

Fud-program 2019

Del II Avfall och slutförvaring

Ella Ekeröth

Del II Avfallshantering och slutförvaring



Del I: Stegvis beslutsprocess

- SKB angett milstolpar:

- SFR Utbyggnad
 - Inlämning PSAR
 - Byggstart SFR utbyggnad
- KBS-3
 - Inlämning PSAR
 - Byggstart Clink
 - Byggstart SFK

Del II: Redovisas FoU-insatser för respektive milstolpe under Fud-perioden 2020-2025 per ämnesområde

Ämnesområden (kapitelindeln.):

7. Låg- och medelaktivt avfall
8. Använt kärnbränsle
9. Kapsel för använt kärnbränsle
10. Cementbaserade material
11. Lerbarriärer och förslutning
12. Berg
13. Ytekosystem
14. Klimat och klimatrelaterade processer

Låg- och medelaktivt avfall



SKBs forskning och utveckling med avseende på låg- och medelaktivt avfall fokuserar på två huvudsakliga områden:

- **Förståelse för processer som påverkar förmågan att kvarhålla radionuklider i slutförvaren SFR och SFL**
 - Interaktion mellan radionuklider och komplexbildande ämnen – påverkan på radionuklidens förmåga att sorbera
 - Gasproduktion och svällning – påverkan på tekniska barriärer
- **Kunskap om avfallets innehåll av radionuklider**
 - Metodik för bestämning av mängd svärmätbara långlivade radionuklider i låg- och medelaktivt avfall
 - Verifierande mätning av svärmätbara nuklider
- Det arbete som genomförts hittills kommer att inarbetas i kommande PSAR för det utbyggda SFR
- Resultaten från det planerade arbetet under kommande Fud-period kommer att bidra till SKB:s löpande arbete med att förbättra kunskapen om det låg- och medelaktiva avfallet

Låg- och medelaktivt avfall – Processförståelse



- **Sorptionspåverkan**

- Studier på hur sorption av Pu påverkas av isosaccarinsyra (nedbrytningsprodukt från cellulosa) har genomförts
- Ytterligare studier planeras för sorption av Ni, Eu och aktinider i närvaro av nedbrytningsprodukter från polyakrylnitril (Eu projekt Cori)

- **Gasbildning och svällning**

- SKB har studerat gasbildning dels från mikrobiell nedbrytning av organiska material, dels från korrosion av aluminium och zink
- SKB har genomfört försök för att mäta de svälltryck som uppstår när jonbytarmassa återmättas med vatten
- Ytterligare försök för att bestämma svälltryck vid återmättad av bitumensolidifierad jonbytarmassa planeras att genomföras under kommande Fud-period



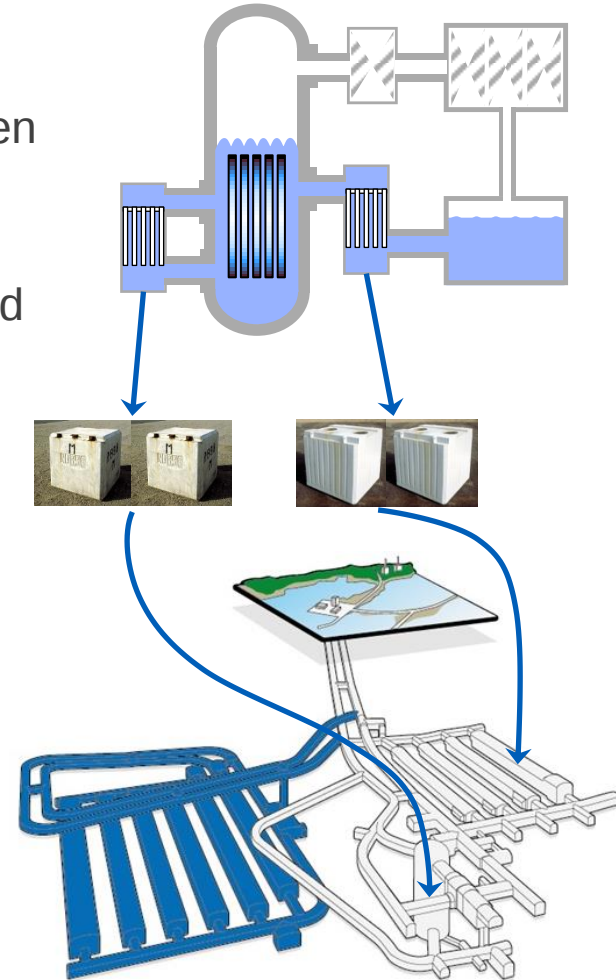
Låg- och medelaktivt avfall – Radionuklidinventarium

- **Mätning av svärmätbara nuklider**

- SKB har genomfört mätningar av Tc-99 och I-129 i reaktorvatten från ett flertal reaktorer samt bassängvatten från Clab
- SKB kommer att genomföra ytterligare verifierande mätningar för ytterligare svärmätbara nuklider (där ibland Mo-93) från uppkoncentrerade reaktor- och bassängvattenprover

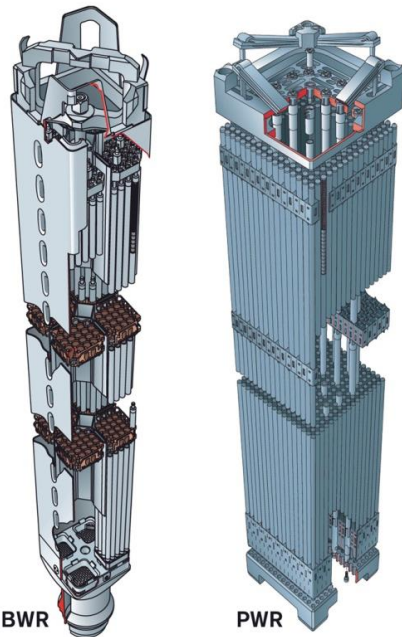
- **Metodutveckling radionuklidinventarium**

- SKB har påbörjat insamling av processvattenmätningar och driftdata från kärnkraftverken för att utöka dataunderlaget till beräkningsmodellen för svärmätbara nuklider i driftavfall till SFR
- SKB kommer att fortsätta insamlingen av driftdata och påbörja vidareutveckling av beräkningsmodeller för bl a Mo-93 i SFR-avfall



Använt kärnbränsle - övergripande

- Generellt gäller att programmet som beskrivs i Fud kapitel 8 behövs till SAR för Kärnbränsleförvaret
- Delar av resultat av pågående studier kommer att inarbetas i PSAR för Kärnbränsleförvaret



Kapitel 8

8.1 Bränsleupplösning

8.2 Radionuklidspeciering och lösligheter

8.3 Icke-reguljära bränslen och bränsleintegritet

8.4 Bränslekaraktärisering, resteffekt och strålning

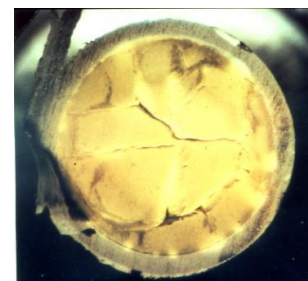
8.5 Bränsleinformation och optimering inför inkapsling

8.6 Kriticitet

8.7 Kärnämneskontroll

I det följande beskrivs översiktligt några utvalda delar

- Processer som sker vid vattenkontakt med använt kärnbränsle i slutförvaret:
 - Instant Release Fraction (IRF)
 - Matrisupplösning i närvaro av vätgas
 - Upplösning av skadat bränsle
 - Radionuklidlösligheter
- Försök i Studsvik fortsätter
- EU-projekt Disco: dopat bränsle och MOX
- Ökad förståelse för processer och mekanismer som reglerar oxidativ bränsleupplösning via doktorandprojekt vid KTH och Chalmers.



Bränslekaraktärisering

- Planer för hantering av känt skadat bränsle på Clab.
- Förnyad åldringsanalys och studie av integritet av kärnbränsle i mellanlagring
- Bränslekaraktäriseringsprojektet:
Fortsatta mätningar,
Utveckling, verifiering av delmetoder och detektorsystem
- Internationella projekt och samarbeten:
 - *Scip (Studsvik Cladding Integrity program),
 - *SFC (Spent Fuel Characterization and Evolution Until Disposal), en del av Eurad
 - *Samarbete med OECD/NEA: osäkerhet /noggrannhet för bestämning av resteffekt



Bränsleinformation och kriticitet

- Samordning databaser:
 - EN databas för beräkningar och kontroller inom SKB
 - Möjligheter att koppla beräkningsprogram till databasen?
- Optimeringsmetod för inkapsling mha databasen- minimera antalet kapslar
- Uppdatering av kriticitetsanalys:
 - Kärnbränsleförvaret: fallerad, korroderad kapsel
 - Clink: förändrad anläggningsutformning, ny händelseinventering
- Strategi för bränsleelement som inte möter kapselns kriticitetskrav

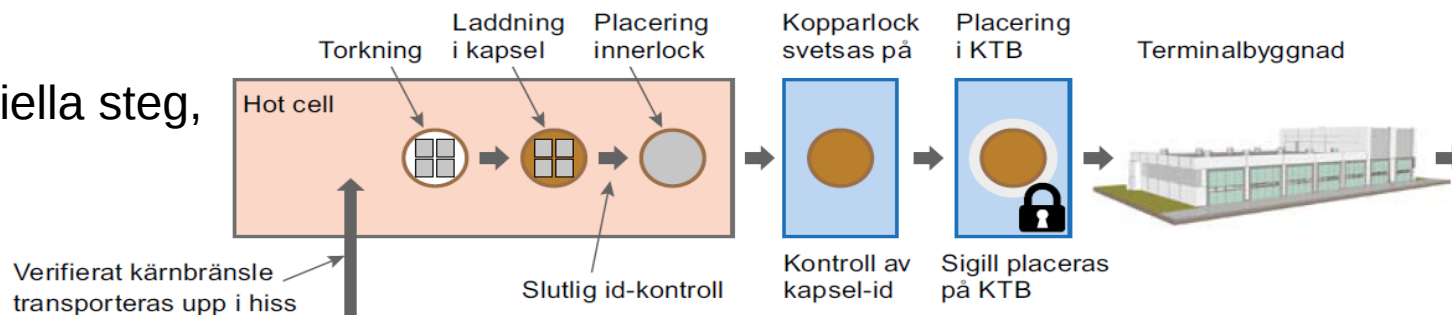
Kärnämneskontroll

Utvecklingen av kärnämneskontrollen för KBS-3-systemet i huvudsak rör följande områden:

- Metod för verifiering av deklarerat kärnämne
- Logistik för kärnämneskontroll
- Kopparkapselidentifiering
- Sigill för kärnämneskontroll
- Obevakade verifieringssystem
- Hantering av onormala händelser i kärnämneskontrollen
- Konstruktionsdataverifiering

Utvecklingsarbetet i syftar till att etablera metoder för att säkerställa kontinuerlig kännedom om kärnämne i KBS-3-systemet.

Principiella steg,
Clink:

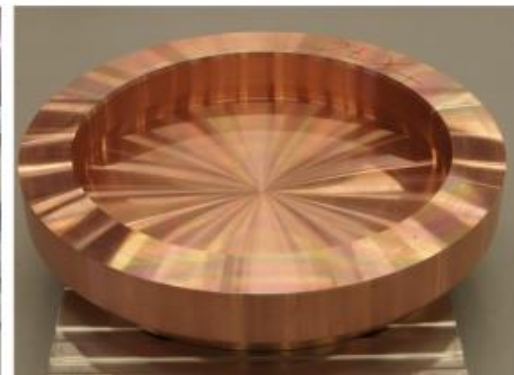
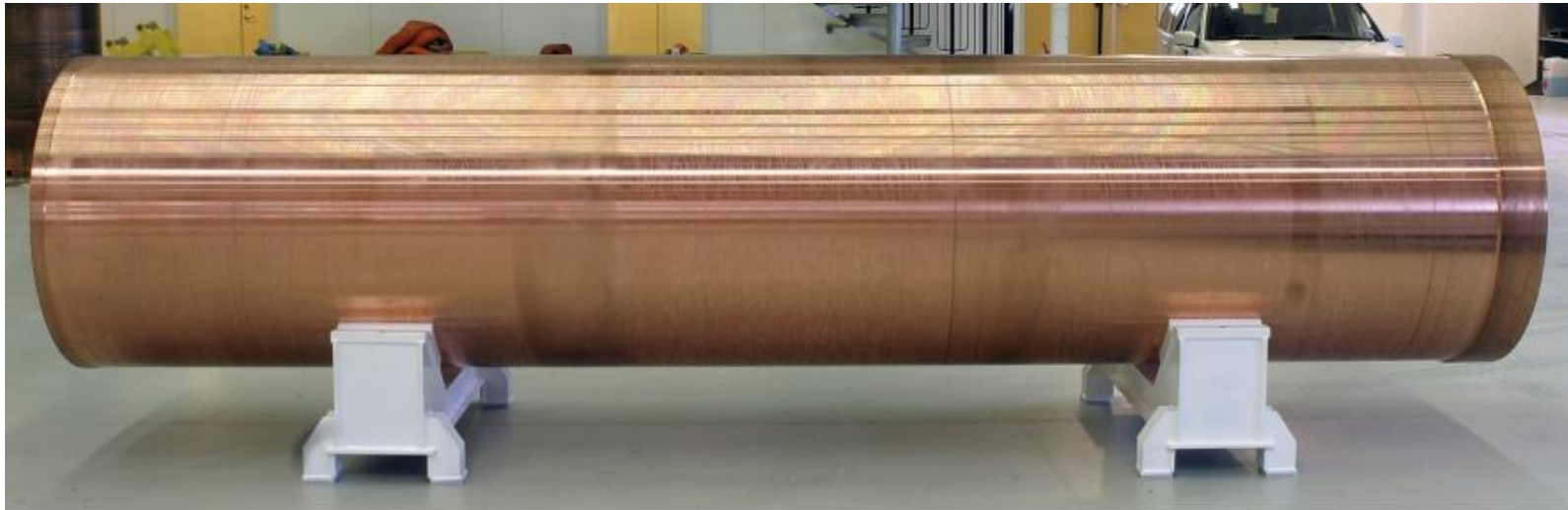


Fud-program 2019

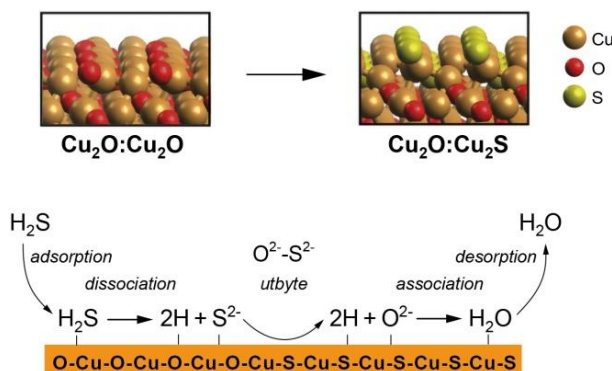
Del II Avfall och slutförvaring

Patrik Vidstrand

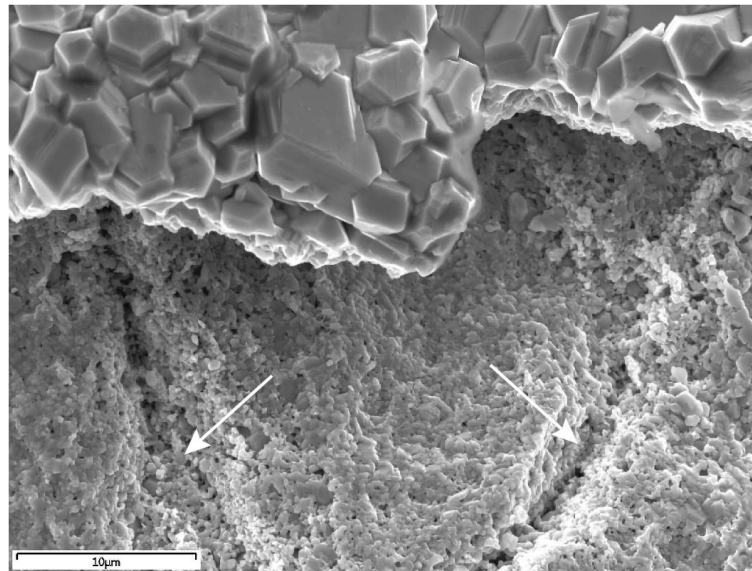
Kap 9 Kapsel för använt kärnbränsle



- Korrosion av sulfid
 - Bättre förståelse för mekanism för lokal korrosion (särskilt mikrogalvanisk korrosion)
 - Inverkan av andra joner (klorid, sulfat, karbonat), dvs mer likt slutförvarsmiljö
 - Utvecklad analys (inkl. förfinad analysmetod) för undersökning av topografin under korrosionsprodukterna (sulfidfilmen)
- Korrosion under oxiderande förhållanden
 - Utveckling av probabilistisk modell för lokal korrosion
 - Utvärdering av data från fältförsök (LOT, ABM etc)
- Strålningsinducerad korrosion
 - Utvecklad analys (i första hand modellutveckling) som inkluderar klorid och karbonat, samt mer realistisk dosrat (avtagande med tiden i stället för konstant)



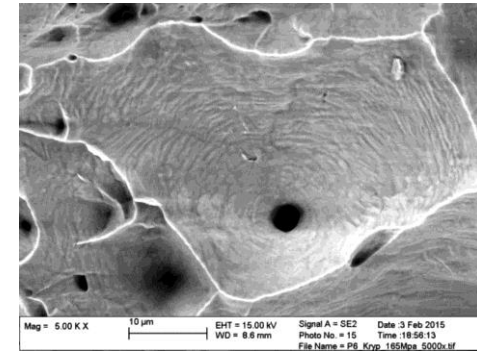
- Spänningskorrosion, främst i sulfidmiljö
- Pröva och utveckla mekanismbeskrivningen för korngränskorrosion som förklaring till de iakttagna ytliga sprickorna
- Studera inverkan på denna process av andra komponenter i vattnet, respektive inverkan av design och materialegenskaper hos kopparn



Kap 9 Kapsel Materialegenskaper



- Krypning i koppar
 - Utökad förståelse för fosfors roll för att ge ökad duktilitet genom en uppsättning metoder: krypprovning, mikroskopi, spektroskopi, kvantkemisk modellering, krypmodellering
- Vätes inverkan på kopparmaterialet
 - Utveckla mätmetod för de låga halter som finns i kapselkopparn, både för att utvärdera experiment och för att verifiera kravuppfyllnad
 - Studera inladdning av väte, via korrosionsprocesser, och dess inverkan på materialegenskaperna, genom experiment
- Inverkan av gammastrålning på kapselmateriäl
 - Modellering och experiment för att studera förutsättningar för utfällning av kopparpartiklar eller andra stabila faser i segjärnet, som skulle kunna vara försprödande

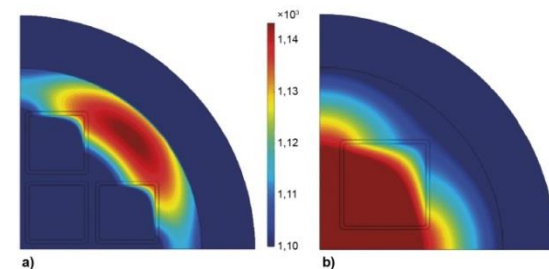


Kap 9 Kapsel

Konstruktion, tillverkning, kontroll och provning

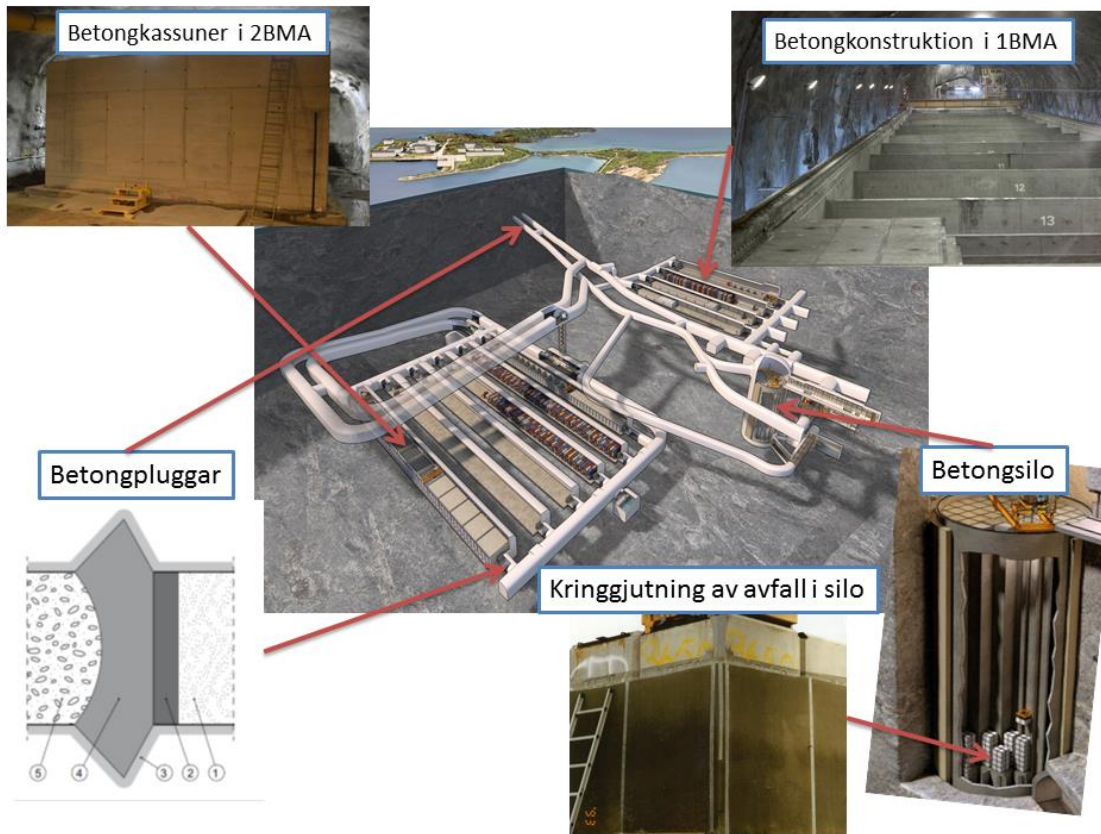


- Konstruktion
 - Modellering av hanteringslaster och översyn av krav
- Tillverkning, kontroll och provning
 - Koppar: utvecklad beskrivning av hur härdningsmekanismer påverkar hållfastheten, förtydligande av krav på materialsammansättning, ta fram acceptanskriterier för defekter, utreda alternativ referensmetod
 - Segjärnsinsats: utvecklad beskrivning av egenskaper och roll, utveckling av gjutprocessen, utökad förståelse för förutsättningar för deformationsåldring
- Svetsning av lock och botten (med friktionssvetsning, FSW)
 - Förberedelse för kvalificering
- Kontroll och provning
 - Utveckling av provningsmetoder: röntgen, ultraljud och virvelström. Framtagande av acceptanskriterier och provtagningsmetodik. Ta fram förslag till kontroll ordning.



Kap 10 Cementbaserade material

Processförståelse



Berörda områden

- Grundvattenpåverkan
- Gastransport
- Inverkan av nedbrytningsprodukter från avfallet
- Cement-bentonitinteraktioner
- Inverkan av förändrad betongsammansättning
- Frysning
- Inre och yttre laster

Kap 10 Cementbaserade material

Teknikutveckling SFR kommande period

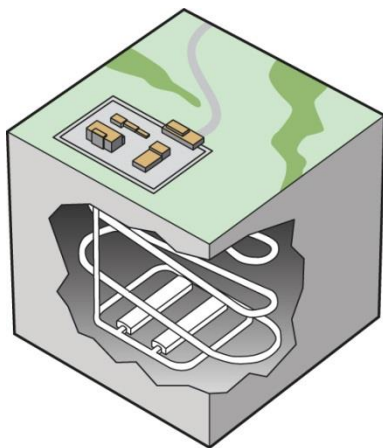


- Utveckling av metod för uppförande av innerväggar
- Vidareutveckling av metod för tätning av hål efter formstag



Kap 10 Cementbaserade material

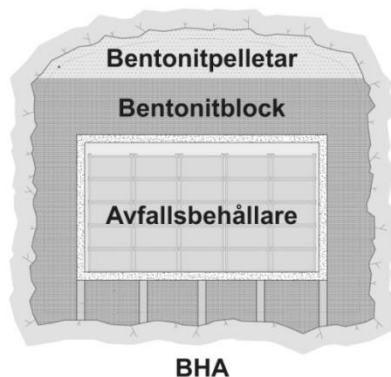
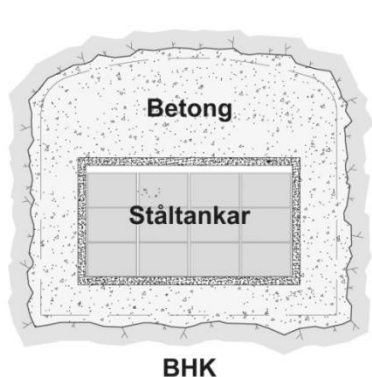
Teknikutveckling SFL kommande period



Fokus kommer under kommande Fud-period att läggas på BHA då BHK förväntas kunna uppföras med konventionella metoder.

- **Uppförande av betongkonstruktion i BHA**

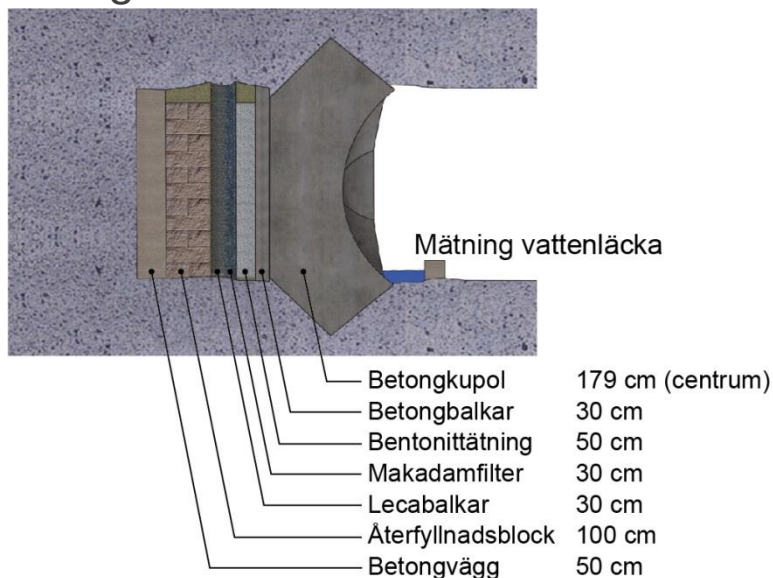
- Utformning
- Dimensionering
- Metod för uppförande



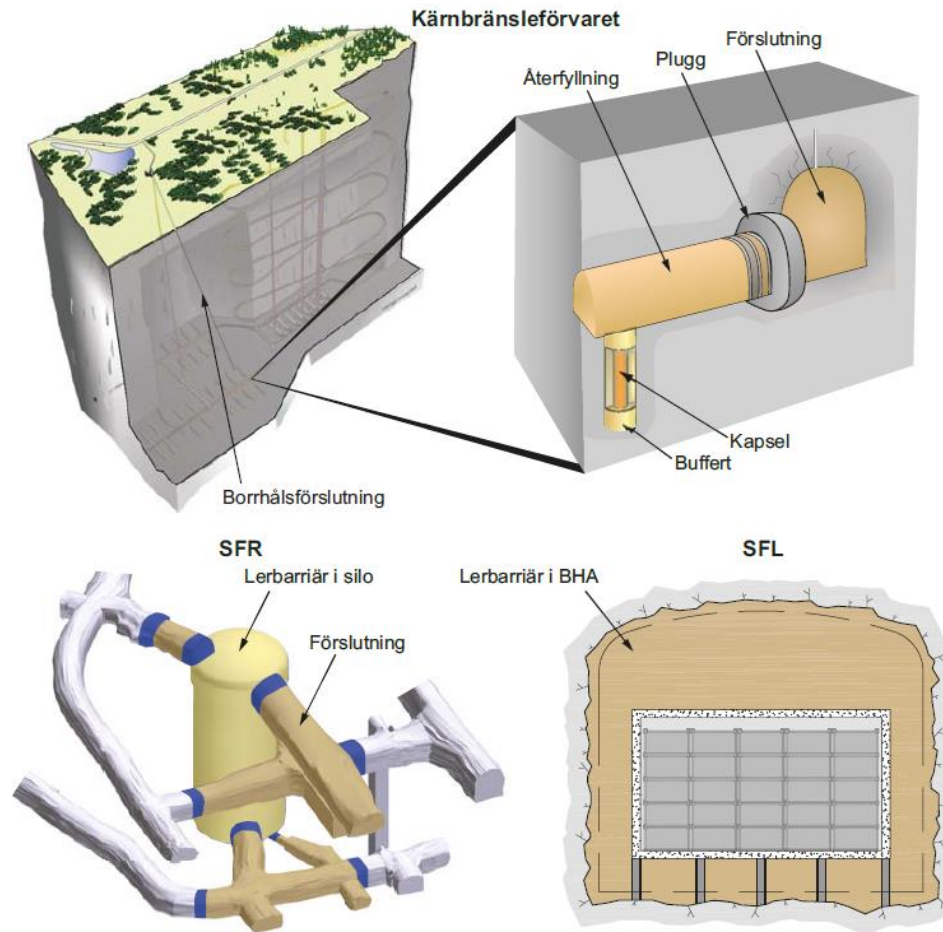
Kap 10 Cementbaserade material

Teknikutveckling SFK kommande period

- Pluggar till deponeringstunnlar
 - Program formuleras efter det att utvärdering av uppförande och rivning av DomPlu-pluggen har sammanställts.
- Cementbaserade material (låg-pH) till injektering och bergförstärkning
 - Program formuleras efter sammanställning av hittills genomfört arbete och uppdatering R-12-07.



Kap 11 Lerbarriärerna och förslutning



Kap 11 Lerbarriärer och förslutning

Bentonitmaterialets utveckling efter installation fram till vattenmättnad

- Vattenupptag och svällning samt homogenisering av block och pellets
- Mikrobiell sulfidbildning under omättade förhållanden
- Gassammansättningen och dess utveckling under den omättade perioden

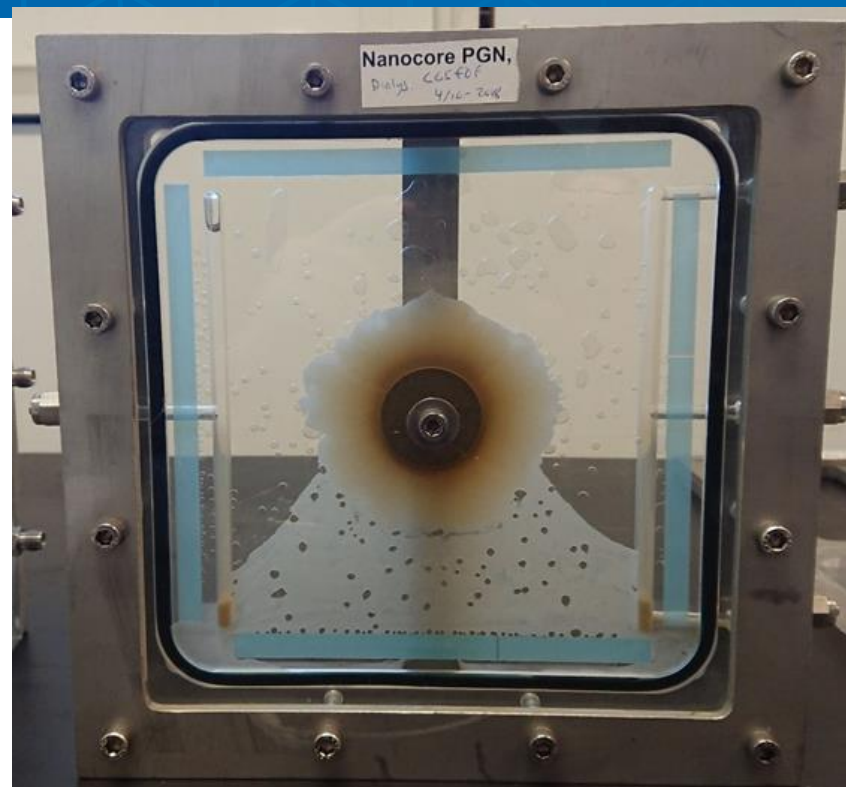


Försöksuppsättning för onlineanalys av gassammansättning i omättad bentonit på Äspö. Försök kan genomföras med eller utan närvaro av metallisk koppar

Kap 11 Lerbarriärer och förslutning

Bentonitmaterialets egenskaper i mättat tillstånd

- Materialsammansättning
- Mineralstabilitet
- Mikrobiell sulfidbildning och sulfidtransport under mättade förhållanden
- Kolloidfrigörelse/erosion

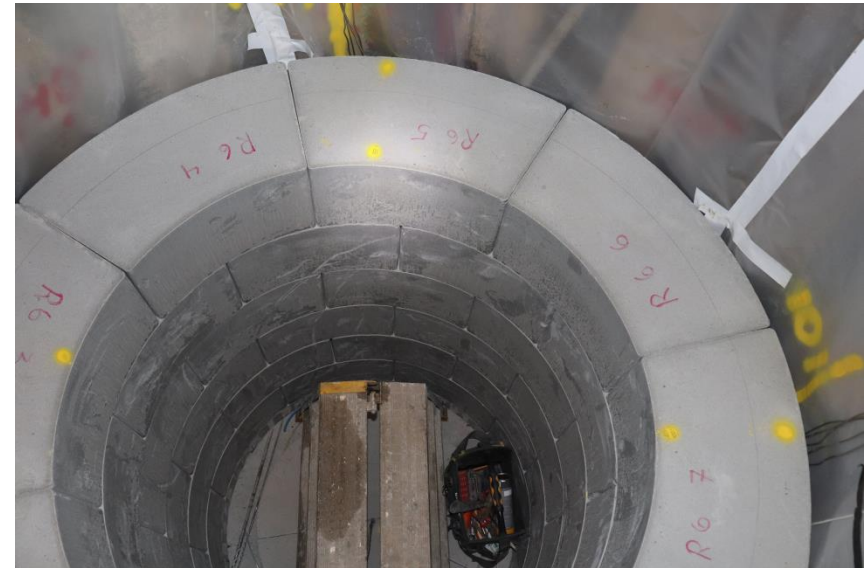


Försök avseende erosion via sedimentation i en artificiell 0,2 mm bred spricka

Kap 11 Lerbarriärer och förslutning

Utformning av barriärer samt tillverkning, kontroll och provning

- Utformning av återfyllning i deponeringstunnel uttagen med mekanisk bergavverkning (KBS-3)
- Detaljutformning och fullskaliga försök av installations- och kontrollmetoder för buffert, återfyllning och pluggar (KBS-3)
- Studier av teknisk genomförbarhet av bentonitbarriär i SFL
- Översyn av förslutning av SFR
- Effektivisering av tillverkning av bentonitblock (KBS-3 och SFL)

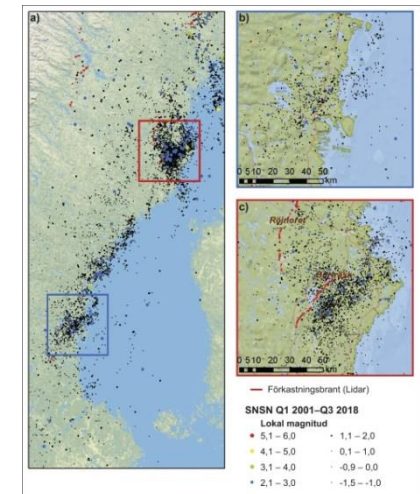
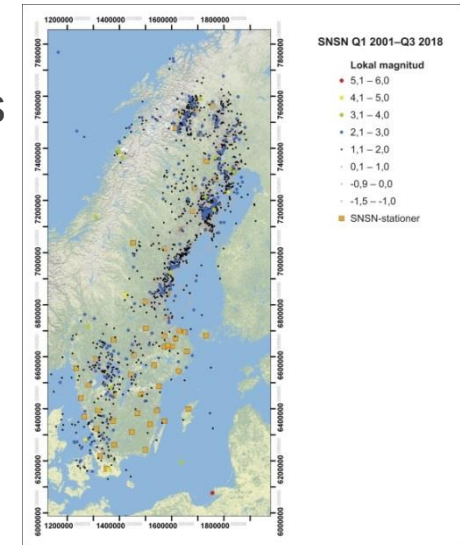


*Pågående (okt. 2019) fullskaleförsök:
Installation av buffert i form av segmenterade
block och ringar*

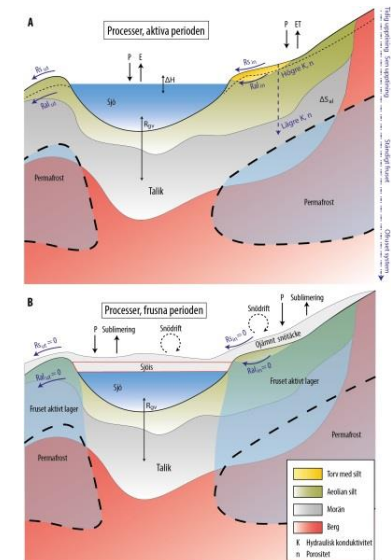
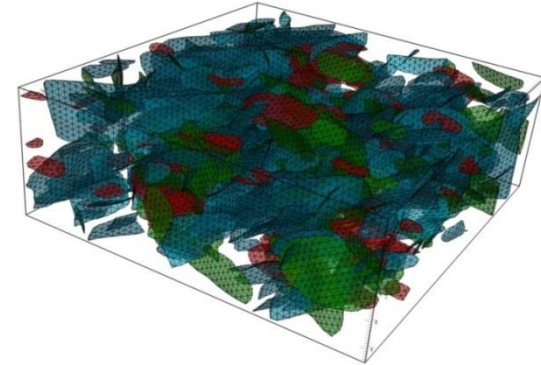
- Bergmassans mekaniska egenskaper
 - "State of the art"-metodik för beräkningar av bergmassans hydromekaniska egenskaper.
- Inducerad rörelse pga termisk, seismisk eller glacial belastning
 - Sprickpropagering, bergets långsiktiga hållfasthet, transmissivitetsförändringar, spjälkning
- Bergspänningar i Forsmark

Ny bergspänningsmodell publicerad – bas för uppdaterade beräkningar av stabilitet och risken för spjälkning i berget i Forsmark.

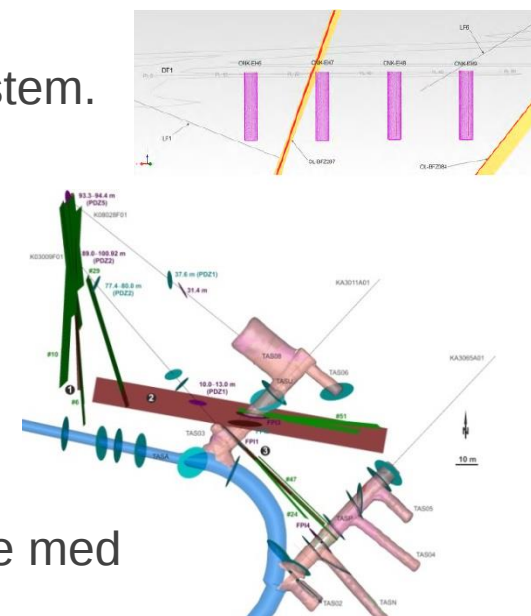
- Seismisk påverkan på förvarens säkerhet
 - Seismisk övervakning
 - Undersökningar av glacialt inducerade förkastningar
 - Modellering av seismisk påverkan på slutförvar



- Modellering av diskreta spricknätverk - DFN
- Metodik för konditionering mot geometriska och hydrauliska data har utvecklats – ökad determinism i de stokastiska modellerna
- Metodutveckling och test av olika för DFN-verktyg har genomförts
- Fortsatt utveckling och avrapportering under de närmaste åren
- Utveckling av beräkningsverktyg för grundvattenflöde, hydrokemiska processer och transport av lösta ämnen
- Sulfid på förvarsdjup – fortsatt avrapportering, koppling till organiska ämnen i grundvatten
- Egenskaper och processer som påverkar ämnestransport i berget
- Klimats inverkan på processer i berget



- Metodik för detaljundersökningar
 - Operativa undersökningsprogram
 - Utveckling av instrument för mätningar, liksom datasystem.
 - Teknik och metodik för deponeringsområden
- Modelleringsmetodik inom detaljundersökningar
 - Fortsatt utveckling av ämnesvis och integrerad modelleringsmetodik
 - Data från Äspölaboratoriet, i Forsmark och i samarbete med Posiva i Onkalo
- Kritiska strukturer och volymer



- Injektering
 - Metodbeskrivningar för injektering med låg-pH-material, samt strategi för kontroll och verifiering av injekteringsresultat, har tagits fram
 - Riktlinjer ska implementeras i program för Kärnbränsleförvaret
- Tunneldrivning för deponeringstunnlar
 - Metod för drivning av deponeringstunnlar är idag sprängning
 - Alternativa metoder kommer att utredas (krav på plant tunnelgolv, jämn tunnelkontur och minimal skadezon)
- Borrning av deponeringshål
 - Genomförd borrning i Onkalo har utvärderats
 - Borrmaskin för borrning av deponeringshål ska tillverkas
 - Testas och senare verifieras i samband med integrationstestet för tunneldrivning



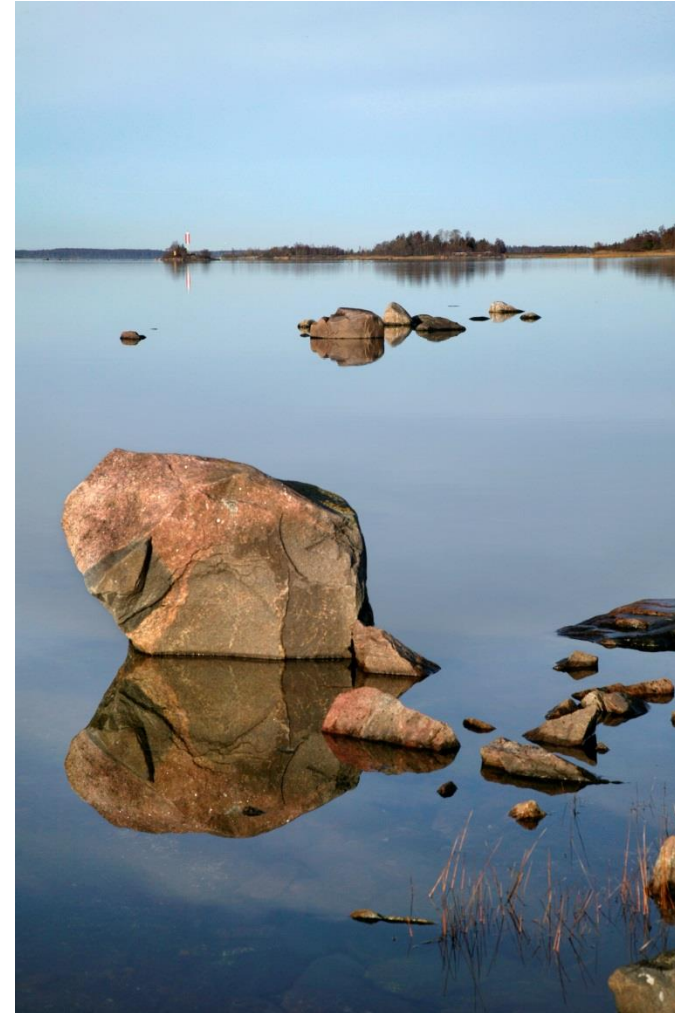
Fud-program 2019

Del II Avfall och slutförvaring

Björn Söderbäck

Kapitel 13 – Ytekosystem

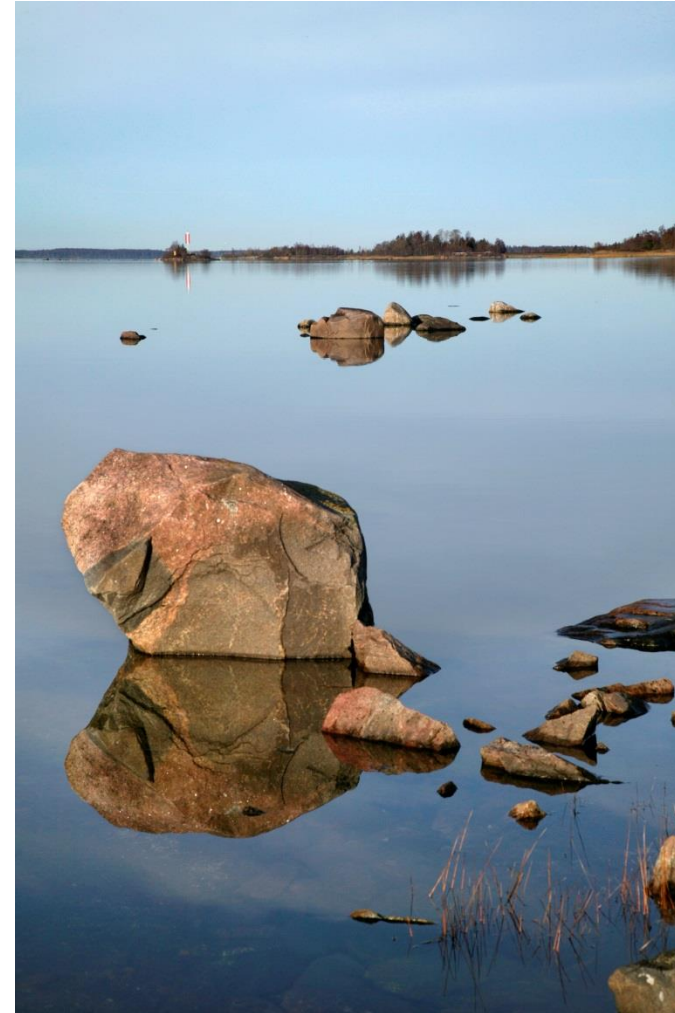
- Mål med FoU - Ytekosystem
 - Skapa underlag för beräkningar av radioaktiv dos till människa och miljö i säkerhetsanalyser
 - Skapa underlag för miljöövervakning, för bedömningar av miljöförändringar, och för analysen av säkerheten i anläggningar i drift
- Aktuella forskningsfrågor för de tre olika förvaren till stor del överlappande



Kapitel 13 – Ytekosystem

Forskningsfrågor inom fyra olika huvudområden:

- Upptagsvägar och upptagsmekanismer för olika organismer
- Temporal och spatial heterogenitet i landskapet
- Transport- och ackumulationsprocesser
- Radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos vissa ämnen



Kapitel 13 – Ytekosystem

Upptagsvägar och upptagsmekanismer för radionuklider hos olika organismer

Exempel:

- Validering av upptagsmodeller med fältdata (kompletterande provtagningar)
- Utveckling av ekosystemmodell för rinnande vatten



Kapitel 13 – Ytekosystem

Landskapets utseende och dynamik

Exempel:

- Rumslig upplösning och spridning av radionuklider i biosfärsobjekt
- Jämförelse mellan SKB:s och POSIVA:s landskapsutvecklingsmodeller
- Överföring av kunskap från Grönland och Krycklan till förhållanden i ett framtida Forsmark

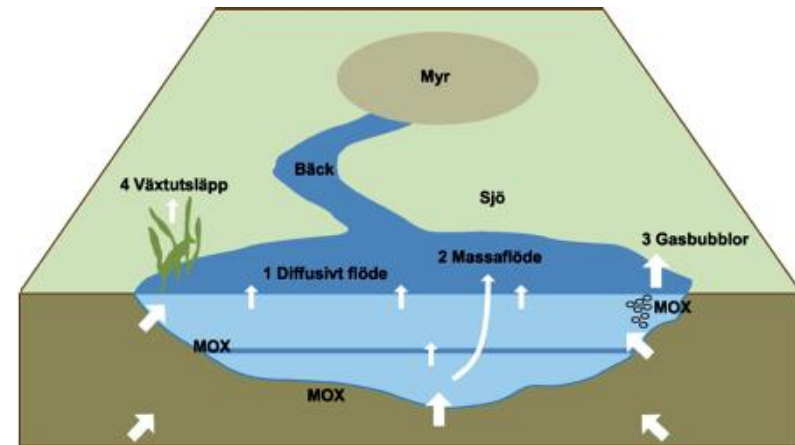


Kapitel 13 – Ytekosystem

Radiologiska, biologiska och kemiska egenskaper hos vissa ämnen

Exempel:

- Omsättning av klor i vattendrag och våtmarker
- Gastransport (CH_4 och CO_2) i mark och vatten, betydelse för omsättning av C-14
- Förändring av den kemiska markmiljön i Forsmark på lång sikt (kalciturlakning)



Kapitel 14 – Klimat och klimatrelaterade processer

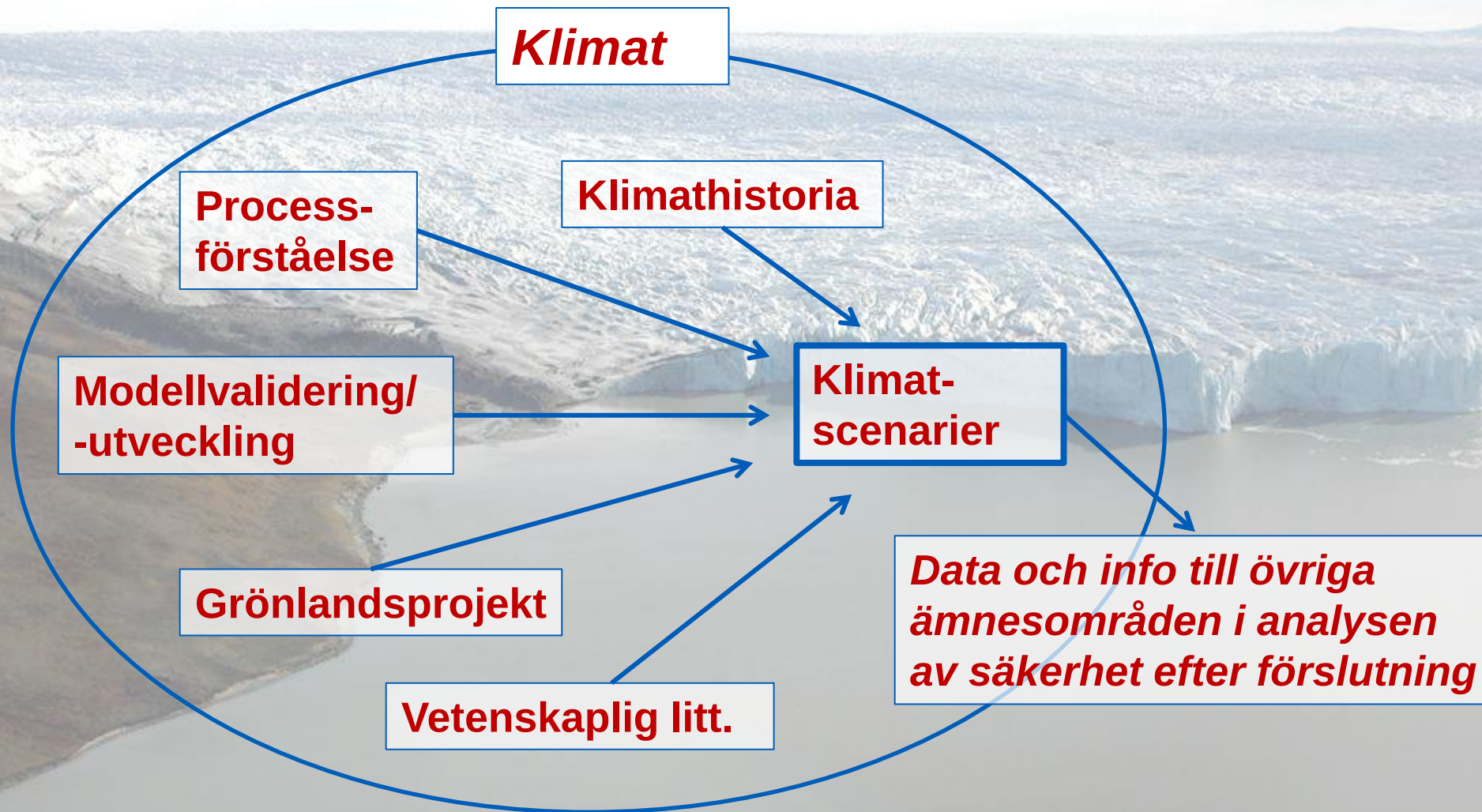


- Mål med FoU - Klimat
 - Konstruktion av och argumentation för klimatscenarier i säkerhetsanalyserna
 - Framtagande av data och info till övriga ämnesområden i säkerhetsanalyser (kapsel, hydrogeologi, geokemi, yteko) samt som underlag för konstruktion/projektering av förvaren
- Aktuella forskningsfrågor för de tre olika förvaren till stor del överlappande



Delområden Klimat

Samtliga delområden rör alla tre förvaren (SFK, SFR, SFL)



Kapitel 14 – Klimat och klimatrelaterade processer



Kvarstående forskningsfrågor:

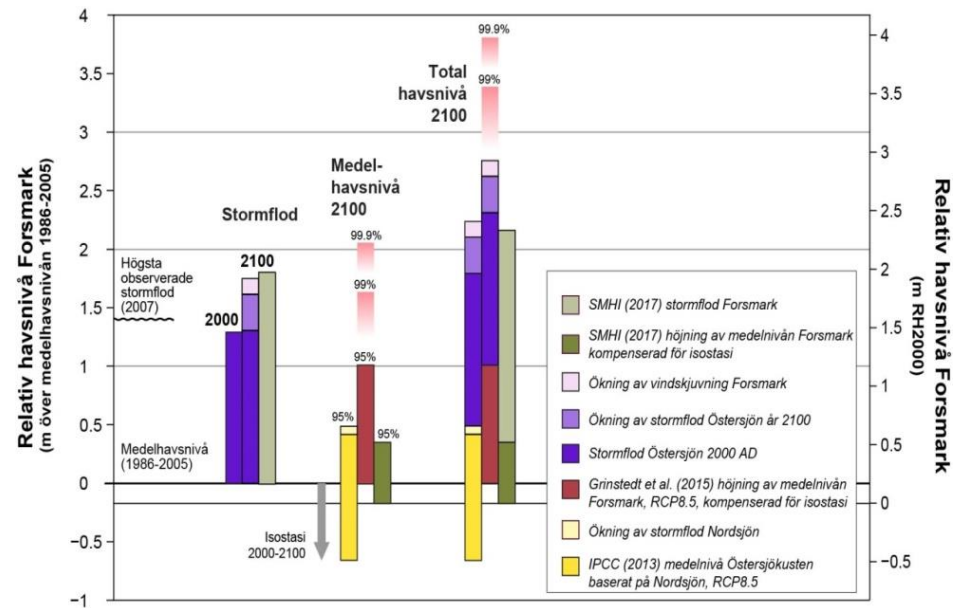
- Klimatvariationer:
 - SKB:s referensglaciation baserad på förra istidscykeln
 - Övergångar mellan olika klimattillstånd
- Variationer i havsnivå, i närtid och på lång sikt
- Ålder och långsiktig stabilitet hos berggrundsytan i Forsmark
- Validering av permafrostmodell
- Variabilitet hos klimat och inlandsisar under de kommande en miljon åren



Variationer i havsnivå i närtid och på lång sikt



- Havsnivåändring på kort sikt:
Viktigt för konstruktion och för driftfasen av förvaren samt för att definiera initialtillståndet i säkerhetsanalyserna
- Havsnivåändring på lång sikt:
Utgör en viktig del av säkerhetsanalyserna
- SKB:s arbete med havsnivåer kommer att fortsätta, bland annat med hjälp av experter inom framtida havsnivåändringar och dess variabilitet.



Variabilitet hos klimat och inlandsisar under de kommande en miljon åren

- Studie av lufttemperatur och nederbörd vid Forsmark under de kommande 1 miljon åren har genomförts
- Kommer att fortsätta med inlandsissimuleringar för de kommande 1 miljon åren

Resultaten hjälper till att belysa följande frågor:

- Hur lång kan nuvarande interglacial bli givet höga framtida mänskliga utsläpp av växthusgaser?
- Hur lång tid kan en inlandsis ligga över Forsmark?
- Hur "dynamisk" kan en inlandsis bli, dvs hur ofta kan iskanten passera Forsmark inom en glacialcykel?

