

# Undermarksbyggandets växelverkan med grundvattenkemi

**Hur grundvattnets kemi kommer att bete sig i området kring ett tunnelbygge är svårt att förutsäga. Grundvattenbildning och flödesmönster påverkas mer eller mindre och vattenanalyser före byggskedet ger ofta en osäker bild av de framtida förhållandena. Under bygg- och driftskede påverkas grundvattnets sammansättning av geologiska och hydrogeologiska förhållanden samt av vald byggnadsteknik. Den grundvattenkemiska sammansättningen kan i sin tur påverka nedbrytningen av det bärande huvudsystemet i undermarksanläggningar. I strävan att välja konstruktionsmaterial som optimerar en undermarksanläggnings livslängd och minimerar kostnader är de grundvattenkemiska prognoserna väsentliga. I framtidens infrastrukturprojekt bör det därför vara angeläget att ägna berggrundens vattenkemi ett större intresse.**

Hur grundvattenkemin påverkas av undermarksanläggningar är ett relativt outvecklat kunskapsområde. Undermarksbyggande i berg medför som regel att omsättningstiderna för grundvattnet minskas genom ett påtvingat och huvudsakligen nedåtriktat grundvattenflöde. Detta skapar i sin tur en grundvattenkemisk miljö som kan skilja sig från opåverkade förhållanden.

Vår forskning visar att grundvattenkemiska förhållanden blir mer dynamiska av en undermarks konstruktion än under opåverkade förhållanden. En bedömning av grundvattenkemisk beskaffenhet genom provtagning innan en anläggnings byggskede ger ofta en osäker beskrivning av grundvattenkemin i tunnelns omedelbara närhet om man jämför med påverkade förhållanden. De riktlinjer som tillämpas av svenska myndigheter för att bedöma grundvattenkemiska egenskaper vid undermarksbyggande är därför inte helt tillförlitliga.

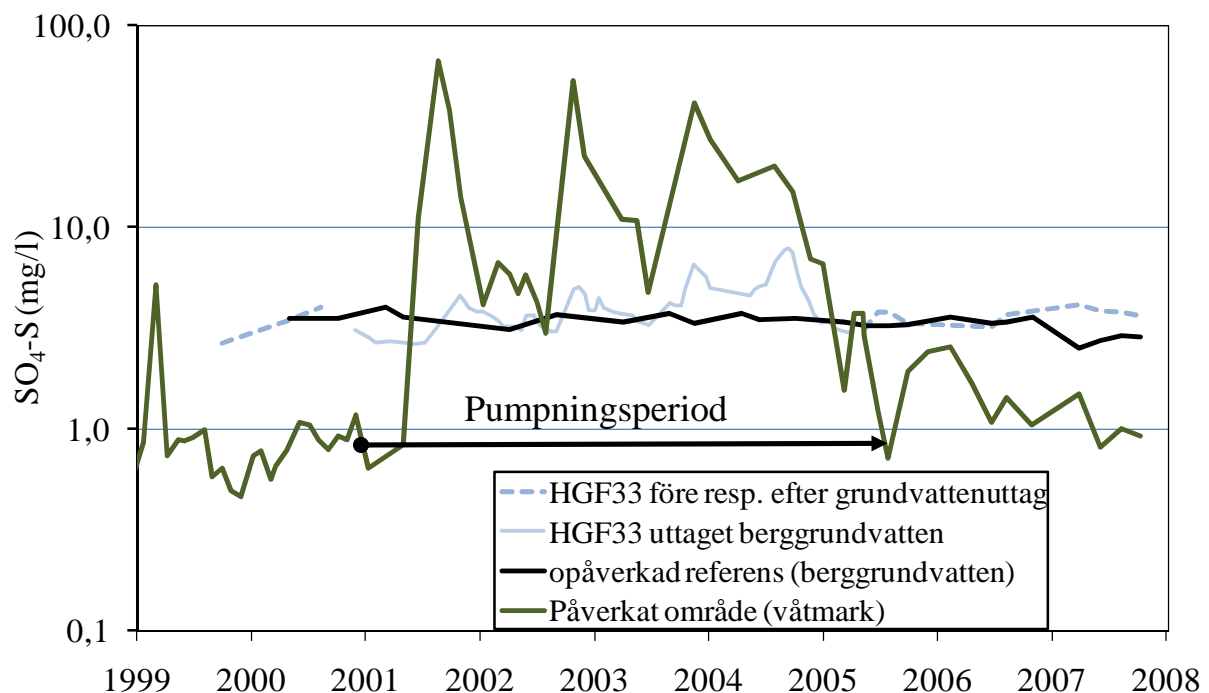
I Skandinavien är den senaste glaciationen och havsvattenförändringarna viktiga för den kvartärgeologiska utvecklingen och för grundvattenkemin. Hydrologiskt delas landskapet in i inströmnings- respektive utströmningsområden för grundvatten. Genom inläckage av vatten till en undermarksanläggning kan de hydrologiska förhållandena ändras så att naturliga utströmningsområden istället blir till inströmningsområden. I landskapet motsvaras utströmningsområden av våtmarker, vattendrag, sjöar och hav. Sedimentområden och våtmarker kan fungera som organiskt bindande depåer för flera kemiska ämnen och dessa kan frigöras till följd av hydrologiska förändringar som orsakats av undermarksbyggande.

Inom ramen för vår forskning har vi beaktat hur grundvattnets kemiska sammansättning kan påverka nedbrytningen av det bärande huvudsystemet i undermarksanläggningar. Viktiga konstruktionsdelar är förstärkningsbultar, sprutbetong, injektering och dräneringssystem för inläckande vatten.

Forskningsresultaten visar att följande vattenkemiska förändringar kan vara viktiga för att bedöma påverkan av stål och cementbaserade material:

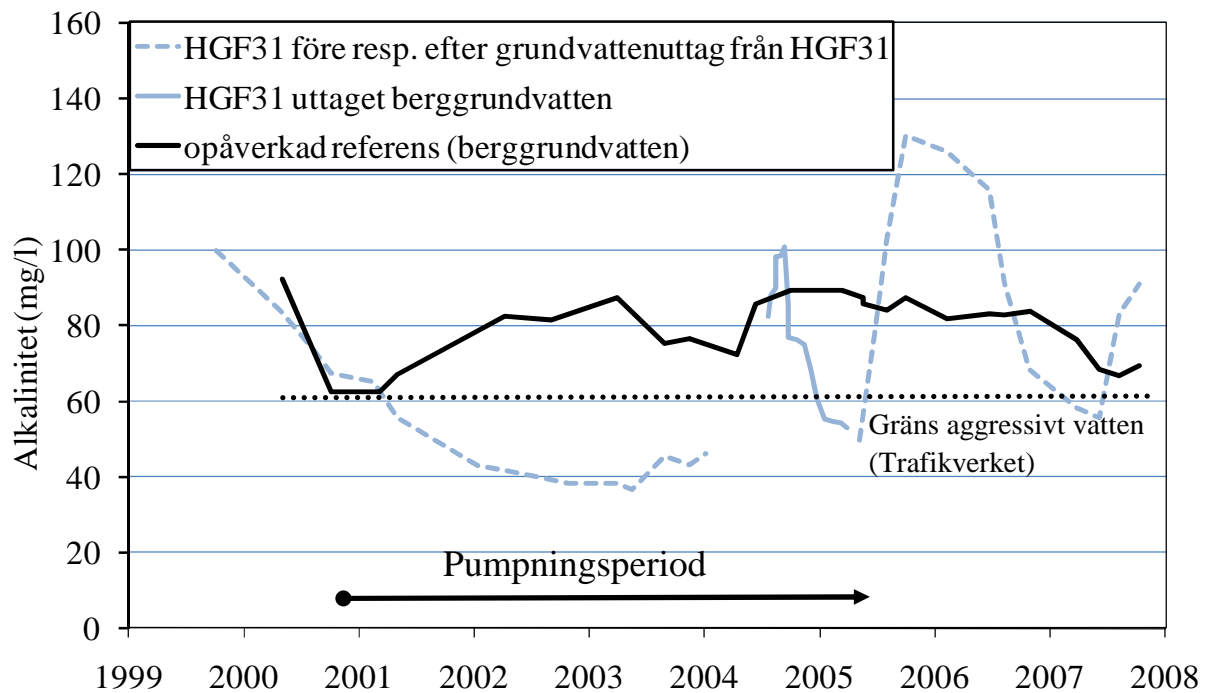
- En mer oxiderande miljö skapas genom ökat tillflöde i berggrunden av ytligare grundvatten.

- En höjning av sulfatkoncentrationer genom oxidation av tillgängligt svavel i berg och jord, vilket i sin tur kan leda till en sänkning av pH (se figur 1). Detta kan orsaka en korrosiv miljö för stål och till sulfatangrepp på cementbaserade material.
- Ökade kloridkoncentrationer genom att djupt förekommande relict vatten strömmar mot undermarksanläggningen eller att kloridhaltigt vatten med marint ursprung strömmar mot anläggningen. Höga kloridkoncentrationer kan leda till nedbrytning av framförallt stålmaterial.
- Genom inflöde av ytligt vatten kan koncentrationen av organiskt kol öka i berggrundvattnet. Vid nedbrytning förbrukar det organiska kolet syre (om det finns tillgänglig) eller reducerar sulfat till svavelväte. Om kalciumkarbonat finns tillgängligt kan detta gå i lösning. Inflödet av organiskt kol motverkar således några andra nämnda processer.
- När grundvattnet innehåller bikarbonat kan kalcitbildning ske. Detta kan medföra bärighetsminskningar eftersom vidhäftningen mellan materialet av cement och intilliggande material, t.ex. berg eller bultar, minskar. Kalcitbildning är troligtvis en vanlig process i närheten av en undermarksanläggning eftersom lösligheten för kalciumkarbonat i vatten minskar då koldioxid avges till luften i anläggningen. Systemet för kalciumkarbonat är nära kopplat till alkalinitet, se figur 2.



**Figur 1.** Grundvattenkemiska förändringar i en bergborrad brunn (se vänster y-axel) och i en ovanliggande våtmark (se höger y-axel) som påverkades av uttaget från brunnen under perioden december 2000 till april 2005. Uttaget orsakade oxidationsprocesser som ledde till att sulfat gick i lösning och svavelsyra bildades. Syrabildningen orsakade i sin tur en sänkning av pH. Efter att grundvattenuttaget avslutades har en gradvis återhämtning skett av både sulfatkoncentrationer och pH. I diagrammet visas även en opåverkad bergborrad observationsbrunn (heldragen linje) i ett referensområde.

Ett annat vanligt problem, som är relaterat till vattenkemiska förhållanden, är igensättning av dräneringssystemen för inläckande vatten i en tunnel. Problem med igensättning av dräner föreligger främst när järn och mangan som är löst i grundvattnet oxideras genom mikrobiell aktivitet och faller ut. Detta sker för järn främst när vattnet har pH mellan 5,5 och 7,0 och för mangan med pH mellan 7,0 och 8,0. Redoxstillståndet och pH påverkas ofta av undermarksbyggande eftersom injektering med cement skapar en alkalisk miljö nära en anläggning och läckage till en tunnel kan medföra ökad syresättning.



**Figur 2.** Alkalinitet i berggrundvatten i en observationsbrunn (HGF31) som påverkats av ett grundvattenuttag jämfört med en opåverkad referens. Under perioden december 2000 till februari 2004 användes HGF31 som referens när ett närliggande borrhål pumpades. Från april 2004 till april 2005 användes även HGF31 för grundvattenuttag. När det intilliggande borrhålet pumpades skedde en gradvis minskning av alkalinitet över tid. Efter pumpningsuppehållet våren 2004 steg den generella alkalinitetsnivån men under avtagande trend, vilket beror på ändrade influensområden. I diagrammet framgår även Banverket/Vägverkets kriterium för aggressivt vatten.

Forskningsresultaten visar att den grundvattenkemi som erhålls under bygg- och driftskede av en undermarksanläggning i hög grad är beroende av geologiska, hydrogeologiska förhållanden och vald byggnadsteknik. Man kan konstatera att en god tätning av en tunnel även minimerar grundvattenkemiska förändringar. I strävan att välja konstruktionsmaterial som optimerar en undermarksanläggningens livslängd och minimerar kostnader är de grundvattenkemiska prognoserna väsentliga. I framtidens infrastrukturprojekt ser vi det som angeläget att ägna berggrundens vattenkemi större intresse.

#### Läs mer:

Knape S, 2001. Natural Hydrochemical variations in small catchments with thin soil layers and crystalline bedrock. Publ. A98. Dissertation for lic. degree. Geologiska institutionen, Chalmers tekniska högskola.

Mossmark F, Hultberg H, Ericsson L O, 2007. Effects of groundwater extraction from crystalline hard rock on water chemistry in an acid forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *Applied geochemistry*, vol. 22, p. 1157-1166.

Mossmark F, Norin M, Dahlström L-O, Ericsson L O, 2008a. Vattenkemins påverkan på undermarksanläggningar. SveBeFo rapport K29.

Mossmark F, Hultberg H, Ericsson L O, 2008b. Recovery from an intensive groundwater extraction in a small catchment with crystalline bedrock and thin soil cover in Sweden. *The Science of the Total Environment*, vol. 404 (1-3), p. 253-261.

Mossmark, F, 2010. Groundwater chemistry affected by underground construction activities. Publ. 2010:2. Dissertation for lic. degree. Institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola. Göteborg.

Vägverket, 2004. Tunnel 2004, Publikation 2004:124. Borlänge.