

Deponeringsdjupets betydelse

**vid slutförvaring av högaktivt kärnavfall
i berggrunden**

-- en karakterisering av grunda och djupa slutförvar --

Karl-Inge Åhäll

Rapport till Kärnavfallsrådet

Januari 2011

Östhammar 26 april

Finns något bättre än KBS-metoden ?

-- en jämförelse mellan grunda och djupa slutförvar --

Det svenska kärnavfallsprogrammet

Inleddes på 1970-talet och redan då blev handlingslinjen att

→ *kärnavfallet ska kapslas in och slutförvaras ca 500 meter ner i stabilt urberg*

Programmet har sen fortsatt i dryga 30 år utan några större ändringar

Finansieringen sker genom avgifter från el-konsumenterna

Huvudaktör är ett av kärnkraftsindustrin helägt bolag -- SKB

Det svenska kärnavfallsprogrammet

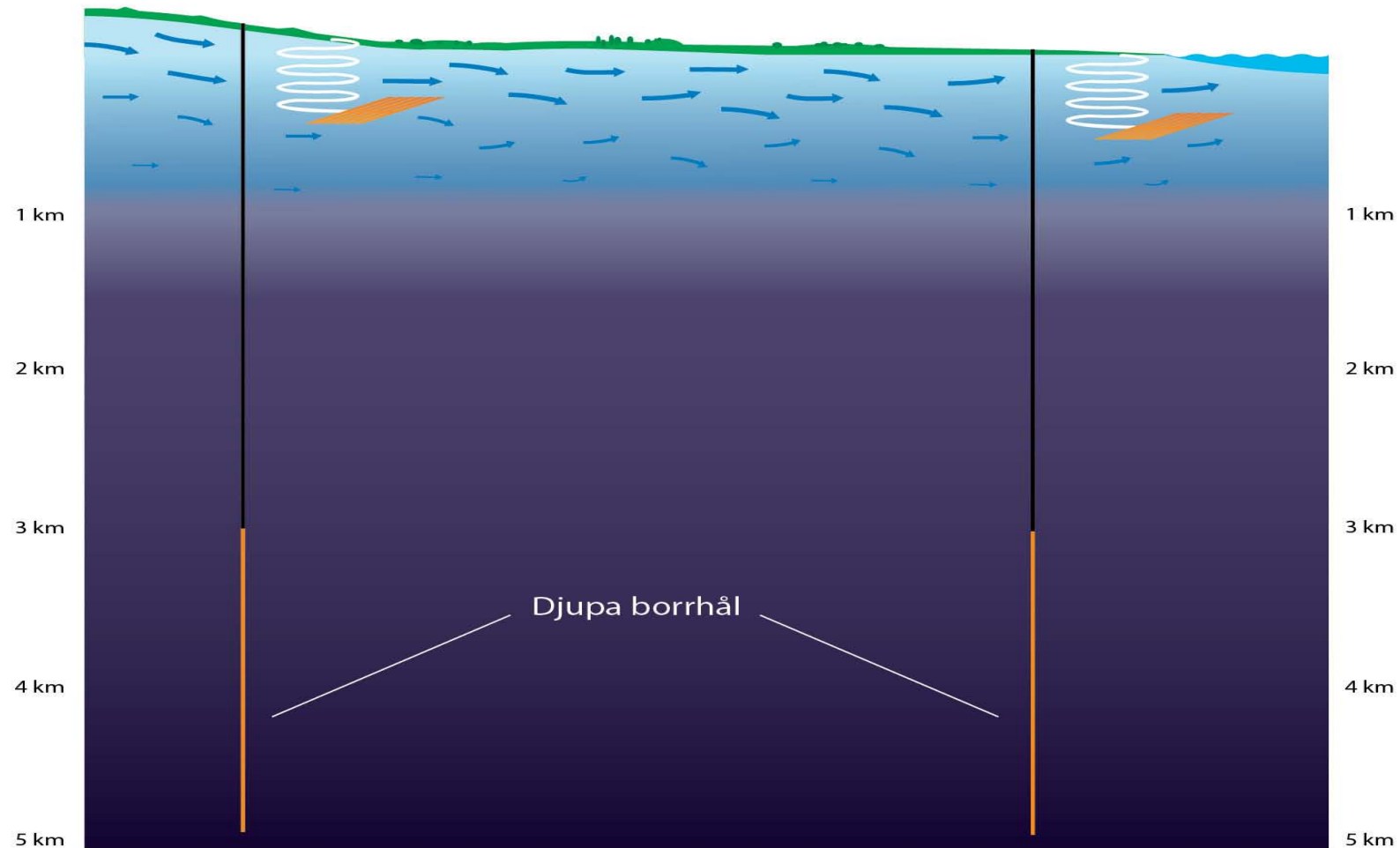
→ en summering

Den tidiga fokuseringen på 500-metersnivån var rimlig utifrån den tidens kunskap om berggrunden i Sverige

Och fokuseringen på 500-metersnivån blev framgångsrik i så motto att den svenska kraftindustrin idag har ett mer teknologiskt genomarbetat slutförvaringskoncept än andra kärnkraftländer; -- den så kallade KBS-metoden

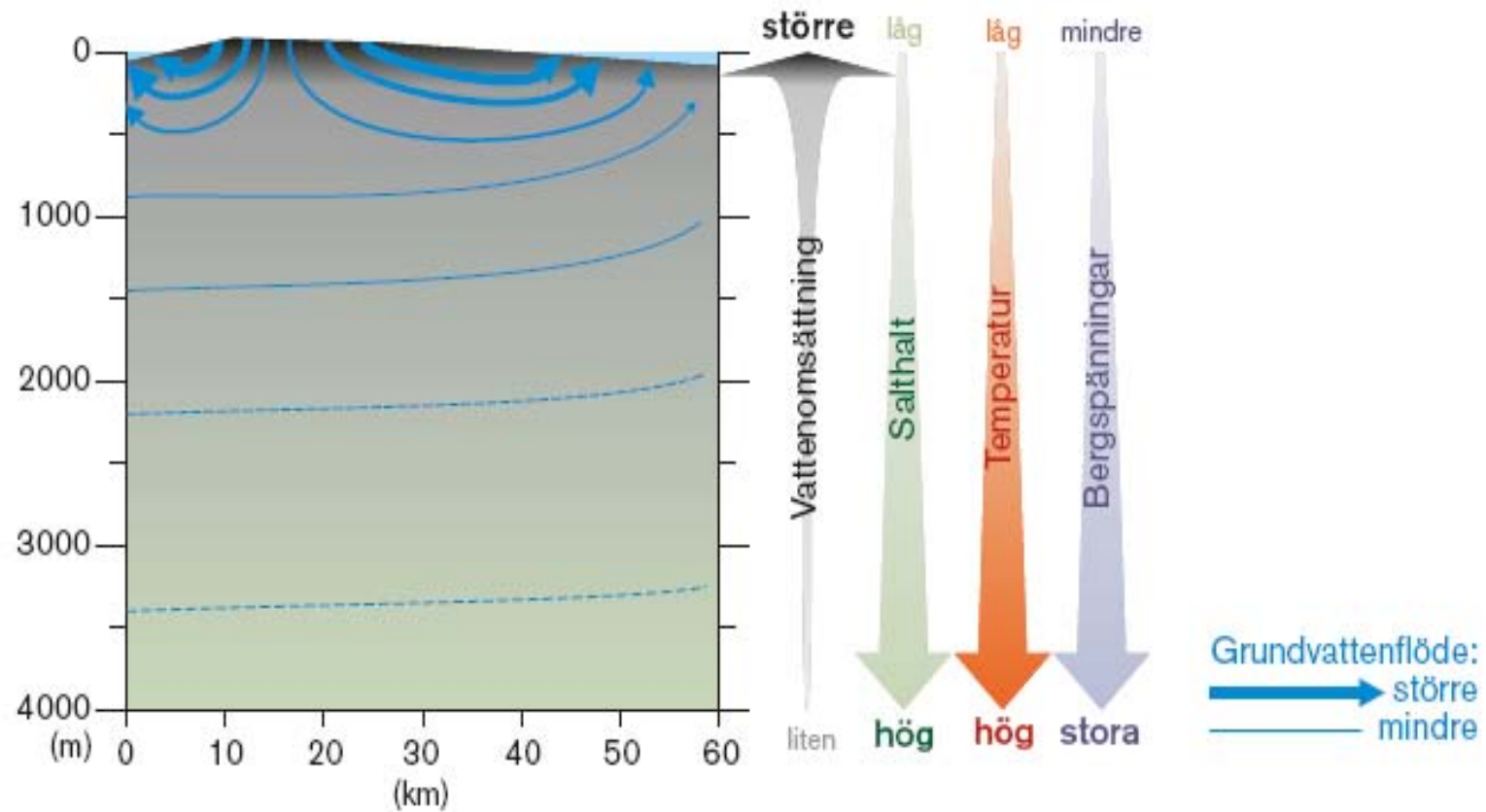
Å andra sidan har inte mycket gjorts för att komplettera programmet i takt med senare års kunskapsutveckling om grundvattnets zoner i normal berggrund

Grundvattnets zoner i berggrunden

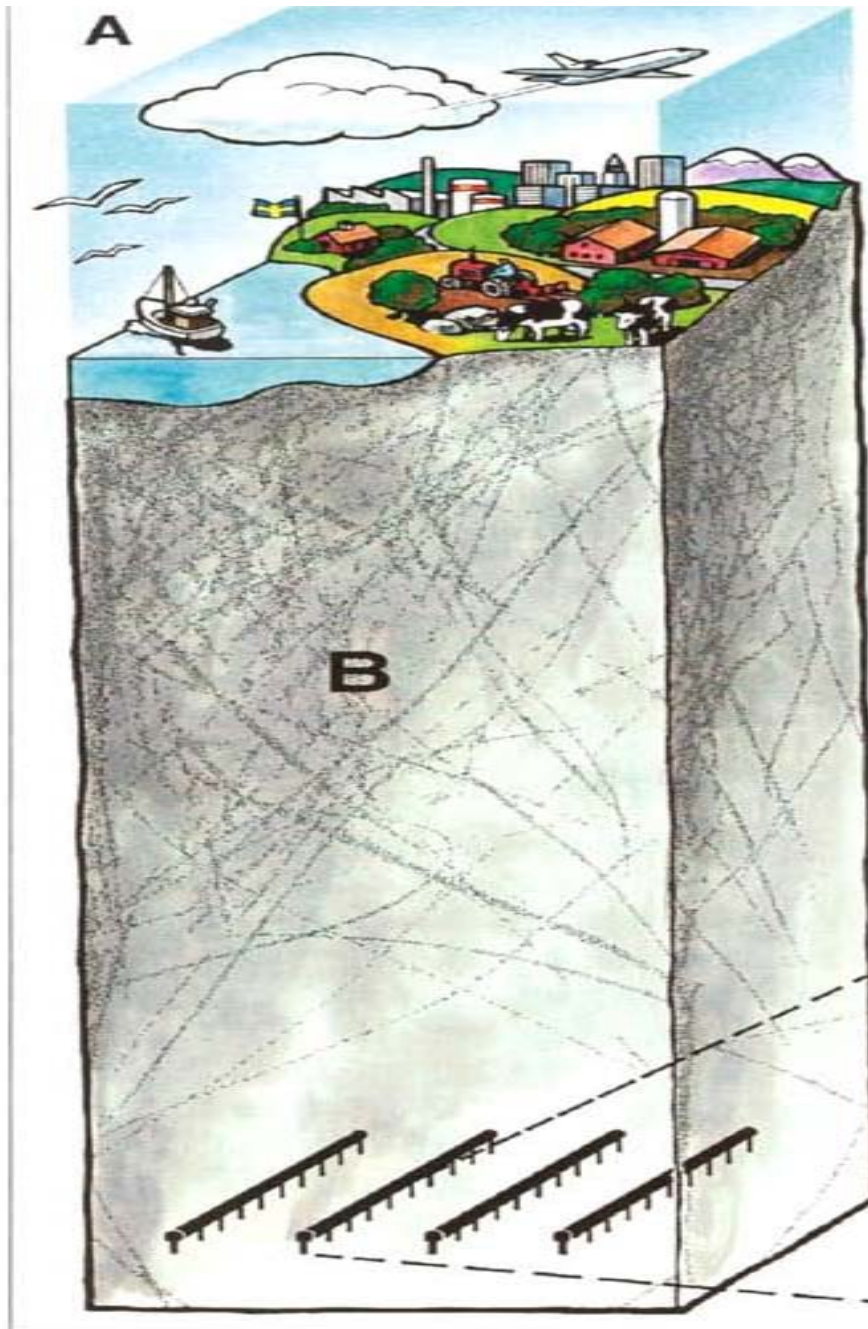


Överst i berggrunden finns en km-bred zon med ett rörligt grundvatten (*blå färg*). Här kan flödena variera mycket men över tid sker en nettotransport mot regionala utströmningsområden (*blå pilar*). Under en övergångszon på ca 1-1,5 km djup finns ett annat grundvatten som är mycket saltare och därmed tyngre (*lila färg*). I normala urbergsområden har detta grundvatten låg mobilitet och en stabil skiktning, vilket hämmar uppåtriktade flöden och särskilt flöden upp genom gränsen till den övre zonen

SKB R-10-25, sid 35

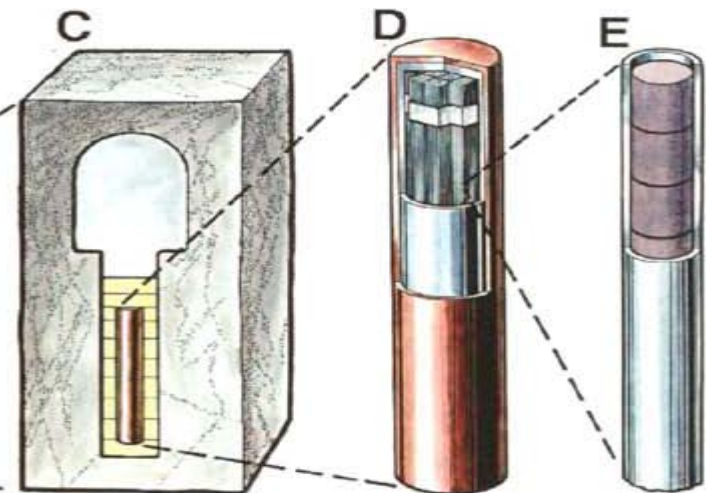


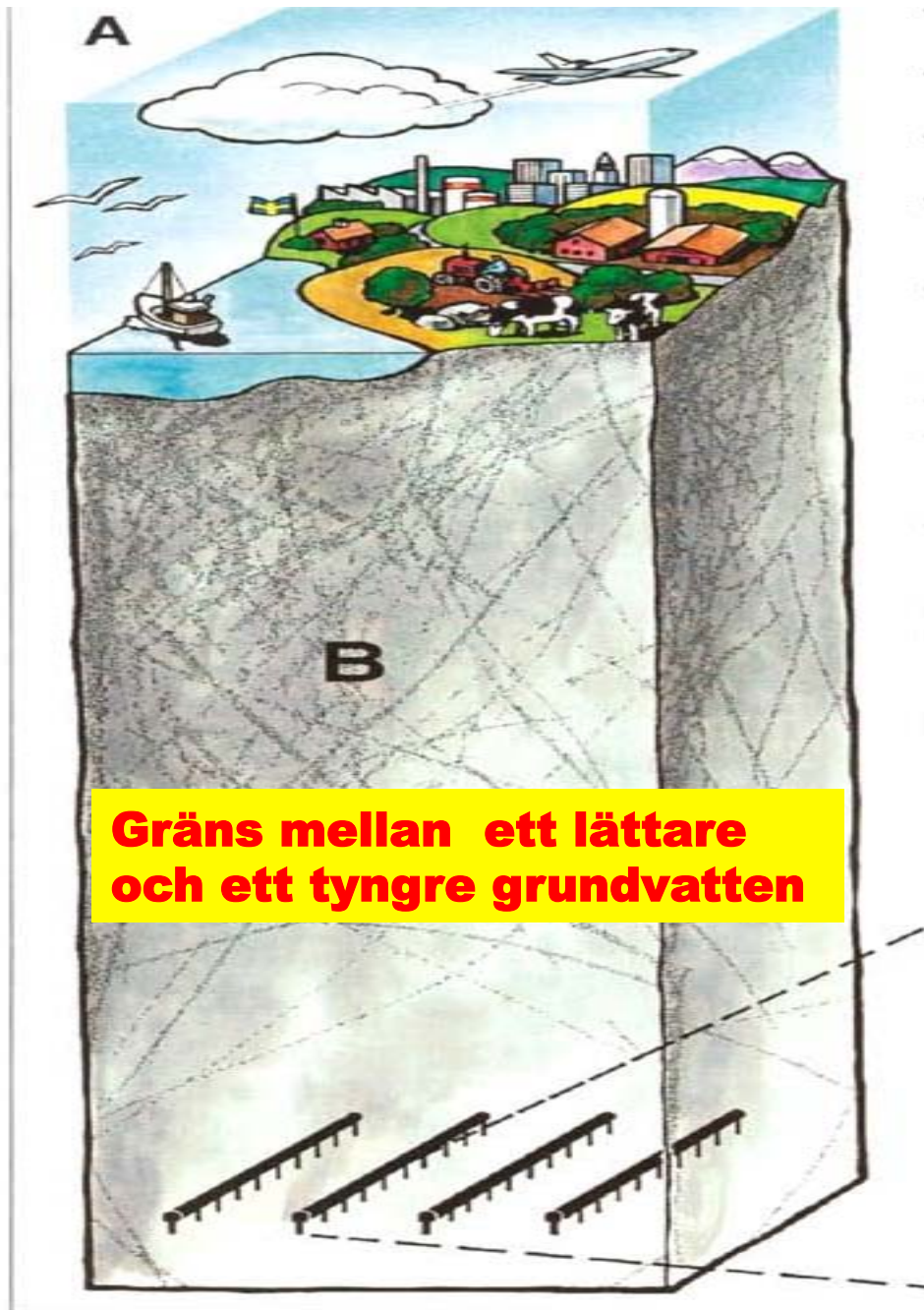
Figur 3-3. Några förhållanden hos berggrunden som påverkar förutsättningarna för konstruktionen av ett förvar, utformningen av de tekniska barriärerna och den långsiktiga säkerheten.



KBS-metoden

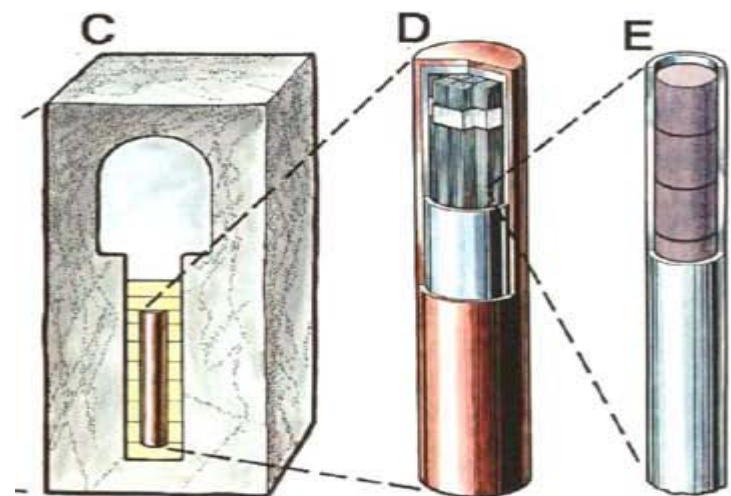
inkapsling
och deponering
ca 500 m ner

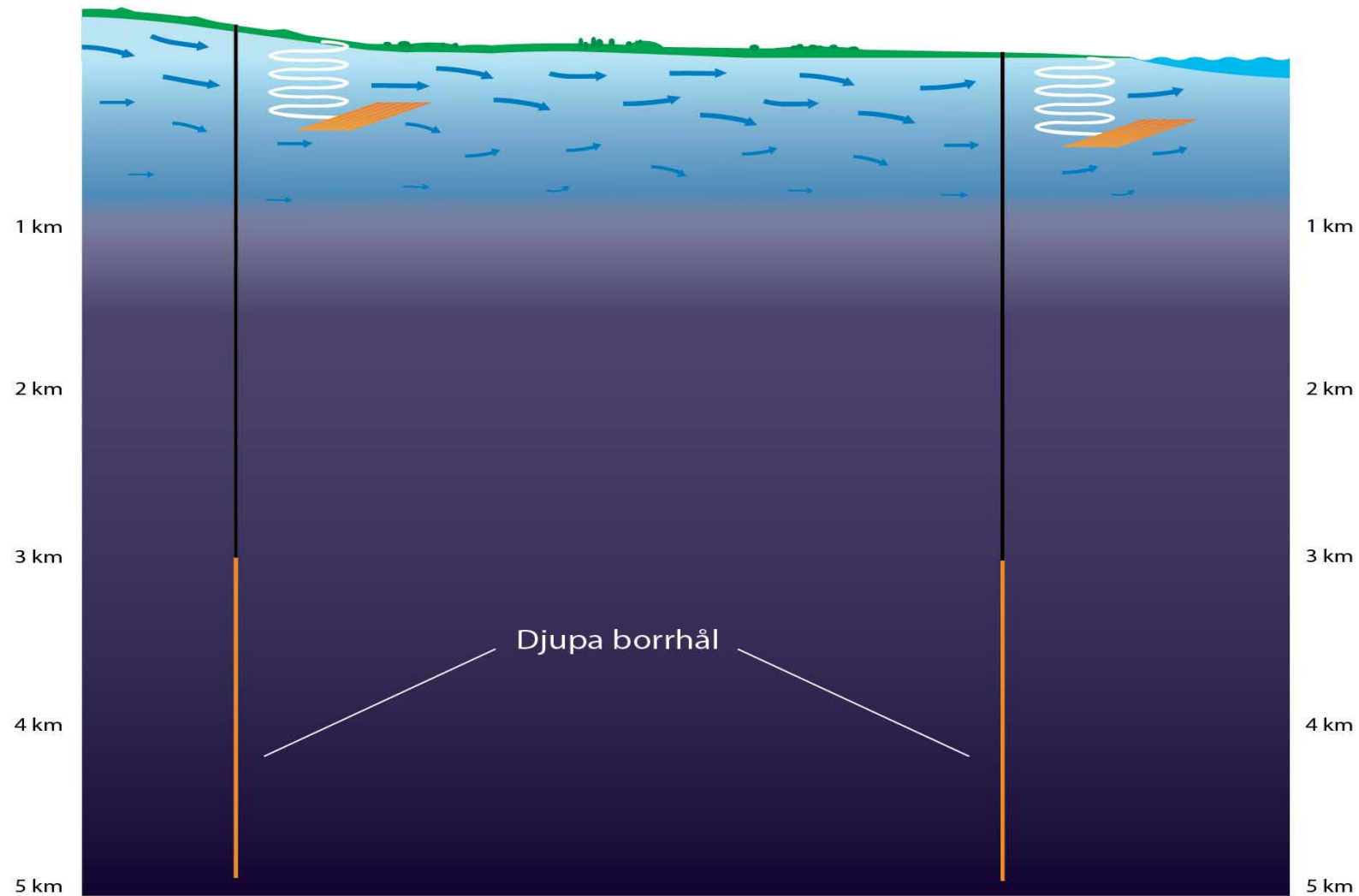




”KBZ-metoden”

inkapsling
och deponering
ca 500 m ner





Gränsen mellan den övre zonens grundvatten (*blå färg*) och det salta och därmed tyngre grundvattnet (*lila färg*) ligger på ca 1-1,5 km djup.

Och då både grundvatten och den geokemiska miljön kan variera rätt mycket i närheten av denna gräns, finns inga skäl att placera ett slutförvar på denna nivå.

Slutförvaring i berggrunden

I normal svensk berggrund finns flera faktorer som begränsar valet av deponeringsdjup så att det i praktiken bara finns två alternativ för **högaktivt kärnavfall**:

→ **en grund deponering, ca 400-700 meter ned**

→ **en djup deponering, 3-5 km ned**

Denna stora skillnad i djup medför att grunda och djupa slutförvar blir mycket olika då såväl deponeringsteknik, skyddsbarriärer som förvarets funktion över tid måste anpassas till just de fysiska, geokemiska och hydrogeologiska förhållanden som råder på respektive deponeringsdjup

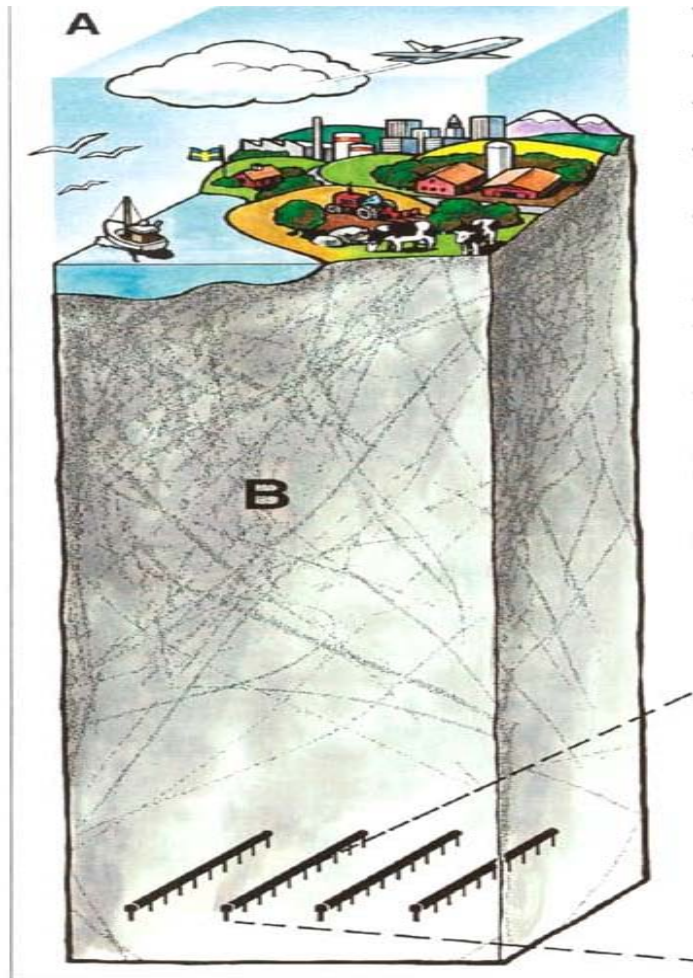
Grunda slutförvar

-- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

En fördel med grunda deponier är att de medger en noggrann genomförande-kontroll i och med att deponerings- och förslutningsarbeten kan göras stegvis och i redan färdigställda tunnlar och schakt, vilket borgar för hög säkerhet under inledande skeden

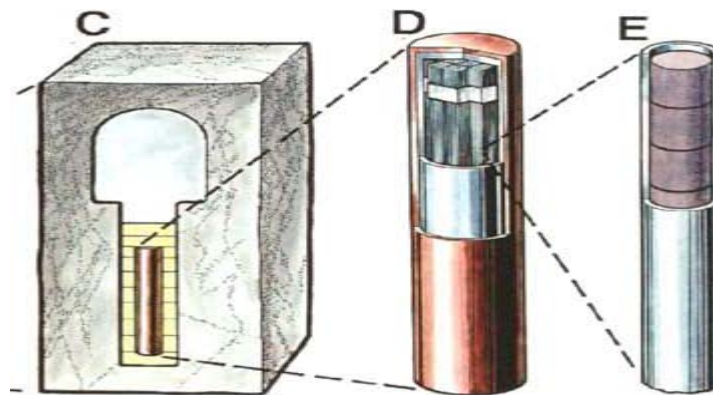
Över tid blir säkerheten mer problematisk eftersom den hydrogeologiska miljön på 500 m djup ställer mycket stora krav på förvarets skyddsbarriärer *eftersom läckage från grunda slutförvar visserligen kan spädas ut och fördröjas på dessa nivåer i berggrunden men aldrig hindras från att spridas vidare uppåt för att efterhand nå marknära nivåer i grundvattnets utströmningsområden*

Denna hydrogeologiska utsatthet har visat sig svårbemästrad i och med att man inte ens för den teknologiskt avancerade KBS-metoden har kunnat konstruera ett system av funktionsmässigt oberoende skyddsbarriärer.



KBS-metoden

inkapsling
och deponering
ca 500 m ner



Att grunda slutförvar inte kan förses med funktionsmässigt oberoende skyddsbarriärer ökar risken för läckage eftersom såväl avfallskapslar som skyddsbarriärer inte bara kan skadas vid större jordskalv utan även genom avsiktliga eller oavsiktliga intrång i förvarsområdet

1 Djupa slutförvar

-- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

Säkerheten på både kort och lång sikt kan sägas vila på fyra samverkande faktorer:

- **det stora deponeringsdjupet (3-5 km)**, vilket minimerar risken för både avsiktliga och oavsiktliga intrång i förvarsområdet,
- **det höga trycket (som på 3-5 km djup minimerar andelen öppna sprickor i berget och därmed bergets permeabilitet)**, vilket begränsar grundvattnets mobilitet och därmed radionukleiders spridningsvägar i berggrunden,
- **grundvattnets densitetsstyrda stratifiering**, vilket på 3-5 km djup motverkar vertikala grundvattenrörelser och särskilt rörelser genom berggrundens hydrogeologiska övergångszon,
- **grundvattnets speciella sammansättning**, vilket på 3-5 km djup ger en geokemisk miljö som motverkar radionukleiders spridning. I denna miljö är grundvattnet kemiskt reducerande, vilket hämmar löslighet och därmed spridning av kritiska radionukleider. Vidare finns höga jonladdningar, vilket motverkar kolloidal spridning av radionukleider.

2 Djupa slutförvar

-- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

Utöver dessa fyra av naturen givna skyddsbarriärer kan säkerheten förstärkas genom konstruerade, så kallade teknologiska barriärer. Detta kan bl.a ske genom att:

→ **använda kapselmateriäl särskilt anpassade till den geokemiska miljön på 3-5 km djup**, vilket åtminstone i närtid bidrar till att avfallet hålls kvar inne i avfallskapslarna,

→ **tillföra särskilda kemiska komponenter i borrhålens buffertmaterial** (som bl.a tillförs för att fylla ut mellan kapslarna) för att via reaktioner med kritiska radionukleider, som jod¹²⁹, få dessa stabilt kemiskt bundna i deponin.

3 Djupa slutförvar

-- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

Man kan begränsa en borrhålsförvarets termala påverkan i berggrunden genom att välja:

- ett område med lämpliga bergarter och stabil densitetsskiktning
- ett lämpligt minimiavstånd mellan borrhålen, ca 200 m
- en borrhålsförsegling som baseras på flera av varandra oberoende skikt

De idag mest påtagliga nackdelarna med djupa borrhålsförvar är att det tar tid att teknologiskt utveckla och verifiera metoder för en tillförlitlig deponering

Vidare återstår att påvisa att det inom landet finns tillräckligt stora områden som på 3-5 km djup har ett tillräckligt stabilt skiktat grundvatten

Slutsatser för grunda och djupa slutförvar

I normal berggrund av svensk typ (*urberg*) finns i praktiken bara finns två alternativ för slutförvaringen av högaktivt kärnavfall;

-- *en grund deponering (ca 500 m ned)*

-- *en djup deponering (ca 3-5 km ned)*

Grunda deponier har påvisbara säkerhets fördelar i närtid men medför över tid svårbemästrade risker. För om kärnavfallet skulle läggas så grunt i berggrunden (ca 500m), ***skulle förvaret omges av ett rörligt grundvatten med kapacitet att föra varje läckage upp mot markytan***

Djupa borrhålsdeponier har en viktig fördel i att säkerheten på både kort och lång sikt upprätthålls genom flera olika och ***funktionsmässigt oberoende*** barriärer som hindrar spridning av läckage upp mot biosfären, vilket minskar sårbarheten för såväl marknära som djupa störningar i förvarsområdet.

Detta gör att borrhålsdeponier har god potential att även ge fullgod säkerhet ***över tid***, förutsatt att deponeringen kan genomföras utan att påverka grundvattnets naturliga skiktning

Vad händer nu i alternativfrågan

I mars ansökte SKB om tillstånd att slutförvara landets kärnavfall på ca 500 m djup enligt KBS-metoden. Men SKBs redovisning av andra metoder har brister i både allsidighet och systematik, vilket knappast förvånar med tanke på att man t.o.m *negligerade regeringens uppmaning (20 nov 2008) att komplettera redovisningen av andra slutförvaringsmetoder, bl.a djupa borrhål*

Före 1990-talets upptäckt om grundvattnets zonerings fanns få skäl att välja andra deponeringsdjup än ca 500 m. Just därför fick denna zonerings stor sprängkraft i kärnavfallsfrågan när man upptäckte att den kunde vara så stabil över tid att grundvatten på 3-5 km djup inte kommit i kontakt med biosfären ens under så långa tidsrymder som årmiljoner.

Och med denna kunskap öppnades för första gången möjligheten att istället slutförvara kärnavfallet på en nivå i berggrunden där avfallet inte skulle omges av ett rörligt grundvatten

Så redan 1998, när SKB först rapporterade dessa nya data, fanns insikten att 500-metersnivån var mycket sämre ur spridningssynpunkt jämfört med djupare nivåer.

Vidare hade borrhåstekniken utvecklats så mycket att det var möjligt att göra tillräckligt breda borrhål för en slutförvaring på 3-5 km djup.

Forts. Vad händer nu ...

Efter 1998 gjorde SKB flera uppföljande studier, bl.a om borrhålsförvarets utformning och kostnader. Men rätt snart ändrades detta och i FUD 2007 fanns inte längre någon allsidig redovisning av ett borrhålsförvar. Exempelvis blandades fakta och bedömningar i en omfattning som direkt skulle underkännas i varje vetenskapligt sammanhang.

Kritik och ohörsamhet

Föga överraskande möttes SKBs ”icke-redovisning” av kritik och efter påpekanden från flera remissinstanser beslöt regeringen (2008-11-20) att SKB skulle komplettera redovisningen av *”kunskapsläget vad gäller alternativa slutförvaringsmetoder såsom bl.a djupa borrhål”*.

Men SKB valde då att helt strunta i regeringens begäran om *bättre information*, vilket möjligen irriterade lite extra med tanke på att SKB delägs av statliga Vattenfall.

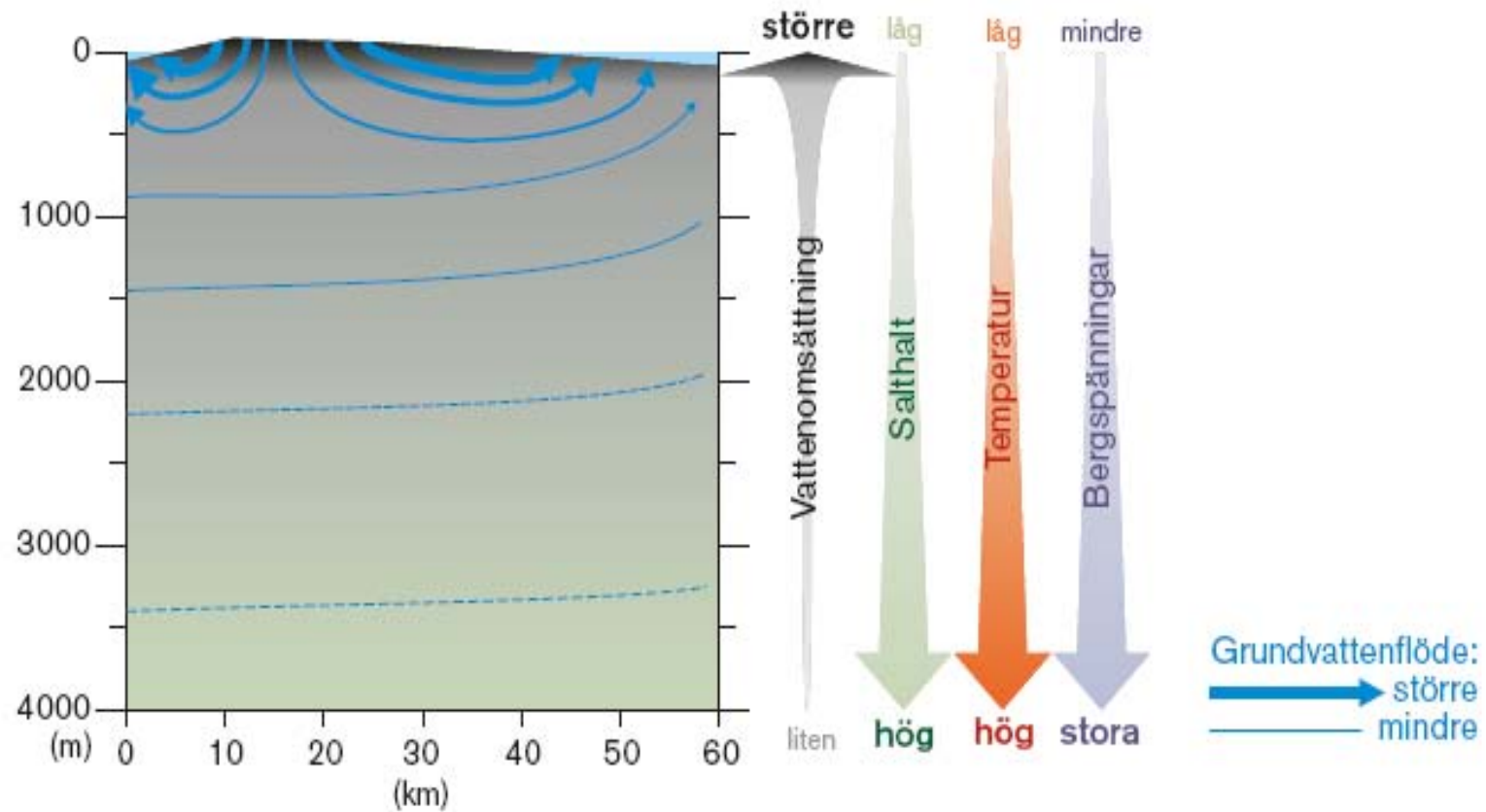
Hur denna märkliga strid om beslutsunderlaget för ett svenskt slutförvar ska sluta, återstår att se.

- Kommer regeringen att nöja sig med SKBs redan underkända ”icke-redovisning” ?
- Eller kommer man att upprepa kravet att SKB ska ta fram mer information om ett borrhålsförvar så att beslutsfattare och allmänhet ska kunna göra den allsidiga jämförelse mellan KBS-metoden och andra metoder som MKB-lagstiftningen föreskriver?

SKB R-10-13, sid 19



SKB R-10-25, sid 35



Figur 3-3. Några förhållanden hos berggrunden som påverkar förutsättningarna för konstruktionen av ett förvar, utformningen av de tekniska barriärerna och den långsiktiga säkerheten.

Sandiarapportens slutsatser

Sammantaget bedöms borrhålsförvar på 3-5 km djup ha förutsättning att ge hög säkerhet över tid (*excellent long-term safety performance*) och till samma kostnader som för grunda geologiska deponier

Studiens termodynamiska analyser visar:

→ att det saknas förutsättningar för advektion (*vertikala grundvattenrörelser*) utanför det termalt påverkade närområdet,

→ att spridningen av radionukleider genom kemisk diffusion blir extremt långsam i vertikalled på dessa djup (*less than about 200 m in 1.000.000 years*)

→ att avfallets radioaktiva sönderfall ger en värmepåverkan i närområdet som blir störst under inledande århundraden men att denna termala påverkan blir låg (*less than 20°C at 10 m from the borehole*) och så spatialt begränsad att den påverkade zonen kring förvaret inte överstiger ca 100 m när minimiavståndet mellan borrhålen är 200 m. (*This means that total vertical fluid movement in, and adjacent to, deep borehole disposal zones should not exceed roughly 100 meters*)

Kärnavfallet -- flera strategier

<u>Typ av kärnavfall</u>	<u>Åtgärd</u>	<u>Strategi</u>
Högaktivt kärnavfall (Använt kärnbränsle)	→ KBS-metoden : → inkapsling och slutförvaring ca 500 m ner i berg	Konstruerade barriärer för att skydda kapslarna mot läckage över årtusenden
Låg- och medelaktivt kärnavfall (bl.a driftsavfall)	→ SFR → förvaring under Östersjön	Kvarhållning och efterhand långsam utspädning i stor recipient
Kortlivat kärnavfall (bl.a ädelgaser)	→ Hög skorsten på alla reaktorer	→ Snabb utspädning

Östhammar 26 april 2011

Platsvalet

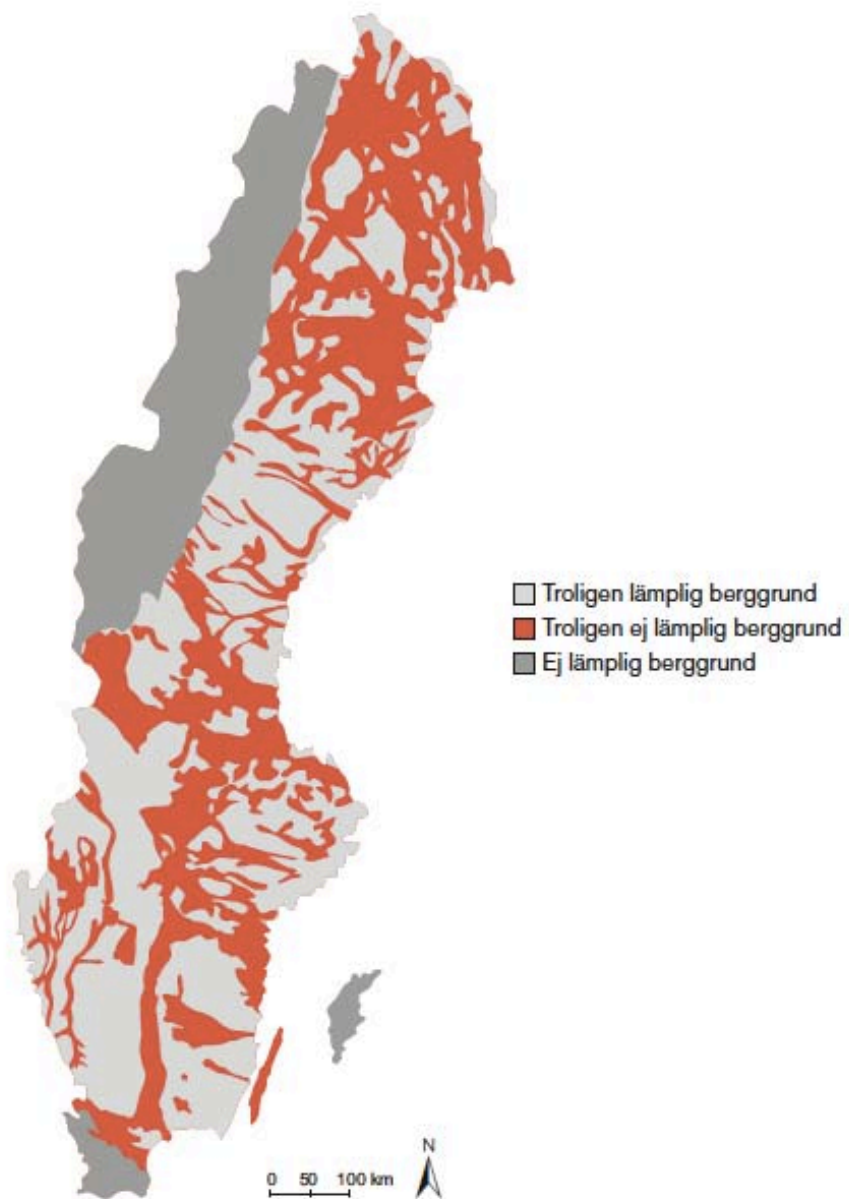
- Valet av kandidatplatser; -- Forsmark och Laxemar
- Lokaliseringen till Forsmark

Valet av kandidatplatser; -- Forsmark och Laxemar

Det finns flera fördelar att välja en lokalisering i en kärnkraftkommun

Däremot finns inget i SKBs ansökan som visar att just dessa platser är bättre än i andra kommuner vare sig man ser till geologiska, hydrogeologiska eller geokemiska faktorer ,

-- vilket knappast förvånar eftersom SKB inte gjort någon systematisk urvalsprocess baserad på [i förväg redovisade och godkända parametrar](#)



Figur 4-2. SKB:s länsvisa översiktsstudier omfattade samtliga län utom Gotland. För varje län gjordes bland annat en grov indelning med avseende på berggrundens bedömda lämplighet för ett slutförvar.

Lokaliseringen till Forsmark

Platsvalsbilagan R-10-42, sid 82:

7.5 SKB:s samlade värdering och val *Säkerhetsrelaterade platsegenskaper*

”Analyser av den långsiktiga säkerheten för platserna har visat att de processer som skulle kunna skada kapslar på mycket lång sikt är **korrosion om bufferten förloras** samt möjligen **stora jordskalv i förvarets närhet.**”

”Utifrån nuvarande kunskapsläge kan det inte uteslutas att bentonitleran som omger kapslarna eroderas om det omgivande grundvattnet får **för låg salthalt**. Under en framtida glaciation skulle salthalten på båda platserna kunna bli så låg att detta inträffar, men en sådan utveckling är mindre trolig i Forsmark än i Laxemar, dels för att **berget i Forsmark generellt har lägre vattengenomsläpplighet** och dels för att **färre deponeringshål korsas av vattenförande sprickor.**”

”Om bentonitleran i bufferten försvinner, kan kapseln efter mycket lång tid skadas genom korrosion på grund av **den sulfid som finns löst i grundvattnet**. **Korrosionshastigheten**, och därmed antalet kapslar som skulle kunna skadas, **beror på grundvattenflödet**. För Forsmark visar analyserna att grundvattenflödet i de flesta deponeringshål är så lågt att enbart ett fåtal kapslar skulle kunna skadas, och det först efter mer än hundra tusen år.”

Lokaliseringen till Forsmark

”Utifrån nuvarande kunskapsläge kan det inte uteslutas att bentonitleran som omger kapslarna eroderas om det omgivande grundvattnet får **för låg salthalt**. Under en framtida glaciation skulle salthalten på båda platserna kunna bli så låg att detta inträffar, men en sådan utveckling är mindre trolig i Forsmark än i Laxemar, dels för att **berget i Forsmark generellt har lägre vattengenomsläpplighet** och dels för att **färre deponeringshål korsas av vattenförande sprickor**.”

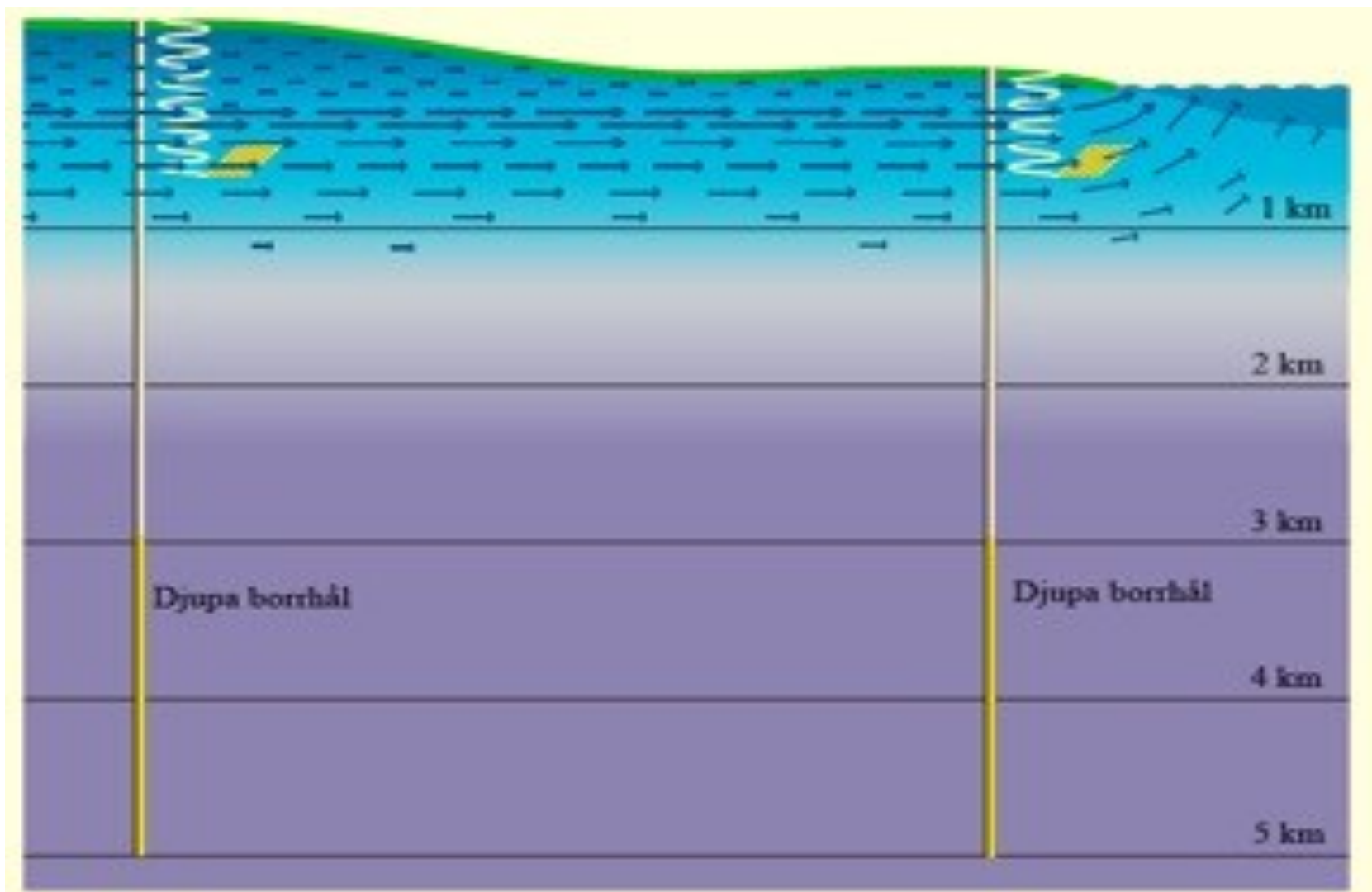
▲ Men bergets vattengenomsläpplighet är inte konstant utan kan förändras över tid och särskilt i områden med redan befintliga deformationszoner

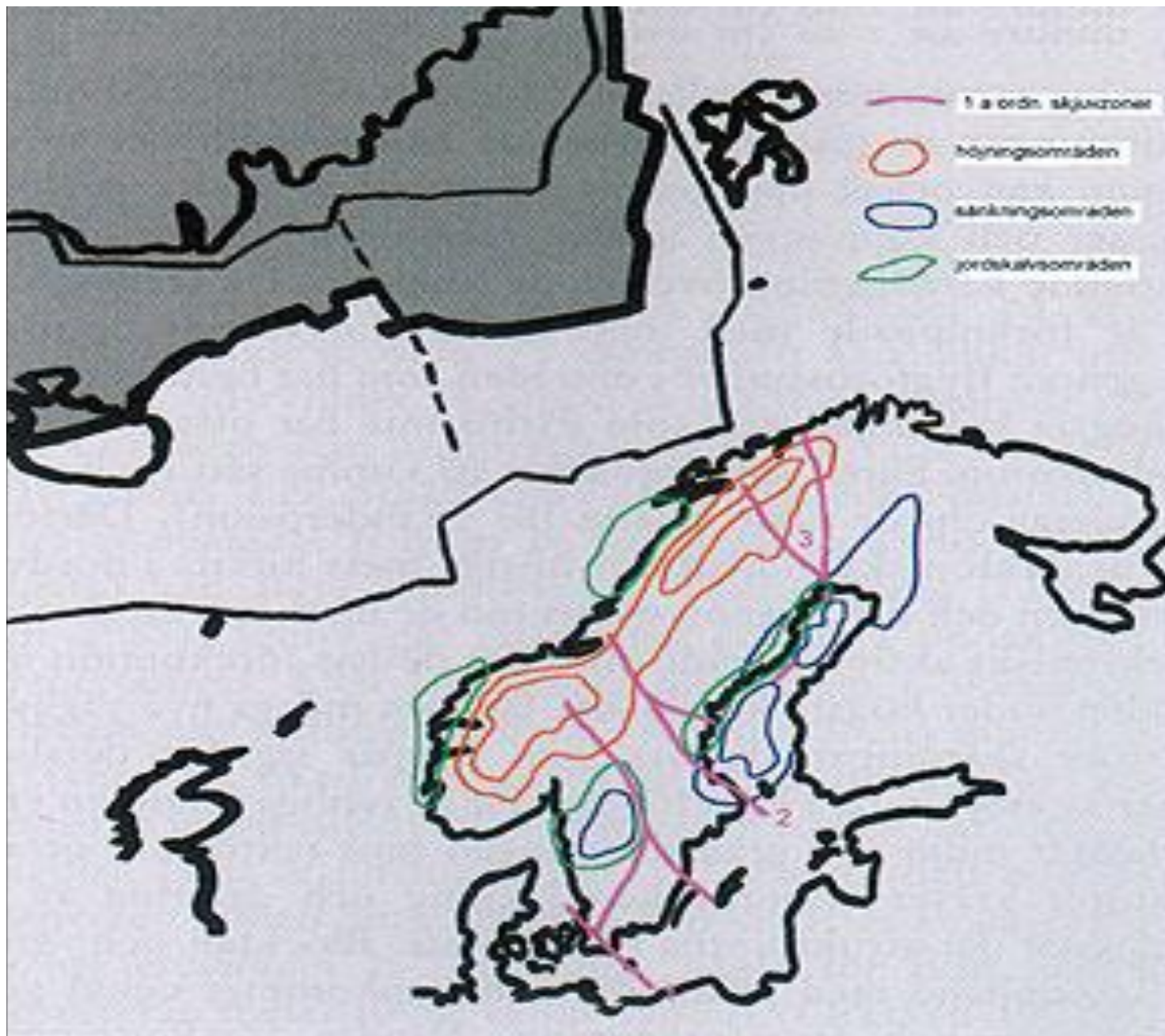
”Om bentonitleran i bufferten försvinner kan kapseln efter mycket lång tid skadas genom korrosion på grund av **den sulfid som finns löst i grundvattnet**. **Korrosionshastigheten**, och därmed antalet kapslar som skulle kunna skadas, **beror på grundvattenflödet**. För Forsmark visar analyserna att grundvattenflödet i de flesta deponeringshål är så lågt att enbart ett fåtal kapslar skulle kunna skadas, och det först efter mer än hundrausen år.”

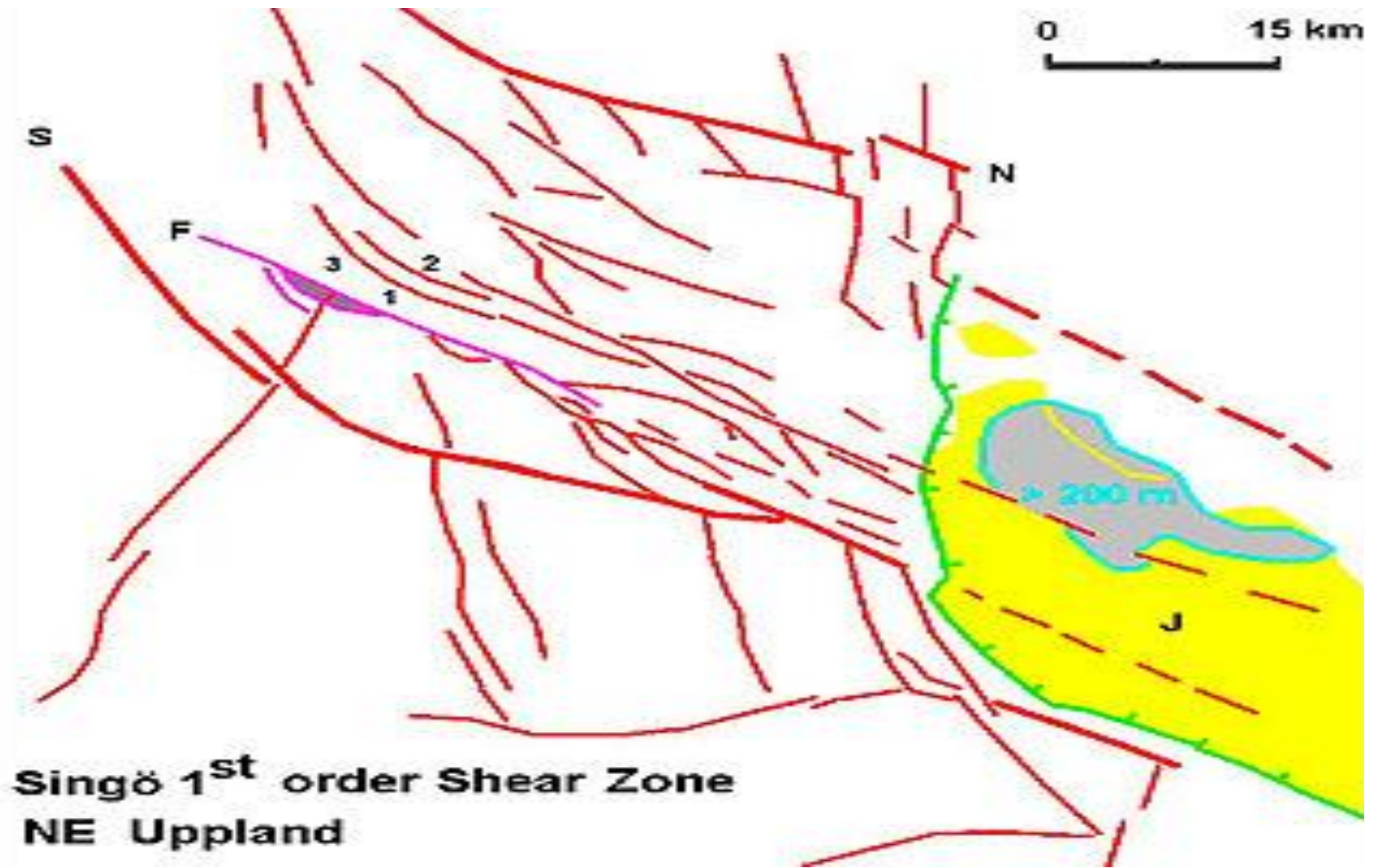
▲ Men bergets vattengenomsläpplighet är inte konstant utan kan förändras över tid och särskilt i områden med redan befintliga deformationszoner

Grundvattnets zoner

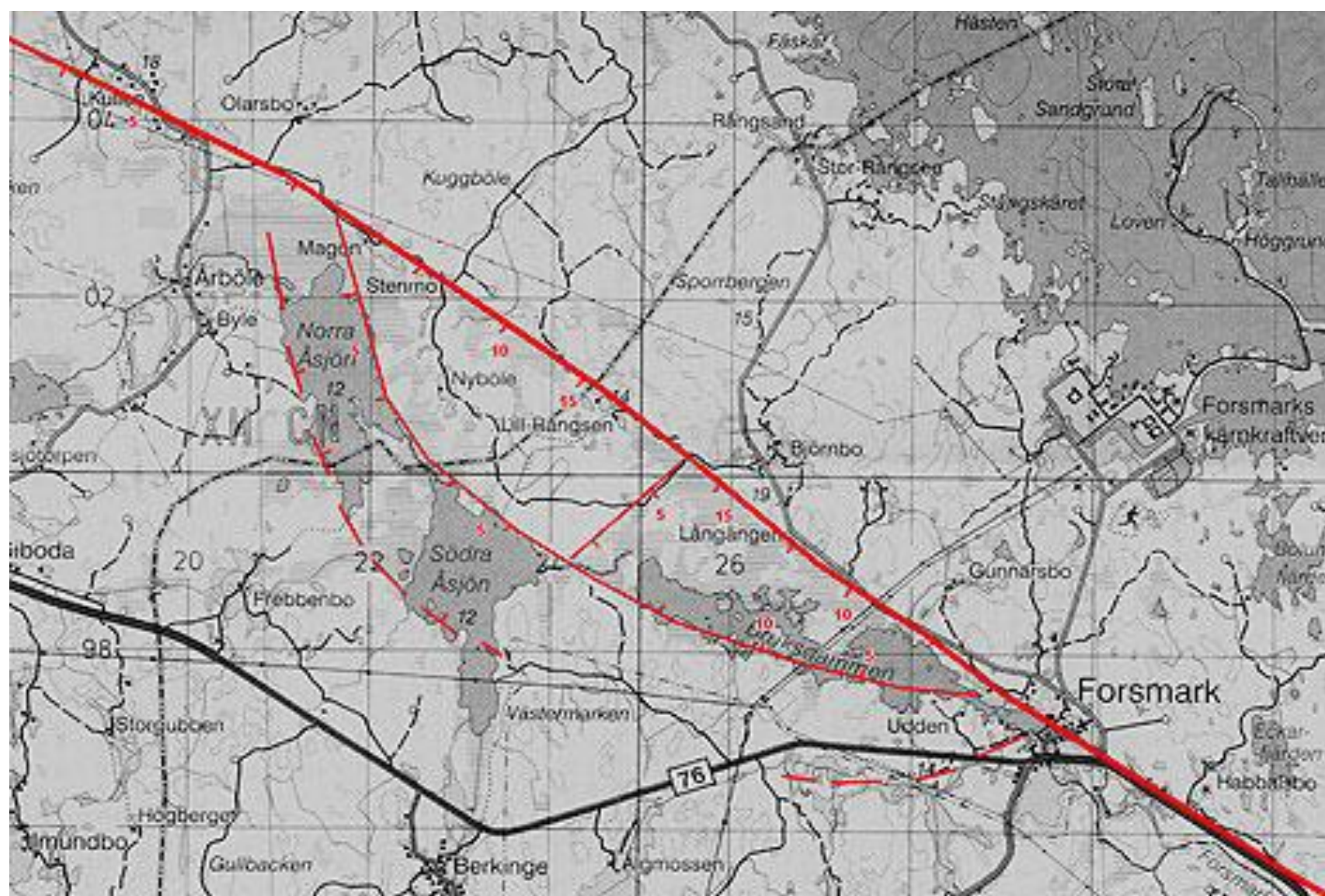
→ en hydrogeologisk modell







Singö 1st order Shear Zone
NE Uppland



Platsvalet – en sammanfattning

Den föreslagna lokaliseringen till Forsmarkslinsen innebär helt onödiga risker:

- ligger inne i en av landets större deformationszoner, vilket ökar risken att drabbas av framtida jordskalv och därav orsakade förändringar av grundvattenflöden, bergspänningar, mm ,
-- vilket i sin tur ökar risken för skador på förvarets skyddsbarriärer
- ligger i kustzonen där det alltid finns regionala utströmningsområden, vilket ökar risken att framtida läckage når upp till marknära nivåer utan större fördröjning

Och just för Forsmarkslinsen finns ytterligare ett problem eftersom delar av förvarsområdet har så låg vattengenomsläpplighet att bentoniten inte kan tillföras den fukt som behövs i rimlig tid för att bentoniten alls ska fungera som skydd för avfallskapslarna

