

Kapselns roll i säkerhetsanalysen

Ivars Neretnieks, professor

Kemiteknik

KTH

15 Juni, 2010

Utgångspunkt: Väte utvecklas vid kopparkorrosion i rent vatten

- Szakálos et al. (2007) och Hultquist et al. (2009) fann att koppar korroderar “raskt” i rent vatten
- De fann också att om vätet inte transporteras bort avstannar korrosionen.
- De fann att reaktionen avstannar vid ett vätgastryck av <0.001 atm.

Varför och när avstannar reaktionen? Analogi:

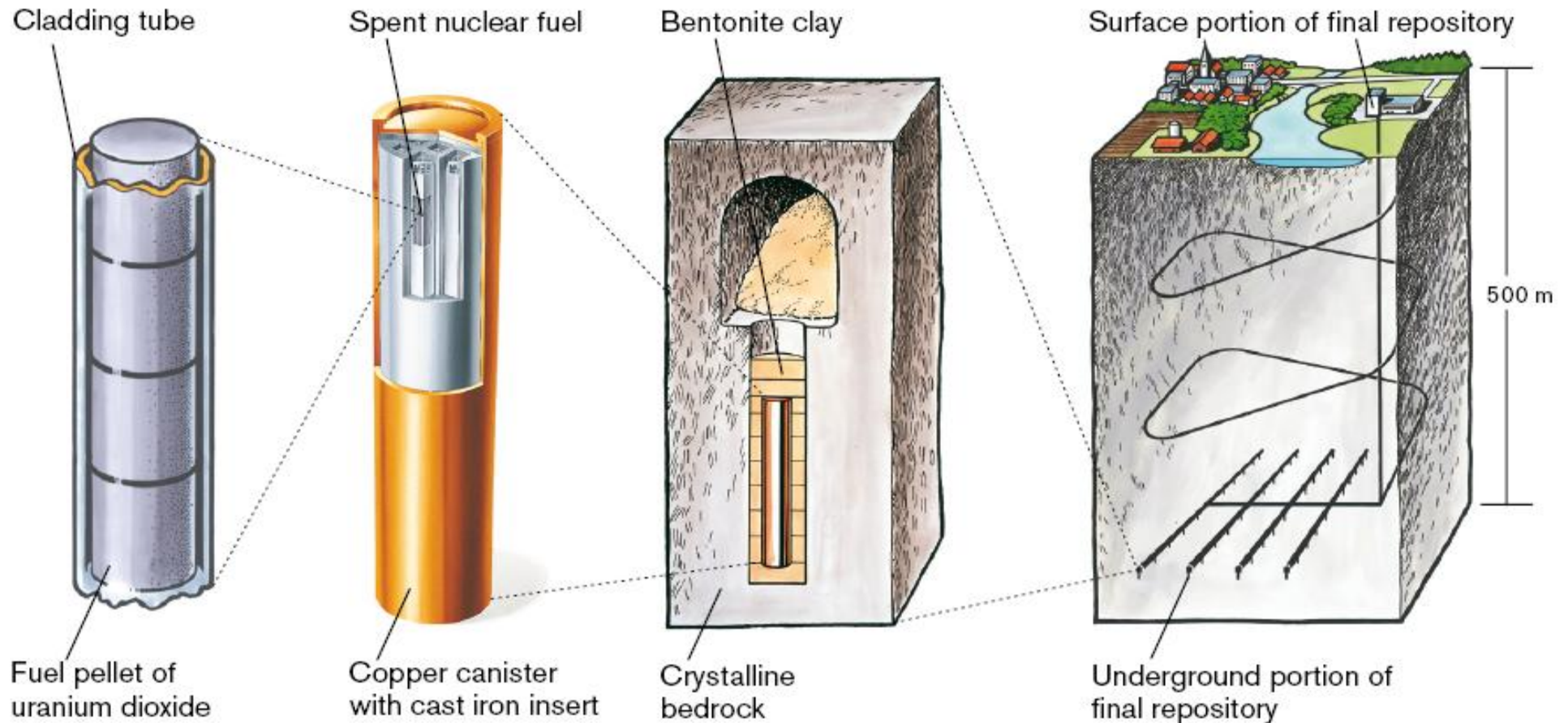
- Koldioxiden (kolsyran) i en läskedrycksflaska börjar bubbla när kapsylen öppnas.
- Stängs flaskan igen slutar bubblorna att utvecklas.
- Koldioxidtrycket i flaskan ökar åter till jämviktstrycket.
- Lämnas flaskan öppen avgår "all" koldioxid "raskt".

- På samma sätt: transporteras inte vätet bort avstannar korrosionen.

Kopparkorrosion begränsas av hur snabbt
vätet kan transporteras bort

Sök kvantifiera hur fort vätet kan lämna från
kapseln

Kapseln och dess omgivning

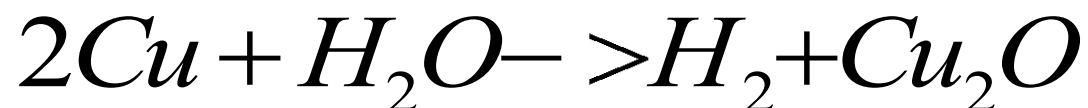


Tänkbara sänkor och transportmekanismer för vätet

- Utveckling av vätgasbubblor
- Löst väte i det sipprande vattnet i sprickor
- Borttransport med vatten i tunneln
- Diffusion av väte löst i vattnet i bergmatrisen
- Med kemisk eller biokemisk reaktion exv. med sulfat

Stökiometri och materialbalans

- Förenklad reaktionsformel (princip).



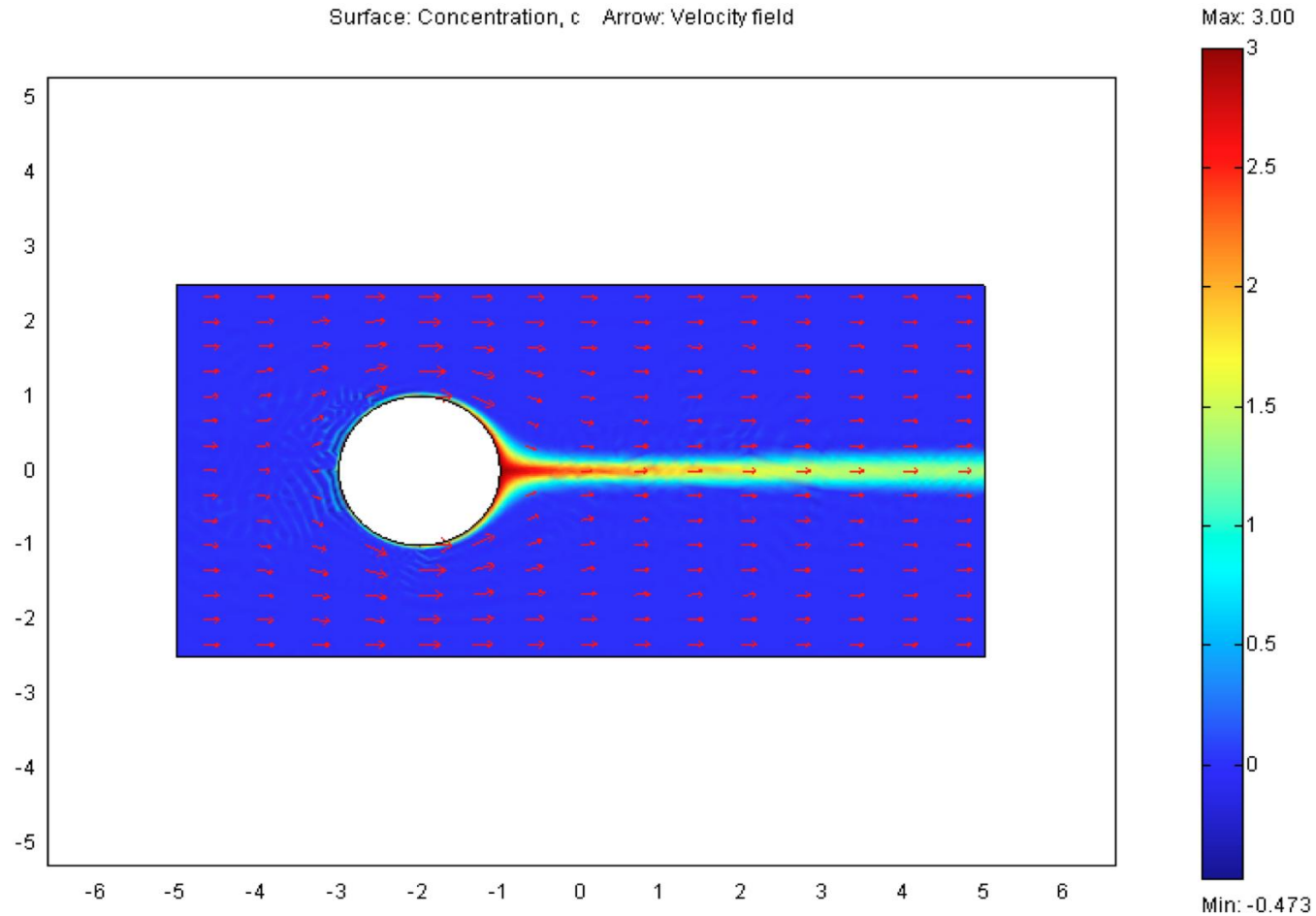
- En molekyl väte genereras av två atomer koppar
- Om vi kan bestämma hur fort väte transporteras bort vet vi hur fort korrosionen sker
- Antag att allt väte bildar H_2 (försumma att en del kan stanna i kopparn)

Löslighet av väte i vatten vid 0,001 atm vid 10 °C

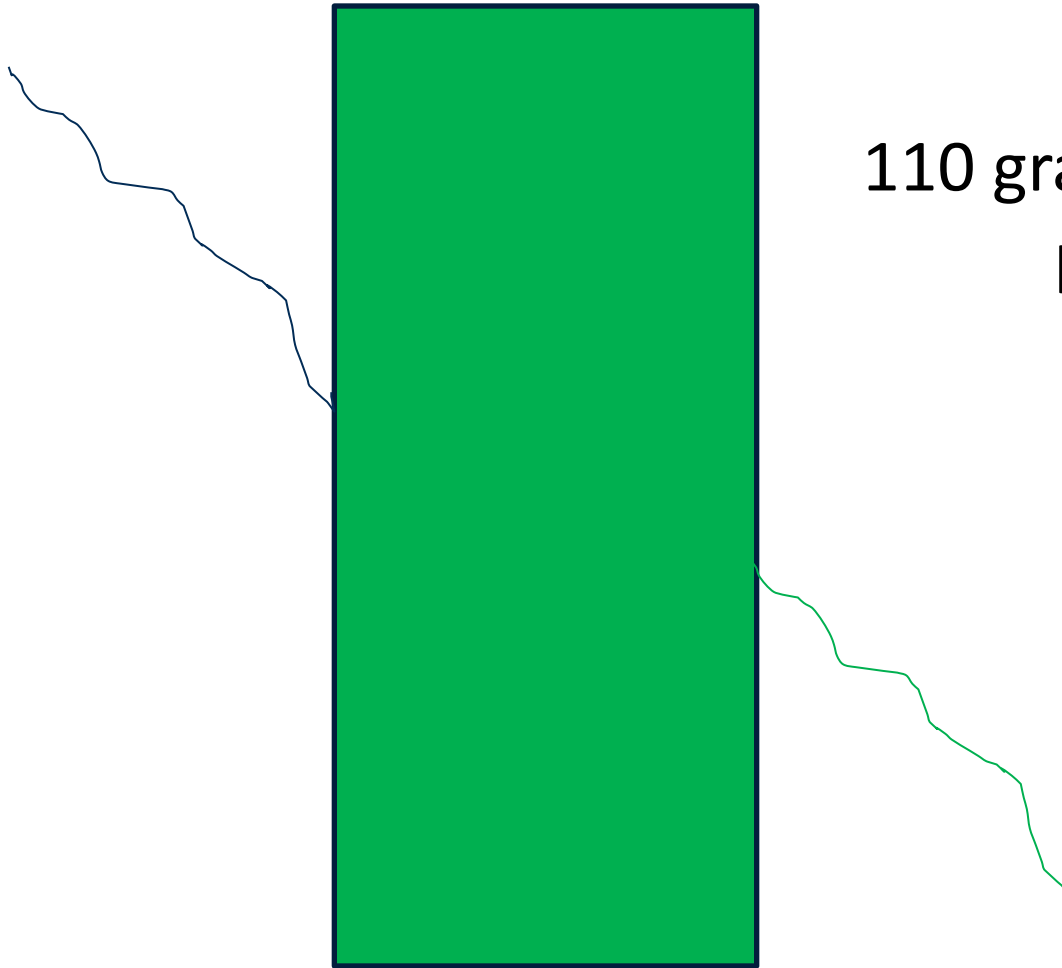
- $c=8.7 \cdot 10^{-7}$ mol/liter (ca 1,8 mikrogram/liter, 1,8 ppb)
- Väte från 1 g koppar behöver 9 000 liter vatten att lösa sig i vid 0,001 atm jämviktstryck

Utveckling av bubblor kan ej ske då
vätgastrycket är 50 000 gånger för lågt

Sipprande vattens transportkapacitet- Ekvivalent flöde Q_{eq}



Sipprande vatten



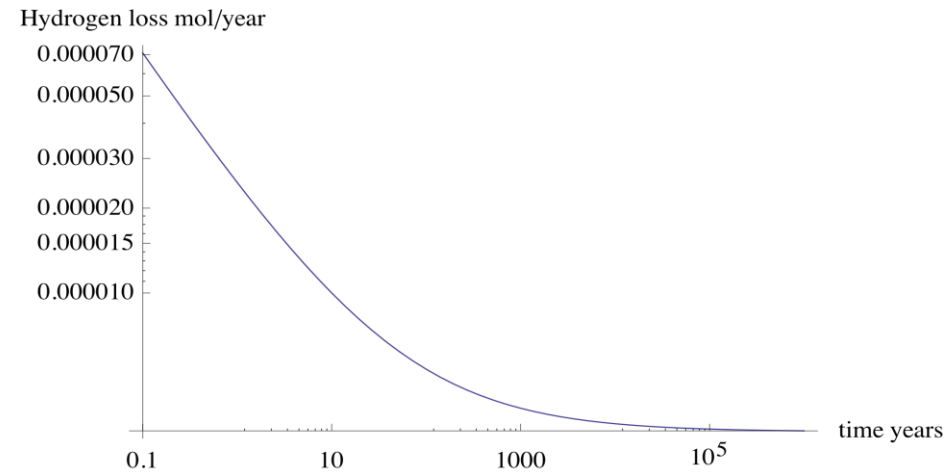
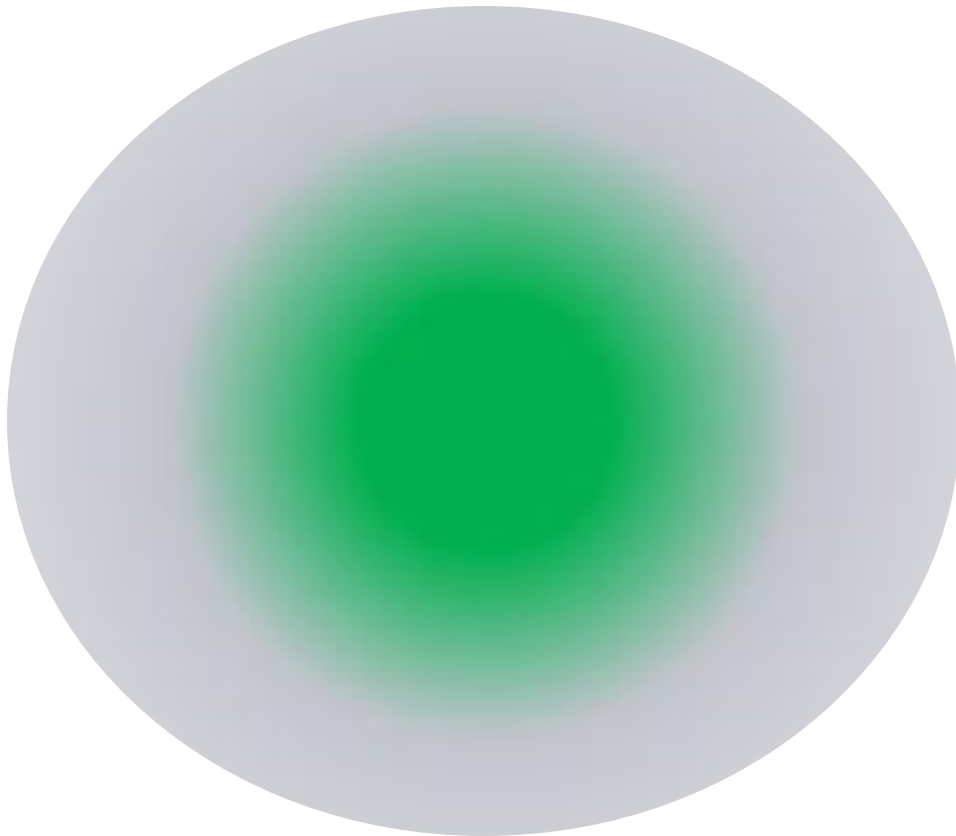
110 gram koppar korroderar
på 1 000 000 år

Vid ekvivalent flöde
Qeq 1 liter/år/kapsel

Diffusion i stagnant porvatten i bergmatrisen

Diffusivitet i vatten
25°C
 $D=5,85 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

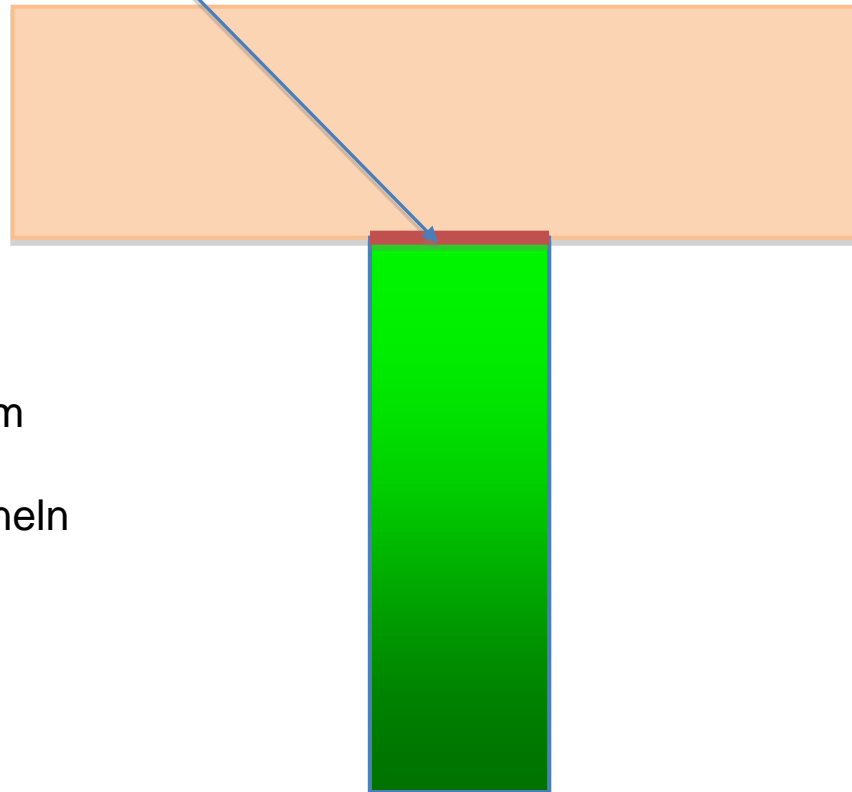
420 g Korrosion på
1 000 000 år



Mikrobiellt katalyserad vätgasoxidation vid obegränsad tillgång till sulfat

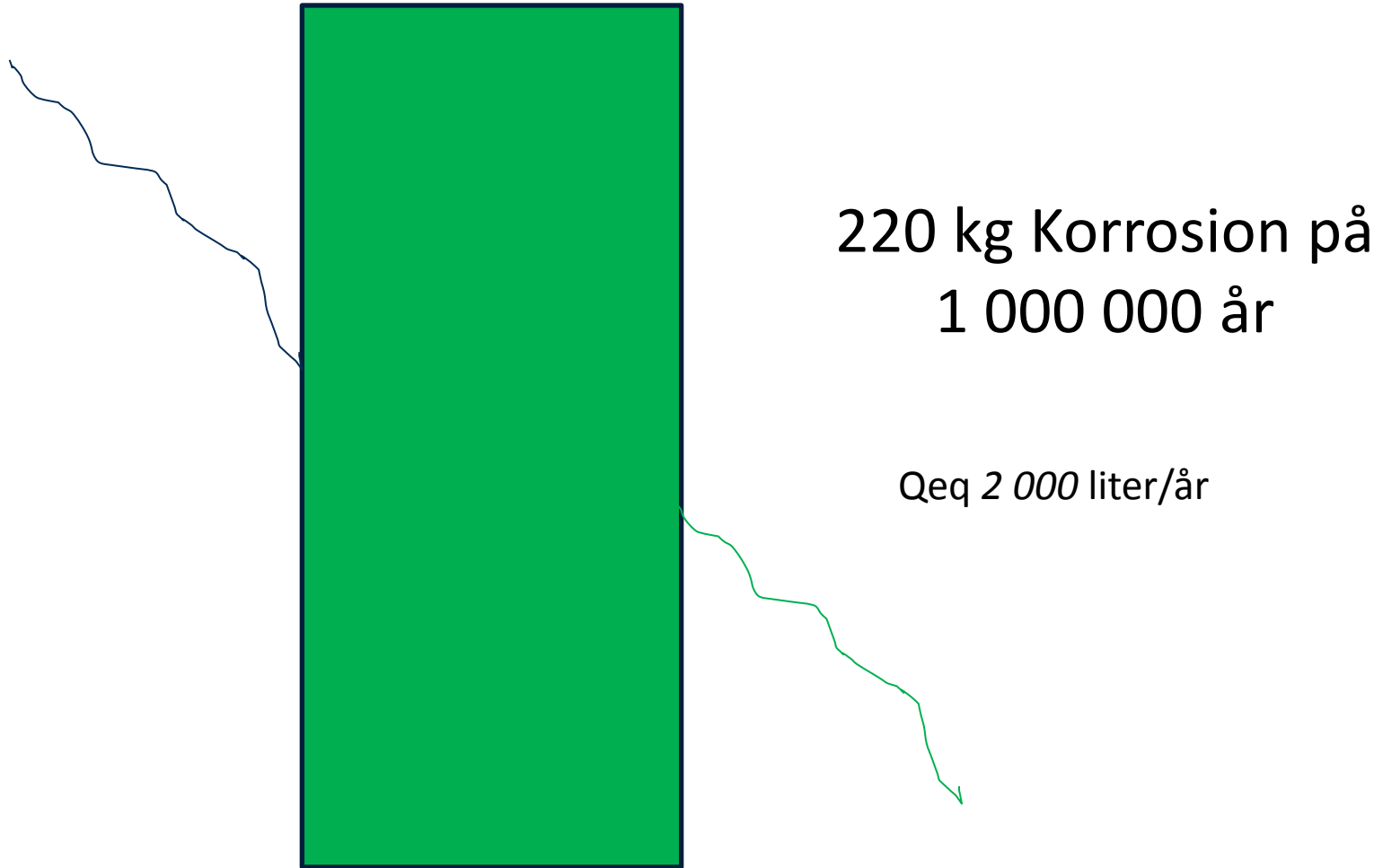
Mikrober vid buffer/återfyllningsytan katalyserar väte + sulfat reaktion

4.5 kg korrosion på 1 000 000 år



Samma resultat som om det strömmar mycket vatten i tunneln

Buffert borta



Slutsatser

- I den miljö som kopparkapseln är avsedd att placeras begränsas korrosionen av hur fort väte kan transporteras bort
- Under de förväntade förhållandena kan korrosion under väteutveckling bidra med mindre än 10 kg kopparkorrosion under en miljon år
- Under de mest extrema förhållandena skulle några hundra kg koppar kunna korrodera under en miljon år