

# 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.

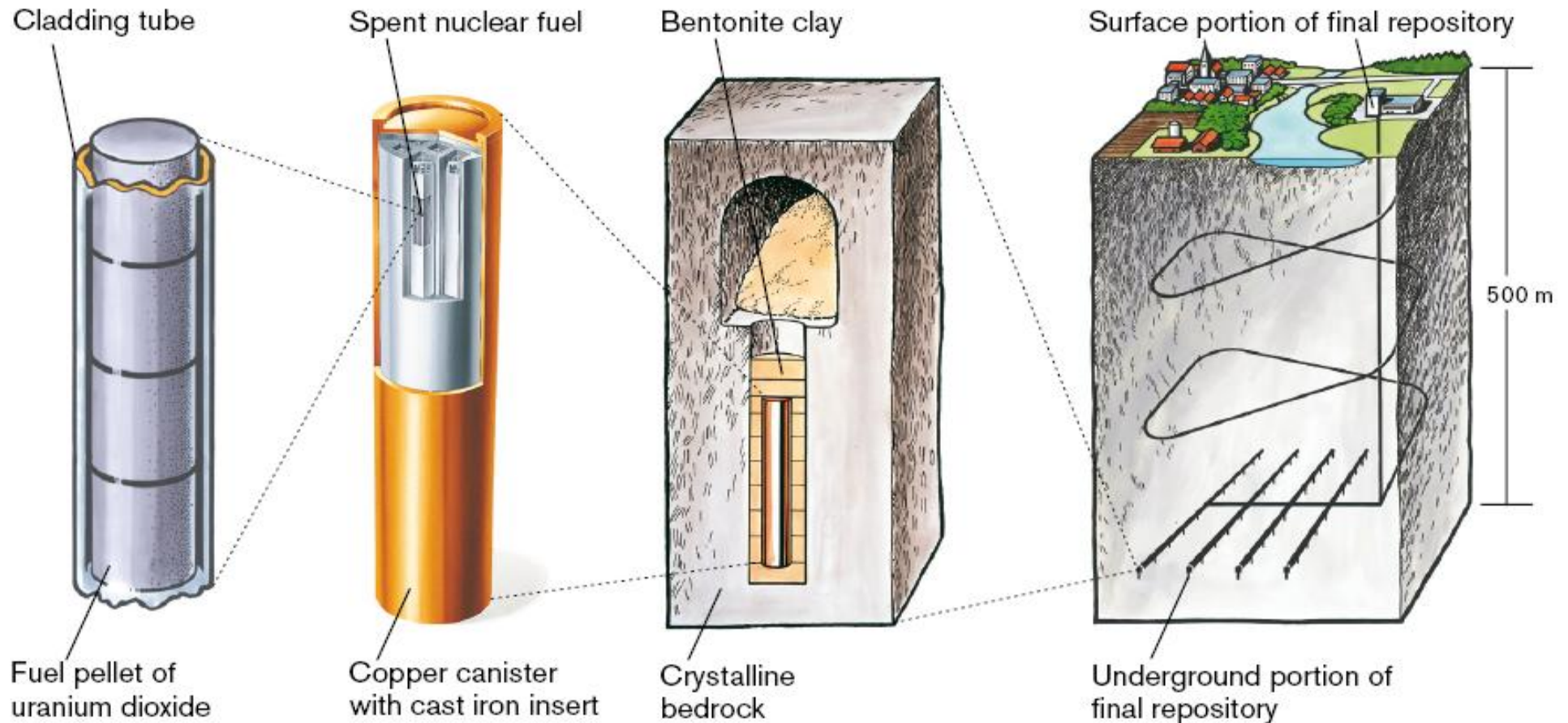
# Varför och när avstannar reaktionen? Analogi:

- 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

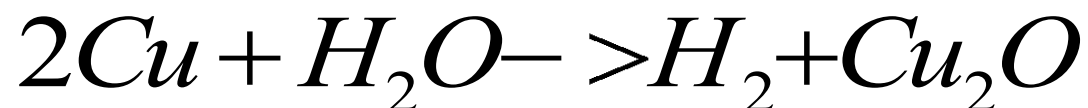


# Tänkbara sänkor och transportmekanismer för vätet

- 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).



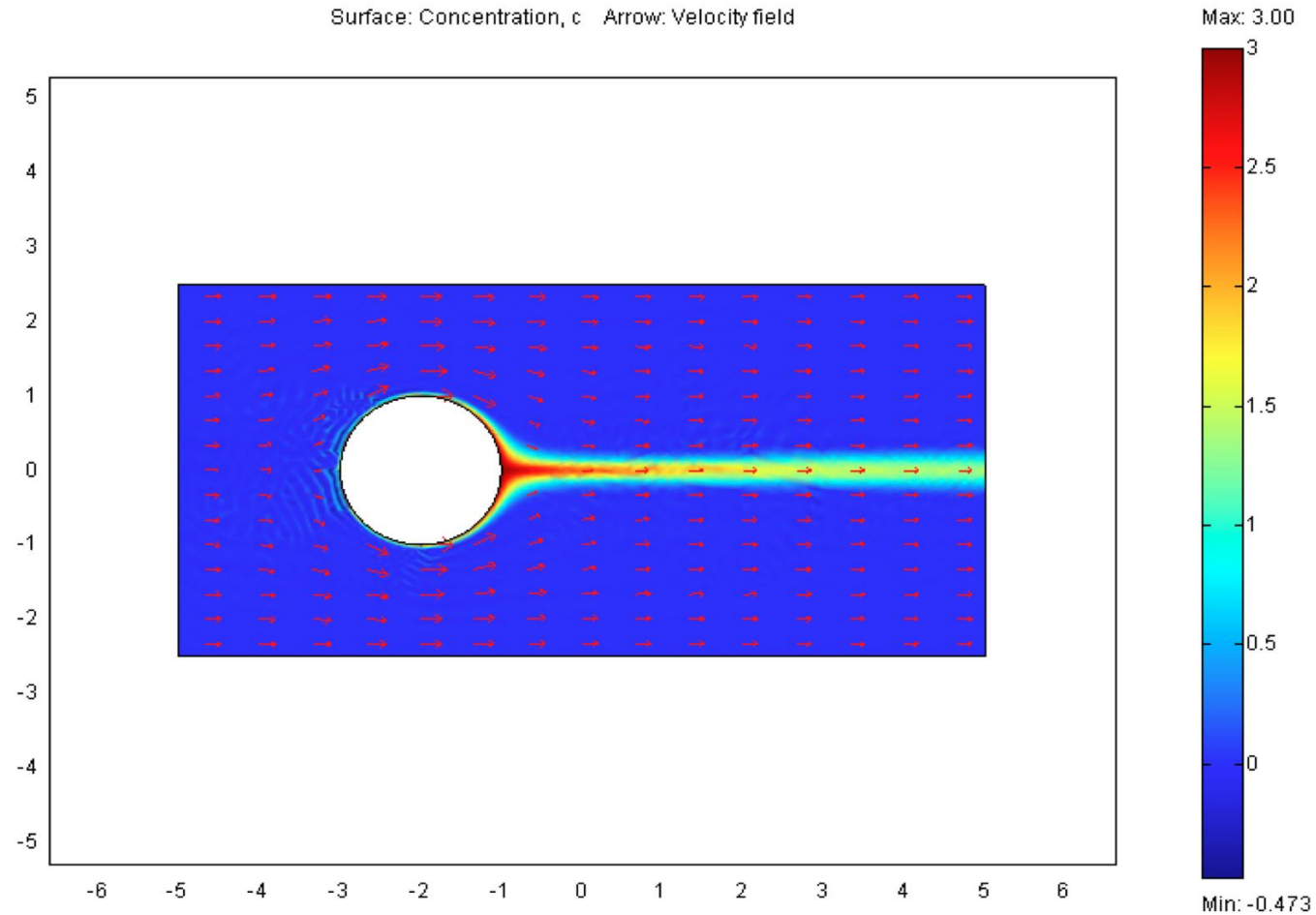
- En molekyl väte genereras av två atomer koppar
- Om vi kan bestämma hur fort väte transporteras bort vet vi hur fort korrosionen sker
- Antag att allt väte bildar H<sub>2</sub> (försumma att en del kan stanna i kopparn)

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

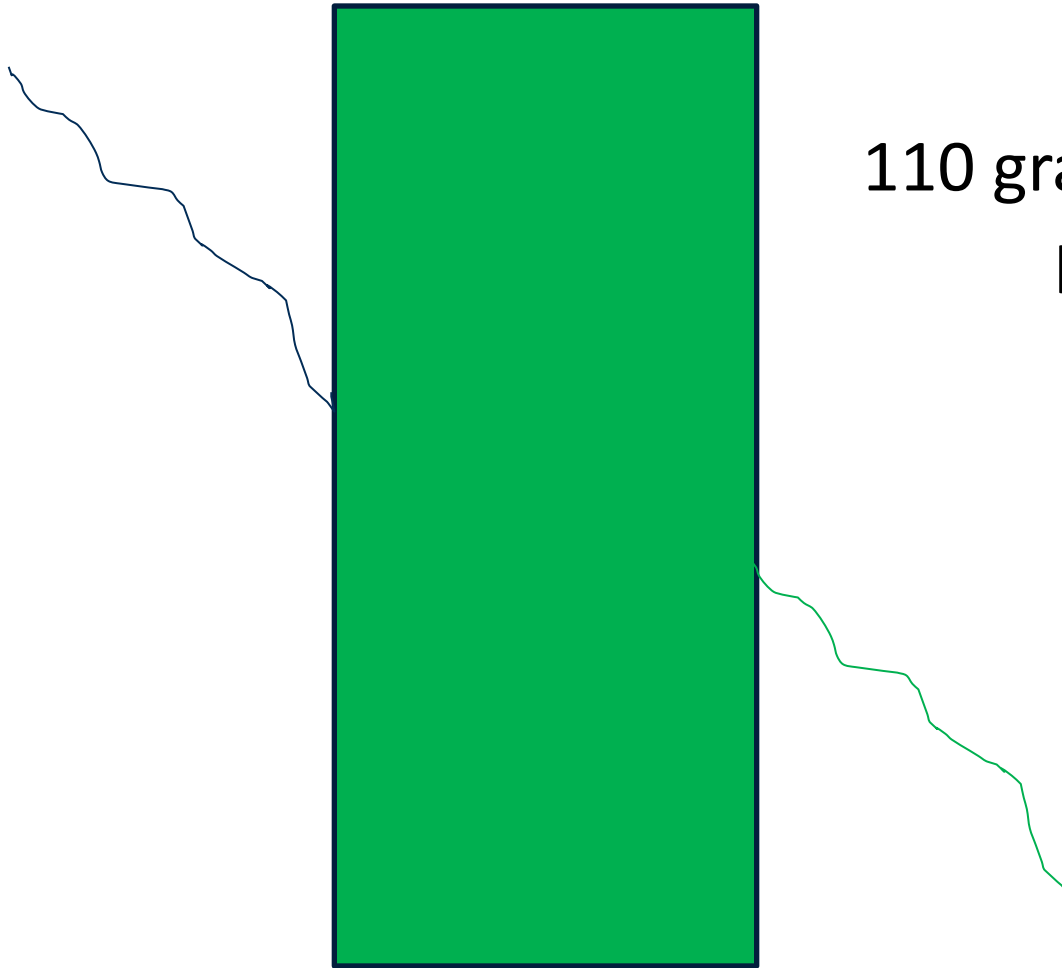
- $c=8.7 \cdot 10^{-7}$  mol/liter (ca 1,8 mikrogram/liter, 1,8 ppb)
- Väte från 1 g koppar behöver 9 000 liter vatten att lösa sig i vid 0,001 atm jämviktstryck

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

# Sipprande vattens transportkapacitet- Ekvivalent flöde $Q_{eq}$



# Sipprande vatten



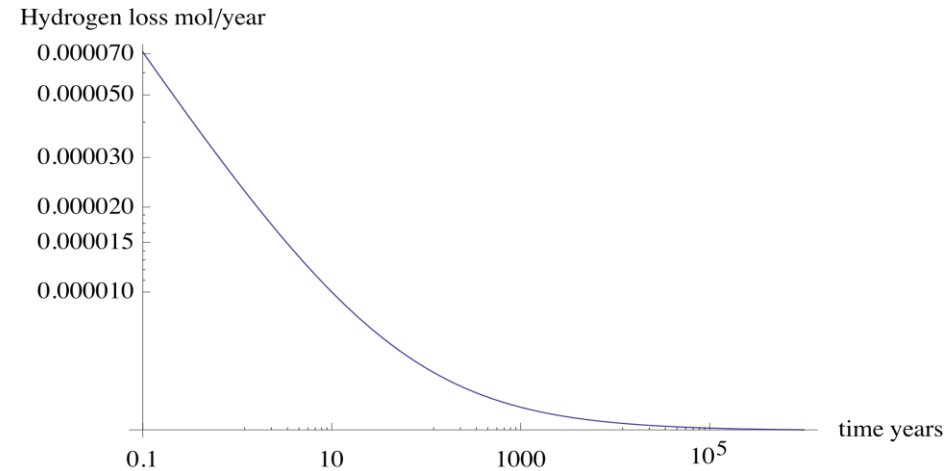
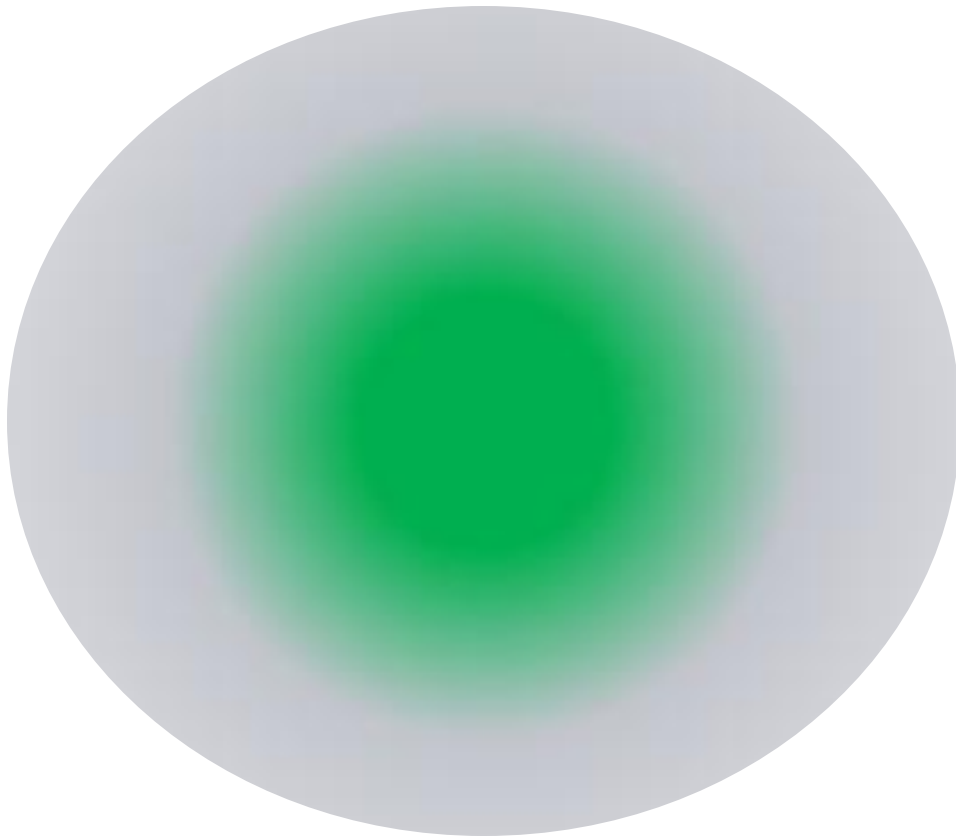
110 gram koppar korroderar  
på 1 000 000 år

Vid ekvivalent flöde  
Qeq 1 liter/år/kapsel

# Diffusion i stagnant porvatten i bergmatrisen

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

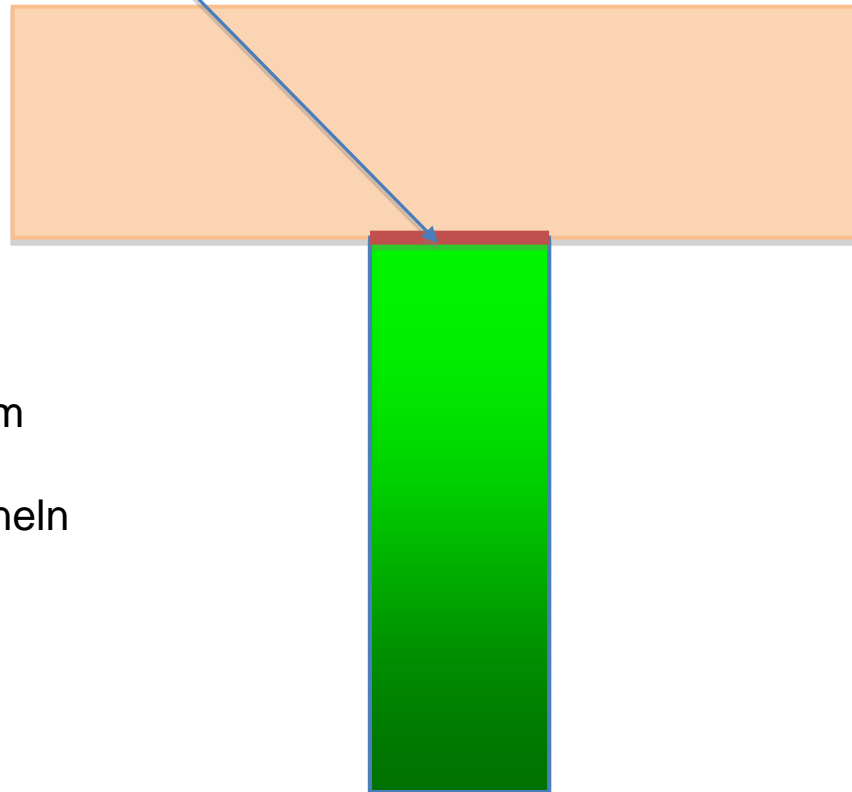
420 g Korrosion på  
1 000 000 år



# Mikrobiellt katalyserad vätgasoxidation vid obegränsad tillgång till sulfat

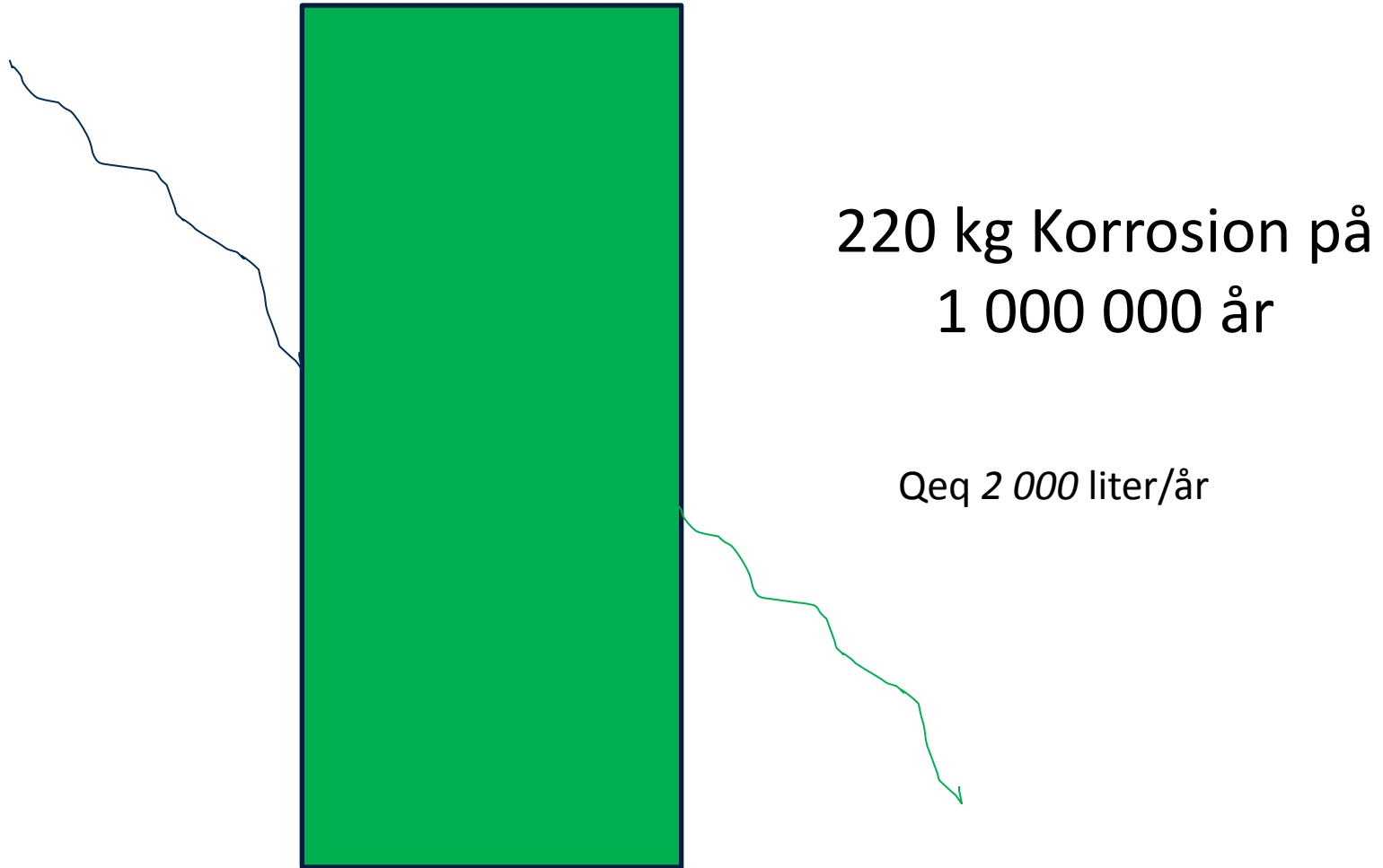
Mikrober vid buffer/återfyllningsytan katalyserar väte + sulfat reaktion

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