

Nacka Tingsrätt  
Mark- och miljödomstolen

September 2017

## Sauna-effekten.

Inverkan på säkerheten vid slutförvar av  
använt kärnbränsle enligt KBS-3 metoden.

Docent Olle Grinder, Naturskyddsföreningen och MKG

## Olika uppfattningar mellan SKB och MKG/KTH med flera

### 1. Korrosionsprocesser

Korrosion i syrefri (anoxisk) miljö, sulfidkorrosion, kloridkorrosion, korrosion förorsakad av radiolys, gropfrätning, gasfaskorrosion i närvaro av svavelväte, upplösning-utfällningskorrosion, korrosion p.g.a. saltindunstning, gränsskiktsskorrosion och korrosion förorsakad av läckströmmar

### 2. Sprickbildning

Spänningskorrosion, väteförspredning, mekanisk belastning (kryp)

### 3. Övrigt

“Sauna-effekten”

## Kommer koppar att korrodera i Forsmark?

Finns det tidigare erfarenhet av att koppar motstår korrosion under tusentals år i aktuell miljö? **NEJ!**

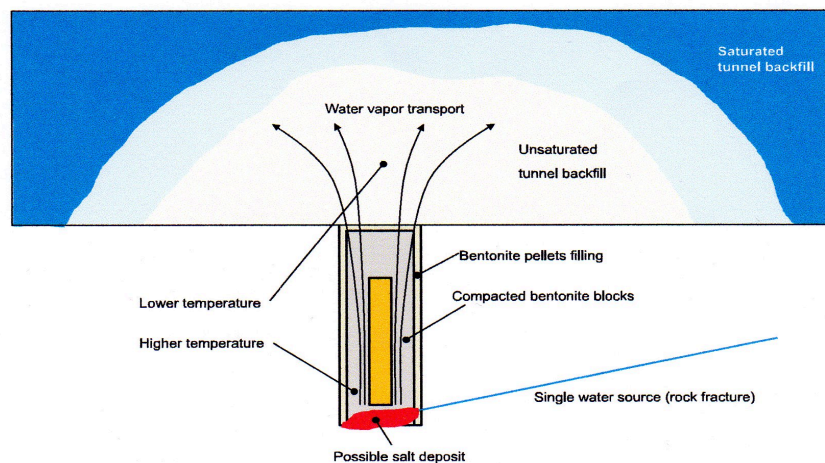
Finns det något experimentellt resultat utfört i Forsmark och i aktuell miljö? **NEJ!**

Är korrosionsförhållandena t.ex. gas- och vattensammansättning kända över tiden? **NEJ!**

Har några laboratorieförsök gjorts som simulerar korrosionsförhållandena i Forsmark? **NEJ!**

## Saunaeffekten

SKB R-13-42, SKB TR-15-09



**Figure 1-1.** Schematics of the "sauna" effect.

*Sauna-effekten* erhålles i slutförvaret av kärnkraftsavfall enligt KBS-3 metoden och ger en anrikning av salter i deponeringshålen.

Effekten uppstår genom förångning av det grundvatten, som strömmar in i deponeringshålen. Vattenångan kondenserar sedan främst i deponeringstunnlarna.

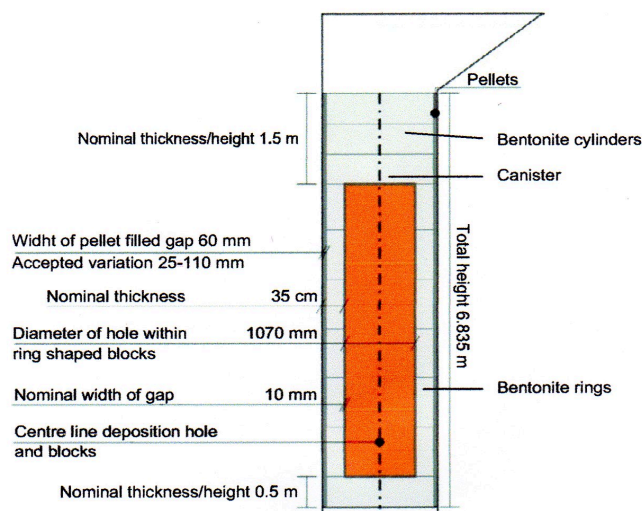
Detta resulterar i:

-En ökning, som kan vara mycket kraftig, av halterna av lösta salter i det vatten som finns kvar i deponeringshålen samt en utskiljning av salter i bentoniten och på kopparkapslarnas yttertor. Detta leder till ökad kopparkorrosion och en försämring av bentonitens material- och funktions-egenskaper.

-En bildning av sprickor och kanaler i de bentonitblock, som finns i och ovanför deponeringshålen

*Sammantaget medför Sauna-effekten en avsevärd försämring av kopparns och bentonitens barriäregenskaper.*

## Deponeringshå



SKB TR-14-22

Predicted groundwater composition for a repository at Forsmark (contents in mg/dm<sup>3</sup>)

	At emplacement	After saturation (<100 years after emplacement)	10000 years into the future
pH	6-8	7.0-7.9	7-9
$E_{\text{redox}}^*$	0 to -400	-200/-250	-200 to -300
Na <sup>+</sup>	300-2000	1700	100-1000
K <sup>+</sup>	2-13	13	2-10
Ca <sup>2+</sup>	150-1650	1650	20-1000
Mg <sup>2+</sup>	17-110	110	4-100
HCO <sub>3</sub>	50-300	47	20-40
Cl <sup>-</sup>	500-5000	5500	200-5000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	40-400	370	1-400
HS <sup>-</sup>	0-10	<0.01	0-1

\* mV SHE.

Rosborg B. & Werme L.: J. Nuclear Materials 379 (2008) pp. 142-153

## Experimentella studier av Sauna-effekten

SKB har avrapporterat tre experimentella undersökningar av Sauna-effekten, se SKB R-13-21, SKB TR-15-09 och SKB TR-17-07. Dessa bekräftar förekomsten av Sauna-effekten, dvs det sker en förångning av vatten i deponeringshålen (primärt på kopparkapslarnas yttertor) samt en kondensation av vattenånga i deponeringstunnlarna. Detta ger en anrikning av salter i deponeringshålen.

Undersökningarna visade också att torr bentonit inte absorberar vattenånga utan denna måste först kondensera för att det skall ske en absorption.

Kondensation och absorptionen av vatten sker ojämnt i bentonitblocken och då endast i vissa punkter. Detta leder till ojämn svällning av blocken och som resultat av detta en omfattande *sprickbildning* av bentonitblocken.

## Experimentella studier av Sauna-effekten



Försökstid 7 dagar.

*Figure 2-8. Left: Test 3 at termination. Right: Bottom side of the bentonite ring showing a condensation "nucleus".*

SKB TR-15-09

## Experimentella studier av Sauna-effekten



*Figure 2-15. Bottom side of the massive top block (left). The top ring seen from the top side (right).*

Försökstid 21 dagar

SKB TR-15-09

## Sprickbildning i bentonitblock vid vattentillsats



*Figure 4-34. Major cracks occurred in the uppermost ring.*

SKB R-09-29

## SALTUTSKILJNING

Varje kapsel utvecklar 1700 W (SKB TR-10-13) i början av slutförvaret, vilket ger en yttertemperatur på kopparkapslarna av nästan 100 °C. En del av inkommande vatten kommer förångas och kondensera i deponeringstunnlarna ovanför deponeringshålen. Saltet i vattnet stannar kvar i deponeringshålen och där i bentoniten, på kopparkapslarnas ytor samt löst i det vatten som inte förångats.

1700 W möjliggör teoretiskt en förångning av 18 m<sup>3</sup> vatten per år och deponeringshål.

Varje deponeringshål behöver tillföras 6.45 m<sup>3</sup> (SKB TR-17-07) vatten för att bentoniten i hålet skall vattenmättas.

Ingående vatten innehåller ca. 0.9% salter. Enligt SKB TR-10-11 (SR-Site) kommer kritiskt höga korrosionshastigheter av kopparn att erhållas vid salthalter över ca. 9%.

## Saltutskiljning forts.

Enligt SR-CAN (TR-06-09, sid 212) kommer vattenflödet till 99.9% av deponeringshålen vara mindre än 0.01 L/min.

Detta ger ett vattenflöde till deponeringshålen av;

5.26 m <sup>3</sup> /år	vid 0.01 L/min
0.526 m <sup>3</sup> /år	vid 0.001 L/min
0.0526 m <sup>3</sup> /år	vid 0.0001 L/min

Detta innebär att kopparkapslarnas teoretiska förångningskapacitet på 18 m<sup>3</sup>/år är 3 - 4 gånger större än förväntade vattenflöden till 99.9% av deponeringshålen.

Antag att 90% av ingående vatten förångas (SKB TR-17-10). Tiden till vattenmättnad av bentoniten i ett deponeringshål är då ca. 12 år vid ett inflöde av 0.01 L/min och ca. 120 år vid ett flöde av 0.001 L/min.

När detta inträffar är det vatten som inte absorberats av bentoniten starkt korrosivt (SR-Site TR-11-01) och med en salthalt ca. 9%

## SKB TR-17-07, Augusti 2017

### Summary report on "sauna effects"

I denna rapport hävdas att det är osannolikt, att det kan ske en saltanrikning i deponeringshålen. Rapporten bygger på ett begränsat antal försök (9 st) i laboratorieskala utförda under kort tid och enligt författarna själva i 8 fall av 9 under förhållanden som inte var optimala eller representativa för förhållandena i slutförvaret.

Författarna bygger sina slutsatser på ett antal felaktiga antaganden och icke-korrekta tolkningar av de experimentella resultaten t.ex.;

- att endast en begränsad mängd av inkommande vatten till deponeringshålen kan förångas då kapslarnas energiutveckling inte är tillräckligt hög.

*I själva verket räcker värmeflödet från kapslarna till att förånga allt inkommande vatten i mer än 99.9% av deponeringshålen.*

- bildad vattenånga kondenserar snabbt och ett hermetiskt tätt skikt av vattenmättad bentonit bildas ovanför kopparkapslarna.

*Det framgår av SKB R-13-42 sid 15 att det föreligger en "kinetisk barriär" som förhindrar att torr bentonit tar upp vatten direkt från gas fas och vattenånga. Vid kondensation och absorption av vatten erhålles vidare en kraftig sprickbildning i bentonitblocken.*

**SKB TR-17-07, Augusti 2017**

**Summary report on "sauna effects" forts.**

- "för att saltanrikningseffekter skall utgöra ett problem krävs istället att mycket stora mängder vatten transporteras uteslutande i ångfas, långa sträckor upp i den överliggande deponeringstunneln."

Det som författarna anser vara mycket stora mängder vatten uppgår till 0.001 till 0.01 L/min och långa sträckor är några meter. Författarna/SKB hävdar sålunda att det inte kan förekomma några gas- eller vatten-transporter från deponeringshålerna till överliggande tunnlar då samtliga spalter, sprickor och kanaler snabbt blir hermetiskt tillslutna av bentonit som sväller vid vattenmättnad.

**SKB TR-17-07, Augusti 2017**

**Summary report on "sauna effects" forts.**

Korrosionsangrepp på försöksutrustning av koppar erhållna vid studium av Sauna-effekten och efter 50 dagars exponering vid 80 °C. Angreppen omnämndes ej i rapport SKB TR-17-07!



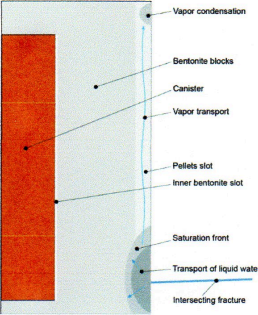
*Figure 2-1. Left: copper heater and steel bottom plate. The plastic filter (white) is visible at the bottom of the groove. The outer diameter of this groove is 18.2 cm, and the inner diameter is 10.8 cm. Right: bentonite ring emplaced.*

## SKB TR-17-07, Augusti 2017 Summary report on "sauna effects" forts.

Mål nr M 1333-11	KBS-3-SYSTEMET	CLAB – CLINK	KÄRNBRÄNSLEFÖRWARET	2017-09-06	29	SKB
Bakgrund och uppdrag	Metodval	Platsval	Säkerhet efter förslutning	MKB och samråd		

### Exempel – "bastueffekten"

- Effekten innebär att salthaltigt vatten som når en het yta förångas och lämnar saltavlagringar på ytan.
- Kan grundvatten som når den varma kapseln då bufferten vattenmättas ge upphov till detta?
  - Saltavlagringarna skulle i så fall kunna bidra till korrosion.
- Effekten studerad av SKB i olika arbeten sedan 1995.
- Grundläggande begränsning: Eventuellt förångat vatten kondenserar i bentoniten nära den varma kapseln. Bentoniten sväller då och förhindrar ytterligare ångflöde. Ångan lämnar aldrig deponeringshål.
  - Nya försök (2013–2017) bekräftar åter detta. Sammanfattningsrapport TR-17-07 nyligen publicerad. Flera ytterligare, oberoende argument för att processen är försumbar i rapporten.
- Effekten bedöms som försumbar i analysen av säkerhet efter förslutning. Tillförda saltmängder blir då små. De hamnar dessutom inte som avlagringar på kapseln.



**Ett flertal av ovanstående påståenden och argument saknar helt stöd från de resultat och slutsatser redovisade i TR-17-07.**

## SKB TR-17-07, Augusti 2017 Summary report on "sauna effects" forts.

Eventuellt förångat vatten kondenserar i bentoniten nära den varma kapseln. Försöken visade att vattenångan kunde transporteras långa sträckor utan att kondensera. "Bentonit nära den varma kapseln är varma, vilket förhindrar kondensation.

Bentoniten sväller då och förhindrar ytterligare ångflöde. Kondensation och absorption resulterade vid alla försöken till omfattande sprickbildning av bentonitblocken. Inga resultat har presenterats som visar att ångflöde förhindras.

Tillförda saltmängder blir då små. De hamnar dessutom inte som avlagringar på kapseln. Korrosion har erhållits på grund av saltavlagring på kopparytan.

Den presenterade figuren ovan har inte något stöd i genomförda experiment.

## Hur påverkar Sauna-effekten förhållandena i slutförvaret. I

En anrikning av salt erhålles i det vatten, som finns i deponeringshålen, i bentoniten och på kopparkapslarnas yttertor. Halterna av lösta salter kommer att variera med tiden och mellan olika deponeringshål beroende på inflödet av grundvatten. Denna saltanrikning kommer att;

- **förstärka hastigheten för ett flertal aktuella korrosionsmekanismer som;**  
*korrosion i syrefri (anoxisk) miljö, sulfidkorrosion, kloridkorrosion, korrosion förorsakad av radiolys, gropfrätning, gasfaskorrosion i närvaro av svavelväte, upplösnings- och utfällningskorrosion, korrosion p.g.a. saltindunstning, gränsskiktetskorrosion och korrosion förorsakad av läckströmmar.*
- **öka risken för sprickbildning av kopparkapslarna på grund av spänningskorrosion och väteförspädning**

## Hur påverkar Sauna-effekten förhållandena i slutförvaret. II

- generera sprickbildning av bentonitblocken i deponeringshålen. (SKB R-09-29, SKB R-13-42, SKB TR-15-09)
- förorsaka bildning av kanaler i bentoniten. (SKB TR-14-22, SSM 2012:42)
- förorsaka utskiljning av salter i bentoniten, vilket inverkar negativt på dess material- och funktionsegenskaper t.ex. bentonitens svällningsegenskaper (SKB R-04-36)

*Sauna-effekten försämrar barriäregenskaperna för två av tre passiva barriärerna – kopparkapseln och bentoniten. Detta sker i de deponeringshål där samtidigt vattenflöderna är extra höga!*