

P-06-249

Slutförvar Forsmark, Simpevarp och Laxemar

Inläckage av grundvatten samt påverkan på hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden

Kent Werner, Golder Associates AB

Oktober 2006

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



ISSN 1651-4416

SKB P-06-249

Slutförvar Forsmark, Simpevarp och Laxemar

Inläckage av grundvatten samt påverkan på hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden

Kent Werner, Golder Associates AB

Oktober 2006

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se

Förord

Denna rapport har utarbetats av Kent Werner på Golder Associates AB, Stockholm i samarbete med Emma Bosson och Sten Berglund på Platsundersökningar – Analys, SKB i Stockholm. Emma Bosson har utfört kompletterande resultatanalyser som stöd för denna rapport. Vidare är flertalet av figurena och kartbilderna i rapporten framtagna på svenska eller på andra sätt i specialanpassade versioner med hjälp av Emma Bosson samt Helena Nyman, SWECO Position. Om inget annat nämns i rapporten, utgör i förekommande fall Fastighetskartan underlag för kartbilderna.

Sammanfattning

Denna rapport ger en sammanfattande beskrivning av naturliga (opåverkade) hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden vid slutförvarslokaliseringarna Forsmark, Simpevarp och Laxemar. Beskrivningen baseras på SKB:s platsbeskrivningar version 1.2 för respektive plats. Rapporten ger bedömningar avseende inläckage samt omgivningspåverkan (grundvattenavsänkning och dess påverkansområde) vid byggnation, drift och förslutning av ett slutförvar för använt kärnbränsle vid dessa platser.

Bedömningen av förvarets omgivningspåverkan baseras främst av beräkningsresultat från två olika numeriska flödesmodeller, DarcyTools och MOUSE-SHE (för slutförvaret i Simpevarp har endast DarcyTools använts). Underlaget för modelleringen utgörs av SKB:s platsbeskrivningar version 1.2, vilka kommer att uppdateras i nya versioner. Vidare utgår modellerna från en preliminär layout för respektive förvarslokalisering. Flödesmodellerna kommer därför att utvecklas vidare då platsbeskrivningarna uppdateras. Resultaten kan också påverkas av förändringar med avseende på förvarets layout.

Modelleringarna har genomförts i den ordning de presenteras i rapporten (Forsmark, Simpevarp och Laxemar). Vissa aspekter på de numeriska modellerna, och kopplingen mellan dem, har utvecklats och förbättrats under arbetets gång. Exempel på viktigare skillnader mellan modelleringarna är hur injekteringen simuleras i DarcyTools, samt möjligheten att visualisera modellresultat från denna modell, t ex tillsammans med annat kartunderlag.

Resultaten visar på litet inläckage och litet påverkansområde för ett slutförvar i Forsmark. Förvarets övre delar (ca 100 m och uppåt) ger det största bidraget till inläckaget och påverkansområdet. Detta indikerar att omgivningspåverkan från förvarets djupa och ytliga delar kan analyseras separat. För slutförvar i Simpevarp och Laxemar visar resultaten att även de djupa förvarsdelarna ger ett inläckage och upphov till en avsänkning av grundvattenytan. Det är därför svårare att frikoppla de djupa och de ytliga förvarsdelarna i en analys av omgivningspåverkan vid dessa platser. Ett förvar vid Simpevarp ger ett större inläckage men ett mindre påverkansområde jämfört med ett förvar i Laxemar. Skillnaden beror sannolikt på att Simpevarp är beläget vid havet och Laxemar längre inåt land. Det är dock skillnad på hur injekteringen simuleras i DarcyTools-modellen av dessa platser, vilket försvårar jämförelsen.

En enkel beräkning utgående från nettonederbörden (årsmedelvärdet) vid respektive plats ger att det modellberäknade inläckaget till ett slutförvar i Forsmark motsvarar ett påverkansområde från ca 1 km² (vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen $K_{inj} = 10^{-7}$ m/s) till ca 0,3 km² ($K_{inj} = 10^{-9}$ m/s). För ett slutförvar i Simpevarp motsvarar inläckaget ett påverkansområde från ca 36 km² (skinfaktor = 0,1) till ca 1,5 km² (skinfaktor = 0,001); i Simpevarpsmodelleringen användes en ”skinfaktor” för att simulera injekteringen. För ett slutförvar i Laxemar ger motsvarande jämförelse ett påverkansområde från ca 11 km² ($K_{inj} = 10^{-7}$ m/s) till ca 6,5 km² ($K_{inj} = 10^{-9}$ m/s). Eftersom modelleringsresultaten är att betrakta som preliminära, uttrycker de främst skillnader mellan hur platserna fungerar ur hydrogeologisk och hydrologisk synpunkt. Resultaten är alltför preliminära för att kunna visa på förvarets omgivningspåverkan i absoluta termer.

Exempel på osäkerheter i modelleringarna är hur berget representeras i de ”bergmodeller” som ligger till grund för modelleringen; detta gäller särskilt med avseende på bergets översta delar. Vidare har kontakten mellan jord och berg identifierats som en viktig faktor för grundvattenavsänkningen och dess påverkansområde. Det kan vara ett mindre utbyte av grundvatten mellan jord och berg än vad som antas i nuvarande modeller, vilket skulle innebära att modellerna överskattar grundvattenytans avsänkning kring förvaret. Kontakten mellan ytvatten (sjöar, vattendrag och hav) och grundvatten är en annan viktig faktor för avsänkningen och dess

påverkansområde. Utbytet mellan yt- och grundvatten kan vara större än vad som antas i modelleringen. Detta kan innebära att inläckaget blir större, men också att påverkansområdet blir mindre, än vad modellerna visar. Det innebär samtidigt att påverkan på sjöar och vattendrag kan bli större än vad modelleringen visar.

Summary

This report summarizes the description of the natural (uninfluenced) hydrogeological and hydrological conditions at the final repository locations Forsmark, Simpevarp and Laxemar. For each site, the description is based on SKB's site descriptions version 1.2. The report provides assessments of the inflow and the effects on the surroundings (groundwater drawdown and the associated area of influence) due to construction, operation, and closing of a repository for spent nuclear fuel at the above locations.

The assessment of the effects of the repository on its surroundings is primarily based on calculation results from two numerical flow models, DarcyTools and MOUSE-SHE (for Simpevarp, only DarcyTools has been used). The basis for the modelling is SKB's site descriptions version 1.2, which will be updated in the form of new versions. Moreover, the models are based on a preliminary layout of the repository at each location. Hence, the flow models will be developed further when the site descriptions are updated. The results may also be affected by changes of the repository layout.

The modelling projects have been performed in the same order as they are presented in the report (Forsmark, Simpevarp and Laxemar). Some aspects of the numerical models, and the coupling between them, have been developed and improved during the course of work. Examples on major differences between the models include the technique to simulate grouting in DarcyTools, and the possibility to visualize modelling results from this model, for instance on other types of background maps.

The results show a small inflow and a small area of influence for a repository at Forsmark. The upper parts of the repository (c 100 m depth and upwards) give the largest contribution to the inflow and the area of influence. This indicates that the effects on the surroundings from the deep and the near-surface parts of the repository can be analysed separately. For a repository at Simpevarp and Laxemar, the results show that also the deep parts of the repository yield an inflow and cause a lowering of the groundwater table. Hence, it is more difficult to decouple the deep and the near-surface parts of the repository at these locations. A repository at Simpevarp causes a larger inflow but a smaller area of influence, compared to a repository at Laxemar. This difference is most likely due to that Simpevarp is located by the sea, whereas Laxemar is located further inland. However, there are differences in terms of how grouting is simulated in the DarcyTools modelling of the locations, which makes the comparison difficult.

A simple estimate, based on the net recharge (annual mean) at each site shows that the model calculated inflow to a repository at Forsmark corresponds to an area of influence from c 1 km² (hydraulic conductivity in the grouted zone $K_{inj} = 10^{-7}$ m/s) to c 0.3 km² ($K_{inj} = 10^{-9}$ m/s). For a repository at Simpevarp, the inflow corresponds an area of influence from c 36 km² (skin factor = 0.1) to c 1.5 km² (skin factor = 0.001); in the Simpevarp modelling, a "skin factor" was utilized to simulate the grouting. For a repository at Laxemar, a similar comparison provides an area of influence from c 11 km² ($K_{inj} = 10^{-7}$ m/s) to c 6.5 km² ($K_{inj} = 10^{-9}$ m/s). Since the modelling results are preliminary, they principally express differences between the locations in terms of their hydrogeological and hydrological characteristics. The results are yet too preliminary to demonstrate the effects of a repository on its surroundings in absolute terms.

Examples of uncertainties in the modelling include the representation of the bedrock in the "bedrock models", providing the basis for the modelling; this particularly applies to the upper parts of the bedrock. Moreover, the interaction between Quaternary deposits and bedrock is identified as an important factor for the groundwater drawdown and its area of influence. There may be less exchange of groundwater between Quaternary deposits and bedrock than assumed in the present models, which would imply that the models overestimate the groundwater

drawdown around the repository. The interaction between surface water (lakes, watercourses and the sea) and groundwater is another important factor for the drawdown and its area of influence. The exchange between surface- and groundwater may be larger than assumed in the modelling. This, in turn, could imply that the inflow becomes larger, but also that the area of influence becomes smaller than shown by the modelling. This larger exchange would also imply that the effects on lakes and watercourses are larger than shown by the modelling.

Innehåll

1	Inledning	11
1.1	Bakgrund och syfte	11
1.2	Förvarslokaliseringarna Forsmark, Simpevarp och Laxemar	12
1.3	Underlag	13
2	Slutförvarets utformning samt dess omgivningspåverkan	15
2.1	Slutförvarets principiella utformning och utbyggnadsskeden	15
2.2	Grund- och ytvattenpåverkan från ett slutförvar och dess möjliga följdverkningar	15
2.3	Erfarenheter från andra undermarksanläggningar i berg	17
2.4	Bedömning av inläckage och omgivningspåverkan med analytiska beräkningsmodeller	19
2.4.1	Slutförvar Forsmark	20
2.4.2	Slutförvar Simpevarp	21
2.4.3	Slutförvar Laxemar	22
3	Slutförvar Forsmark	27
3.1	Allmän beskrivning av platsen och slutförvaret	27
3.2	Opåverkade hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden	28
3.2.1	Topografiska och meteorologiska förhållanden	28
3.2.2	Hydrologiska förhållanden	29
3.2.3	Jordlagerförhållanden	31
3.2.4	Bergförhållanden	33
3.2.5	Grundvattenförhållanden	33
3.2.6	Jord- och bergbrunnar samt Forsmarks Kraftgrupps vattenhantering	35
3.3	Bedömning av slutförvarets omgivningspåverkan	35
3.3.1	Numerisk modellering	35
3.3.2	Inläckage till slutförvaret	37
3.3.3	Grund- och ytvattenpåverkan	39
3.4	Sammanfattning och diskussion	48
4	Slutförvar Simpevarp	51
4.1	Allmän beskrivning av platsen och slutförvaret	51
4.2	Opåverkade hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden	52
4.2.1	Topografiska och meteorologiska förhållanden	52
4.2.2	Hydrologiska förhållanden	53
4.2.3	Jordlagerförhållanden	55
4.2.4	Bergförhållanden	57
4.2.5	Grundvattenförhållanden	58
4.2.6	Jord- och bergbrunnar samt OKG:s vattenhantering	59
4.3	Bedömning av slutförvarets omgivningspåverkan	59
4.3.1	Numerisk modellering	59
4.3.2	Inläckage till slutförvaret	60
4.3.3	Grund- och ytvattenpåverkan	60
4.4	Sammanfattning och diskussion	67
5	Slutförvar Laxemar	69
5.1	Allmän beskrivning av platsen och slutförvaret	69
5.2	Opåverkade hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden	70
5.3	Bedömning av slutförvarets omgivningspåverkan	71
5.3.1	Numerisk modellering	71
5.3.2	Inläckage till slutförvaret	73
5.3.3	Grund- och ytvattenpåverkan	75

5.4	Sammanfattning och diskussion	94
6	Referenser	97
Appendix 1	Koppling mellan DarcyTools och MOUSE-SHE	99

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Denna rapport utgör del av MKB-underlaget för ett planerat slutförvar för använt kärnbränsle. Specifikt syftar rapporten dels till att utifrån nu tillgängligt underlag, i form av SKB:s platsbeskrivningar version 1.2, ge en sammanfattande beskrivning av naturliga (opåverkade) hydrogeologiska (grundvatten-) och hydrologiska (ytvatten-) förhållanden vid slutförvarslokaliseringarna Forsmark, Simpevarp och Laxemar. För att hålla rapporten överskådlig fokuseras beskrivningen på de aspekter och geografiska områden som är relevanta för plats-specifik påverkan på grund- och ytvattenförhållandena från ett slutförvar vid dessa tre platser. Rapporten syftar dessutom till att, utifrån befintlig kunskap, beskriva och bedöma påverkade förhållanden vid byggnation, drift och förslutning av ett slutförvar.

Prognoser gällande inverkan på de hydrogeologiska och hydrologiska förhållandena från byggnation och drift av ett slutförvar i Forsmark, Simpevarp och Laxemar har gjorts i ett separat SKB-projekt med två olika numeriska modeller, DarcyTools och MOUSE-SHE. För slutförvar Simpevarp har dock endast DarcyTools-modellen använts. Indata till dessa modeller utgörs av konceptuella modeller och primärdata (till exempel randvillkor, hydrauliska egenskaper i jord och berg samt meteorologiska förhållanden) från SKB:s platsbeskrivningar version 1.2. I Forsmarksmodelleringen behandlar modellerna två olika men delvis överlappande djupintervall. I DarcyTools-modelleringen finns endast de djupa delarna av slutförvaret med, medan MOUSE-SHE-modellen inkluderar de övre förvarsdelarna. De djupa delarna av förvaret beaktas i den senare genom ett randvillkor i modellens botten. I Laxemar-modelleringen finns hela förvaret med i DarcyTools-modellen; MOUSE-SHE-modellen har likartad utformning som i Forsmarksmodelleringen.

Det bör poängteras att dessa modelleringar baseras på en preliminär layout (projekterings skede D1) för respektive förvarslokalisering /SKB 2004/. Detta innebär t ex att scenarier med olika täthetsklasser antagits i modelleringen. Modellresultaten är därför preliminära och kan komma att ändras i nästa skede av projekteringen (D2).

Rapporten sammanfattar prognoser avseende inläckage till ett slutförvar samt dess möjliga påverkan på de hydrogeologiska och hydrologiska förhållandena. Prognoser görs utifrån de naturliga (opåverkade) förhållandena, resultat från de numeriska modellberäkningarna samt erfarenheter från andra undermarksanläggningar i berg. En uppskattning av inläckaget till slutförvarets delar under olika skeden behövs för planering och dimensionering av pump- och eventuella infiltrationsanläggningar. Påverkan på grund- och ytvattenförhållandena är en viktig del av underlaget för att bedöma slutförvarets miljöpåverkan. Det bör observeras att rapporten fokuserar på möjlig grund- och ytvattenpåverkan orsakad av själva slutförvaret, med tillhörande ramper och schakt. Detta innebär att grund- och ytvattenpåverkan orsakad av övriga aktiviteter (till exempel övriga etableringar i bygg- och driftområdet eller anläggande av tillfartsvägar och annan infrastruktur) inte behandlas i rapporten.

Med ”påverkade förhållanden” avses således här avsänkta grundvattennivåer i jord och berg samt avsänkta vattennivåer och/eller minskade vattenflöden i sjöar och vattendrag. Påverkan på vattenförhållandena i den vattenomättade zonen (ovan grundvattenytan) samt i våtmarksområden behandlas också. Vidare beskrivs förvarets påverkan i termer av grundvattnets tryck i berg samt risken för saltvattenuppträngning; detta görs med avseende på uttagsmöjligheter och vattenkvalitet i bergborrade brunnar. Denna rapport går dock inte i detalj in på påverkan på enskilda ”objekt”. Det bör också observeras att omgivningspåverkan i form av eventuella långtidseffekter av framtida spridning av radionuklider från ett slutförvar inte behandlas i denna rapport.

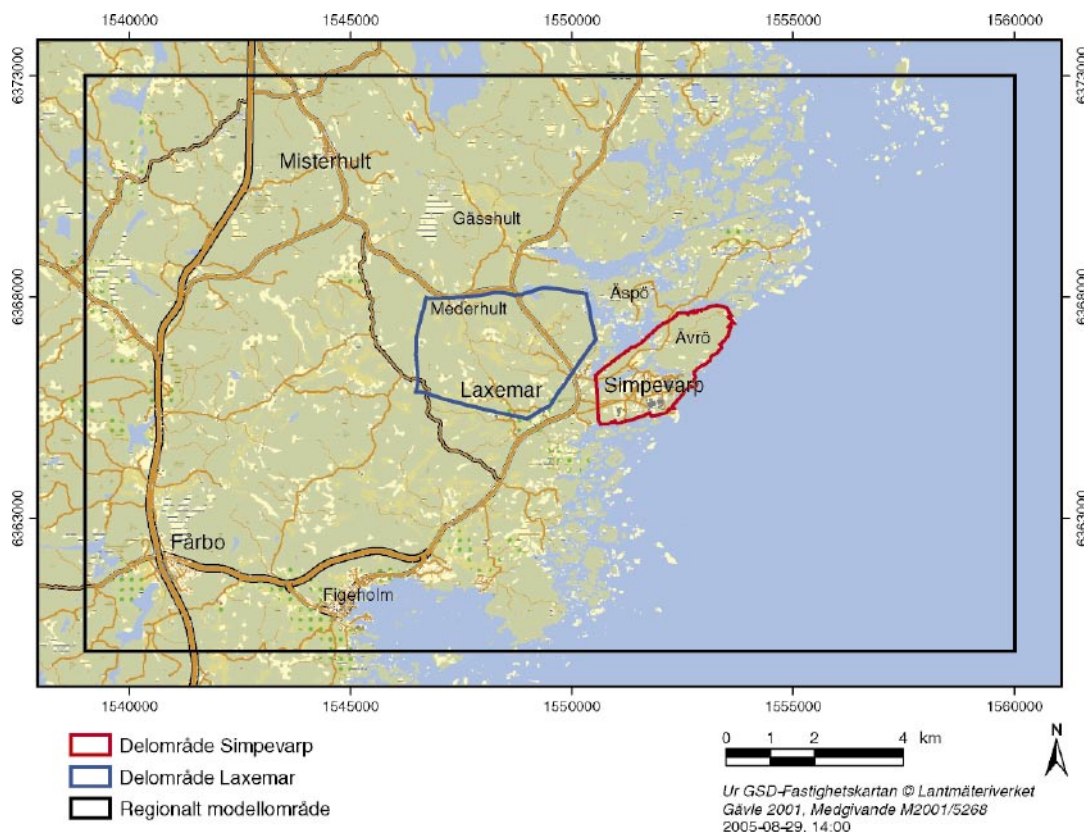
I rapporten används beteckningarna ”ytnära” och ”djup” i samband med beskrivning av slutförvarets och bergets olika delar. Med ”ytnära” avses då i princip de delar av slutförvaret och berget som är belägna inom ett djupintervall av i storleksordningen 0–100 meter, medan ”djup” syftar på de djupare belägna delarna. Vidare används i rapporten det förklarande begreppet ”vattengenomsläpplighet”, vilket avser det som inom hydrogeologin brukar betecknas som den hydrauliska konduktiviteten, K.

1.2 Förvarslokaliseringarna Forsmark, Simpevarp och Laxemar

I rapporten ges en sammanhängande beskrivning av naturliga (opåverkade) och påverkade hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden i tre separata kapitel för vardera av tre alternativa förvarslokaliseringar: Forsmark (Östhammars kommun, Uppland) samt Simpevarp och Laxemar (Oskarshamns kommun, Småland). Notera att SKB:s platsundersökningar (PLU) bedrivs på två platser, PLU Forsmark samt PLU Oskarshamn (se figur 1-1 och 1-2), där Simpevarp och Laxemar utgör delområden inom den senare platsundersökningen. Den uppdelning på tre alternativa förvarslokaliseringar som används av SKB:s avdelningar för MKB och Projektering används alltså i denna rapport.



Figur 1-1. Karta som visar gränserna för det ”regionala modellområdet” vid SKB:s platsundersökningar i Forsmark; detta område har en area av 165 km². Terrängkartan utgör underlagskarta, eftersom Fastighetskartan inte täcker hela det ”regionala modellområdet”.



Figur 1-2. Karta som visar gränserna för det "regionala modellområdet" och "delområdena" Simpevarp och Laxemar vid SKB:s platsundersökningar i Oskarshamn. Det regionala modellområdet har en area av 273 km².

Vid både PLU Forsmark och PLU Oskarshamn utförs platsundersökningarna och platsbeskrivningarna inom ett "regionalt modellområde": Forsmarks regionalområde respektive Simpevarps regionalområde. Speciellt för slutförvarlokaliseringarna Simpevarp och Laxemar är alltså att det finns två "delområden", Simpevarp och Laxemar (se figur 1-2), inom det regionala modellområdet. En stor del av informationen rörande de naturliga (opåverkade) förhållandena i kapitlen Slutförvar Forsmark, Slutförvar Simpevarp respektive Slutförvar Laxemar berör därför hela (eller delar av) det "regionala området", och inte specifikt platsen närmast kring slutförvaret. Om inget annat sägs i rapporten, behandlar informationen de naturliga (opåverkade) förhållandena "regionalområdena" som geografiska områden för respektive slutförvarlokalisering.

1.3 Underlag

Som ett resultat av platsundersökningarna i Forsmark och Oskarshamn tas platsbeskrivande modeller (platsbeskrivningar) fram i successiva versioner. De modellversioner som benämns 1.1 och 1.2 är resultatet av de inledande platsundersökningarna. Den slutliga platsbeskrivande modellen, 2.3, tas fram då de kompletta platsundersökningarna avslutats. Beskrivningen av de naturliga (opåverkade) hydrogeologiska och hydrologiska förhållandena i denna rapport baseras på version 1.2 av platsbeskrivningarna för platserna Forsmark /SKB 2005a/, Simpevarp /SKB 2005b/ samt Laxemar /SKB 2006/. Underlag som har specifik relevans för denna rapport är beskrivningarna av de ytnära ekosystemen /Lindborg 2005ab, 2006/ samt tillhörande underlagsrapporter för klimat, ythydrologi och ytnära hydrogeologi /Johansson m fl 2005, Werner m fl 2005, 2006/.

Prognoser avseende inläckage till slutförvaret samt påverkan på de hydrogeologiska och hydrologiska förhållandena har genomförts genom numeriska modellberäkningar för platserna Forsmark /Bosson och Berglund 2006, Svensson 2005a/, Simpevarp /Svensson 2005b/ och Laxemar /Bosson 2006, Svensson 2006/. Observera att i den numeriska modelleringen för slutförvar Forsmark har uppdaterad information rörande bergets geologi och en delvis ny parametrisering av dess hydrogeologiska egenskaper använts, jämfört med platsbeskrivning version 1.2. Tidigare gjorda sammanställningar av erfarenheter från andra undermarksanläggningar i berg samt enkla analytiska beräkningsmodeller /Axelsson och Follin 2000, Magnusson och Bergvall 2006, Olsson och Brantberger 2005ab, Tengborg 2005, SKB 2004/ har använts för rimlighetsbedömning av och jämförelse med resultaten från de numeriska modellberäkningarna.

2 Slutförvarets utformning samt dess omgivningspåverkan

2.1 Slutförvarets principiella utformning och utbyggnadsskeden

Slutförvaret består av anläggningar både ovan och under markytan, vars detaljutformning kommer att anpassas till de platsspecifika förhållandena. Den platsspecifika anpassningen görs bland annat utifrån eventuellt förekommande större sprickzoner i berget, planförhållanden på markytan, samt övrig verksamhet och infrastruktur. Som exempel får större vattenförande sprickzoner i berget inte förekomma inom själva ”förvarsvolymen”, och får endast i undantagsfall passeras av den tunnelramp som leder ned till slutförvaret från markytan /Almén m fl 1996/.

Den principiella utformningen av slutförvarets undermarksdelar (som behandlas i denna rapport) innefattar ett stort antal parallella deponeringstunnlar på cirka 400–700 m djup under markytan (i det följande benämnt ”förvarsdjup”), med tillhörande transporttunnlar, serviceutrymmen och ventilationssystem. Slutförvarets delar byggs i etapper och består förutom ovanjordsdelarna av nedfart/tillfartstunnel (utformad som rak ramp eller spiralramp), centralområde, schakt för ventilation och transporter av personal och bergmassor (skip) och ett område för deponering av använt kärnbränsle.

De olika skedena i utbyggnaden och driften av slutförvaret är (Elin Forsberg pers. komm. 2005):

- a) byggskede (uppförande; pågår i cirka 7 år och kan indelas i byggskede 1, cirka 3,5 år och byggskede 2, cirka 3,5 år),
- b) driftskede (pågår cirka 40 år och kan indelas i provdrift och rutinmässig drift),
- c) återfyllnads- och återställningsarbeten (som bland annat syftar till att minska sannolikheten för betydande genomströmning av grundvatten efter förslutning av förvaret).

2.2 Grund- och ytvattenpåverkan från ett slutförvar och dess möjliga följdverkningar

Grundvatten kommer att läcka in till slutförvaret om detta korsar vattenförande sprickor och sprickzoner i berget. Inflödets storlek styrs främst av bergets vattengenomsläpplighet, varför slutförvaret lokaliseras till ett område med förhållandevis tätt berg /Axelsson och Follin 2000/. Om vattenförande sprickor och sprickzoner ändå påträffas under byggnationen, kommer dessa att tätas med injektering för att minska inläckaget. Eftersom det inte är praktiskt möjligt att konstruera en helt tät större undermarksanläggning, kommer (trots injekteringsinsatser) ändå ett visst inläckage av grundvatten att ske både under både byggnation och drift av slutförvaret.

Inläckage till och dränering av slutförvaret medför en sänkning av grundvattentrycket i berget kring slutförvaret. Trycksänkningen blir störst närmast förvaret, och avtar sedan med avståndet från detta. Avsänkningen på längre avstånd sker främst längs med sprickzoner som står i hydraulisk kontakt med slutförvaret. Om detta via sprickzoner står i kontakt med större sjöar, vattendrag eller med havet begränsas det påverkade områdets storlek, eftersom dessa fungerar som ”infiltrationsmagasin”. En förutsättning för att grundvattenflödet och grundvattenytan i jord skall avsänkas är att grundvattennivån avsänks i den övre delen av berget som är i kontakt med jordlagren. Risken för avsänkning av grundvattennivån i bergets övre del (och därmed risken för avsänkning av grundvattennivån i jord) är störst nära de övre delarna av förvaret, det vill säga vid påslag för tillfartstunnel (ramp) och schakt. De djupare delarna av förvaret kan orsaka en tydlig avsänkning av grundvattennivån i bergets övre del och i jord endast om det finns kontinuerliga grundvattenförande sprickor eller sprickzoner upp mot den övre delen av berget.

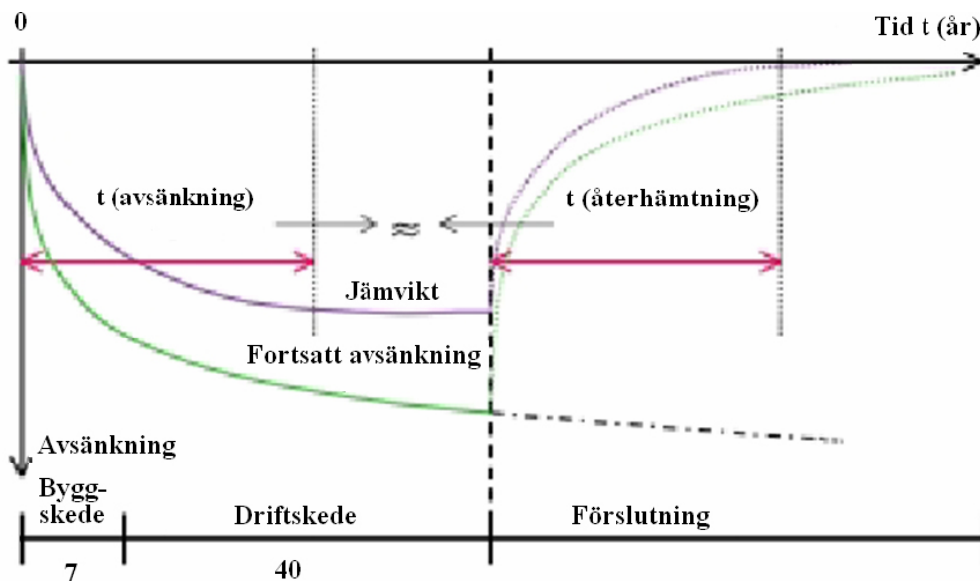
Avsänkning av berggrundvattnet är alltså en förutsättning för avsänkning av grundvattennivån i jord. Storleken på avsänkningen i jord styrs av jordlagrens genomsläpplighet, vattenhållande egenskaper och av grundvattenbildningen till jordlagren /Axelsson och Follin 2000/. Läckaget från jord till berg blir litet om jordlagren som vilar på bergöverytan består av täta jordarter. Exempel på täta jordarter är lerig eller siltig morän. Samma sak gäller om det finns sammanhängande skikt med tätare lager i en jord som i övrigt är vattengenomsläpplig. Läckaget från jord till berg, och därmed grundvattenavsänkningen i jord, blir större om jordlagren består av grövre jordarter. Exempel på sådana grövre jordarter är sand, grus eller sandig-grusig morän.

I den erfarenhetssammanställning som gjorts /Axelsson och Follin 2000/ anges att man utifrån erfarenheter inte kan förvänta någon påtaglig avsänkning av grundvattennivån kring ett slutförvar i områden med relativt täta jordarter. Å andra sidan kan grundvattenmagasinet i jord tömmas helt om området består av till exempel sand och grus, och om jordlagren har en mäktighet av storleksordningen någon meter. Om jordlagren är mäktigare (flera meter) kan det ske en grundvattennivåavsänkning, men utan att grundvattenmagasinet töms helt.

Tidsförloppet för avsänkningen och dess återhämtning är av intresse för en bedömning av omgivningspåverkan under slutförvarets olika bygg- och driftskeden. Figur 2-1 nedan illustrerar tidsförloppets generella princip.

Avsänkningen och storleken på det område som påverkas, ”påverkansområdet” (se förklaring av begreppet nedan), ökar tills det råder balans mellan inläckaget till slutförvaret och tillflödet från jordlager och ytvattendrag, sjöar och hav. Erfarenheter från bland annat Äspölaboratoriet (SKB:s undermarkslaboratorium i berg i Oskarshamn) indikerar att varaktigheten för det tidsberoende förloppet inte är särskilt lång; större delen av grundvattennivåns avsänkning vid byggnation och drift av ett slutförvar bedöms uppstå redan under de första 6–10 åren. Den fortsatta avsänkningen under utbyggnadsetapp 2 (reguljär drift) är troligen ringa. Efter avvecklingskedet och förslutnings- och återställningsarbetena sker en återhämtning av grundvattennivåerna, vilket i princip är en spegelvänd process jämfört med avsänkingsförloppet.

Med ”påverkansområdet” menas det område inom vilket grundvattennivån avsänks till följd av inläckaget till slutförvaret. Storleken och formen på detta område i berget (dvs det område inom vilket det sker tryckförändringar i berget) styrs främst av de hydrauliska egenskaperna och geometrin hos de sprickzoner i berget som står i kontakt med slutförvaret. Detta område kan



Figur 2-1. Avsänkningens och återhämtningens principiella tidsförlopp under bygg-, drift- och förslutningsskedena; modifierad från /Axelsson och Follin 2000/.

därför ha en mycket oregelbunden form, och det krävs detaljerad kunskap om sprickzonernas egenskaper för att kunna förutse storleken och formen på påverkansområdet i berg på förhand.

Storleken och formen på påverkansområdet i jord styrs dels av sprickzonerna i berget (via vilka läckage kan ske från jord till berg), men också av den hydrauliska kontakten med ytvatten (sjöar, vattendrag och hav), den hydrauliska kontakten mellan jord och berg, jordlagrens hydrauliska egenskaper och mäktighet samt i viss mån topografin. Den senare faktorn har ingen egen betydelse för avsänkningen och dess påverkansområde, men topografin återspeglar de hydrogeologiska förhållandena. Erfarenheten har visat att grundvattenavsänkning i jord kring undermarksanläggningar i berg, i de fall grundvattenavsänkning alls kan noteras, ofta blir störst i lågpunkter i terrängen, som ofta sammanfaller med vattenförande sprickzoner i berget. I synnerhet är risken för grundvattenavsänkning stor i sådana lågpunkter om det finns grövre jordarter (till exempel sand, grus eller sandig-grusig morän) ovanpå bergöverytan.

Det finns ett flertal ”skyddsobjekt” som kan utsättas för negativa konsekvenser från grund- och ytvattenpåverkan från ett slutförvar. Med avseende på sänkning av grundvattnets tryck i berg, berör riskerna främst minskade uttagsmöjligheter i bergborrade brunnar. I kustnära brunnslägen finns också risker för saltvattenuppträngning i brunnar som används för vattenförsörjning. För de aktuella slutförvarlokaliseringarna har påverkan på salthalten i grundvattnet undersökts med hjälp av numerisk modellering /Svensson 2005ab, 2006/. Den numeriska modelleringen har dock i första hand fokuserats på risken för saltvattenuppträngning på förvarsnivå, och inte på de mindre djup som är typiska för bergborrade brunnar.

Med avseende på grundvatten i jord innefattar möjlig omgivningspåverkan aspekter som uttagsmöjligheterna i jordbrunnar samt växtlighetens tillgång till markvatten. Växternas känslighet för en avsänkning av grundvattenytan är störst i så kallade utströmningsområden, där grundvattnets flödesriktning helt eller delvis är riktad uppåt, mot markytan. Detta beror på att grundvattennivån ofta är belägen nära markytan. I sådana områden finns därför växter som anpassat sig till dessa förhållanden. Interaktionen mellan grundvatten i jord och ytvatten medför också att utströmningen av grundvatten kan minska som en följd av en grundvattennivåavsänkning, vilket i sin tur kan ge negativ påverkan på främst vattennivåer i våtmarker och vattenflöden i vattendrag. Speciellt känsliga för påverkan är våtmarker som helt eller till största delen försörjs via utströmmande grundvatten (till exempel källflöden). Känsligheten är mindre för sjöar och våtmarker som helt eller till största delen försörjs via vattendrag (om flödet i dessa inte påverkas av slutförvaret) eller nederbörd eller smältvatten som avrinner på berg i dagen och andra täta markytor.

I urbana (bebyggda) områden finns också andra risker med avsänkta grundvattennivåer, nämligen sättningsskador på byggnader och annan infrastruktur. Risken för sättningsskador på till exempel befintliga eller planerade byggnader och VA-ledningar i de aktuella områdena kan därför behöva utredas närmare.

2.3 Erfarenheter från andra undermarksanläggningar i berg

Som underlag för en erfarenhetsbaserad bedömning av förväntat inläckage till ett slutförvar samt förvarets påverkan på grund- och ytvattenförhållandena, ges i detta avsnitt en sammanställning av erfarenheter från andra undermarksanläggningar i berg. Sammanställningen baseras på en tidigare publicerad rapport /Axelsson och Follin 2000/, som behandlar Bolmen- och Hallandsåstunnlarna, ett antal svenska gruvor, Juktans pumpkraftverk samt Äspö berglaboratorium. En uppdelning har gjorts på undermarksanläggningar i berg med låg respektive hög genomsnittlig vattengenomsläpplighet (hydraulisk konduktivitet, anges i m/s och i det följande förkortad K), där den förra kategorin kan antas ha störst relevans med avseende på bergförhållandena vid ett slutförvar /Axelsson och Follin 2000/. Tabell 2-1 och 2-2 sammanfattar ungefärliga värden på djup, uppmätta inläckage samt bergets genomsnittliga vattengenomsläpplighet vid dessa undermarksanläggningar i berg.

Tabell 2-1. Inläckage (avrundade till heltal eller en decimal) till undermarksanläggningar i berg med låg genomsnittlig vattengenomsläpplighet /Axelsson och Follin 2000/.

Plats	Djup (m)	Inläckage l/s	¹ l/(h·1 000 m ³)	Bergets genomsnittliga vattengenomsläpplighet, K (m/s)
Bolmentunneln (Staverhultsområdet)	30–90	6–9	2 700–4 050	10 ⁻⁷
² SFR (Forsmark)	0–140	9,2	76,7	–
Gruvor:				
Dannemora	0–620	7,2	1,6	0,7–1,6·10 ⁻⁸
Stripa	0–460	8,1	6,5	1,5–3,7·10 ⁻⁸
Saxberget	0–745	3,8	7,2	0,4–0,7·10 ⁻⁸
Kristineberg	0–1 210	15	8,7	0,7–1,0·10 ⁻⁸
Renström	0–900	10	15	0,8–1,2·10 ⁻⁸
Garpenberg	0–645	19	29	2,4–4,4·10 ⁻⁸
Kiruna	0–795	103	1,5	2,9–7,2·10 ⁻⁸
Grängesberg	0–690	75	6,5	3,7·10 ⁻⁸
Aitik (dagbrott)	0–170	72	1,3	3,5·10 ⁻⁸

¹ Liter per timme per tusen kubikmeter bergrums-/tunnelvolym.

² Bergets kring SFR har i /Axelsson och Follin 2000/ inte klassats enligt indelningen "låg" eller "hög" vattengenomsläpplighet; anläggningen är medtagen i tabellen eftersom den är belägen nära slutförvar Forsmark.

Tabell 2-2. Inläckage (avrundade till heltal) till undermarksanläggningar i berg med hög genomsnittlig vattengenomsläpplighet /Axelsson och Follin 2000/.

Plats	Djup (m)	Inläckage l/s	¹ l/(h·1 000 m ³)	Bergets genomsnittliga vattengenomsläpplighet, K (m/s)
Juktans pumpkraftverk	50–370	250	² 450	10 ⁻⁸ –10 ⁻⁶ (bergmassa mellan sprickzoner)
Äspö berglaboratorium	0–450	29	1 050	1,6·10 ⁻⁹ –3,2·10 ⁻⁸ (bergmassa mellan sprickzoner)
Hallandsåstunneln	10–160	66	³ 510	Mycket uppsprucket berg

¹ Liter per timme per tusen kubikmeter bergrums-/tunnelvolym.

² Baserat på en upptagen total bergvolym om cirka 2 miljoner m³.

³ Baserat på 34 % färdig tunnelsträckning vid angivet inläckage.

Sammanställningen visar att de uppmätta inläckagen varierar inom vida intervall, även inom respektive "täthetsgrupp". Bergets genomsnittliga vattengenomsläpplighet kan dock vara missvisande, eftersom man kan få relativt stora inläckage vid kontakt mellan en undermarksanläggning och en eller flera enskilda högkonduktiva zoner i berget. I regel är det stora variationer i bergets vattengenomsläpplighet mellan olika delar av berget, även om bergvolymerna är "nära" varandra. Därför behöver inte inläckaget till Äspö berglaboratorium ge en realistisk prognos för inläckaget till ett slutförvar i Simpevarp eller Laxemar, även om dessa platser är "nära" Äspö. Det framgår i regel inte heller i vilken utsträckning injekteringsinsatser gjorts vid de olika undermarksanläggningarna.

En slutsats i rapporten är dock att inläckaget per enhetsvolym generellt är större till en tunnel än till ett bergrum, eftersom en tunnel har större kontaktyta med berget. I sammanställningen, som gjordes innan SKB:s platsundersökning och projektering påbörjats i Forsmark, Simpevarp och Laxemar, anges att man utifrån erfarenheter från svenska gruvor kan förvänta ett inläckage till ett slutförvar om i storleksordningen 500 l/minut (cirka 8 l/s) under byggskedet och det inledande driftskedet. Förväntat inläckage under det reguljära driftskedet bedömdes till i storleksordningen 1 000 l/minut (cirka 16 l/s).

Det finns också dokumentation från vissa andra undermarksanläggningar i berg avseende grundvattenavsänkning /Axelsson och Follin 2000/. Under byggnationen av Bolmentunneln avsänktes grundvattennivån i berg med cirka 1 m i den södra delen av tunneln och 5–16 m i den centrala och norra delen. Grundvattennivån i jord avsänktes endast lokalt ovanför tunneln, förutom längs en sprickzon i berg, där grundvattenavsänkning observerades upp till 800 m från tunneln. Grundvattenavsänkningen i jord var i regel mindre än 1 m, förutom i de lägst belägna områdena med sprickigt berg i dess övre del; i dessa områden var avsänkningen upp till 3 m. Ingen eller liten grundvattenavsänkning observerades i jordbrunnar i högre belägna moränområden. Från Bolmentunneln finns ingen dokumentation rörande påverkan på växtlighet, dock avsänktes grundvattennivån i myrar (belägna ovanför sprickzoner i berget) med cirka 0,6–0,7 m upp till 200 m från tunneln.

För svenska gruvor har man i olika utredningar bedömt att områden på avstånd upp till cirka 500–2 000 m kan påverkas i form av avsänkta grundvattennivåer. I regel finns det rikligt med växtlighet nära gruvor, trots att grundvattennivån i berg i vissa fall är avsänkt till 100 m under markytan. För Juktans pumpkraftverk har man beräknat att det område där avsänkta grundvattennivåer kan ha uppstått är cirka 50 km². Ingen påverkan på växtligheten har noterats, dock har en tjärn torrlagts och brunnar cirka 2 000 m från anläggningen har uppvisat avsänkta grundvattennivåer. Vid Äspötunneln har man observerat en grundvattentrycksänkning om några meter på stora djup i berget på den norra delen av ön. Den största observerade påverkan är en grundvattenavsänkning på cirka 85 m direkt ovanför tunneln i den södra delen av Äspö. Vid byggnationen av Hallandsåstunneln var avsänkningen (år 2000) i jordbrunnar kring tunneln i medel cirka 0,6 m. De mest påverkade brunnarna fanns på ett avstånd av cirka 150 m från tunneln, där den då största uppmätta avsänkningen var 3,5 m. Huvuddelen av de brunnar där avsänkning uppmätts finns inom ett avstånd av 600 m från tunneln.

I sammanhanget kan också nämnas ett flerårigt forskningsprojekt, där genom fältförsök bl a studerade påverkan på grundvattennivåer, vattenbalans och grundvattenkemi vid långtidspumpning (1999–2002) i ett bergborrhål på Äspö /Ericsson och Hultberg 2003/. Inom forskningsprojektet genomfördes parallella fältförsök i Gårdsjön i Stenungsund.

Det täta berget kring borrhålet på Äspö medgav endast ett litet vattenuttag, vilket i sin tur gav upphov till en något minskad avrinning från det studerade området; uttaget var mindre än 10 % av avrinningen från området. Det täta berget innebar också att avsänkningen av grundvattennivån blev stor i det pumpade borrhålet (ca 40 m), men det påverkade området blev litet (50–100 m) med avseende på grundvattennivån i berg. En slutsats från fältförsöken på Äspö var att jämfört med det lilla vattenuttaget, hade vädrets variationer en större inverkan på grundvattennivåns variationer i både jord och berg. Resultaten från fältförsöken indikerade också på en ökning av grundvattenbildningen till djupa delar av berget, motsvarande den uttagna volymen vatten.

2.4 Bedömning av inläckage och omgivningspåverkan med analytiska beräkningsmodeller

Vid projektering av ett slutförvar utgör prognoser av inläckaget ett viktigt underlag för planering och dimensionering av till exempel injekteringsinsatser, pumpar och andra tekniska installationer. Som del av den inledande projekteringen av olika slutförvarslokaliseringar skall därför inläckage, samt även omgivningspåverkan, bedömas genom analytiska beräkningsmodeller (ekvationer). SKB /SKB 2004/ har utarbetat anvisningar för vilka analytiska beräkningsmodeller som skall användas för dessa syften. Med avseende på omgivningspåverkan ingår endast grundvattenavsänkning i anvisningarna, således beaktas inte påverkan på till exempel ytvattennivåer eller -flöden /SKB 2004/. Av anvisningarna framgår bland annat att osäkra indata bör beaktas genom att beräkningarna utförs stokastiskt. Detta innebär att indata antas ha vissa sannolikhetsfördelningar, vilket medför att även resultaten av beräkningarna är i form av sannolikhetsfördelningar.

I följande avsnitt sammanfattas de analytiska beräkningar som utförts som del av projekteringen av slutförvaret. Eftersom de analytiska beräkningarna här används för jämförelse med de numeriska beräkningarna, redovisas de olika typerna av beräkningarna separat; de numeriska beräkningar som utförts redovisas i avsnitten 3.3, 4.3 och 5.3. I detta avsnitt görs endast en redovisning av beräkningsresultaten, medan jämförelsen med den numeriska modelleringen alltså görs längre fram i rapporten.

2.4.1 Slutförvar Forsmark

Inläckage och hydrogeologisk omgivningspåverkan vid slutförvar Forsmark har beräknats med analytiska modeller /Olsson och Brantberger 2005a/ enligt SKB:s anvisningar /SKB 2004/. Beräkningarna av inläckaget har utförts stokastiskt (med sannolikhetsfördelningar för ingående parametrar), för ett slutförvar med två alternativa förvarsdjup: 400 samt 500 m under havets nivå. Det framgår i rapporten att de föreslagna analytiska modellerna för beräkning av grundvattenavsänkningen inte är tillämpbara för slutförvar Forsmark. Orsaken är att bergförhållandena kan karaktäriseras som ett ”tätt” berg, överlagrat av ett ytnära berg (i detta fall avses berget över 200 m under havets nivå) med vattenförande sprickor, vilka sannolikt står i direktkontakt med havet. På grund av detta har inga analytiska beräkningar gjorts av grundvattenavsänkningen. Däremot har trycksänkningen i berg (”influensavståndet”, som skall ge ett mått på påverkansområdet) beräknats för förvarsdjupet 400 m under havets nivå. Vidare har analytiska modeller använts för att studera vissa delar av förvaret samt effekten av injektering.

Den analytiska modellen för inläckaget tar inte hänsyn till någon grundvattenavsänkning, varför beräkningarna generellt ger en överskattning av inläckaget /Olsson och Brantberger 2005a/. Beräkningarna är gjorda med avseende på ”tidigt skede” (inledande drift, endast en del av deponeringstunnlarna öppna) och ”sent skede” (reguljär drift, samtliga deponeringstunnlar öppna). Resultatet av de stokastiska beräkningarna med avseende på inläckaget redovisas i tabell 2-3 nedan. I beräkningarna beaktas ett injekterat slutförvar, med en vattengenomsläpplighet i injekteringen på $K = 10^{-9}$ m/s. Endast detta fall avseende injekterings vattengenomsläpplighet beaktades i de analytiska beräkningarna. Som orsak anges att högre vattengenomsläpplighet inte är motiverat att undersöka, på grund av bergets låga ”ursprungliga” vattengenomsläpplighet. Vidare antas en lägre vattengenomsläpplighet än så inte kunna uppnås med normal injekteringsteknik (användning av cementbaserade injekteringsmedel). Observera att i tabellen ingår inte inläckage till ramp (tillfartstunnel), schakt eller tunnlar på förvarsdjup som passeras av deformationszoner. I en separat rapport /Olsson och Brantberger 2005b/ görs en redovisning av inläckaget till rampen (tillfartstunneln) där denna passerar högkonduktiva zoner i berget.

De analytiska beräkningarna av ”influensavståndet” i berg (på djupet 400 m under havets nivå) ger att detta avstånd (medianen, det vill säga med sannolikhet 50 % att det överskrids/underskrids) är cirka 300 m i det ”tidiga skedet” och cirka 800 m i det ”sena skedet”. För punkten 95 % på den erhållna stokastiska fördelningen är motsvarande influensavstånd beräknade till

Tabell 2-3. Beräknade inläckage till slutförvaret för olika förvarsdjup (m under havets nivå) under ”tidigt skede” (inledande drift) och ”sent skede” (reguljär drift). Vattengenomsläpplighet för injekteringen $K = 10^{-9}$ m/s. Inläckagen har beräknats stokastiskt och anges här för två olika punkter på den erhållna stokastiska fördelningen (50 % och 95 %), vilka anger sannolikheten att inläckaget underskrids /Olsson och Brantberger 2005a/. Inläckagen är exklusive ramp (tillfartstunnel), schakt och tunnlar på förvarsdjup som passeras av deformationszoner i berget.

Förvarsdjup (m under havets nivå)	Inläckage (l/s)		Sent skede (reguljär drift)	
	Tidigt skede (inledande drift) 50 %	95 %	50 %	95 %
400	0,016	0,221	0,030	0,425
500	0,025	0,346	0,046	0,664

cirka 400 m och 2 300 m. Influensavståndet (räknat från förvarets centrum) är i beräkningarna definierat som det största avstånd där trycksänkningen i berg på det aktuella djupet ”bör kunna registreras” /Olsson och Brantberger 2005a/. Hur influensavståndet definierats framgår inte. I rapporten påpekas att dessa beräknade avstånd också kan ifrågasättas, eftersom beräkningarna inte tar hänsyn till det mer grundvattenförande ”yttnära” berget. Enligt rapporten innebär en stor vattentillgång i det mer vattengenomsläppliga yttnära berget att en påverkan på grundvattennivåerna vid markytan kan uteslutas för det undersökta fallet avseende injekteringens vattengenomsläpplighet ($K = 10^{-9}$ m/s). Det skall dock observeras att den slutsatsen baseras på analytiska beräkningar som inte tar hänsyn till ramp (tillfartstunnel), schakt och tunnlar på förvarsdjup som passerar av deformationszoner i berget.

Inläckage till ramp (tillfartstunnel) och schakt vid passage av högkonduktivt berg med olika vattengenomsläpplighet har prognostiserats för slutförvar Forsmark med analytiska modeller /Olsson och Brantberger 2005b, SKB 2004/. Resultatet av beräkningarna, som också utfördes stokastiskt (med sannolikhetsfördelningar för ingående parametrar), visas i tabell 2-4. Det skall noteras att det djup som avses i tabellen är djupet under grundvattenytan, som antas vara opåverkad (alltså inte avsänkt) i de analytiska beräkningarna. Det bör också observeras att inläckagen i tabellen gäller för teoretiska värden på injekteringens vattengenomsläpplighet. Injekteringens faktiska täthet vid olika vattengenomsläpplighet på en högkonduktiv zon har utretts för ”mindre omfattande injektering” och ”omfattande/mycket omfattande injektering” /Olsson och Brantberger 2005b/. I rapporten har en bedömning gjorts avseende den täthet (vattengenomsläpplighet) som kan uppnås i passager av tre olika ”typzoner” (med olika hydrauliska egenskaper och sprickkaraktäristika). Angivna intervall är $K = 5 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-6}$ m/s för ”mindre omfattande injektering” och $K = 5 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-7}$ m/s för ”omfattande/mycket omfattande injektering”. Ytterligare utredning föreslås i rapporten för att vid genomförandet kunna få en tät injektering med en låg vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-9}$ m/s vid passage av en högkonduktiv zon.

2.4.2 Slutförvar Simpevarp

Inläckage och hydrogeologisk omgivningspåverkan vid slutförvar Simpevarp har beräknats med analytiska modeller /Tengborg 2005/ enligt SKB:s anvisningar /SKB 2004/. Beräkningarna av inläckaget har utförts stokastiskt, dvs med sannolikhetsfördelningar för ingående parametrar. Det sägs i rapporten att med avseende på berget medför sprickzonernas antal och komplexitet att det inte går att göra realistiska prognoser av grundvattenavsänkningen kring förvaret med analytiska beräkningsmodeller. Liksom i motsvarande rapport för slutförvar Forsmark /Olsson och Brantberger 2005a/, sägs att de analytiska modellerna främst är användbara som komplement för att studera vissa delar av förvaret och/eller effekten av injektering.

Tabell 2-4. Beräknade inläckage till ramp (tillfartstunnel) och schakt på olika djup under grundvattenytan vid passage av högkonduktivt berg i Forsmark. Inläckagen avser värden för vilka sannolikheten är 50 % samt 95 % att inläckaget underskrids /Olsson och Brantberger 2005b/.

Djup (m)	Inläckage ramp (l/s)						Inläckage schakt (l/s)					
	Utan injektering		Med injektering ($K = 10^{-7}$ m/s)		Med injektering ($K = 10^{-9}$ m/s)		Utan injektering		Med injektering ($K = 10^{-7}$ m/s)		Med injektering ($K = 10^{-9}$ m/s)	
	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %
50	65	1 115	1,5	2,5	0,02	0,03	2,3	37,7	0,04	2,0	0	0,02
100	110	1 945	3,0	5,5	0,04	0,06	4,5	75,5	0,1	4,0	0	0,05
150	155	2 720	4,5	8,0	0,05	0,09	6,8	113	0,1	6,0	0	0,07

¹ I den analytiska modellen måste man anta en kontaktlängd mellan rampen och en subhorisontell zon. I beräkningarna antas denna kontaktlängd vara 50 m.

Den analytiska modellen för inläckaget tar inte hänsyn till någon grundvattenavsänkning, varför beräkningarna generellt ger en överskattning av inläckaget /Tengborg 2005/. Beräkningarna är gjorda för tre tätningsnivåer: (1) ingen injektering, (2) $K = 10^{-7}$ m/s och (3) $K = 10^{-9}$ m/s i den injekterade zonen. Vilken tjocklek på injekteringen som antas framgår inte i rapporten. Resultatet av beräkningarna med avseende på inläckaget redovisas i tabell 2-5 nedan. Inläckage finns endast redovisat för medianen av den erhållna stokastiska fördelningen (50 %). Vidare har endast deterministiska beräkningar utförts för transporttunnlarnas zonpassager. Inläckagen till centralområde och ramp (tillfartstunnel) ingår inte i de värden som redovisas i tabellen. I beräkningarna antas vidare att 20 deponeringstunnlar (av totalt 213 enligt nuvarande projektering) är öppna samtidigt. Rapporten innehåller även en separat redovisning av inläckaget till de delar av slutförvaret som passerar deterministiskt tolkade sprickzoner i berget. Enligt aktuell projektering är det enbart transporttunnlarna som passerar sådana zoner (totalt 11 stycken passager).

2.4.3 Slutförvar Laxemar

Inläckage och hydrogeologisk omgivningspåverkan vid slutförvar Laxemar har beräknats med analytiska modeller /Magnusson och Bergvall 2006/ enligt SKB:s anvisningar /SKB 2004/. Beräkningarna av inläckaget har utförts stokastiskt, med sannolikhetsfördelningar för ingående parametrar, för ett slutförvar på förvarsdjup 500 m under grundvattennivån. Eftersom det visade sig svårt att stokastiskt beräkna grundvattenavsänkningen och influensområdet med de modeller som anvisas (värden måste plockas från en tabell i varje beräkning), har istället ”troligaste” värden på ingående parametrar använts i dessa beräkningar.

Beräkningarna har utförts för fem olika utbyggnadssteg (eller skeden), motsvarande fall där olika delar av förvaret är öppna; se figur 2-2. Efter utbyggnad av centralområdet (område A i figuren), hålls detta öppet under de efterföljande utbyggnadsstegen, dvs skedena AB, AC, AD och AE. Beräkningarna är gjorda för tre tätningsnivåer: (1) ingen injektering, (2) $K = 10^{-7}$ m/s och (3) $K = 10^{-9}$ m/s i den injekterade zonen.

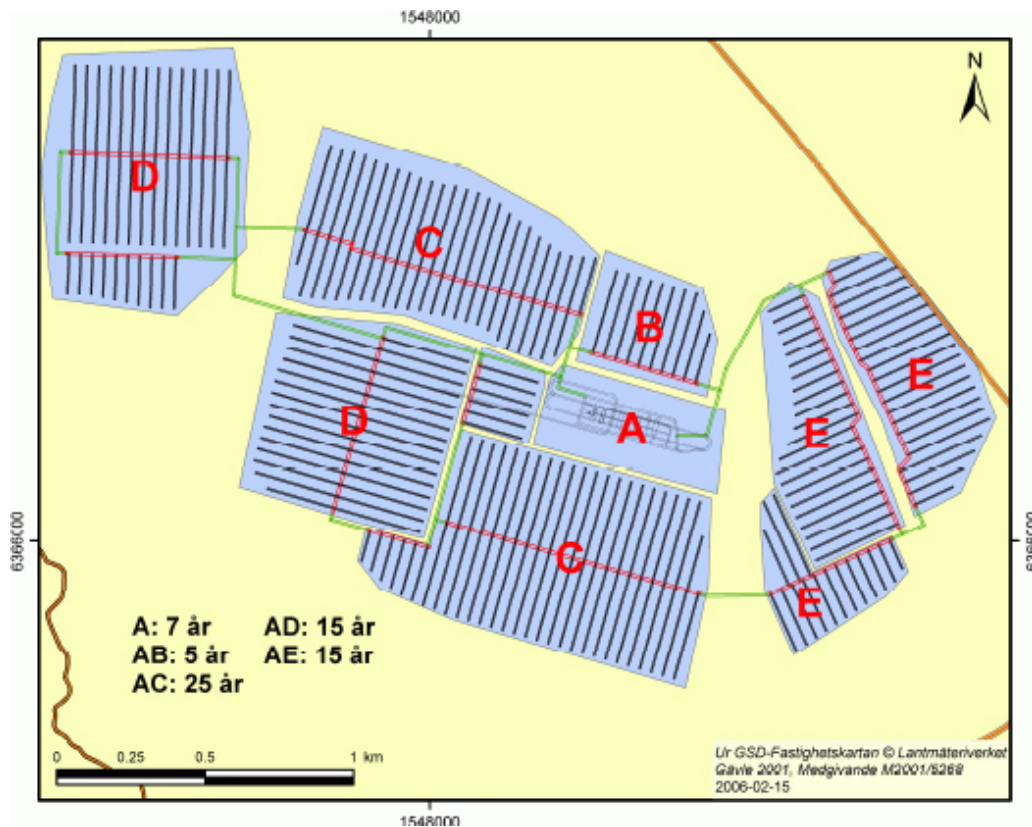
Två olika metoder, här benämnda metod 1 och 2, har använts för att beräkna inläckaget till förvaret:

Metod 1 (ekvation 2 i /SKB 2004/) utgår från den sammanlagda tunnllängden under respektive skede. Beroende på svårigheten att beakta komplexa förvarsdelar i en analytisk modell, ingår inte centralområdet A (med tillfartstunneln) och schakt i beräkningarna av inläckaget (Jakob Magnusson, pers. komm. 2006). Inläckaget till transporttunnlarnas zonpassager har beräknats separat. Metoden tar inte hänsyn till någon grundvattenavsänkning, vilket bör ge en överskattning av det beräknade inläckaget /Magnusson och Bergvall 2006/.

Tabell 2-5. Beräknade inläckage till slutförvar Simpevarp (exklusive centralområde och ramp). Inläckagen avser värden för medianen av den erhållna stokastiska fördelningen, det vill säga att sannolikheten är 50 % att inläckaget överskrids/underskrids, förutom för transporttunnlarnas zonpassager där endast deterministiska beräkningar gjorts /Tengborg 2005/.

Djup (m)	Inläckage deponerings-tunnlar ¹ (l/s)	Inläckage stamtunnlar (l/s)	Inläckage stamtunnlar exkl. zonpassager (l/s)	Inläckage transporttunnlarnas zonpassager (l/s)
Utan injektering	0,40	0,46	0,36	142
Med injektering (K = 10 ⁻⁷ m/s)	Bergets hydrauliska konduktivitet är lägre än injekterings hydrauliska konduktivitet, varför inläckaget inte beräknats analytiskt för denna ”injekteringsnivå”			49
Med injektering (K = 10 ⁻⁹ m/s)	0,40	0,45	0,36	1,00

¹ 20 stycken deponeringstunnlar (av totalt 213) antas vara öppna samtidigt.



Figur 2-2. Illustration av utbyggnadsskedena A–E /Magnusson och Bergvall 2006/. Figuren anger det antal år som respektive förvarsdel antas vara öppen.

Metod 2 (ekvation 3 i /SKB 2004/) innebär att respektive förvarsdel representeras av en stor cirkulär brunn, med en area som motsvarar respektive förvarsdel. Vid beräkningen enligt denna metod beaktas även centralområdet A. För varje skede måste ”brunnens influensradie” skattas, vilket gjordes genom att anta att grundvattenbildningen till berg är 5 mm/år. Utifrån detta sattes influensradien till 800 m i fallen med injektering och 1 600–1 800 m i fallet utan injektering.

Resultatet av de stokastiska beräkningarna med avseende på inläckaget redovisas i tabell 2-6a (metod 1) och b (metod 2).

Tabell 2-6a. Beräknade inläckage (l/s) till slutförvaret under olika skeden enligt metod 1 (ekvation 2 i /SKB 2004/). Inläckagen har beräknats stokastiskt och anges här för två olika punkter på den erhållna stokastiska fördelningen: Medianen (50 %) och 95 %. Dessa anger sannolikheten att inläckaget underskrids /Magnusson och Bergvall 2006/. Inläckagen inkluderar inte centralområdet A (med tillfartstunnel) och schakt.

Injekteringsfall	Skede B		C		D		E		Transport-tunnlarnas zonpassager ¹	
	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %
Utan injektering	7,5	36	64	300	53	250	39	190	500	2 100
Med injektering, K = 10 ⁻⁷ m/s	7,5	36	64	300	53	250	39	190	8,5	13
Med injektering, K = 10 ⁻⁹ m/s	1,7	2,6	15	22	12	18	9,0	13	0,09	0,13

¹ Ett förenklande antagande har gjorts att alla transporttunnlar är öppna samtidigt (Jakob Magnusson, pers. komm. 2006).

Tabell 2-6b. Beräknade inläckage (l/s) till slutförvaret under olika skeden enligt metod 2 (ekvation 3 i /SKB 2004/. Inläckagen har beräknats stokastiskt och anges här för två olika punkter på den erhållna stokastiska fördelningen: Medianen (50 %) och 95 %. Dessa anger sannolikheten att inläckaget underskrids /Magnusson och Bergvall 2006/.

Injekteringsfall	Skede									
	A		AB		AC		AD		AE	
	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %	50 %	95 %
Utan injektering	0,80	3,8	0,82	3,8	0,92	4,4	0,92	4,4	0,89	4,2
Med injektering K = 10 ⁻⁷ m/s)	0,80	3,8	0,82	3,8	0,92	4,4	0,92	4,4	0,89	4,2
Med injektering K = 10 ⁻⁹ m/s	0,15	0,23	0,15	0,23	0,16	0,24	0,16	0,24	0,16	0,24

Vid beräkning enligt metod 1 (tabell 2-6a) finns det enligt /Magnusson och Bergvall 2006/ små skillnader mellan fallet utan injektering och injekteringsfallet K = 10⁻⁷ m/s; dessa skillnader är så små att de inte framgår i tabellen. Det beräknade inläckaget är störst under skede AC; observera dock att inläckage till centralområdet A (med tillfartstunneln) och schakt inte ingår i beräkningen.

Metod 2 (tabell 2-6b) ger betydligt lägre beräknade inläckage jämfört med metod 1, trots att centralområdet A beaktas i metod 2 men inte i metod 1. Vidare är det avsevärt mindre skillnad i inläckage mellan de olika utbyggnadsskedena vid beräkning med metod 2, jämfört med resultaten från metod 1.

Grundvattenavsänkningens influensavstånd (se tabell 2-7) har beräknats enligt samma förutsättningar som metod 2 ovan, dvs varje förvarsdela representeras av en stor cirkulär brunn med samma area som motsvarande förvarsdela. Vid beräkningen har medianvärdet av inläckaget under respektive utbyggnadsskede använts som beräknats stokastiskt enligt metod 1. De inläckage som beräknats enligt metod 2 bedöms vara orimligt låga; som komplement har istället inläckaget antagits vara likformigt fördelat inom intervallet 1–10 l/s. Observera i tabellen att beräkningarna ger kortare influensavstånd (mindre påverkansområde) vid högre inläckage, vilket inte är rimligt /Magnusson och Bergvall 2006/.

Tabell 2-7. Beräknade influensavstånd (m) för grundvattenavsänkningen i berg. I tabellen redovisas även storleken på motsvarande påverkansområde (km²), under antagande om att detta är cirkulärt.

Injekteringsfall/ beräkningsmetod	Skede									
	A		AB		AC		AD		AE	
	m	km ²	m	km ²	m	km ²	m	km ²	m	km ²
Utan injektering (medianvärdet av inläckaget enligt tabell 2-6a) ¹	–	–	350	0,38	760	1,81	760	1,81	610	1,17
Med injektering, K = 10 ⁻⁷ m/s (medianvärdet av inläckaget enligt tabell 2-6a) ¹	–	–	490	0,75	810	2,06	820	2,11	670	1,41
Med injektering, K = 10 ⁻⁹ m/s (medianvärdet av inläckaget enligt tabell 2-6a) ¹	–	–	6 900	150	1 100	3,80	1 200	4,52	1 100	3,80
Likformigt fördelat inläckage i intervallet 1–10 l/s	900	2,5	1 000	3,14	2 200	15,21	1 800	10,18	2 200	15,21

¹ Avsänkning orsakad av centralområdet A (med tillfartstunneln) och schakt ingår inte, eftersom inläckaget inte beräknats till denna förvarsdela.

Beräkning har även utförts av grundvattenavsänkningen på olika avstånd från förvaret under de olika utbyggnadsskedena. Beräkningen bygger på användande av en s.k. ”brunnfunktion”; det är svårt att med denna metod utföra beräkningarna stokastiskt, eftersom värden måste plockas från en tabell i varje beräkning /Magnusson och Bergvall 2006/. Vid beräkningen har medianvärdet av inläckaget under respektive utbyggnadsskede använts enligt de stokastiska beräkningarna med metod 1 och 2 (tabell 2-6a och b).

Med de inläckage som beräknats för respektive utbyggnadsskede enligt metod 1 (tabell 2-6a) erhålls en avsänkning vid förvaret som är mellan 500 m (förvarsdel B) och 5 000 m (förvarsdel C), i injekteringsfallet $K = 10^{-9}$ m/s; notera att avsänkningen ovanför centralområdet A inte beräknats, eftersom inläckaget till denna förvarsdel inte beräknats enligt metod 1. Notera också att metoden kan ge en avsänkt grundvattenyta som är under förvarsnivå, eftersom förvarets nivå inte beaktas i modellen.

Med de inläckage som beräknats enligt metod 2 (tabell 2-6b) fås en avsänkning på mellan 40–50 m vid förvaret, och en avsänkning som är 5 m på ett avstånd av cirka 700 m från förvaret (skede AB) respektive cirka 1 500 m från förvaret (skede AC).

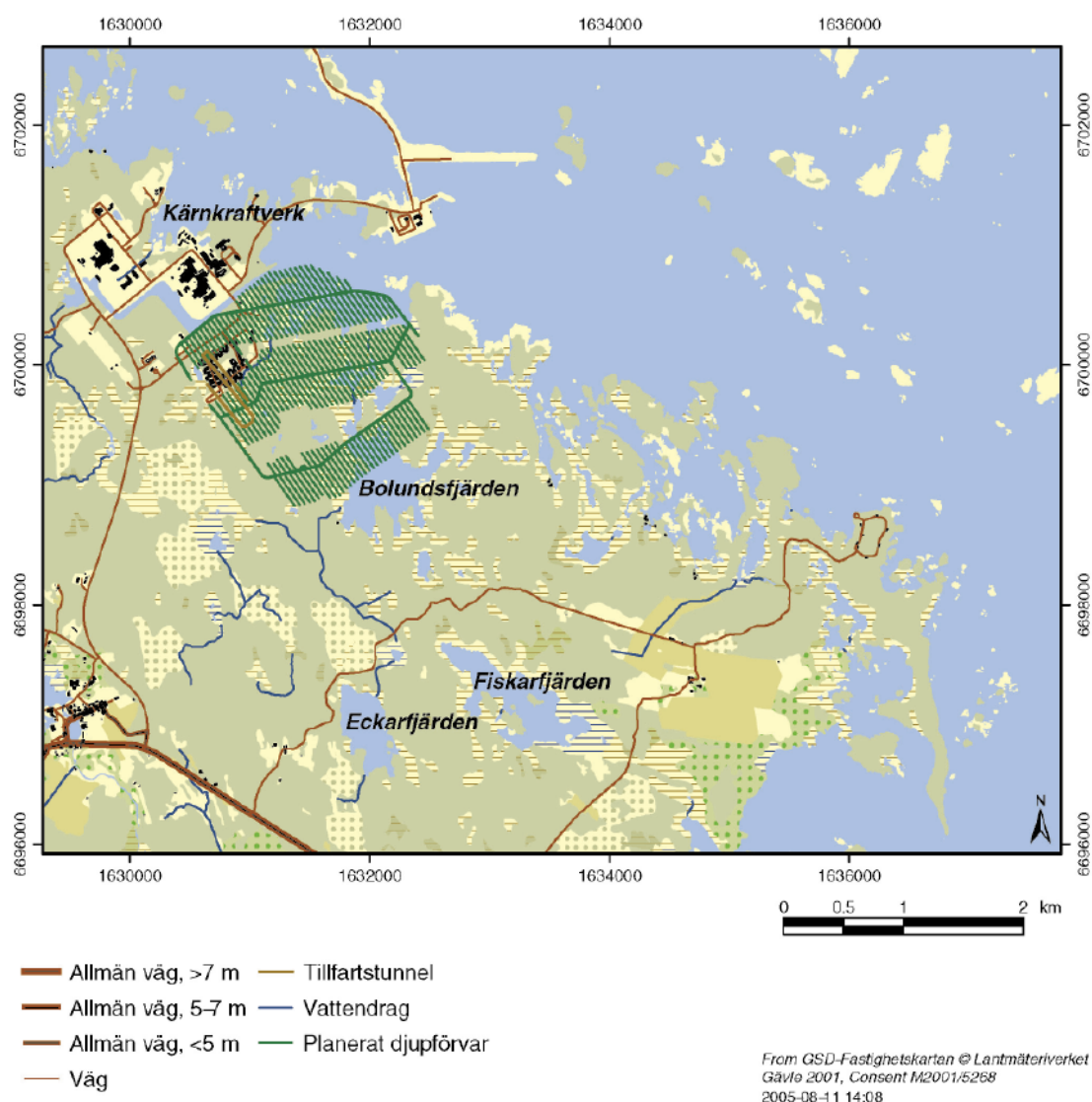
Metod 1 ger alltså en orimligt stor grundvattenavsänkning, medan den avsänkning som erhålls enligt metod 2 baseras på orimligt låga inläckage. Enligt /Magnusson och Bergvall 2006/ är resultaten av beräkningarna av grundvattenavsänkningen därför inte trovärdiga.

En analytisk modell har även anvisats för att bedöma risken för uppträngning av salt grundvatten till förvaret /SKB 2004/; metoden förutsätter att det finns ett väldefinierat språngskikt mellan ”sött” och ”salt” grundvatten. Enligt /Magnusson och Bergvall 2006/ tyder dock platsundersökningsdata från Laxemarområdet på att det inte finns någon sådan tydlig gräns mellan sött och salt grundvatten, och att detta innebär att analytiska beräkningar avseende saltvattenuppträngning inte ger meningsfulla resultat.

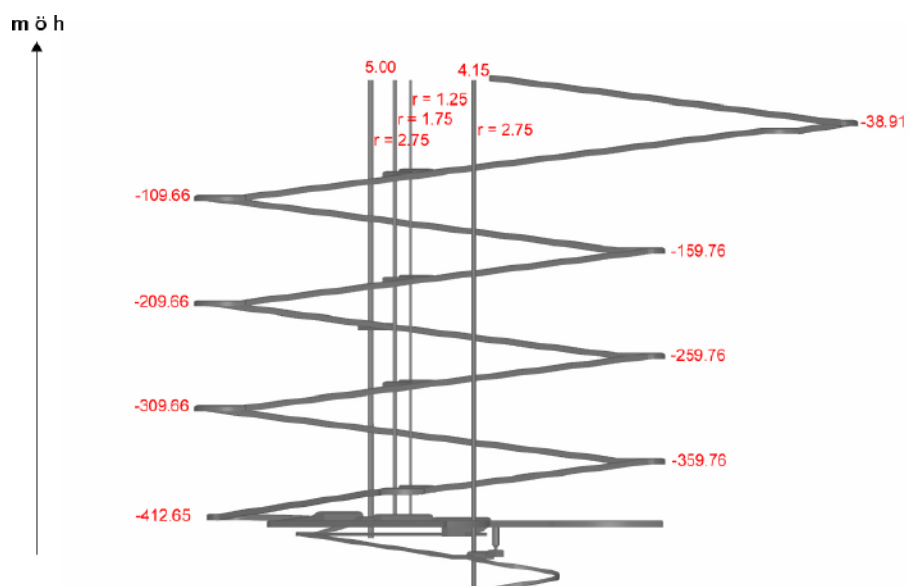
3 Slutförvar Forsmark

3.1 Allmän beskrivning av platsen och slutförvaret

Man planerar att förlägga ett eventuellt slutförvar i Forsmark nära Forsmarks kärnkraftverk, vid havet i Östhammars kommun, Uppland. Enligt aktuell projektering kommer slutförvaret att bestå av deponeringstunnlar belägna på ett djup av cirka 400 m under havets nivå samt en spiralformad tillfartstunnel och fyra vertikala schakt från markytan. Figur 3-1 visar slutförvarets planerade geografiska läge. Tvärsnittet i figur 3-2 visar utformningen på de yt nära delarna av förvaret, bestående av tillfartstunnel samt de fyra vertikala schakten.



Figur 3-1. Karta som visar lokaliseringen av planerat slutförvar Forsmark. Tillfartstunneln är markerad med röd färg, och de "djupa" delarna av slutförvaret är markerade med grön färg.



Figur 3-2. Tvärsektion över tillfartstunnel och schakt vid slutförvar Forsmark. I figuren visas nivåerna (m över havets nivå) för tillfartstunnelns och schaktens olika delar. Med bokstaven *r* avses tunnel- och schaktradier.

3.2 Opåverkade hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden

Beskrivningen i detta avsnitt av de naturliga (opåverkade) hydrogeologiska och hydrologiska förhållandena vid förvarslokalisering Forsmark baseras på version 1.2 av platsbeskrivningarna för platserna Forsmark /SKB 2005a/ samt beskrivningen av de ytnära ekosystemen /Lindborg 2005a/ och tillhörande underlagsrapport för klimat, ythydrologi och ”ytnära” hydrogeologi /Johansson m fl 2005/. Observera att dessa rapporter (och även beskrivningen nedan) ger en regional beskrivning av platsen med tyngdpunkt på det område som ingår i SKB:s platsundersökningar i Forsmark (se figur 1-1), medan slutförvaret endast upptar en mindre del av detta område (figur 3-1).

3.2.1 Topografiska och meteorologiska förhållanden

Det finns en digital höjdmodell med 10 m upplösning över området, vilket innebär att de topografiska förhållandena är relativt väl kända. Största delen av Forsmarksområdet är beläget lägre än 20 m över havets nivå. Platsen karaktäriseras av en småskalig topografi, vilket ger upphov till många lokala, grundvattenflödessystem i jord och ytnära berg. Dessa flödessystem underlagras av mer storskaliga flödessystem i ”djupa” berg. Lägena för det ytnära grundvattnets in- och utströmningsområden påverkas till stor del av den lokala topografin, men många områden kan växla mellan att vara in- och utströmningsområden under året, beroende på de meteorologiska förhållandenas säsongsvariation. Den platta topografin innebär också att havsvatten kan flöda in i vissa sjöar som är belägna nära havet under perioder med högt havsvattenstånd.

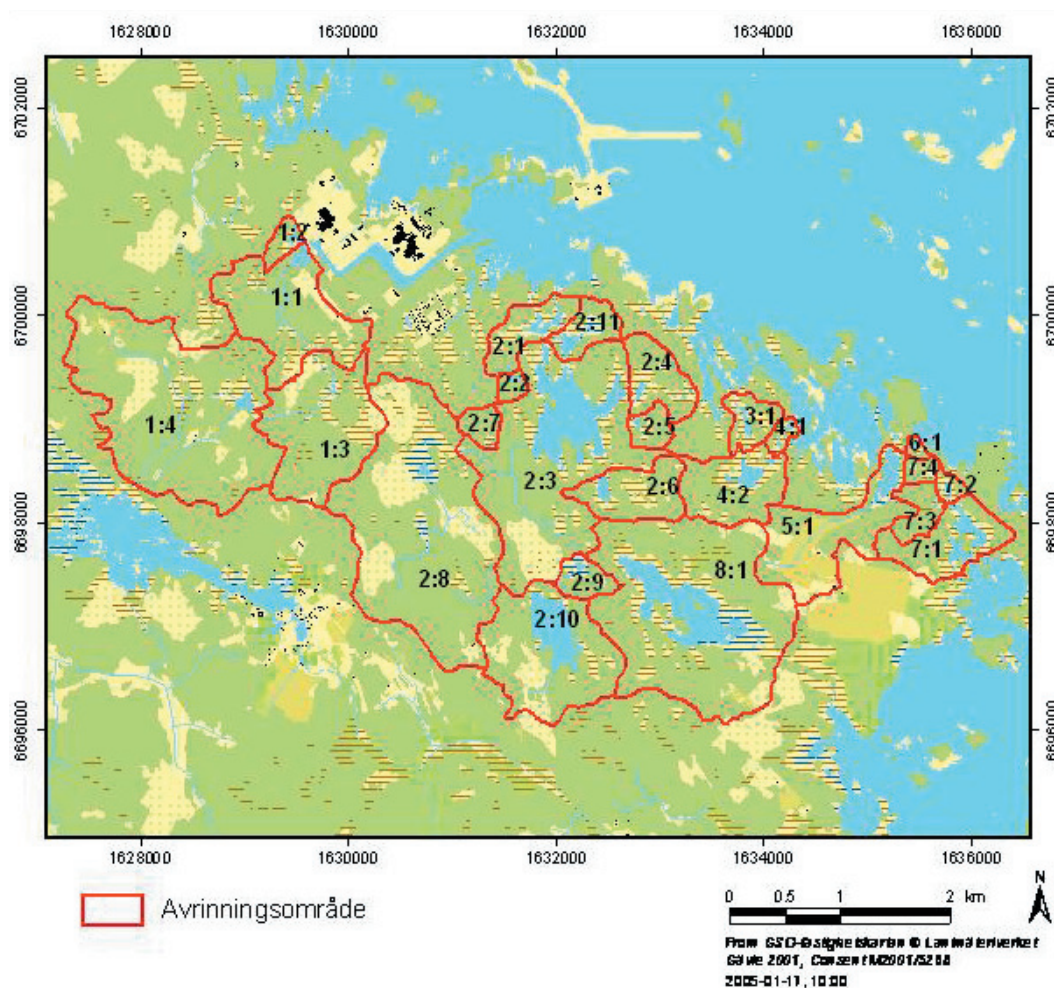
Den korrigerade årsmedelnederbörden (korrigerad för bland annat vindförluster) är normalt i intervallet 600–650 mm. Nederbörden är i nordöstra Uppland något lägre nära kusten, jämfört med områden längre inåt land. Ungefär 25–30 % av årsnederbörden faller i form av snö. Marken täcks av snö i genomsnitt 120–130 dagar per år, med ett genomsnittligt största snödjup på cirka 50 cm. Årsmedeltemperaturen är cirka 5,5 °C vid den närbelägna SMHI-stationen i Örskär. Den genomsnittliga månadstemperaturen varierar mellan –4 °C i januari–februari och 15 °C i juli. Vintrarna är något mildare vid kusten jämfört med områden längre inåt land. Vegetationsperioden (perioden med en lufttemperatur över 5 °C) är cirka 180 dagar.

Summan av avdunstningen och växternas transpiration (evapotranspirationen) är bedömt till i genomsnitt strax över 400 mm per år för en barrskog i området, vilket för en årsmedelnederbörd på 600–650 mm ger en avrinning av storleksordningen 225 mm per år. Typiskt för svenska förhållanden är att evapotranspirationen uppvisar stora variationer över året och är störst under sommaren.

Nordliga vindar är vanligare vid SMHI-stationen i Örskär, jämfört med södra Sverige. På vintern för de nordliga vindarna ofta med sig intensiva snöfall. Antalet soltimmar är 1 700–1 800 timmar vid kusten i nordöstra Uppland. I genomsnitt är globalinstrålningen 930 kWh/m², varierande mellan 4 kWh/m² i december och mer än 170 kWh/m² i juni.

3.2.2 Hydrologiska förhållanden

Forsmarksområdet har delats in i 25 ”sjöcentrerade” avrinningsområden och delavrinningsområden. Storleken på dessa varierar mellan 0,03 och 8,67 km² (se figur 3-3). I området finns det således 25 kartlagda sjöar. Sjöarnas storlek varierar mellan 0,006 km² (sjön i delavrinningsområde 7:3) och 0,752 km² (Fiskarfjärden). De största sjöarna förutom Fiskarfjärden är Bolundsfjärden (0,609 km²), Eckarfjärden (0,282 km²) och Gällsboträsket (0,185 km²). Sjöarna är grunda med medel- och maxdjup på 0,1–1 m respektive 0,4–2 m. Grundläggande data om de 25 sjöarna i Forsmarksområdet återges i tabell 3-1.



Figur 3-3. Gränserna för de 25 identifierade (”sjöcentrerade”) avrinningsområdena i Forsmark. I kartan visas även lägena för sjöarna i området.

Tabell 3-1. Grundläggande data om de 25 sjöarna i Forsmarksområdet.

Delavrinnings- område (se figur 3-3)	Namn	Uppmätt vattennivå ¹ (m över havet)	Area (m ²)	Maxdjup (m)	Medeldjup (m)	Volym (m ³)
1:1	Gunnarsbo-Lillfjärden (södra)	1,60	33 107	2,22	0,70	23 110
1:2	Gunnarsbo-Lillfjärden (norra)	1,64	23 148	0,90	0,30	6 870
1:3	Labboträsket	3,56	60 042	1,07	0,27	15 950
1:4	Gunnarsboträsket	² 5,81	67 453	1,29	0,51	34 040
2:1	Norra Bassängen	0,56	76 070	0,88	0,31	23 650
2:2	Namnlös sjö	1,82	9 921	0,60	0,29	2 860
2:3	Bolundsfjärden	0,64	611 312	1,81	0,61	373 950
2:4	Graven	0,65	50 087	0,35	0,12	5 920
2:5	Fräkengropen	1,35	19 423	0,79	0,19	3 660
2:6	Vambörsfjärden	1,14	49 577	0,98	0,43	20 550
2:7	Kungsträsket	2,60	7 733	0,54	0,20	1 550
2:8	Gällsboträsket	1,91	187 048	1,51	0,17	32 100
2:9	Stocksjön	2,92	36 480	0,82	0,22	8 030
2:10	Eckarfjärden	5,37	283 850	2,12	0,91	257 340
2:11	Puttan	0,63	82 741	1,29	0,37	30 150
3:1	Tallsundet	0,13	79 414	0,80	0,23	18 350
4:1	Namnlös sjö	-0,29	35 058	1,53	0,38	13 000
4:2	Lillfjärden	-0,07	161 269	0,89	0,29	47 030
5:1	Bredviken	-0,12	97 664	1,72	0,74	72 010
6:1	Simpviken	-0,29	9 119	1,80	0,50	5 000
7:1	Namnlös sjö	-0,26	163 052	1,07	0,32	52 570
7:2	Märrbadet	0,00	23 611	1,01	0,36	8 500
7:3	Namnlös sjö	0,22	6 393	0,70	0,25	1 620
7:4	Namnlös sjö	0,38	9 312	0,81	0,24	2 250
8:1	Fiskarfjärden	² 0,54	754 303	1,86	0,37	274 450

¹ Vattennivå uppmätt 16–20 april, 2002.

² Vattennivå uppmätt 22–23 oktober, 2002.

De vattennivåer som återges i tabell 3-1 baseras på enstaka, manuella mätningar. I sex av sjöarna mäts vattennivåerna dessutom kontinuerligt. Tidsserien för sjön Lillfjärden är kort, men tillgängliga nivådata indikerar att sjöns nivå bestäms av havets nivå. Vattennivåserierna för sjöarna Norra Bassängen och Bolundsfjärden var också relativt korta då modellversionen Forsmark 1.2 togs fram /Johansson m fl 2005/. Vattennivåerna i dessa sjöar förefaller främst bestämmas av sjöarnas trösklar samt av grund- och ytvattenflödena från områdena inåt land. Under den period för vilken nivådata finns tillgängliga har havets nivå varit högre än vattennivåerna i sjöarna Norra Bassängen och Bolundsfjärden vid några tillfällen, vilket alltså gjort att inflöde av havsvatten till dessa sjöar varit möjligt. Ytvattennivån i sjön Fiskarfjärden är något högre än nivåerna i sjöarna Norra Bassängen och Bolundsfjärden, och under mätperioden har vattennivån i Fiskarfjärden alltid varit högre än havets nivå.

Vattendragen i området är små och i regel att betrakta som diken. De största vattendragen i området är de i avrinningsområdena 1 och 2 (se figur 3-1). Det finns ett mer eller mindre kontinuerligt vattenflöde under året i vattendragen nedströms sjön Gunnarsboträsket (avrinningsområde 1) och nedströms sjöarna Eckarfjärden och Gällsboträsket (avrinningsområde 2), men även dessa kan vara torrlagda långa perioder under torrår. Många av vattendragen i området har fördjupats längs långa sträckor med syfte att få en förbättrad markdränering. Vattenföringen har mätts manuellt i åtta av vattendragen: öster om Gunnarsboträsket (avrinningsområde 1), Lillputtsundet (avrinningsområde 2), Kungsträsket (avrinningsområde 2), Bolundsskogen

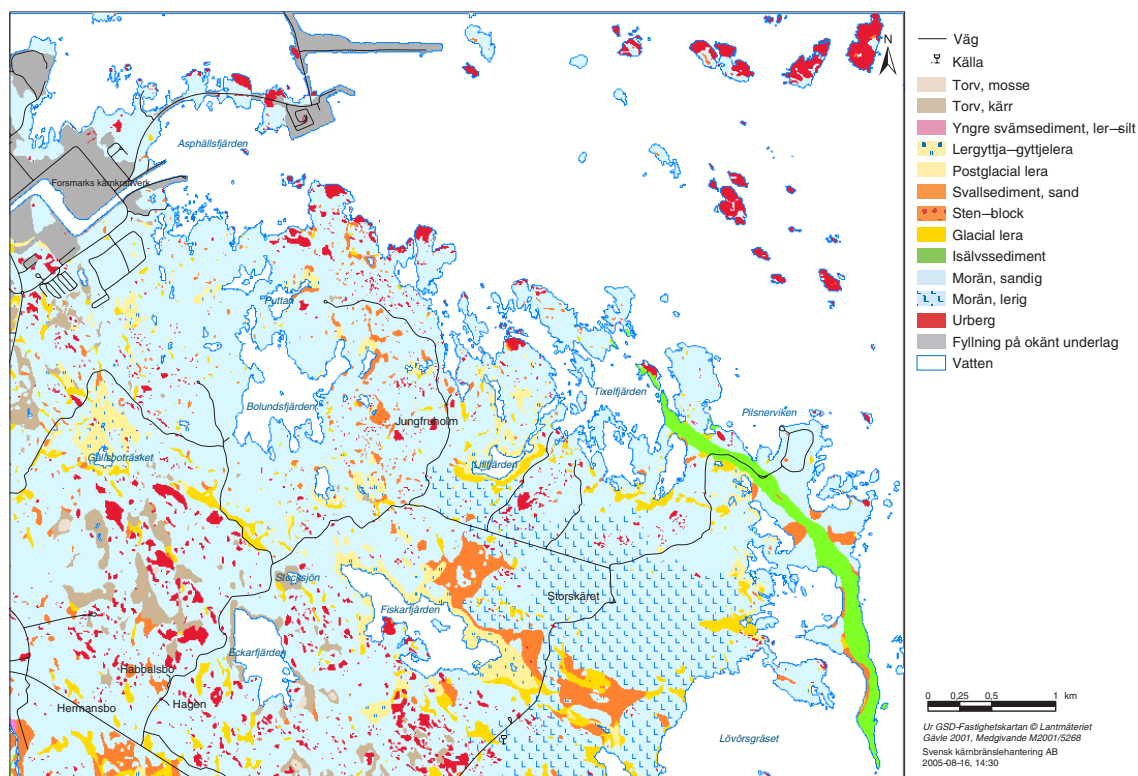
(avrinningsområde 2), norr samt söder om Eckarfjärden (avrinningsområde 2), Flottbron (avrinningsområde 8) och söder om Bredviken (avrinningsområde 5). Området tillhör en större avrinningsregion där man normalt har två perioder med större ytvattenflöden under året, en period på våren (snösmältning) och en period på hösten (höstregn). Den största uppmätta vattenföringen under perioden mars 2002–oktober 2004 är 283 liter per sekund vid Kungsträsket (maj 2003).

Våtmarker är rikligt förekommande och täcker 10–17 % av ytan i de största avrinningsområdena (1, 2 och 8; se figur 3-1). I några delavrinningsområden täcker våtmarker 25–25 % av ytan. Hydrologiskt skiljer man på mossar, myrar och kärr. Mossar täcks av torv, och det enda vattentillskottet kommer från nederbörden. Mossar återfinns därför endast i de högst belägna delarna av området. De är små och torvtäcket har en mäktighet på under 3 m.

Myrar är torvtäckta områden, där vegetationen (åtminstone delvis) försörjs av vatten genom inflöde av ytvatten och/eller grundvatten. Kärr är våtmarker där det finns endast lite eller ingen torv. Myrar och kärr förekommer rikligt i de lågt belägna delarna av området. Några våtmarkers jordlagerföljd och hydrologi har nyligen undersökts, men har ännu inte rapporterats. Tidigare undersökningar indikerar att myrarna är cirka 1 m djupa och att våtmarkerna vilar antingen direkt på morän eller att det finns ett gyttje- eller lerlager ovanpå moränen. Detta visar att kontakten mellan grund- och ytvatten i våtmarkerna kan variera mellan olika våtmarker, vilket har betydelse för deras känslighet för grundvattenavsänkning.

3.2.3 Jordlagerförhållanden

Morän, som är en blandad jordart vilken uppkom i samband med den senaste istiden, är den dominerade jordarten i området och täcker cirka 75 % av det jordartskarterade området. Berg i dagen förekommer frekvent, men utgör endast 5 % av ytan. Svallad sand och grus, lera, gyttjelera och torv täcker 3–4 % av ytan. Börstilåsen är den enda isälvsavlagringen i området. Den uppkom i samband med den senaste inlandsisens avsmältning och går i nord-sydlig riktning längs med kusten. Figur 3-4 visar den jordartskarta som tagits fram utifrån de platsundersökningar som gjorts i området /Sohlenius m fl 2004/.



Figur 3-4. Jordartskarta över Forsmark.

Tre områden med olika typer av morän har urskiljts. De västra och norra delarna av området domineras av sandig morän, medan det finns lerig morän vid Storskäret och öster om sjön Fiskarfjärden. I de östra delarna av området, nära Börstilåsen, har moränen hög blockfrekvens, vilket innebär att den har en högre vattengenomsläpplighet. Jordlagren är generellt tunna, vanligen med en mäktighet mindre än 5 m. Jordlagren är mäktigare i sydöst, i områden med lerig morän. Medeljorddjupet från de undersökningar som gjorts är 1,9 m, undantaget områden med berg i dagen. Den största jordmäktigheten, uppmätt sydöst om sjön Fiskarfjärden, är cirka 16 m.

Baserat på litteraturdata och de undersökningar som gjorts i området, har moränens vattengenomsläpplighet, porositet och vattenavgivningstal (som är ett mått på jordens magasinsegenskaper) tilldelats de värden som anges i tabell 3-2. Vattengenomsläppligheten och den effektiva porositeten (den andel av en enhetsvolym jord där vattenflödet sker) bedöms vara högre i den översta metern av moränen, främst på grund av frostens inverkan. Moränens vattengenomsläpplighet och porositet minskar med djupet. Hydrauliska tester som gjorts i området indikerar dock att det är en högre vattengenomsläpplighet i övergångszonen mellan jord och berg än i själva moränen. Analys av kornstorlekskurvor indikerar att detta främst beror på det ytliga bergets egenskaper, det vill säga sprickor i den övre delen av berget. I zonen mellan den översta 1 m och denna övergångszon mellan jord och berg, bedöms moränens hydrogeologiska egenskaper på en viss plats bero på om moränen är grovkornig eller finkornig.

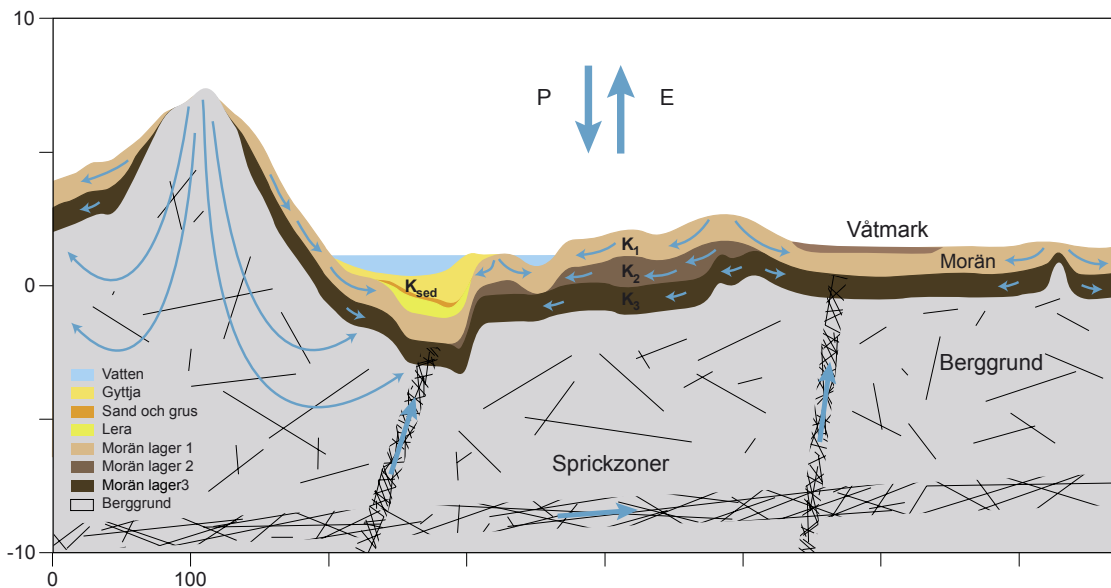
För Börstilåsen (en isälvsavlagring som uppkom i samband med den senaste istiden) har undersökningar gett ett K-värde på $2 \cdot 10^{-4}$ m/s. En magasinskoefficient på $2 \cdot 10^{-3}$ indikerar huvudsakligen slutna grundvattenförhållanden, vilket betyder att grundvattenmagasinet i åsen täcks av material med en lägre vattengenomsläpplighet.

Små områden med vågsvallad sand har ansatts samma hydrauliska egenskaper som det övre moränlagret enligt tabell 3-2. Det finns inga undersökningar gjorda för lera, gyttja eller torv, varför litteraturdata ansatts för dessa jordarter i området. Förekomsten av och de hydrauliska egenskaperna hos lera och gyttja under våtmarker och sjöar är speciellt viktiga, med tanke på interaktionen mellan grund- och ytvatten i dessa områden. Som nämnts tidigare, indikerar genomförda undersökningar att våtmarkerna vilar antingen direkt på morän eller att det finns ett gyttje- eller lerlager ovanpå moränen. Jordlagerföljden under några sjöar i området har också undersökts. Under dessa består jordlagren av lera, sand och grus, omväxlande med gytjelager. Trots att det inte finns någon lera under stora delar av sjön Bolundsfjärden, indikerar pumptester samt studier av grundvattennivåer under sjön och sjöns nivåvariationer att det är en begränsad hydraulisk kontakt mellan sjön och grundvattnet i moränen under sjön.

En typprofil som visar den stratigrafiska modellen över jord och ytligt berg återges i figur 3-5 nedan. Figuren visar även grundvattnets principiella strömningsmönster. Notera att de topografiska variationerna är starkt överdrivna.

Tabell 3-2. Ansatta värden på hydraulisk konduktivitet, total porositet och vattenavgivningstal i en förenklad jordlagermodell med tre lager.

Lager/material	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Total porositet (%)	Vattenavgivningstal (-)
0–1 m djup	$1,5 \cdot 10^{-5}$	35	0,15
Mittenlager:			
Grovkornig morän	$1,5 \cdot 10^{-6}$	25	0,05
Finkornig morän	$1,5 \cdot 10^{-7}$	25	0,03
0–1 m över bergöverytan	$1,5 \cdot 10^{-5}$	25	0,05



Figur 3-5. Schematisk tvärprofil som illustrerar den konceptuella modellen över jordlager och yttära berg i Forsmark. *P* betecknar nederbörd och *E* betecknar evapotranspiration.

3.2.4 Bergförhållanden

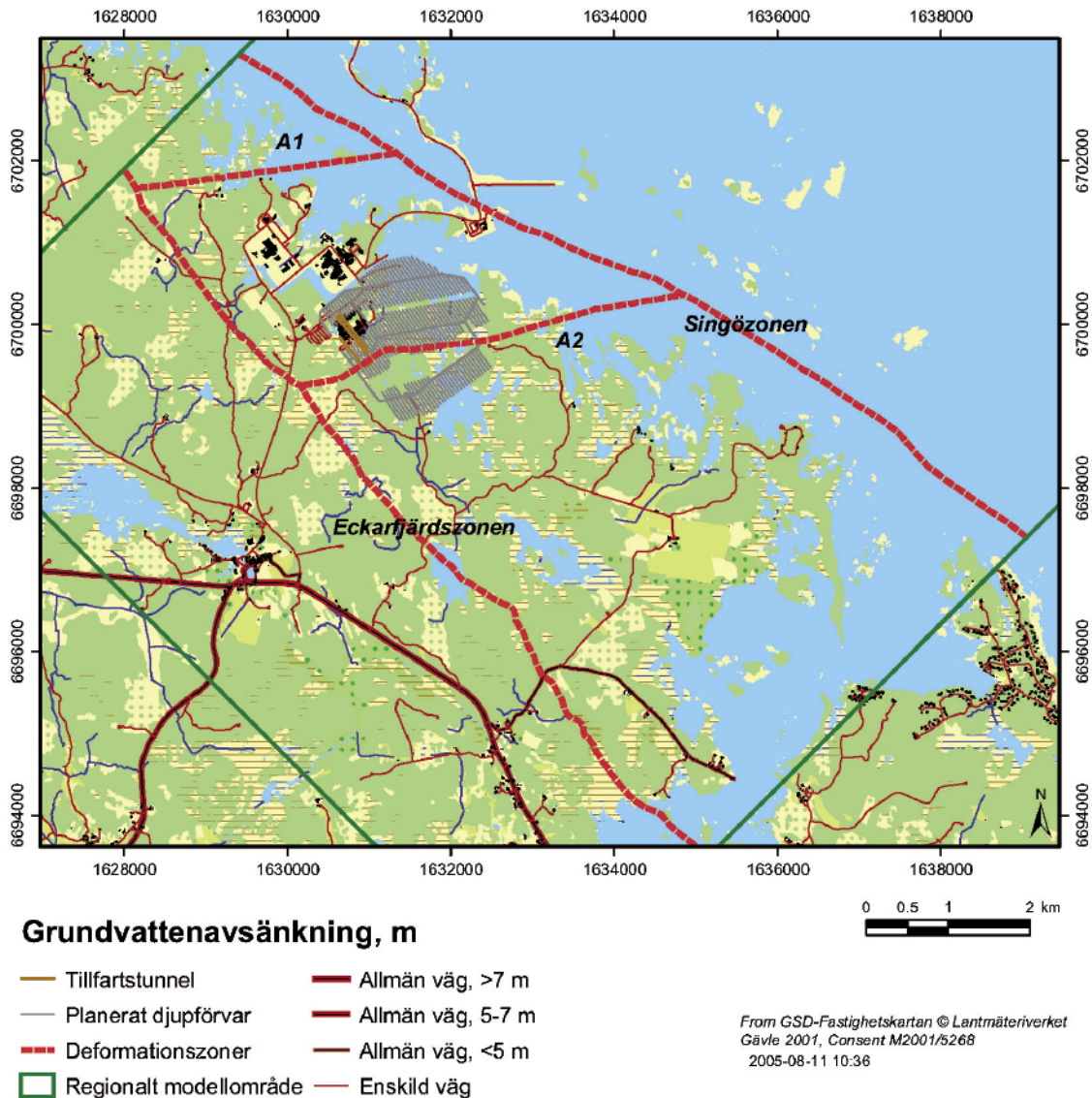
Bergets vattengenomsläpplighet, både inom och mellan sprickzoner, är en nyckelfaktor med avseende på inläckage till ett slutförvar och därmed en nyckelfaktor för hur förvaret påverkar de hydrogeologiska förhållandena i det omgivande berget. Bedömningen av sprickzonernas hydrauliska egenskaper i Forsmark (till exempel deras vattengenomsläpplighet) baseras på direkta fältundersökningar, medan numerisk modellering har använts för att bedöma vattengenomsläppligheten i berget mellan deformationszonerna. På grund av de stora bergvolymerna som fältundersökningarna och modelleringen syftar till att karaktärisera, innebär arbetet att vidareutvecklade modeller för berget och dess hydrauliska egenskaper kontinuerligt tas fram och testas.

Berget inom Forsmarksområdet domineras av granit (medelkorning metagranit). Tre huvudgrupper av sprickzoner i berget har identifierats. De dominerande sprickzonerna i berget, där berget har en högre vattengenomsläpplighet än bergmassan i övrigt, är Singözonen, Eckarfjärdszonen och två zoner benämnda A1 och A2, se figur 3-6; zonerna A1 och A2 har en svag lutning mot horisontalplanet. Förutom dessa större sprickzoner har ett antal mindre sprickzoner identifierats.

Mellan sprickzonerna (deformationszonerna) finns ett mer homogent berg, vilket i sin tur indelats i olika block benämnda CPM-1, CPM-2 och CPM-3 i grundvattenflödesmodelleringen av berget. Generellt är sprickfrekvensen mellan deformationszonerna låg, men sprickfrekvensen är högre i den övre delen av berget. I de modeller som tagits fram för bergets vattengenomsläpplighet (både inom och mellan sprickzonerna) minskar vattengenomsläppligheten med djupet. Slutförvaret är beläget i block CPM-3, vilket bedöms ha en mycket låg vattengenomsläpplighet (i storleksordningen 10^{-11} m/s). Som jämförelse bedöms CPM-1 och CPM-2 ha en vattengenomsläpplighet på i storleksordningen 10^{-10} – 10^{-6} m/s respektive 10^{-10} m/s.

3.2.5 Grundvattenförhållanden

I området är grundvattenytan generellt belägen nära markytan, i genomsnitt 1 m under markytan för alla observationsrör i området. Tidsserier visar att grundvattennivåerna varierar mindre än 1,5 m under året i de flesta observationsrör. Grundvatten nära markytan medför ett samspel mellan evapotranspiration, jordens fuktighetsförhållanden och grundvattenytans nivå. Som



Figur 3-6. Tolkad utsträckning i plan för sprickzonerna Singözonen, Eckarfjärdszonen, A1 och A2. Observera att det som visas på bilden endast är sprickzonernas utsträckning inom det regionala modellområdet.

exempel sjunker grundvattennivåerna snabbt (och varierar dessutom mellan dag och natt) under varma, torra perioder. Det finns också en tydlig samvariation mellan grundvattennivåvariationerna i olika observationsrör i området. Det finns dock endast en liten samvariation mellan havets nivå och grundvattennivåerna, med undantag för två brunnar installerade under öppet vatten (direkt påverkade av havet) och observationsrör i Börstilåsen. MIKE SHE-modelleringen (MIKE SHE-modellering där ”tunnelprogrammet” MOUSE inte används) för modellversion Forsmark 1.2 har visat att områden som är belägna mellan de tydliga hög- och lågområdena kan växla mellan att vara in- och utströmningsområden (områden där grundvattnet flödar nedåt respektive uppåt) under året, beroende på säsongsvariationer i temperatur och nederbörd.

En jämförelse mellan tidsserier av grundvattennivån i observationsrör i morän och observationsrör i berg inom samma områden, visar att det är en avsevärt högre grundvattennivå i moränen jämfört med berget på dessa platser. Dessa nivåskillnader tyder inte på att det är en hög vattengenomsläpplighet i övergångszonen mellan jord och berg (se avsnitt 3.2.3), eftersom detta skulle bidra till att utjämna skillnader i grundvattennivå mellan jord och berg. De lägre grundvattennivåerna i berget kan dock också bero på högkonduktiva zoner som fungerar som ”dräner” och håller nere grundvattennivån i den övre delen av berget.

Yt- och grundvattendelare (för ytnära grundvatten) antas sammanfalla i området (se figur 3-1). Den småskaliga topografin (avsnitt 3.1) innebär att det finns många lokala grundvattenflödes-system i jord och ytnära berg, som underlagras av mer storskaliga flödesystem i ”djupt” berg. Hög vattengenomsläpplighet i moränen nära markytan medför att stora delar av grundvattenflödet i jord sker i moränens övre delar.

Den största delen av grundvattenbildningen sker via nederbörden. Undersökningar indikerar dock att en viss grundvattenbildning även kan ske från sjöar i området under perioder på sommaren då sjövattnivåerna är höga jämfört med grundvattennivåerna. Avrinningen bedöms vara cirka 225 mm per år, vilket motsvarar en så kallad ”specifik avrinning” (avrinning per tids- och ytenhet) på cirka 6,5 liter per sekund och km². Modellering har indikerat att nettoutbytet med djupt grundvatten i berg är litet och att grundvattenutbytet i övergångszonen mellan ”ytnära” och ”djupt” berg (i Forsmarksmodelleringen ansatt till 150 meter under havets nivå) främst sker i områden med sprickzoner i berget. Angivna värden kommer dock att ändras när mer data och detaljerade modeller tagits fram.

3.2.6 Jord- och bergbrunnar samt Forsmarks Kraftgrupps vattenhantering

En inventering har gjorts av enskilda (privata) jord- och bergbrunnar i Forsmarksområdet /Ludvigson 2002/. Totalt har 27 enskilda brunnar och även 13 vattenprospekteringsbrunnar identifierats. Av de enskilda brunnarna är 15 stycken bergborrade och 12 stycken är grävda jordbrunnar. De flesta av vattenprospekteringsbrunnarna är belägna inom eller direkt utanför den västra delen av slutförvarsområdet. De enskilda brunnarna är dock belägna på större avstånd från förvarsområdet. Grundläggande information om dessa brunnar har samlats och vattenprover har tagits för kemisk och mikrobiologisk analys i 25 av de privata brunnarna. Resultaten visade att det är stora skillnader i vattenkvaliteten i olika brunnar. I vissa av dem kan vattnet användas som dricksvatten, medan vattenkvaliteten är dålig i andra brunnar.

De flesta vattenprospekteringsbrunnarna är belägna i området nordväst om sjön Gällsboträsket (se figur 3-3 och tabell 3-1). Dessa är borrade av Vattenfall/Forsmarks Kraftgrupp i samband med undersökningar för att hitta en ny vattentäkt för Forsmarks kärnkraftverk. Vattenprospekteringen för kärnkraftverket är en pågående process, varför nya prospekteringsbrunnar kan tillkomma jämfört med dem som finns nu. Den nuvarande vattenförsörjningen till Forsmarks kärnkraftverk (både dricks- och processvatten) sker genom uttag av ytvatten från ”Bruksdammen” i Forsmark, belägen cirka 3 km sydväst om slutförvaret.

3.3 Bedömning av slutförvarets omgivningspåverkan

3.3.1 Numerisk modellering

Prognoser avseende inläckage till slutförvar Forsmark och dess grund- och ytvattenpåverkan har gjorts med de numeriska modelleringsprogrammen DarcyTools version 3.0 /Svensson 2005a, Svensson m fl 2005/ samt MOUSE-SHE /Bosson och Berglund 2006, DHI 2004ab/. En orsak till att två modeller används är svårigheten att i en och samma flödesmodell hantera hela slutförvaret, bergmassan och förhållandena nära markytan i detalj, d v s att olika modelleringsverktyg är bra på olika saker.

DarcyTools-modellen innefattar en detaljerad geometrisk beskrivning av slutförvaret (enskilda deponeringshål finns representerade i modellen) och bergmassans hydrogeologiska egenskaper. Som visas i figur A-1 (Appendix 1), finns i DarcyTools-modellen över Forsmark de delar av slutförvaret med som är belägna nedifrån deponeringstunnlarna (belägna på ett djup av cirka 400 m under havets nivå) upp till 100 m under havets nivå /Svensson 2005a/. Modellberäkningarna med DarcyTools inkluderar alltså endast de delar av slutförvaret som är belägna djupare än 100 m under havets nivå. Modellen har använts för att beräkna inläckaget till slutförvaret samt grundvattenavsänkningen kring förvaret. Modellberäkningarna utgår från

situationen utan slutförvar, vilket innebär att modellresultaten för opåverkade förhållanden utgör utgångspunkt (initialvillkor). Inga yttre förhållanden (till exempel nederbörd eller havets nivå) förändras under den simulerade perioden, varför grundvattennivåerna efter en viss tid närmar sig ett nytt jämviktstillstånd (jämför figur 2-1). I den meningen beaktar modellberäkningarna tidsberoende förlopp under den tidsperiod på 40 år som simulerats.

Modellprognoser med DarcyTools har utförts för olika täthet på injekteringen i slutförvaret, inklusive ett fall utan injektering. Endast begränsade känslighetsanalyser har utförts med DarcyTools-modellen för slutförvar Forsmark. Injekteringen simuleras genom att den hydrauliska konduktiviteten (K) i varje beräkningscell i kontakt med slutförvaret ansätts ett visst K -värde (K_{\max}) om beräkningscellens K -värde är högre än K_{\max} . Om till exempel $K_{\max} = 10^{-9}$ m/s, och cellen från början har värdet $K = 10^{-7}$ m/s, får cellen värdet $K = K_{\max} = 10^{-9}$ m/s. Om däremot cellens K -värde från början är $K = 10^{-10}$ m/s, kvarstår detta värde. Detta sätt att simulera injekteringen innebär att olika mycket injektering krävs för att uppnå K_{\max} i den injekterade zonen, beroende på cellens (bergets) ursprungliga K -värde.

Som också visas i figur A-1, finns i MOUSE-SHE-modellen de delar av förvaret med som är belägna från djupet 135 m under havets nivå och upp till markytan. I modellen används de grundvattentryck som beräknats med DarcyTools-modellen som nedre randvillkor, vilket innebär att MOUSE-SHE-modelleringen också kan ta hänsyn till grundvattenpåverkan från de ”djupa” delarna av förvaret. Modellen har använts för att beräkna inläckaget till tillfartstunnel och schakt samt grundvattenavsänkning i både jord och berg ända upp till markytan. MOUSE-SHE-modellen har även använts för att beräkna påverkan på vattendrag och sjöar samt slutförvarets inverkan på vattenbalansen från djupet 135 m under havets nivå och upp till markytan. MOUSE-SHE-modellen tar hänsyn till att de hydrogeologiska och hydrologiska förhållandena nära markytan påverkas av tidsberoende väderförhållanden; i DarcyTools-modellen ansätts en konstant nederbörd motsvarande 205 mm per år. Därför har modellberäkningarna med MOUSE-SHE också utförts för transienta (tidsberoende) förhållanden, det vill säga modellen beaktar att vattenflöden och -nivåer varierar i tiden. De transienta förloppen i MOUSE-SHE beräknas dock med mycket högre tidsupplösning än tidsupplösningen i DarcyTools-modellen. De resultat som redovisas gäller för slutet av den simulerade perioden, med lokala väderdata från perioden maj 2003–maj 2004.

Utifrån en omfattande känslighetsanalys med avseende på modellens geometriska upplösning, interaktionen med DarcyTools-modellen samt jordlagrens hydrogeologiska egenskaper, har ett basfall identifierats. Utifrån basfallet har modelleringar sedan utförts av två huvudfall, här benämnda ”Delöppet” respektive ”Helt öppet”. I huvudfallet ”Delöppet” används grundvattentryck i botten av MOUSE-SHE-modellen som kommer från DarcyTools-modellen för naturliga (opåverkade) förhållanden. Undantaget är i ett begränsat område kring tillfartstunneln och schakten, där inget grundvattenflöde tillåts genom modellen botten (belägen på nivån 135 m under havets nivå).

Detta är gjort så att inte grundvattentrycket kring tillfartstunnel och schakt hålls uppe enbart på grund av ett tryckvillkor i modellens botten (Emma Bosson, pers. komm. 2005); dessa grundvattentryck i modellens botten beräknades ju med DarcyTools-modellen utan ett förvar. Detta fall skall alltså motsvara ett skede då endast de översta delarna av tillfartstunnel och schakt är byggda. I huvudfallet ”Helt öppet” används grundvattentryck i hela MOUSE-SHE-modellens botten som kommer från DarcyTools-modellen för påverkade förhållanden (motsvarande ett fall utan injektering i slutförvarets djupa delar). Detta fall skall alltså motsvara ett skede då hela slutförvaret är byggt. För vardera av dessa huvudfall har modellprognoser utförts för olika täthet på injekteringen i slutförvarets yttnära delar (från markytan ned till 135 m under havets nivå). I fallen med injektering av slutförvaret har den injekterade zonen i modellen ansatts en tjocklek på 8 m samt ett visst K -värde kring tunnlar och schakt.

3.3.2 Inläckage till slutförvaret

Tabell 3-3 och 3-4 redovisar de inläckage till slutförvaret som beräknats med DarcyTools /Svensson 2005a/ samt MOUSE-SHE /Bosson och Berglund 2006/. Tabell 3-3 visar beräknade inläckage till förvarsdelar belägna från 100 m under havets nivå och nedåt, medan tabell 3-4 visar beräknade inläckage till förvarsdelar belägna på ett djup av 135 m under havets nivå och upp till markytan. Det finns således ett visst överlapp mellan de olika djupintervall inom vilka modellerna beräknar inläckaget, varför en summering av siffrorna i tabellerna i sig ger en viss överskattning av det modellberäknade totala inläckaget till slutförvaret.

Observera att i de numeriska modelleringarna har ingen uppdelning gjorts på olika bygg- och driftskeden, varför inläckaget redovisas med ett helt öppet slutförvar inom respektive modells djupintervall /Bosson och Berglund 2006, Svensson 2005a/. Ett helt öppet förvar är en situation som dock aldrig kommer att uppstå i verkligheten, eftersom förvaret kommer att byggas ut och förslutas i etapper.

För DarcyTools-beräkningarna /Svensson 2005a/ finns också endast resultat för inläckaget till hela slutförvaret när hela slutförvaret är öppet samtidigt (mellan 100 m ned till cirka 400 m under havets nivå), medan inläckaget i MOUSE-SHE-modelleringen /Bosson och Berglund 2006/ dock finns beräknad uppdelat på olika djupavsnitt och delar av slutförvaret (för delar mellan markytan och ned till 135 m under havets nivå). Observera att inläckage till de fyra schakten inte ingår i tabell 3-4. Det beräknade totala inläckaget till de fyra schakten är dock mindre än 0,5 l/s /Bosson och Berglund 2006/. Notera att det planerade förvaret också inkluderar ett frånlufschakt, som dock inte är med i modellen eftersom information om detta schakt saknades då modellberäkningarna genomfördes (Emma Bosson, pers. komm. 2005).

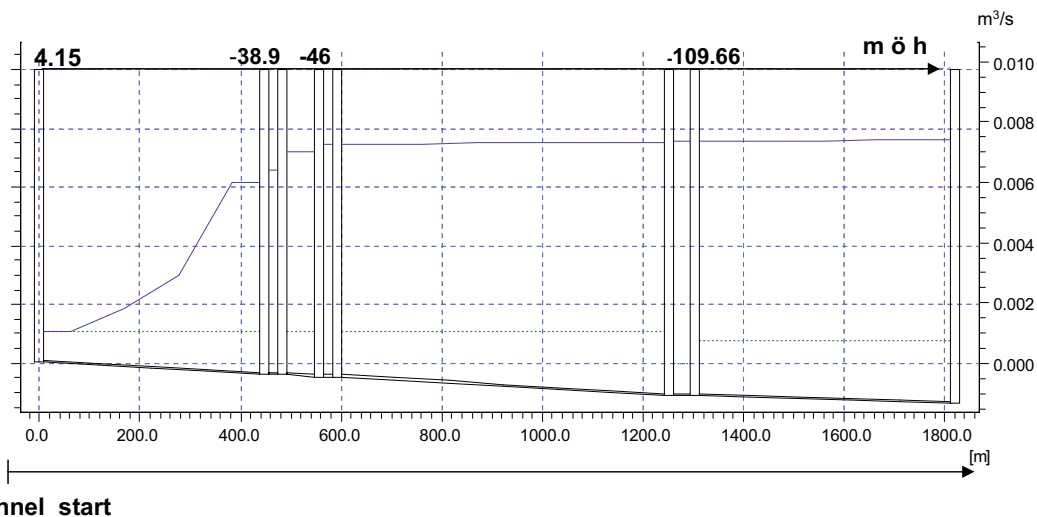
Figur 3-7 visar ackumulerat inläckage på olika djup/längdkoordinater av tillfartstunneln, beräknat med modellen MOUSE-SHE (inläckagen avser huvudfallet ”Delöppet”, utan injektering). De vertikala linjerna i figuren markerar var tillfartstunneln (som är utformad som en spiraltunnel) ändrar riktning.

Tabell 3-3. Beräknat inläckage till slutförvaret (från 100 m under havets nivå och nedåt) som funktion av injekteringens vattengenomsläpplighet /Svensson 2005a/.

Maximal genomsläpplighet (K) i m/s för injekteringen	Beräknat inläckage	
	l/s	m ³ /år
Ingen injektering	4,0	126 144
10 ⁻⁷	4,0	126 144
10 ⁻⁹	1,9	59 918
10 ⁻¹¹	0,05	1 577

Tabell 3-4. Beräknat inläckage till slutförvarets ramp (tillfartstunnel) exklusive de fyra schakten (från -135 m över havet och uppåt) som funktion av injekteringens vattengenomsläpplighet /Bosson och Berglund 2006/.

Maximal genomsläpplighet (K) i m/s för injekteringen	Beräknat inläckage		m ³ /år	
	l/s	l/s	”Delöppet”	”Helt öppet”
Ingen injektering	5,0	4,0	157 680	126 144
10 ⁻⁷	2,5	2,0	78 840	63 072
10 ⁻⁹	0,1	0,1	3 154	3 154



Figur 3-7. Ackumulerat inläckage på olika djup/längdkoordinater av tillfartstunneln, beräknat med modellen MOUSE-SHE /Bosson och Berglund 2006/. Inläckagen avser huvudfallet "Delöppet", utan injektering. De vertikala linjerna i figuren markeringar var tillfartstunneln (som är utformad som en spiraltunnel) ändrar riktning. Notera att grafen representerar en ögonblicksbild; värdena i tabell 3-4 är årsmedelvärden.

En summering av värdena i tabell 3-3 och 3-4 visar att det totala inläckaget till slutförvaret (inklusive de fyra schakten, till vilka inläckaget enligt ovan är > 0,5 l/s) bedöms vara cirka 2,5–8,5 l/s (cirka 79 000–268 000 m³/år), beroende på injekteringens vattengenomsläpplighet. Fallet med $K = 10^{-11}$ m/s är då inte beaktat, dels eftersom det inte beräknats med MOUSE-SHE-modellen och dels för att det kan betraktas som en "orimligt" tät injektering. Figur 3-7 visar att huvuddelen av inläckaget till tillfartstunneln sker till de översta delarna (nivåintervall cirka 0 till 40 m under havets nivå). Det är också ett visst inläckage till tillfartstunneln mellan nivåerna cirka 40 till 46 m under havets nivå. På djupare nivåer (belägna under 46 m under havets nivå) är det ackumulerade inläckaget nästan konstant, vilket alltså innebär att ytterligare inläckage inte tillkommer på dessa nivåer. Det bör noteras att MOUSE-SHE modellerar ett transient inläckage till slutförvaret, varför figur 3-7 representerar en ögonblicksbild av inläckaget och dess djupberoende under det modellerade året. Under detta år varierar det totala inläckaget inom intervallet 4–8 l/s.

För "försvarsdjupet" 400 m under havets nivå, ger de analytiska beräkningarna (avsnitt 2.4.1) ett inläckage till slutförvaret på cirka 0,02 l/s (medianen av den erhållna stokastiska fördelningen) med en vattengenomsläpplighet på injekteringen på $K = 10^{-9}$ m/s (enda fallet som beaktas i de analytiska beräkningarna). Motsvarande inläckage i DarcyTools-modelleringen är 1,9 l/s. Dessa analytiska beräkningar inkluderar dock inte inläckage till tillfartstunnel, schakt eller tunnlar på försvarsdjup som passeras av deformationszoner. Inläckaget till ramp (tillfartstunnel) vid passage av högkonduktiva zoner beräknades analytiskt till 1,5, 3 och 4,5 l/s på nivåerna 50, 100 och 150 m under havets nivå, med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-7}$ m/s för injekteringen i rampen (medianen, det vill säga 50 %). Motsvarande inläckage till schakt är 0,04, 0,1 och 0,1 l/s. MOUSE-SHE-modelleringen ger ett inläckage på 2 l/s till rampen, samt att inläckaget är mindre än 0,5 l/s till de fyra schakten för denna täthet på injekteringen.

Även om det alltså är vissa skillnader mellan resultaten från de olika analytiska och numeriska modellerna, ger de någorlunda samstämmiga prognoser. Dessa visar på ett relativt litet inläckage till de "djupa" (och volymmässigt större) delarna av slutförvaret och att en stor del av inläckaget sker till de yt nära (och volymmässigt mindre) delarna av slutförvaret, det vill säga ramp (tillfartstunnel) och schakt. Detta beror på att berget har en starkt avtagande vattengenomsläpplighet med djupet.

3.3.3 Grund- och ytvattenpåverkan

Grund- och ytvattenpåverkan från slutförvar Forsmark har modellerats med DarcyTools /Svensson 2005a/ och MOUSE-SHE /Bosson och Berglund 2006/. DarcyTools-modellen beaktar endast de ”djupa” delarna av slutförvaret (från 100 m under havets nivå och nedåt), medan MOUSE-SHE-modellen beaktar antingen endast de övre delarna av förvaret (mellan markytan och 135 m under havets nivå), eller ett helt öppet slutförvar genom kopplingen till DarcyTools-simuleringarna (där även de djupa delarna av förvaret finns med) /Bosson och Berglund 2006, Svensson 2005a/. Dessa huvudfall i MOUSE-SHE-modellen benämns här ”Delöppet” respektive ”Helt öppet”. Observera att i de numeriska modelleringarna har ingen uppdelning gjorts på olika bygg- och driftskeden, varför grund- och ytvattenpåverkan endast redovisas med ett helt öppet slutförvar inom modellernas respektive djupintervall /Bosson och Berglund 2006, Svensson 2005a/. Som nämnts tidigare, är ett helt öppet förvar en situation som dock aldrig kommer att uppstå i verkligheten, eftersom förvaret kommer att byggas ut och förslutas i etapper.

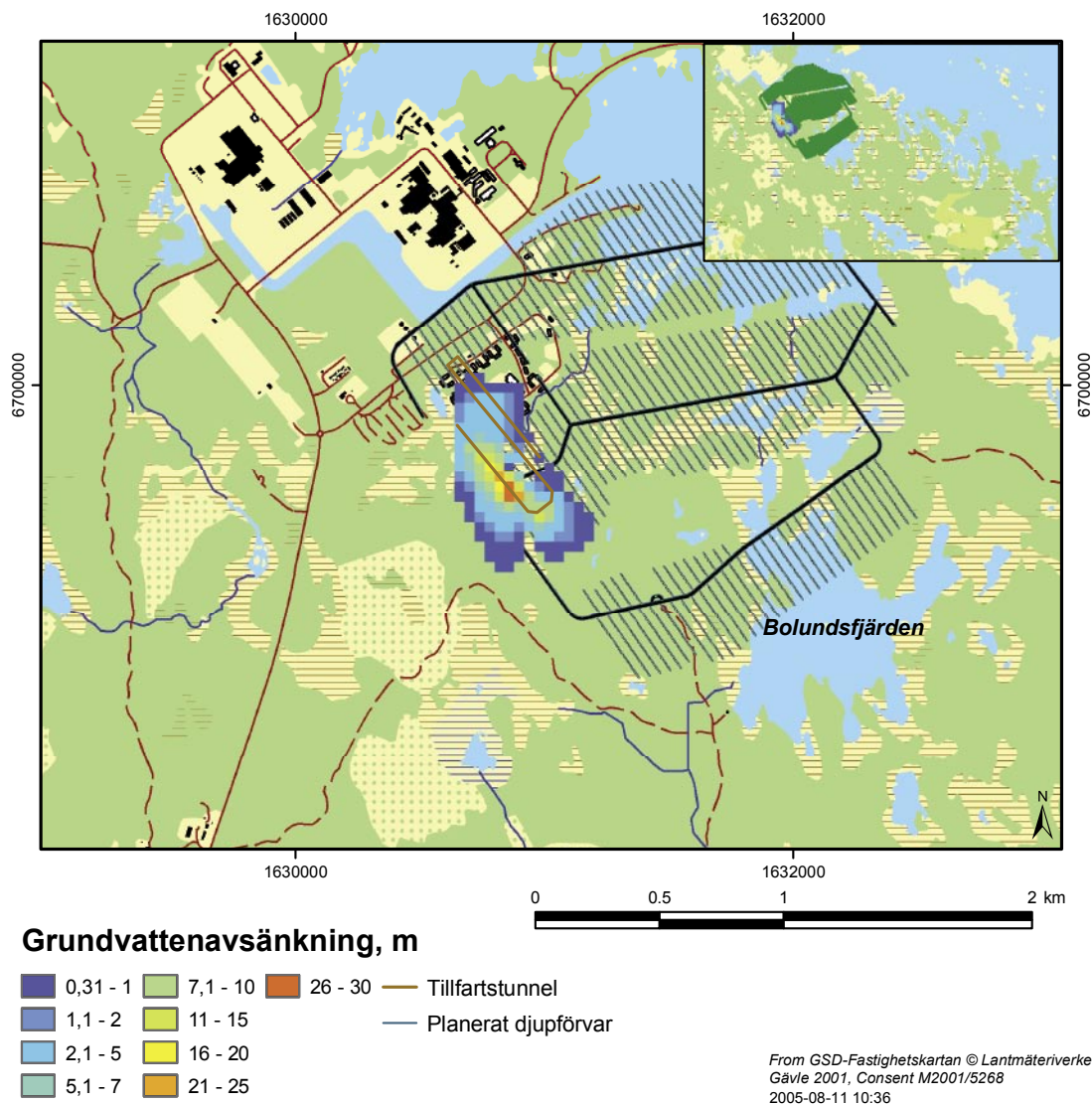
DarcyTools-modellering – Påverkan från de djupa förvarsdelarna

Resultaten från DarcyTools-modelleringen visar att med en tät injektering (vattengenomsläpplighet $K = 10^{-11}$ m/s) begränsas trycksänkningen på förvarsnivå (cirka 400 m under havets nivå) till området närmast kring förvaret. Om ingen injektering utförs, blir den beräknade trycksänkningen mer jämnt fördelad kring förvaret, men fortfarande med en begränsad rumslig utbredning. Själva trycksänkningen på förvarsnivå blir stor, men trycksänkningen på nivån 60 m under havets nivå (ett ”typiskt” djup för bergborrade brunnar i området /Ludvigson 2002/) är endast cirka 1–2 m direkt ovanför förvaret (för fallen utan injektering eller med vattengenomsläpplighet $K = 10^{-7}$ m/s för injekteringen). Resultaten från DarcyTools-modelleringen visar inte på någon påverkan på grundvattenytan från de ”djupa” delarna av slutförvaret. Observera att modellen kan beakta grund- och ytvattenförhållandena nära och på markytan, men att det är själva slutförvaret som i modellen har en begränsning uppåt på nivån 100 m under havets nivå. På grund av att DarcyTools-modellen endast omfattar de djupa delarna av slutförvaret (och att endast en liten omgivningspåverkan prognostiserats med den modellen), återges inga figurer från DarcyTools-modelleringen.

MOUSE-SHE-modellering – Grundvattenytans avsänkning och påverkansområde

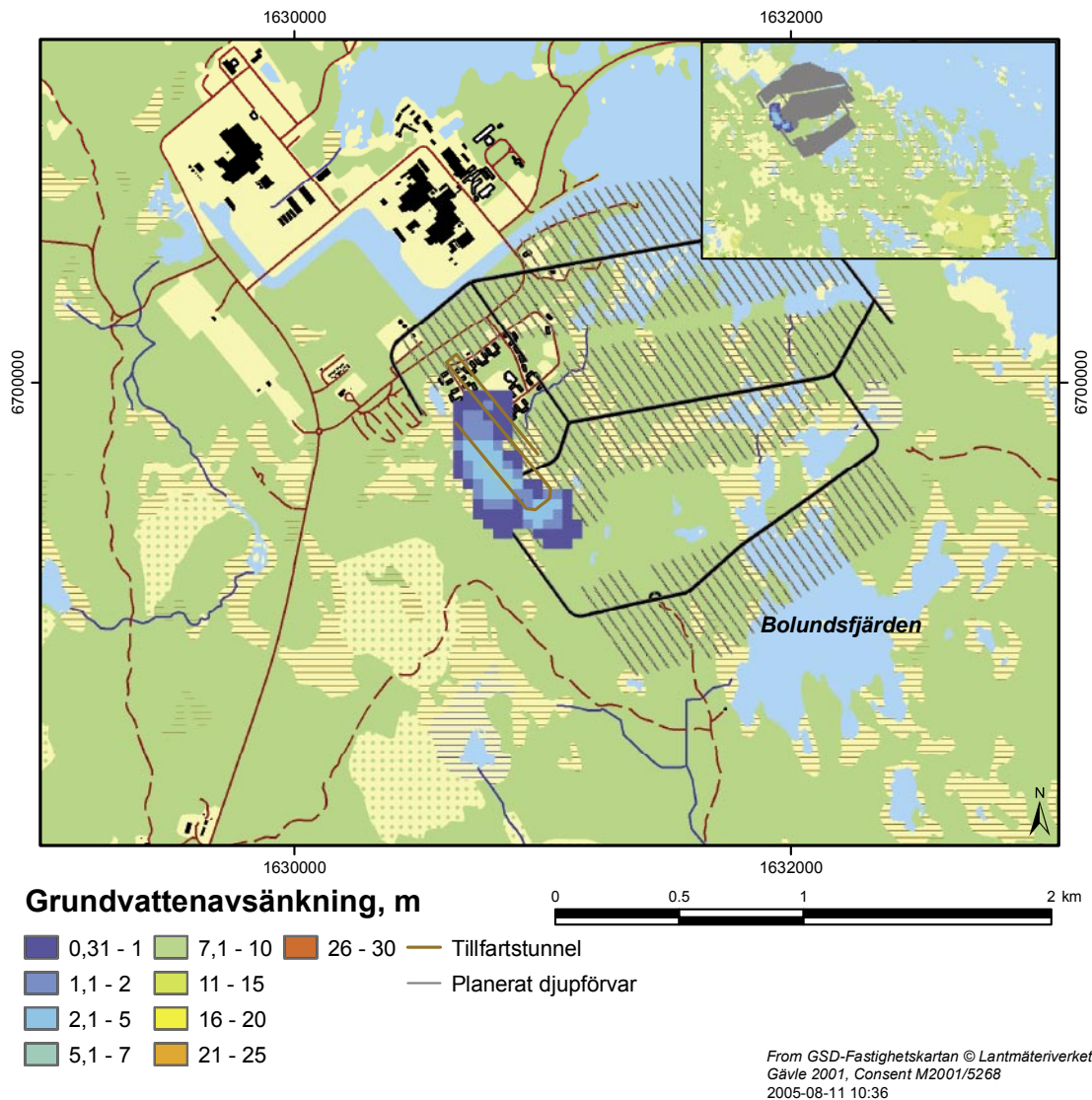
Figur 3-8 till 3-13 nedan visar beräkningsresultat från MOUSE-SHE-modelleringen, dels i termer av grundvattenytans avsänkning och dels i termer av grundvattnets trycksänkning på nivån 60 m under havets nivå (se separat avsnitt nedan). Resultat visas för de två huvudfallen (”Delöppet” och ”Helt öppet”) och för olika fall avseende injekteringen av de övre delarna i slutförvaret. I båda dessa huvudfall är alltså de övre delarna av slutförvaret med i modellen vilket de inte är i DarcyTools-modelleringen, men det senare fallet beaktar inverkan även av de djupa delarna av förvaret (via bottenrandvillkoret). Samtliga figurer för huvudfallet ”Helt öppet” är utan injektering i slutförvarets djupa delar).

Grundvattenytans avsänkning är definierad som differensen mellan grundvattenytans nivå utan och med ett slutförvar. För vardera av dessa situationer (utan förvar och med förvar) avses grundvattenytans nivå i slutet av den modellerade perioden. Initialvillkor för beräkningarna med ett förvar är beräkningsresultatet för det sista tidssteget (i slutet av den modellerade perioden) utan förvar. En analys av tidsförloppet i MOUSE-SHE-modellen visar att hela den grundvattenavsänkning som uppstår kring förvaret sker under de första månaderna av den modellerade perioden (med ett förvar). De avsänkningar som redovisas nedan kan alltså anses vara representativa och avsänkningarna bör inte öka väsentligt om en längre tidsperiod modelleras.



Figur 3-8. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Forsmark, beräknad med MOUSE-SHE. Figuren avser huvudfallet "Delöppet", utan injektering. Observera att endast de översta delarna av slutförvaret (från markytan ned till 135 m under havets nivå) finns med för detta huvudfall av MOUSE-SHE-modelleringen.

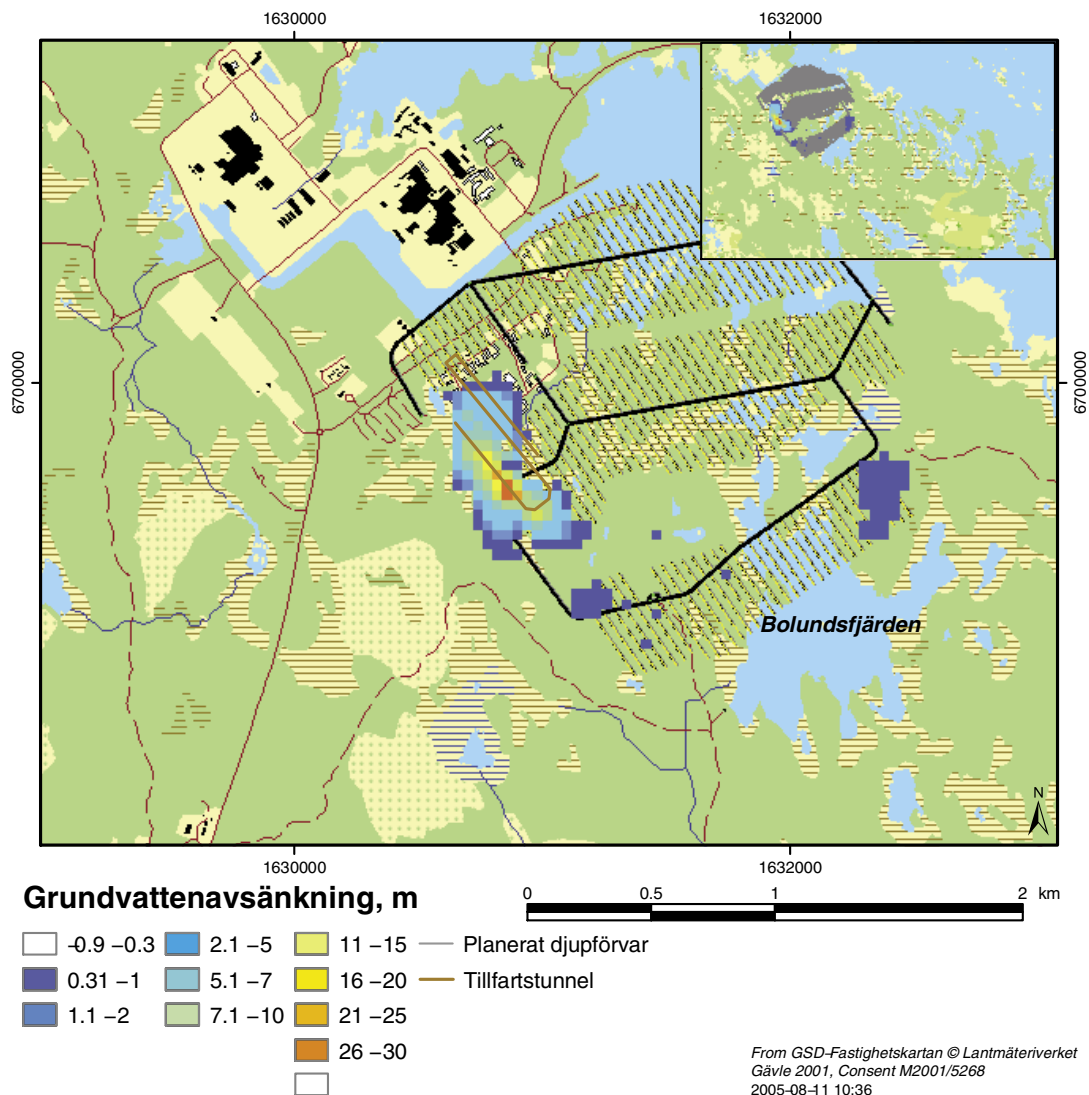
Om endast de övre delarna av tillfartstunneln och schakten tas med i modellen, blir grundvattenytans avsänkning relativt stor (maximalt cirka 25 m) i ett litet område kring tillfartstunnel och schakt om man inte utför någon injektering (figur 3-8). Det blir dock ingen grundvattenavsänkning i områden utanför tillfartstunnel och schakt. Figur 3-9 visar situationen där man gör injektering med en vattengenomsläpplighet av $K = 10^{-7}$ m/s i de övre delarna av tillfartstunnel och schakt. För detta fall blir avsänkning mindre (maximalt cirka 7 m), jämfört med fallet utan injektering. Det avsänkta området kring tillfartstunnel och schakt blir också något mindre.



Figur 3-9. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Forsmark, beräknad med MOUSE-SHE. Figuren avser huvudfallet "Delöppet", med en injektering med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-7}$ m/s.

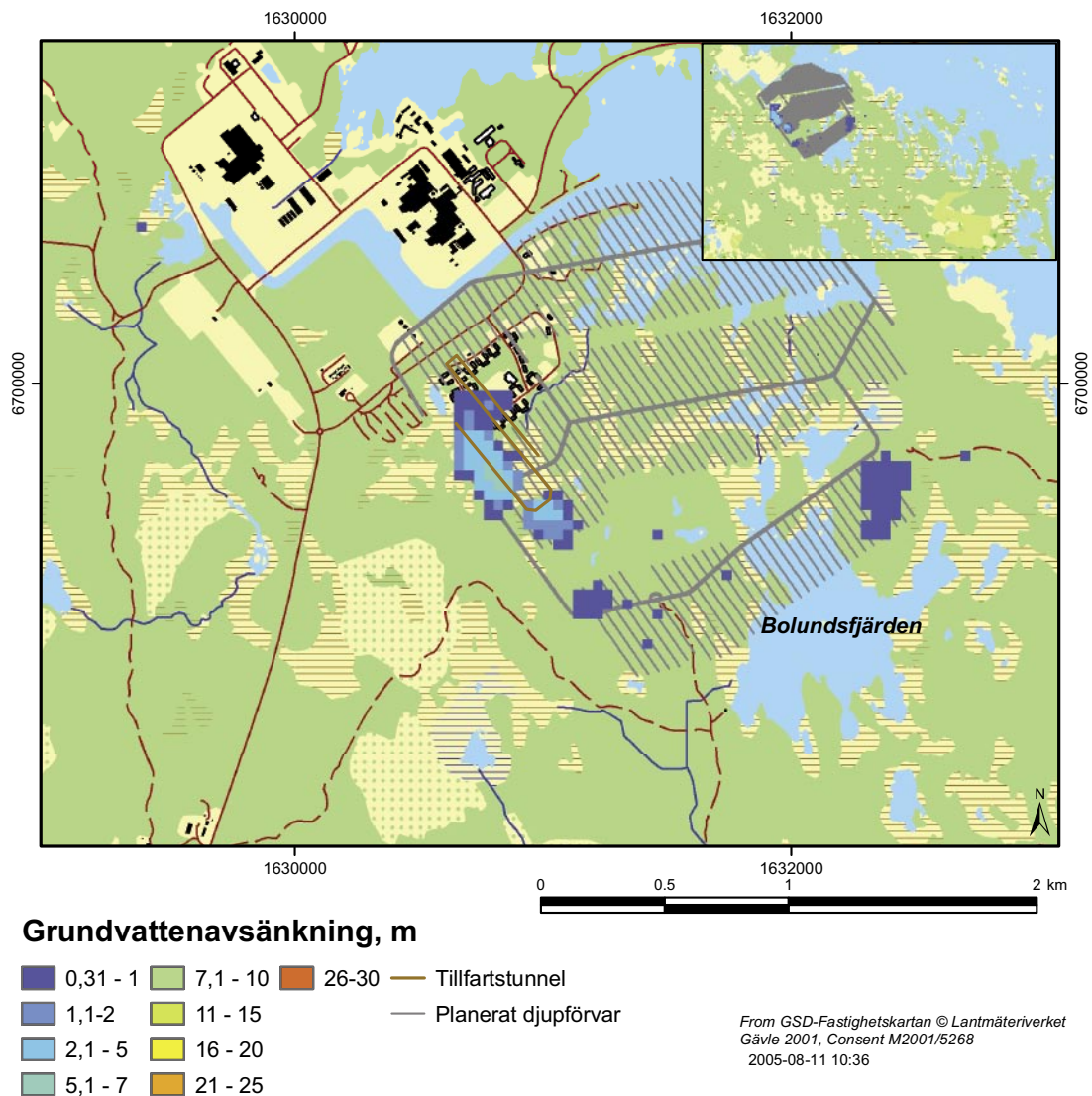
Om endast de övre delarna av tillfartstunneln och schakten tas med i modellen, blir grundvattenytans avsänkning stor (maximalt cirka 25 m) i ett område kring tillfartstunnel och schakt om man inte utför någon injektering. Det blir dock ingen grundvattenavsänkning i områden utanför tillfartstunnel och schakt.

I den beräkning som redovisas i figur 3-10 är även de djupa delarna av slutförvaret med i modellen, vilket innebär att ett helt öppet förvar modelleras. Figuren visar situationen om ingen injektering görs i någon del av förvaret. För ett helt öppet och icke-injekterat slutförvar blir det, förutom kring tillfartstunnel och schakt (maximal avsänkning cirka 25 m), även en avsänkning i områden ovanför den södra och östra delen av förvaret (maximalt cirka 1 m).



Figur 3-10. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Forsmark, beräknad med MOUSE-SHE. Figuren avser huvudfallet "Helt öppet", utan injektering.

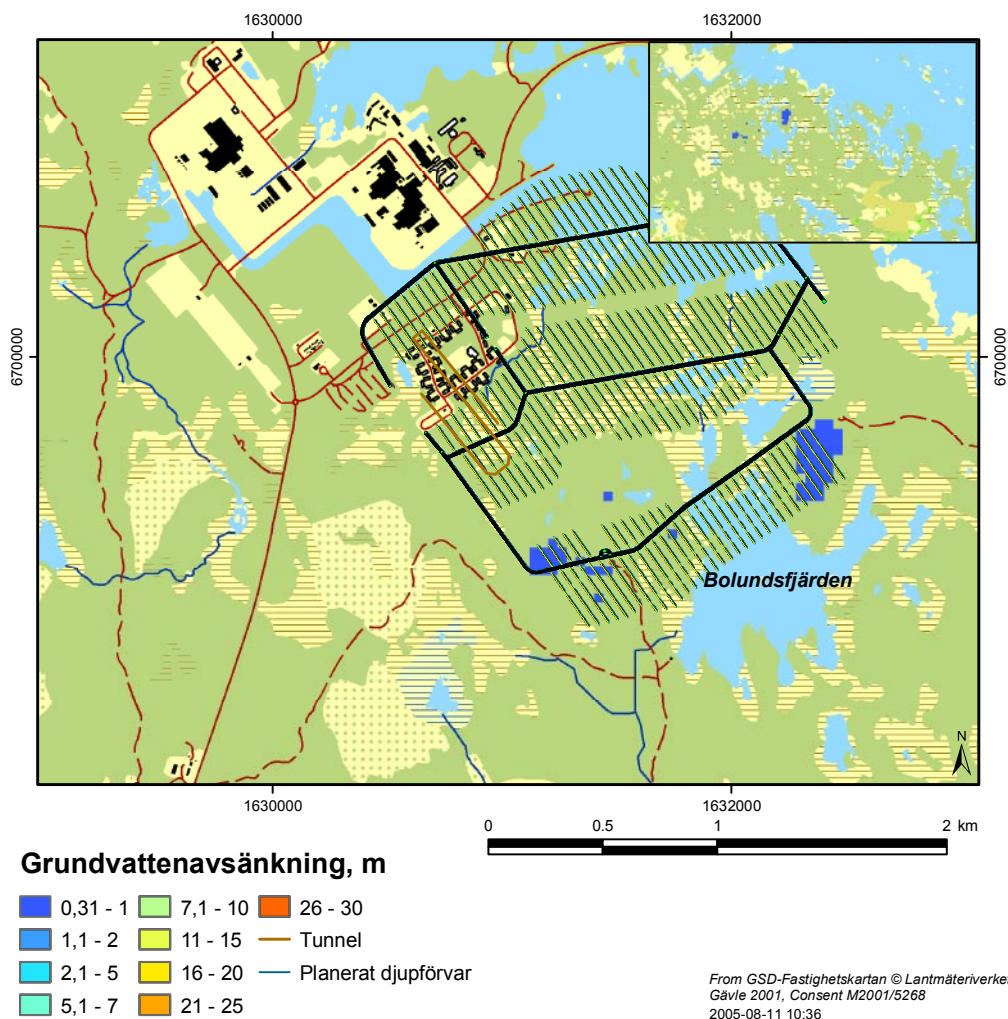
Figur 3-11 visar resultat för ett helt öppet förvar, där injektering med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-7}$ m/s görs i de övre delarna av förvaret. För denna situation blir avsänkning och det avsänkta området kring tillfartstunnel och schakt mindre (maximalt cirka 7 m) jämfört med det icke-injekterade fallet. Avsänkning ovanför den södra och östra delen av förvaret kvarstår dock, eftersom de djupa delarna av förvaret även här antas vara icke-injekterade.



Figur 3-11. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Forsmark, beräknad med MOUSE-SHE. Figuren avser huvudfallet "Helt öppet", med en injektering med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-7}$ m/s.

I ett helt öppet förvar där en tätare injektering ($K = 10^{-9}$ m/s) utförts uppstår inga avsänkta områden i anslutning till tillfartstunnel och schakt (figur 3-12). Liksom i figur 3-11, så finns det ett avsänkt område (maximal avsänkning cirka 1 m) ovanför den södra och östra delen av förvaret, eftersom de djupa delarna av förvaret antas vara utan injektering.

Modelleringsresultaten i figurerna ovan visar att grundvattenytans avsänkning och dess påverkansområde är kraftigt beroende av injekterings vattengenomsläpplighet. Med en tät injektering ($K = 10^{-9}$ m/s) är den maximala avsänkningen liten (< 1 m). De djupa delarna av förvaret (huvudfallet "Helt öppet") ger endast en liten "tilläggsavsänkning" och ökning av



Figur 3-12. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Forsmark, beräknad med MOUSE-SHE. Figuren avser huvudfallet "Helt öppet", med en injektering med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-9}$ m/s.

påverkansområdets storlek. Dessa resultat är i överensstämmelse med DarcyTools-modelleringen, där ingen grundvattenavsänkning kunde observeras med endast de "djupa" delarna av slutförvaret medtagna i modellen. Observera att olika områden ingår i det prognostiserade påverkansområdet med och utan de "djupa" delarna av förvaret. Beaktas enbart de översta delarna av förvaret (huvudfallet "Delöppet"), återfinns påverkansområdet nära tillfartstunnel och schakt. Inkluderas även de djupa delarna av förvaret (huvudfallet "Helt öppet"), avsänks grundvattenytan även i områden ovanför den södra och östra delen av förvaret.

Tabell 3-5 anger den prognostiserade största grundvattenavsänkning som uppstår och påverkansområdets storlek för de två huvudfallen "Delöppet" och "Helöppet", för olika fall avseende injekteringen i slutförvaret /Bosson och Berglund 2006/. Med "påverkansområde" avses här det område inom vilket grundvattenytans nivå avsänks mer än 0,3 m. Denna avsänkingsgräns brukar i regel användas, till exempel som en gräns för där avsänkningen är märkbar (mätbar).

Tabell 3-5. Största grundvattenavsänkning och påverkansområdets storlek (avsänkning större än 0,3 m) för de två huvudfallen som här benämns "Delöppet" och "Helt öppet" /Bosson och Berglund 2006/.

Maximal genomsläpplighet (K) i m/s för injekteringen	Största grundvattenavsänkning (m)		Påverkansområdets storlek (km ²)	
	"Delöppet"	"Helt öppet"	"Delöppet"	"Helt öppet"
Ingen injektering	25,4	25,4	0,26	0,31
10 ⁻⁷	6,6	6,8	0,18	0,22
10 ⁻⁹	0,14	0,7	0	0,085

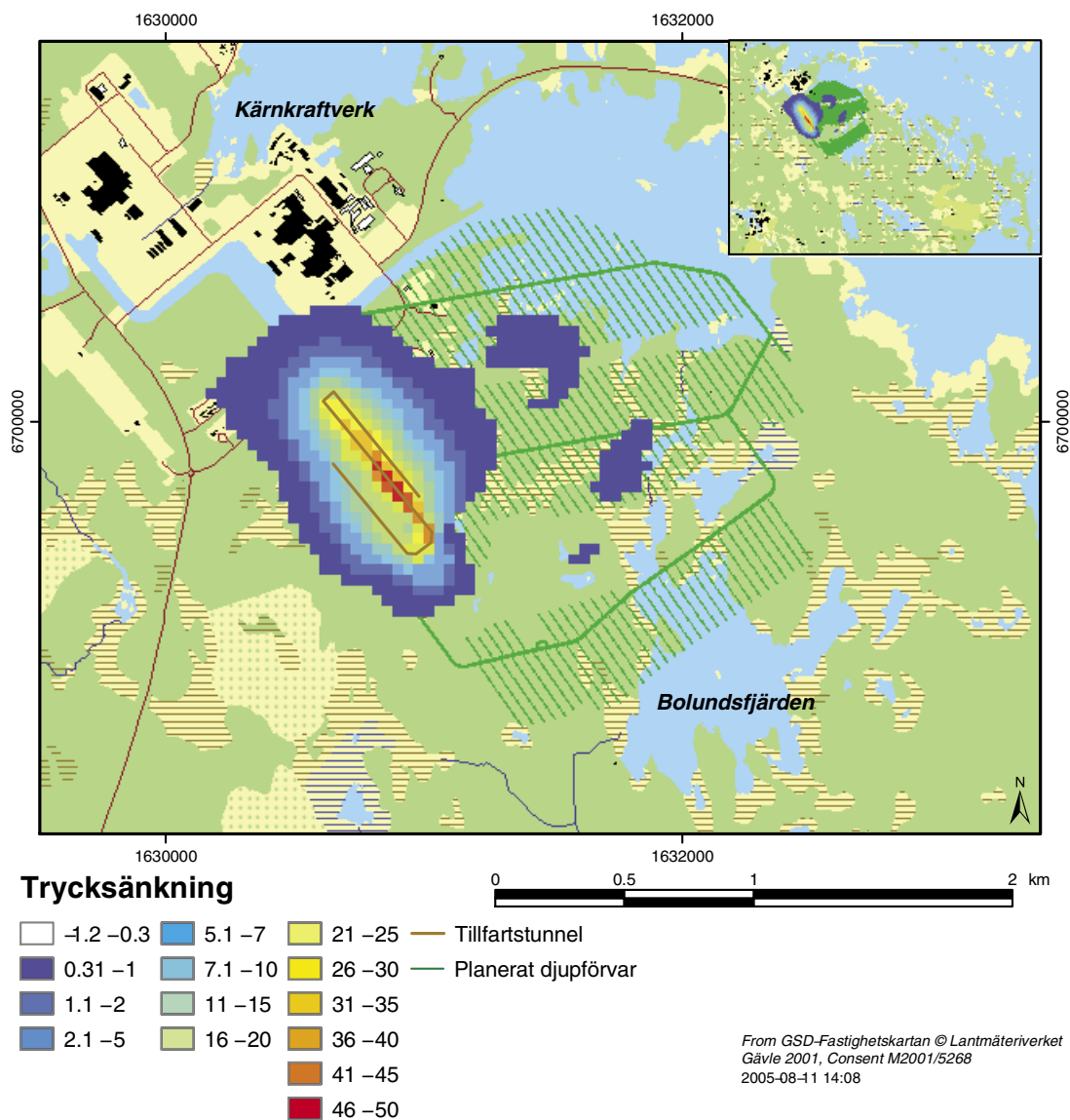
Tabellen visar att huvudfallet "Delöppet" (där de djupa delarna av förvaret inte finns med) ger en mindre grundvattenavsänkning och ett mindre påverkansområde, jämfört med huvudfallet "Helt öppet". Förklaringen är att i fallet "Delöppet" antas naturliga (opåverkade) grundvattenstryck råda i modellens botten (135 m under havets nivå), förutom nära slutförvaret där inget flöde tillåts genom modellens botten. Detta fall motsvarar alltså ett tidigt skede, då endast de delar av slutförvaret är byggda som är belägna från nivån 135 m under havets nivå och uppåt. Huvudfallet "Delöppet" har dock ett större inläckage till de övre delarna av rampen (tillfartstunneln) jämfört med fallet "Helt öppet" (jmf. avsnitt 3.3.2). I huvudfallet "Helt öppet" är grundvattenstrycket avsänkt i hela modellens botten. Detta ger i sin tur ett lägre inläckage till de övre delarna av slutförvaret (jämför tabell 3-4).

Påverkan på befintliga brunnar

Inom grundvattenavsänkningens prognostiserade påverkansområde (figur 3-8 till 3-12) finns inga befintliga jordbrunnar identifierade, inte ens i det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar utan injektering. Figur 3-8 till 3-12 visar grundvattenytans avsänkning och dess påverkansområde; grundvattnets trycksänkning i berget måste också beaktas, eftersom en trycksänkning kan ge minskade uttagsmöjligheter i bergborrade brunnar. Figur 3-13 visar trycksänkningen på nivån 60 m under havets nivå som beräknats med MOUSE-SHE-modellen. Denna nivå är vald för att den är ett "typiskt" djup för bergborrade brunnar i Forsmarksområdet /Ludvigson 2002/. Figuren avser huvudfallet "Delöppet", för fallet där ingen injektering gjorts i tillfartstunnel eller schakt. Trycksänkningen är definierad som differensen mellan grundvattnets tryck utan och med ett slutförvar, där respektive tryck avser situationen i slutet av den modellerade perioden.

På motsvarande sätt som för grundvattenytans avsänkning (se tidigare avsnitt), visar en analys av tidsförloppet i MOUSE-SHE-modellen att hela den trycksänkning som uppstår kring förvaret på det aktuella djupet (60 m under havets nivå) sker under de första månaderna av den modellerade perioden. Den trycksänkning som redovisas nedan kan alltså anses vara representativ och trycksänkningen bör inte bli större om en längre tidsperiod modelleras.

Den största delen av trycksänkningens påverkansområde på det angivna djupet återfinns i närheten av tillfartstunnel och schakt. Påverkansområdet omfattar även ett par mindre områden öster om tillfartstunnel och schakt. Resultaten från MOUSE-SHE-modelleringen visar att trycksänkningens belopp och dess påverkansområde ökar med djupet. Trycksänkningen har alltså olika stort påverkansområde, här definierat som det område inom vilket trycksänkningen är över 0,30 m, på olika djup.



Figur 3-13. Grundvattnets trycksänkning (m) på nivån 60 m under havets nivå i MOUSE-SHE-modelleringen. Figuren avser huvudfall "Delöppet", utan injektering.

Utan injektering är trycksänkningens påverkansområde på nivån 4 m under markytan cirka 0,25 km², och på nivån 60 m under havets nivå är påverkansområdets storlek cirka 0,97 km². Påverkansområdet är störst på nivån 90 m under havets nivå (cirka 1,89 km²). Med injektering i slutförvarets övre delar minskar påverkansområdets storlek något; på respektive nivå enligt ovan (4 m under markytan samt 60 och 90 m under havets nivå) är påverkansområdets storlek cirka 0,15, 0,93 och 1,85 km², om injekteringens vattengenomsläpplighet är $K = 10^{-7}$ m/s. Det finns inga befintliga bergborrade brunnar inom trycksänkningens prognostiserade påverkansområde.

Den analytiska modellering som gjorts avseende omgivningspåverkan från slutförvar Forsmark (avsnitt 2.4.1) begränsas till beräkning av "influensavståndet" på nivån 400 m under havets nivå, definierat som det största avstånd där trycksänkningen i berg på det aktuella djupet "bör kunna registreras" /Olsson och Brantberger 2005a/. Dessa beräkningar ger ett "influensavstånd" på cirka 300 m för "tidigt skede" (inledande drift) och 800 m för "sent skede" (reguljär drift). Under antagande om ett helt cirkulärt påverkansområde, ger detta ett område på cirka 0,28 respektive 2,01 km². Eftersom avståndet räknas från en punkt i mitten av förvaret, ingår förvarets area i de angivna areorna. Den numeriskt beräknade trycksänkningens påverkansområde har även beräknats i MOUSE-SHE-modelleringen. Där definieras påverkansområdet på olika nivåer

som det område inom vilket trycksänkningen är över 0,30 m. I den numeriska modellen fås på nivån 90 m under havets nivå ett påverkansområde om cirka 1,89 km² utan injektering; med en vattengenomsläpplighet på injekteringen på $K = 10^{-7}$ m/s fås ett påverkansområde om cirka 1,85 km². De analytiska och numeriska beräkningarna ger alltså påverkansområden som är av samma storleksordning.

Påverkan på ytvattenförhållanden och vattenbalans

Beroende på jordart kan även en kortvarig avsänkning av grundvattenytan i jordlagren påverka tillgången på vatten i den omättade zonen. En mer permanent grundvattensavsänkning (flera år) kan även ge negativ påverkan på växtligheten. MOUSE-SHE-modelleringen har dock inte påvisat någon påverkan från slutförvaret på vattenstånd i sjöar eller på vattenföringen i vattendragen.

Enligt modellprognoserna minskar den totala avrinningen från land i modellområdet endast marginellt (från 190 till 185 mm per år). Påverkan på avrinningen inom påverkansområdet har dock inte särredovisats /Bosson och Berglund 2006/. Den totala evapotranspirationen inom modellområdet minskar med 5 mm per år, varav transpirationen från växter minskar med 2 mm per år. Påverkan på ytvattenförhållandena har inte undersökts i DarcyTools-modelleringen.

Erforderlig tid för "återmättnad" av slutförvaret

Den tid som krävs innan de "djupa" delarna av slutförvaret (mellan nivåerna 400 och 100 m under havets nivå) återmättats med grundvatten har beräknats med DarcyTools /Svensson 2005a/. Resultatet av dessa beräkningar återges i tabell 3-6. Tiden för "återmättnad" har beräknats som funktion av det vertikala avståndet till ett mer genomsläppligt berglager ovanför slutförvaret. Med t_{90} och t_{99} menas den tid det tar att uppnå 90 % respektive 99 % tryckåterhämtning i ett återfyllt slutförvar.

Enligt tabell 3-6 bedöms det ta mellan cirka 15–50 år innan de "djupa" delarna av slutförvaret (djupare än 100 m under havets nivå) återmättats efter driftskedet och återfyllnaden (återfyllnad med bentonit och bergkrossmaterial). Tiden för återmättnad av de "ytinära" delarna av slutförvaret har inte beräknats. Enligt resultaten i tabell 3-6 ökar tiden för återmättnad med avståndet från ett vattengenomsläppligt lager. Jordlagren och det "ytinära" berget utgör mer vattengenomsläppliga lager, jämfört med det "djupa" berget inom förvarsvolymen. Även om detta inte beräknats, kan man därför anta att återmättnaden av de "ytinära" delarna av tillfartstunnel och schakt tar kortare tid än för de "djupa" delarna i tabell 3-6.

Saltvattenuppträngning

Slutförvarets påverkan på grundvattnets salthalt har undersökts med DarcyTools-modellen /Svensson 2005a/. Modelleringsresultaten visar att slutförvaret har endast en liten effekt på salthalterna, även för fallet utan injektering av slutförvaret.

Tabell 3-6. Beräknad tid för återmättnad av de "djupa" delarna av slutförvaret (från –100 m över havet och nedåt) som funktion av avstånd till ett vattengenomsläppligt lager /Svensson 2005a/.

Avstånd till vattengenomsläppligt lager (m)	Inläckage l/s	m ³ /år	t_{90} (år)	t_{99} (år)
100	$5,6 \cdot 10^{-6}$	0,18	33	52
50	$6,7 \cdot 10^{-6}$	0,21	27	42
25	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,26	22	34
10	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,38	15	24

3.4 Sammanfattning och diskussion

- Forsmarksområdet karaktäriseras av en småskalig topografi, med många lokala grundvattenflödessystem i jord och ”ytinära” berg. Avrinningen är i storleksordningen 225 mm per år. Jordlagren är generellt tunna, vilket medför att det endast finns små grundvattenmagasin i jord. Jordlagren består framförallt av sandig (i vissa delar lerig) morän. Övergångszonen mellan jord och berg bedöms ha en relativt hög vattengenomsläpplighet. Vattennivån i sjöarna i området bedöms främst bestämmas av sjöarnas trösklar samt av grund- och ytvattenflödena från områdena inåt land. För sjöar nära havet (till exempel Bolundsfjärden) kan även inflöde av havsvatten under vissa perioder påverka sjöarnas vattennivå, och alltså bidra till att motverka en sänkning av sjöarnas vattennivå. De flesta vattendragen i området är små och i regel att betrakta som diken. Även de största av dessa vattendrag kan under opåverkade (naturliga) förhållanden vara torrlagda långa perioder under torrår. Många av vattendragen i området har fördjupats för att förbättra deras dräneringseffekt. Våtmarkerna vilar antingen direkt på morän eller är belägna i områden med ett gyttje- eller lerlager ovanpå moränen. Nuvarande kunskap om platsen visar att kontakten mellan grundvatten och ytvatten i sjöar, vattendrag och våtmarker varierar inom området, vilket har betydelse för deras känslighet för grundvattenavsänkning.
- Inläckage till samt grund- och ytvattenpåverkan från ett slutförvar i Forsmark har beräknats med två olika numeriska modeller. I den ena numeriska modellen (DarcyTools) finns endast de djupa delarna av slutförvaret med, och den andra modellen (MOUSE-SHE) inkluderar förvarsdelarna 135 m under havets nivå och upp till markytan. Analytiska modeller har använts för att beräkna inläckaget till slutförvaret och influensavståndet för grundvattnets trycksänkning på förvarsdjup (400 m under havets nivå). Däremot har inga analytiska beräkningar gjorts av grundvattentans avsänkning. Orsaken till detta är att de analytiska modellerna för grundvattentans avsänkning inte anses tillämpbara för den aktuella situationen, med vattengenomsläppligt ”ytinära” berg (0–200 djup) som underlagras av ”tätt” berg.
- Modelleringen visar att inläckaget till och omgivningspåverkan av slutförvarets djupa delar är liten jämfört med de ytära delarna av ramp och schakt (här definierade som förvarsdelar mellan markytan och 135 m under havets nivå). Med de numeriska modellerna har det totala inläckaget till ett helt öppet slutförvar beräknats vara mellan cirka 2,5 och 8,5 l/s. Inläckaget beror dock på injekteringens vattengenomsläpplighet. I det angivna intervallet ingår inte fallet med en ”orimligt” tät injektering på $K = 10^{-11}$ m/s (har testats i DarcyTools-modelleringen). De analytiska modellerna ger ett totalt inläckage till slutförvaret på cirka 9 l/s (medianen av den erhållna stokastiska fördelningen). Detta gäller med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-7}$ m/s för injekteringen i de delar av ramp och schakt som passerar av deformationszoner och en injektering motsvarande $K = 10^{-9}$ m/s i övrigt. Det prognostiserade inläckaget är lägre (med en tät injektering) eller i samma storleksordning (utan eller med en ”medeltät” injektering) som uppmätta inläckage vid många andra undermarksanläggningar i vad som kan betecknas som ”tätt berg”.
- För ett helt öppet förvar bedöms grundvattentans avsänkas som mest cirka 7 m med en injektering med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-7}$ m/s. Med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-9}$ m/s är den största avsänkning mindre än 1 m.
- Påverkansområdet har beräknats både med avseende på grundvattentans avsänkning och med avseende på grundvattentryckets sänkning på ett ”typiskt” djup för bergboreade brunnar i området. Det kan konstateras att befintliga jord- eller bergbrunnar inte förekommer inom de prognostiserade påverkansområdena.
- Modelleringen har heller inte påvisat någon påverkan från slutförvaret på vattenstånd i sjöar eller på vattenföringen i vattendragen. Den totala avrinningen från land bedöms endast påverkas marginellt. Påverkan på avrinningen inom påverkansområdet har dock inte särredovisats.

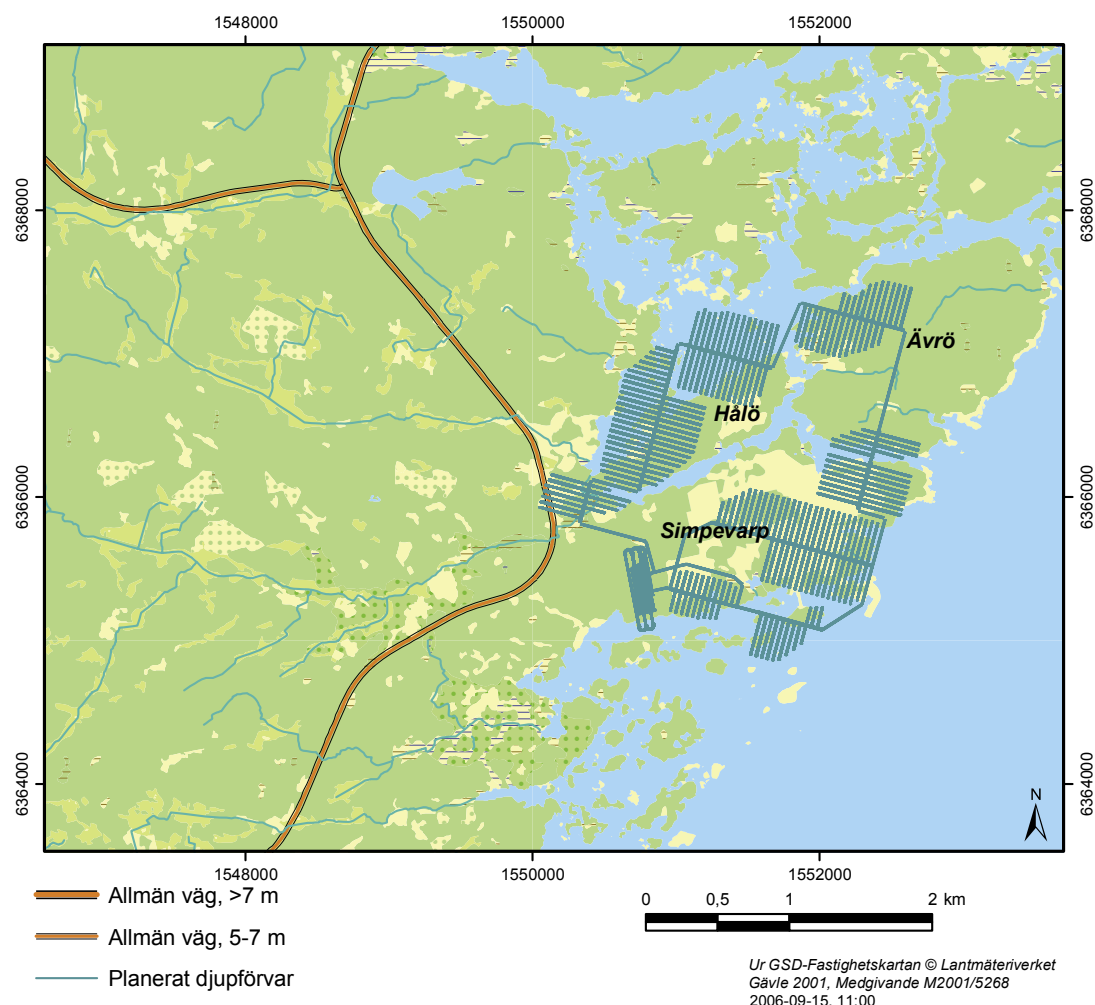
- DarcyTools-beräkningarna visar att den största delen av avsänkningen sker under den första delen av den simulerade 40-årsperioden, med situationen utan förvar som initialvillkor (Urban Svensson, pers. komm. 2005). Nivåförändringarna är mycket små under de sista 10 åren av simuleringen (år 30 till 40). Detta innebär att resultaten från DarcyTools-modelleringen även gäller om förslutningen av slutförvaret fördröjs jämfört med tidplanen. MOUSE-SHE-modelleringen beaktar tidsberoende väderförhållanden under visst år (2004), och har gjorts med mycket högre tidsupplösning än i DarcyTools-modellen.
- Det bedöms ta mellan cirka 15–50 år innan de delar av förvaret som är belägna djupare än 100 m under havets nivå har ”återmättats” efter driftskedet och återfyllnaden av förvaret. Tiden för ”återmättad” av de ytligare delarna av förvaret har inte beräknats, men kan antas ta kortare tid än för de ”djupa” delarna.
- DarcyTools-modellen beskriver förvarets djupa delar i detalj: enskilda deponeringshål finns med i modellen. Den största osäkerheten i denna modellering bedöms av /Svensson 2005/ vara de antaganden som gjorts rörande sprickor och sprickzoner som står i hydraulisk kontakt med slutförvaret. Modellen för bergets hydrogeologiska egenskaper vidareutvecklas dock i takt med de fortsatta platsundersökningarna. I den nuvarande versionen av modellen för bergets hydrogeologiska egenskaper (HydroDFN) finns väldigt få konnekterade sprickor i berget. I det fall modellen uppdateras med fler sprickor, är det möjligt att inläckage och påverkansområde blir större jämfört med de aktuella prognoserna.
- Ett antal osäkerheter har identifierats i rapporten för MOUSE-SHE-modelleringen. Exempel på osäkerhetsfaktorer gäller den underliggande jordartsgeologiska modellen (och de hydrauliska egenskaper som ansätts i denna) samt beskrivningen av vegetationen i området. Implementeringen av tunnlar och schakt med modelleringsverktyget MOUSE i MIKE SHE-modellen (MOUSE-SHE) är en ny tillämpning som också behöver testas ytterligare. Interaktionen mellan grund- och ytvatten bygger för närvarande också på ett antal antaganden, rörande bland annat vattendragens geometri med avseende på bredd och bottennivåer och egenskaperna hos bottensedimenten.

4 Slutförvar Simpevarp

4.1 Allmän beskrivning av platsen och slutförvaret

Simpevarp och Laxemar utgör två delområden inom SKB:s platsundersökningar i Oskarshamns kommun (se avsnitt 1.2). Delområde Simpevarp är beläget nära Oskarshamns kärnkraftverk, vid havet i Oskarshamns kommun, Småland. Den förvarslayout som tagits fram i det första steget av projekteringen i delområde Simpevarp innebär att slutförvaret består av deponeringstunnlar belägna på ett djup av cirka 500 m under havets nivå, under Simpevarpshalvön samt öarna Hålö och Ävrö. Till slutförvaret hör även en spiralformad tillfartstunnel och fyra vertikala schakt från markytan. Figur 4-1 och 4-2 visar slutförvarets geografiska läge.

Observera att SKB:s platsundersökningar i Oskarshamn bedrivs inom ett regionalområde, inom vilket det finns två delområden: Simpevarp, vid kusten, och Laxemar, västerut inåt land. En stor del av den information som återges i detta kapitel berör hela (eller delar av) regionalområdet (se figur 1-2), och inte specifikt delområde Simpevarp, där slutförvarslokalisering Simpevarp är beläget.



Figur 4-1. Karta som visar lokaliseringen av planerat slutförvar Simpevarp.



Figur 4-2. Mer detaljerad karta över planerat slutförvar Simpevarp (jmf. figur 4-1). Tillfartstunneln är belägen i förvarets sydvästra del.

4.2 Opåverkade hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden

4.2.1 Topografiska och meteorologiska förhållanden

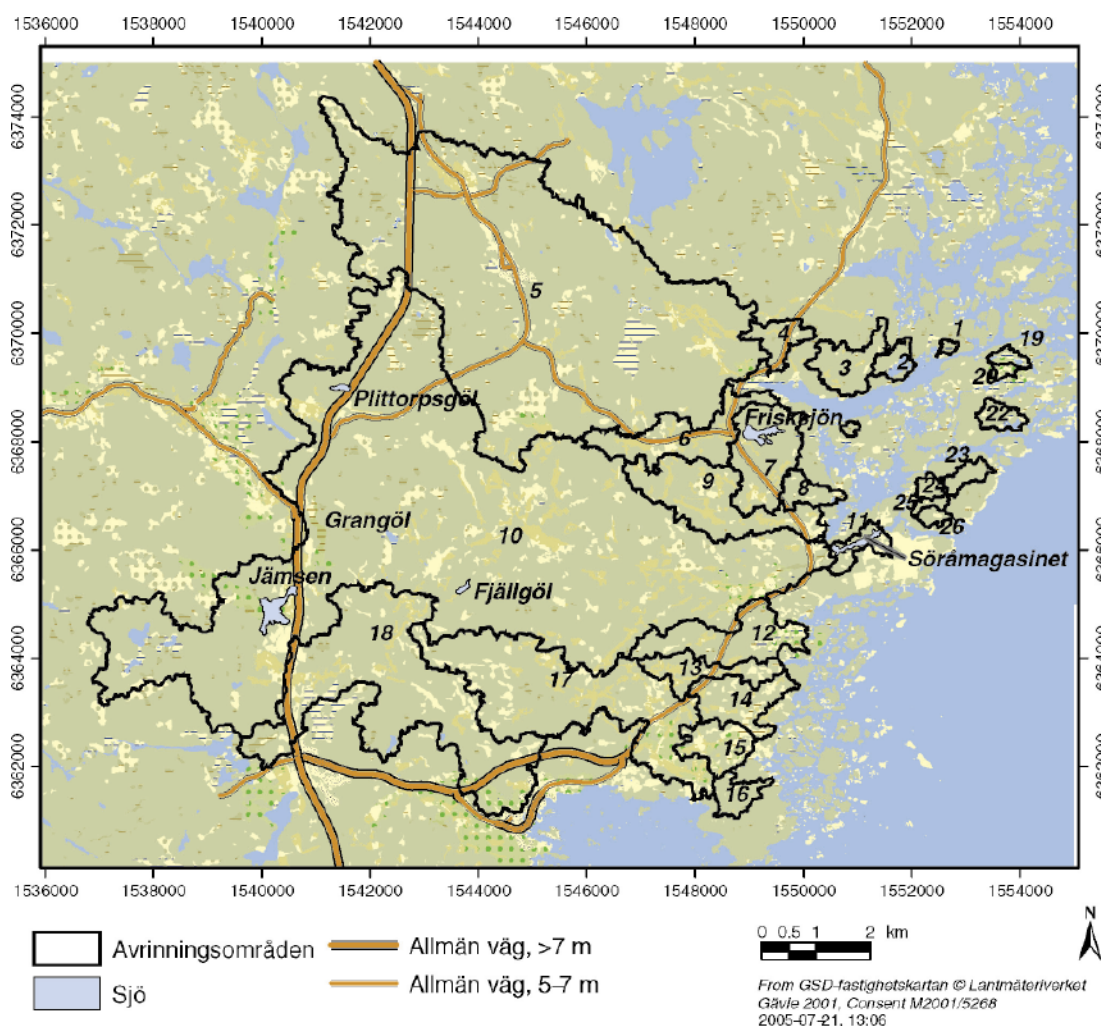
Det finns en digital höjdmödel med 10 m upplösning över området, vilket innebär att de topografiska förhållandena är relativt väl kända. Största delen av det regionala området är beläget lägre än 50 m över havets nivå. Inom området finns ett flertal relativt högt belägna områden med berg i dagen och dalar med mäktigare jordlager. Det finns också mellanliggande områden med en relativt småskalig topografi, vilket ger upphov till många lokala, grundvattenflödes-system i jord och ”ytinära” berg. Dessa ytnära flödessystem underlagras av mer storskaliga flödessystem i ”djupt” berg. Lägena för det ytnära grundvattnets in- och utströmningsområden påverkas till stor del av den lokala topografien, men det finns vissa områden som kan växla mellan att vara in- och utströmningsområden under året, beroende på de meteorologiska förhållandenas säsongsvariation.

Årsmedelnederbörden är i intervallet 600–700 mm (633 mm per år för perioden 1961–1990 vid den närbelägna SMHI-stationen i Oskarshamn), med något lägre nederbörd vid kusten jämfört med områden längre inåt land. Ungefär 20 % av årsnederbörden faller i form av snö. Marken täcks av snö i genomsnitt cirka 75 dagar per år, med ett genomsnittligt största snödjup på cirka 35–40 cm. Årsmedeltemperaturen är cirka 6,4 °C vid SMHI-stationen i Oskarshamn. Den genomsnittliga månadstemperaturen varierar mellan –2 °C i januari–februari och 16–17 °C i juli. Vintrarna är något mildare vid kusten jämfört med områden längre inåt land. Vegetationsperioden (perioden med en lufttemperatur över 5 °C) är cirka 200 dagar.

Avrinningen är bedömd att vara i intervallet 150–180 mm per år, vilket med en årsmedelnederbörd på 600–700 mm per år motsvarar att summan av avdunstningen och växternas transpiration (evapotranspirationen) är cirka 420–550 mm per år. Typiskt för svenska förhållanden, är att evapotranspirationen uppvisar stora variationer över året och är störst under sommaren. Västliga och sydvästliga vindar dominerar vid SMHI-stationen vid Ölands norra udde (som används som referensstation i väntan på lokala mätningar). Antalet soltimmar är vid kusten är cirka 1 800. I genomsnitt är globalinstrålningen 1 021 kWh/m², varierande mellan 8,5 kWh/m² i december och cirka 180 kWh/m² i juni.

4.2.2 Hydrologiska förhållanden

Simpevarps regionalområde har delats in i 26 avrinningsområden, med en ytterligare uppdelning på 96 delavrinningsområden. Storleken på avrinningsområdena varierar mellan 0,03 (avrinningsområde 1) och 40,98 km² (avrinningsområde 10), se figur 4-3. I Simpevarps regionalområde finns det 6 sjöar, varav 5 har kartlagts (sjön Grangöl i delavrinningsområde 10:19 har inte kartlagts). I Laxemaråns övre del (avrinningsområde 10) finns det ytterligare fyra sjöar, som dock inte kartlagts eftersom de vid flygbildstolkning bedömts vara torra. De kartlagda sjöarnas storlek varierar mellan 0,003 km² (sjöarna Fjällgöl och Plittorpsgöl i delavrinningsområdena 10:16 respektive 10:26) och 0,24 km² (sjön Jämsen i delavrinningsområdena 10:30–32).



Figur 4-3. Karta som visar gränserna för de 26 identifierade ("ytvattenbaserade") avrinningsområdena i Simpevarps regionalområde. I kartan visas även lägena för sjöarna i området.

Sjöarna är grunda med medel- och maxdjup på 1,1–3,7 m respektive 2,0–10,9 m. Grundläggande data om de 5 sjöarna i Simpevarpsområdet återges i tabell 4-1. Observera att sjön Söråmagasinet är en uppdamd före detta havsvik, som numera används som reservvattentäkt av OKG (Oskarshamns Kraftgrupp, som äger och driver kärnkraftverket).

Det finns vattendrag i alla identifierade avrinningsområden utom i avrinningsområde 11 (se figur 4-3). Medelvattenföringen i vattendragen har bedömts utifrån den regionala specifika avrinningen. Vattenföringen och dess tidsvariation har mätts manuellt i 21 av vattendragen. Automatiska vattenföringsmätningar pågår, men finns ännu inte rapporterade. Området tillhör en större avrinningsregion där man normalt har två perioder med större ytvattenflöden under året, en period på våren (snösmältning) och en period på hösten (höstregn). Den största medelvattenföringen som uppmätts manuellt under perioden oktober 2002–september 2004 är 225 liter per sekund vid Ekhyddan i Laxemarån.

Det finns våtmarker inom alla avrinningsområden i ”regionalområdet”, med undantag för avrinningsområdena 6, 9, 20 samt 24–26. Våtmarker täcker mellan 1 % och 18 % (avrinningsområde 1) av respektive avrinningsområdes totala yta. Hydrologiskt skiljer man på mossar, myrar och kärr. Mossar täcks av torv, och det enda vattentillskottet kommer från nederbörden. Mossar återfinns därför endast i de högst belägna delarna av området. Torv täcker 7,6 % av regionalområdet, men endast 1,9 % av delområde Simpevarp. I delområde Simpevarp är torvlagret i regel en mäktighet understigande 1 m. Karaktäristiskt för området är att många sjöar och våtmarker dikats ut, vilket gör att det finns färre sjöar och våtmarker än det skulle finnas under opåverkade förhållanden. De våtmarker som innehåller torv är sålunda i regel utdikade, vilket kan ha medfört att torvlagrets mäktighet har minskat.

Myrar är torvtäckta områden, där vegetationen (åtminstone delvis) försörjs av vatten genom inflöde av ytvatten och/eller grundvatten. Kärr är våtmarker där det finns endast lite eller ingen torv. Myrar och kärr förekommer främst i de lågt belägna delarna av regionalområdet. Våtmarkernas stratigrafi och hydrologi har undersökts, men dessa undersökningar är ännu inte rapporterade.

Tabell 4-1. Grundläggande data om de 5 kartlagda sjöarna i Simpevarps regionalområde.

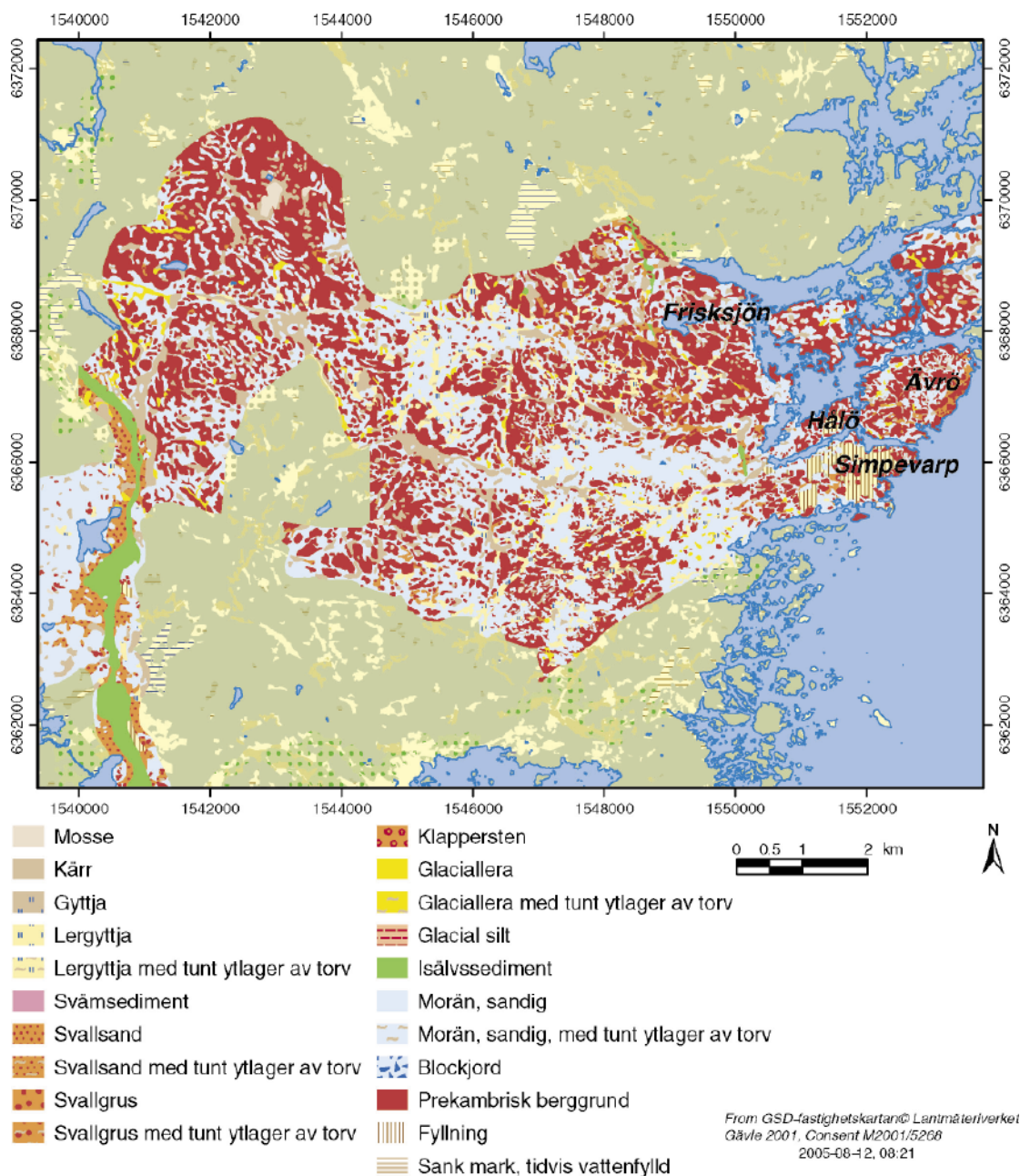
Delavrinningsområde (se figur 4-1)	Namn	Vattennivå vid inmätning (meter över havet)	Area (km ²)	Maxdjup (m)	Medeldjup (m)	Volym (Mm ³)
7:2	Frisksjön	1,37	0,13	2,8	1,7	0,223
10:16	Fjällgöl	Inga data	0,03	2,0	1,1	0,029
10:26	Plittorpsgöl	24,79	0,03	7,2	3,7	0,124
10:30–32	Jämsen	25,11	0,24	10,9	3,7	0,877
11:1	Söråmagasinet	2,07	0,10	4,9	2,0	0,199

Tabell 4-2. Identifierade vattendrag i Simpevarps regionalområde samt uppskattad medelvattenföring.

Avrinningsområde (se figur 4-3)	Vattendrag	Uppskattad medel- vattenföring (m ³ /s)
1	Långbonäsbäcken	0,0004
2	Bodvikebäcken	0,0020
3	Sörviksån	0,0053
4	Bjurhidebäcken	0,0034
5	Kärrviksån	0,1439
6	Mederhultsån	0,0106
7	Kåreviksån	0,0109
8	Pistlanbäcken	0,0026
9	Ekerumsån	0,0150
10	Laxemarån	0,2171
11	Inget vattendrag	–
12	Glostadsbäcken	0,0109
13	Stålglobäcken	0,0055
14	Stekebäcken	0,0071
15	Södra Uvöbäcken	0,0051
16	Svartebäck	0,0027
17	Uthammarsån	0,0372
18	Släthultebäcken	0,0475
19	Flakvarpebäcken	0,0010
20	Jössesbäcken	0,0006
21	Äspöbäcken	0,0003
22	Stekflagebäcken	0,0019
23	Vadvikebäcken	0,0016
24	Lindströmmebäcken	0,0010
25	Gloebäcken	0,0007
26	Skölkebäcken	0,0009

4.2.3 Jordlagerförhållanden

Stora delar (cirka 40 %) av delområde Simpevarp består av berg i dagen eller berg med mycket tunt jord- eller vegetationstäckning (< 0,5 m; karteringsdjupet är cirka 0,5 m). Andelen berg i dagen/mycket yttnära berg är större inom delområde Simpevarp jämfört med delområde Laxemar och jämfört med hela Simpevarps regionalområde. Sett över hela regionalområdet består cirka 35 % av sådana områden. Morän är den dominerade jordarten i området och morän täcker cirka 52 % av Simpevarps regionalområde och 35 % av delområde Simpevarp. Moränen klassas som sandig (på vissa platser sandig-grusig), med ett stort inslag av sten och block. Gytjelera, glaciallera och silt täcker cirka 3 % av Simpevarps regionalområde och cirka 1 % av delområde Simpevarp, medan isälvsavlagringar samt sand och grus täcker cirka 3 % av regionalområdet (cirka 6 % av delområdet, dock ingen isälvsavlagring). Tre glaciofluviala avlagringar (isälvsavlagringar) är identifierade, dock ingen i delområde Simpevarp. Figur 4-4 visar den jordartskarta som tagits fram utifrån genomförda platsundersökningar /Rudmark m fl 2005/.



Figur 4-4. Jordartskarta över Simpevarpsområdet.

Utifrån jordlagerförhållandena i området, har tre geologiska/hydrogeologiska ”typområden” identifierats:

- (1) Högre belägna områden med till största delen berg i dagen eller med ett tunt ($\leq 0,5$ m) jordtäckte. Mäktigare morän- och/eller torvlager kan förekomma i svackor inom de högre belägna områdena.
- (2) Dalgångar med mäktigare jordlager bestående av morän, inom vissa områden överlagrad av lera/gyttjelera, sand och/eller torv.
- (3) Isälvsavlagringar, bestående av sand-grus med en högre vattengenomsläpplighet jämfört med moränen. Inom det område som omfattas av SKB:s platsundersökningar har tre isälvsavlagringar identifierats, dock är ingen av dem belägen inom delområde Simpevarp.

Baserat på litteraturdata och de undersökningar som gjorts i området, har jordlagrens mäktighet, genomsläpplighet och vattenavgivningstal (som är ett mått på jordens magasinsegenskaper) tilldelats de värden som anges i tabell 4-3. Samma värden på vattengenomsläpplighet och effektiv porositet (den andel av en enhetsvolym jord där vattenflödet sker) har ansatts för varje jordart oavsett djup, eftersom inga undersökningar hittills tytt på att dessa egenskaper är djupberoende. Som exempel har ännu inga hydrauliska tester utförts i övergångszonen mellan jord och berg. Vidare finns ännu inga data gällande lera, gyttjelera, sand/grus, torv eller glaciofluviala avlagringar, varför litteraturdata ansatts för dessa jordarter i området. Förekomsten och de hydrauliska egenskaperna för lera och gyttja under våtmarker och sjöar är speciellt viktiga, med tanke på interaktionen mellan grund- och ytvatten i dessa områden. De undersökningar som gjorts visar att jordlagren under våtmarker och sjöar uppvisar en liknande stratigrafi som för de lertäckta delarna av området i övrigt. Detta innebär en jordlagerprofil uppifrån med gyttjelera, silt-sand-grus och lera. Under sjöar och våtmarker finns ett lager med gyttja respektive torv ovanpå gyttjeleran. En sådan jordlagerprofil med täta jordarter tyder på att sjöarna och våtmarkerna är relativt okänsliga för grundvattenavsänkning.

En typprofil som visar den stratigrafiska modellen över jord och yttligt berg återges i figur 4-5 nedan.

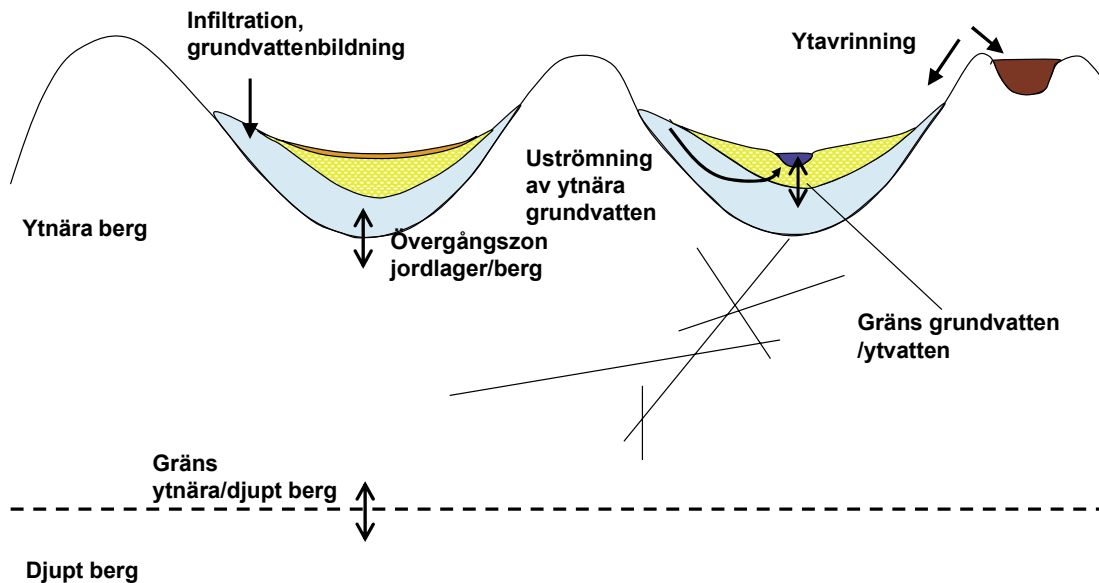
4.2.4 Bergförhållanden

Bergets vattengenomsläpplighet, både inom och mellan sprickzoner, är en nyckelfaktor med avseende på inläckage till ett slutförvar och därmed en nyckelfaktor för hur förvaret påverkar de hydrogeologiska förhållandena i det omgivande berget samt dess påverkan på de hydrogeologiska och hydrologiska förhållandena, framförallt grundvattenpåverkan i ”djupt” berg. På grund av de stora bergvolymerna som fältundersökningarna och modelleringen syftar till att karaktärisera, innebär arbetet att vidareutvecklade modeller för berget och dess hydrauliska egenskaper kontinuerligt tas fram och testas.

Berget inom delområde Simpevarp består av tre identifierade bergdomäner, vilka kännetecknas av olika dominerande jordarter: Domän A med Ävrö-granit (Ävrö, Hälö och norra delarna av Simpevarpshalvön), domän B med finkornig dioritoid (större delen av Simpevarpshalvön) och domän C med en blandning av Ävrö-granit och kvartsmonzodiorit som dominerande bergarter (Simpevarpshalvöns udde). Övriga delar av berget består i huvudsak av bergarterna diorit och gabbro.

Tabell 4-3. Ansatta värden på mäktighet, hydraulisk konduktivitet och vattenavgivningstal i jordlagren.

Jordart	Mäktighet (m)	Hydraulisk konduktivitet (m/s)	Vattenavgivningstal (-)
Morän (sandig)	0,5–3	$1.5 \cdot 10^{-5}$	0,16
Finkordninga glaciala och postglaciala sediment: lera och gyttjelera	~ 1 (mäktigare i vissa dalgångar) > 1,5 på Ävrö	$1 \cdot 10^{-10}$ – $1 \cdot 10^{-8}$	0,03
Sand/grus	0,2 ~ 3 på Ävrö	10^{-4} – 10^0	0,3–0,4
Torv	0,5–1	10^{-7} – 10^{-4}	0,24
Glaciofluviala sediment (isälsavlagringar): grov sand, grus	< 30 (större isälsavlagring i västra delen av regionalområdet)	10^{-4} – 10^0	0,3–0,4



Figur 4-5. Typprofil över de "ytnära" hydrogeologiska förhållandena i Simpevarpsområdet. Blått representerar morän, gult är lera och orange representerar ett tunt ytlager.

Totalt 22 sprickzoner (deformationszoner) i berget, där berget har en högre vattengenomsläpplighet än bergmassan i övrigt, har identifierats inom delområde Simpevarp. Av dessa är två stycken dominerande. De modeller som tagits fram för bergets vattengenomsläpplighet innebär att denna är konstant med djupet mellan deformationszonerna (i storleksordningen 10^{-9} m/s). Inom sprickzonerna är vattengenomsläppligheten betydligt större.

4.2.5 Grundvattenförhållanden

I området är grundvattenytan generellt belägen nära markytan, i de flesta observationsrör i jord närmare än 1 m under markytan. Det finns relativt glesa observationer från manuella nivåmätningar samt få (och korta) tidsserier från automatiska nivåmätningar, varför det finns ett litet underlag för att uttala sig om grundvattennivåns tidsvariation. Tillgängliga data indikerar att nivåvariationerna är små (mindre än 1 m). Grundvatten nära markytan torde medföra ett väl utvecklat samspel mellan evapotranspiration, jordens fuktighetsförhållanden och grundvattenytans nivå. Det finns dock ännu alltför få data för att kunna studera detta närmare. MIKE SHE-modelleringen för modellversion Simpevarp 1.2 har visat att tydliga hög- och lågområden fungerar som konstanta in- och utströmningsområden, medan mellanliggande områden kan växla mellan dessa under året beroende på säsongsvariationer i temperatur och nederbörd.

Ytvattendelare och grundvattendelare för "ytnära" grundvatten antas sammanfalla i området (se figur 4-3). Tydligt markerade dalgångar medför att en stor del av det "ytnära" grundvattenflödet sker i dessa dalgångar, samtidigt som det också finns en mer småskalig topografi (avsnitt 4.1) som ger lokala grundvattenflödessystem i jord och "ytnära" berg. Dessa "ytnära" flödessystem underlagras av mer storskaliga flödessystem på större djup i berget, där grundvattenflödet främst sker i sprickzonerna.

Den största delen av grundvattenbildningen antas ske via nederbörden. Hittills finns inga data som kan ge indikation på om grundvattenbildning även kan ske från sjöar i området under perioder på sommaren då sjövattnivåerna är låga. Avrinningen bedöms vara cirka 150–180 mm per år, vilket motsvarar en så kallad "specifik avrinning" (avrinning per tids- och ytenhet) på cirka 4,7–5,7 l per sekund och km^2 . Modellering har indikerat att nettoutbytet med djupt grundvatten i berg är litet och att grundvattenutbytet i övergångszonen mellan "ytnära" och "djupt" berg (i MIKE SHE-modelleringen för modellversion Simpevarp 1.2 ansatt till 150 meter under havets nivå) främst sker i områden med sprickzoner i berget. Angivna värden kommer dock att ändras när mer data och detaljerade modeller tagits fram.

4.2.6 Jord- och bergbrunnar samt OKG:s vattenhantering

En inventering har gjorts av privata jord- och bergbrunnar både i och utanför det område som omfattas av SKB:s platsundersökningar i Oskarshamn /Morosini och Hultgren 2003/. SKB:s eller OKG:s (som äger och driver kärnkraftverket i Oskarshamn) undersökningsborrhål är inte inkluderade i inventeringen. Totalt har 218 enskilda brunnar identifierats, varav 213 har undersökts i fält. Av de undersökta brunnarna är 103 bergborrade brunnar och resterande är jordbrunnar. Grundläggande information om dessa brunnar har samlats in, dock har inga vattenprover tagits för kemisk eller mikrobiologisk analys. Ett par av de inventerade jordbrunnarna är belägna i den västra delen av slutförvarsområdet (på fastlandet, väster om Hålö).

Sedan 1983 pumpas OKG dricks- och processvatten i en ledning från sjön Götemaren, belägen norr om delområde Laxemar. Sjön Söråmagasinet används som reservvattentäkt. Under korta perioder, varje eller vartannat år, fylls Söråmagasinet på genom pumpning från Laxemarán (vid platsen Ström). Inom OKG:s industriområde är spill- och dagvattenhanteringen separerad. Spillvatten renas i OKG:s eget reningsverk och leds sedan till havet. Största delen av dagvattnet från OKG:s industriområde leds ut i havet. En del av dagvattnet tas om hand lokalt och leds till ”Spegeldammen” vid centralrestaurangen ”Simpan”.

4.3 Bedömning av slutförvarets omgivningspåverkan

4.3.1 Numerisk modellering

Prognoser avseende inläckage till slutförvar Simpevarp och dess grund- och ytvattenpåverkan har gjorts med det numeriska modelleringsprogrammet DarcyTools version 3.0 /Svensson 2005b, Svensson m fl 2005/. För slutförvar Simpevarp har inte någon modellering gjorts med modelleringsprogrammet MOUSE-SHE.

DarcyTools-modellen innefattar en detaljerad geometrisk beskrivning av slutförvaret (enskilda deponeringshål finns representerade i modellen) och bergmassans hydrogeologiska egenskaper. I modellen finns slutförvaret med från deponeringstunnlarna (belägna på ett djup av cirka 500 m under havets nivå) och upp till 300 m under havets nivå /Svensson 2005b/. Modellberäkningarna med DarcyTools inkluderar alltså endast de delar av slutförvaret som är belägna djupare än 300 m under havets nivå. Modellen har använts för att beräkna inläckaget till slutförvaret samt grundvattentryck- och nivåavsänkningen kring förvaret.

Modellberäkningarna utgår från situationen utan slutförvar, vilket innebär att modellresultaten för opåverkade förhållanden utgör utgångspunkt (initialvillkor). Inga yttre förhållanden (till exempel nederbörd eller havets nivå) förändras under den simulerade perioden; i modellen ansätts en konstant nederbörd motsvarande 165 mm per år. Liksom för slutförvar Forsmark (kapitel 3) beaktar modellen tidsberoende förlopp genom att grundvattennivåerna efter en viss tid närmar sig ett nytt jämviktstillstånd (jämför figur 2-1).

Modellprognoser med DarcyTools har utförts för olika täthet på injekteringen i slutförvaret, inklusive fallet utan injektering. Förutom detta har endast begränsade känslighetsanalyser utförts med DarcyTools-modellen för slutförvar Simpevarp. I DarcyTools-modellen som användes vid Simpevarpsmodelleringen simuleras injekteringen genom att den hydrauliska konduktiviteten (K) i beräkningsceller i kontakt med slutförvaret multipliceras med en ”skinfaktor”. Som exempel innebär en ”skinfaktor” på 0,1 att den hydrauliska konduktiviteten för injekteringen ansätts vara 1/10 av bergets K-värde i dessa beräkningsceller. Denna användning av ”skinfaktor” skall dock inte förväxlas med den normala användningen av begreppet i andra sammanhang. Det bör också observeras att detta är ett annorlunda angreppssätt för att simulera injekteringen, jämfört med DarcyTools-modelleringen för slutförvar Forsmark (kapitel 3).

4.3.2 Inläckage till slutförvaret

Tabell 4-1 och 4-2 redovisar de inläckage till slutförvaret som beräknats med DarcyTools /Svensson 2005b/. Tabell 4-4 visar beräknade inläckage till förvarsdelar belägna från 300 m under havets nivå och nedåt. I tabellen anges en ”skinfaktor” för att motsvara en viss täthet på injekteringen i slutförvarets djupa delar.

Observera att i den numeriska modelleringen har ingen uppdelning gjorts på olika bygg- och driftskeden. Detta innebär att inläckaget redovisas med ett helt öppet slutförvar mellan cirka 300 och 500 m under havets nivå /Svensson 2005b/. Vidare finns det endast beräkningsresultat för inläckaget till hela slutförvaret (mellan 300 m ned till cirka 500 m under havets nivå), och inte till enskilda delar av detta. Ett ”testfall” har dock simulerats, där deponeringshålen tagits bort från modellen. Testfallet innebär ett helt öppet slutförvar i övrigt, mellan 300 och 500 m under havets nivå.

Beräkningsresultaten visar att inläckaget varierar inom vida gränser (mer än en storleksordning), beroende på injekterings täthet (som simulerats genom att ansätta olika ”skinfaktorer”). I rapporten /Svensson 2005b/ noteras att inläckaget också styrs av de hydrauliska egenskaper som ansätts i sprickmodellen för berget. Vidare innebär den använda metoden att simulera injekterings effekter att dess täthet inte bara styrs av ”skinfaktorn”, utan också av den hydrauliska konduktiviteten (K) i kontaktpunkterna mellan slutförvaret och sprickzonerna i berget. För testfallet (utan deponeringshål och med en ”skinfaktor” = 0,1) reduceras inläckaget till slutförvaret från 180 till 160 l/s. Inläckaget till deponeringshålen är alltså relativt litet, att exkludera dessa har å andra sidan en större inverkan på grundvattenavsänkning (se avsnitt 4.3.3).

De analytiska beräkningar som genomförts (avsnitt 2.4.2) har gett ett inläckage till slutförvaret på cirka 143, 50 respektive 2 l/s för fallen utan injektering samt med vattengenomsläppligheten $K = 10^{-7}$ respektive 10^{-9} m/s på injekteringen. Dessa beräkningar inkluderar deponeringstunnlarna samt stam- och transporttunnlarna (även sprickzonspassager). Dessa resultat stämmer relativt väl med DarcyTools-modelleringen, förutom för fallet utan injektering, där DarcyTools-modellen ger ett mer än dubbelt så stort inläckage (330 l/s jämfört med 143 l/s). Det bör observeras att de analytiska beräkningarna inte inkluderar inläckage till centralområde och ramp (tillfartstunnel). I de analytiska beräkningarna antas vidare att 20 deponeringstunnlar (av totalt 213 enligt aktuell projektering) är öppna samtidigt.

4.3.3 Grund- och ytvattenpåverkan

Grund- och ytvattenpåverkan från de ”djupa” delarna av slutförvaret (belägna mellan cirka 300 och 500 m under havets nivå) har beräknats med den numeriska modellen DarcyTools /Svensson 2005b/. Observera återigen att i modelleringen har ingen uppdelning gjorts på olika bygg- och driftskeden, varför grund- och ytvattenpåverkan redovisas med ett helt öppet slutförvar inom modellens djupintervall /Svensson 2005b/. Som tidigare nämnts, så är ett helt öppet förvar en situation som aldrig kommer att uppstå i verkligheten, eftersom förvaret kommer att byggas ut och förslutas i etapper.

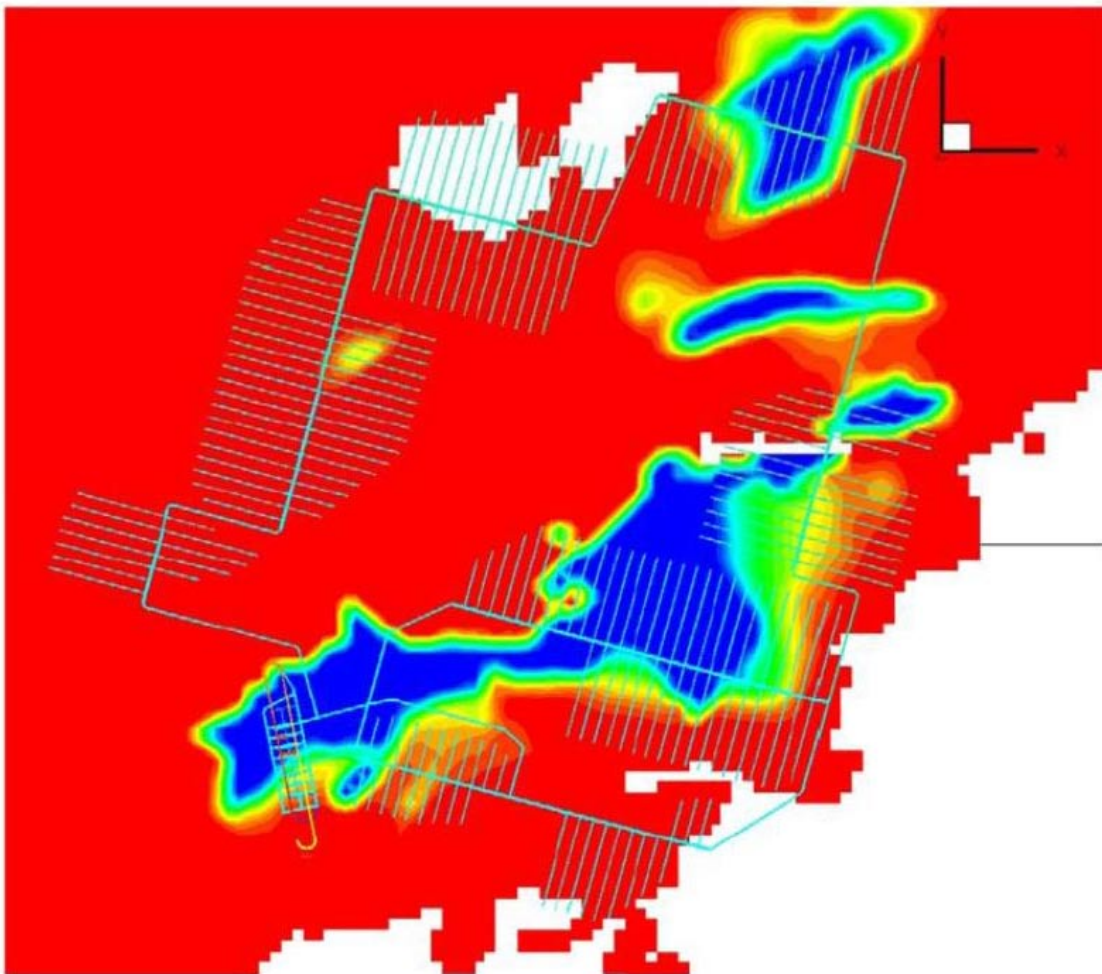
Tabell 4-4. Beräknat totalt inläckage till slutförvaret (mellan cirka 300 och 500 m under havets nivå) som funktion av den så kallade ”skinfaktorn” /Svensson 2005b/.

”Skinfaktor”	Beräknat inläckage	
	l/s	m ³ /år
Ingen injektering (”skinfaktor” = 1)	330	10 406 880
0,1	180	5 676 480
0,1 (”testfall”, utan deponeringshål)	160	5 045 760
0,01	50	1 576 800
0,001	7	220 752

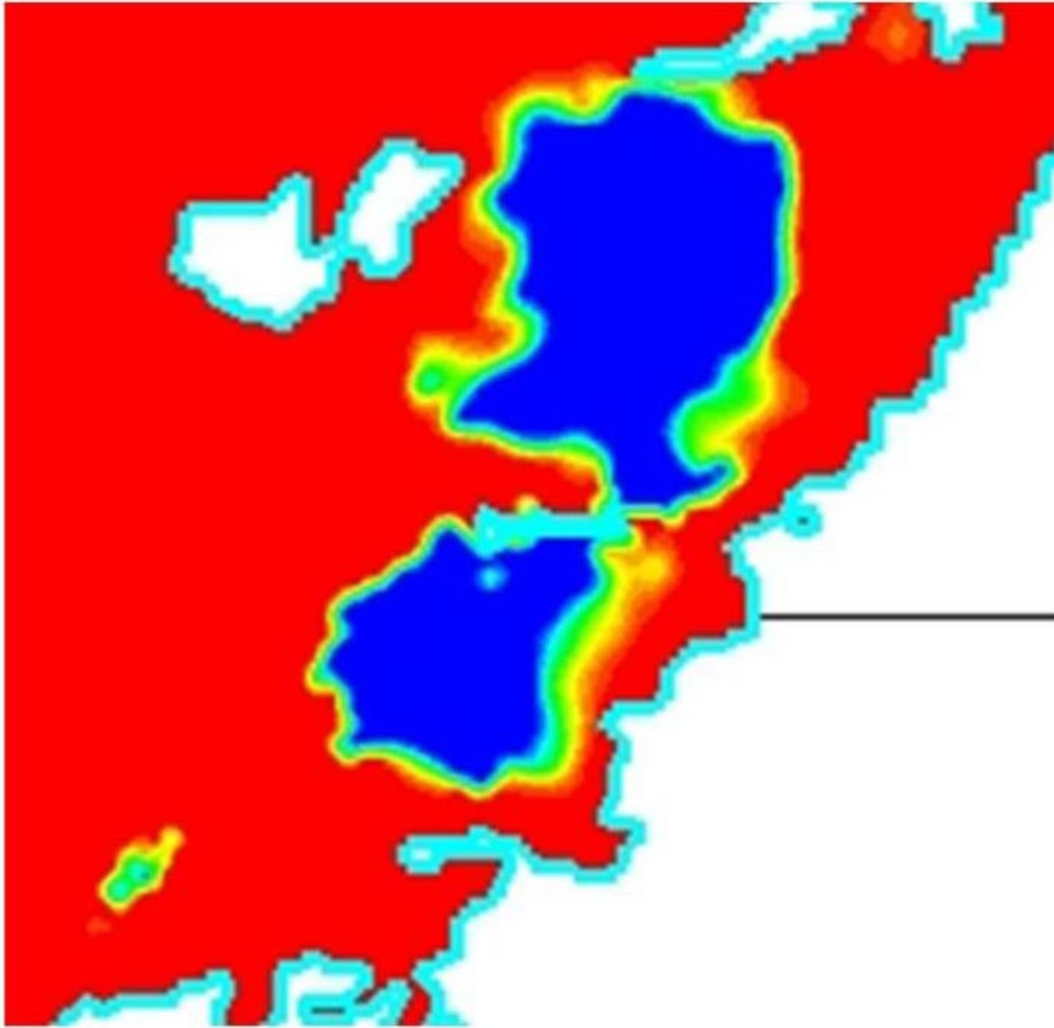
Grundvattenytans avsänkning och påverkansområde

Figur 4-6 till 4-11 nedan visar resultat från DarcyTools-modelleringen i termer av "vattenmättnadsgraden" (eng. "saturation levels") för olika fall avseende injekteringen i slutförvaret ("skinfaktorer"), inklusive fallet utan injektering ("skinfaktor" = 1). Redovisningar finns dels i plan (på vissa djupnivåer) och dels som tvärsektioner. Vattenmättnadsgraden i en viss beräkningscell i modellen anger hur stor andel av cellen som är vattenmättad. Vattenmättnadsgraden ger alltså ett mått på grundvattenytans läge, som vid tiden för Simpevarpsmodelleringen beräknades i modellen men inte kunde redovisas i DarcyTools (Urban Svensson, pers. komm. 2005). Figureerna är skärningar i planet på angivna djupnivåer, och de visar skiljelinjen för vattenmättade (vattenmättnadsgrad = 1; röda områden i figurena) och omättade förhållanden (vattenmättnadsgrad < 1; övriga färger). För en viss skärning visar alltså figurerna gränsen för där grundvattenytan faller under den angivna skärningsnivån (till exempel 1 m under havets nivå). I rapporten /Svensson 2005b/ rekommenderas att nivån 1 m under havets nivå används för att få ett mått på grundvatten-avsänkningens påverkansområde.

Figur 4-6 och 4-7 visar att påverkansområdet är begränsat till området närmast kring slutförvaret. Dock skall det återigen påpekas att de "ytnära" delarna av slutförvaret inte är inkluderade i modellen, vilket kan innebära att påverkansområdets storlek underskattas. Grundvattenavsänkningen har ett jämförelsevis stort påverkansområde om ingen injektering görs av förvaret ("skinfaktor" = 1). Med injektering ("skinfaktor" = 0,1) är det mindre och även mindre sammanhängande områden som avsänks.

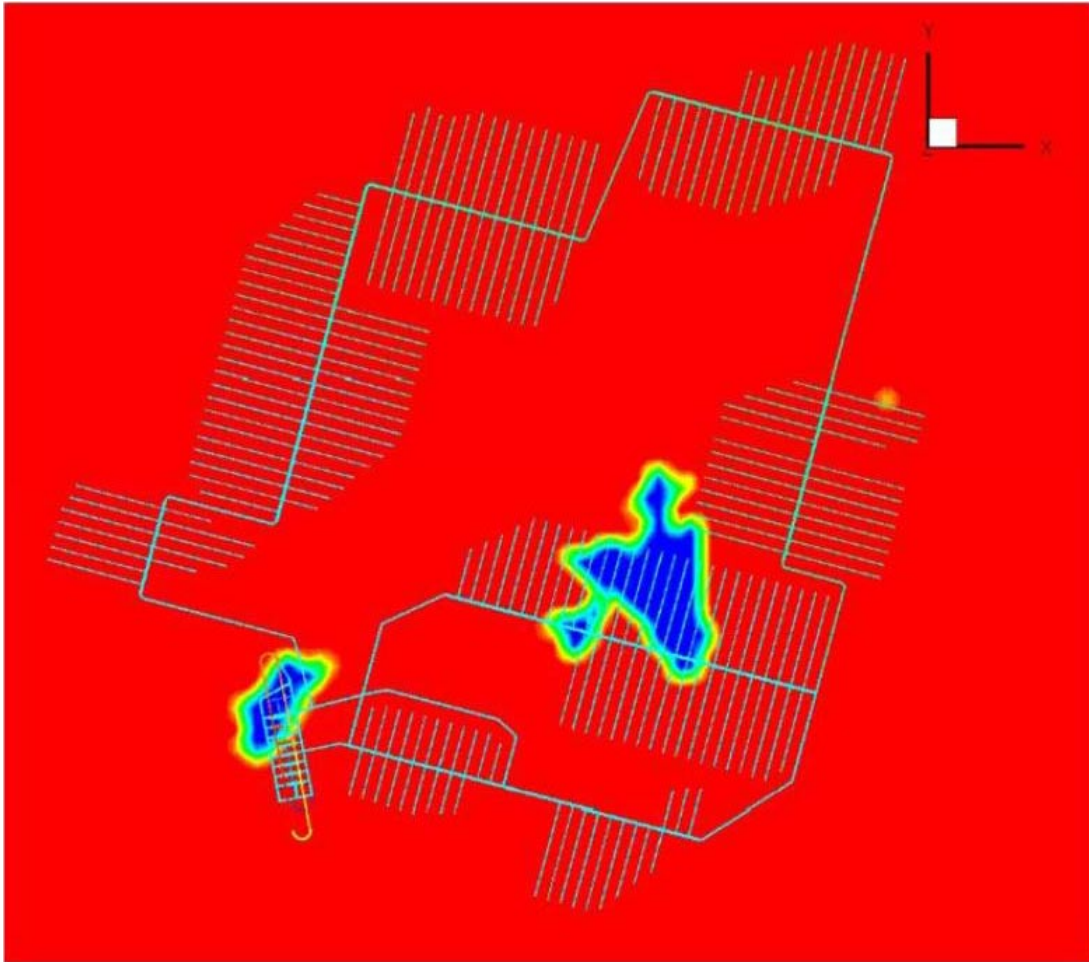


Figur 4-6. Vattenmättnadsgrad (–) på nivån 1 m under havets nivå i DarcyTools-modelleringen. Figuren avser fallet med ett slutförvar, med "skinfaktorn" = 0,1. I bilden indikeras förvarets utsträckning; för orientering, jämför med figur 4-1 och 4-2.



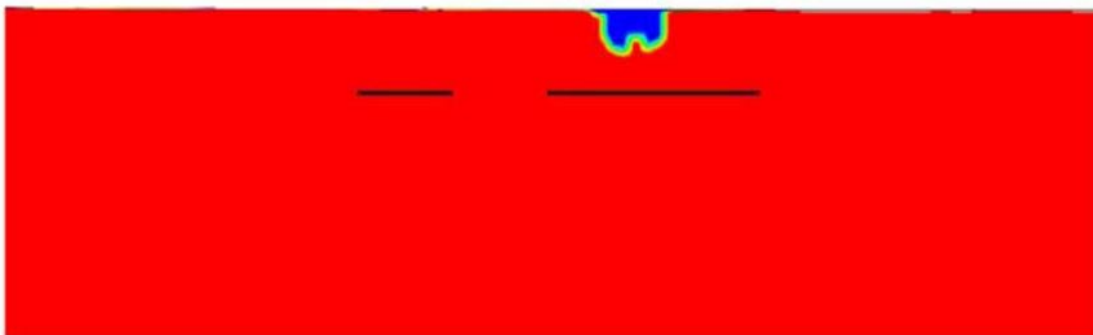
Figur 4-7. Vattenmättnadsgrad (–) på nivån 1 m under havets nivå i DarcyTools-modelleringen. Figuren avser fallet med ett slutförvar, utan injektering ("skinfaktorn" = 1). Bilden saknar bakgrundskarta och indikation av förvarets utsträckning; orientering fås genom jämförelse med figur 4-6, samt figur 4-1 och 4-2.

På större djup (figur 4-8) är området med omättade förhållanden mindre, vilket visar att grundvattenytans avsänkning har formen av en "sänktratt" kring förvaret. Figurerna i plan ger ingen tydlig bild av grundvattenytans avsänkning, eftersom de endast visar vilka områden som är omättade på en viss nivå. Tvärsektionerna i figur 4-9 och 4-10 går tvärs genom slutförvaret i väst-östlig respektive syd-nordlig riktning, och ger en tydligare bild av grundvattenytans avsänkning.



Figur 4-8. Vattenmättnadsgrad (–) på nivån 100 m under havets nivå i DarcyTools-modelleringen. Figuren avser fallet med ett slutförvar, med ”skinfaktorn” = 0,1.

Figur 4-9 och 4-10 visar ”sänktrattens” form längs de väst-östliga och syd-nordliga tvärsnitten. Med en ”skinfaktor” = 0,1 avsänks grundvattenytan som mest (största djup till grundvattenytan) ned till cirka 250 m under havets nivå (vertikala längdskalor saknas dock i figur 4-9 och 4-10). Avsänkningen är alltså stor, men begränsad till ett område kring slutförvaret där förvaret är i kontakt med sprickzoner i berget. Figur 4-11 och 4-12 visar inverkan dels av en tätare injektering av slutförvaret och dels av att deponeringshålen tas bort ur modellen (”testfallet”).



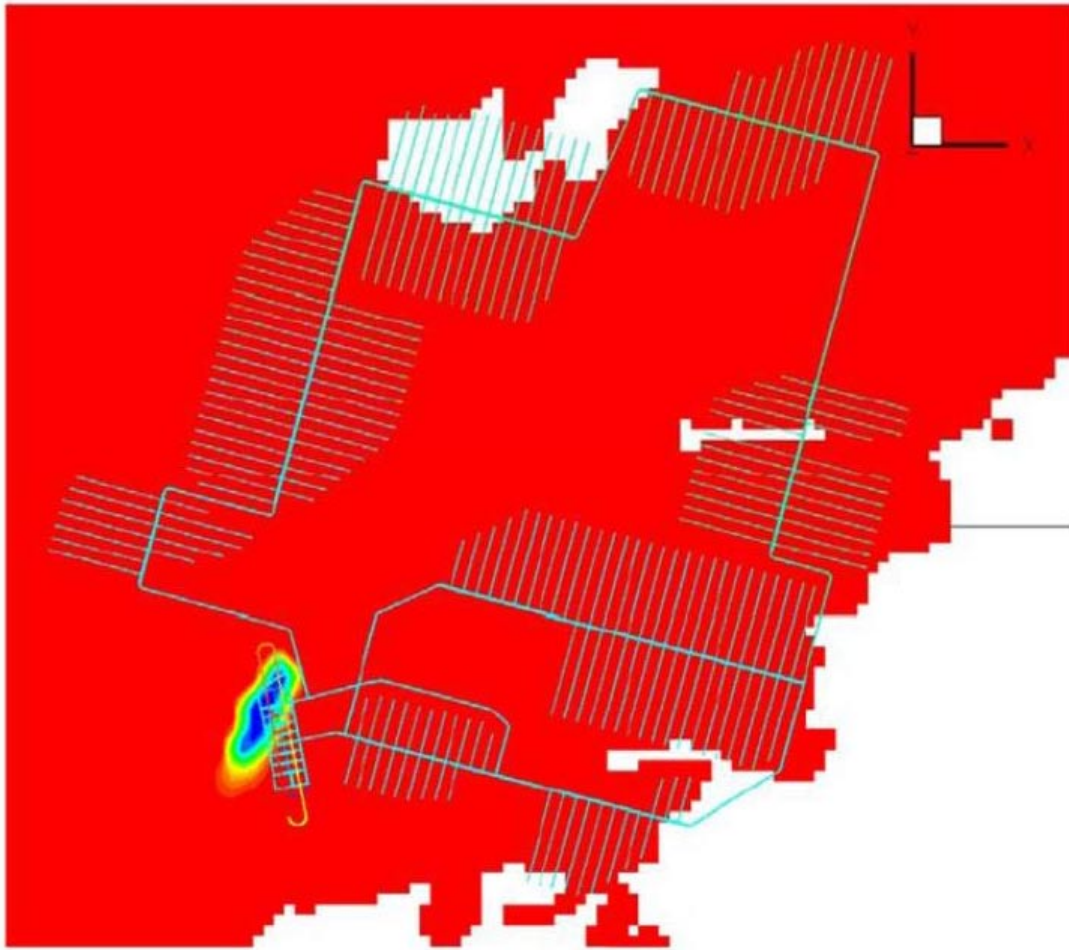
Figur 4-9. Väst-östlig tvärsektion genom slutförvaret (markerad med horisontella streck) som visar vattenmättnadsgraden (-) i DarcyTools-modelleringen. Figuren avser fallet med ett slutförvar, med "skinfaktorn" = 0,1.



Figur 4-10. Syd-nordlig tvärsektion genom slutförvaret (markerad med horisontella streck) som visar vattenmättnadsgraden (-) i DarcyTools-modelleringen. Figuren avser fallet med ett slutförvar, med "skinfaktorn" = 0,1.

Med en tätare injektering (figur 4-11) erhålls ett mindre påverkansområde, koncentrerat till området kring tillfartstunneln (observera dock att DarcyTools-modelleringen inte beaktar de "ytinära" delarna av slutförvaret). I "testfallet" utan deponeringshål (figur 4-12) är storleken på grundvattenavsänkningens påverkansområde mindre, och det är dessutom inte sammanhängande på samma sätt som i fallet med deponeringshål.

Tabell 4-5 sammanfattar de ungefärliga värdena på den största prognostiserade grundvattenavsänkning som uppstår och påverkansområdets storlek för de två fallen avseende injekteringen i slutförvaret. Observera att påverkansområdets storlek är uppmätt direkt i figurerna i modelleringsrapporten /Svensson 2005b/ och är därmed högst approximativ. Eftersom en "sänktratt" uppstår kring slutförvaret, bör påverkansområdet (i termer av grundvattenytans avsänkning) definieras nära markytan. För att erhålla mått på den största grundvattenavsänkning som uppstår samt påverkansområdets storlek används vattenmättnadsgraden på nivån 1 m under havets nivå. På denna nivå har alla beräkningsceller vattenmättnadsgrad = 1 för naturliga (opåverkade) förhållanden (Urban Svensson, pers. komm. 2005).



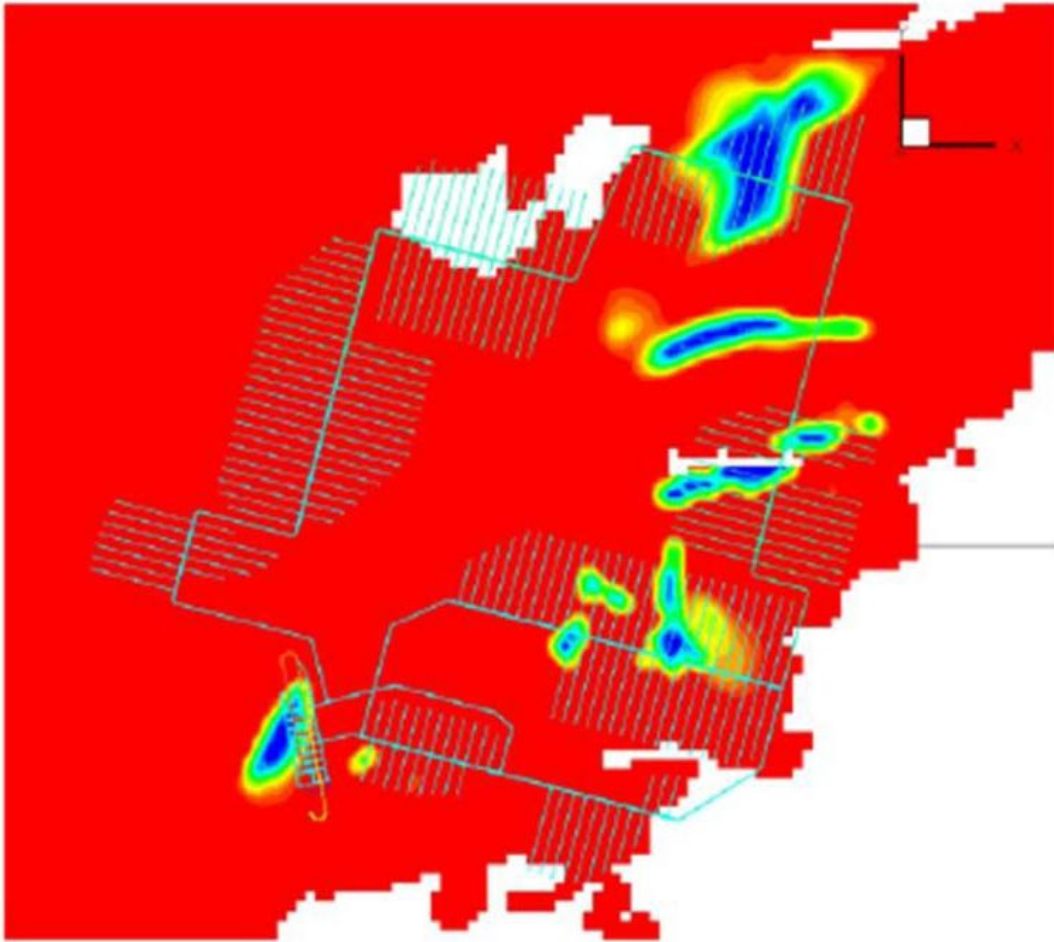
Figur 4-11. Vattenmättnadsgrad (-) på nivån 1 m under havets nivå i DarcyTools-modelleringen. Figuren avser fallet med ett slutförvar, med "skinfaktor" = 0,01.

Tabell 4-5. Ungefärliga värden på största grundvattenavsänkning och påverkansområdets storlek ("vattenmättnadsgrad" < 1) för olika "skinfaktorer", motsvarande olika fall avseende injekteringen i slutförvaret /Svensson 2005b/.

"Skinfaktor"	¹ Ungefärlig största grundvattenavsänkning (m)	² Ungefärlig storlek på grundvattenavsänkningens påverkansområde (km ²)
1 (ingen injektering)	~ 400	1,5
0,1	~ 250	1,3
0,1 ("testfall" utan deponeringshål)	Ingen uppgift	0,5
0,01	~ 10	0,05
0,001	~ 0	~ 0

¹ Värdena avser egentligen grundvattenytans ungefärliga största djup (m under havets nivå) i DarcyTools-modellen för de olika fallen.

² Storleken är uppmätt direkt i figurerna i modelleringsrapporten /Svensson 2005b/ och är därmed högst approximativ.



Figur 4-12. Vattenmättnadsgrad (-) på nivån 1 m under havets nivå i DarcyTools-modelleringen. Figuren avser "testfallet" med ett slutförvar, med "skinfaktor" = 0,1, utan deponeringshål.

Modelleringsresultaten visar att med en tät injektering ("skinfaktor" = 0,001) är grundvattenavsänkningen mycket liten. Med mindre tät injektering ("skinfaktor" = 0,1 respektive 0,01) avsänks grundvattenytan som mest ned till cirka 250 respektive 10 m under havets nivå. Utan injektering av slutförvaret ("skinfaktor" = 1) avsänks grundvattenytan som mest ned till cirka 400 m under havets nivå, det vill säga 100 m ovan "förvarsnivån". Beräkningarna visar alltså att grundvattenavsänkningens (och även påverkansområdets) storlek, är starkt beroende på injekteringen i slutförvaret. Samma slutsats gäller inläckaget till slutförvaret (avsnitt 4.3.2).

Påverkan på befintliga brunnar, ytvattenförhållanden och vattenbalans

Inom grundvattenavsänkningens prognostiserade påverkansområde ("skinfaktor" = 0,1) har ca 10 jord- och bergbrunnar identifierats i SKB:s GIS-databas. De brunnar som inte finns med på kartan över inventerade brunnar eller för vilka det inte finns någon grundläggande information i brunnsinventeringsrapporten /Morosini och Hultgren 2003/, kan antingen vara OKG:s undersökningsborrhål (eftersom dessa inte ingick i brunnsinventeringen) eller också har de inte inventerats i fält.

Med DarcyTools-modellen har vissa undersökningar gjorts avseende påverkan på vattenflödet i Laxemarån och ytvattennivån i Frisksjön (observera att modellen kan beakta grund- och ytvattenförhållandena nära och på markytan, trots att själva slutförvaret i modellen har en begränsning uppåt på nivån 300 m under havets nivå). I modellen var dessa förändringar små (under modellens upplösning) och heller inte entydiga, varför ytterligare studier av ytvattenpåverkan rekommenderas /Svensson 2005b/. Påverkan på områdets vattenbalans har inte kvantifierats.

Erforderlig tid för "återmätnad" av slutförvaret

För slutförvar Simpevarp har ingen modellering utförts av den tid som krävs innan slutförvaret återmättats med grundvatten.

Saltvattenuppträngning

Slutförvarets påverkan på grundvattnets salthalt har undersökts med DarcyTools-modellen /Svensson 2005b/. Modelleringsresultaten visar slutförvaret endast har en liten effekt på salthalterna i fallet med en tät injektering ("skinfaktorn" = 0,001). Saltvattenuppträngningen är större för en mindre tät injektering ("skinfaktorn" = 0,01 och 0,1). För de senare fallen framgår det dock inte i modelleringsrapporten hur stor påverkan är på ett typiskt djup för bergborrade brunnar i området.

4.4 Sammanfattning och diskussion

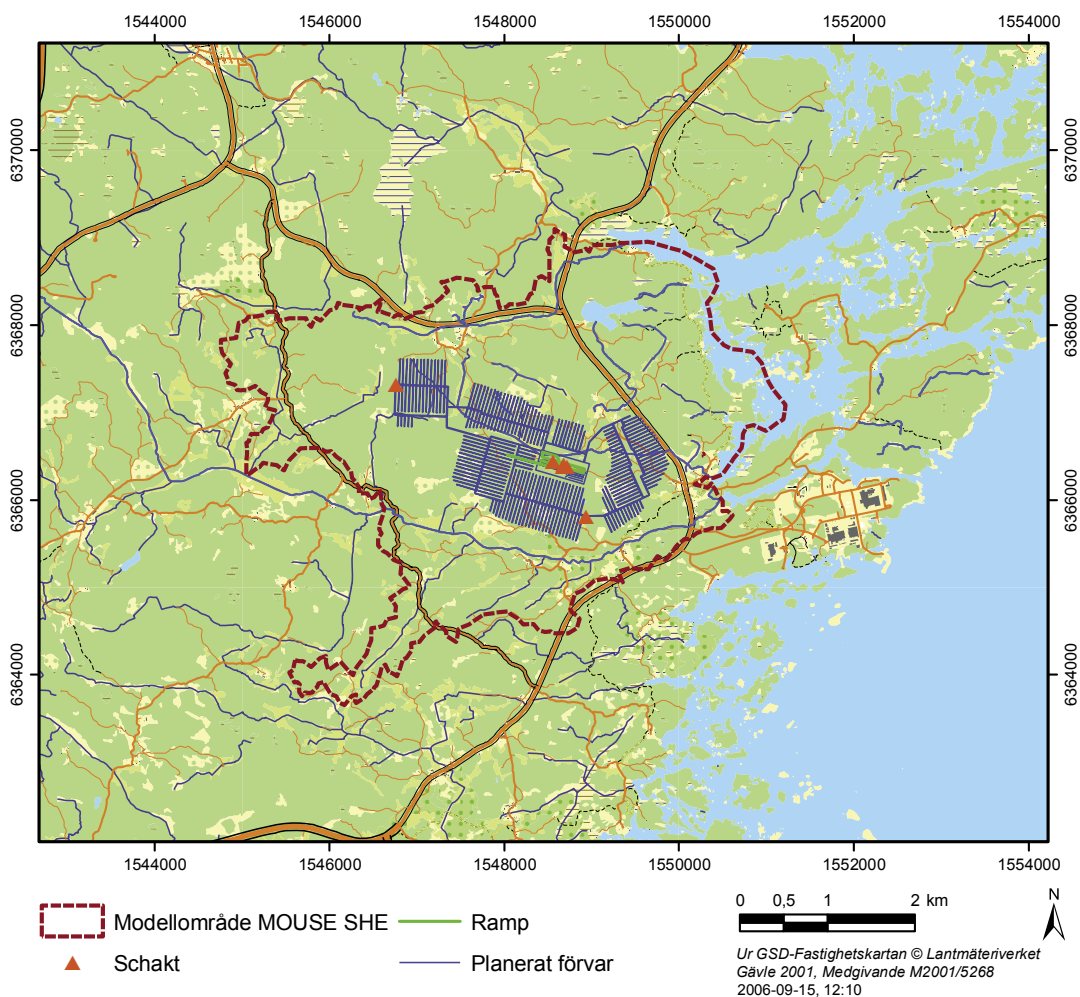
- Stora delar av Simpevarpsområdet består av berg i dagen eller har endast ett mycket tunt jordlager. Mellan höjdområdena finns markerade dalgångar där det finns mäktigare jordlager och följaktligen större grundvattenmagasin. Jordlagren består främst av sandig-grusig morän. I dalgångarna förekommer även tätare jordlager med bland annat lera. Det finns även områden med en mer småskalig topografi, med många lokala grundvattenflödessystem i jord och "ytinära" berg. Avrinningen är i storleksordningen 150–180 mm per år. Det finns ännu inga data rörande vattengenomsläppligheten i övergångszonen mellan jord och berg. Vattennivån i sjöarna i området påverkas av in- och utflöden från vattendrag samt utströmmande grundvatten. De flesta vattendragen i området är små och de är torra under stora delar av året. Många vattendrag och diken i området har fördjupats eller fått nya sträckningar för att torrlägga markområden för jord- och skogsbruksändamål. Myrar och kärr förekommer främst i de lågt belägna delarna av regionalområdet. De undersökningar som gjorts visar att jordlagren under våtmarker och sjöar uppvisar en liknande lagerföljder som för de lertäckta delarna av området i övrigt. Detta innebär en jordlagerprofil uppifrån med gyttjelera, silt-sand-grus och lera på morän. Under sjöar och våtmarker finns ett lager med gyttja respektive torv ovanpå gyttjeleran. En sådan jordlagerprofil med täta jordarter tyder på att sjöarna och våtmarkerna är relativt okänsliga för en grundvattenavsänkning.
- Inläckage till samt grund- och ytvattenpåverkan från ett slutförvar i Simpevarp har beräknats med en numerisk modell (DarcyTools). I denna modell finns endast de djupa delarna av slutförvaret med. Analytiska modeller har använts för att beräkna inläckaget till slutförvaret, dock exklusive centralområde och ramp (tillfartstunnel). Inga analytiska beräkningar har gjorts av grundvattenytans avsänkning eller grundvattnets trycksänkning. Orsaken till detta är att med avseende på berget medför sprickzonernas antal och komplexitet att det inte går att göra realistiska prognoser av grundvattenavsänkningen kring förvaret med analytiska beräkningsmodeller.
- Med den numeriska modellen har det totala inläckaget till slutförvaret beräknats vara 7–180 l/s, beroende på injekteringens vattengenomsläpplighet (utan injektering är inläckaget cirka 330 l/s). Injekteringens täthet har simulerats genom att ansätta olika "skinfaktorer" i intervallet 0,001–1 (där 1 är fallet utan injektering). Dessa går endast att översätta direkt till en viss täthet (K-värde) på injekteringen om man vet den "ursprungliga" vattengenomsläppligheten; tätheten på injekteringen blir beroende av bergets ursprungliga vattengenomsläpplighet i kontakten mellan slutförvaret och berget. Med "skinfaktorn" = 0,01 är det beräknade inläckaget 50 l/s. I den analytiska modelleringen har samma inläckage beräknats för fallet med en vattengenomsläpplighet på injekteringen på $K = 10^{-7}$ m/s. Det prognostiserade inläckaget är i samma storleksordning (med en tät injektering) som uppmätta inläckage vid många andra undermarksanläggningar i "tätt berg" (avsnitt 2.3). Utan injektering eller med en "medeltät" injektering är inläckaget i samma storleksordning som uppmätta inläckage vid andra undermarksanläggningar i "genomsläppligt berg".

- Modelleringsresultaten från den numeriska modellen DarcyTools finns endast tillgängliga i form av vattenmättnadsgrad (eng. "saturation level"), eftersom grundvattenytan var svår att redovisa i den använda versionen av DarcyTools-modellen. Med en "skinfaktor" = 0,01 avsänks grundvattenytan som mest cirka 10 m i ett mindre område i anslutning till slutförvarets tillfartstunnel. Med en mindre tät injektering ("skinfaktor" = 0,1) är påverkansområdet avsevärt större och den största avsänkningen är cirka 250 m. Utan deponeringshål är påverkansområdet mindre (och dessutom inte lika sammanhängande) än om dessa finns med i modellen.
- Inom grundvattenavsänkningens prognostiserade påverkansområde har ca 10 jord- och bergbrunnar identifierats. Med DarcyTools-modellen har vissa undersökningar gjorts avseende påverkan på vattenflödet i Laxemarån och ytvattennivån i Frisksjön. I modellen var dessa förändringar små (under modellens upplösning) och heller inte entydiga, varför ytterligare studier av ytvattenpåverkan rekommenderas i modelleringsrapporten /Svensson 2005b/.
- Modelleringen med DarcyTools-modellen utfördes för en 40-årsperiod. Beräkningarna visar att den största delen av avsänkningen sker under den första delen av den simulerade perioden (Urban Svensson, pers. komm. 2005). Nivåförändringarna är mycket små under de sista 10 åren av simuleringen (år 30 till 40). Detta innebär att resultaten från DarcyTools-modelleringen även gäller om förslutningen av slutförvaret fördröjs jämfört med tidplanen.
- För slutförvar Simpevarp har ingen modellering utförts av den tid som krävs innan slutförvaret återmättats med grundvatten.
- En viktig osäkerhet i DarcyTools-modellen är att förvarets ytliga delar inte finns med i modellen. Andra osäkerheter bedöms i modelleringsrapporten vara antaganden i modellen rörande sprickor och sprickzoner som står i hydraulisk kontakt med slutförvaret. Modellen för bergets hydrogeologiska egenskaper vidareutvecklas dock i takt med de fortsatta platsundersökningarna.

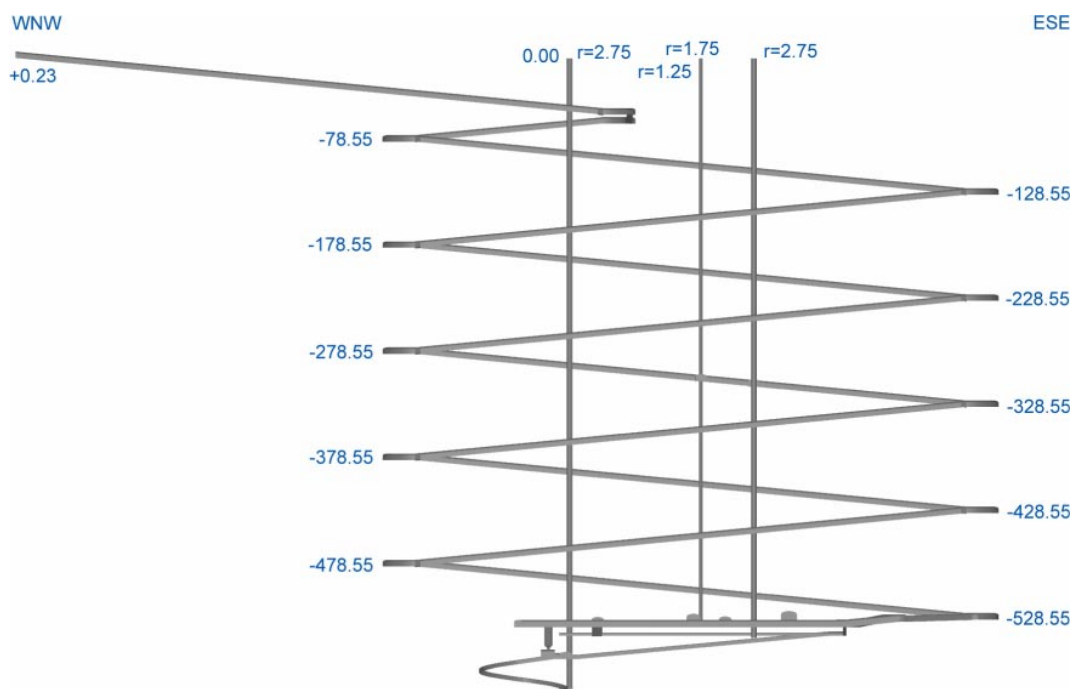
5 Slutförvar Laxemar

5.1 Allmän beskrivning av platsen och slutförvaret

Laxemar utgör ett av de två delområdena inom SKB:s platsundersökningar i Oskarshamn kommun (se avsnitt 1.2 och 4.1). Enligt aktuell projektering kommer slutförvaret att bestå av deponeringstunnlar belägna på ett djup av cirka 500 m under havets nivå. Till slutförvaret hör även en spiralformad tillfartstunnel och sex vertikala schakt från markytan. Fyra av dessa schakt är belägna nära tillfartstunneln och två är belägna vid förvarsområdets västra respektive östra del. Figur 5-1 visar slutförvarets geografiska läge, tillfartstunneln (rampen) samt lägena för de sex schakten. Figuren visar även modellområdet för MOUSE-SHE-modellen /Bosson 2006/; se avsnitt 5.3. Tvärsnittet i figur 5-2 visar utformningen på de yt nära delarna av förvarets centralområde, bestående av tillfartstunnel samt fyra vertikala schakt. För övrig beskrivning av platsen och SKB:s platsundersökningar i Oskarshamn, se avsnitt 4.1.



Figur 5-1. Karta som visar lokaliseringen av planerat slutförvar Laxemar. Tillfartstunneln (rampen) är markerad i grönt, och de "djupa" delarna av slutförvaret är markerade i blått. I figuren visas även MOUSE-SHE-modellens modellområde /Bosson 2006/; se avsnitt 5.3.



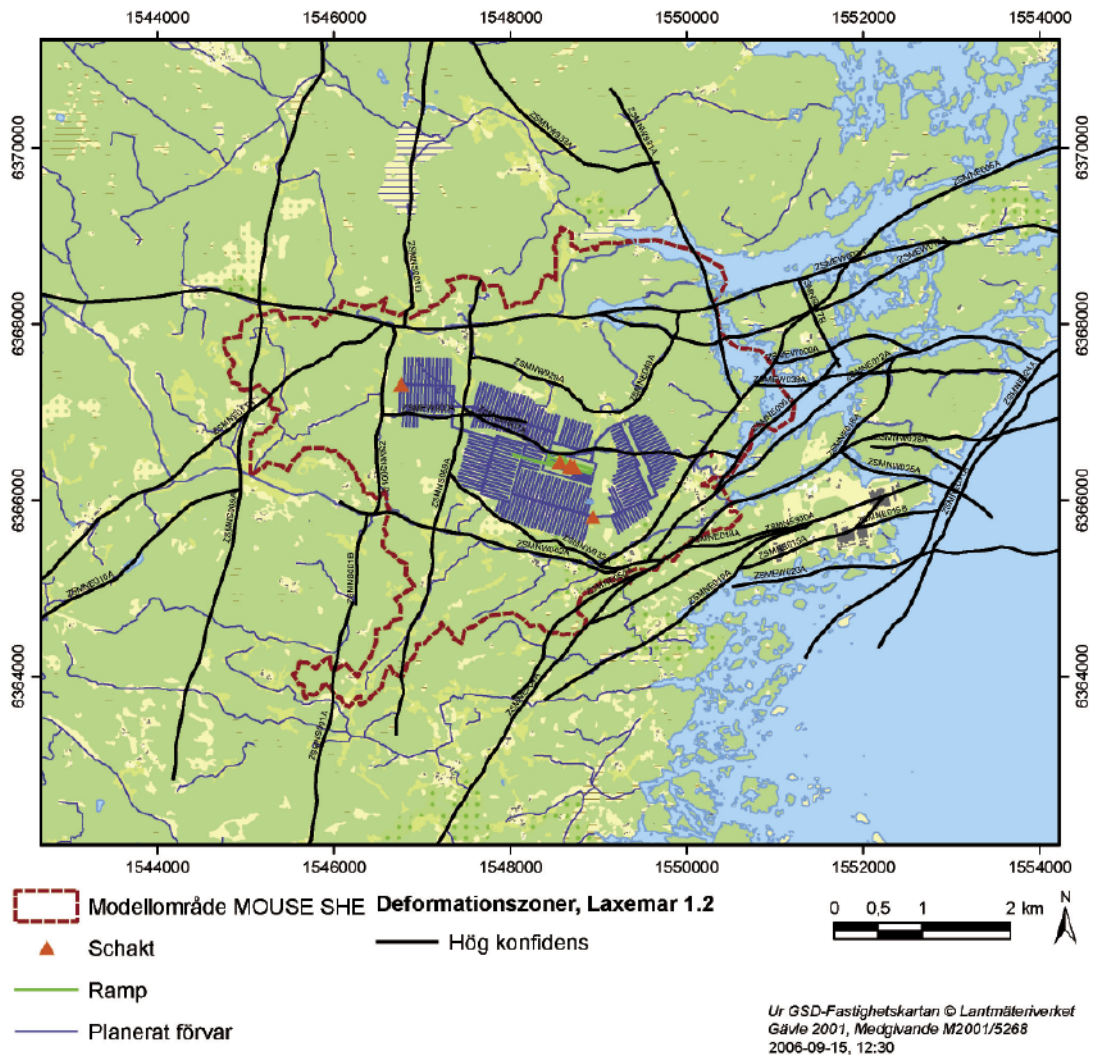
Figur 5-2. Tvärsektion över tillfartstunnel och schakt vid centralområdet vid slutförvar Laxemar. I figuren visas nivåerna (m över havets nivå) för tillfartstunnelns olika delar. Med bokstaven r avses schaktradier.

5.2 Opåverkade hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden

Som beskrivits i avsnitt 4.1, bedrivs SKB:s platsundersökningar i Oskarshamn inom ett regionalområde, där Simpevarp och Laxemar utgör två delområden. En stor del av beskrivningen avseende de opåverkade hydrologiska och hydrogeologiska förhållandena för slutförvar Simpevarp (avsnitt 4.2) är således tillämplig även på slutförvar Laxemar. Detta gäller specifikt beskrivningen avseende de meteorologiska och hydrologiska förhållandena, beskrivningen av enskilda brunnar samt övrig vattenhantering. Av denna anledning ges i detta avsnitt endast en kortfattad sammanfattning av de förhållanden som skiljer mellan delområdena Simpevarp och Laxemar, med fokus på de förhållanden som är relevanta i sammanhanget.

Delområde Laxemar karakteriseras av höjdområden med mellanliggande dalgångar. Andelen av området som består av berg i dagen är mindre inom delområde Laxemar jämfört med delområde Simpevarp. Det är generellt mäktigare jordlager inom delområde Laxemar än i delområde Simpevarp, speciellt i dalgångarna. Jämfört med modellberäkningarna för slutförvar Simpevarp, har en uppdaterad modell använts för bergets hydrauliska egenskaper inom den här aktuella Laxemarmodelleringen. Figur 5-3 visar tolkad utsträckning i plan för de deformationszoner i berget som identifierats med relativt sett störst grad av säkerhet (hög konfidens) enligt den uppdaterade bergmodellen. Det bör noteras att det också finns deformationszoner som man identifierat med lägre grad av säkerhet, men att dessa inte beaktas i denna modellering /Svensson 2006/. I den uppdaterade modellen antas vidare att bergmassans vattengenomsläpplighet och porositet avtar med djupet.

Jämfört med Simpevarpsmodelleringen, har även vissa justeringar gjorts avseende några jordarters hydrauliska egenskaper. Den viktigaste justeringen berör den vanligaste jordarten i området, morän, som på grund av tillkommande fältdata i Laxemarmodelleringen har ansatts en vattengenomsläpplighet på $K = 4 \cdot 10^{-5}$ m/s; i Simpevarpsmodelleringen användes värdet $K = 1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s (jmf. tabell 4-3). I övrigt har mer detaljerade uppdelningar gjorts på olika jordarter, inklusive preciseringar avseende jordarternas hydrauliska egenskaper /Werner m fl 2006/.



Figur 5-3. Tolkad utsträckning i plan för deformationszoner i berget med hög konfidens (relativt sett störst grad av säkerhet). Observera att det som visas i kartan endast är deformationszonernas utsträckning inom det regionala modellområdet.

5.3 Bedömning av slutförvarets omgivningspåverkan

5.3.1 Numerisk modellering

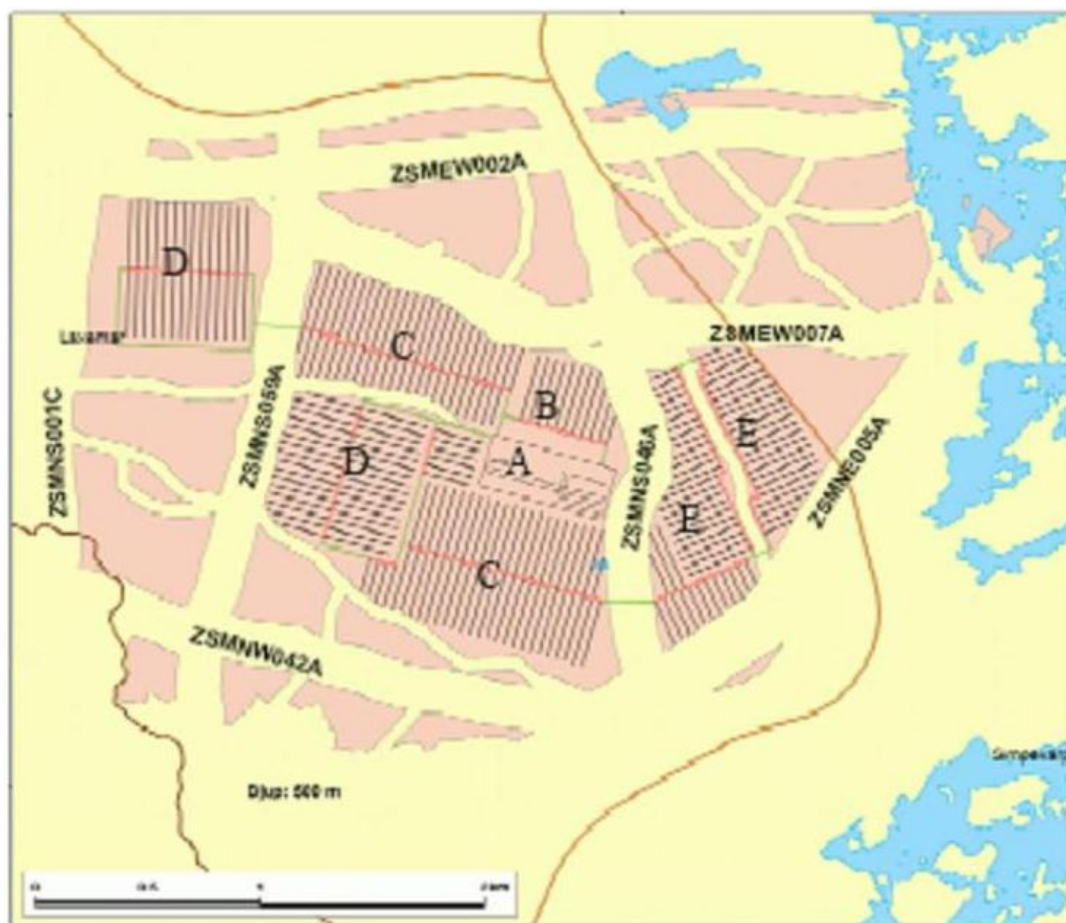
Liksom för slutförvar Forsmark (se avsnitt 3.3), har prognoser avseende inläckage till slutförvar Laxemar och dess grund- och ytvattenpåverkan gjorts med två numeriska modelleringsprogram: DarcyTools version 3.0 /Svensson m fl 2005, Svensson 2006/ samt MOUSE-SHE /DHI 2004ab, Bosson 2006/. De respektive modellerna och syftena med att använda två kompletterande numeriska modeller beskrivs i avsnitt 3.3.

DarcyTools har använts för att beräkna inläckaget till slutförvaret, grundvattenavsänkningen kring förvaret, samt förvarets effekter avseende uppträngning av salt grundvatten. Vidare har modellen använts för att beräkna tiden för ”återmättad” av förvaret, efter återfyllnaden. Som visas i figur A-2 (Appendix 1), inkluderar modellen hela slutförvaret, från deponerings-tunnlarna som är belägna cirka 500 m under havets nivå och upp till markytan /Svensson 2006/ och kan alltså användas för att modellera såväl förhållanden i förvaret som dess omgivningspåverkan. Notera att de översta 100 m respektive 300 m av förvaret inte inkluderades i DarcyTools-modelleringen av slutförvar Forsmark respektive slutförvar Simpevarp (se avsnitt 3.3.1 och 4.3.1). Det aktuella modellområdet motsvarar i princip Simpevarps regionala modellområde (se figur 1-2).

På motsvarande sätt som i de analytiska beräkningarna (se figur 2-2 i avsnitt 2.4.3), har i DarcyTools-modelleringen en uppdelning gjorts på olika utbyggnadsskedena, som återspeglar de delar av förvaret som vara öppna samtidigt; dessa försvarsdelar benämns A–E, där A utgörs av förvarets centralområde (inklusive tillfartstunnel och schakt). B–E avser olika ”djupa” delar av förvaret, se figur 5-4.

För att realistiskt representera de olika utbyggnadsskedena, beaktar modellberäkningarna tidsberoende förlopp, där de olika försvarsdelarna A till och med E successivt öppnas och stängs; utgångssituationen är ett läge utan slutförvar. Inga andra yttre förhållanden (till exempel nederbörd eller havets nivå) förändras under den transienta simuleringen, varför inläckaget och grundvattennivån efter en viss tid närmar sig ett nytt jämviktstillstånd (jämför figur 2-1). Modellprognoser har utförts för olika vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen kring förvaret, inklusive fallet utan injektering. I fallen med injektering har den injekterade zonen ansatts en mäktighet på 4 m. Observera att en injekterad zon med en viss mäktighet och vattengenomsläpplighet skiljer sig från DarcyTools-modellerna för Forsmark och Simpevarp (se avsnitt 3.3.1 och 4.3.1). Inga andra känslighetsanalyser har utförts avseende ingående parametrar /Svensson 2006/.

MOUSE-SHE har använts för att beräkna inläckaget till slutförvaret, förvarets grundvattenpåverkan samt dess påverkan på vattendrag, sjöar (Frisksjön) och modellområdets vattenbalans. Som visas i figur A-2, inkluderar modellen de delar av förvaret som är belägna från djupet 150 m under havets nivå och upp till markytan. Modellområdet är mindre jämfört med DarcyTools-modellen, och omfattar de avrinningsområden som är belägna kring förvaret: Avrinningsområdena nr. 6–9, en del av det största avrinningsområdet i Simpevarp (nr. 10), samt ”direktavrinningsområden”, dvs landområden som avrinner till havet och inte till vattendrag eller sjöar.



Figur 5-4. Illustration av utbyggnadsskedena A–E /Svensson 2006/; jmf. figur 2-2.

Liksom för slutförvar Forsmark (se avsnitt 3.3), beaktar MOUSE-SHE-modellen de ”djupa” delarna av förvaret genom att som nedre randvillkor nyttja de grundvattentryck som beräknats med DarcyTools-modellen (där hela förvaret finns med). Modellberäkningarna har utförts för transienta förhållanden, vilket innebär att modellen beaktar att vattenflöden och -nivåer varierar i tiden. I de modellberäkningar som utförts med MOUSE-SHE används lokala väderdata från SKB:s väderstation på Äspö från år 2004; i DarcyTools-modellen ansätts en konstant nederbörd motsvarande 165 mm per år.

Modellprognoser har utförts dels för situationen där endast tillfartstunnel och schakt är öppna, och dels för ett hypotetiskt fall där hela förvaret (motsvarande förvarsdel A–E i figur 5-4) är öppet. I det första fallet är grundvattentrycken i MOUSE-SHE-modellens botten (belägen på nivån 150 m under havets nivå) de som beräknats med DarcyTools-modellen för opåverkade förhållanden. I det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar, används grundvattentryck i MOUSE-SHE-modellens botten som beräknats med DarcyTools-modellen för motsvarande fall. Undantaget med avseende på bottenranden är i ett begränsat område kring tillfartstunneln och schakten, där inget grundvattenflöde tillåts genom modellen botten. Detta är gjort så att inte grundvattentrycket kring tillfartstunnel och schakt hålls uppe enbart på grund av ett tryckvillkor i modellens botten; dessa grundvattentryck i modellens botten beräknades ju med DarcyTools-modellen utan ett förvar (Emma Bosson, pers. komm. 2006).

För vardera av dessa huvudfall (endast tillfartstunnel och schakt öppna, samt hela förvaret öppet) har modellprognoser utförts för olika vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen kring förvaret ($K = 10^{-7}$ samt $K = 10^{-9}$ m/s), och för fallet utan injektering. I fallen med injektering har den injekterade zonen ansatts en mäktighet på 8 m. Bergets hydrauliska egenskaper (inklusive berg i dagen) motsvarar den egenskapsmodell för berget som tillämpats i DarcyTools-modellen /Svensson 2006/. En känslighetsanalys har också gjorts med avseende på vattengenomsläppligheten i övergångszonen mellan jord och berg.

5.3.2 Inläckage till slutförvaret

Tabell 5-1a och b redovisar de inläckage till slutförvaret som beräknats med DarcyTools /Svensson 2006/; varje kolumn anger vilken förvarsdel som avses. Tabell 5-2 redovisar de inläckage som beräknats med MOUSE-SHE /Bosson 2006/. Tabell 5-2 inkluderar endast inläckage till tillfartstunnel och schakt, från markytan ned till djupet 150 m under havets nivå. Detta innebär att en storleksmässig jämförelse mellan de två modellerna endast kan göras med avseende på förvarsdel A (DarcyTools) och fallet med tillfartstunnel och schakt öppna (MOUSE-SHE).

Tabell 5-1a. Beräknat inläckage (l/s) till olika tunnelsektioner av slutförvaret för en maximal vattengenomsläpplighet K i den injekterade zonen på 10^{-7} m/s /Svensson 2006/. I tabellen anges det antal år respektive förvarsdel antas vara öppen.

Förvarsdel	Öppen förvarsdel					A–E (helt öppet förvar) 5 år ¹
	A 7 år	AB 5 år	AC 25 år	AD 15 år	AE 15 år	
A	14,0	13,1	9,6	16,3	18,3	7,8
B		4,1				2,9
C			27,6			21,8
D				15,3		12,2
E					12,7	10,7
Totalt inläckage	14,0	17,2	37,2	31,6	31,0	55,4

¹ Hypotetisk periodlängd som endast används i modellberäkningarna.

Tabell 5-1b. Beräknat inläckage (l/s) till olika tunnelsektioner av slutförvaret för en maximal vattengenomsläpplighet K i den injekterade zonen på 10^{-9} m/s /Svensson 2006/. I tabellen anges det antal år respektive förvarsdel antas vara öppen.

Förvarsdel	Öppen förvarsdel					
	A 7 år	AB 5 år	AC 25 år	AD 15 år	AE 15 år	A-E (helt öppet förvar) 5 år ¹
A	4,4	4,2	3,7	4,2	4,5	3,2
B		2,2				1,8
C			15,2			12,9
D				9,5		8,2
E					7,2	6,6
Totalt inläckage	4,4	6,4	18,9	13,7	11,7	32,7

¹ Hypotetisk periodlängd som endast används i modellberäkningarna.

Tabell 5-2. Beräknat inläckage (årsmedel) till tillfartstunnel och schakt (från -150 m över havet upp till markytan) som funktion av vattengenomsläppligheten K i den injekterade zonen /Bosson 2006/. Observera att tabellen endast visar inläckage till tillfartstunnel och schakt ned till djupet 150 m under havets nivå.

Vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen, K (m/s)	Inläckage l/s		m ³ /år	
	Tillfartstunnel och schakt öppna	Helt öppet förvar	Tillfartstunnel och schakt öppna	Helt öppet förvar
Ingen injektering	5,6	Inte beräknat pga. numerisk instabilitet	176 602	Inte beräknat pga. numerisk instabilitet
10^{-7}	5,3	5,3	167 141	167 141
10^{-9}	4,6	4,6	145 066	145 066
10^{-9} $K_{\text{jord-berg}} = 10^{-7}$	5,4	5,4	170 294	170 294
10^{-9} $K_{\text{jord-berg}} = 10^{-8}$	5,1	5,1	160 834	160 834

DarcyTools-modelleringen (tabell 5-1a och b) visar att inläckaget till förvaret är mellan 4 l/s (endast tillfartstunnel och schakt öppna, dvs förvarsdel A) och 19 l/s (förvarsdel AC öppen), om den maximala vattengenomsläppligheten i den injekterade zonen är $K = 10^{-9}$ m/s. För en mindre effektiv injektering ($K = 10^{-7}$ m/s) är motsvarande inläckage mellan 14 och 37 l/s (18 000–49 600 m³/år). För ett hypotetiskt fall med ett helt öppet förvar, är inläckaget 33 l/s ($K = 10^{-9}$ m/s) respektive 55 l/s ($K = 10^{-7}$ m/s). För DarcyTools redovisas inte fallet med ett förvar utan injektering, eftersom grundvattenytans då sänks av ned till botten av förvaret; modellen kan inte hantera denna situation /Svensson 2006/.

Om vattengenomsläppligheten i den injekterade zonen är $K = 10^{-9}$ m/s i MOUSE-SHE-modellen, ger denna modell ett inläckage till tillfartstunnel och schakt (mellan markytan och 150 m under havets nivå) på 4,6 l/s (6 000 m³/år) om endast dessa är öppna. För $K = 10^{-7}$ m/s är inläckaget 5,3 l/s, och utan injektering 5,6 l/s (7 000 m³/år). Enligt tabell 5-2 visar MOUSE-SHE-modelleringen att det inte blir någon inverkan på inläckaget till tillfartstunnel och schakt om de djupare delarna av förvaret inkluderas i modellen ("Helt öppet förvar" i tabell 5-2). Modelleringen visar dock att grundvattenflödet över MOUSE-SHE-modellens botten ökar om de djupare delarna inkluderas. Summan av inläckaget till tillfartstunnel, schakt och över MOUSE-SHE-modellens botten ger en relativt god samstämmighet med det totala inläckage

till hela förvaret som beräknats med DarcyTools-modellen /Bosson 2006/. Det är bättre samstämmighet mellan resultaten från de två modellerna för fallet $K = 10^{-9}$ m/s i den injekterade zonen, jämfört med fallet $K = 10^{-7}$ m/s.

Två känslighetsfall har även testats med MOUSE-SHE, där en 1,5 m mäktig zon i övergången mellan jord och berg antas ha en låg vattengenomsläpplighet, $K_{\text{jord-berg}} = 10^{-7}$ respektive 10^{-8} m/s; i båda dessa känslighetsfall är vattengenomsläppligheten i den injekterade zonen $K = 10^{-9}$ m/s (se tabell 5-2). Analysen har utförts för att testa inverkan av de hydrauliska egenskaperna i denna övergång. Egenskaperna i denna övergångszon är nämligen mer eller mindre okända i Laxemarområdet. Resultaten av känslighetsanalysen visar att en lågkonduktiv övergångszon mellan jord och berg ger ett ökat inläckage; detta är en effekt av att grundvattenytan hålls uppe, dvs att avsänkning blir mindre, jämfört med fallet utan en tät övergångszon. Resultat av de numeriska beräkningarna avseende grundvattenytans avsänkning redovisas närmare i avsnitt 5.3.3.

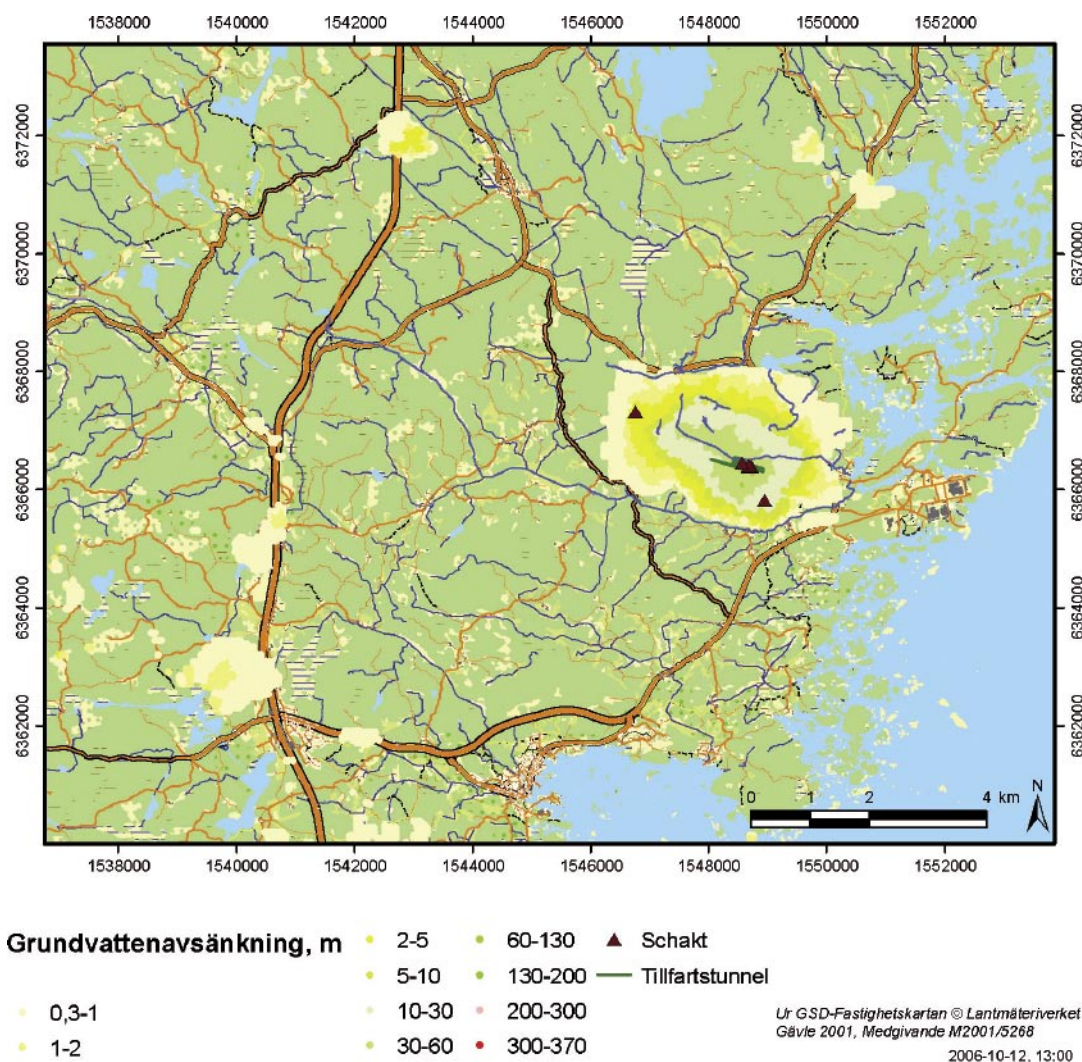
De analytiska beräkningarna (avsnitt 2.4.3) ger ett inläckage till ett helt öppet förvar på cirka 40 l/s (medianvärdet), med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-9}$ m/s. I denna beräkning ingår dock inte tillfartstunnel och schakt. En alternativ metod kan inkludera tillfartstunnel och schakt, men metoden anses ge orimligt låga inläckage /Magnusson och Bergvall 2006/. Med $K = 10^{-7}$ m/s är det beräknade inläckaget cirka 170 l/s, och nära 700 l/s utan injektering. I det senare fallet sker det mesta inläckaget där transporttunnlarna passerar deformationszoner i berget. För ett helt öppet förvar är det god samstämmighet mellan de analytiska beräkningarna och resultaten från DarcyTools, om injekteringen antas vara tät ($K = 10^{-9}$ m/s). För en mindre tät injektering, och utan injektering, ger den analytiska modelleringen avsevärt större inläckage jämfört med DarcyTools. De analytiska beräkningarna ger alltså bäst samstämmighet med de numeriska modellerna i fallen med en tät injektering.

5.3.3 Grund- och ytvattenpåverkan

Resultat från DarcyTools-modelleringen

Figur 5-5 till 5-8 visar beräkningsresultat från DarcyTools-modelleringen, i termer av grundvattenytans avsänkning kring förvaret. Resultat visas dels för skedet där förvarsdel AC är öppen, och dels för det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar. Grundvattenytans avsänkning är definierad som differensen mellan grundvattenytans nivå utan förvar och dess nivå då slutförvaret är öppet. För situationen med förvar avses grundvattenytans nivå i slutet av viss simulerad tidssekvens. Som ett exempel, har för skedet med förvarsdel AC öppen först en simulering gjorts med förvarsdel A öppen i 7 år, del AB öppen i 5 år, och sedan del AC öppen i 25 år (jmf. tabell 5-1a och b), dvs grundvattenytans nivå för skede AC avser tidpunkten $7+5+25 = 37$ år efter det att tillfartstunneln började byggas.

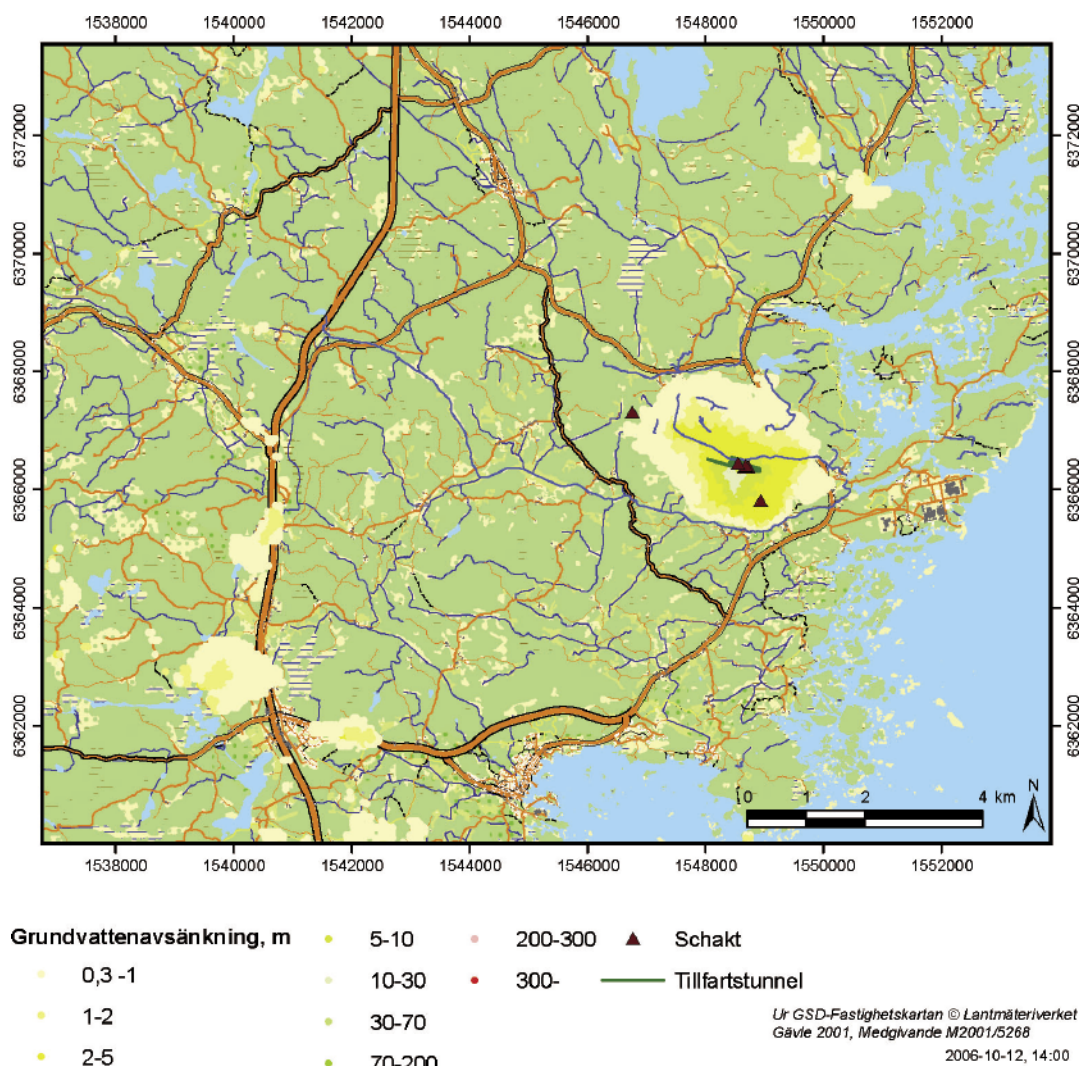
Figur 5-5 och 5-6 (en förstoring av den senare återges i figur 5-7) visar att grundvattenytan sänks av i ett stort område kring förvaret under skedet då förvarsdel AC är öppen. Som väntat är avsänkning störst vid förvaret och avtar med avståndet från detta. Man kan också notera att det avsänkta området närmast kring förvaret är likformigt och inte följer deformations-zonerna i berget (jmf figur 5-3). Figurerna visar att det avsänkta området inte är helt sammanhängande; grundvattenytan sänks av i områden som är separerade från det avsänkta området närmast kring förvaret. De områden på stora avstånd från förvaret som sänks av i modellen är dock belägna på eller nära gränsen för modellområdet, och avsänkning i dessa områden kan vara en ren effekt av modellgränsen (Urban Svensson, pers. komm. 2006). Avsänkningens belopp och det påverkade områdets storlek är som väntat mindre i fallet med en tätare injektering ($K = 10^{-9}$ m/s; figur 5-6) jämfört med fallet $K = 10^{-7}$ m/s. Även i det tätare fallet sänks grundvattenytan av i "osammanhängande" områden. För DarcyTools redovisas inte fallet med ett förvar utan injektering, eftersom grundvattenytans då sänks av ned till botten av förvaret; denna situation kan inte hanteras i DarcyTools (jmf. avsnitt 5.3.2).



Figur 5-5. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Laxemar, beräknad med DarcyTools /Svensson 2006/. Figuren avser skedet där förvarsdel AC är öppen, med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-7}$ m/s.

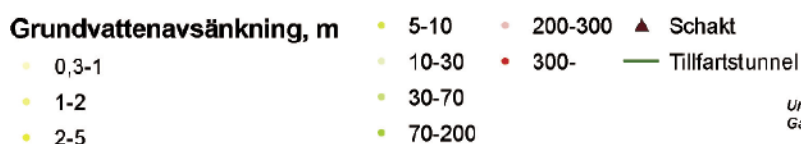
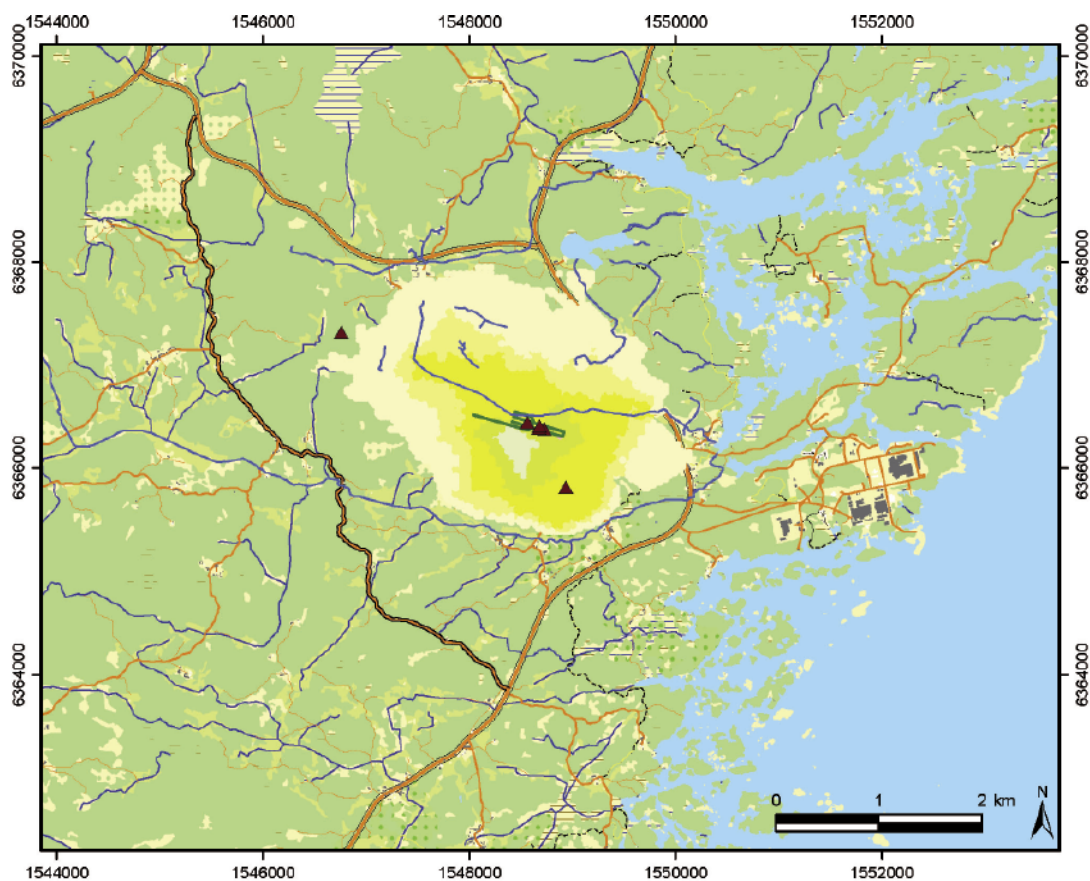
Det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar (figur 5-8) ger en största avsänkning som motsvarar avsänkningens då förvarsdel AC är öppen. Det påverkade området är något större; skillnaden mellan ett helt öppet förvar och ”AC-skedet” (för samma vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen) är dock mindre än skillnaden mellan de två täthetsfallen ($K = 10^{-7}$ och $K = 10^{-9}$ m/s) under AC-skedet.

Tabell 5-3 anger den prognostiserade största grundvattenavsänkning som uppstår och påverkansområdets storlek, dels för skedet med förvarsdel AC öppen och dels för det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar /Svensson 2006/. Som jämförelse anges påverkansområdets storlek med olika kriterier för dess avgränsning med avseende på avsänkning. Tabellen visar att avsänkningens blir minst 0,3 m inom ett område på 10–13 km² under AC-skedet, beroende på injekteringens vattengenomsläpplighet. Den största avsänkningens är cirka 300–400 m,



Figur 5-6. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Laxemar, beräknad med DarcyTools /Svensson 2006/. Figuren avser skedet där förvarsdel AC är öppen, med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-9}$ m/s.

dock endast lokalt och där beräkningsceller skär tillfartstunneln; dessa stora avsänkningar är inte representativa (Urban Svensson, pers. komm. 2006). En tätare injektering medför att avsänkning blir större än 10 m endast inom ett litet begränsat område ($0,1 \text{ km}^2$); detta område har en storlek på cirka 3 km^2 med en mindre effektiv injektering ($K = 10^{-7}$ m/s). Liksom kunde noteras i figur 5-4 till 5-7, är skillnaden mellan ett helt öppet förvar och AC-skedet (för samma vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen) mindre än skillnaden mellan de beräknade täthetsfallen för AC-skedet. I tabellen kan man också notera att avsänkningstratten är ”brant”. Som ett exempel, så är påverkansområdet för gränsen 1 m avsänkning hälften så stort som påverkansområdet för 0,3 m avsänkning, för ett helt öppet förvar (injekteringsfallet $K = 10^{-9}$ m/s).



Ur GSD-Fastighetskartan © Lantmäterverket
Gävle 2001, Medgivande M2001/5268
2006-10-12, 16:00

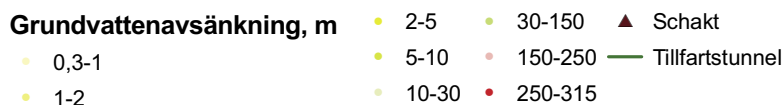
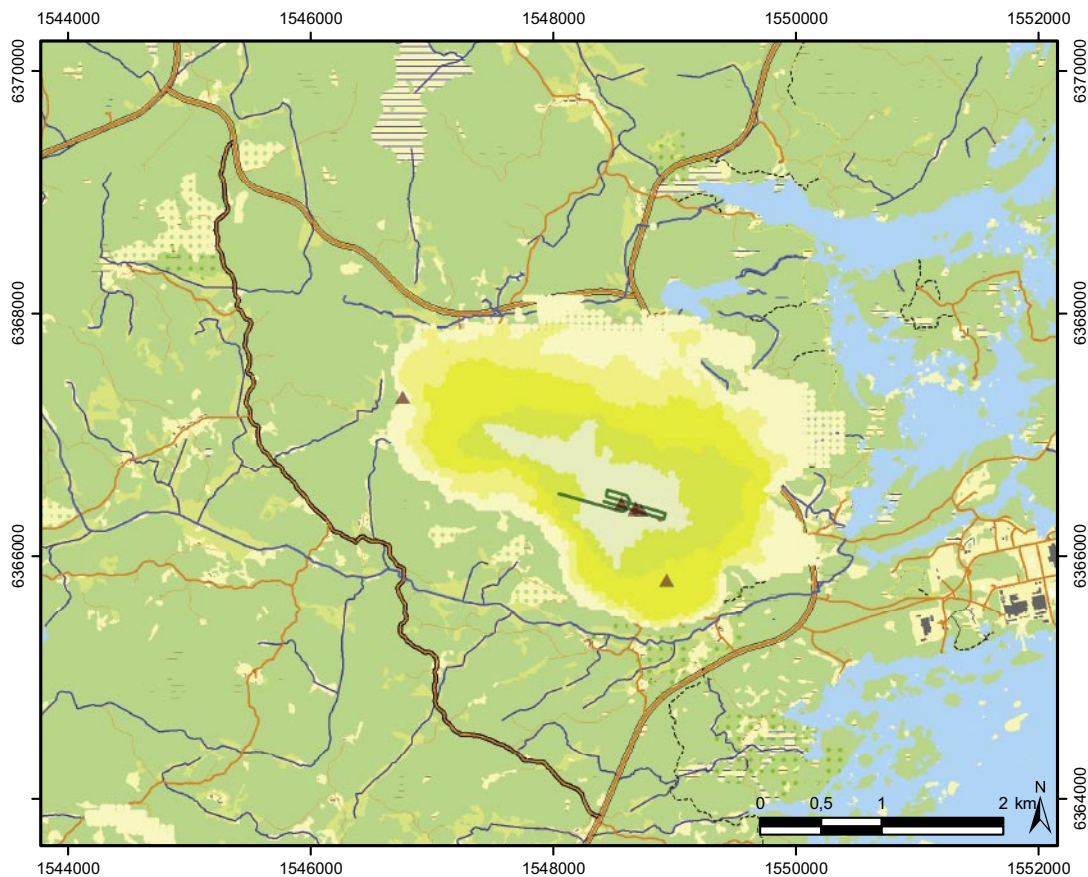
Figur 5-7. Förstorad bild av grundvattenytans avsänkning kring förvaret (jmf. figur 5-6).

Tabell 5-3. Största grundvattenavsänkning och påverkansområdets storlek, beräknade med DarcyTools /Svensson 2006/.

Öppen förvarsdel	Maximal vattengenomsläpplighet K (m/s) i den injekterade zonen	Största grundvattenavsänkning ¹ (m)	Påverkansområdets storlek (km ²) för angiven avsänkning ²				
			> 0,3 m	> 1 m	> 5 m	> 10 m	> 20 m
AC	10 ⁻⁷	370	12,6	7,2	3,8	2,8	1,8
	10 ⁻⁹	314	9,4	3,8	0,5	0,1	0,02
Helt öppet förvar (A-E)	10 ⁻⁷	370	12,6	7,5	4,7	3,8	2,7
	10 ⁻⁹	314	10,6	5,3	1,8	0,7	0,03

¹ Den största avsänkningen uppstår lokalt där beräkningsceller i modellen skär tillfartstunneln/schakten, och är därmed inte helt representativa (Urban Svensson, pers. komm. 2006).

² Areaberäkningen inkluderar även de områden som är avsänkta på större avstånd från förvaret (jmf figur 5-5 och 5-6).

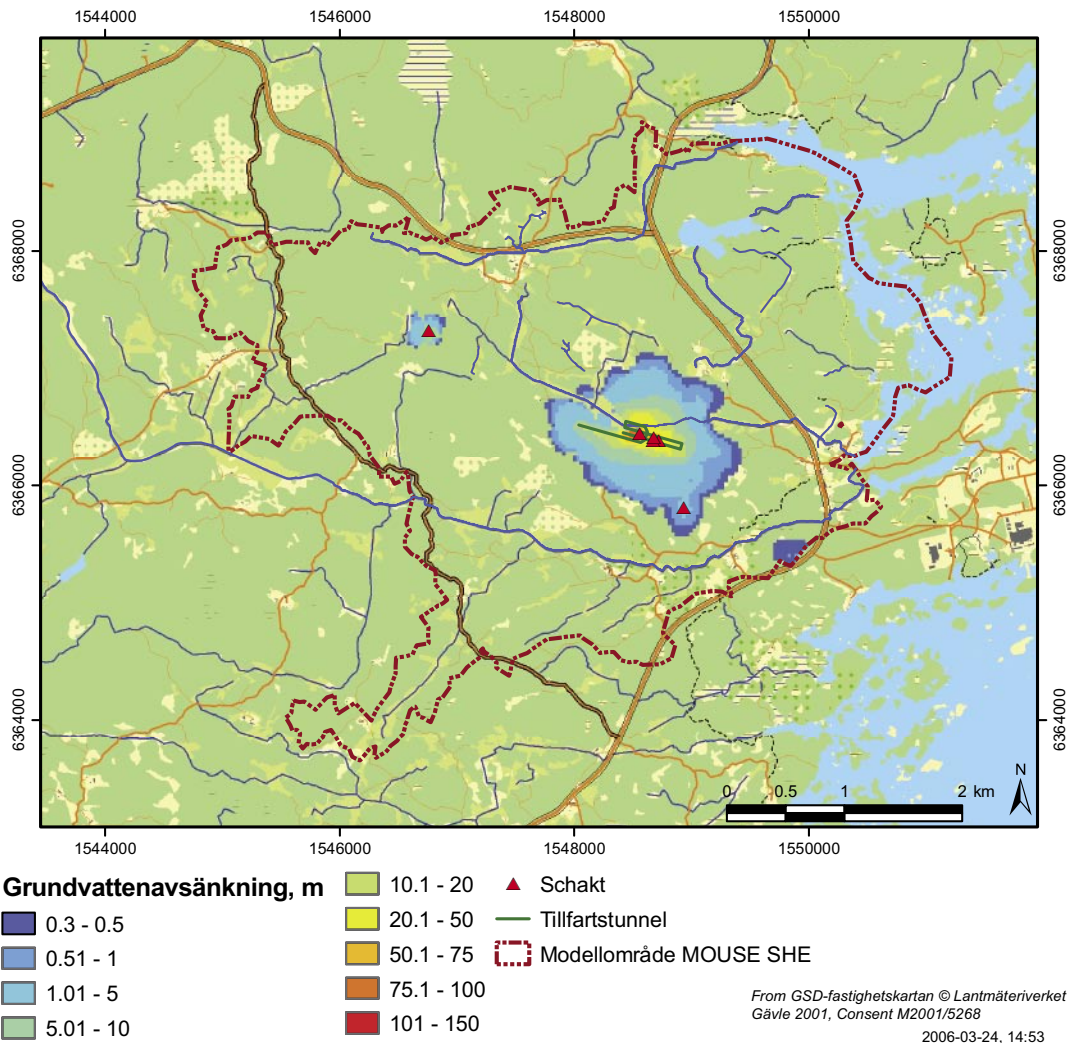


Ur GSD-Fastighetskartan © Lantmäteriverket
Gävle 2001, Medgivande M2001/5268
2006-04-06, 11:12

Figur 5-8. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Laxemar, beräknad med DarcyTools /Svensson 2006/. Figuren visar ett hypotetiskt fall där hela förvaret är öppet, med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-9}$ m/s. Observera att det finns några avsänkta områden nord, nordväst och sydväst om förvaret; dessa syns dock inte denna förstörade figur /Svensson 2006/.

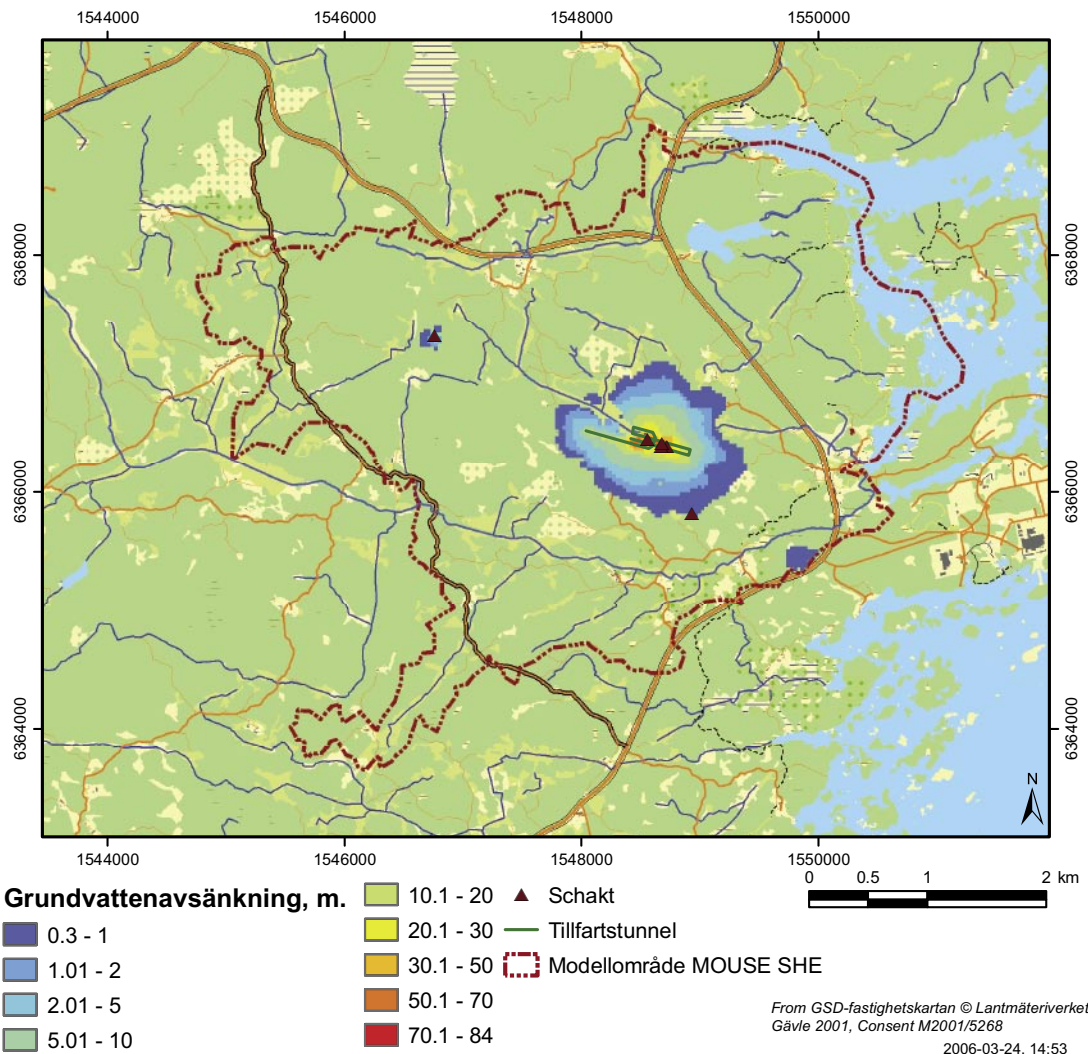
Resultat från MOUSE-SHE-modelleringen

Figur 5-9 till 5-15 visar beräkningsresultat från MOUSE-SHE-modelleringen, i termer av grundvattenytans avsänkning kring förvaret. Resultat visas dels för skedet då endast tillfartstunnel och schakt är öppna (figur 5-9 till 5-13) och dels för ett hypotetiskt fall där hela förvaret är öppet (figur 5-14 och 5-15). Grundvattenytans avsänkning är definierad på samma sätt som i DarcyTools-modelleringen (se ovan), och samtliga beräkningsfall utgår från situationen utan förvar. En skillnad mot DarcyTools-modelleringen är att MOUSE-SHE-modelleringen gjorts för kortare tidsperioder: Skedet med endast tillfartstunnel och schakt öppna har simulerats för en tidsperiod på 2 år; i fallet med hela förvaret öppet har detta skede simulerats för en efterföljande ettårsperiod.



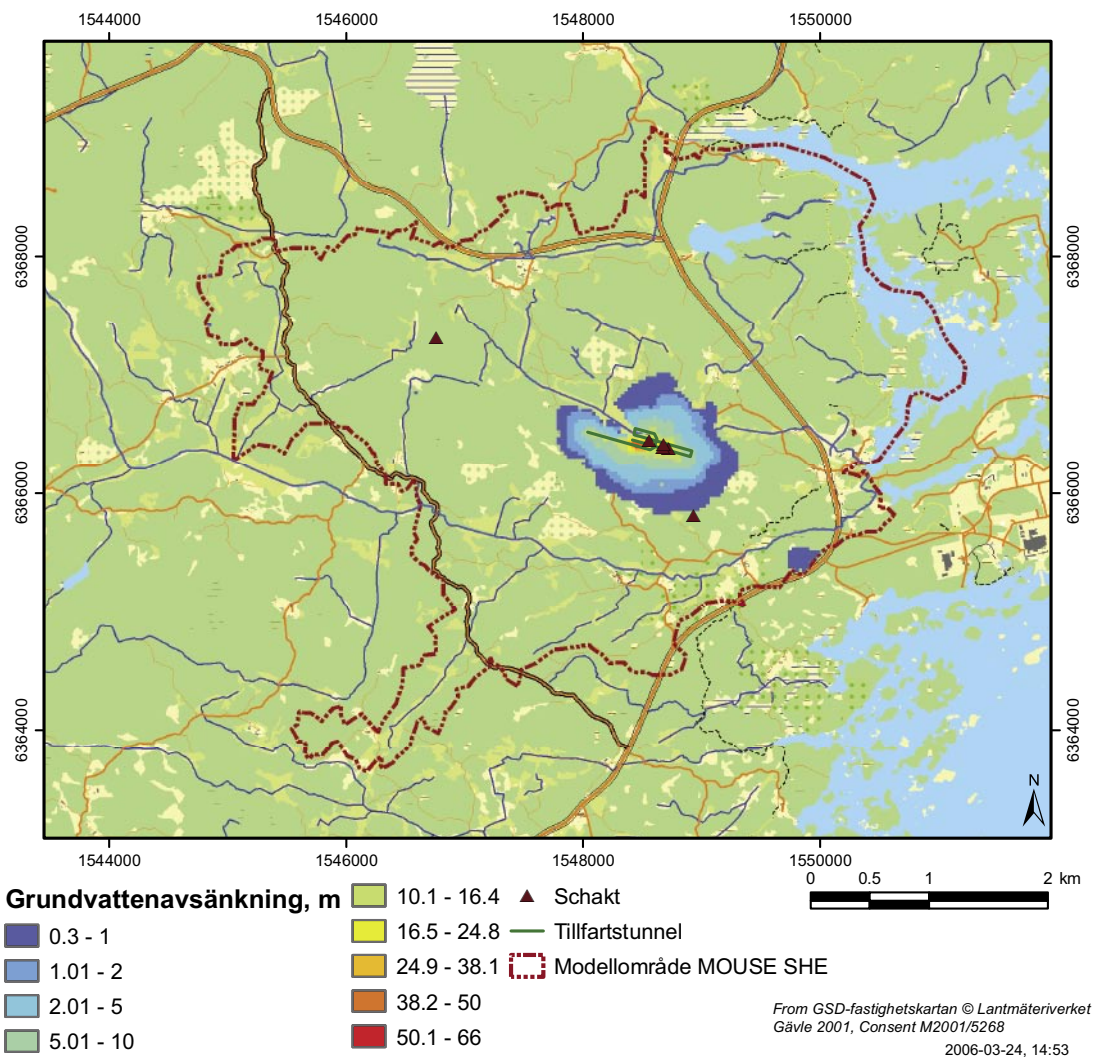
Figur 5-9. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Laxemar, beräknad med MOUSE-SHE /Bosson 2006/. Figuren avser skedet där endast tillfartstunnel och schakt är öppna, i fallet utan injektering.

Observera att i fallet med ett helt öppet förvar, representeras de djupare förvarsdelarna (dvs förvarsdelar belägna djupare än 150 m under havets nivå) i MOUSE-SHE-modellen av det grundvattenstryck i modellens botten som beräknats med DarcyTools /Svensson 2006/.



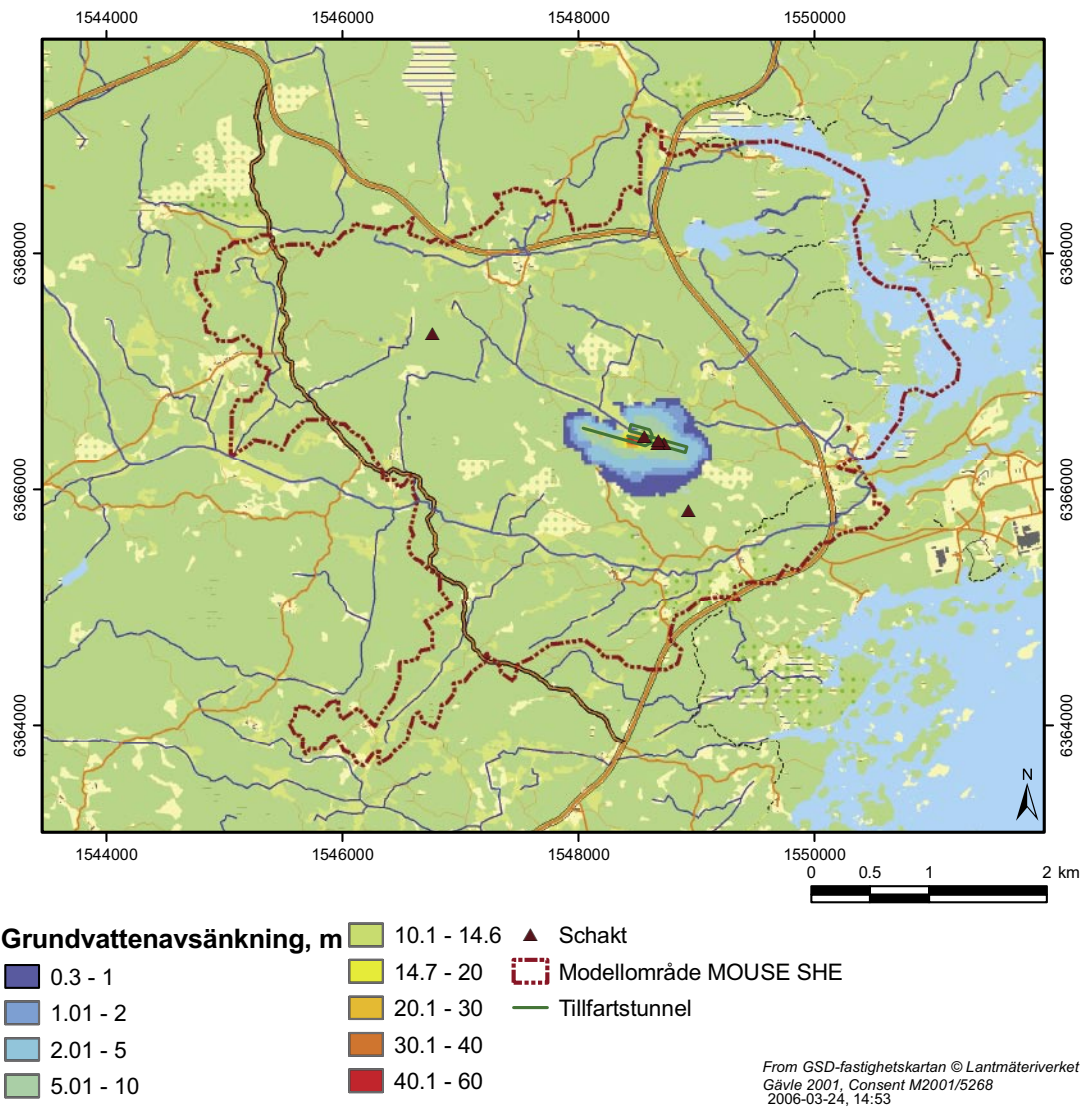
Figur 5-10. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Laxemar, beräknad med MOUSE-SHE /Bosson 2006/. Figuren avser skedet där endast tillfartstunnel och schakt är öppna, i fallet med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-7}$ m/s.

Figur 5-9 till 5-11 visar att grundvattenytan sänks av i ett cirka 1 km² stort område kring förvaret under skedet då tillfartstunnel och schakt är öppna. Den avsänkning som kan ses i ett "osammanhängande" område, sydost om förvaret, är troligtvis en ren randeffekt (Emma Bosson, pers. komm. 2006). En jämförelse med DarcyTools visar generellt på mindre avsänkning och mindre storlek på det påverkade området; detta beror på att endast tillfartstunnel och schakt ned till 150 m under havet beaktas i figur 5-9 till 5-11. Man kan också notera att MOUSE-SHE-modelleringen visar på en svagare inverkan av injekteringens täthet på avsänkningen och på det påverkade områdets storlek.



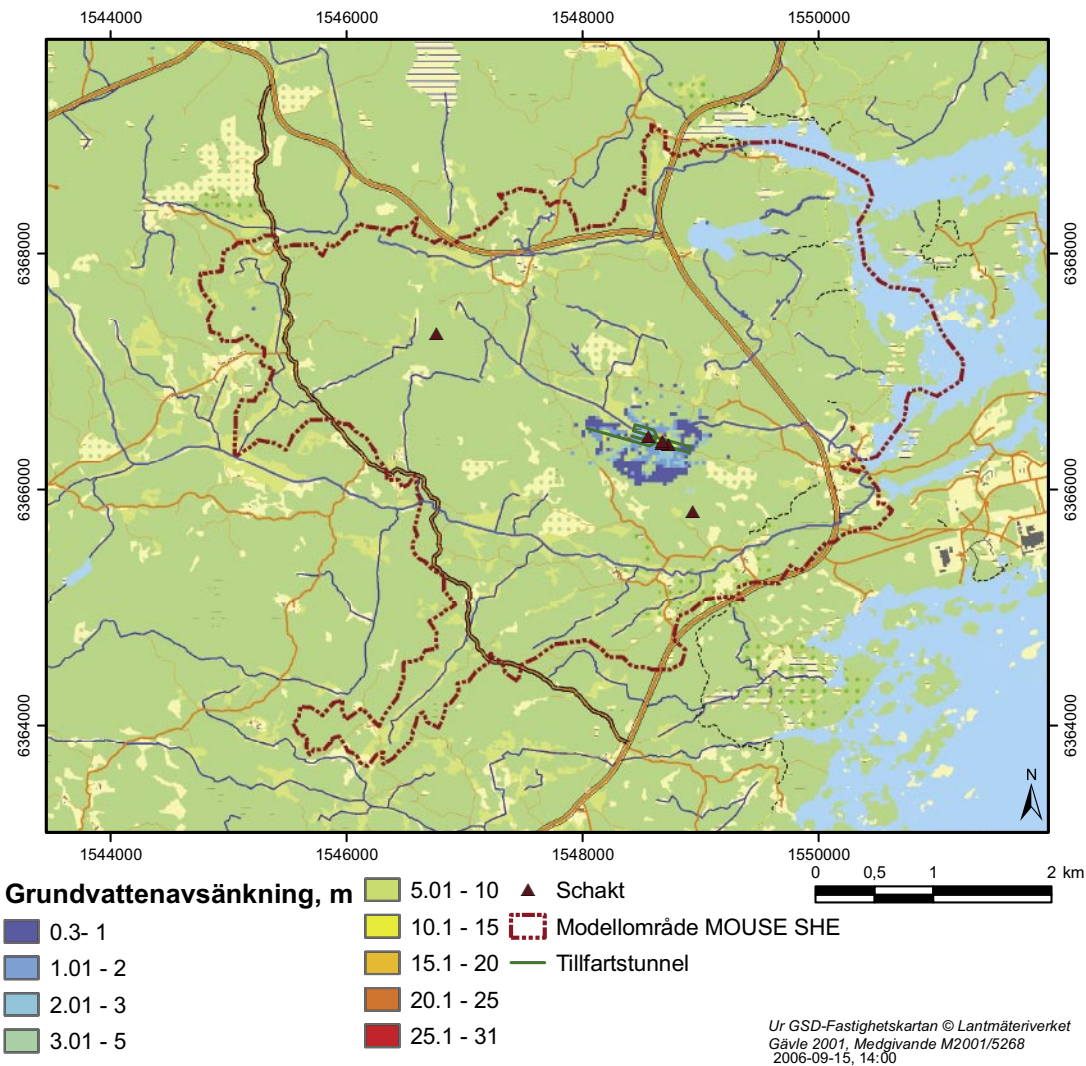
Figur 5-11. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Laxemar, beräknad med MOUSE-SHE /Bosson 2006/. Figuren avser skedet där endast tillfartstunnel och schakt är öppna, i fallet med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-9}$ m/s.

Figur 5-12 och 5-13 visar resultaten av de två känslighetsfallen, där en 1,5 m mäktig zon i övergången mellan jord och berg antas ha en låg vattengenomsläpplighet, $K_{\text{jord-berg}} = 10^{-7}$ och 10^{-8} m/s; i båda dessa känslighetsfall är vattengenomsläppligheten i den injekterade zonen $K = 10^{-9}$ m/s. Känslighetsanalysen har visat att en lågkonduktiv övergångszon mellan jord och berg ger ett ökat inläckage jämfört med fallet utan denna zon (se tabell 5-2). En jämförelse med figur 5-11 visar att en lågkonduktiv övergångszon mellan jord och berg ger en mindre avsänkning och ett mindre påverkat område, jämfört med fallet utan en sådan tät övergångszon.



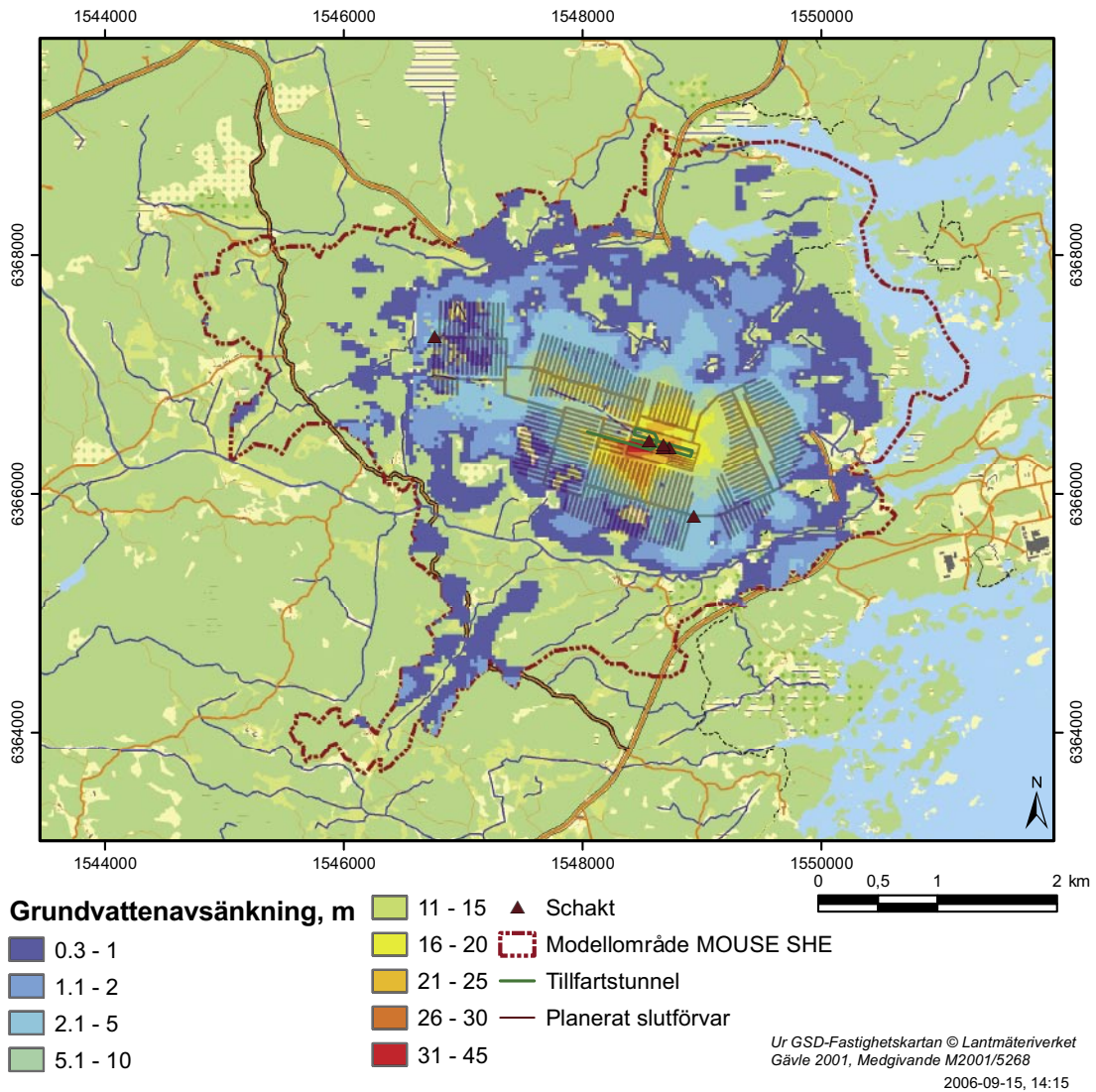
Figur 5-12. Känslighetsanalys av fallet i figur 5-11, där en 1,5 m mäktig zon i övergången jord-berg antas ha en vattengenomsläpplighet på $K_{jord-berg} = 10^{-7}$ m/s.

Figur 5-14 visar beräkningsresultat för det hypotetiska fallet, där hela förvaret är öppet, med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-9}$ m/s i hela förvaret. En jämförelse med DarcyTools-modelleringen för samma fall (figur 5-8) visar på en god överensstämmelse med avseende på det påverkade områdets storlek; dock är den största avsänkning mindre i MOUSE-SHE jämfört med DarcyTools.



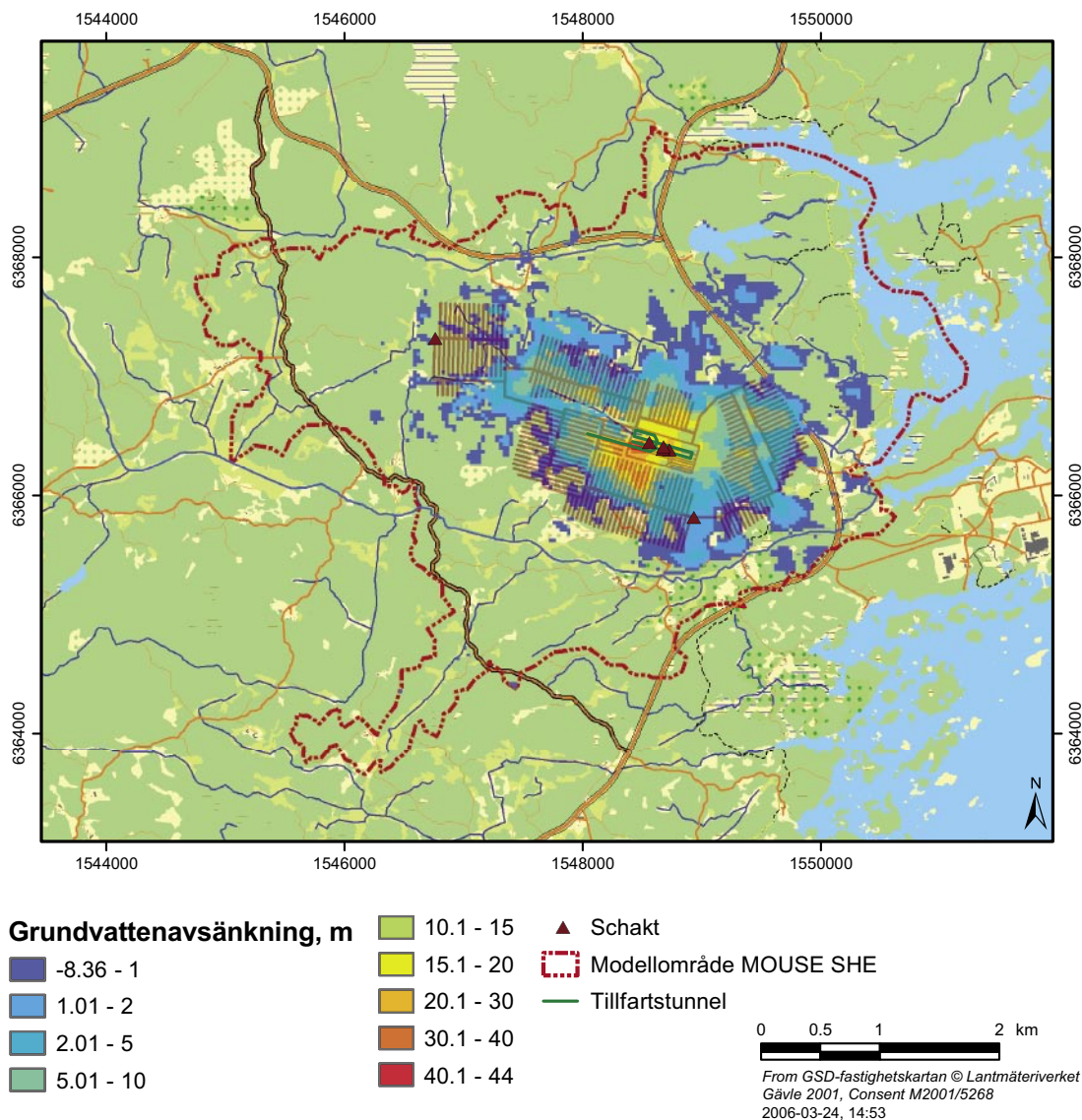
Figur 5-13. Känslighetsanalys av fallet i figur 5-11, där en 1,5 m mäktig zon i övergången jord-berg antas ha en vattengenomsläpplighet på $K_{\text{jord-berg}} = 10^{-8}$ m/s.

Påverkansområdet i figur 5-14 omfattar större delen av MOUSE-SHE-modellens modellområde; påverkansområdet följer till stora delar modellområdets gränser. Detta tyder på att modellområdets storlek och modellens randvillkor (dvs det antagna utbytet av vatten med modellens omgivningar) inverkar på storleken och formen för det beräknade påverkansområdet; randvillkoren i MOUSE-SHE-modellen innebär att inget vattenflöde antas ske i jordlagren över den större delen av modellens gränser /Bosson 2006/; se även figur A-2 i Appendix 1.



Figur 5-14. Grundvattenytans avsänkning (m) kring slutförvar Laxemar, beräknad med MOUSE-SHE /Bosson 2006/. Figuren visar endast som en jämförelse med ett hypotetiskt fall där hela förvaret är öppet, med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-9}$ m/s.

Figur 5-15 visar resultat för ett av känslighetsfallen, där en 1,5 m mäktig zon i övergången mellan jord och berg antas ha vattengenomsläppligheten $K_{\text{jord-berg}} = 10^{-7}$ m/s; vattengenomsläppligheten i den injekterade zonen är $K = 10^{-9}$ m/s. En jämförelse med figur 5-14 visar att en lågkonduktiv övergångszon mellan jord och berg ger en mindre avsänkning och ett mindre påverkat område jämfört med fallet utan en sådan tät övergångszon.



Figur 5-15. Känslighetsanalys av fallet i figur 5-14, där en 1,5 m mäktig zon i övergången jord-berg antas ha en vattengenomsläpplighet på $K_{\text{jord-berg}} = 10^{-7}$ m/.

Tabell 5-4 anger den prognostiserade största grundvattenavsänkning som uppstår och påverkansområdets storlek, dels för fallet med tillfartstunnel och schakt öppna och dels för ett hypotetiskt fall med ett helt öppet förvar /Bosson 2006/. Med "påverkansområde" avses här det område inom vilket grundvattenytans nivå avsänks mer än 0,3 m. Som jämförelse anges även påverkansområdets storlek, med andra gränser avseende avsänkning. Liksom i tabell 5-3 (DarcyTools), kan man i tabell 5-4 notera en "brant" avsänkningstratt; storleken på påverkansområdet för gränsen 1 m avsänkning är 60 % av påverkansområdet för 0,3 m avsänkning, för ett helt öppet förvar (injekteringsfallet $K = 10^{-9}$ m/s).

Tabell 5-4. Största grundvattensavsänkning och påverkansområdets storlek, beräknade med MOUSE-SHE /Bosson 2006/.

Öppen förvarsdel samt vattengenomsläpplighet K (m/s) i den injekterade zonen	Största grundvattensavsänkning ¹ (m)	Påverkansområdets storlek (km ²) för angiven avsänkning				
		0,3 m	1 m	5 m	10 m	20 m
Tillfartstunnel och schakt, ingen injektering	150	1,59	1,01	0,42	0,20	0,10
Tillfartstunnel och schakt, K = 10 ⁻⁷	83	1,38	0,87	0,38	0,18	0,08
Tillfartstunnel och schakt, K = 10 ⁻⁹	66	1,17	0,70	0,25	0,10	0,03
Tillfartstunnel och schakt, K = 10 ⁻⁹	60	0,72	0,52	0,19	0,07	0,02
K _{jord-berg} = 10 ⁻⁷						
Tillfartstunnel och schakt, K = 10 ⁻⁹	30	0,39	0,23	0,03	0,01	0,003
K _{jord-berg} = 10 ⁻⁸						
Helt öppet förvar, K = 10 ⁻⁷	111	11,3	8,23	4,32	3,13	1,84
Helt öppet förvar, K = 10 ⁻⁹	44	9,2	5,36	1,73	0,84	0,20
Helt öppet förvar, K = 10 ⁻⁹	44	4,4	2,86	1,21	0,53	0,10
K _{jord-berg} = 10 ⁻⁷						
Helt öppet förvar, K = 10 ⁻⁹	36	3,10	2,02	0,59	0,23	0,02
K _{jord-berg} = 10 ⁻⁸						

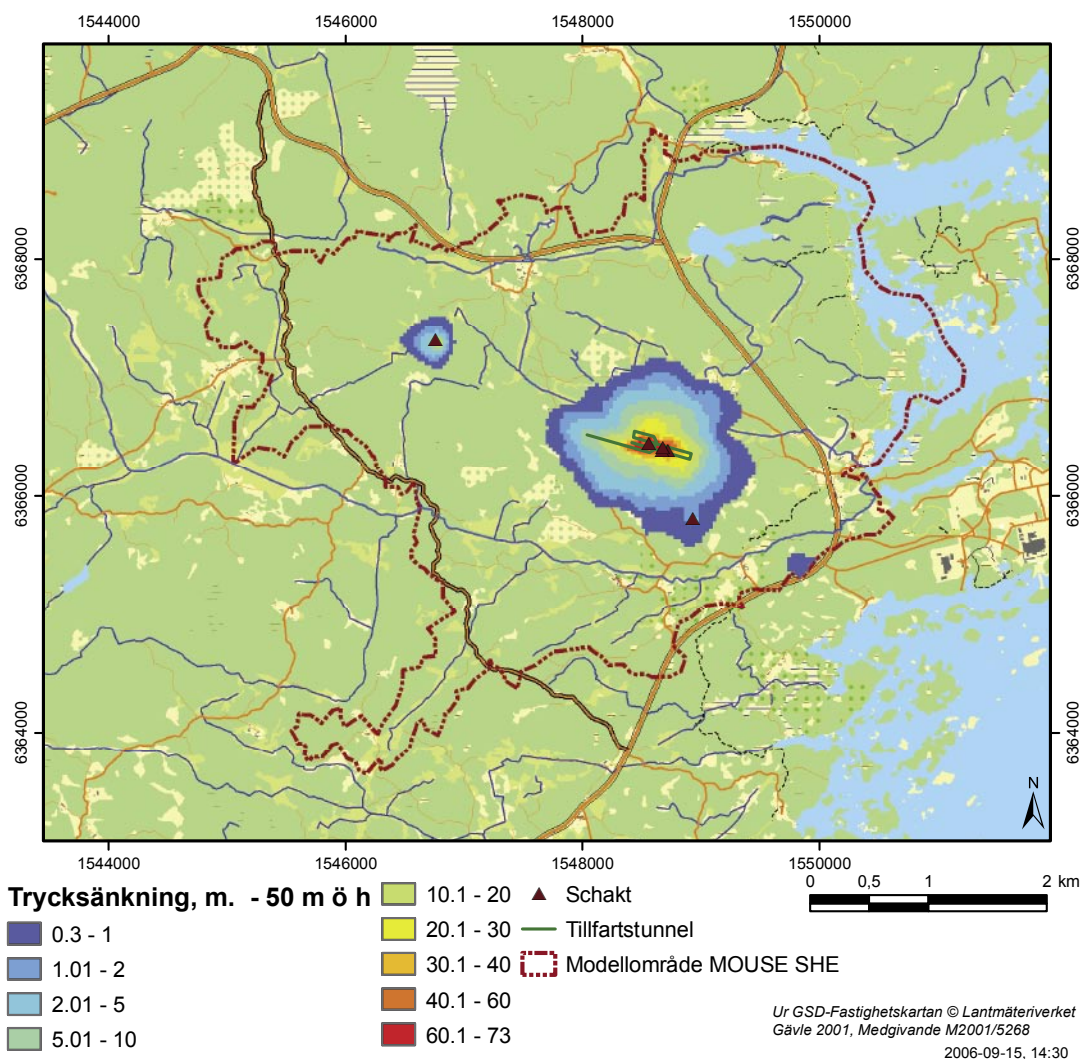
¹ Den största avsänkningen uppstår lokalt där beräkningsceller i modellen skär tillfartstunneln/schakten, och är därmed inte helt representativa (Emma Bosson, pers. komm. 2006).

Den analytiska beräkning som gjorts avseende omgivningspåverkan från slutförvar Laxemar (avsnitt 2.4.3) ger ett påverkansområde som är mellan 2,5 km² (förvarsdel A öppen) och 15,21 km² (förvarsdel AC öppen). Dessa resultat avser medianvärden, beräknade för ett likformigt fördelat inläckage i intervallet 1–10 l/s /Magnusson och Bergvall 2006/. Med endast tillfartstunnel och schakt öppna (motsvarande förvarsdel A) ger MOUSE-SHE-modelleringen /Bosson 2006/ ett påverkansområde (> 0,3 m avsänkning) som är mellan 1,17 km² (tätningsnivå K = 10⁻⁹ m/s) och 1,59 km² (tätningsnivå K = 10⁻⁷ m/s).

För skedet med förvarsdel AC öppen, ger DarcyTools-modelleringen /Svensson 2006/ ett påverkansområde som är mellan 9,4 km² (tätningsnivå K = 10⁻⁹ m/s) och 12,6 km² (tätningsnivå K = 10⁻⁷ m/s). Den analytiska beräkningen av påverkansområdet ger alltså ett något större område, i de beräkningsfall för vilka jämförelser går att göra med de numeriska beräkningarna. Med tanke på de olika förutsättningar och antaganden som gäller för de analytiska och de numeriska beräkningarna, ger de olika sätten att räkna relativt samstämmiga resultat avseende påverkansområdets storlek.

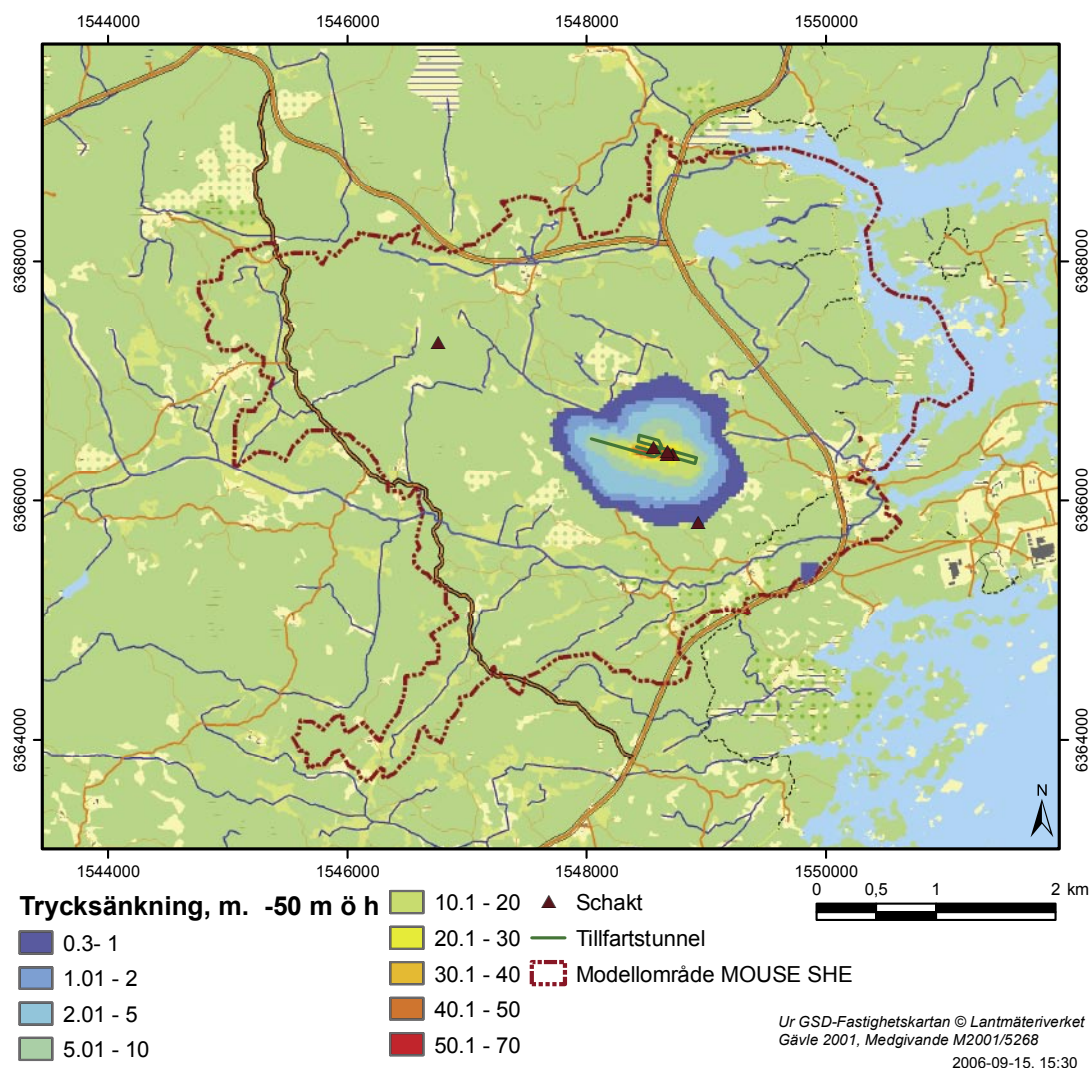
Påverkan på befintliga brunnar

Som tidigare nämnts, kan en sänkning av grundvattentrycket i berget ge minskade uttagsmöjligheter i bergborrade brunnar. Figur 5-16 till 5-18 visar beräkningsresultat från MOUSE-SHE-modelleringen /Bosson 2006/, i termer av grundvattnets trycksänkning på nivån 50 m under havets nivå. Denna nivå är vald för att den är ett ”typiskt” djup för bergborrade brunnar i Simpevarpsområdet /Morosini och Hultgren 2003/. Resultat visas dels för skedet då endast tillfartstunnel och schakt är öppna (figur 5-16 och 5-17) samt ett hypotetiskt fall med ett helt öppet förvar (figur 5-18). Trycksänkningen är definierad på motsvarande sätt som grundvattenytans avsänkning, dvs som skillnaden i tryck mellan situationen med ett förvar och situationen utan ett förvar.

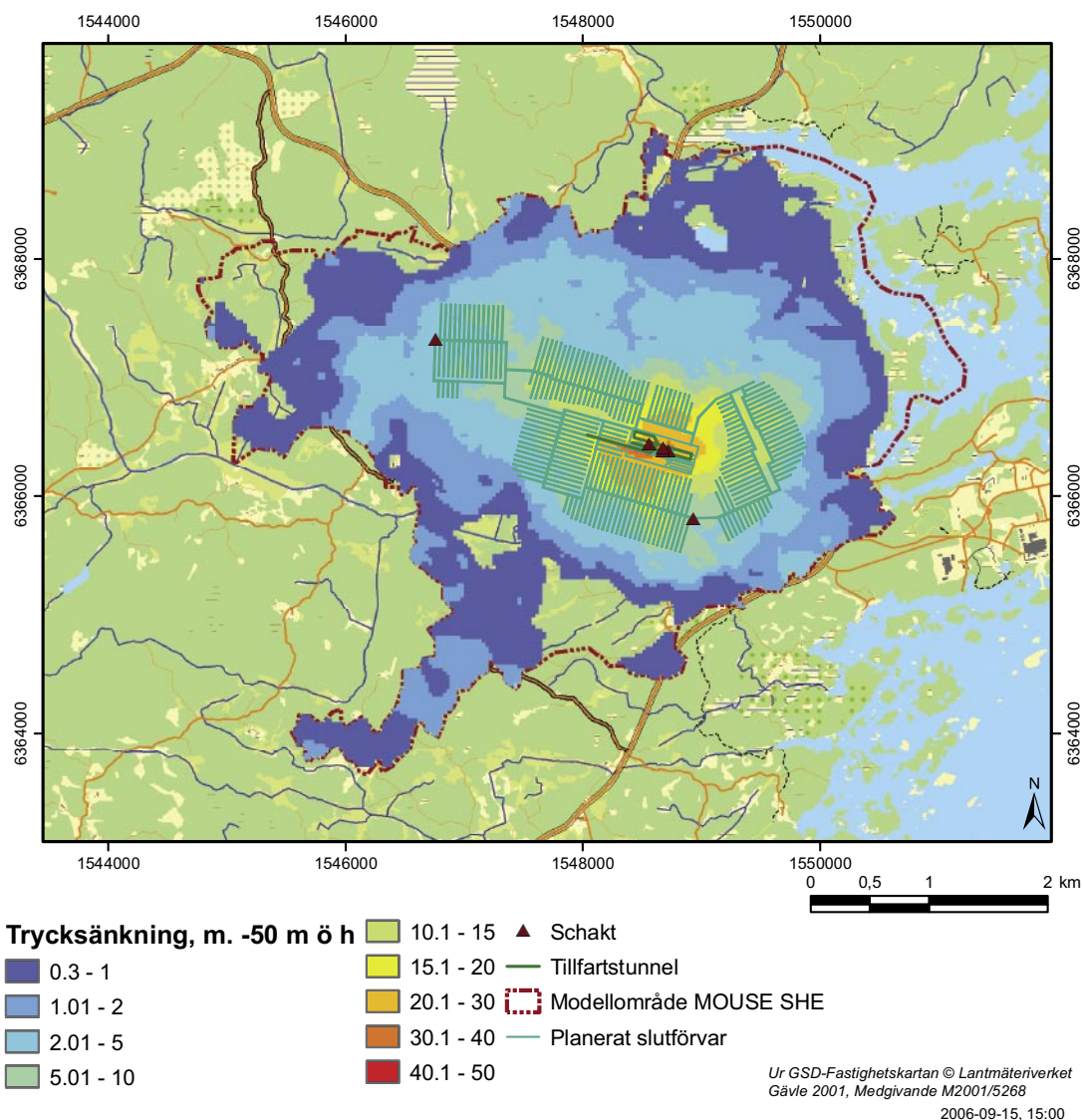


Figur 5-16. Grundvattnets trycksänkning (m) kring slutförvar Laxemar på nivån 50 m under havets beräknad med MOUSE-SHE /Bosson 2006/. Figuren avser skedet där endast tillfartstunnel och schakt är öppna, utan injektering.

Med endast tillfartstunnel och schakt öppna (figur 5-16 och 5-17) blir trycksänkningen påverkansområde litet, även i fallet utan injektering. I det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar (figur 5-18) omfattar påverkansområdet större delen av MOUSE-SHE-modellens modellområde. Liksom för grundvattenytans avsänkning (jmf figur 5-14), följer påverkansområdet för trycksänkningen modellområdets gränser. Även detta resultat tyder på att modellområdets storlek och modellens randvillkor inverkar på storleken och formen för det beräknade påverkansområdet. Randvillkoren i MOUSE-SHE-modellen är att de tryck som råder i berget vid modellens gränser är de tryck som beräknats med DarcyTools för motsvarande fall /Bosson 2006/; se även figur A-2 i Appendix 1.



Figur 5-17. Grundvattnets trycksänkning (m) kring slutförvar Laxemar på nivån 50 m under havets beräknad med MOUSE-SHE /Bosson 2006/. Figuren avser skedet där endast tillfartstunnel och schakt är öppna, med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-9}$ m/s.



Figur 5-18. Grundvattnets trycksänkning (m) kring slutförvar Laxemar på nivån 50 m under havets beräknad med MOUSE-SHE /Bosson 2006/. Figuren visas endast som en jämförelse med ett hypotetiskt fall där hela förvaret är öppet, med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på $K = 10^{-9}$ m/s.

I känslighetsfallen antas en 1,5 m mäktig zon i övergången mellan jord och berg ha en vattengenomsläpplighet $K_{\text{jord-berg}} = 10^{-7}$ eller 10^{-8} m/s; vattengenomsläppligheten i den injekterade zonen är i känslighetsfallen $K = 10^{-9}$ m/s. Dessa beräkningar visar att en lågkonduktiv övergångszon mellan jord och berg ger ett mindre påverkat område, jämfört med fallet utan en sådan tät övergångszon.

Tabell 5-5 anger den prognostiserade största trycksänkning som uppstår på djupet 50 m under havets nivå, samt storleken på trycksänkningens påverkansområde. Resultat visas dels för skedet då endast tillfartstunnel och schakt är öppna, och dels för ett hypotetiskt fall med ett helt öppet förvar /Bosson 2006/. Påverkansområdets storlek redovisas med avseende på olika gränser för trycksänkningen i berget. Trycksänkningen avtar ”brant”, på motsvarande sätt som grundvattenavsänkningen (se tabell 5-3 och 5-4); storleken på påverkansområdet för gränsen 1 m trycksänkning är cirka 70 % av påverkansområdet för 0,3 m trycksänkning, för ett helt öppet förvar (injekteringsfallet $K = 10^{-9}$ m/s).

Tabell 5-5. Största trycksänkning (på nivån 50 m u h) och storleken på trycksänkningens påverkansområde /Bosson 2006/.

Öppen förvarsdel samt vattengenomsläpplighet K (m/s) i den injekterade zonen	Största trycksänkning ¹ (m)	Påverkansområdets storlek (km ²) för angiven trycksänkning				
		> 0,3 m	> 1 m	> 5 m	> 10 m	> 20 m
Tillfartstunnel och schakt, ingen injektering	73	1,98	1,28	0,54	0,31	0,15
Tillfartstunnel och schakt, K = 10 ⁻⁷	72	1,68	1,11	0,49	0,27	0,13
Tillfartstunnel och schakt, K = 10 ⁻⁹	70	1,45	0,93	0,36	0,18	0,06
Tillfartstunnel och schakt, K = 10 ⁻⁹ , K _{jord-berg} = 10 ⁻⁷	70	1,01	0,77	0,31	0,16	0,06
Tillfartstunnel och schakt, K = 10 ⁻⁹ , K _{jord-berg} = 10 ⁻⁸	71	1,34	1,01	0,43	0,23	0,07
Helt öppet förvar, K = 10 ⁻⁷	Inga resultat, på grund av numerisk instabilitet	–	–	–	–	–
Helt öppet förvar, K = 10 ⁻⁹	49	15,10	10,08	3,16	1,71	0,39
Helt öppet förvar, K = 10 ⁻⁹ , K _{jord-berg} = 10 ⁻⁷	47	12,27	8,50	2,71	1,38	0,27
Helt öppet förvar, K = 10 ⁻⁹ , K _{jord-berg} = 10 ⁻⁸	44	10,59	7,63	2,29	1,13	0,25

¹ Den största trycksänkningen uppstår lokalt invid ett par av schakten nära tillfartstunneln.

MOUSE-SHE-modelleringen /Bosson 2006/ visar att då endast tillfartstunnel och schakt är öppna, finns inga enskilda jord- eller bergbrunnar inom det påverkade området. Detta gäller både med avseende på grundvattenavsänkningen (figur 5-9 till 5-13) och på trycksänkningen på djupet 50 m under havets nivå (figur 5-16 och 5-17). För skedet då förvarsdel AC är öppen (vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen K = 10⁻⁹ m/s), visar resultaten från DarcyTools-modelleringen /Svensson 2006/ att det finns ca 30 jord- och bergbrunnar inom eller i anslutning till gränsen för det påverkade området (grundvattenavsänkning > 0,3 m); detta gäller även för det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar (figur 5-6).

Även MOUSE-SHE-resultaten visar att det finns ca 30 jordbrunnar och bergborrade brunnar inom eller alldeles utanför gränsen för det påverkade området (grundvattenavsänkning > 0,3 m). Detta gäller för det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar, och med en vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen på K = 10⁻⁹ m/s. Med avseende på trycksänkningen på djupet 50 m under havets nivå, finns det ca 20 bergborrade brunnar belägna inom det påverkade området (trycksänkning > 0,3 m). I känslighetsfallet, dvs fallet med en lågkonduktiv zon i övergången mellan jord och berg (K_{jord-berg} = 10⁻⁷ m/s), finns det ca 10 jordbrunnar (och ca 10 bergbrunnar) inom området med grundvattenavsänkning > 0,3 m. Det finns dock inga bergborrade brunnar inom området med trycksänkning > 0,3 m på djupet 50 m under havets nivå.

Påverkan på ytvattenförhållanden och vattenbalans

MOUSE-SHE har använts för beräkning av slutförvarets påverkan på ytvattenförhållandena och modellområdets vattenbalans /Bosson 2006/. Tabell 5-5 visar den modellberäknade förändringen i årsmedelflödet i de vattendrag som ingår i modellområdet (förutom Pistlanbäcken i avrinningsområde 8, med litet flöde och små förändringar). Notera att resultaten i tabellen avser det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar.

Tabell 5-6 visar att ett helt öppet förvar ger en minskning av årsmedelflödet i vattendragen (sett över alla vattendrag) som är mellan 10 och 20 %. Den största enskilda minskningen (75 %) erhålls för Ekerumsån, i fallet med en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-7}$ m/s i den injekterade zonen. Laxemarån i avrinningsområde nr. 10 påverkas minst av de beaktade vattendragen, oavsett täthetsfall.

Frisksjön är den enda sjön inom modellområdet. Resultaten från MOUSE-SHE-modelleringen visar att förvaret har en marginell påverkan på Frisksjön sjöarea samt på dess max- och medeldjup. Förvaret ger en minskning av andelen av modellområdet som har ”vattensjuk mark”, definierad som landområden med mer än 0,05 m vatten ovan markytan. För ett helt öppet förvar är minskningen i intervallet 5–10 %, beroende på skede och på den injekterade zonen vattengenomsläpplighet; fallet utan injektering har dock inte analyserats /Bosson 2006/. Platsundersökningar indikerar att Frisksjön underlagras av ett mäktigt lerlager. I MOUSE-SHE-modellen är ett sådant lerlager inlagt under Frisksjön, vilket kan förklara förvarets begränsade påverkan på sjön.

MOUSE-SHE-modelleringen visar vidare att förvaret ger en påverkan på modellområdets vattenbalans, i termer av en minskad avrinning. Skedet med enbart tillfartstunnel och schakt öppna ger en minskning av avrinningen med cirka 1 %, i fallet utan injektering. Det hypotetiska fallet med ett helt öppet förvar ger en minskning av avrinningen från modellområdet som är cirka 40 % i täthetsfallet $K = 10^{-7}$ m/s, och 20 % i täthetsfallet $K = 10^{-9}$ m/s. För skedet med förvarsdel AC öppen är minskningen cirka 15 % ($K = 10^{-9}$ m/s). Påverkan på avrinningen inom påverkansområdet har dock inte särredovisats /Bosson 2006/.

Tabell 5-6. Förändring (%) av årsmedelflöden i vattendragen inom modellområdet för MOUSE-SHE-modellen /Bosson 2006/. Resultaten avser ett helt öppet förvar, med angiven vattengenomsläpplighet K i den injekterade zonen. Både flöde och förändringar i Pistlanbäcken i avrinningsområde 8 är små och redovisas därför inte.

Vattendrag i avrinningsområde nr. (jmf. figur 4-3)	$K = 10^{-7}$ m/s, förändring i %	$K = 10^{-9}$ m/s förändring i %
Mederhultsån (avrinningsområde 6)	-26,6	-11,0
Kåreviksån (avrinningsområde 7)	-42,4	-29,5
Ekerumsån (avrinningsområde 9)	-76,4	-58,7
Laxemarån (avrinningsområde 10)	-11,2	-6,5
Totalt för dessa vattendrag	-20,1	-13,0

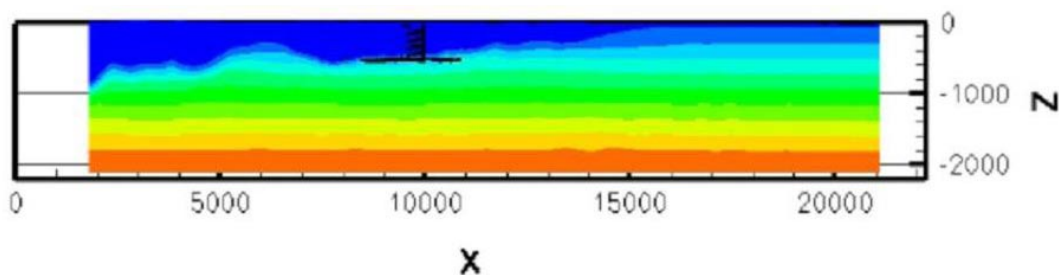
Erforderlig tid för "återmätnad" av slutförvaret

Den tid som krävs innan slutförvaret "återmätnats" med grundvatten efter återfyllnad (förslutning) har beräknats med DarcyTools /Svensson 2006/. Återfyllnad planeras ske med bentonit och bergkrossmaterial. Beräkning av återmätnaden har dock endast utförts för förvarsdel B (se figur 5-3). Resultatet av beräkningen visar att den största delen av tryckåterhämtningen sker inom 6 år efter återfyllnad av förvarsdel B. Det bör dock observeras att de sista förvarsdelarna som i verkligheten kommer att återfyllas är förvarsdel E och sedan centralområdet A, inklusive tillfartstunneln. Med ledning av den genomförda beräkningen avseende förvarsdel B, är en rimlig bedömning att det tar i storleksordningen 10–20 år innan förvarsdel AE återmätnats efter återfyllnaden.

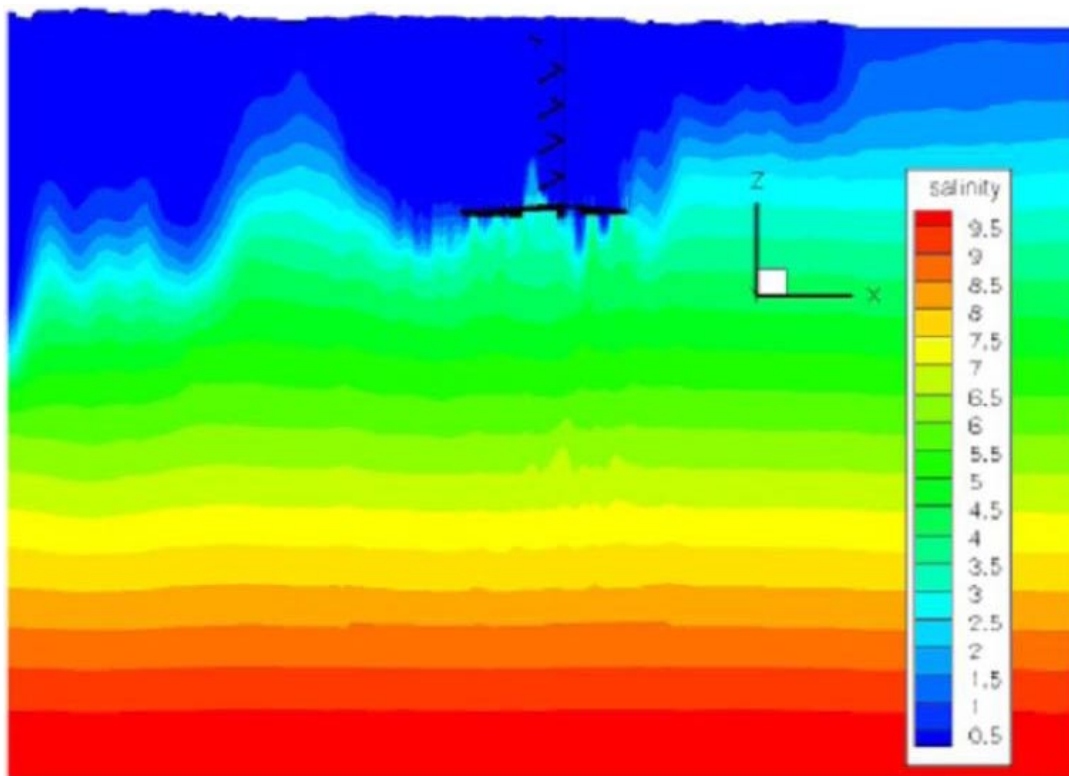
Saltvattenuppträngning

Slutförvarets effekter i termer av uppträngning av salt grundvatten har undersökts med DarcyTools-modellen /Svensson 2006/; den analytiska modelleringen bedöms inte ge meningsfulla resultat (se avsnitt 2.4.3). Figur 5-19 och 5-20 visar grundvattnets beräknade salthalt längs en väst-östlig tvärprofil för opåverkade förhållanden (figur 5-19) samt i slutet av skede AE (figur 5-20), alltså vid tiden för förslutning av förvaret /Svensson 2006/. Figur 5-20 saknar vertikal skala, men en uppfattning om djupskalan kan fås genom att figuren också visar deponeringstunnlarna, som är belägna på djupet 500 m under havets nivå.

Modelleringsresultaten visar att slutförvaret endast ger en begränsad uppträngning av salt grundvatten. Resultaten visar också att uppträngningen endast är svagt beroende av injekteringen av förvaret, eftersom uppträngningen är liten även i fallet utan injektering av slutförvaret. Uppträngningen är under förvarsnivå (500 m u h), och således sker heller ingen saltvattenuppträngning till 50 m u h (dvs det "typiska" djupet för bergborrade brunnar). Enligt /Svensson 2006/ kan den svaga saltvattenuppträngningen bero på att det uppåtriktade vertikala grundvattenflödet som induceras av förvaret endast sker ovanför gränsen (som dock är diffus; jmf. avsnitt 2.4.3) mellan "sött" och "salt" grundvatten. En annan förklaring kan vara det antagna djupberoendet för bergets vattengenomsläpplighet och porositet, som antas minska med djupet /Svensson 2006/.



Figur 5-19. Grundvattnets salthalt längs en väst-östlig tvärsektion för opåverkade förhållanden /Svensson 2006/.



Figur 5-20. Grundvattnets salthalt längs väst-östlig tvärsektion i slutet av skede AE. Vattengenomsläpplighet i den injekterade zonen $K = 10^{-7}$ m/s; jmf. figur 5-19 /Svensson 2006/.

5.4 Sammanfattning och diskussion

- Delområde Laxemar karaktäriseras av liknande hydrogeologiska och hydrologiska förhållanden som delområde Simpevarp (se avsnitt 4.2 och 4.4). Viktiga skillnader är att Laxemar har mindre andel berg i dagen jämfört med Simpevarp. Vidare har jordlagren större mäktighet i Laxemar, speciellt i dalgångarna. Inom Laxemarmodelleringen har en uppdaterad modell använts för bergets hydrauliska egenskaper, jämfört med slutförvar Simpevarp (kapitel 4). Inom den här aktuella Laxemarmodelleringen beaktas endast deformationszoner i berget som identifierats med relativt sett störst grad av säkerhet (hög konfidens); det finns också deformationszoner med lägre konfidens. I den uppdaterade modellen antas vidare att bergmassans vattengenomsläpplighet K samt dess porositet avtar med djupet.
- Inläckage till samt grund- och ytvattenpåverkan från ett slutförvar i Laxemar har beräknats med två olika numeriska modeller. I den ena numeriska modellen, DarcyTools /Svensson 2006/, finns hela förvaret med (ned till djupet cirka 500 m under havets nivå). Den andra modellen, MOUSE-SHE /Bosson 2006/, inkluderar förvarsdelar (tillfartstunnel och schakt) belägna från markytan ned till djupet 150 m under havets nivå. Enkla analytiska modeller har också använts för att beräkna inläckaget till slutförvaret, grundvattenytans avsänkning samt avsänkningens påverkansområde /Magnusson och Bergvall 2006/.
- Modelleringen visar att inläckaget till tillfartstunnel och schakt (ned till djupet 150 m under havets nivå) blir cirka 4–5 l/s, om den injekterade zonen har en vattengenomsläpplighet på $K = 10^{-9}$ m/s. Med en mindre tät injektering ($K = 10^{-7}$ m/s) blir inläckaget 5–15 l/s. Beroende på injekterings täthet, bedöms inläckaget under de efterföljande utbyggnadsskedena bli mellan cirka 6 l/s (skede AB; $K = 10^{-9}$ m/s) och cirka 40 l/s (skede AC; $K = 10^{-7}$ m/s).

Inläckaget till ett helt öppet förvar (ett hypotetiskt fall) blir 30–40 l/s om $K = 10^{-9}$ m/s, och 50–170 l/s om $K = 10^{-7}$ m/s; det högsta inläckaget har beräknats med en enkel, analytisk modell. Intervallen beror på olika prognoser med olika modeller, där skillnaderna mellan prognoserna ökar med mindre tät injektering. Det prognostiserade inläckaget till tillfartstunnel och schakt är i samma storleksordning som uppmätta inläckage vid många andra undermarksanläggningar i ”tätt berg”. Inläckaget till ett helt öppet förvar är i samma storleksordning som inläckage vid undermarksanläggningar i ”berg med hög genomsnittlig vattengenomsläpplighet”. Det prognostiserade inläckaget under de enskilda utbyggnads-skedena intar ett mellanläge mellan ”tätt” och ”vattengenomsläppligt” berg. Den analytiska modelleringen (1 av 2 använda beräkningsmetoder bedömdes ge rimliga resultat) ger generellt större inläckage än de numeriska modellerna; även här ökar samstämmigheten med injekteringens täthet.

- Med tillfartstunnel och schakt öppna bedöms grundvattenytan avsänkas med som mest 60–80 m, beroende på injekteringens täthet. Det påverkade området (avsänkning $> 0,3$ m) bedöms bli cirka 1–2 km² under detta skede. Med injektering av ett helt öppet förvar blir det påverkade området cirka 9–13 km². Det påverkade områdets storlek är av motsvarande storlek under skedet då förvarsdel AC är öppen. Avsänkningstratten är ”brant”, vilket medför att storleken på påverkansområdet för gränsen 1 m avsänkning är ungefär hälften av påverkansområdet för 0,3 m avsänkning. Det är alltså viktigt att välja rätt gräns för avsänkningen för definitionen av det område som är påverkat.
- Det finns inga enskilda jordbrunnar eller bergborrade brunnar inom det påverkade området (avsänkning respektive trycksänkning $> 0,3$ m) då endast tillfartstunnel och schakt är öppna; detta gäller både med avseende på grundvattenavsänkning och på trycksänkningen på ett ”typiskt” djup för bergborrade brunnar. För skedet då förvarsdel AC är öppen (samt för ett helt öppet förvar) visar dock resultaten att det finns ca 30 jordbrunnar och bergborrade brunnar inom eller alldeles utanför gränsen för det påverkade området.
- DarcyTools-modelleringen visar att slutförvaret endast ger en begränsad uppträngning av salt grundvatten. Uppträngningen är under förvarsnivå, och således under ”typiskt” djup för bergborrade brunnar.
- MOUSE-SHE-modelleringen påvisar marginell eller ingen påverkan från förvaret på Frisksjön. Förvaret minskar dock andelen ”vattensjuk mark” med cirka 5–10 %, beroende på skede och den injekterade zonens vattengenomsläpplighet. Förvaret inverkar på modellområdets vattenbalans; under skedet med förvarsdel AC öppen ($K = 10^{-9}$ m/s) är minskningen cirka 15 % jämfört med opåverkade förhållanden.
- DarcyTools-beräkning avseende förvarsdel B visar att den största delen av tryckåterhämtningen sker inom 6 år efter återfyllnad av denna förvarsdel. I verkligheten är förvarsdel E och sedan A (dvs tillfartstunnel och schakt) de sista förvarsdelarna som kommer att återfyllas. Med ledning av den genomförda beräkningen avseende förvarsdel B kan det ta i storleksordningen 10–20 år innan förvarsdel AE återmättats efter driftskedet och återfyllnaden.
- De osäkerheter som identifierats i DarcyTools-modelleringen /Svensson 2006/ innefattar bergets hydrauliska egenskaper. Som redan nämnts, beaktas endast deformationszoner i berget som identifierats med relativt sett störst grad av säkerhet. Vidare är de översta 20 m av modellen, inklusive jordlagren, representerade på ett förenklat sätt. I modelleringsrapporten /Svensson 2006/ påpekas att ingen känslighetsanalys är utförd för att undersöka hur den beräknade grundvattenavsänkning beror på de hydrauliska egenskaperna i modellen. Vidare är ett frågetecken huruvida grundvattenbildningen i sig påverkas av en grundvattenyta som sänks av inom stora områden. Slutligen poängteras att den använda versionen av DarcyTools (version 3.0) fortfarande är i ett utvecklingsstadium /Svensson 2006/.

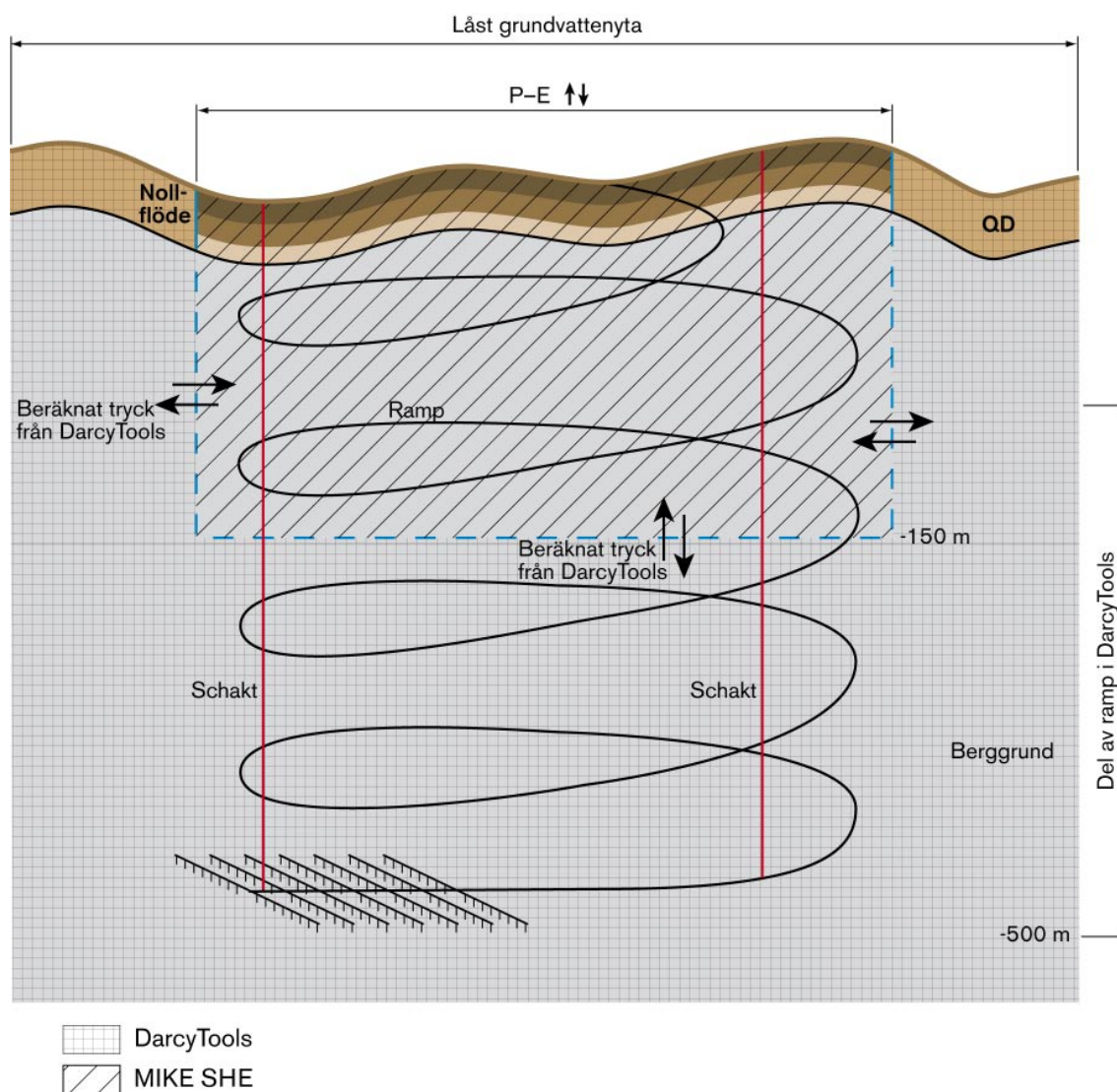
- De osäkerheter som identifierats i MOUSE-SHE-modelleringen /Bosson 2006/ berör delvis samma som i /Svensson 2006/, specifikt de hydrauliska egenskaperna i övergången mellan jord och berg. Den känslighetsanalys som utförts med MOUSE-SHE visar att även en relativ tunn zon (1,5 m antogs i modellen) med låg vattengenomsläpplighet inom denna övergång reducerar grundvattenytans avsänkning samt storleken på det påverkade området. Liksom i /Svensson 2006/ identifieras också de hydrauliska egenskaperna i den övre delen av berget som en potentiellt viktig osäkerhetsfaktor. En annan viktig faktor, som inte beaktats i den aktuella MOUSE-SHE-modelleringen, är att nyligen genomförda platsundersökningar tyder på att jorddjupen i vissa dalgångar är större än man tidigare trott; i dessa områden är sannolikt också sprickzoner i berget i hydraulisk förbindelse med jordlagren. Det skall också noteras att modelleringen innebär kopplingar mellan olika flödesmodeller (MIKE SHE, MOUSE SHE och DarcyTools); dessa modellkopplingar är nya och behöver testas ytterligare.

6 Referenser

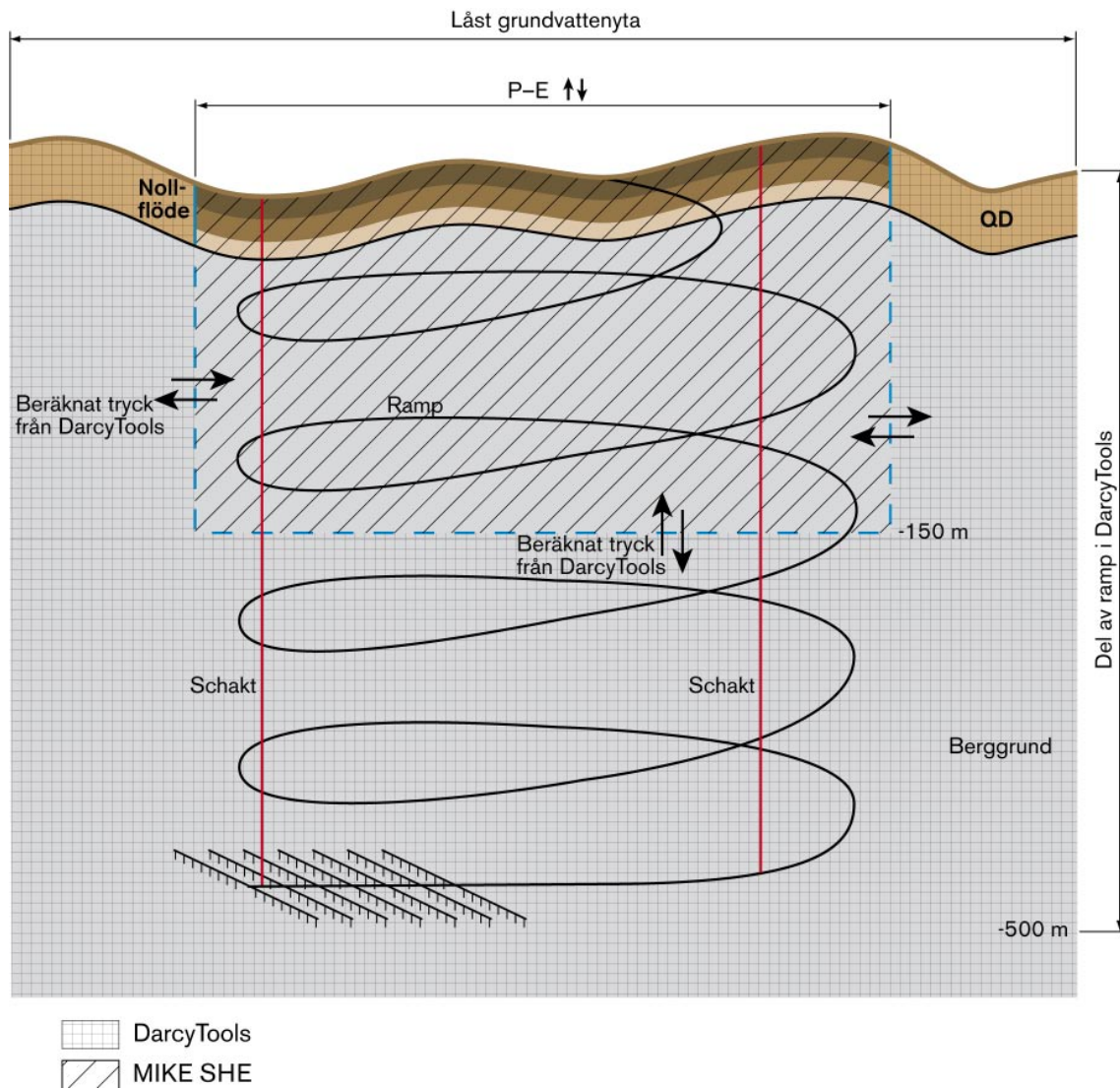
- Almén K-E, Stanfors R, Svemar C, 1996.** Nomenklatur och klassificering av geologiska strukturer vid platsundersökningar för SKB:s djupförvar. SKB PR D-96-029, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Axelsson C-L, Follin S, 2000.** Grundvattensänkning och dess effekter vid byggnation och drift av ett djupförvar. SKB R-00-21, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Bosson E, 2006.** Near-surface hydrogeological model of Laxemar. Open repository – Laxemar 1.2. SKB R-06-66, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Bosson E, Berglund S, 2006.** Near-surface hydrogeological model of Forsmark. Open repository and solute transport applications. SKB R-06-52, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- DHI Software, 2004a.** MIKE SHE User's Guide.
- DHI Software, 2004b.** MOUSE User's Guide.
- Ericsson L O, Hultberg H, 2003.** Effekter av grundvattensänkning och vattenuttag på grundvattenbildning och vattenkvalitet i kristallin berggrund – Syntes av resultat från fältförsök i Äspö och Gårdsjön under perioden 1997–2002. Publ B 512, Geologiska institutionen, Chalmers Tekniska Högskola.
- Johansson P-O, Werner K, Bosson E, Berglund S, Juston J, 2005.** Forsmark 1.2 – Background report for climate, surface hydrology and near-surface hydrogeology. SKB R-05-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lindborg T (ed.), 2005a.** Description of surface systems, Preliminary site description Simpevarp subarea – version 1.2. SKB R-05-01, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lindborg T (ed.), 2005b.** Description of surface systems, Description Forsmark area – version 1.2. SKB R-05-03, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Lindborg T (ed.), 2006.** Description of surface systems. Preliminary site description. Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-06-11. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Ludvigson J-E, 2002.** Brunnsinventering i Forsmark. SKB R-02-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Magnusson J, Bergvall M, 2006.** Projektering D1 Laxemar. Projekteringsfråga G – Inläckage och hydrogeologisk situation kring djupförvaret (analytiska beräkningar). Rapport till Svensk Kärnbränslehantering AB, 2006-04-05.
- Morosini M, Hultgren H, 2003.** Inventering av privata brunnar i Simpevarpsområdet 2001–2002. SKB P-03-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Olsson T, Brantberger M, 2005a.** Projektering Djupförvar – Projektering D1 Forsmark. Steg G – Inläckning och hydrogeologisk situation runt förvaret. Rapport till Svensk Kärnbränslehantering AB, granskningsutgåva 2005-05-27.
- Olsson T, Brantberger M, 2005b.** Djupförvar – Anläggningsutformning, Projektering Djupförvar. Passage högkonduktivt berg i Forsmark. SKB Arbetsrapport TU-04-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Rudmark L, Malmberg-Persson K, Mikko H, 2005.** Oskarshamn site investigation – Investigation of Quaternary deposits 2003–2004. SKB P-05-49, Svensk kärnbränslehantering AB.

- SKB, 2004.** Deep repository. Underground design premises – Edition D1/1. SKB R-04-60, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2005a.** Preliminary site description, Forsmark area – version 1.2. SKB R-05-18, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2005b.** Preliminary site description, Simpevarp subarea – version 1.2. SKB R-05-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- SKB, 2006.** Preliminary site description, Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-06-10. Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Sohlenius G, Rudmark L, Hedenström A, 2004.** Mapping of unconsolidated Quaternary deposits 2002–2003. Map description. SKB R-04-39, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Svensson U, 2005a.** The Forsmark repository – modelling changes in the flow, pressure and salinity fields, due to a repository for spent nuclear fuel. SKB R-XX, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Svensson U, 2005b.** The Simpevarp repository – modelling changes in the flow, pressure and salinity fields, due to a repository for spent nuclear fuel. SKB R-XX, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Svensson U, Kuylenstierna H-O, Ferry M, 2005.** DarcyTools, version 3.0. Svensk Kärnbränslehantering AB. Rapport under utarbetande.
- Svensson U, 2006.** The Laxemar repository – modelling changes in the flow, pressure and salinity fields, due to a repository for spent nuclear fuel. SKB R-XX, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Tengborg P, 2005.** Projektering D1 Simpevarp. Inläckning och hydrogeologisk situation runt förvaret. Rapport till Svensk Kärnbränslehantering AB, granskningsutgåva 2005-04-04.
- Werner K, Bosson E, Berglund S, 2005.** Description of climate, surface hydrology, and near-surface hydrogeology – Simpevarp 1.2. SKB R-05-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Werner K, Bosson E, Berglund S, 2006.** Description of climate, surface hydrology, and near-surface hydrogeology. Preliminary site description Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-05-61. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Koppling mellan DarcyTools och MOUSE-SHE



Figur A-1. Koppling mellan modellerna DarcyTools och MOUSE-SHE i Forsmarksmodelleringen.



Figur A-2. Koppling mellan modellerna DarcyTools och MOUSE-SHE i Laxemarmodelleringen.