



**Strål
säkerhets
myndigheten**
Swedish Radiation Safety Authority

Kopparprocesser - sammanfattning

2016-05-02



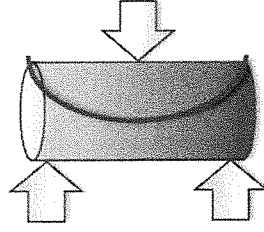
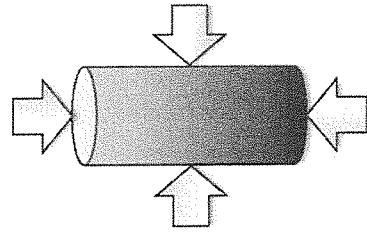
Belastningsfall

FÖRSKJUTNINGSSTYRDA FALL

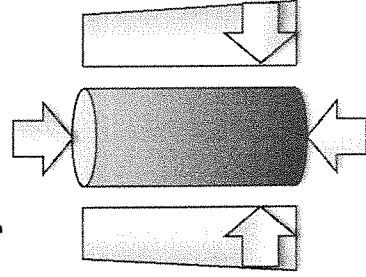
1) Svälltryck 15 MPa

2) Isttryck 45 MPa

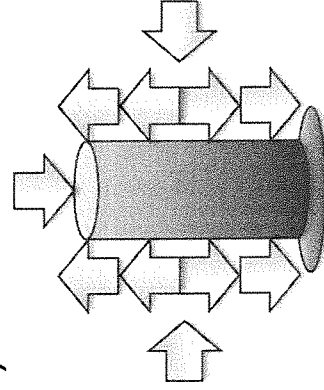
4) Böjning



3) Ojämnt svälltryck

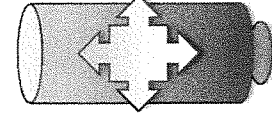
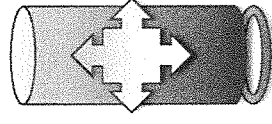


5) Friktion

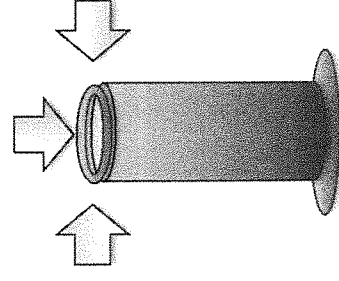


LASTSTYRDA FALL

6) Internt övertryck 0,5 MPa och temperatur



7) Belastad lock





Beräknade fall 1 Korrosion 1/4

Fall Gropfrätning – mest troliga

År	300	6 000	50 000	100 000	Riskkriteriet
Antal skadade kapslar	1	8	16		
Dos [μ Sv/år]	0,69	0,4	0,64	<14	

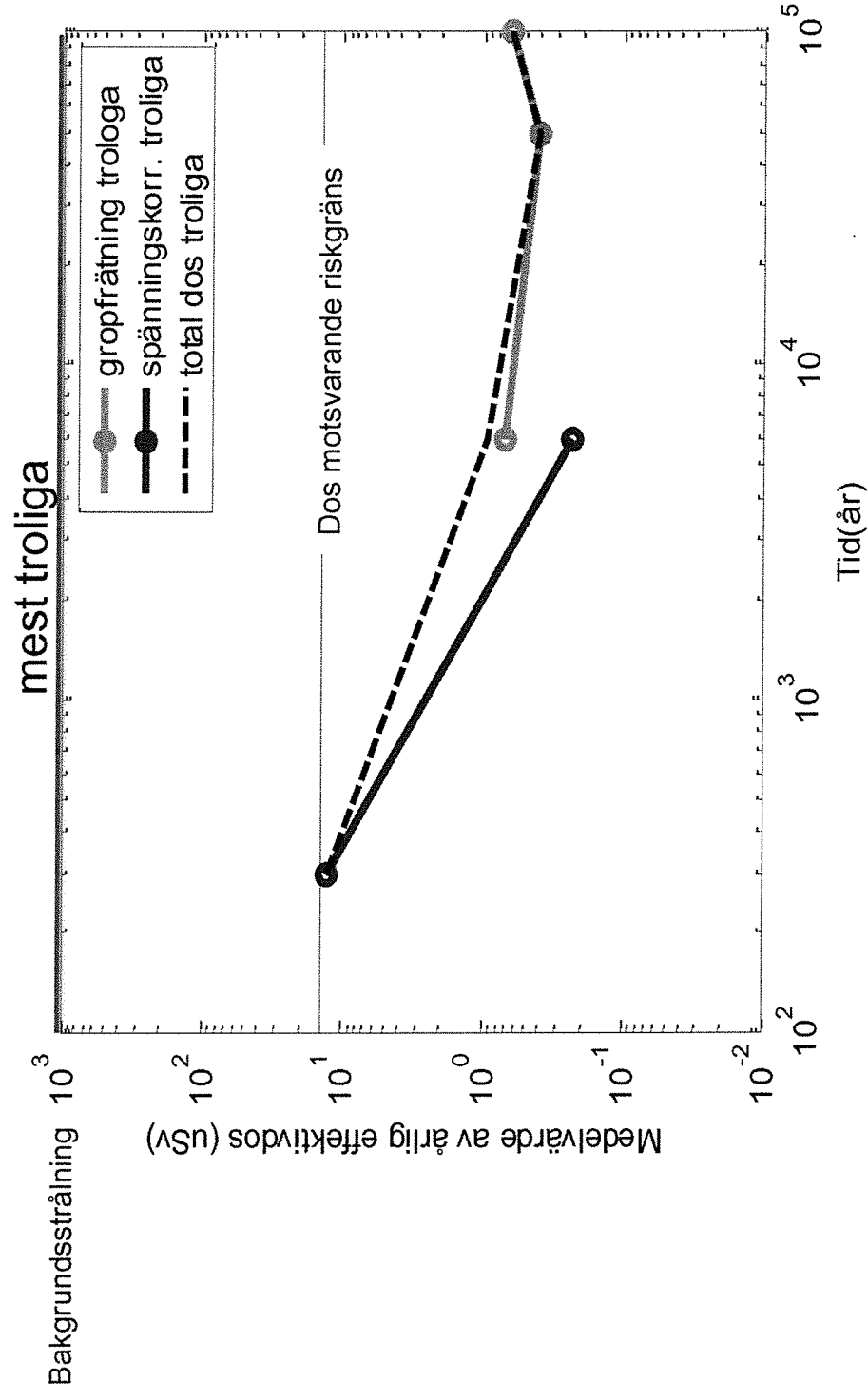
Fall Spänningskorrosion – mest troliga

År	300	6 000	50 000	100 000	Riskkriteriet
Antal skadade kapslar	25	3			
Dos [μ Sv/år]	12,78	0,23		<14	



Beräknade fall 1 Korrosion

2/4





Beräknade fall 1 Korrosion 3/4

Fall 1 Gropfrätning – mest extrema

År	300	6 000	50 000	100 000	Risikkriteriet
Antal skadade kapslar	0	1	70	50	
Dos [μ Sv/år]	0	0,69	3,5	2,0	<14

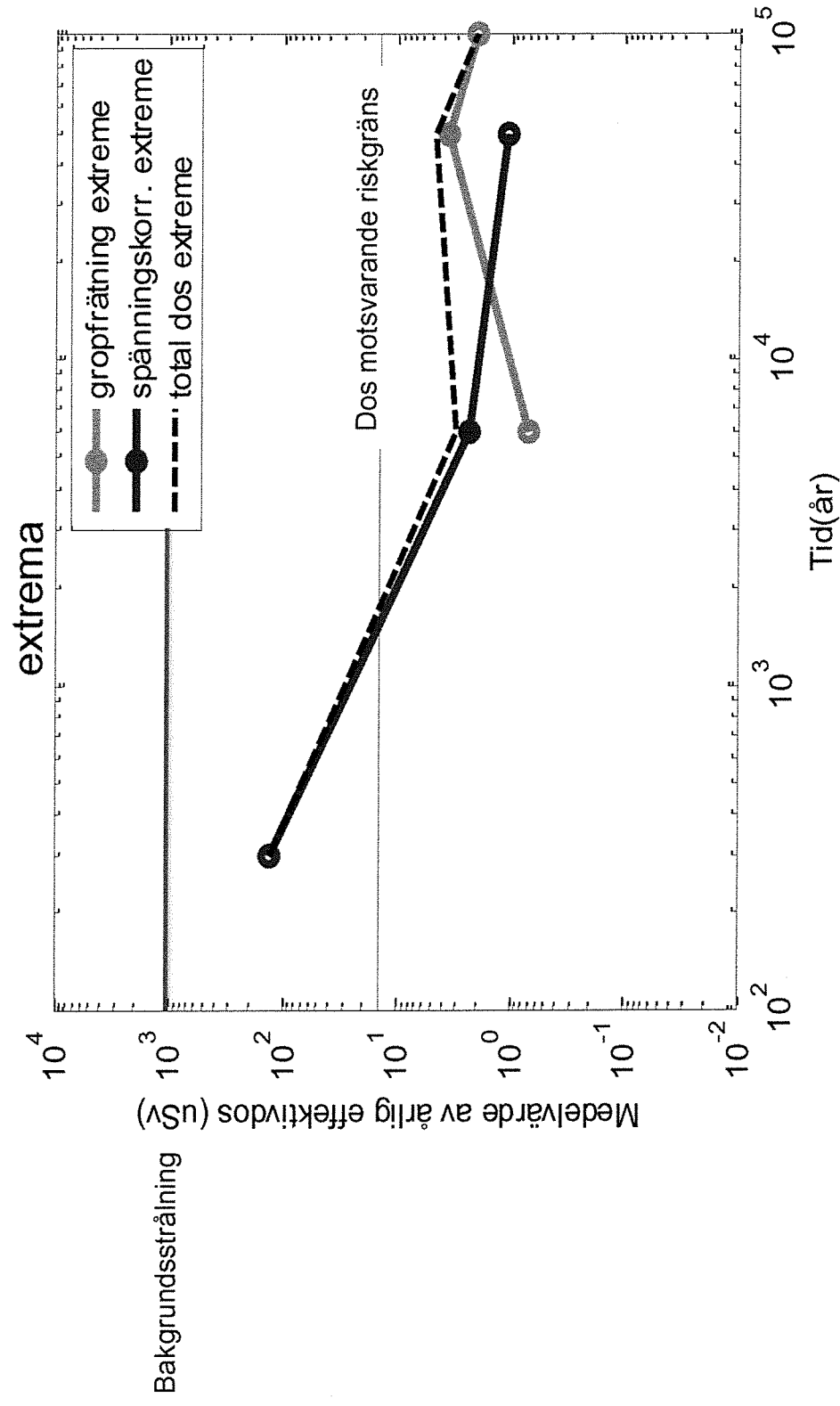
Fall 1 Spänningskorrosion – mest extrema

År	300	6 000	50 000	100 000	Risikkriteriet
Antal skadade kapslar	255	30	15		
Dos [μ Sv/år]	130	2,3	1,05		>>14



Beräknade fall 1 Korrosion

4/4





Beräkningsfall 2 – Isostatisk last och kryp

1/2

Fall 2 Isostatisk last – krypduktilitet <1%

År	300	6 000	50 000	100 000	Riskkriteriet
Antal skadade kapslar	690	1571	120	5	
Dos [μ Sv/år]	352	120	6	1,2	>>14

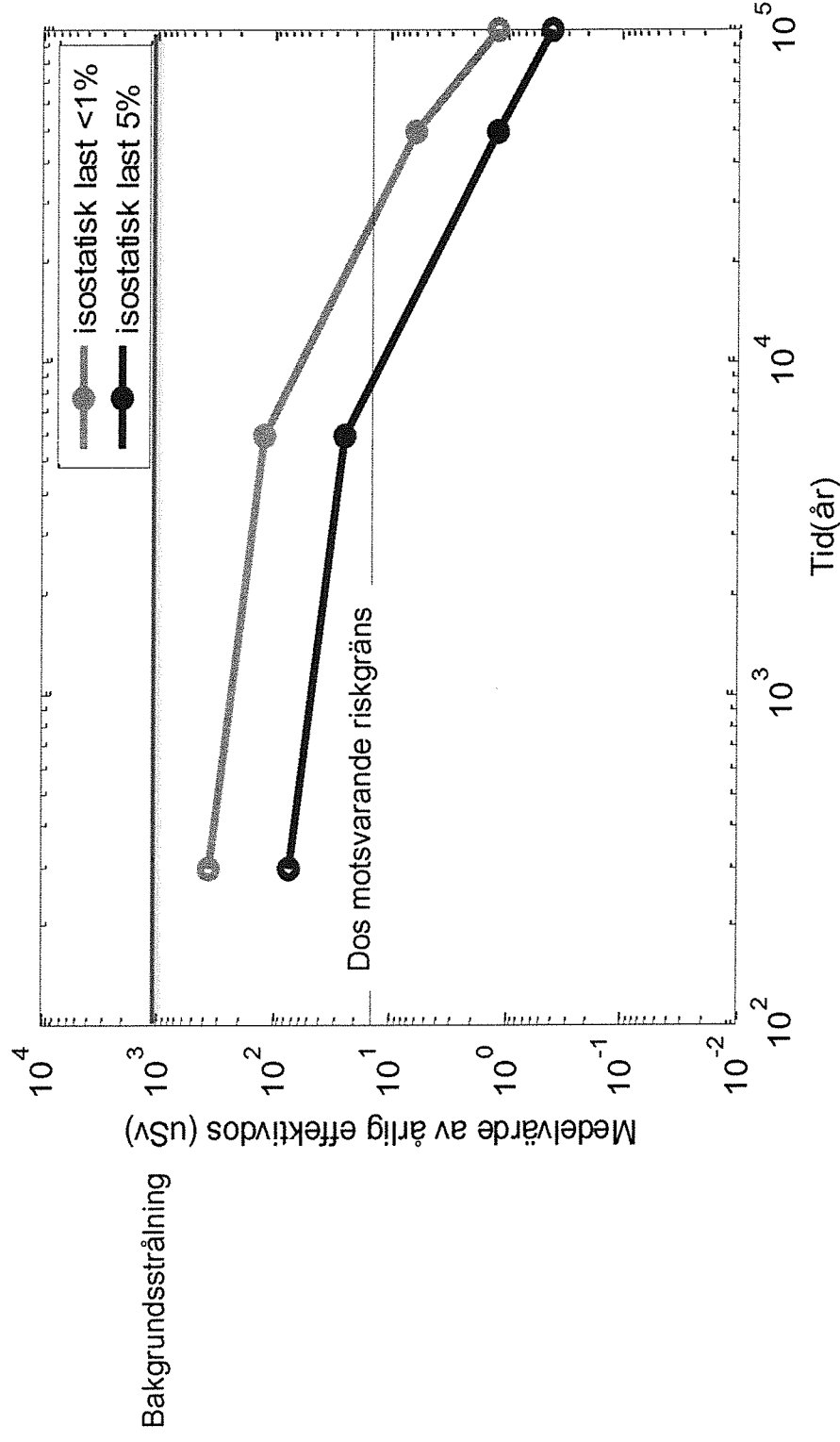
Fall 2 Isostatisk last – krypduktilitet = 5%

År	300	6 000	50 000	100 000	Riskkriteriet
Antal skadade kapslar	138	314	24	10	
Dos [μ Sv/år]	70,5	24,18	1,2	0,4	>>14



Beräkningsfall 2 – Isostatisk last + kryp

2/2



Beräkningsfall 6 & 7 – Väteförsprödning, spänningsskorrosion och kryp

Fall 6 Väteförsprödning + Kryp 5%

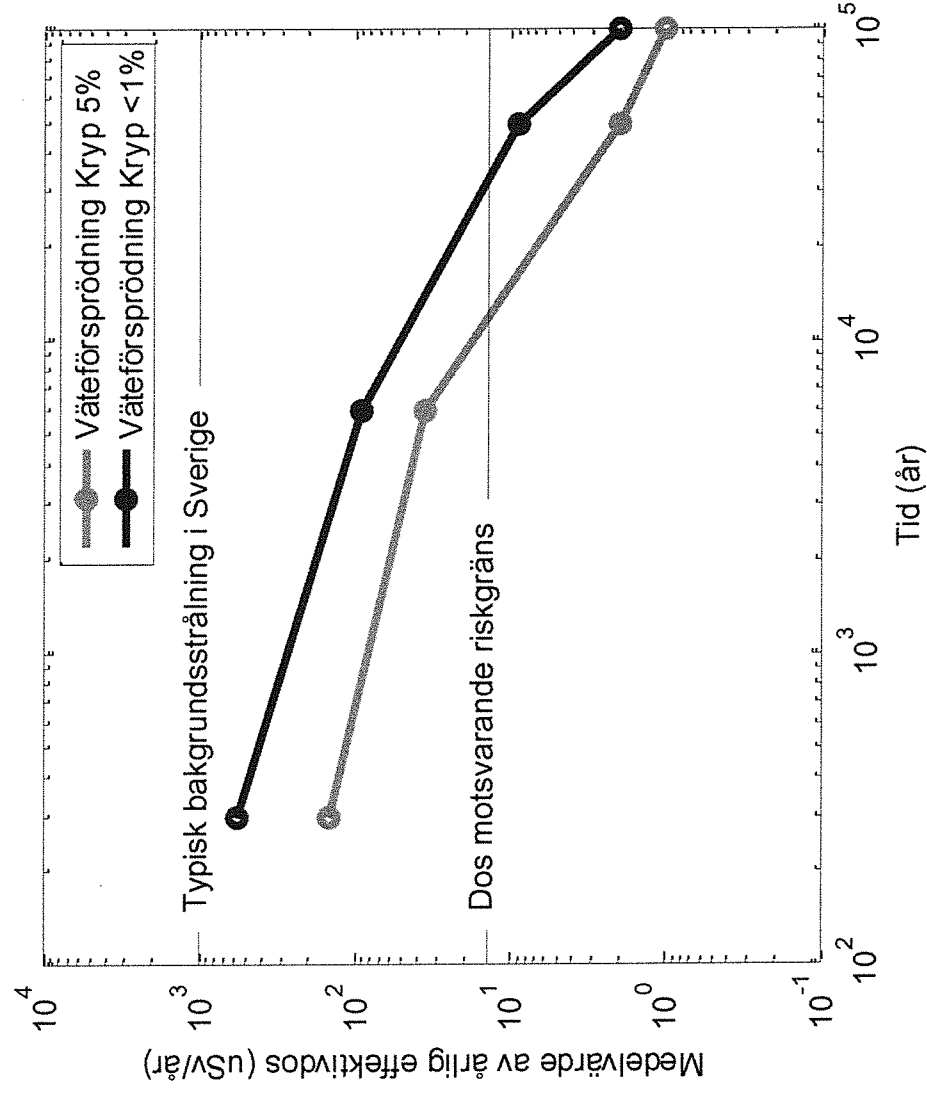
År	300	6 000	50 000	100 000
Antal skadade kapslar	287	466	36	20
Dos	147	36	2	1

Fall 7 Väteförsprödning + Kryp <1%

År	300	6 000	50 000	100 000
Antal skadade kapslar	1122	2365	183	44
Effektiv	1122	1175	183	44
Dos	573	90	9	2



Beräkningsfall 6 & 7 – Väteförsprödning, spänningsskorrosion och kryp



KORROSION I SYRGASFRITT VATTEN

SKB:
redovisa scenariot

VILLKOR
eller
KOMPLETTERING

Kritiska parametrar
för processen

HS-
H₂ partialtryck

Hypotes: direktutsläpp
från kapseln

Resultat:
Korrosions-
hastighet

TROLIGT
0 kapselbrott

EXTREMT
3 kapselbrott
Glacial tid
Eroderad buffert

JA

JA

JA

AVSLAG

2016-05-02

Mera tester?

Vätebildning – koppling till
väteförsörjning+kryp

SKB:

Randvillkor: BASTU-EFFEKTEN/AVDUNSTNING

- beräkning av koncentrationernas utveckling med tid vid kapsel pga bastu-effekten
- optimering av konstruktionsförsättningar (tex organiskt material och porvatten i bufferten/återfyllnad)
- grundvattenkemin bekräftas på plats

VILLKOR
eller
KOMPLETTERING

KEMI

koncentrationer av

Cl⁻

SO₄²⁻

CO₃²⁻

temperatur

Grundvatten

Andel organiskt material
i bufferten

Hypotes: direktutsläpp
från kapseln

Man måste ta
hänsyn till
bastueffekten i
referensutvecklingen

Mest troligt:
Ingår

JA

Extremt:
Ingår

JA

JA

2016-05-02

Bastueffekten är randvillkor för scenarierna
Randvillkoret saknas i SKB:s redovisning

GROPFRÄTNINGSKORROSION

SKB:

- redovisa scenariot
- passivfilm eller inte för den gällande kemiutvecklingen?
- passivfilmens egenskaper

VILLKOR
eller
KOMPLETTERING

PASSIVFILM eller inte?

HS⁻ 0,1 mM
Cl⁻ 0,05 M
m.fl.

Hypotes: direktutsläpp
från kapseln

JA

Kan ej
uteslutas
därför ja

TROLIGT
25 kapselbrott
> 6000 år

JA

EXTREMT
121 kapselbrott
> 6000 år

JA

?

JA

AVSLAG

Nej pga
SKB
redovisar
0,12 kaps
10⁶ år

2016-05-02

Vilka egenskaper har passivfilmen?
Påverkan från bastueffekten!

KRYPDEFORMATION

SKB:

- redovisa scenarier för last- och förskjutningsstyrda fall
- optimera konstruktionsföresättningar (materialval, geometri, spalt)
- mera modellvalidering och utökad teoretisk förståelse för inverkan av fosfor på krypduktilitet för Cu-OFP
- mera tester (tex. kryptester, mikroskopi)

VILLKOR
eller

KOMPLETTERING

JA

?

AVSLAG

NEJ

NEJ

JA

SSM < 1%
2246 kapselbrott
< 6000 år

SSM gräns-
sättande fall på 5%
449 kapselbrott
< 6000 år

SKB = 15%
0 kapselbrott

KRYPDUKTILITET för 15 MPa-fallet

SSM < 1%

SSM = 5%

SKB = 15%
Konstruktions-
föresättning

SSM:s utvärderade
lastfall

- 1) 15 MPa => mättade
- 2) 45 MPa (glacial tid)
- 7) 0,5 MPa inre tryck
- 2) + 7) = korta tider, ej
krypbrott

Hypotes: direktutsläpp
från kapseln

SPÄNNINGSKORROSION

SKB:

- redovisa scenarier för last- och förskjutningsstyrda fall
- Passiverande film?
- Redovisa dragspänningar

VILLKOR

eller

KOMPLETTERING

PASSIVFILM eller inte?
Aaltonen-mekanismen?

HS- 0,1 mM
Cl⁻ 0,05 M
Med flera

LASTFALL

- 1) -15 MPa -> lokalt 170 MPa
- 6) + 0,5 MPa -> 7,5 MPa
- 7) Belastat lock -> genomgående dragspänningar 50 MPa

Hypotes: direktutsläpp från kapseln

TROLIGT
28 kapselbrott
< 6000 år

JA

EXTREMT
285 kapselbrott
< 6000 år

NEJ

JA

Kan ej
uteslutas
därför ja

?

JA

AVSLAG

VÄTEFÖRSPRÖDNING + KRYP + SPÄNNINGSKORROSION

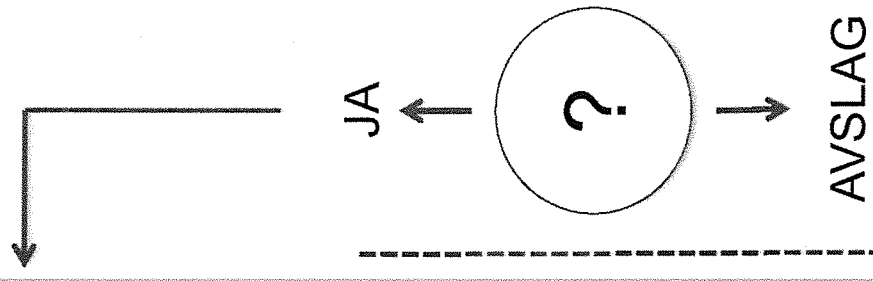
SKB:

- redovisa scenarier för lastfall, förskjutning och lokaliserad väteförsprödning vid tillverkningsdefekt
- Optimering med hänsyn till tillverkningsdefekter
- utökad teoretisk och experimentell förståelse för väteladdning av koppar vid korrosionsreaktioner vid förhållanden motsvarande slutförvaret
- Väteförsprödningspåverkan på mekaniska egenskaper

VILLKOR
eller
KOMPLETTERING

SSM:s utvärderade fall:	<u>KRYPDUKTILITET</u> för 15 MPa-fallet
Väteförsprödning ihop med spänningskorrosion och kryp.	SSM < 1%
Antaget att väteförsprödningen gör att antalet skadade kapslar ökar med 50%.	SSM = 5%
Hypotes: direktutsläpp från kapseln	

SSM kryptilitet < 1% 3487 kapselbrott < 6000 år	NEJ
SSM kryptilitet 5% 753 kapselbrott < 6000 år	NEJ
SSM kryptilitet >10% 210 brott pga kryp 56 brott pga oxid < 6000 år	



Process	Knäckfråga
Korrosion i syrgasfritt vatten	-
Bastu-effekten	Buffertens och återfyllnadens kemiska sammansättning ⇒ kan bestämmas av SKB
Gropfrättningskorrosion	Förekomst av passiverande film på kopparytan ⇒ Kräver experimentellt bevis för koncentrationer av HS- och Cl⁻ relevanta för slutförvarsmiljön ⇒ (Val av material?)
Kryp-deformation	Storleksordning av krypduktilitet ⇒ Kräver experimentellt bevis för av SKB valt kopparmaterial ⇒ Kan optimeras genom en förbättrad geometri för kapseln och tekniska lösningar gällande svetsen och spalten mellan kopparhölje och insats ⇒ Förbättrad förståelse för inverkan av fosfor i SKB:s legering är viktig ⇒ Val av bättre material

Process

Knäckfråga

Spänningskorrosion

Förekomst av passiverande film (se punkt 3)

- ⇒ Kräver experimentellt bevis
- ⇒ Kan optimeras genom en förbättrad geometri, svets och spalt
- ⇒ (Val av material?)

Väteförsprödning

Väteladdning av koppar vid korrosionsreaktioner

- ⇒ Kräver experimentellt underlag för av SKB valt kopparmaterial
- ⇒ Kan optimeras med hänsyn till tillverkningsdefekter
- ⇒ Förbättrad förståelse för väteladdning av koppar vid korrosionsreaktioner vid förhållanden motsvarande slutförvaret
- ⇒ Förbättrad förståelse för väteförsprödningspåverkan på mekaniska egenskaper



Process	Konsekvens	Kompletteringsbegäran eller villkor, krav på SKB
Syrgasfritt	Försumbar	Redovisa scenariot och bedöma dess konsekvens och sannolikhet
Bastu-effekt	Måttlig	Redovisa scenariot och bedöma dess konsekvens och sannolikhet. Redovisa hur optimering kan ske.
Gropfrätning	Måttlig	Redovisa scenariot och bedöma dess konsekvens och sannolikhet. Redovisa experimentellt underlag på förekomst av passiverande film.
Kryp	Allvarlig	Redovisa scenariot och bedöma dess konsekvens och sannolikhet. Redovisa hur optimering kan ske. Redovisa experimentellt underlag på hög krypduktilitet vid långa tider.
Spännings-korrosion	Måttlig	Redovisa scenariot och bedöma dess konsekvens och sannolikhet. Redovisa experimentellt underlag på förekomst av passiverande film.
Väteförsprödn	Allvarlig	Redovisa scenariot och bedöma dess konsekvens och sannolikhet. Optimering med hänsyn till tillverkningsdefekter. Redovisa experimentellt underlag angående väteladdning av koppar vid korrosionsreaktioner.
Risksummering och synergieffekter med hänsyn till scenarierna ovan behöver utvecklas		



Scenario

- För att visa slutförvarets tålighet och robusthet mot förhållanden, händelser och processer
- För att optimera slutförvaret med avseende på säkerhet genom förbättringar på referensutformningen, konstruktionsförutsättningar och materialval
- För att uppskatta sannolikheten för valt scenario



Genomgångna processer

- | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| → Korrosion i syrgasfritt vatten | ☒ | huvudscenario |
| → Bastu-effekten | ☒ | huvudscenario |
| → Gropfrättningskorrosion | ☒ | scenario = ? |
| → Krypdeformation | ☒ | scenario = ? |
| → Spänningskorrosion | ☒ | scenario = ? |
| → Väteförsprödning | ☒ | scenario = ? |
| → [Läckströmskorrosion] | | |
- handlingar)

(Tillhör kategorin Framtida mänskliga



I GLS-rapporten

- Bedömning av tålighet och robusthet i kapitel 9
- Bedömning av konsekvenserna kan inte ligga i kapitel 3, 4, 5 eller 6
- Riskkriteriet gäller upp till 100000 år.
- Bedömningar om processer kan inte avslå ansökan utan stöd av scenarieanalys och konsekvensanalys



NACKDELAR

Osäkerhet över SKB:s nya underlag blir mera övertygande

BEHOV

Fokuserad SSM:s forskning om just kritiska frågor

SSM kan inte ta ställning till alla frågor redan idag

Kanske helt andra frågor kommer upp i framtiden

ANTIGEN: Godkännande med villkor

FÖRDELAR

Ger tid för att hantera frågorna från SKB:s och SSM:s sida

Mera mandat att kräva vad PSAR ska innehålla

Mera transparent underlag om frågorna för bedömningen

Tydligare koppling till BMT/optimeringskravet

- SSM kräver en bredare säkerhetsanalys som innefattar de scenarier som SSM har kommit fram till. Detta innebär krav på en helt ny säkerhetsanalys (PSAR)
- (Bedömningen ovan baseras på SSM:s förenklad konsekvensanalys som indikerar att kraven skulle kunna uppfyllas)
- (Det finns osäkerheter och SKB skulle kunna komma fram till en säkerhetsanalys som visar att referensutformningen inte uppfyller kraven)



NACKDELAR

Kompletteringen
måste hinna
granskas

HELLER: Komplettering innan yttrandet till Regeringen

- För sent i
tillstånds-
processen?
- SSM kräver analys av konsekvens för de scenarier som SSM har kommit fram till
- SKB hinner inte
med
- SKB redovisar möjliga förändringar i referensutformningen (BMT/optimering)
- FÖRDELAR
- Förbättringar blir
tydligare
- Bedömningen ovan baseras på SSM:s förenklad konsekvensanalys som indikerar att kraven skulle kunna uppfyllas
- Man kan
bedöma
ansökan utifrån
nya resultaten
- Det finns osäkerheter och SKB skulle kunna komma fram till en säkerhetsanalys som visar att referensutformningen inte uppfyller kraven



Avslag

- Den aktuella referensutformningen inklusive rimliga modifieringar har inte förutsättningar till kravuppfyllelse

FÖRDELAR

Tydligt att SSM inte är övertygad av SR-Site

NACKDELAR

Regeringen kan ta ett annat beslut

KONSTATERANDE

Slutförvarsfrågan skjuts fram i tiden

KBS-3-slutförvar kan komma att väljas bort





Kopparprocesser – Nya bilder

2016-05-03

Beräknade fall 6 & 7 (samma som på sidan 9)

Fall 6 Väteförsprödning + Kryp 5%

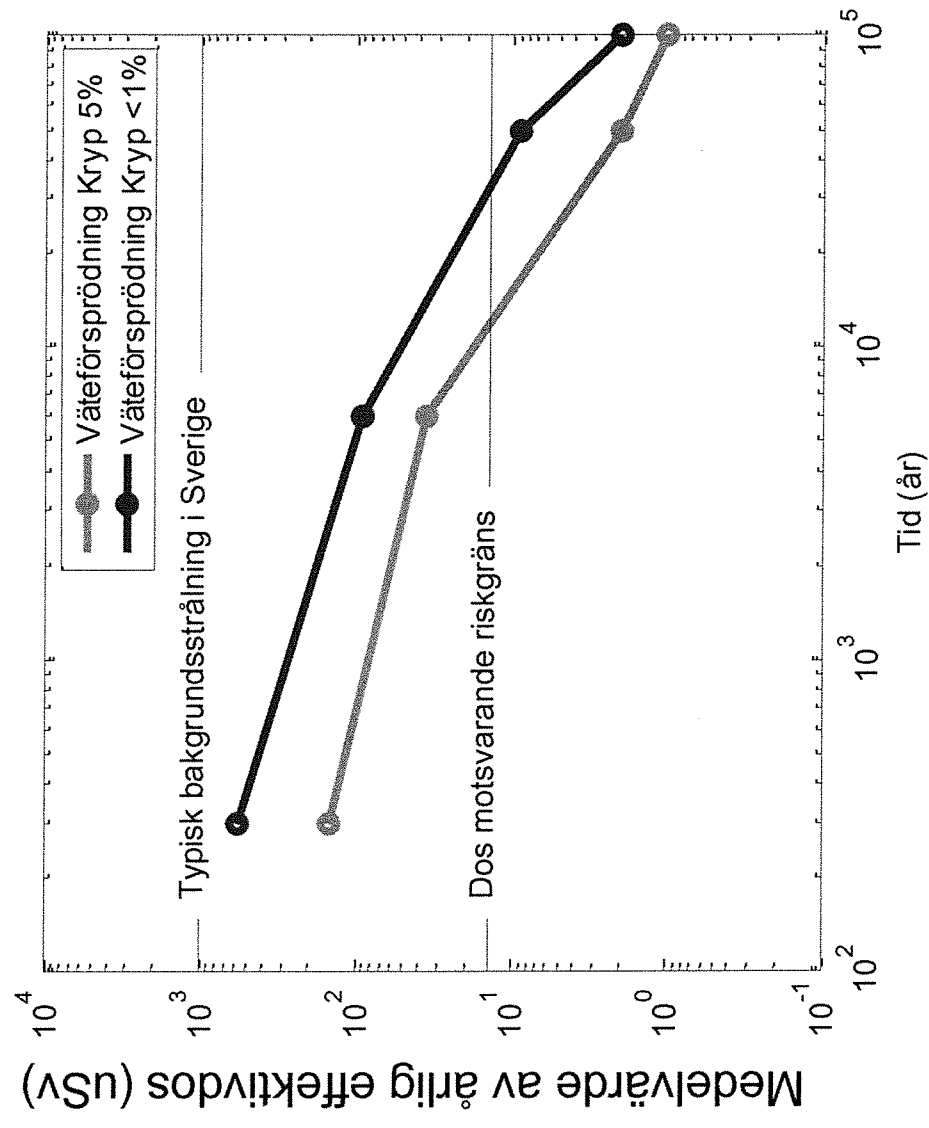
År	300	6 000	50 000	100 000
Antal skadade kapslar	287	466	36	20
Dos	147	36	2	1

Fall 7 Väteförsprödning + Kryp <1%

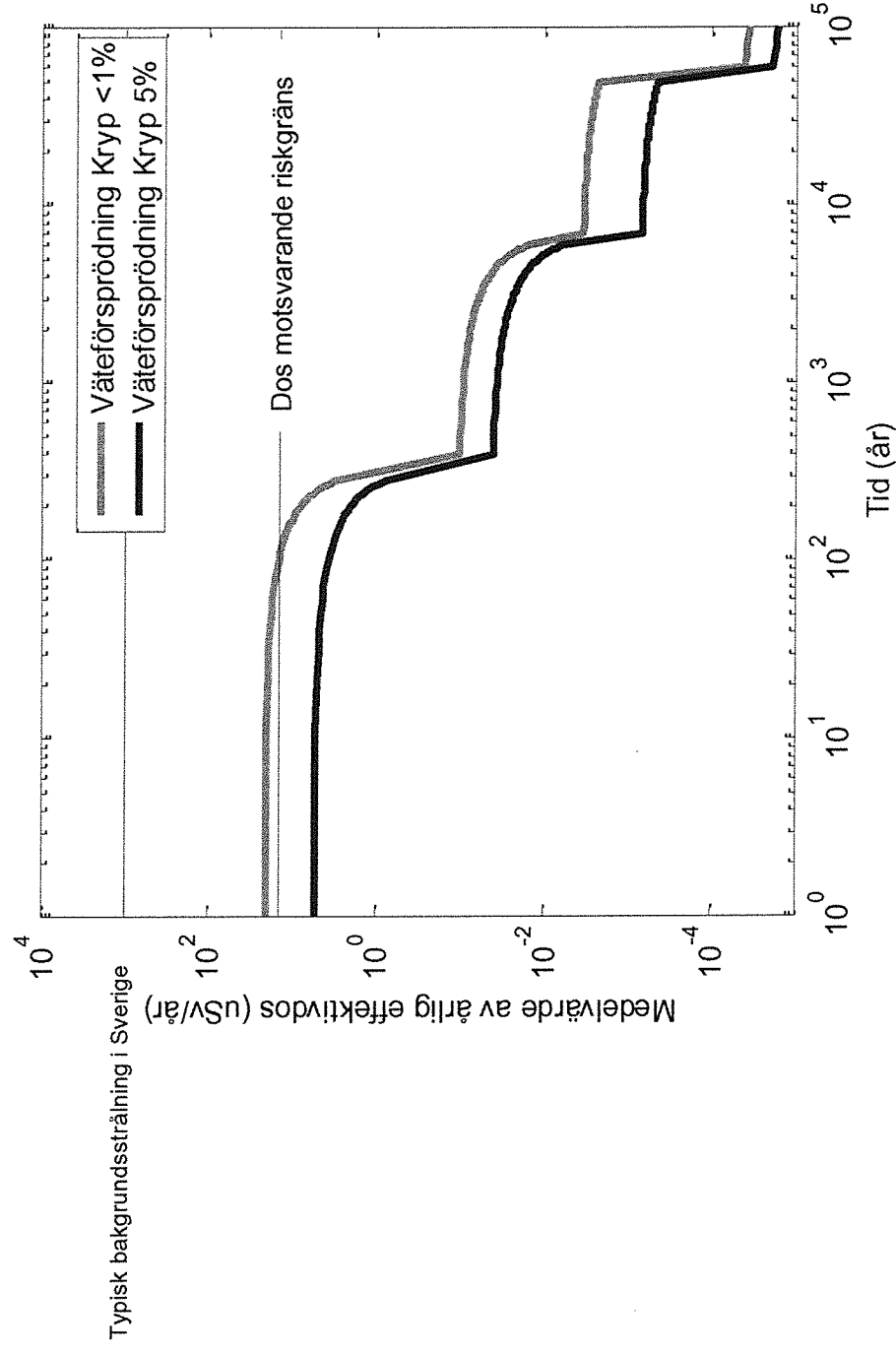
År	300	6 000	50 000	100 000
Antal skadade kapslar	1122	2365	183	44
Effektiv	1122	1175	183	44
Dos	573	90	9	2



Fall 6 & 7 – Väteförsprödning, spänningsskorrosion och kryp



Fall 6 & 7 – Väteförsprödning, spänningsskorrosion och kryp – med hänsyn till medelvärdesbildning



Beräkningsfall 8 – Väteförsprödning med kryp 10%

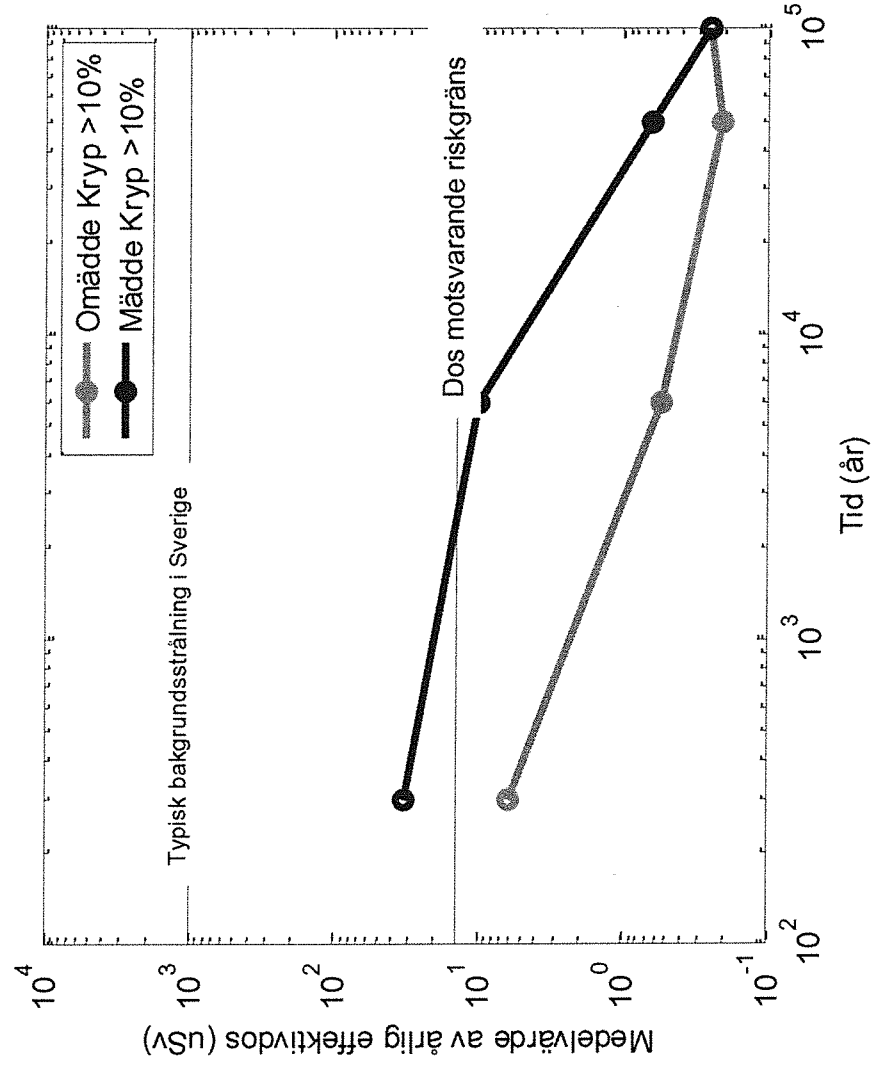
Fall 8 Kryp > 10%

År	300	6 000	50 000	100 000
Antal skadade kapslar (omättade)	12	7	3	5
Dos	6	0,5	0,2	0,25
Antal skadade kapslar (omättade)	62	129	9	5
Dos	32	10	0,7	0,3

Ej spänningskorrosion



Fall 8 Väteförsprödning på kryp > 10%



Beräkningsfall 9 – Vätesjukan vid kopparoxider med kryp 10%

Fall 9 Oxid (Kryp > 10%)

År	300	6 000	50 000	100 000
Antal skadade kapslar (omättade)	25	3	0	0
Dos	13	0,23	0	0
Antal skadade kapslar (omättade)	25	3	0	0
Dos	13	0,23	0	0

Ej spänningskorrosion



Fall 9 Vätesjuka på kopparoxider för kryp > 10%

