



Långsiktig säkerhet

Fredrik Vahlund

Presentationens upplägg

- Vilken funktion har en analys av långsiktig säkerhet?
- Vilka (externa) krav ställs på en analys av långsiktig säkerhet?
 - Resultat
 - Utförande
- SFR:s roll i det svenska systemet
- Radioaktivt avfall - Definitioner
 - Internationellt
 - Radionuklidinnehåll i avfallet samt acceptanskriterier för avfall till SFR
- Hur görs en analys av långsiktig säkerhet?
 - Säkerhetsanalysens roll vid val av djup
 - Säkerhetsanalysens roll vid lokalisering
 - Säkerhetsanalysens roll vid val av utformning
 - Säkerhetsanalysens roll för kravställning på avfall till SFR
- Säkerhetsanalysen i tillståndsprövningen.
 - Dokument som ingår i tillståndsprövningen
 - Slutsatser

Analys av långsiktig säkerhet (I)

Kärnavfallsrådet sammanfattar den roll SKB ger analysen (SOU 2012-7)

Som Kärnavfallsrådet tidigare har påpekat ger SKB säkerhetsanalysen en dubbel roll i kärnavfallssystemet: ”en intern roll som management-verktyg inom SKB och en extern roll i samhällets tillståndsprocess”

- Under den första delen av slutförvarsprojektet har säkerhetsanalysens funktion främst varit garanterande, både i sin externa och interna roll. Det innebär att analysen ska garantera att det går att bygga ett rimligt säkert slutförvar – i svensk modellberggrund såväl som på den valda platsen.
- I nästa fas av projektet förskjuts och vidgas säkerhetsanalysens funktion från garanterande till normerande och styrande. Betydelsen av säkerhetsanalysens normerande och styrande funktion kommer att öka efterhand som tillståndsprocessen fortskrider, för att bli dominerande efter eventuell byggstart om SKB får tillstånd att uppföra förvaret.

Analys av långsiktig säkerhet (II)

- Ska svara på frågan "Är förvaret långsiktigt säkert?"
 - Kan förvaret i framtiden innebära en risk för närboende?
 - Metoder för analys etablerade genom internationellt samarbete.
- SSM:s föreskrifter
 - Risken att drabbas av cancer eller ärftliga skador får inte överskrida en på miljonen per år. Omräknat till dos svarar det mot ungefär en procent av bakgrundsstrålningen som är 1 mSv/år.

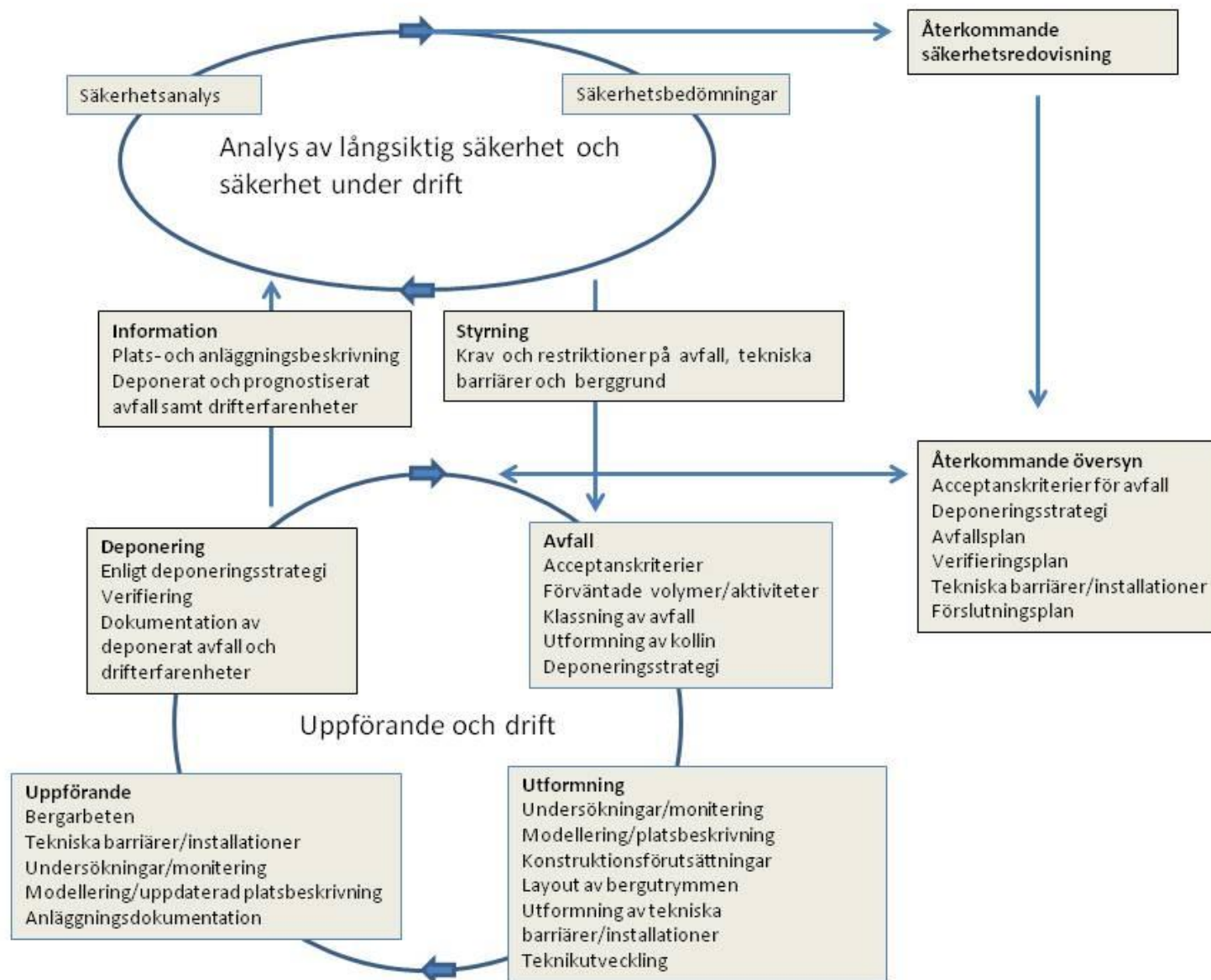
Analys av långsiktig säkerhet (III)

Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall ska optimering ske och hänsyn tas till bästa möjliga teknik (SSMFS 2008:37).

bästa möjliga teknik: den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön, och som inte medför orimliga kostnader.

optimering: begränsning av stråldoser till människor så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhällseliga faktorer.

Analys av långsiktig säkerhet (IV)



Tidigare analyser av SFR:s långsiktiga säkerhet

Analys av långsiktig säkerhet för SFR har analyserats och rapporterats till myndigheterna vid ett flertal tillfällen:

- PSR som låg till grund för regeringstillståndet att uppföra anläggningen togs fram 1982.
- FSAR som krävdes för drifttillståndet av bergsalarna färdigställdes 1987 samt kompletterades för Silo 1991.
- Hela säkerhetsrapporten uppdaterades 1993.
- Säkerhetsanalysen SAFE anmäldes till myndigheterna 2001.
- Kompletteringar på SAFE besvarades 2005 och i säkerhetsanalysen SAR-08, 2008.

Slutsatserna från dessa analyser är att SFR uppfyller de krav som ställs på anläggningen och anläggningen är säker ur ett långsiktigt perspektiv.

Krav på analysen (I)

Hur detaljerad görs analysen?

- Tillräckligt detaljerad för att vi skall kunna bedöma om förvaret uppfyller SSM:s kriterier avseende radiologisk risk.
- Tillräckligt detaljerad för att vi utifrån erfarenheter från analysen skall kunna dra slutsatser av betydelse avseende utformning av anläggningen.

Vilket medför bland annat att:

- Vissa egenskaper beskrivs ej i detalj (bortser från flödesbegränsande egenskaper hos kolli etc.).
- Vissa gynnsamma processer bortses ifrån (igensättning av sprickor, injektering).
- Framtida födovägar kan ses vara orealistiska ur dagens perspektiv.

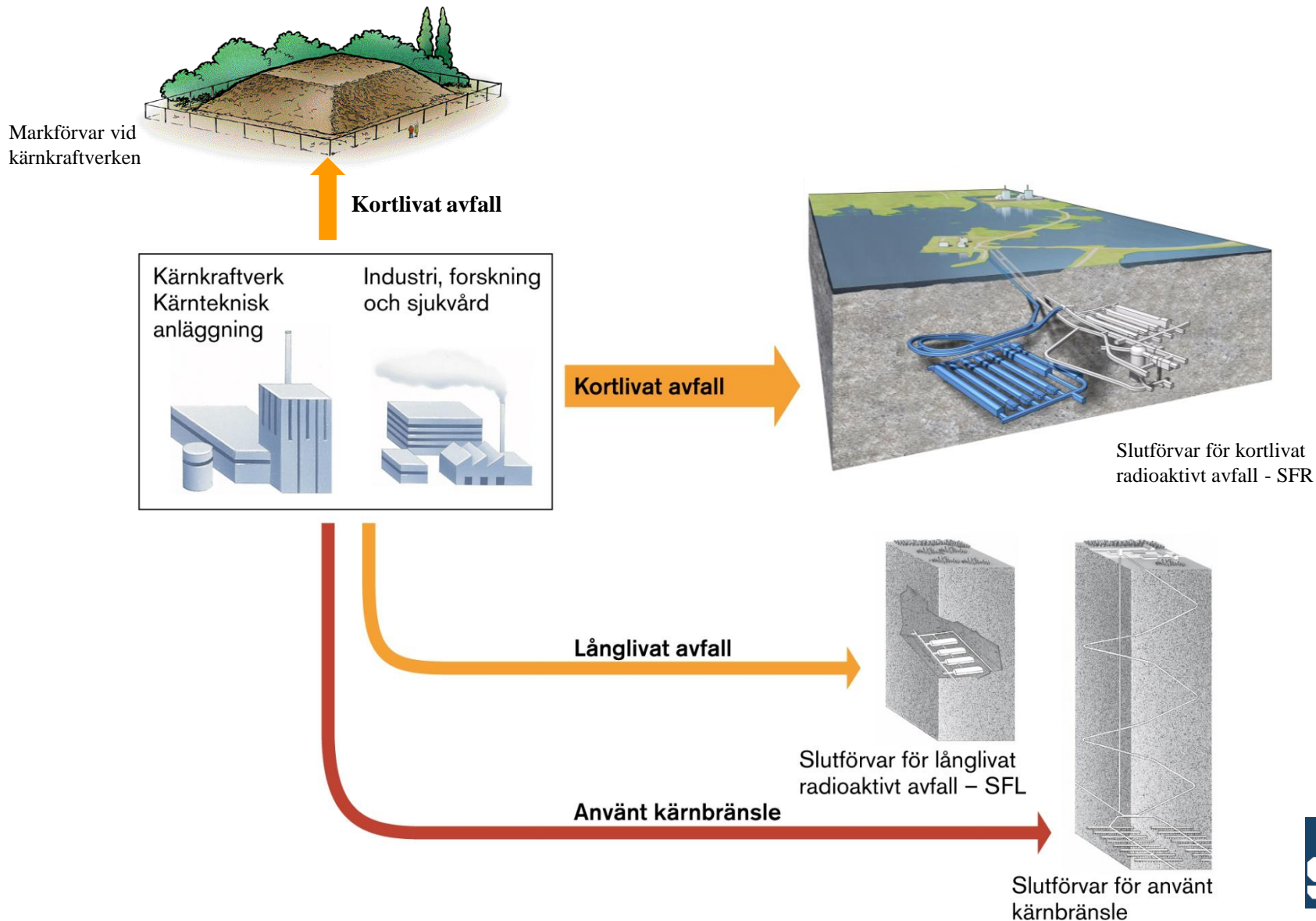
Krav på analysen (II)

Angående analysperiodens längd beskrivs i allmänna råd till SSMFS 2008:37:

Följande principer bör vara vägledande för riskanalysens begränsning i tiden:

- 1. För ett slutförvar för använt kärnbränsle, eller annat långlivat kärnavfall, bör riskanalysen åtminstone omfatta cirka hundrausen år eller tiden för en glaciationscykel för att belysa rimligt förutsägbara yttre påfrestningar på slutförvaret. Riskanalysen bör därefter utsträckas i tid så länge som den tillför betydelsefull information om möjligheten att förbättra slutförvarets skyddsförmåga, dock längst för en tidsrymd upp till en miljon år.*
- 2. För andra slutförvar för kärnavfall, än de som avses i punkt 1, bör riskanalysen åtminstone omfatta tiden fram till dess att de förväntade maximala konsekvenserna avseende risk och miljöpåverkan har inträffat, dock längst för en tidsrymd upp till hundrausen år. Argumenten för de valda begränsningarna av riskanalysen bör redovisas.*

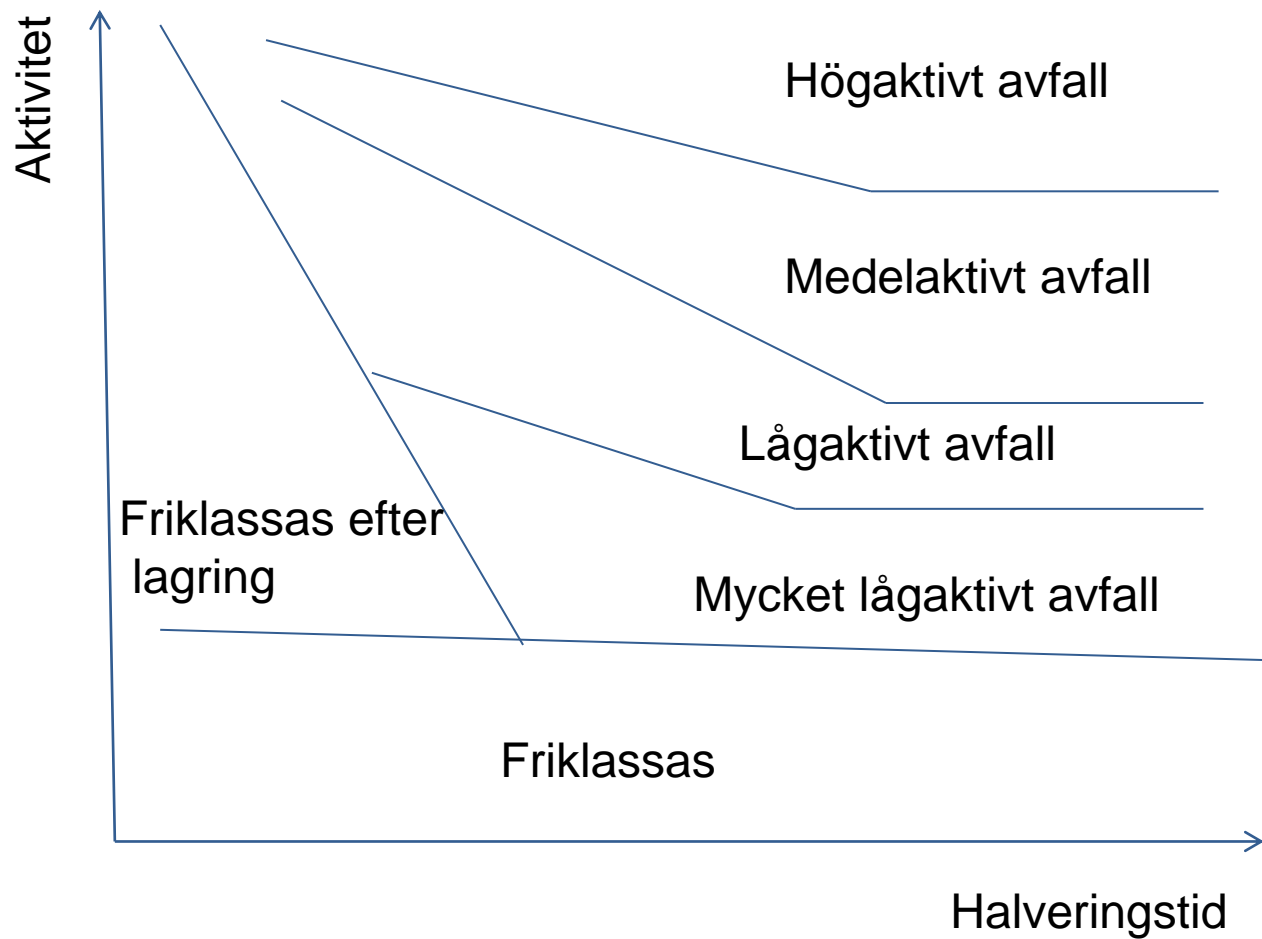
SFR:s roll i det svenska systemet



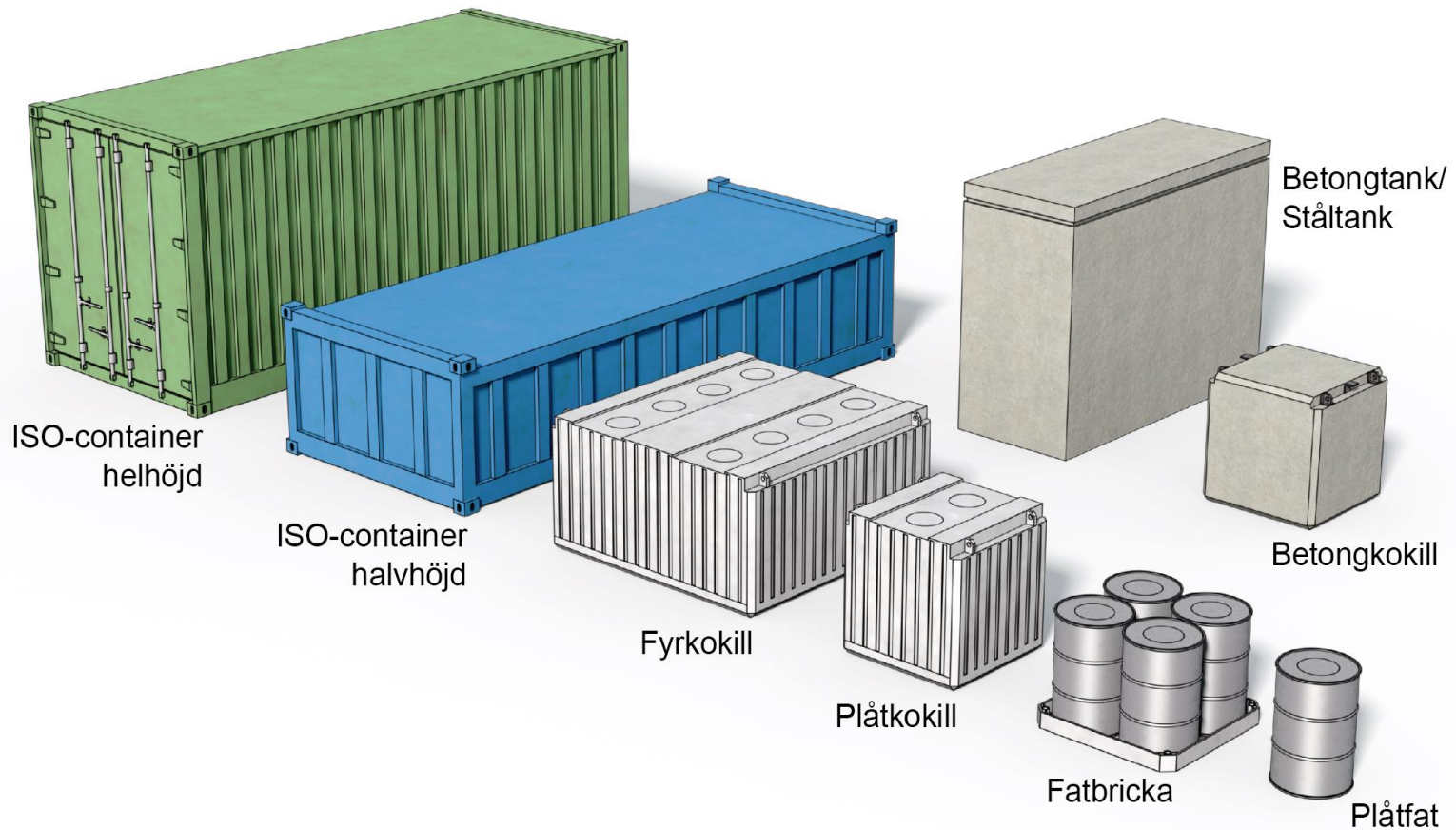
Säkerhetsprinciper efter förslutning för SFR

- Begränsad mängd radioaktivitet i avfallet (aktivitet, halveringstid).
- Fördröjning av uttransport.

Schematisk indelning av radioaktivt avfall



Avfall till anläggningen



Acceptanskriterier för avfall till SFR

- Konstruktion, geometri och dimensioner
- Vikt
- Märkning
- Innehåll av radionuklider
- Ytkontaminering
- Strålningspåverkan
- Radiologisk homogenitet
- Sammansättning och struktur
- Kemisk homogenitet
- Vätskor
- Korrosionsbeständighet
- Gasutveckling
- Brandbeständighet
- Kemisk reaktivitet
- Utlakning
- Miljöfarliga ämnen
- Hållfasthet mot yttre påverkan
- Inre mekanisk stabilitet

Aktivitet (radioaktivitet) och dos

Aktivitet

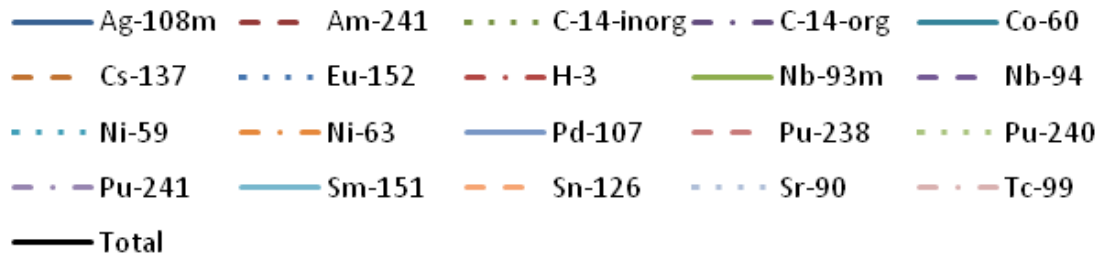
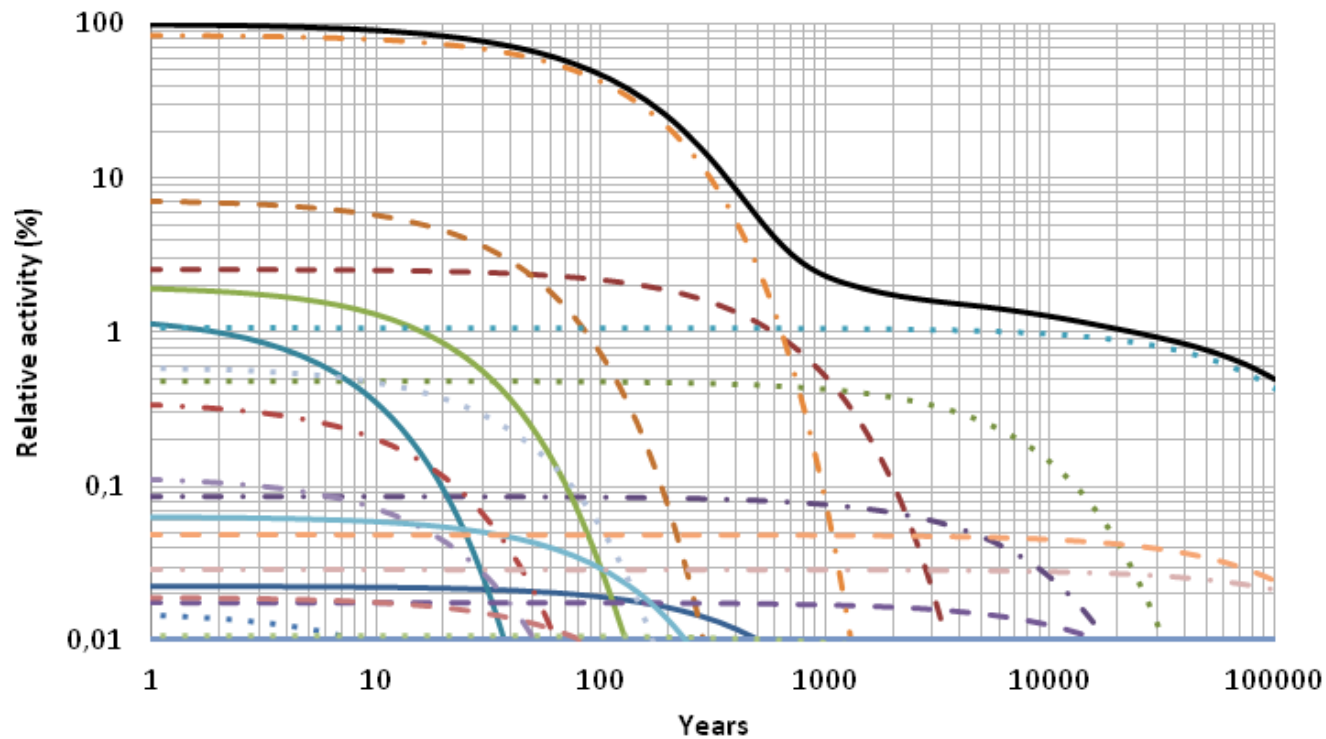
- SI-enheten för radioaktiv intensitet är becquerel (Bq).
- 1 Bq innebär 1 kärnsönderfall per sekund (alfa, beta, gamma).
- För samma antal atomkärnor har ett ämne med en kortare halveringstid högre aktivitet.
- Sönderfall under driftfasen.

Dos

- Aktivitet säger inget om sönderfallets farlighet. För detta används dos (Sv).

Notera "logaritmisk skala".

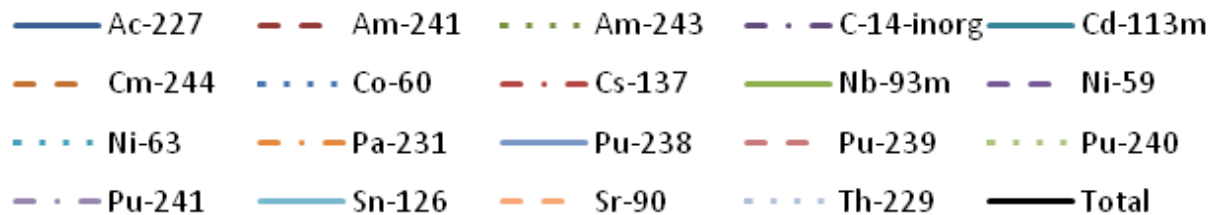
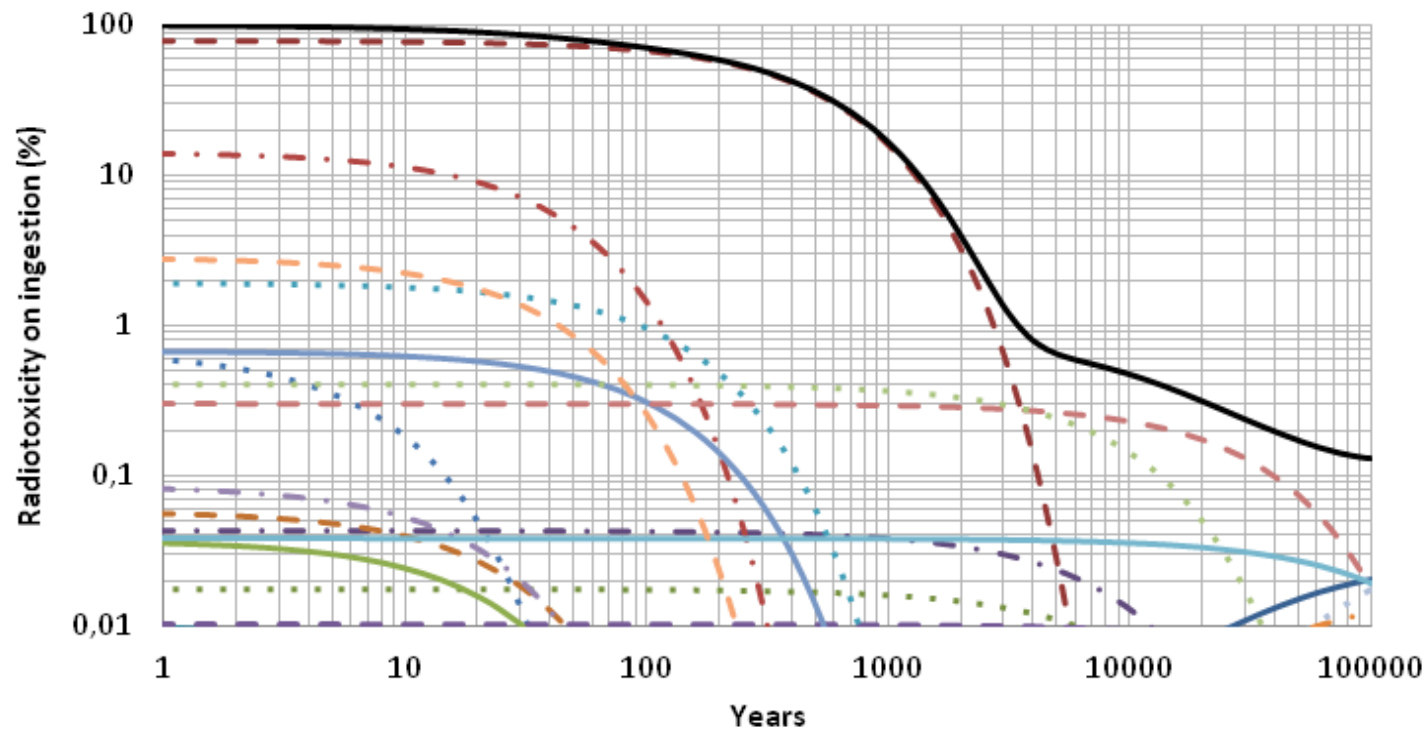
Aktivitet (efter förslutning) som funktion av tid



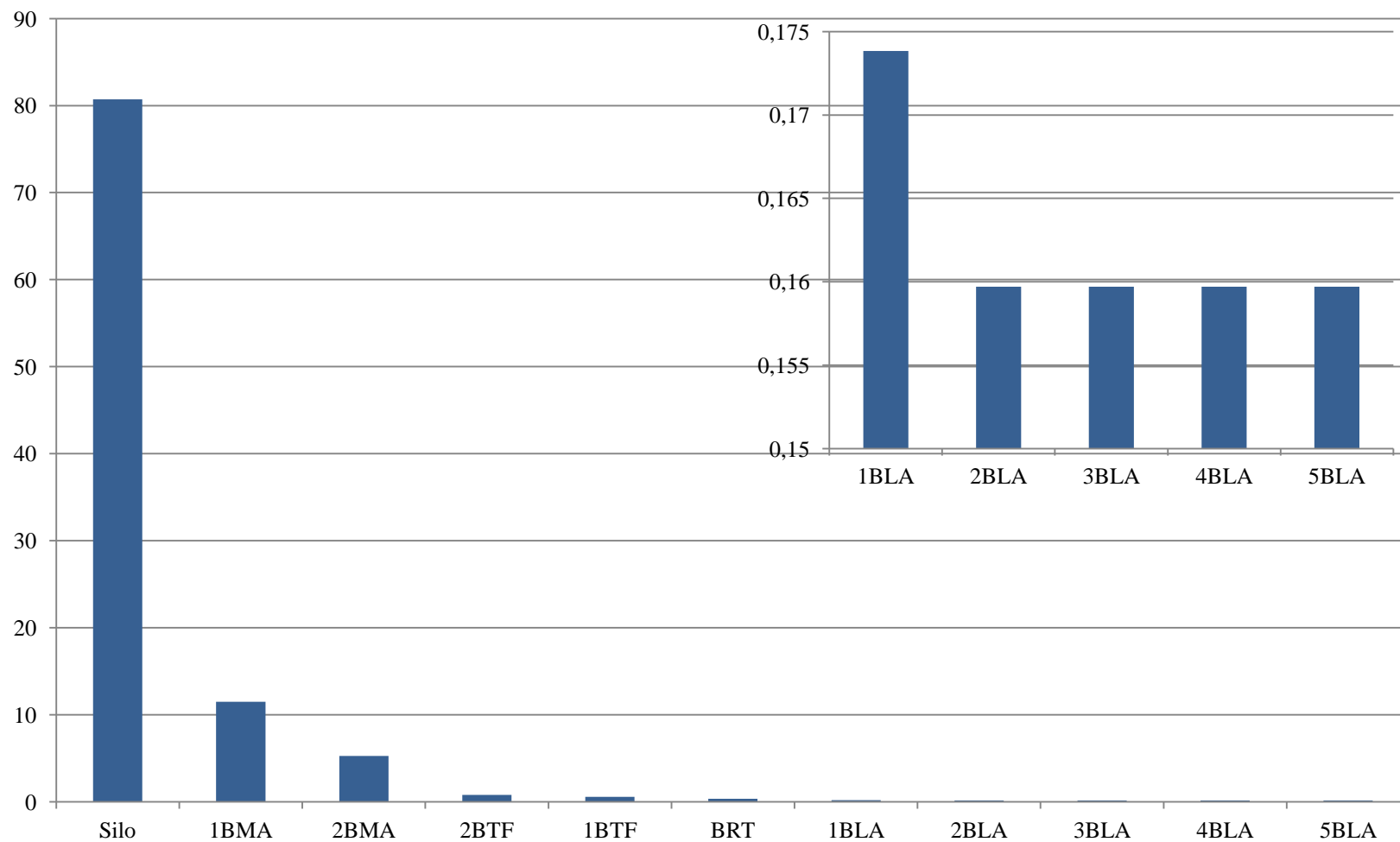
Radiotoxicitet

- För att få ett enkelt mått på farligheten hos avfallet beräknas den doskonsekvens som, i detta fall, direkt intag skulle ge.
- Ingen hänsyn tas till radionuklidernas rörlighet eller till barriärernas flödesbegränsande förmåga. Detta är alltså inte en analys av anläggningens säkerhet utan bara en analys av radionuklidinnehållet i det avfall som deponeras.
- En analys av radionuklidernas rörlighet och framtida doskonsekvens görs i de riskberäkningar som ingår i säkerhetsanalysen.

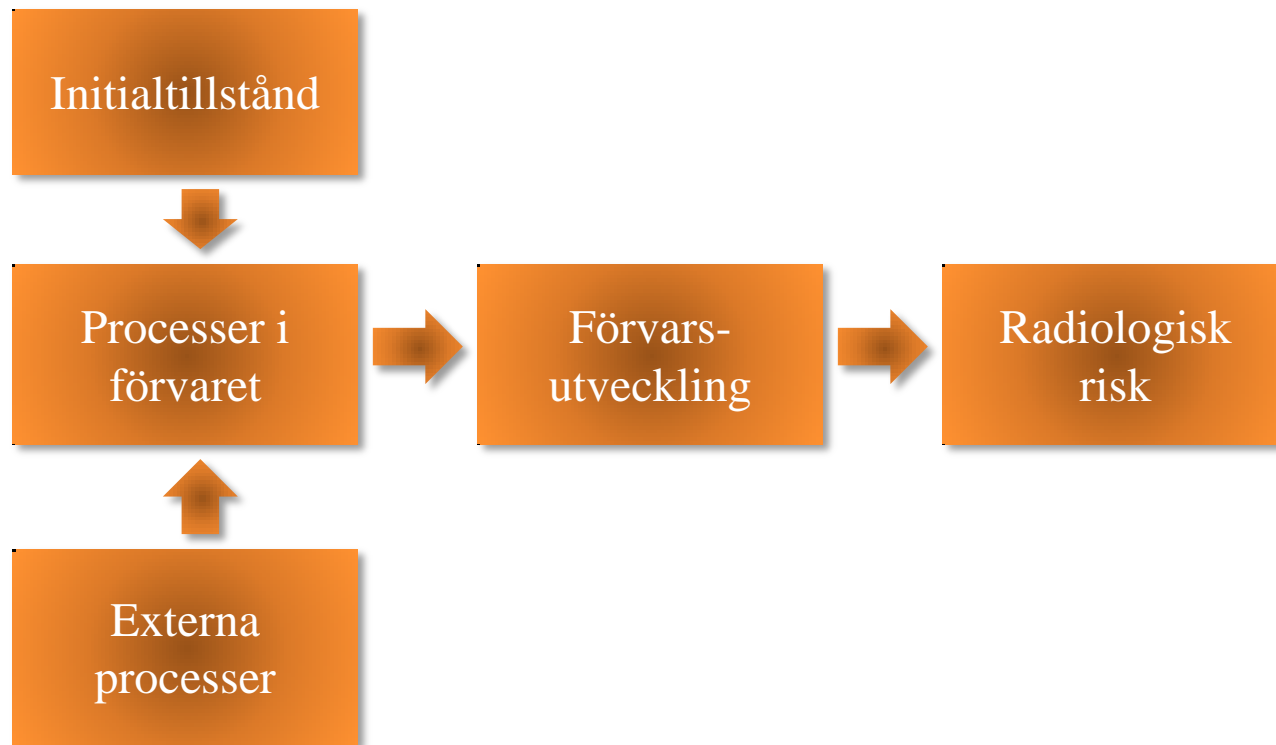
Radiotoxitet (efter förslutning)



Radiotoxicitet per förvarsdel vid förslutning



Hur görs en analys av långsiktig säkerhet?



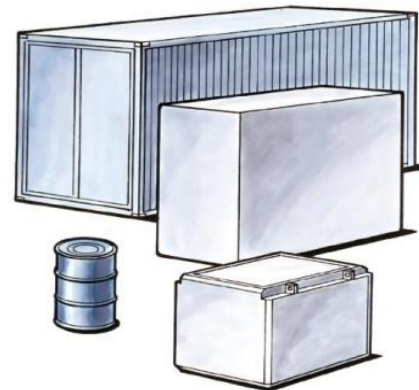
Initialtillstånd – Avfall och förvarsutformning (I)

- Kunskap om det avfall som deponerats:
 - Avfallstyper.
 - Nuklidinnehåll.
 - Materialmängder.
- Kunskap om förvarets utformning:
 - Vilka barriärer finns.
 - Placering av pluggar för att styra grundvattenflöde.
 - Återfyllnadsmaterial i olika delar av systemet.
- Kunskap om förvarets omgivningar:
 - Utförda platsundersökningar.

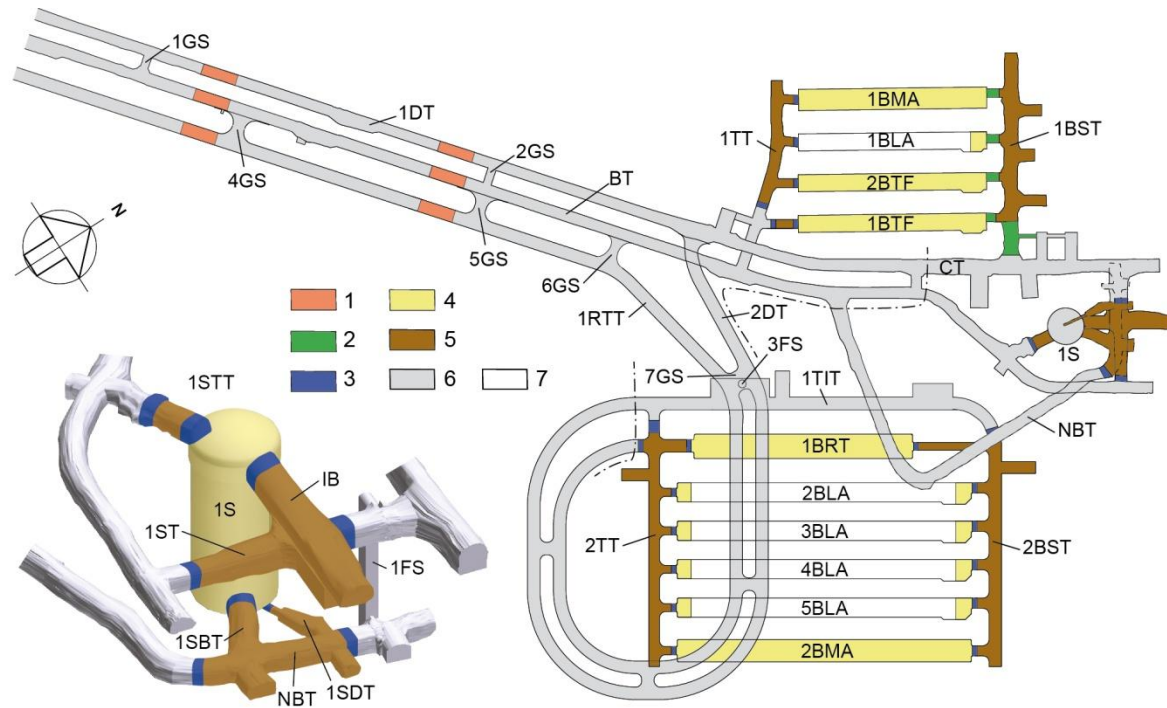
Initialtillstånd – Avfall och förvarsutformning (II)



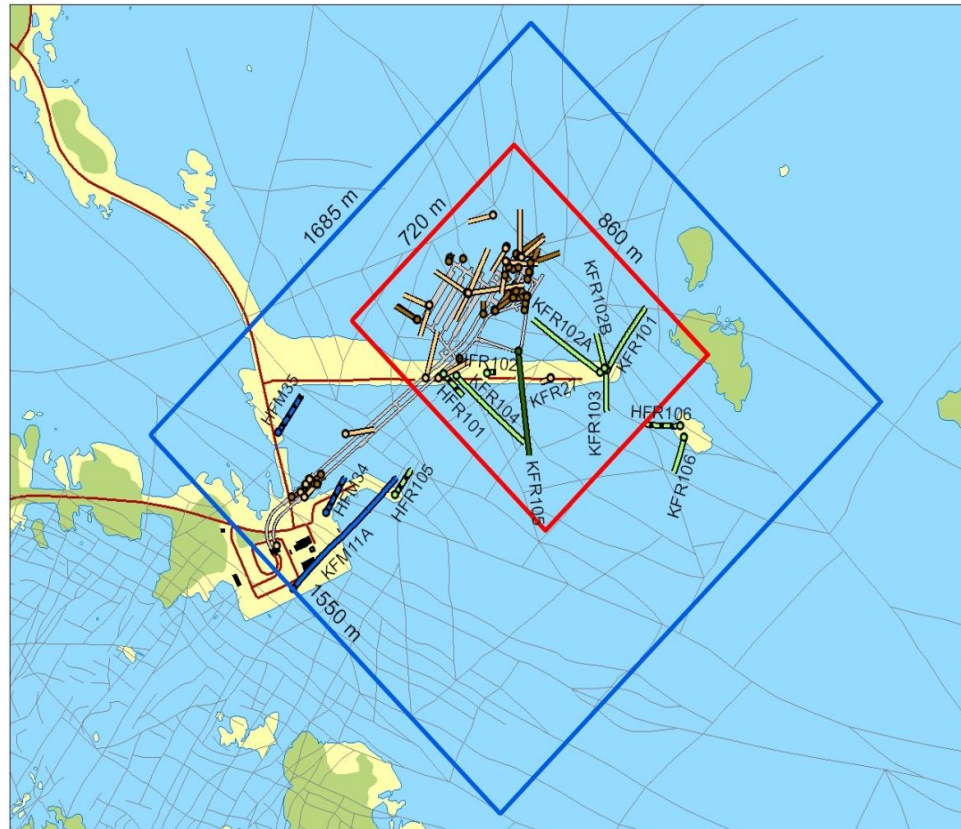
- Utformning av förvaret
- Avfall befintligt SFR
 - Ursprung
 - Materialtyper och förpackning
- Barriärernas egenskaper
 - Korrosion och framtida utveckling



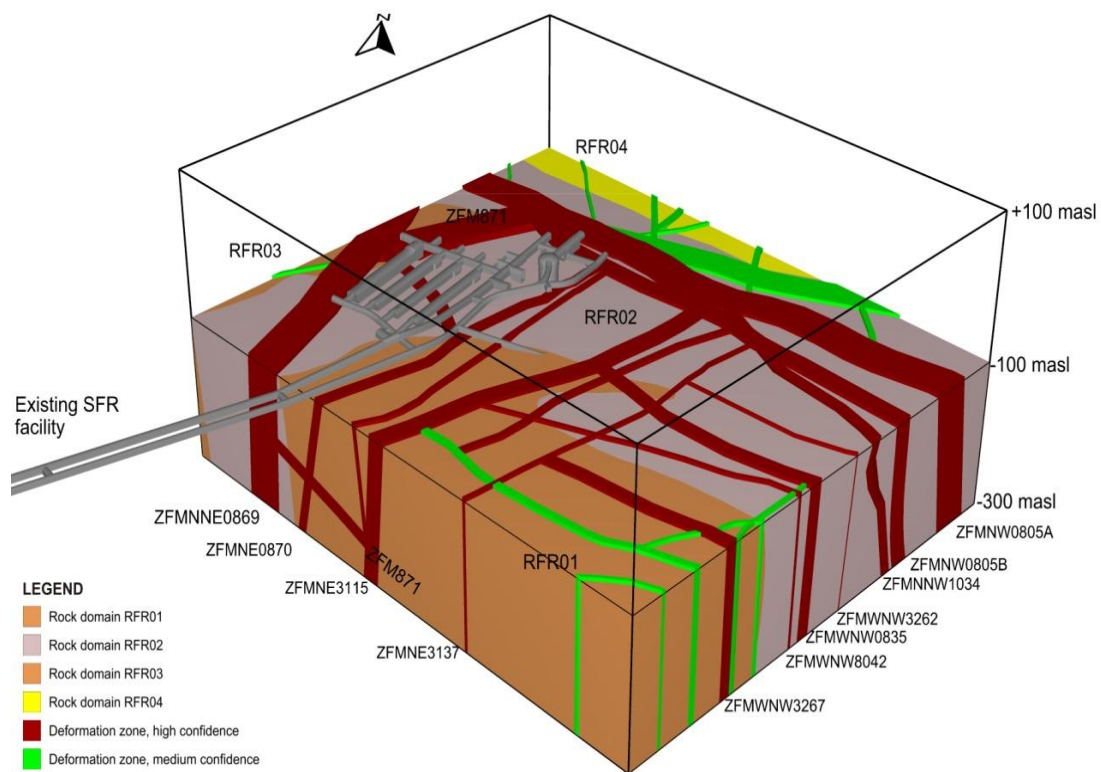
Initialtillstånd – Avfall och förvarsutformning (III)



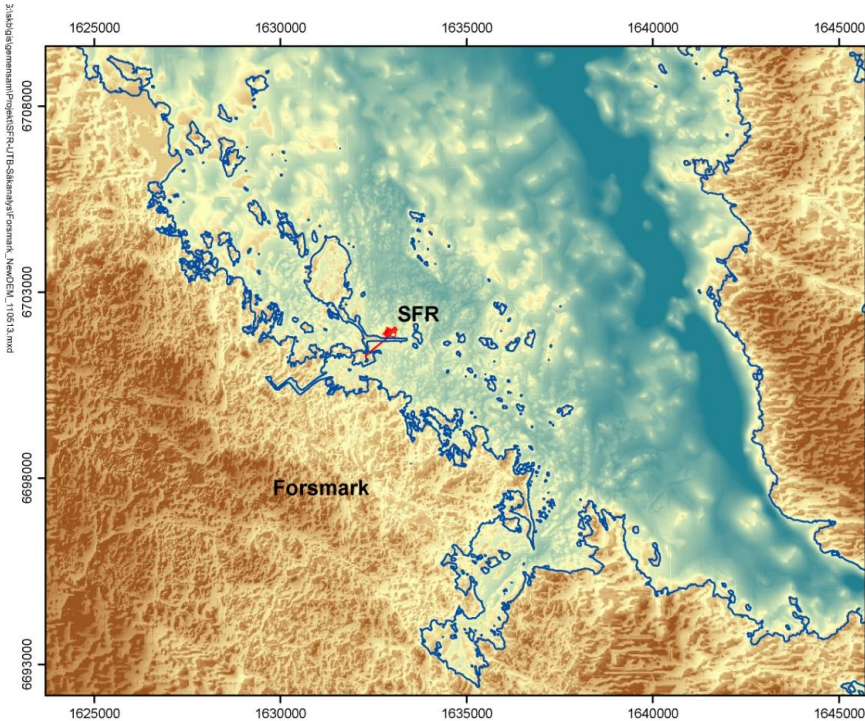
Initialtillstånd – Platsundersökningar



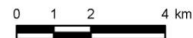
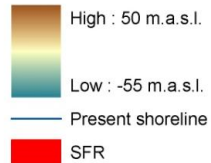
Initialtillstånd - Platsmodell



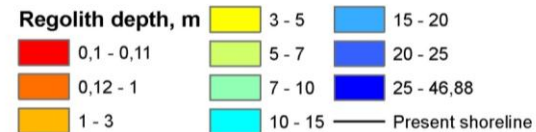
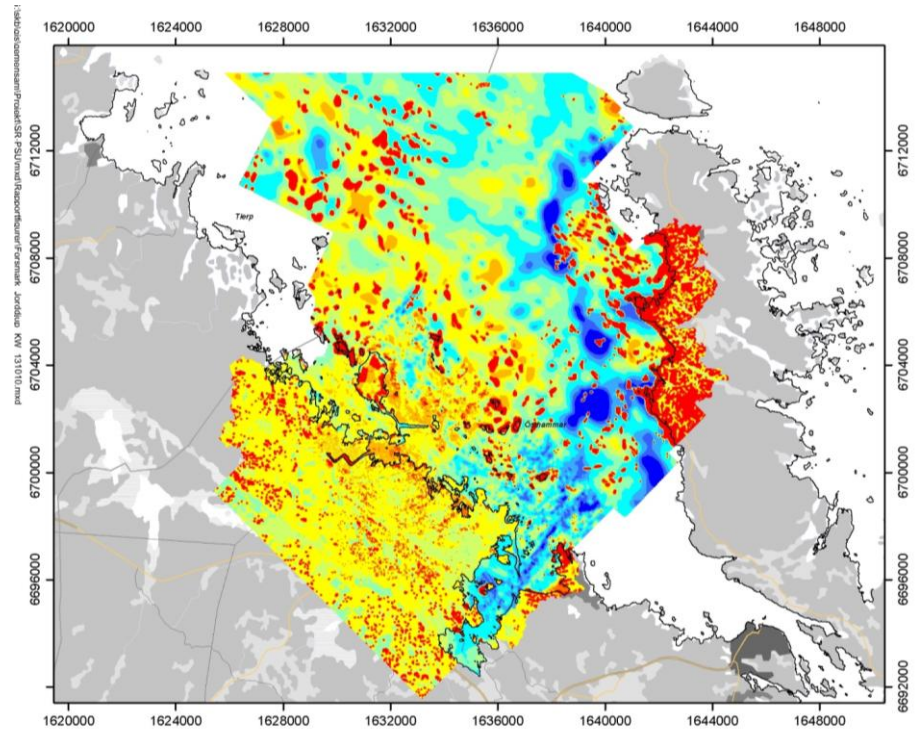
Initialtillstånd - Digital höjdmmodell och jorddjupsmodell



Digital elevation model (20x20 m)



Bakgrundskartor © SKB
SKB/hthf 2011-05-13 14:29



Koordinatsystem RT 90 2.5 gon V
Bakgrundskartor © Lantmateriet
SKB/hthf 2013-10-10 12:35



Externa processer

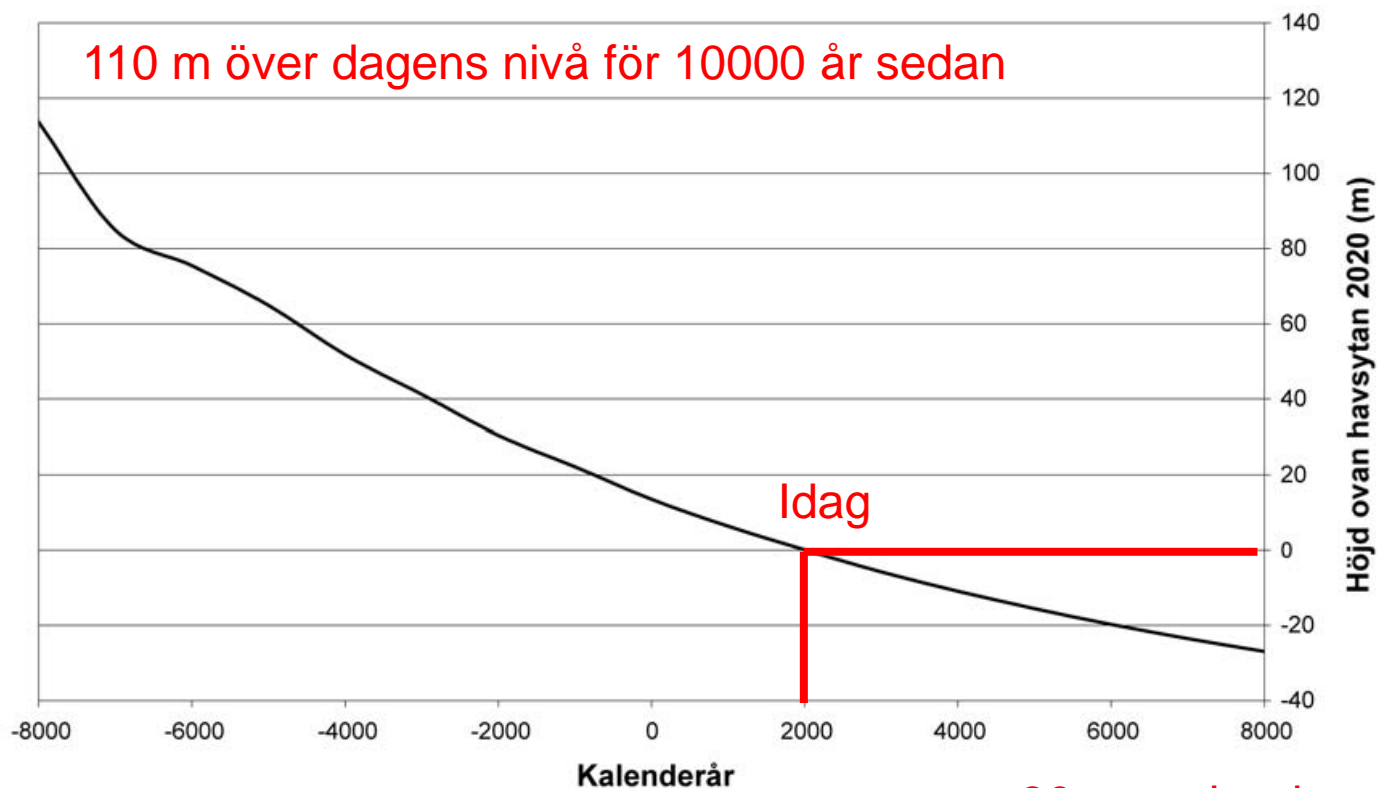
- Landhöjning

- Förvaret under hav eller under land.
- Vilka födovägar är aktuella vid olika tider.
- Hur förändras grundvattenflöde på platsen och i förvaret.
- Hur förändras grundvattensammansättningen.

- Klimatförändring

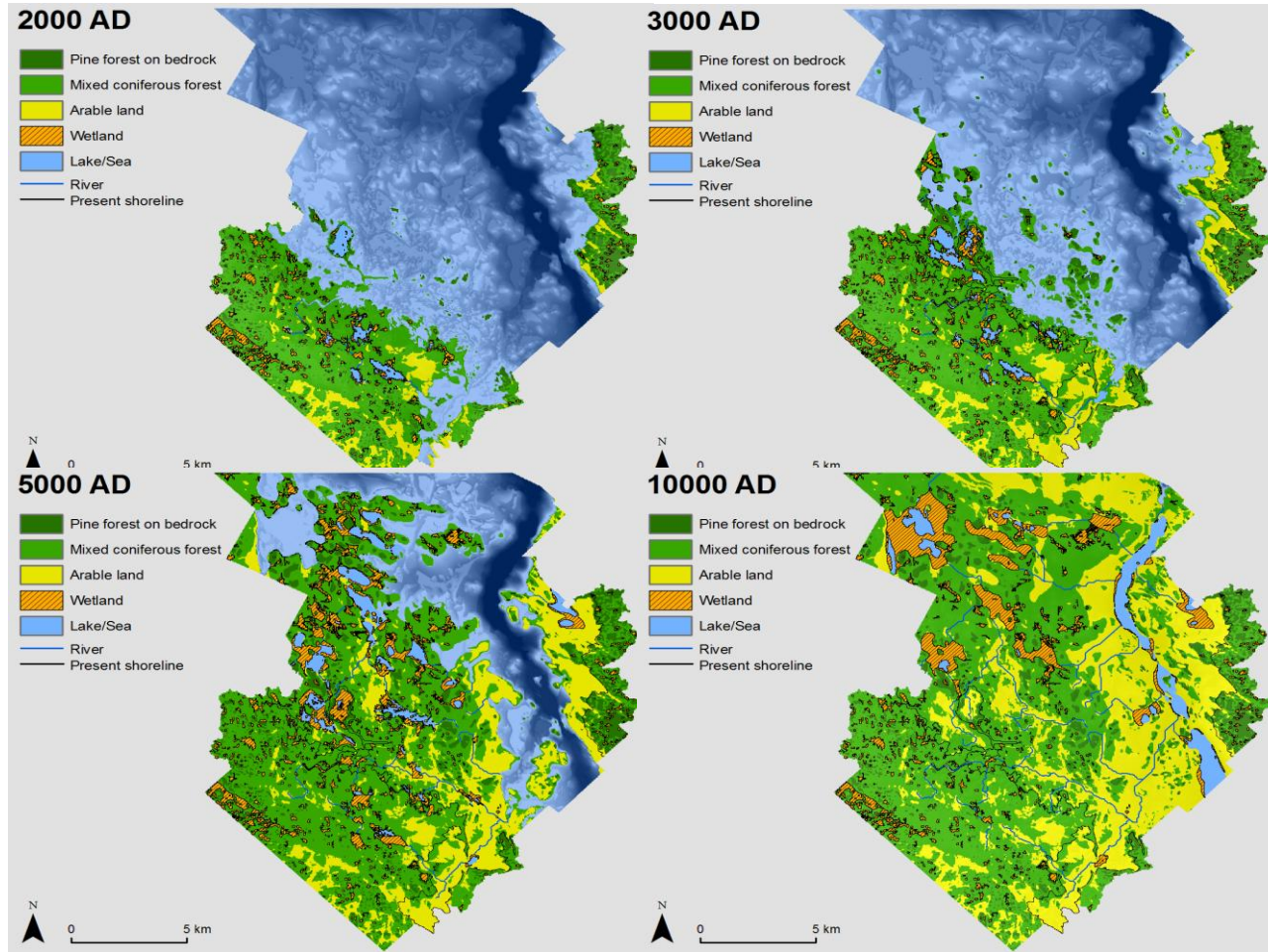
- Hur förändras havsytanivån.
- Framtida klimat i Forsmark (dagens klimat, permafrost, glaciation).
- Kommer betongkonstruktioner i förvaret att frysa, och i så fall när.

Havsytans förändring



30 m under dagens nivå om 6000 år

Förändring av landskapet ovan SFR



Hantering av klimat inom säkerhetsanalyser

- Klimatet är inte förutsägbart på tidsskalan 100 000 år (SFR) resp. 1 miljon år (Kärnbränsleförvaret).
- En spännvidd inom vilken framtida klimat och klimatrelaterade processer kan variera beskrivs.
- Ett antal framtida klimatutvecklingar identifieras och beskrivs med hjälp av information från klimatmodellering, naturliga klimatarkiv och processförståelse.

Olika frågeställningar i säkerhetsanalyser

Förvarskoncept:

Olika förvarsdjup

Olika barriärmaterial

Typ av avfall:

Olika radionuklidinventarium

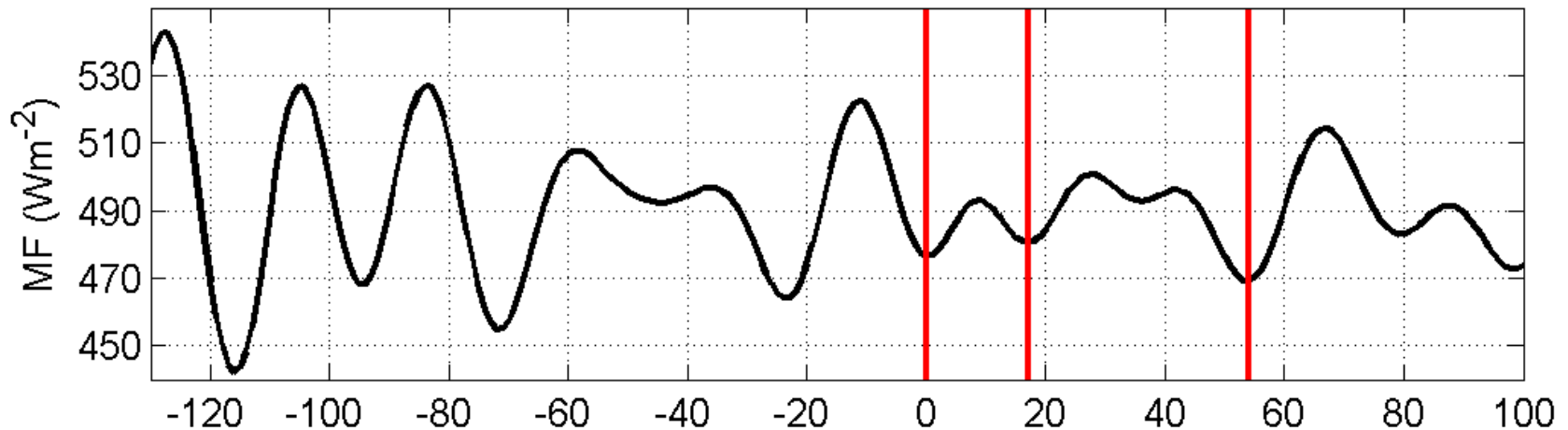
Olika total analysid (100 000 år, 1 000 000 år)

Kärnbränsleförvaret: Hur djupt kan permafrost maximalt bildas? (ej lika intressant för SFR)

SFR: När kan permafrost tidigast bildas i Forsmark? (ej lika intressant för Kärnbränsleförvaret)

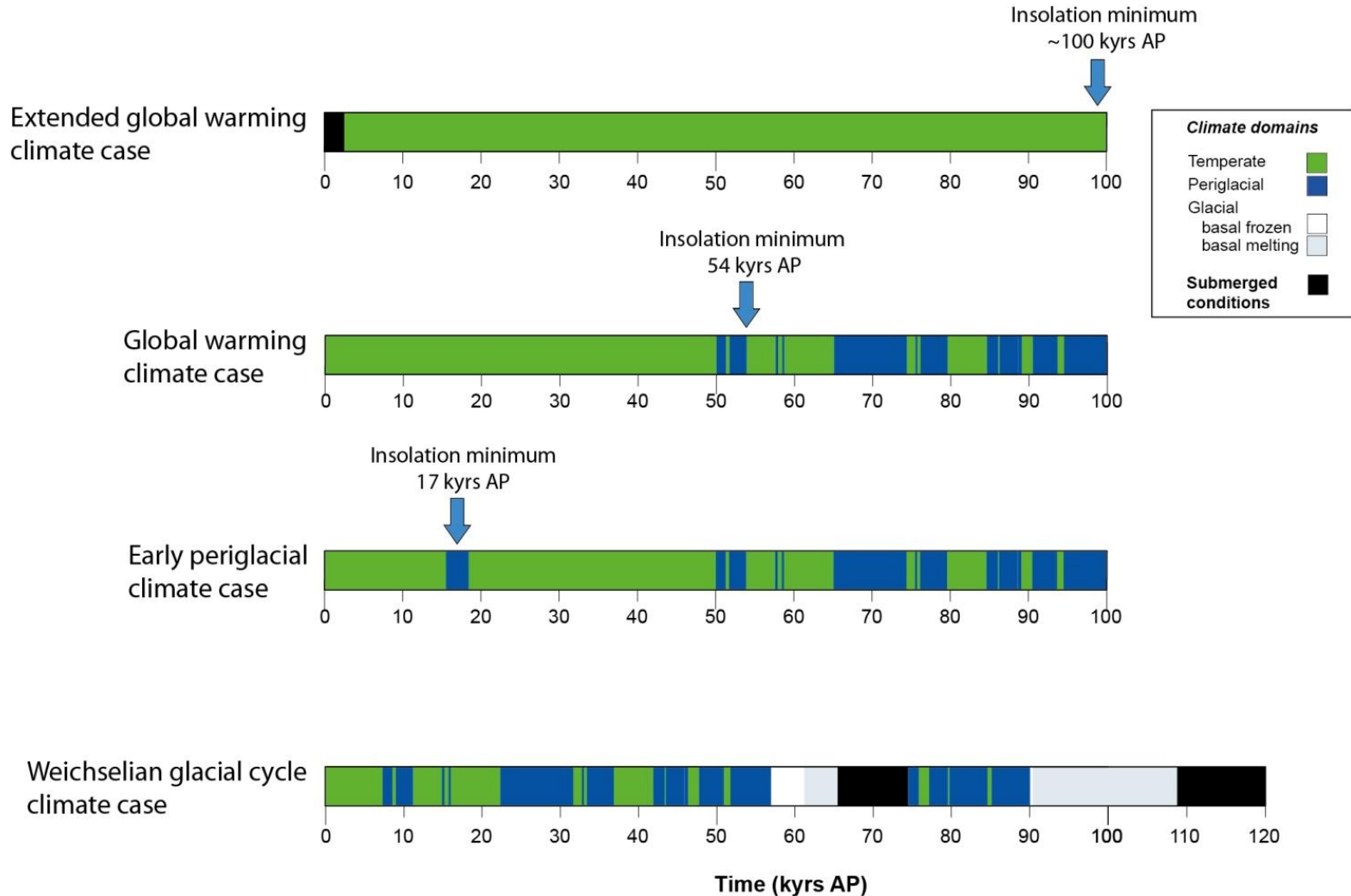
Olika klimatscenarier krävs för att besvara dessa frågor.

Utgångspunkt för hantering av klimatrelaterade processer



- Små variationer i inkommande solstrålning på höga breddgrader under kommande 100 000 åren.
- Förväntat hög CO₂ koncentration i atmosfären under kommande 10 000 åren.

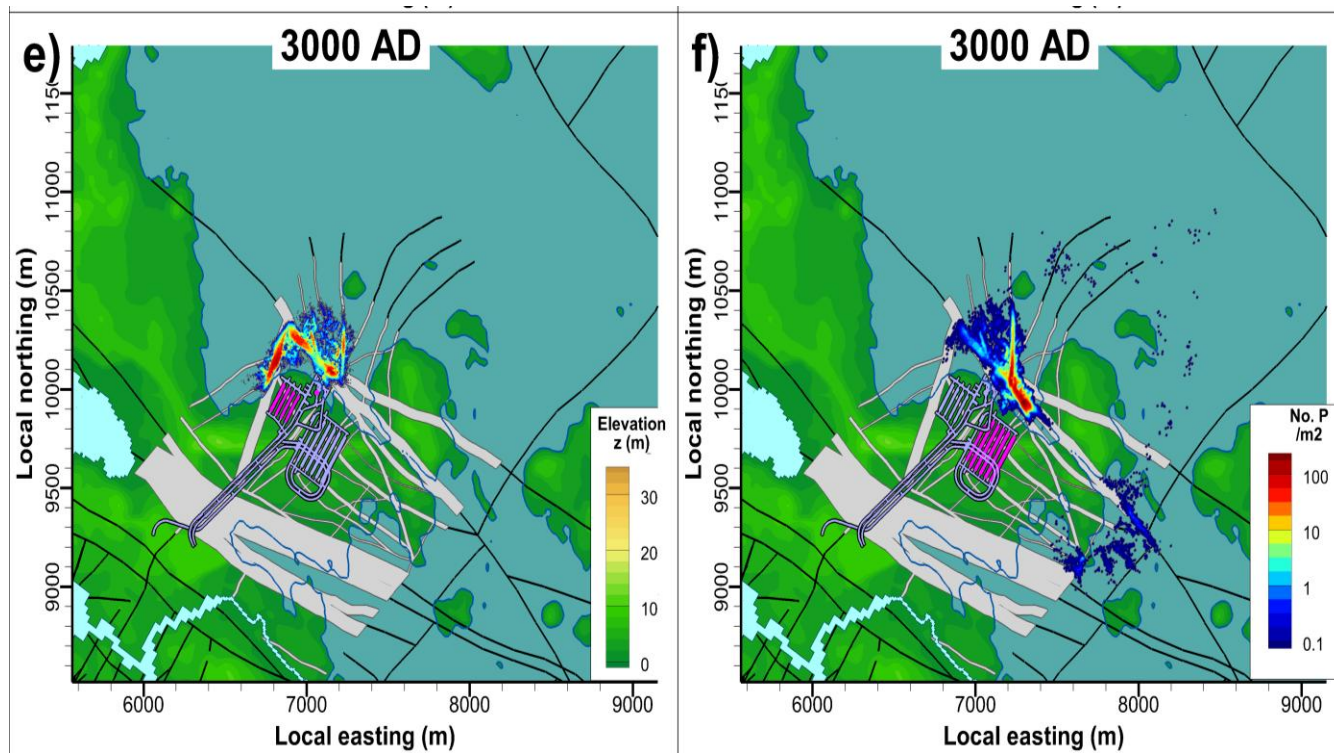
En spännvidd av framtida klimatutveckling



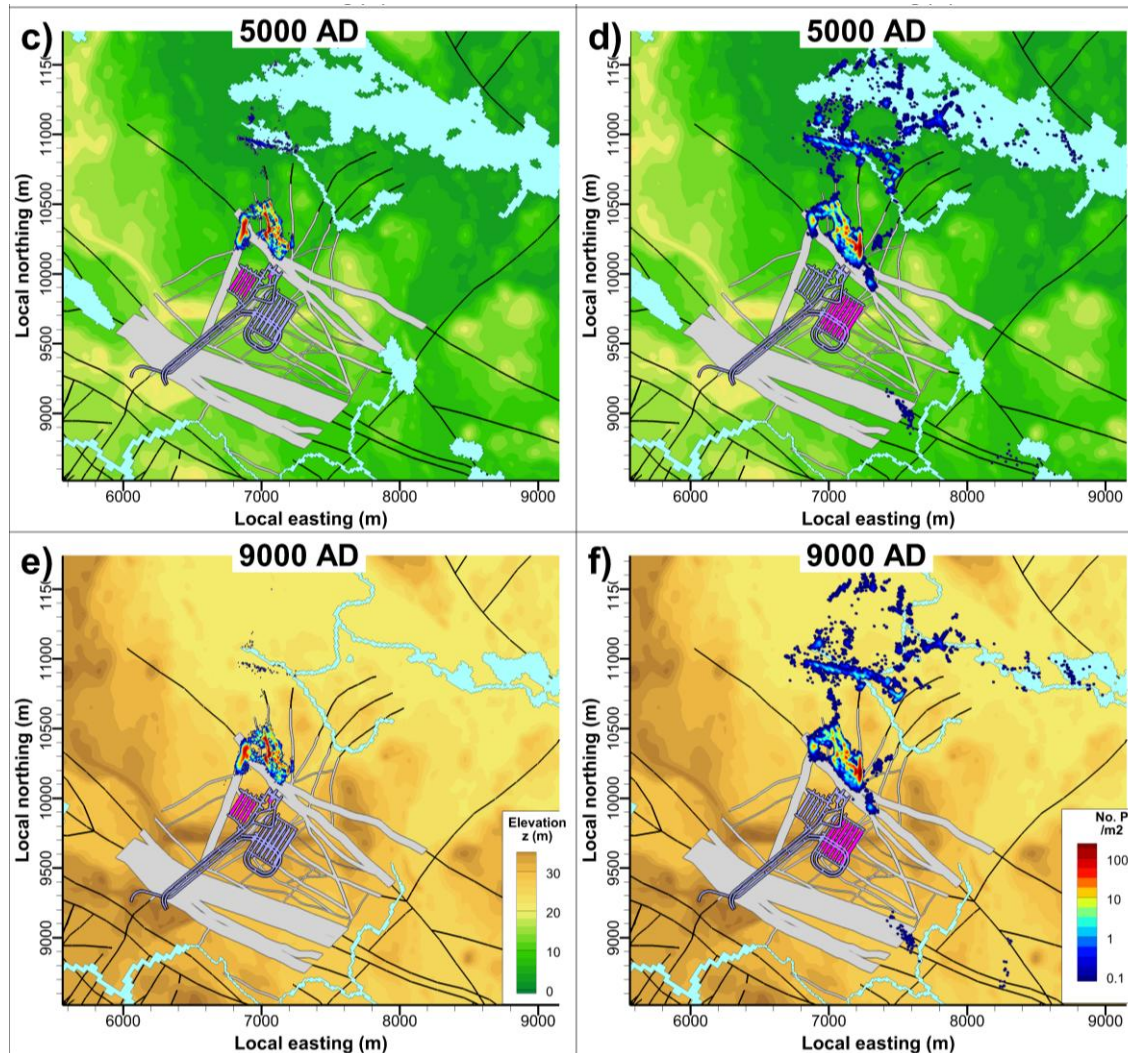
Interna processer

- Degradering av betong i förvaret.
- Korrosion av metall i förvaret genererar gas.
- Svällning av vissa avfallstyper.
- Bergutfall förändrar geometri.
- Jordskalv i området.
- Uppsprickning av betong.
- Ändrade kemiska förhållanden i förvaret.

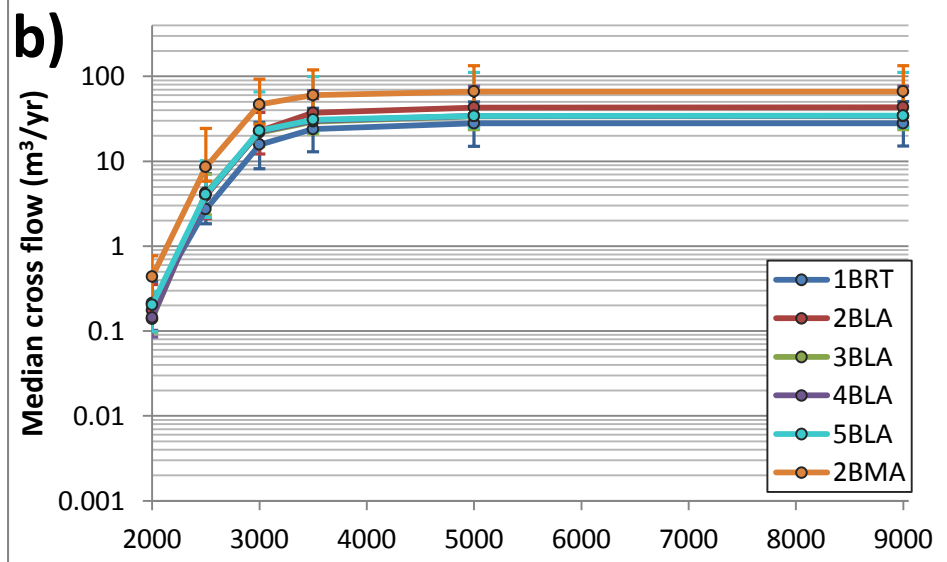
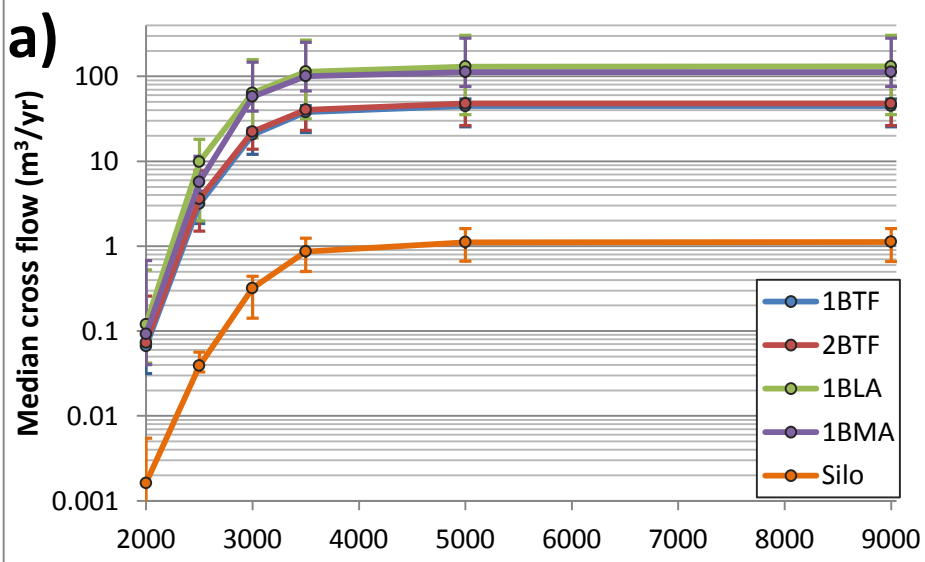
Vatten genom förvaret (I)



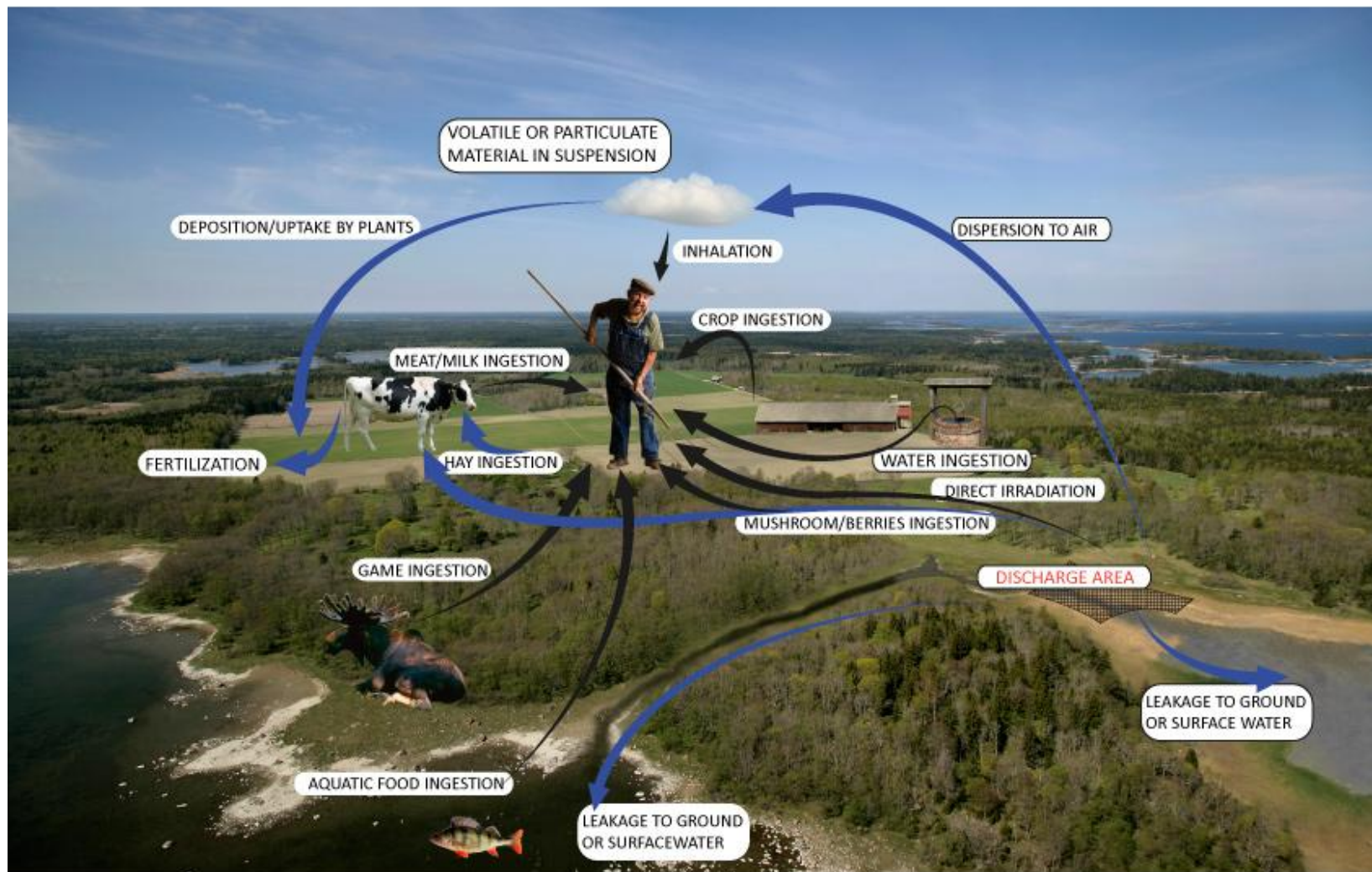
Vatten genom förvaret (II)



Beräknade vatteninflöden per förvarsdel



Människans exponering – olika exponeringsvägar



Människans exponering – mest exponerad grupp

Olika exponeringsvägar är viktiga för olika radionuklider och därför kan olika utnyttjande av ytsystemet ge mest exponering beroende på vilka radionuklider som ingår i en säkerhetsanalys. För att täcka in den mest exponerade gruppen har 4 olika typer markanvändningsscenarioer identifierats. De är tänkta att spegla möjlig framtida markanvändning men baseras på historiska eller nutida kulturer för att få realistiska och fysiologiskt möjliga kombinationer av exponering.

1. Jägare/samlare
2. Inägo-utmarksjordbrukare
3. Industrijordbrukare
4. Hushåll med
trädgårdsodling



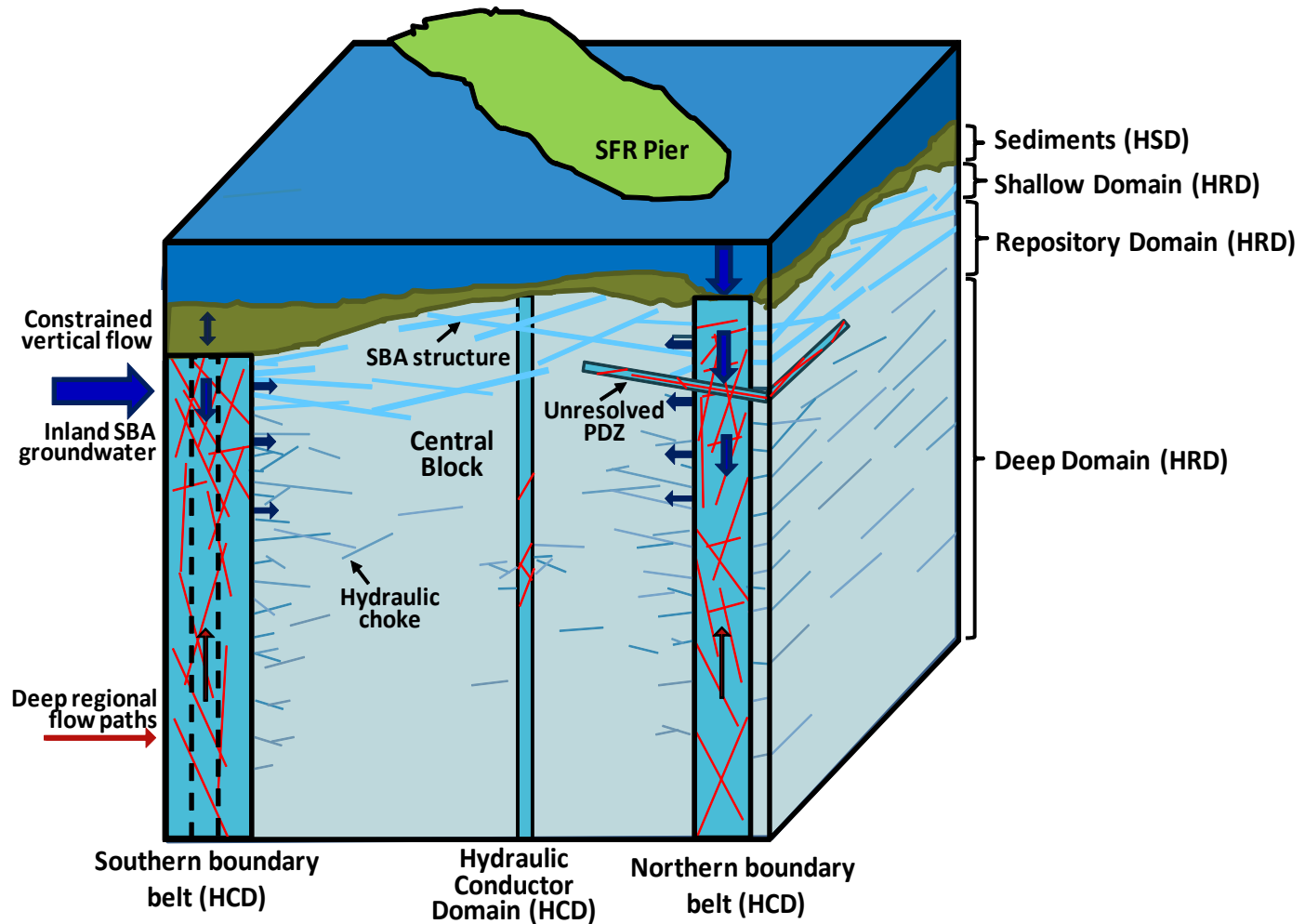
Säkerhetsanalysens roll vid lokalisering

Säkerhetsfunktion (vad vill uppnås)	Säkerhetsfunktionsindikator (vad mäts/beräknas)	Metod för att uppnå säkerhetsfunktion
Lågt flöde i förvarsdelar	a) Låg seismisk aktivitet	Lokalisering (plats i landet)
	e) Låg risk för permafrost	Förvarsutformning (djup, plats i landet)
Lågt flöde i berggrunden	a) Låg seismisk aktivitet och ej förläggning inom regionala deformationszoner	Lokalisering (plats i landet)
	b) Låg hydraulisk gradient i berggrunden	Lokalisering (djup, plats i landet)
	c) Låg hydraulisk konduktivitet i berggrunden	Lokalisering (djup, plats i landet)
Undvika oavsiktligt intrång	a) Låg risk för brunnsborrning	Förvarsutformning(djup, plats i landet)
	b) Låg malmpotential	Lokalisering (plats i landet)

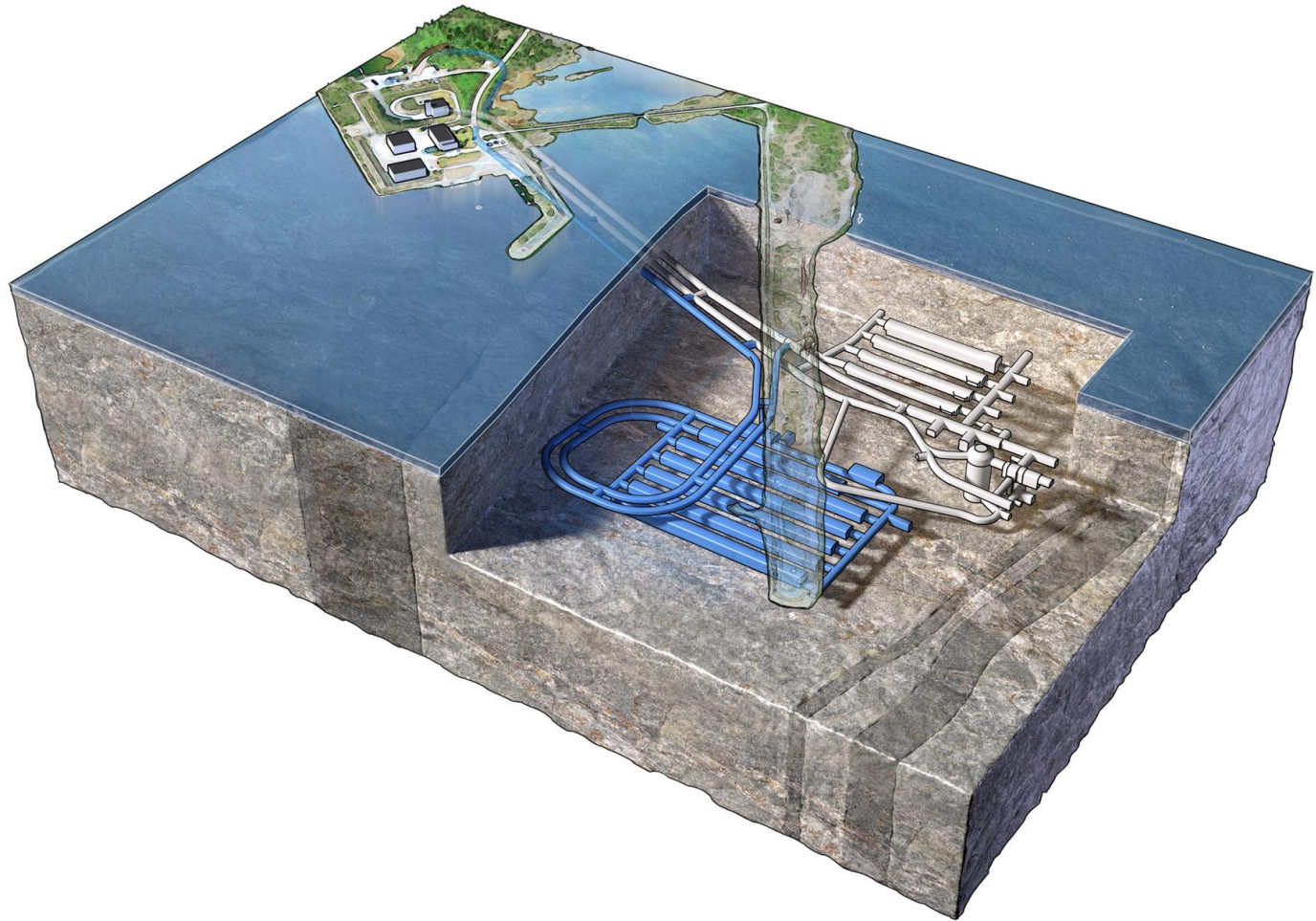
Säkerhetsanalysens roll vid val av djup

- Viktigare fråga än vilket djup – vad vill vi uppnå med djupval?
- Faktorer av betydelse (för långsiktig säkerhet) vid val av djup för ett förvar för kortlivat låg- och medelaktivt avfall:
 - Sönderfrysning av förvaret.
 - Intrång via brunnsborring.
 - Gynsamma hydrauliska förhållanden.

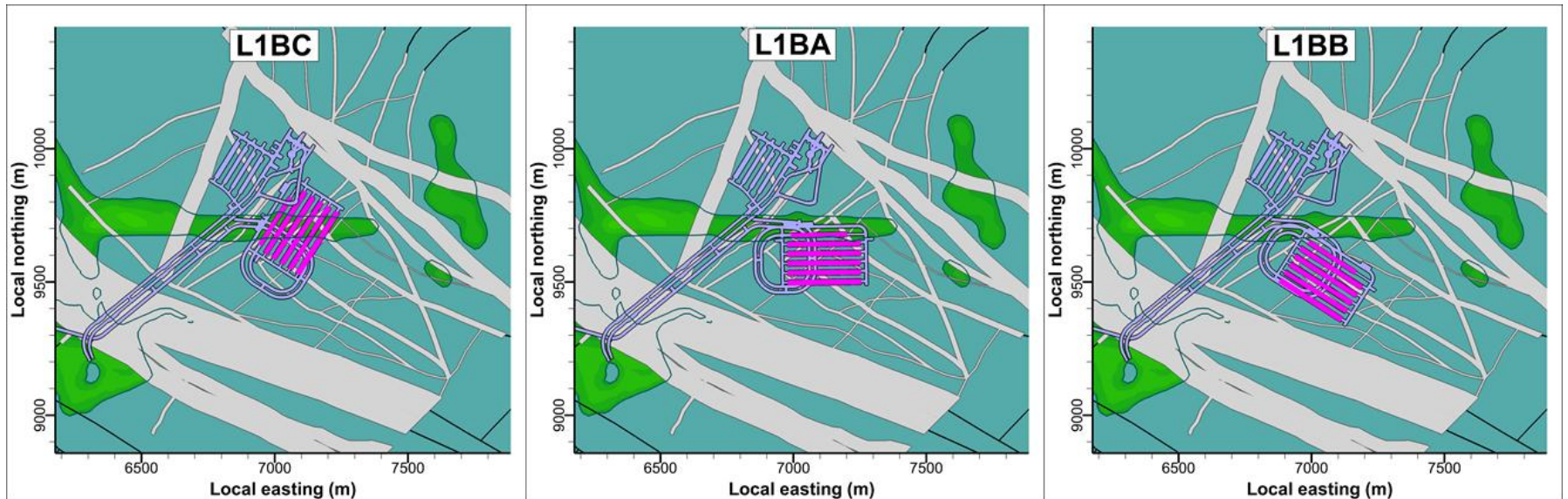
Hydrogeologi



Val av djup



Orientering av anläggningen och betydelse av pir



Säkerhetsanalys och avfall

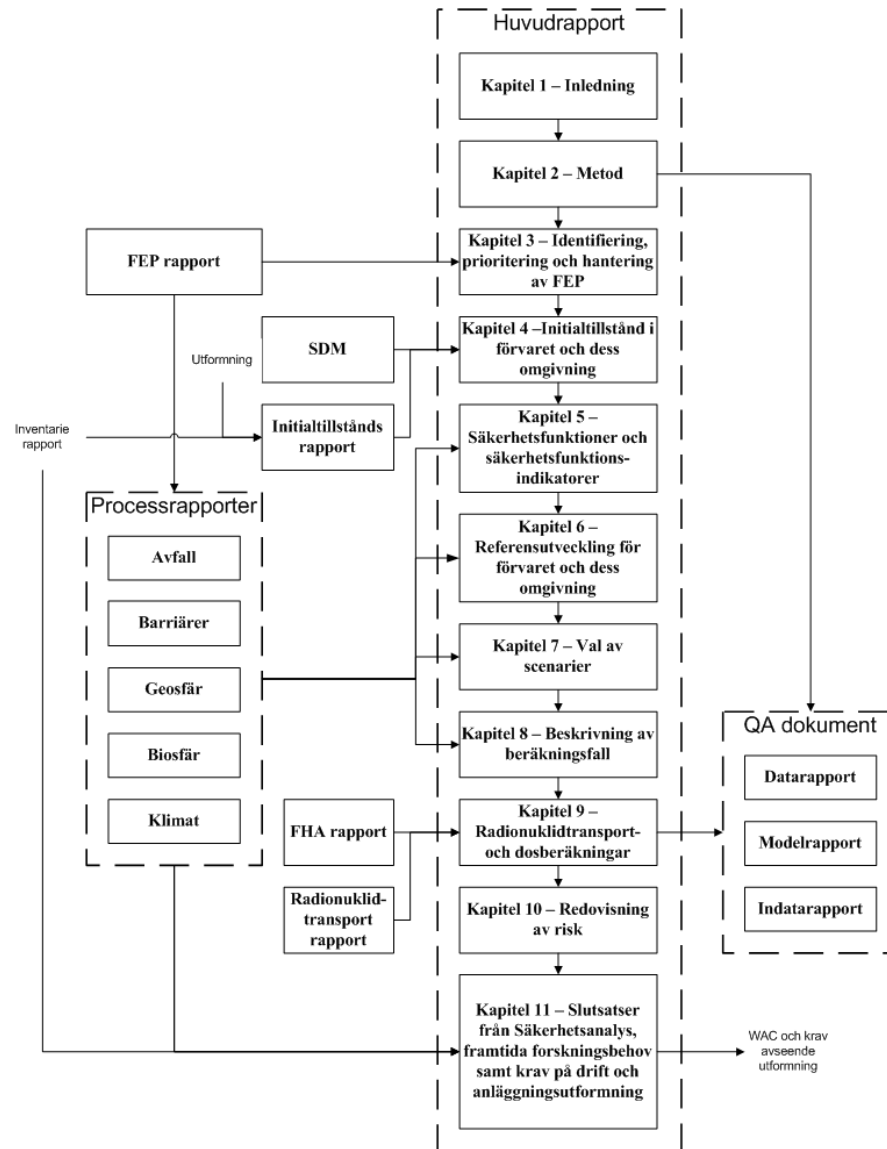
Analys av långsiktig säkerhet används för att ställa upp acceptanskriterier för det avfall som deponeras i anläggningen. Säkerhetsanalysen beaktar och påverkar:

- Radionuklidinnehåll (aktivitet och halveringstid).
- Förpackning.
- Deponeringsstrategi (vilket avfall i vilket förvarsutrymme).
- Innehåll av icke radioaktiva ämnen som kan påverka nuklidens rörlighet.
- Avfallets påverkan på förvaret.

Säkerhetsanalysens roll i tillståndsprövningen



Dokument som ingår i prövningen



Slutsatser

Förläggingsplats, utformning, bygge och drift av slutförvaret och tillhörande systemkomponenter har valts för att förhindra, begränsa och fördröja utsläpp från både tekniska och geologiska barriärer så långt som är rimligt möjligt.

- I lokaliseringsutredningen har flera alternativa lokaliseringar studerats. Ingen är bättre än den valda ur perspektivet långsiktig säkerhet.
- Ett djup, där hänsyn tas till avfallets egenskaper och förvarets utformning, har valts utifrån platsens förutsättningar.
- En utformning som förhindrar, begränsar och fördröjer utsläpp har valts.

Som del av tillståndsprövningsprocessen utvärderas hur säkerhetsanalysen uppfyller myndighetens krav.