

En djupare slutförvaring ?

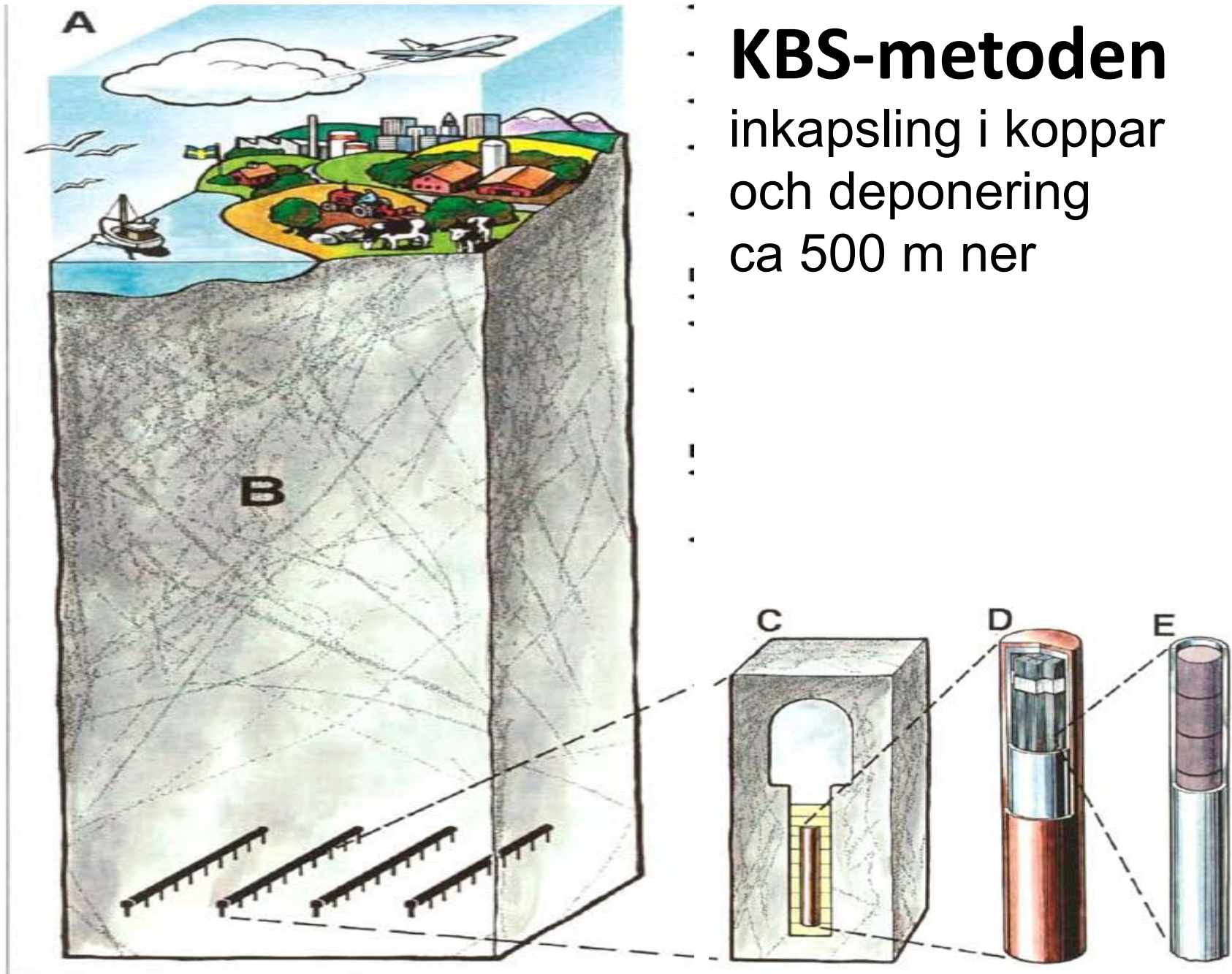
Projekt som ökar kunskapen om
djupa borrhål som alternativ

Karl-Inge Åhäll

MKG-seminarium 27 nov 2012

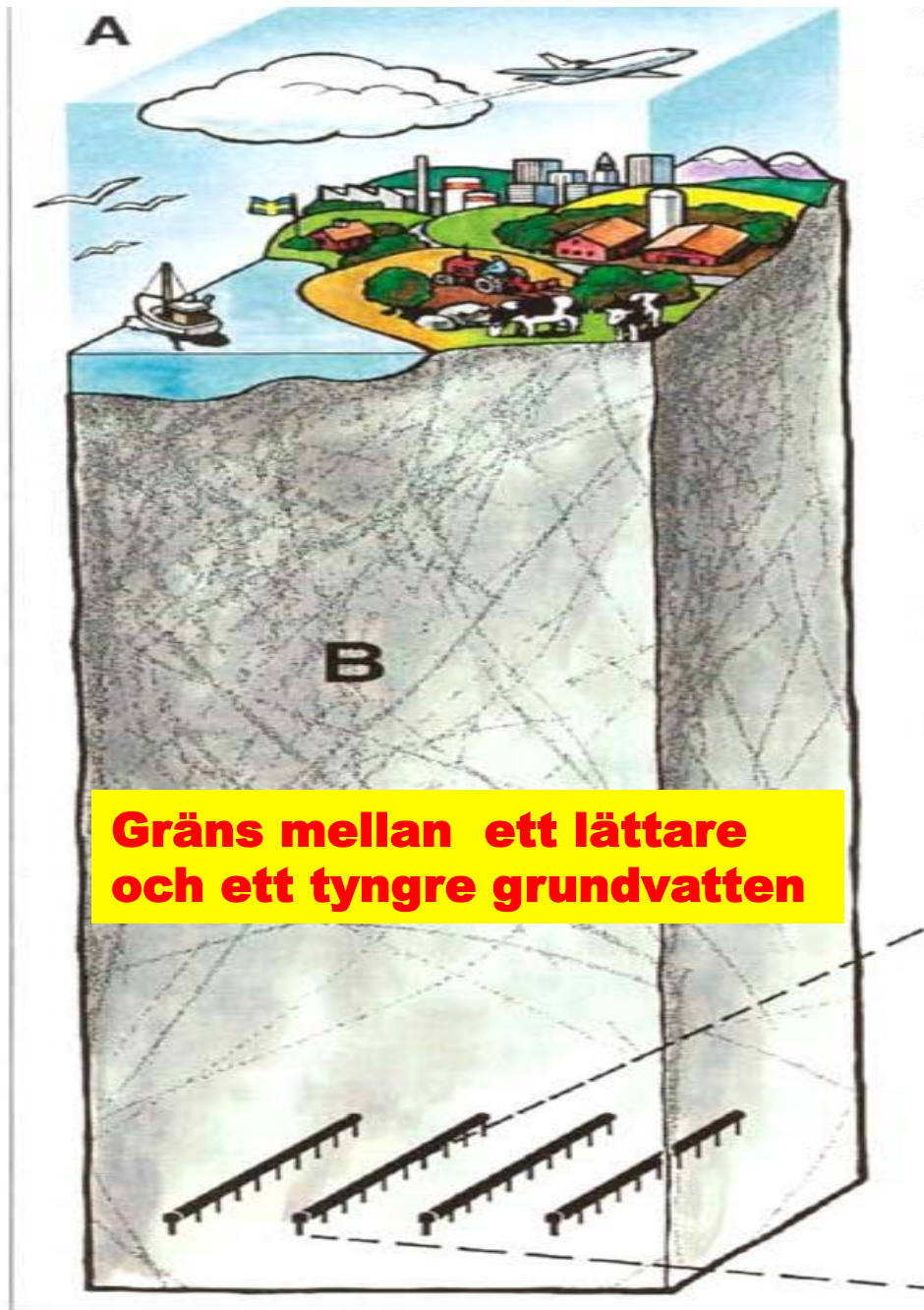
KBS-metoden har flera fördelar, bl.a:

- Metoden är långt utvecklad
- Metoden kan ge hög säkerhet under inledande skeden eftersom den möjliggör en noggrann kontroll av både deponering och förslutningsarbeten, i och med att de kan göras stegvis och i redan färdigställda tunnlar och schakt

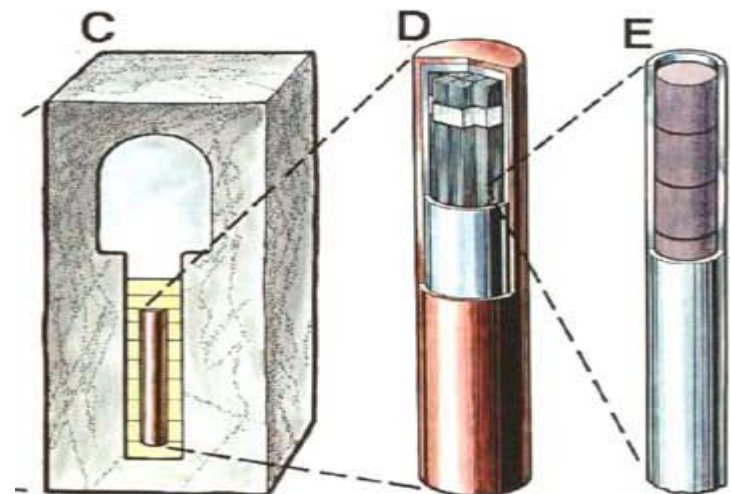


KBS-metoden

inkapsling i koppar
och deponering
ca 500 m ner



”KBX-metoden”
inkapsling
och deponering
ca 500 m ner,



Det svenska kärnavfallsprogrammet

→ en summering av 30 års SKB-ledd FoU

Man fokuserade redan från början på en deponering ca 500 m ned i lämpligt berg

Och denna fokusering på 500-metersnivån **var rimlig** utifrån den tidens kunskap om berggrunden

Och denna fokusering har varit framgångsrik i så motto att KBS-metoden är ett mer utvecklat slutförvaringskoncept än vad som idag finns i andra kärnkraftländer

Å andra sidan har man försummat att komplettera programmet i takt med senare års kunskapsutveckling om grundvattnets zoner i berggrunden

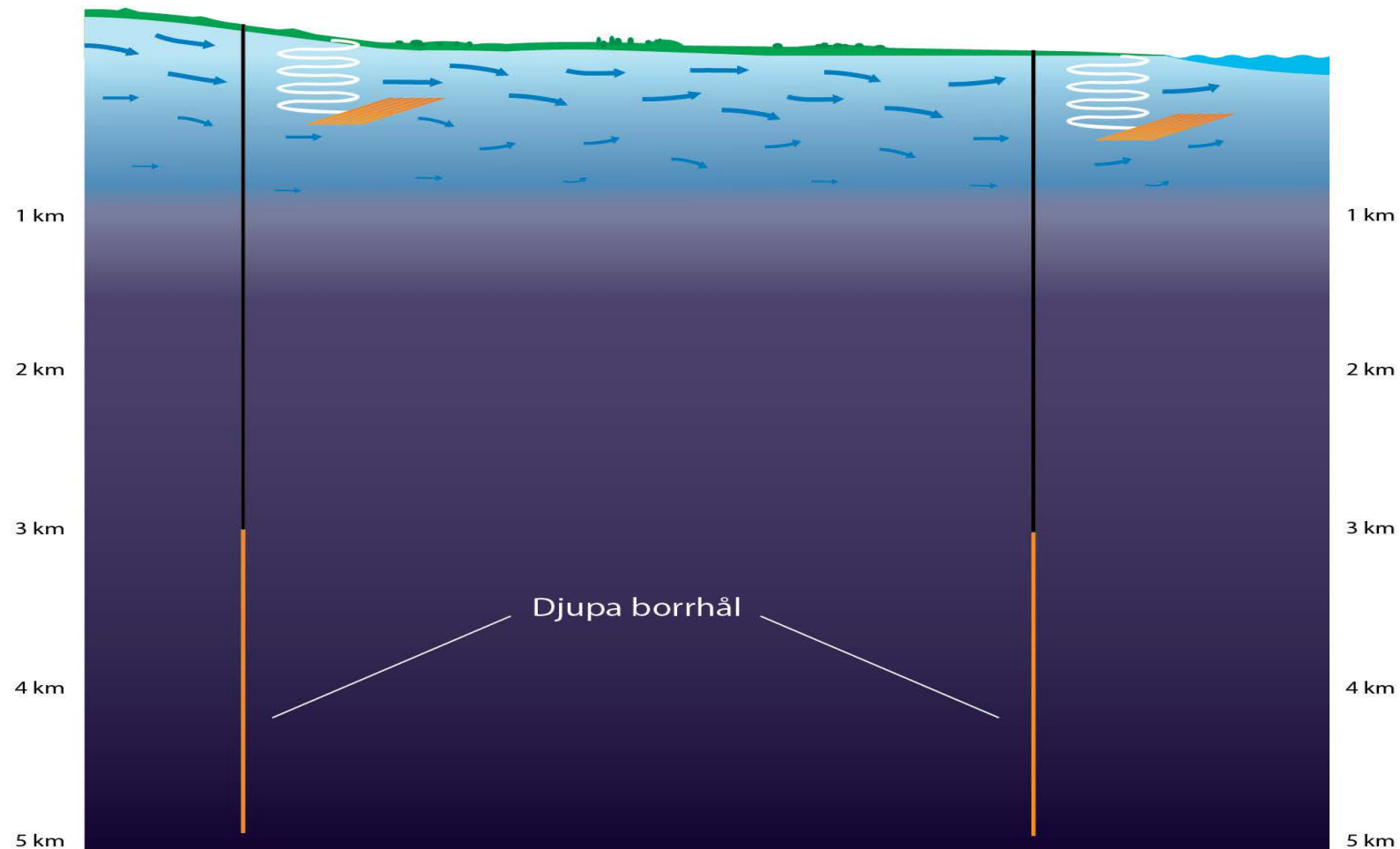
Tänkbara deponeringsdjup

Högaktivt kärnavfall måste hållas avskilt från allt levande under årtusenden och i berggrunden finns många faktorer som på olika sätt påverkar valet av deponeringsdjup, ex.vis bergets sprickighet och grundvattenflöden

Mest avgörande är att **grundvattnet i normal svensk berggrund har en tydlig zoner** som gör att det i praktiken bara finns två tänkbara alternativ:

- **en grund deponering, ca 500 meter ned**
- **en djup deponering, ca 3-5 km ned**

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 helt 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

Slutförvaring – vad menas

Många uttolkningar och försök till preciseringar har gjorts genom åren

Mest klagörande är nog denna skrivning av slutförvaringens mål:

Att varken utsätta oss själva eller kommande generationer för onödiga risker, ansvar eller kostnader till följd av vår tids kärnavfall

En utslagsgivande säkerhetsrisk

Slutförvaringens två möjliga alternativ:

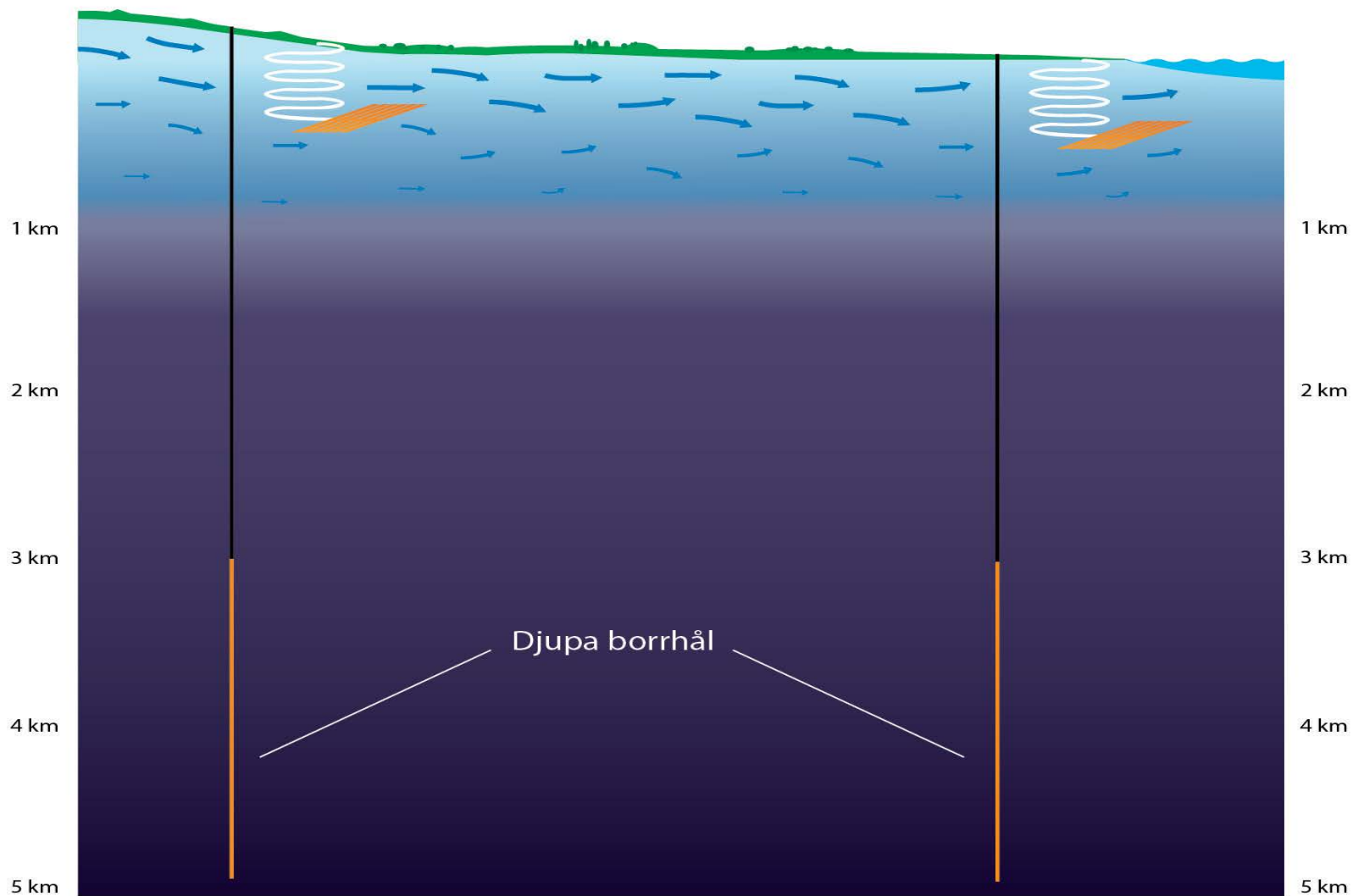
- ett förvar av KBS-typ på ca 500 m djup
- ett borrhålsförvar på 3-5 km djup

Oavsett vilket alternativ som väljs, kan spridningen av radioaktiva läckage upp till marknära nivåer **bara ske där det finns grundvattenflöden med uppåtriktade rörelser**

Detta medför att en djup deponi kan ge högre säkerhet över tid, om:

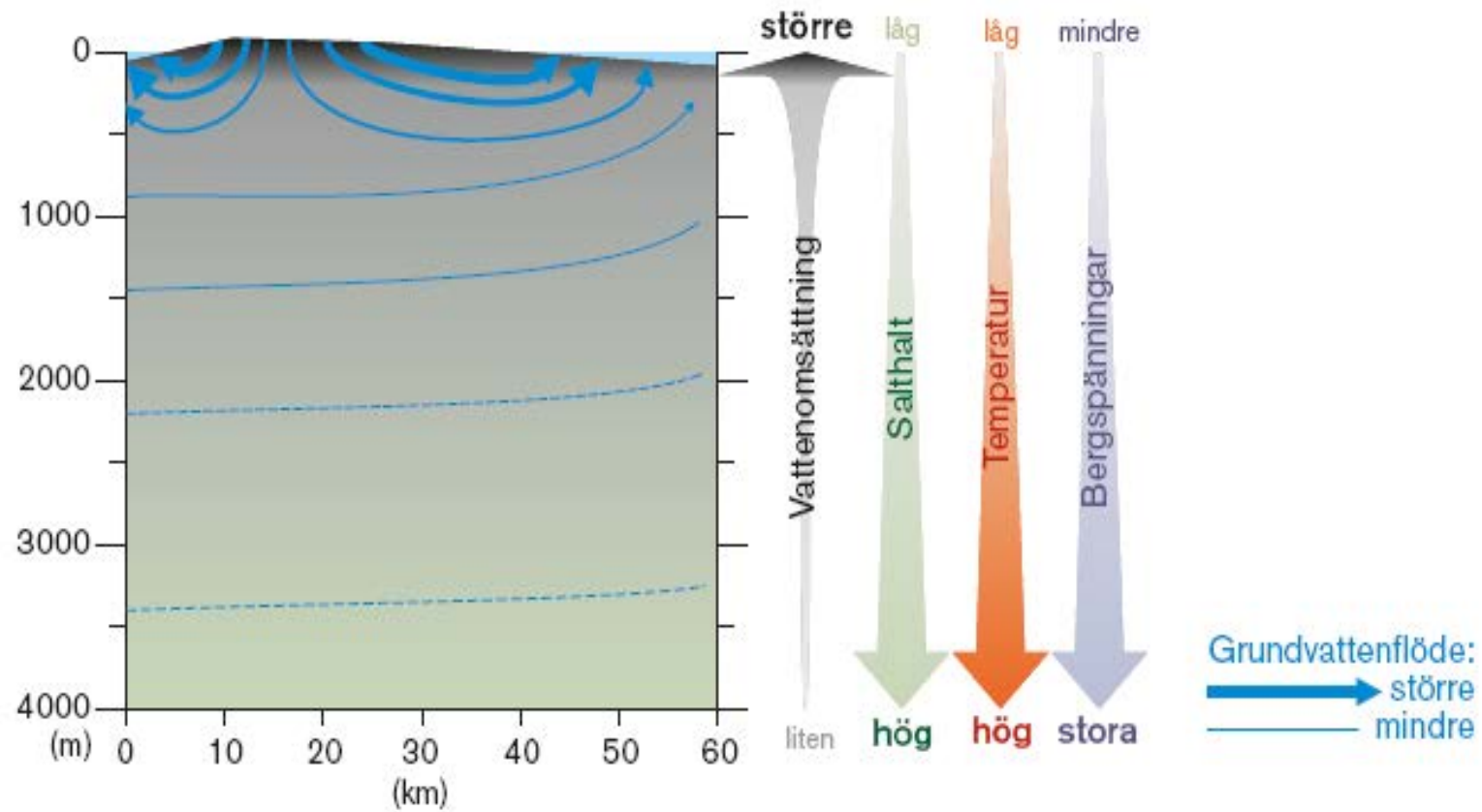
- deponin placeras i ett område med stabil grundvattenzoner
- och deponeringen kan genomföras utan att störa denna zoner

Orsaken är att grundvatten på 3-5 km djup har låg mobilitet i horisontalled och inga förutsättningar att nå upp till marknära nivåer eftersom alla uppåtriktade rörelser hindras av den stora densitetskontrast som finns mellan den undre och övre zonens vatten



Borrhålsförvarets säkerhet baseras på att grundvatten på 3-5 km djup har låg mobilitet i horisontal riktning och inga förutsättningar att nå upp till marknära nivåer eftersom alla uppåtriktade rörelser hindras av den stora densitetskontrast som finns mellan den undre och övre zonens vatten

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.

Valet av deponeringsdjup avgör inte bara hur förvaret ska utformas utan även vilka naturliga och konstruerade säkerhetsbarriärer som kan bidra till förvarets skydd över tid

--- eftersom allt måste anpassas till de mycket olika fysiska, geokemiska och hydrogeologiska förhållanden som råder på respektive deponeringsdjup

Projekt som ökar kunskapen om djupa borrhål

-- utanför Sverige

-- i Sverige

SANDIA REPORT

August 2009

Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste

*Patrick V. Brady, Bill W. Arnold, Geoff A. Freeze, Peter N. Swift, Stephen J. Bauer,
Joseph L. Kanney, Robert P. Rechard, Joshua S. Stein*

Sandia is a multiprogram laboratory operated by Sandia Corporation for the United States Department of Energy's National Nuclear Security Administration under Contract DE-AC04-94AL85000

**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 deponier av KBS-typ**

Djupa slutförvar – säkerhetsfunktioner (A)

Säkerheten baseras på flera faktorer som dels fungerar oberoende av varandra och dels är av naturen givna och därmed långtidstestade

→ **det stora djupet (3-5 km)**, vilket minimerar risken för både avsiktliga och oavsiktliga intrång i förvarsområdet,

→ **grundvattnets speciella sammansättning**, vilket på 3-5 km djup ger en geokemisk miljö som motverkar radionukleiders spridning. Dels för att detta grundvatten är kemiskt reducerande, vilket hämmar kritiska radionukleiders löslighet. Dels finns höga jonladdningar, vilket motverkar kolloidal transport av radionukleider,

→ **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 stabila zoner**, vilket på 3-5 km djup motverkar vertikala grundvattenrörelser och särskilt rörelser genom gränsen mellan den undre och övre grundvattenzonen.

Djupa slutförvar – säkerhetsfunktioner (B)

Utöver de naturgivna skyddsbarriärerna kan säkerheten förstärkas genom konstruerade säkerhetsfunktioner; -- bl.a genom att:

- **använda kapselmaterial som är 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 de material som används för att fixera och fylla ut mellan kapslarna i borrhålen**, vilket gör att kritiska radionukleider, som jod¹²⁹, via kemiska reaktioner med dessa komponenter kan ”fångas in” genom att bli stabilt kemiskt bundna i deponin

Tillgängliga rapporter i jan 2011

- **Brady et al., 2009.** *“Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste”*, SAND2009-4401, Aug 2009.
- **Jensen and Driscoll, 2010.** *“A Framework for Performance Assessment and Licensing for Deep Borehole Repositories”*, MIT-NFC-TR-115, Jan 2010.

- **Gibbs et al., 2008.** *“High-density support matrices: Key to the deep borehole disposal of spent nuclear fuel”*, Journal of Nuclear Materials 374, 370-377.
- **Beswick, J. (2008).** *“Status of Technology for Deep Borehole Disposal”*. Contract No. NP 01185, EPS International.
- **Gibbs et al., 2008.** *“A model for heat flow in deep borehole disposals of high-level nuclear waste .”* Journal of Geophysical Research, 113.
- **Gibbs, F. G. F., K. J. Taylor, et al., 2008.** *“The ‘granite encapsulation’ route to the safe disposal of Pu and other actinides.”* J. of Nuclear Materials 374: 364-369.
- **NIREX Report N/108, 2004.** *“A review of the deep borehole disposal concept for radioactive waste”*, June 2004.

- **Juhlin et al., 1998.** *“The Very Deep Hole Concept: Geoscientific appraisal of conditions at great depth.”* [SKB TR-98-05](#).
- **J. Smellie, 2004.** *“Recent geoscientific information relating to deep crustal studies.”* [SKB R-04-09](#).
- **T. Harrison, 2000.** *“Very deep borehole: Deutag’s opinion on boring, canister emplacement and retrievability.”* [SKB R-00-35](#).
- **Marsic, Grundfeldt och Wiborg, 2006.** *“Very deep hole concept. Thermal effects on groundwater flow.”* [SKB R-06-59](#).

SKB R-10-13, sid 19



~~XXXXXXXXXXXXXXXX~~ **Sept 2010.** Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle

Nu tillgängliga rapporter :

- **Arnold et al., 2011.** Reference Design and Operations for Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste. SANDIA REPORT SAND2011-6749.
- **Brady and Arnold, 2011.** Pilot Testing Deep Borehole Disposal of Nuclear Waste: October 26, 2011 Albuquerque, NM Workshop Report.
- **Driscoll, 2010.** A Case for Disposal of Nuclear Waste in Deep Boreholes. MIT report.
- **SNL-MIT Workshop on Deep Borehole Disposal,** March 15, 2010. Regulatory and Licensing Topics Relevant to Deep Borehole Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste in the United States.
- **B. Sapiie, M. J. Driscoll and K. G. Jensen, 2010.** Regional Examples of Geological Settings for Nuclear Waste Disposal in Deep Boreholes. MIT-NFC-TR-113, Jan. 2010
- **B. Sapiie and M. J. Driscoll, 2009.** A Review of Geology-Related Aspects of Deep Borehole Disposal of Nuclear Wastes,” MIT-NFC-TR-109, Aug. 2009

- **Travis, Gibbs and Hesketh, 2012.** Modelling deep borehole disposal of higher burn-up spent nuclear fuels. Materials Research Society, Symposium Proceedings, XX, pp-pp. (In Press).

- **Brunskill and Wilson, 2011.** The geological disposal of spent nuclear fuel beneath sedimentary basins. Waste management, Canada’s Nuclear Activities, Sept 11-14, 2011.
- **von Hippel and Hayes, 2010.** Deep borehole disposal of nuclear spent fuel and high level waste as a focus of regional East Asia nuclear fuel cycle cooperation. 12/8 2010, Available at www.natilus.org.
- **J. Kang, 2010.** An initial exploration of the potential for deep Borehole Disposal of nuclear wastes in South Korea. Dec 2010, Available at www.natilus.org.

Waste Management, Decommissioning and Environmental Restoration for Canada's Nuclear Activities,
September 11-14, 2011

THE GEOLOGICAL DISPOSAL OF SPENT NUCLEAR FUEL BENEATH SEDIMENTARY BASINS

B. Brunskill

Helix Geological Consultants Ltd., Regina/Sk., Canada

M. Wilson

Petroleum Technology Research Centre, Regina/Sk., Canada

Risken för kontamination av berggrunden kring grunda deponier (< 1 km) ökar över tid genom degradering */the eventual degradation/* av de material som använts för avfallets inneslutning.

För att få en mer tillförlitlig slutförvaring måste man välja en djupare deponering i ett område med en hydrogeologisk miljö som har en stabil densitetsskiktning över tid.

Urbergsområden [som överlagras av yngre sedimentära bergarter](#) motsvarar denna kravbild och lämpliga slutförvar kan etableras med djupborring av det slag som redan används inom oljeindustrin.

B. Sapiie, M. J. Driscoll and K. G. Jensen, 2010. Regional Examples of Geological Settings for Nuclear Waste Disposal in Deep Boreholes. MIT-NFC-TR-113. Jan. 2010

Swedish Deep Drilling Program (SDDP) har nu tillgång till en modern borrhigg för kärnbörning och provtagning ned till 2,5 km djup



A new Swedish scientific drilling infrastructure

Jan-Erik Rosberg¹ and Henning Lorenz²

¹Department of Measurement Technology and Industrial Electrical Engineering, Engineering Geology, Lund University, Lund, Sweden (jan-erik.rosberg@fek.lu.se)
²Department of Earth Sciences, Uppsala University, Uppsala, Sweden (henning.lorenz@geo.uu.se)



Atlas Copco Christensen CT20 Core Drilling Rig

In November 2009, the Swedish Research Council (Vetenskapsrådet - VR) awarded Lund University and its co-applicants (from Uppsala University, Luleå University of Technology and Stockholm and Göteborg universities plus support by researchers from many other institutes) a grant of 25.8 MSEK (c. 2.75 M€) for buying, implementing and running an infrastructure for deep core drilling.

The Atlas Copco CT20 is a state-of-the-art, versatile diamond wireline core-drilling rig which can handle P, H and N sizes. It can operate on very small drill sites (500-800 m²) and, thus, leaves a minimal environmental footprint. Crawler-mounting makes the rig ideal for operations in remote locations. A total of only 3-4 truckloads is necessary for mobilization of the basic drilling equipment.

Industry cooperation is welcome!

Technical data:

Depth capacity coring, based on a vertical water filled hole.

P-size to around 1050 m, hole size 123 mm and core size 85 mm.

H-size to around 1800 m, hole size 98 mm and core size 63 mm.

N-size to around 2500 m, hole size 76 mm and core size 45 mm.

Weight: Complete rig including crawler - 23500 kg

Dimensions in (length, width, height) transport position: 11.58 x 2.50 x 3.75 m.

Available in-hole equipment:

Complete core retrieval system for PQ, HQ and NQ-sizes, including PHD, HRQ (V-Wall) and NRQ (V-Wall) drill rods covering the maximum drilling depth for each size
Dual and triple tube for HQ and NQ-sizes
Casing advancers (PW, HW, NW and BW)
Casing PWT, HWT, NW and BW
Bits and reamers.

Additional equipment:

Mud cleaning and mixing system
MWD-system (Measurements While Drilling)
Cementing equipment
Fishing tools (Bowen Spear)
Blow Out Preventer (BOP)
Deviation tools
Wireline packers
and more





SDDP

The Swedish Deep Drilling Program

DAFNE

PaMVAS

COSC

Alnö

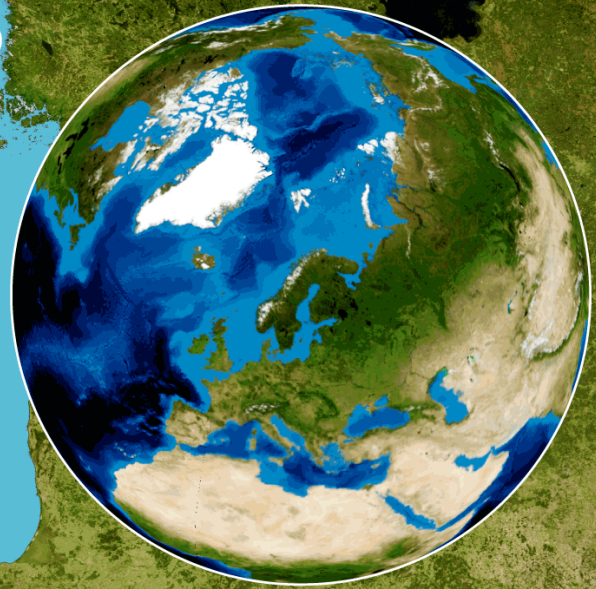
DRL

CISP

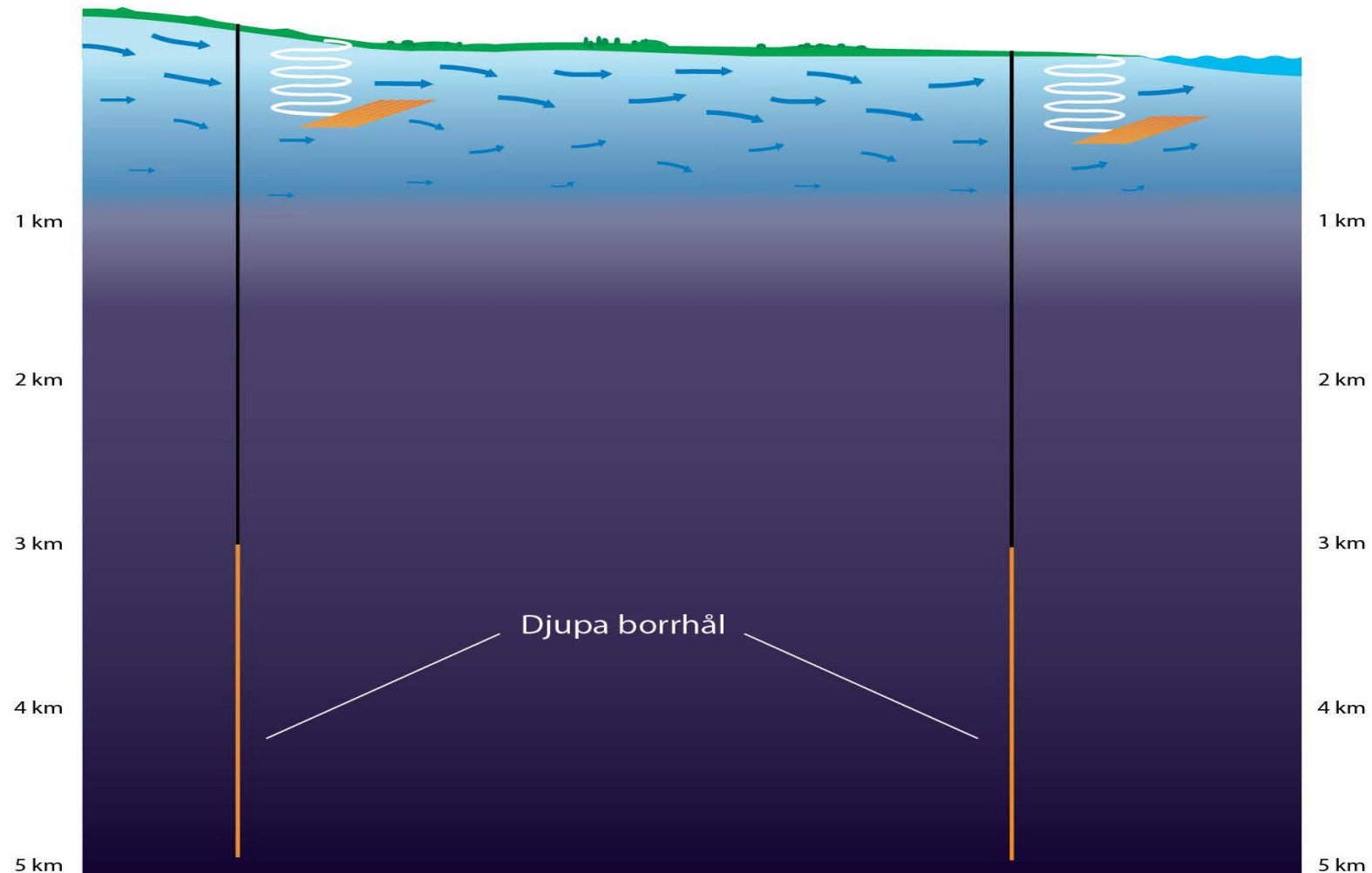
SELHO

Baltic

Glacial
History



Bättre kunskap om grundvattenzoneringen och dess dynamik över tid behövs både för KBS-metoden och borrhålsförvar på stora djup



Grunda slutförvar av KBS-typ har flera säkerhetsmässiga svagheter (1-3)

1 En deponering ca 500 m ner medför en **hydrogeologiska utsatthet** i och med att förvaret då omges av ett rörligt grundvatten med kapacitet att sprida läckage vidare mot mark och vattendrag i grundvattnets utströmningsområden, om än långsamt och i utspädd form.

En konsekvens av denna utsatthet är att förvarets säkerhet över tid måste baseras på konstruerade skyddsbarriärer som saknar säkerhetsmarginaler eftersom inga barriärer får fungera, skadas eller degraderas över tid i och med att det på denna nivå i berggrunden inte finns några hinder för en fortsatt spridning av läckage via grundvattenflöden mot marknära nivåer och därmed för en okontrollerbar spridning i biosfären .

2 En deponering ca 500 m ner medför också en **fysisk utsatthet** i och med att det på denna nivå i berggrunden inte är möjligt att helt trygga kärnavfallets oåtkomlighet över tid.

3 Vidare har KBS-förvaret en **teknologisk utsatthet** i och med att säkerheten måste vilas på konstruerade skyddsbarriärer som inte fungerar oberoende av varandra, vilket bl.a innebär att säkerheten över tid inte kan förväntas vara bättre än för barriärsystemets svagaste punkt, vilket knappast motsvarar den säkerhetsnivå som SKI förordat genom den så kallade **fler-barriärsprincipen**, dvs att slutförvaret ska skyddas av flera funktionsmässigt oberoende barriärer.

Grunda slutförvar av KBS-typ har flera säkerhetsmässiga svagheter (4-5)

4 Med KBS-metoden följer ett **tillsynsbehov över tid**, -- dels för att leva upp till internationella åtaganden om kärnämneskontroll ("safe-guard") och dels för att upptäcka och hindra andra avsiktliga eller oavsiktliga intrång.

Detta tillsynsbehov äventyrar en av slutförvaringens mest centrala ambitioner; -- nämligen att inte belasta kommande generationer med vare sig ansvar eller kostnader.

5 Sammantaget innebär frånvaron av funktionsmässigt oberoende skyddsbarriärer och placeringen i den övre zonen med rörligt grundvatten att KBS-förvaret inte utgör ett "teknologiskt förlåtande" och robust system.

Konsekvensen av denna **systemteknologiska svaghet** är att KBS-metoden inte infriar den sen länge etablerade säkerhetsambitionen att även minimera risker *som kan ha förbisetts*, vilket är en allvarlig försvagning, särskilt som förbisedda risker är mer frekventa i teknologiskt komplexa system.

Slutförvaringen

**Att varken utsätta oss själva eller kommande generationer
för onödiga risker, ansvar eller kostnader
till följd av vår tids kärnavfall**

A Swedish National Infrastructure for Scientific Drilling



Atlas Copco Christensen
CT20 Core Drilling Rig

Managed and operated by the Department of Engineering Geology at Lund University.

Perspectives on Retrievability

The introduction of provisions for retrievability must not be detrimental to long-term safety.

Thus, for example, locating a repository at a depth that is less than optimum from a long-term safety perspective in order to facilitate retrieval is unlikely to be acceptable....

NEA 2001, *Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste: Reflections at the International Level*

Åtgärder för att främja återtagbarhet får inte gå ut över den långsiktiga säkerheten

Ex.vis vore det fel att välja ett förvaringsdjup som inte är optimalt för säkerheten bara för att underlätta ett framtida återtag

Deep borehole systems may not be the best choice if permanent and irreversible disposal *is not intended*. (Brady et al., 2009)