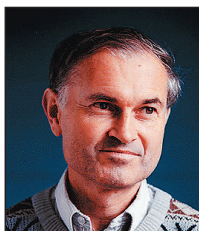


Miljöaspekter på takmaterial; metallavrinning, biotillgänglighet och ekotoxicitet

Under de senaste åren har en intensiv debatt pågått och mycket forskning utförts för att reda ut begreppen kring hur mycket metall som kan frigöras från en takyta i utomhusmiljö samt hur denna metall kan påverka miljön. Idag vet vi att korrosionen är större än avrinningen av metall från takytan. Vi vet också att det framför allt är den fria metalljonen som är tillgänglig för växter och djur och som vid alltför höga koncentrationer kan vara ekotoxisk. När metallinnehållande regnvatten lämnar taket färdas det igenom rörsystem och dagvattensystem. Vattnet har då nära kontakt med jord eller andra materialytor innan det till slut når ett vattendrag eller ett reningsverk. Under denna färd kommer metalljonerna i avrinningen, som är mycket reaktiva, att reagera med materialytorna på vägen. Härvid minskar koncentrationen metalljoner genom en kombination av olika reaktioner och utspädning med andra tillförda vattenmassor. Detta är den andra artikeln i Bygg & teknik om korrosion och metallavrinning från taktytor.



Artikelförfattare är Sofia Bertling, (tv) Inger Odnevall Wallinder och Christofer Leygraf, Avdelningen för korrosionslära, Kungliga Tekniska Högskolan, KTH, Stockholm.



Att utföra en riskbedömning av metallers miljöpåverkan är en komplicerad process. Förutom kunskap om den totala mängd metall som kan frigöras från en yta krävs information om metallens kemiska speciering (i vilken kemisk form metallen förekommer, till exempel i jonform). Vidare behövs information om vilken koncentration av metallen som kan ge upphov till en negativ effekt och hur troligt det är att denna koncentration överstigs i kontakt med miljön. Metaller som är *essentiella* (livsnödvändiga) för djur och växter tas i de flesta situationer upp efter djurs och växters behov.

Korrosion – avrinning

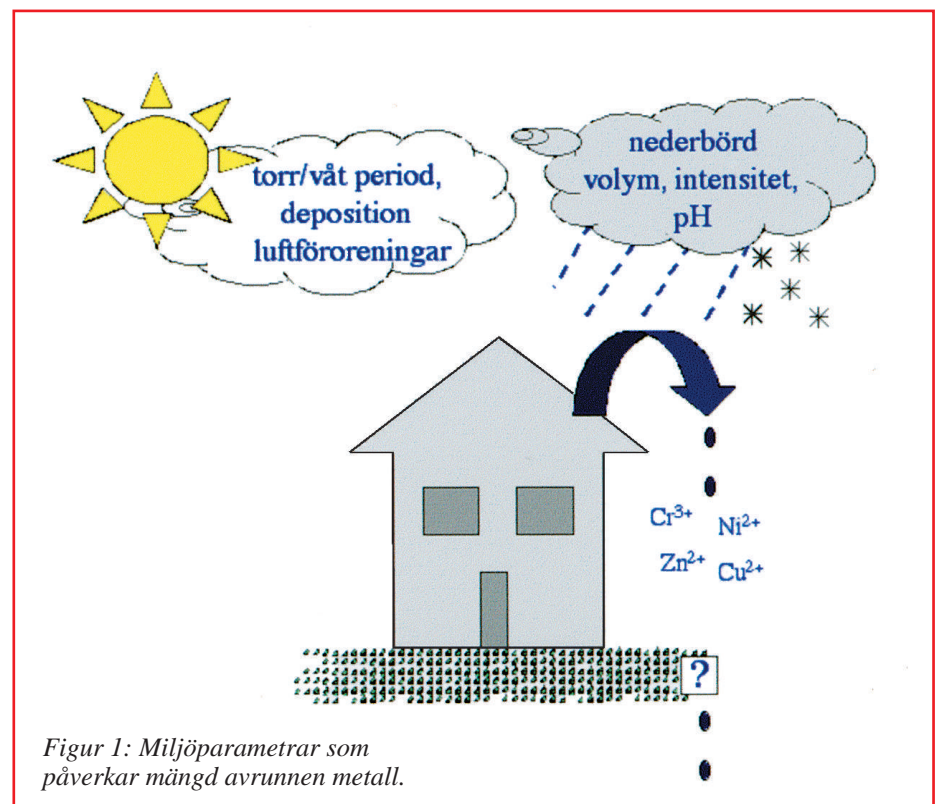
Korrosion innebär att metallen oxideras, vilket sker när metallen har tillgång till fukt, syre och andra komponenter i den korrosiva miljön. I utomhusmiljö kommer en metallyta därför snabbt att bilda ett skikt av korrosionsprodukter, ibland kallat patina. Korrosionen kommer att fortgå men avta med tiden då skiktet växer och det blir svårare för luftens vatten och syre att nå metallen genom korrosionsskiktet. Korrosionsprodukter har ofta liknande sammansättning som vissa mineraler ur vilka metallen produceras. Vid regn kan en del metall frigöras från korrosionsprodukterna och antingen följa

med regnet vidare eller stanna kvar på ytan som korrosionsprodukter.

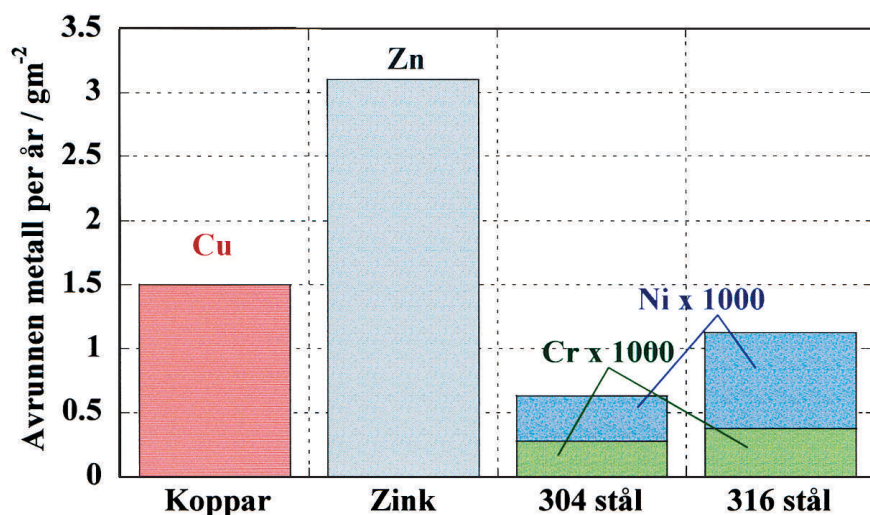
Avrinning är benämningen på den del av korrosionsprodukterna som med hjälp av regnvattnet kan frigöras från en yta och som därigenom tillförs metallföreningar av olika slag (till exempel metalljoner, metallkomplex eller partiklar som innehåller metallföreningar). Miljöparametrar som påverkar bildandet av korrosionsprodukter och hur mycket metall som kan frigöras från till exempel en takyta har diskuterats tidigare, *figur 1* [1].

Den genomsnittliga årliga totalmängden avrunnen metall från takmaterial av koppar [2], zink [3] och rostfritt stål [4] finns presenterat i *figur 2*. Observera att krom- och nickelvärdena i figuren är multiplicerade med 1 000. Avrinningshastigheterna är representativa för en Stockholmsmiljö och är ett mått på den värsta tänkbara exponeringssituationen, dvs på ett tak med 45 graders lutning i sydlig riktning.

Den totalmängd metall som kan frigöras från en kvadratmeter stor yta varierar bland annat med nederbörds mängden och har uppmätts till mellan 1 och 2 gram per år för ny och naturligt åldrad koppar och till mellan 3 och 3,5 gram per år för ny och åldrad zink. För rostfritt stål kan 0,2–0,3 milligram krom och 0,3–0,4 milli-



Figur 1: Miljöparametrar som påverkar mängd avrunnen metall.



Figur 2: Genomsnittliga årliga avrinningshastigheter av koppar, zink och krom+nickel från olika takmaterial exponerade med en lutning av 45 grader riktade mot söder i Stockholm.

gram nickel (1 milligram = 10^{-3} g) frigörs från en kvadratmeter stor yta av 304-stål (18Cr/8Ni). För 316-stål (17Cr/11Ni/2,2 Mo) har avrinningshastigheter mellan 0,3 och 0,4 milligram krom och mellan 0,7 och 0,8 milligram nickel uppmätts. Parametrar som är viktiga att ta hänsyn till vid bestämning av ett specifikt taks avrinning är bland annat dess lutning, i vilket väderstreck taket ligger, takets ålder samt graden av regnskydd [5].

Biotillgänglighet – ekotoxicitet

Begreppet *biotillgänglighet* avser hur tillgängligt ett ämne, exempelvis en metall, är för växter och djur. För flertalet metaller är den fria jonen (Cu^{2+} eller dess hydratiserade form $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$) den mest biotillgängliga. Om kopparjonen istället föreligger som en förening (till exempel $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$) är den inte alls lika tillgänglig för organismer. De avrinningshastigheter som beskrivits ovan avser totalmängd metall som frigjorts utan att ta hänsyn till den kemiska specieringen och därmed till metallens biotillgänglighet.

Ekotoxicitet är ett mått på hur skadligt ett ämne är för miljön. En metalls ekotoxiska verkan beror främst på den fria metalljonens koncentration. Vid en koncentration av exempelvis 20 gram kopparjoner i en liter vatten har man en toxisk verkan på vissa organismer medan en koncentration av två gram kopparjoner i 100 000 liter inte alls har någon verkan. I en svåröslig bunden form föreligger däremot ingen toxisk risk. För att kunna utföra en riskbedömning av en metalls inverkan på miljön är det därför viktigt att känna till metallens kemiska speciering och dess förändring i kontakt med miljön. Forskningsprojekt, koordinerat av Avdelningen för Korrosionslära vid Kungliga Tekniska Högskolan, KTH, pågår för att utreda den kemiska specieringen av metaller i avrinning från taktytor av koppar, zink och rostfria stål samt studera vilka föränd-

ringar som kan ske i kontakt med olika materialtyper. Studierna görs i samarbete med ekotoxikologer vid Universitetet i Gent, Belgien, samt med markkemister vid Ulltuna Lantbruksuniversitet i Uppsala. För en given organism är koncentrationen biotillgänglig metall i allmänhet skadlig under en lägsta gräns eller över en övre gräns, men oskadlig i ett "fönster" däremellan.

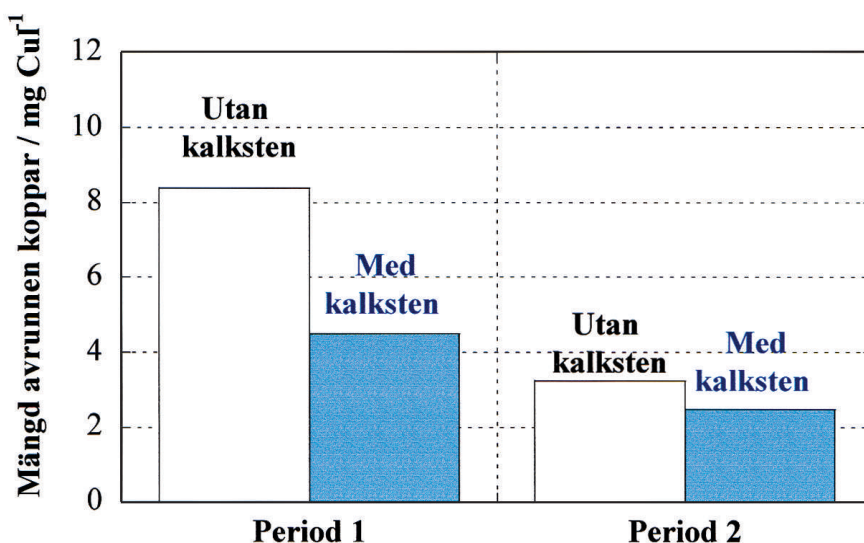
Utvärdering av olika metallers ekotoxicitet görs idag ofta med speciella "arter" av organismer med dokumenterad känslighet för metaller. Ett exempel är en grönalg, *Raphidocelis subcapitata*, men även olika kräftdjur och fiskar används vid undersökningar. Den nämnda grönalgen har nyligen använts i en tvärvetenskaplig studie där korrosion av olika zinkbaserade takmaterial och ekotoxiciteten hos det avrunna regnvattnet har stude-

rats ingående [6]. Den ekotoxiska effekten definieras i detta fall som den koncentration av biotillgängliga metalljoner vid vilken algernas normala tillväxthastighet reduceras med 50 procent. Det är alltså koncentrationen av biotillgängliga joner som avgör om algen kommer att påverkas – och inte metallens totalkoncentration. För en viss given metall kan den ekotoxiska effekten vara stor vid en viss koncentration, men liten för en annan metall vid samma koncentration.

Minskning av koncentrationen metalljoner i avrinningen

Förzinkat stål som är målat eller belagt med någon ytbeläggning är vanligare än ren zink som takmaterial i Sverige. Avrinningshastigheter mellan 0,07 och 3,5 g/m²,år har mätts upp från ett stort antal zinkbaserade takmaterial med olika typer av ytbeläggningar som barriärer [6]. Resultatet visar således att koncentrationen av zink i det avrunna regnvattnet kan reduceras med upp till 50 gånger genom att skydda den exponerade zinkytan med hjälp av olika barriärer, exempelvis organiska och oorganiska beläggningar. Studien har pågått under en tvåårsperiod under vilken beläggningarna på ytan behållit sin förmåga att fungera som barriär mellan zinken och atmosfären. Härigenom har mängden zink, som avgår med regnvattnet, minskat väsentligt. Så länge beläggningen är intakt kommer barriärverkan att fungera men så snart defekter uppstår kommer mer metall att frigöras. Studien förtgår vid Avdelningen för Korrosionslära vid KTH för att kartlägga långtidseffekter av beläggningarnas skyddsverkan.

Förmågan att *immobilisera* (binda upp) fria metalljoner som finns i avrinningen genom reaktioner med kalksten studeras också vid KTH. Studier har utförts i fält



Figur 3: Mängd koppar i avrinningen från ett koppertak utrustat med stuprör med kalksten och i ett fall utan kalksten vid två olika uppsamlingsperioder karakteriserade av samma mängd insamlat regn.

av ett kopparkoppar med stuprör med och utan kalkstensfilter kombinerat med ett antal simuleringar i laboratoriet för att mer ingående studera trender som förekommer i fältstudierna. Studierna visar att andelen koppar i avrinningen, som binds till kalkstenen, varierar från 5 till 50 procent, främst beroende på regnvattnets flöde och dess koncentration av fria kopparjoner. En annan faktor som antas ha stor inverkan är frekvensen och längden av torrperioder, dvs perioder utan nederbörd mellan regnperioderna. Under dessa upptorkningsperioder kommer diffusion av kopparjoner att ske in i kalkstenen och ytan kan åter ta upp en stor andel av de kopparjoner som avrinningen för med sig. Två olika insamlingsperioder under fält-exponeringen, med snarlika mängder insamlat regn, visas i *figur 3* från uppsamlingsytor med och utan kalkstensfilter i stuprören. Förutom att den mängd koppar som frigörs från takytorna varierar mellan de bägge perioderna, mest beroende på varierande regnförhållanden, visar bägge insamlingsperioder att koppar binds upp av kalkstenen. Under period 1 binder kalkstensfiltret cirka 50 procent av total-

mängden koppar och under period 2 cirka 30 procent.

Som vi tidigare har diskuterat är bland annat information om andelen fria joner av den totala avrunna mängden nödvändig för att bedöma ett metallflödes ekotoxiska effekt. Resultat från tidigare studier visar att andelen fria kopparjoner som lämnar en takyta utgör mellan 60 och 90 procent av den totala mängden avrunnen koppar. *Figur 4* visar att avrinning från kopparkoppar i kontakt med kalksten ger en minskning av såväl totalhalten som andelen fria kopparjoner. Av den totala kopparmängden som ändå har passerat kalkstenen har även andelen fria kopparjoner minskat, som ett resultat av reaktioner med karbonat i kalkstenen.

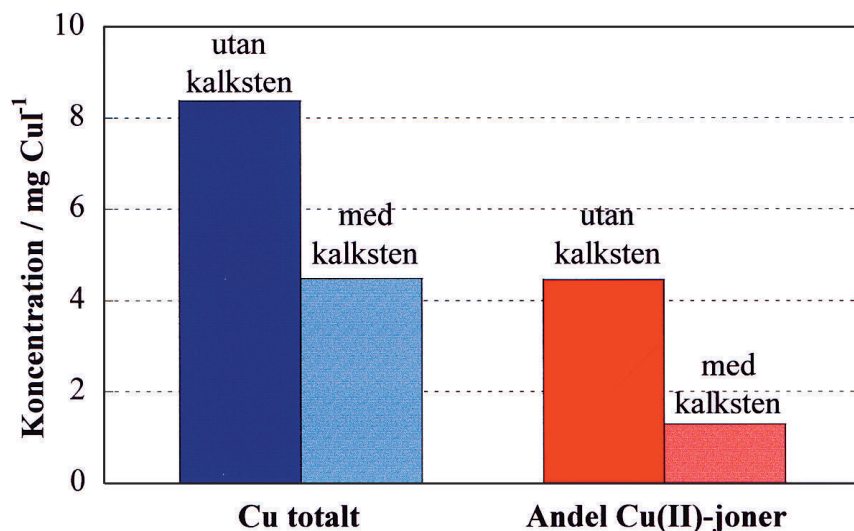
Förändringar i kopparkoncentration hos avrunnet regnvatten i kontakt med den omgivande miljön har studerats i USA genom att följa regnvattnets väg från ett kopparkoppar, via stuprör och dagvattenssystem till en vattenreservoar [7]. Koncentrationen i avrinningen minskade från cirka 0,005 g Cu/l vid takytan till cirka 0,001 g Cu/l vid dagvattenssystemet och var vid inträdet till vattenreservoaren cirka 0,00002

g Cu/l. Resultaten visar tydligt att avrunnen koppar reagerar med olika materialtyper på sin väg till vattenreservoaren.

Studier av förmågan hos olika typer av jord att binda metalljoner pågår vid avdelningen för Korrosionslära i samarbete med markkemister vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Resultaten visar att jordens organiska och oorganiska beståndsdelar till stor del binder upp metalljoner i avrinning från takmaterial. Detta kan bli föremål för en senare artikel. ■

Referenser:

- [1] I. Odnevall Wallinder och C. Leygraf, *Bygg & teknik* 2/00, 57 (2000).
- [2] I. Odnevall Wallinder och C. Leygraf, *Corrosion Science*, 39 (12), 2039 (1997).
- [3] I. Odnevall Wallinder, P. Verbiest, W. He och C. Leygraf, *Corrosion Science*, 40 (11), 1977 (1998).
- [4] I. Odnevall Wallinder, J. Lu, S. Bertling och C. Leygraf, inskickad för publikation i *Corrosion Science*.
- [5] I. Odnevall Wallinder, P. Verbiest, W. He och C. Leygraf, *Corrosion Science*, 40 (11), 1977 (1998).
- [6] I. Odnevall Wallinder, C. Leygraf, C. Karlén, D. Hejjerick and C.R. Janssen, *The Science of the Total Environment*, i tryck.
- [7] N. Nikolaidis, University of Connecticut, USA, privat kommunikation.



Figur 4: Effekt av ett kalkstensfilter, placerat i ett stuprör, på den totala koncentrationen av Cu och andelen Cu(II)-joner i avrinning från ett kopparkoppar.