

U P P D R A G S R A P P O R T

Dagens kunskapsnivå – korrosion på bergbultar

Utfärdare: Bertil Sandberg
Grupp: 74
Datum: 2007-02-19

Er referens: GECON AB
Ulf Lindblom
Viktor Rydbergsgatan 1 A
411 34 Göteborg

KIMAB:s referensnummer:746693-745

Granskad av: _____
Ulf Sender

CORROSION & METALS
RESEARCH INSTITUTE

kimab

Datum: 2007-02-19

KIMAB:s referensnummer: 746693-745

Bertil Sandberg
Korrosions- och Metallforskningsinstitutet AB (KIMAB),
Drottning Kristinas väg 48,
S-11428 Stockholm, Sweden
email: Bertil.Sandberg@kimab.com
tel.: 08-6741711

1 Inledning

Kunskap om cementingjutna bergbultars långtidsbeständighet har stor betydelse för framtida projekt men kanske framförallt för att kunna bedöma erforderliga underhållsinsatser i befintliga tunnlar, som i många fall fått annan funktion än vad som avsågs vid byggnationen.

Geological Engineering Consultants, Gecon har givit Korrosions- och Metallforskningsinstitutet, KIMAB i uppdrag att fastställa dagens kunskapsnivå avseende korrosion på bergbultar. Med bergbultar avses i detta sammanhang cementbruksingjutna bultar.

2 Utförande

I samband med ett uppdrag från SveBeFo 2002, Cementingjutna bultars beständighet (1) utfördes en litteratursökning. För att kontrollera om några nya rapporter publicerats på senare år utfördes en förnyad sökning. För övrigt baseras undersökningen på internt material från olika projekt/uppdrag genomförda på forna Korrosionsinstitutet med anslag från Vägverket, SveBeFo och Atlas Copco. Vidare har information, rörande teknisk utformning och problemområden, inhämtats från Ulf Lindblom Gecon, Kjell Windelhed Vägverket och Bo Blixt Göteborg Energi. Utgående från detta har en fördjupad analys av bergbultars korrosionsmiljö utförts.

3 Begränsningar

Utredningen innefattar inte förhållandena inom gruvnäringen där mycket korrosiva bergvatten och tunnelmiljöer kan förekomma. Vattenfyllda tunnlar för t.ex. kylvatten ingår inte heller. Däremot innefattas väg- och järnvägstunnlar, spillvattentunnlar och tunnlar för olika typer av kanalisationer både i ytligt berg och under yttre tryck från grundvatten eller sjöar och hav.

I de förda resonemangen bortses vidare från den eventualiteten att ingjutningen utförts med ett olämpligt bruk.

4 Korrosionsmiljöer

En ingjuten bergbult exponeras för i princip tre olika korrosionsmiljöer:

- Atmosfärisk korrosion i tunneln.
- Korrosion i cementbruk påverkat av närheten till tunneln.
- Korrosion i cementbruk längre in i berget.

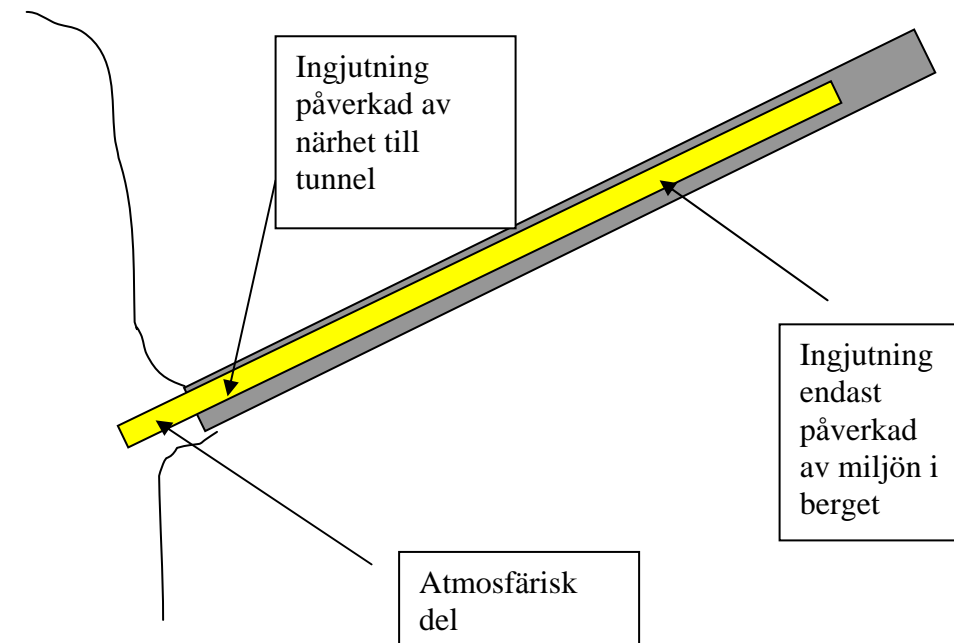
För en armerande bult är den atmosfäriska korrosionen utan betydelse. Rostrinning från ytterändan kan dock försvåra bedömningen av bultens tillstånd längre in i berget. Korrosion på en förspänd bults bricka verkar försvagande men i de flesta fall är den yttre ingjutna delen av minst lika stor betydelse för förankringen.

Bruket i den yttre delen av den ingjutna bulten påverkas av närheten till tunneln. Således kan bruket karbonatiseras pga kontakt med luftens koldioxid, svällning av bruket ge avspjälkning, bruket tillförs syre från luften och sprickor i bruket kommunicera med atmosfären och medge transport av vatten.

Längre in i berget råder andra förhållanden än i ytterändan. De flesta reaktioner mellan bruket och vatten ger upphov till svällning (1). Här ger inte svällningen upphov till några negativa konsekvenser, typ spjälkning, istället tätas eventuella torksprickor i bruket. Vidare är möjligheten till urlakning av bruket begränsat till punkter där berget är sprucket och vatten kan transporteras förbi bulthålet.

5 Korrosionsmekanismer

I det följande studeras vilka korrosionsmekanismer som är aktuella för de ovan identifierade korrosionsmiljöerna. Vilka områden som avses framgår av nedanstående figur.



5.1 Atmosfärisk korrosion

Ett flertal faktorer inverkar på den relativa fuktighet som krävs för att korrosionen inte ska bli försumbar. I praktiken kan man dock sätta den till 70 % (2).

Den korrosionshastighet som uppstår vid högre relativ fuktighet bestäms av luftens innehåll av SO₂, NO_x och Cl⁻ samt temperaturen och graden av nedsmutsning (1,3). I tunnlar har de partikulära föroreningarna (smutsen) en stor inverkan. Således har det visat sig att i vägtunnlar är gasformiga föroreningar helt underordnade inverkan från smuts och tölsalter (3).

En markant ökning av korrosionshastigheten är också att förvänta om bultändan är utsatt för vatten som droppar från väggen särskilt om detta är surt och innehåller klorider.

5.2 Korrosion i cementbruk påverkat av miljön i tunneln

Den yttersta delen av den ingjutna bulten är mer utsatt för korrosion än delar längre in. Följande motiv till detta finns:

- Bruket står i kontakt med atmosfären i tunneln och blir därmed successivt karbonatiserat från ytan och inåt. I vägtunnlar kan bruket tillföras klorider från tölsaltning och i alla typer av tunnlar klorider från bergvattnet om tunneln går under havsvatten/bräckt vatten.
- De flesta reaktion mellan cementpastan och vatten leder till svällning. I ytterändan kan detta ge upphov till avspjälkning.
- Syrehalten i bruket blir högre i ytterdelen än längre in eftersom mängden syre är begränsad i berget jämfört med den i atmosfären i tunneln. I karbonatiserad

och/eller kloridhaltigt bruk begränsas därför inte korrosionen i samma grad av tillgången på syre såsom är fallet längre in i berget.

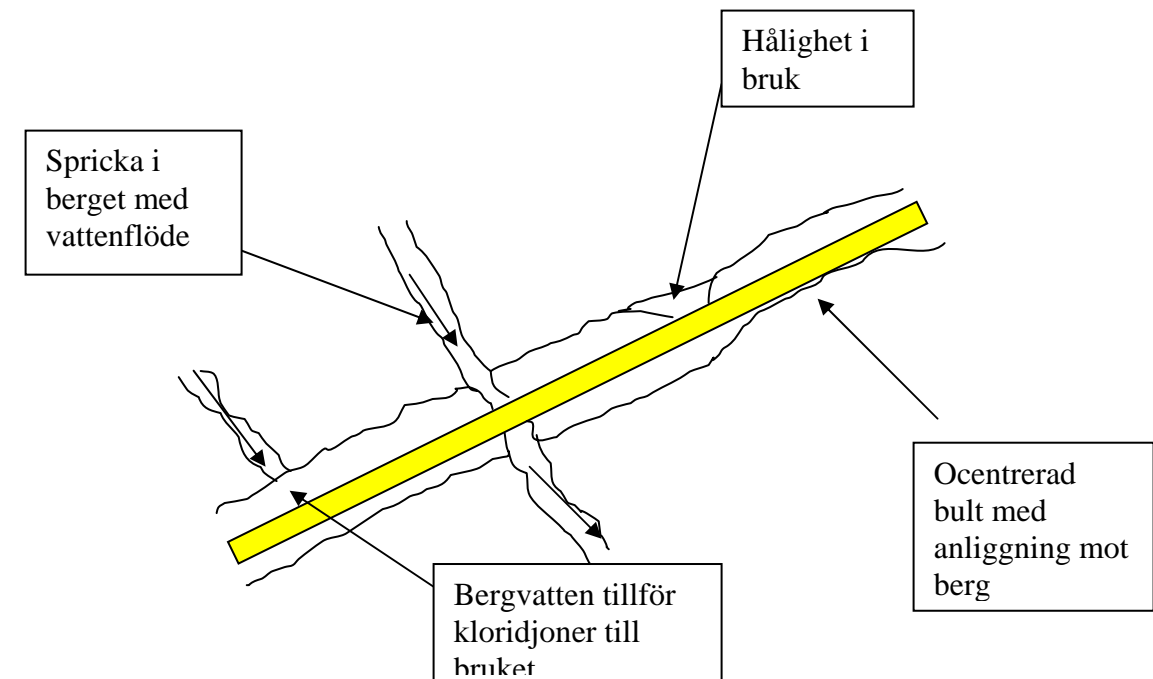
- Håligheter i bruket kan lättare kommunicera med atmosfären i tunneln och därmed skapa ett flöde som leder till vidare urlakning.

Vid högre kloridhalter än 0,3 vikts % räknat på cementvikten i bruket uppstår angrepp på stålet. I karbonatiserat bruk är gränsen 0 %. De korrosionsprodukter som bildas har större volym än det stål som det bildats av. Korrosionsprodukterna på stål fritt exponerat i luft har 10 gånger så stor volym som stålet. Motsvarande värde för stål ingjutet i betong är två, så länge täcksiktet är intakt. I ytterändan kan trycket från korrosionsprodukterna leda till avspjälkning.

Utvärderingen av de nedsprängda bultarna från Vindö-tunneln, efter 40 års drift, bekräftar att det är ytterändan som är mest utsatt för korrosionsrisk. Av totalt 1400 bultar uppvisade 199 st angrepp. Av dessa hade 31% mätbara angrepp. Angreppen på samtliga dessa 62 bultar var belägna på den del av bulten som sträckte sig från bergväggen och 0,4 m in i berget (4). Endast 10 % av angreppen låg djupare in än 0,2 m och merparten mellan 0,05 och 0,20 m in i berget.

5.3 Korrosion i cementbruk längre in i berget.

Risk för korrosion längre in i berget föreligger vid ofullständig fyllning, dåligt centrerat järn, tillförsel av kloridrikt vatten till bruket och vid vattenflöden i sprickor som lakar ut bruket, se figur nedan.



I en sluten hålighet kommer tillfört vatten att gå i jämvikt med cementpastan och erhålla ett pH-värde på 12,4 vilket passiverar stålet. Motsvarande förhållanden uppstår för en

ocentrerad bult med anliggning mot berg. Saknas ett kontinuerligt vattenflöde kommer tillfört vatten att alkaliserar och korrosionen blir försumbar.

Tillförs bruket kloridjoner via bergvattnet kan kloridhalter över 0,3 vikts % uppstå. Den begränsade tillgången på syrgas medför dock att korrosionshastigheten blir låg. En jämförelse med betongkonstruktioner i havsvatten kan göras. I vattenmättad betong blir korrosionen på armering obetydlig även vid mycket höga kloridhalter pga att den begränsas av den låga diffusionshastigheten för syrgas.

Den kvarvarande risken är således om det existerar vattenförande sprickor i berget som passerar bruket och lakar ut det. Bestämmande för korrosionshastigheten blir vattnets kemiska sammansättning, flödes hastigheten och vattnets syrehalt. Denna risk minimeras om injektering utförs så att borrhålen är torra vid bultsättningen. I förinjekterat berg bildas nämligen vid lakningen ansenliga mängder hydroxidjoner som höjer pH värdet i omgivande vatten. Vid kontakt med luft kommer den utlösta kalciumhydroxiden att reagera med koldioxid så att det bildas kalciumkarbonat (kalk). Vid långsamt flöde i en spricka kommer denna kalk att läka sprickan. Det erfordras därför ett ganska stort flöde i sprickan för att det ska ge allvarli lakning (1).

6 Rekommendationer för utförande av framtida bultsättning

För de inre delarna av bergbulten bedöms risk för korrosion endast föreligga vid närvaro av vattenförande sprickor i berget som kan laka ur bruket respektive om bergvattnet tillför bruket höga halter kloridjoner.

Vid närvaro av vatten injekteras normalt berget. Om man dessutom väntar ett dygn efter det att hålet borrats innan bulten sätts bör risken för inverkan från vattenförande sprickor ha minimerats (5).

Om tunneln går under havsvatten kan bruket tillföras högre halter kloridjoner. Stålet förlorar sin passivitet men i de allra flesta fallen blir korrosionen försumbar pga låg syrgastillförsel. Ökad säkerhetsmarginal erhålls om bulten varmförzinkas (6), se tabell nedan:

Tabell 1. Kloridhalter i bruk då korrosion initieras (vikts % av cementvikten).

Material	Icke karbonatiserat bruk	Karbonatiserat bruk
Stål	0,3 %	0 %
Varmförzinkat stål	1,5 %	1,0 %

Varmförzinkning minskar också risken för korrosion på den del av den ingjutna bulten som påverkas av miljön i tunneln. Som framgår av tabellen kan en viss tillförsel av klorid även accepteras i karbonatiserat bruk (större risk i ytterändan).

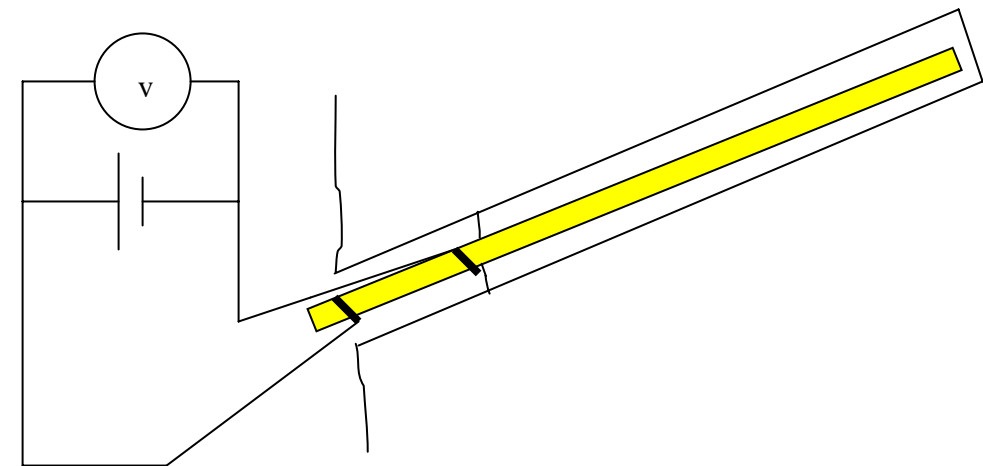
Angrepp på den atmosfäriskt exponerade delen av bulten är, enligt ovan, inte kritiskt för funktionen men försvårar bedömningen av bultens tillstånd i ett senare skede. I tunnelmiljö varierar zinkens korrosionshastighet mellan 1 och 5 µm/år dvs ett normalt zinkskikt på 60 µm är förbrukat efter 12-60 år. I de flesta tunnelmiljöer torde 20 år vara max. Zinkens

korrosionshårdighet bygger på att skyddande korrosionsprodukter bildas på ytan. Detta sker om ytan ömsom utsätts för fukt ömsom får torka upp. Vid ständig kondens kan dock korrosionshastigheten bli hög. I ”blöta” tunnlar typ spillvattentunnlar rekommenderas att den varmförzinkade bultens ytterända doppas i varmasfalt före montering.

7 Kontroll av äldre installationer

Mycket tyder på att den svaga länken för ingjutna bergbultar är den yttre delen, från bergväggen och 20 cm in i berget. Längre in krävs sprickor med flödande syresatt vatten som lokalt lakar ur bruket för att angrepp ska uppstå. Vid inspektion av äldre bultar bör man således fokusera på dessa yttre delar. Rostrinning från fritt exponerade ytterändar kan göra att korrosionsrisken överdrivs.

Kan bulten friläggas från bruk från väggen och 25 cm in samt inspekteras torde det stora flertalet försvagade bultar kunna identifieras. Håligheten runt oskadade bultar injekteras därefter med nytt bruk. Borttagande av bruk borde kunna ske med vattenblästring. Inspektion/utvärdering bör kunna ske antingen med fiberoptik eller eventuellt genom resistansmätning, se nedan.



Ska risken för angrepp vid sprickor längre in i berget bedömas bör dessa baseras på analyser av prov tagna från bergvattnet. Med beaktande av att någon entydig metodik inte finns och att inverkan är många (syrehalt, flöde, mängd urlakat bruk osv) bör man överväga om inte extra förstärkning bör prioriteras före omfattande undersökningar i utsatta partier.

8 Referenser

1. Windelhed, K & Sandberg, B & Lagerblad, B: Cementingjutna bultars beständighet. SveBeFo Rapport 58. 2002.
2. Wranglen, G: Metaller korrosion och ytskydd. Almqvist & Wiksell. 1967.
3. Sandberg, B & Johnsson, T & Tuveson-Carlström, L: Undersökning av tunnelmiljöns korrosiva egenskaper - Etapp 2. KI rapport 55 258. 2001.
4. Sandberg, B: Beständighet hos ingjutna bergbultar-analys av bergbultar från Vindötunneln. KI rapport 55 882. 2002.
5. Blixt, B: Personligt meddelande.
6. Vinka, T-G: Korrosion på förzinkat stål och kolstål i karbonatiserad och kloridhaltig betong. Bygg&Teknik nr 7/02.