilitet i bergskärningar bedöms vara minst för alternativ Nord och högst för alternativ Syd.

Primärt för en fortsatt lokalisering och projektering är bland annat:

- Fastläggande om huruvida bergtunnel blir aktuellt eller ej, alltså val av ett av de tre studerade alternativen;
- Klarläggande av restriktioner från Swedavia med hänsyn till flygplanssäkerhet/säkerhetsbevisning under byggtiden vid eventuell bergschakt nära Arlanda flygplats bana 3:s södra ände.

Vidare rekommenderas följande undersökningar i nästa projekteringskede för valt alternativ:

- Översiktlig kartering av planerade skärningar med höjd >3 m för att lokalisera planstrukturer med ogynnsamt läge och ogynnsam orientering relativt planerad schaktvägg;
- Översiktlig kartering av planerade skärningar avseende bergkvalitet för ballaständamål. Provtagning och provning av representativa prov;
- För eventuell bergtunnel:
 - Linjekartering för insamling av data för bedömning av bergmassans karaktär och kvalitet avseende bergbyggande
 - Kärnbörning.

9.0 BILAGOR

Bilaga 1 Jordartskartan, med samtliga alternativ

Bilaga 2 Jorddjupskartan, med samtliga alternativ

Signaturer

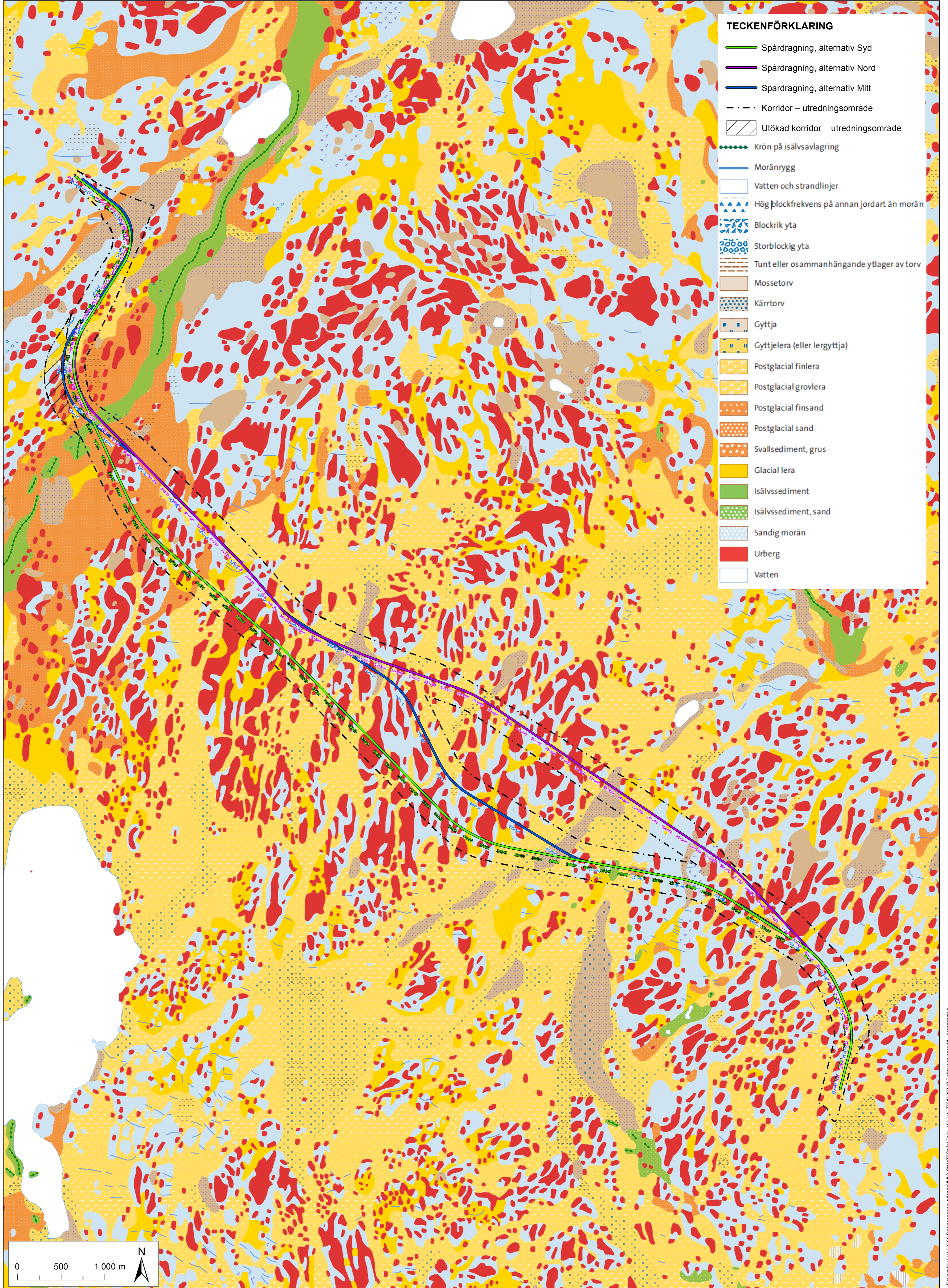
Golder Associates AB

Tanja Bojovic
Teknikansvarig Geoteknik

Markus Kappling
Uppdragsledare

Org.nr 556326-2418
VAT.no SE556326241801
Styrelsens säte: Stockholm

g:\projekt\2016\1671058 roslagsbanan-arlanda forts\8_rapport\pm_geo_hydro_berg\pm geoteknik_hydrogeologi och berg_180630.docx



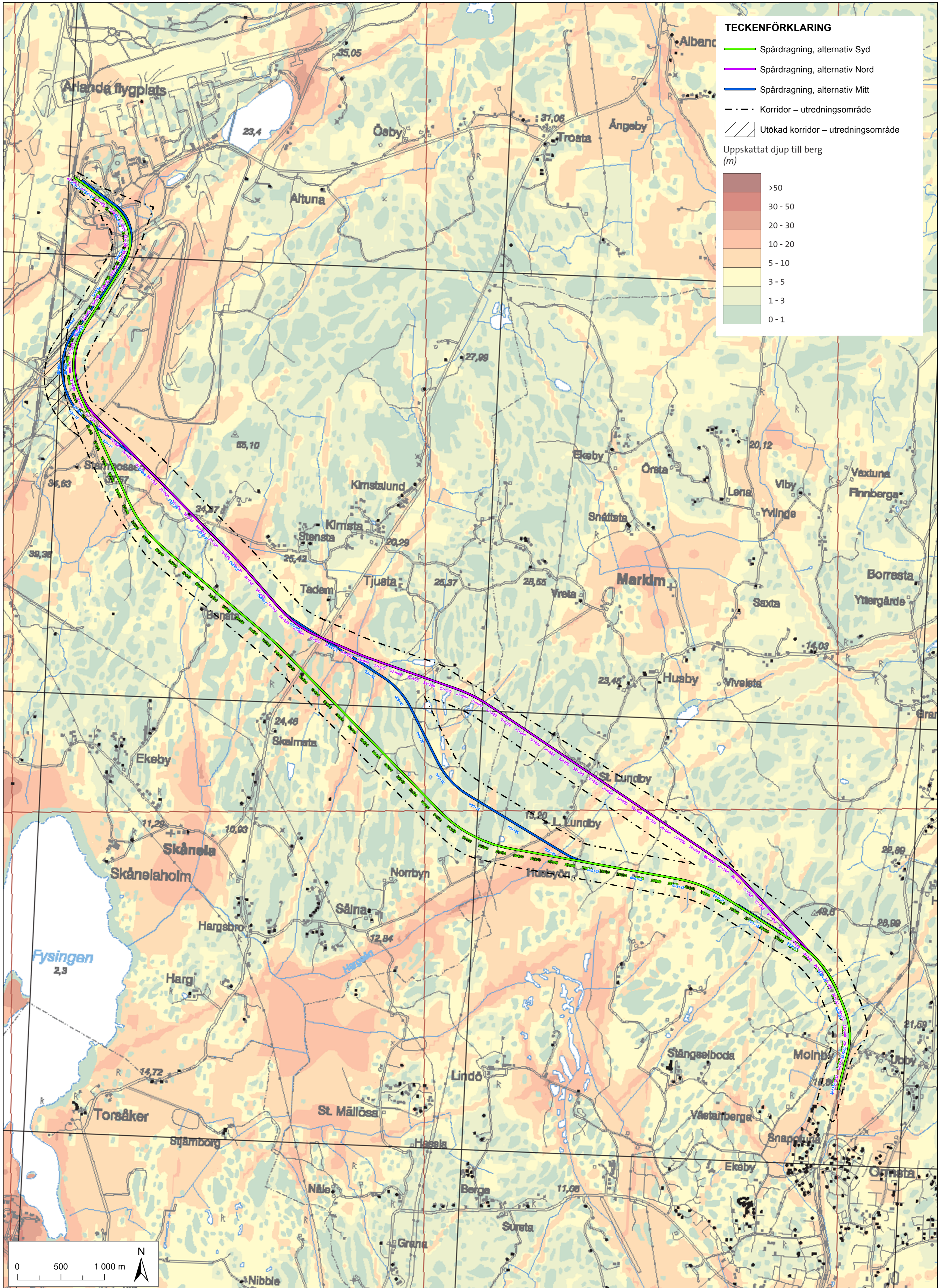
Upprättad av: M. Karpman

Handlaggare: T. Bogovic

Road av: M. Sjostrom

Utsida: © Lantmateriet, Arlanda nr. 142014/2012

© Projekt20181528760 Roslagsbanan-Arlanda\GIS\XDO\Sjostrom\Ar_180611_TB1528760_Sjostrom\Ar_1_Jordarter.mxd



Uppdragsledare: M. Karpman

Handläggare: T. Bogovic

Risör: M. Sjostrom

Utslag: © Lantmateriet, Arlanda nr. 14204/0202

© Projekt20181528760 Roslagsbanan-Arlanda\GIS\XDO\SparAvor_180611_TB11528760_SparAvor\A1_Jorddjup.mxd



golder.com