Vad tar den koppar som frigörs från koppartak vägen?

Ingående tvärdisciplinära fält- och laboratoriestudier av korrosions- och avrinningsprocessen av koppar från tak och fasadmaterial har genomförts under de senaste 15 åren vid avdelningen för Yt- och korrosionsvetenskap på Kungliga Tekniska Högskolan (KTH). Resultaten visar att olika materialytor redan i avvattningssystemet, på trottoaren, i dagvattensystemet, och/eller i kontakt med jord och kalksten i en byggnads omedelbara närhet fungerar som effektiva sänkor för frigjord koppar från taken. Förutom hög kapacitet att binda upp koppar har dessa ytor även en förmåga att förändra den kemiska formen av frigjord koppar och därmed reducera kopparens biotillgänglighet, något som också sker naturligt via reaktioner med organiskt och oorganiskt material i regn- och dagvatten.

Alla typer av konstruktionsmaterial som används för utomhusapplikationer växelverkar på olika sätt med den omgivande miljön. Metaller oxideras spontant i kontakt med luft och vatten vilket är en naturlig process som är direkt kopplad till rådande klimatförhållanden, men som också beror av gällande luftföroreningsnivåer. Eftersom denna oxidationsprocess av ytan är olika snabb i olika miljöer bildas korrosionsprodukter av skiftande karaktär när det gäller sammansättning, tjocklek, färg och barriäregenskaper. För koppar, som är ett vanligt tak- och fasadmaterial, bildas snabbt en brunsvart patina med en oxid, Cu_2O, som huvudsaklig komponent. I närvaro av olika luftföroreningar som svaveldioxid, SO_2, eller klorider på platser med marin influens, täcks denna oxid ofta med en grön eller turkosaktig patina som huvudsakligen består av olika basiska kopparsulfater, till exempel $Cu_4SO_4(OH)_6$ och basiska kopparklorider, till exempel $Cu_2Cl(OH)_3$. Den patina som bildas (både den brunsvarta och den gröna) fungerar som en skyddande barriär varvid oxidationshastigheten (korrosionen) av kopparen snabbt reduceras med tiden. På grund av denna skyddande patina är många tak som lades på speciella byggnader på 1600- och 1700-talen fortfarande funktiondugliga.

*Artikelförfattare är **Inger Odnevall Wallinder** och **Yolanda Ullmann** vid Avdelningen för Yt- och korrosionsvetenskap, Kungliga Tekniska högskolan (KTH) i Stockholm, samt **Pia Dromberg**, Ledningsnät, utredning, Stockholm Vatten VA AB, Stockholm.*

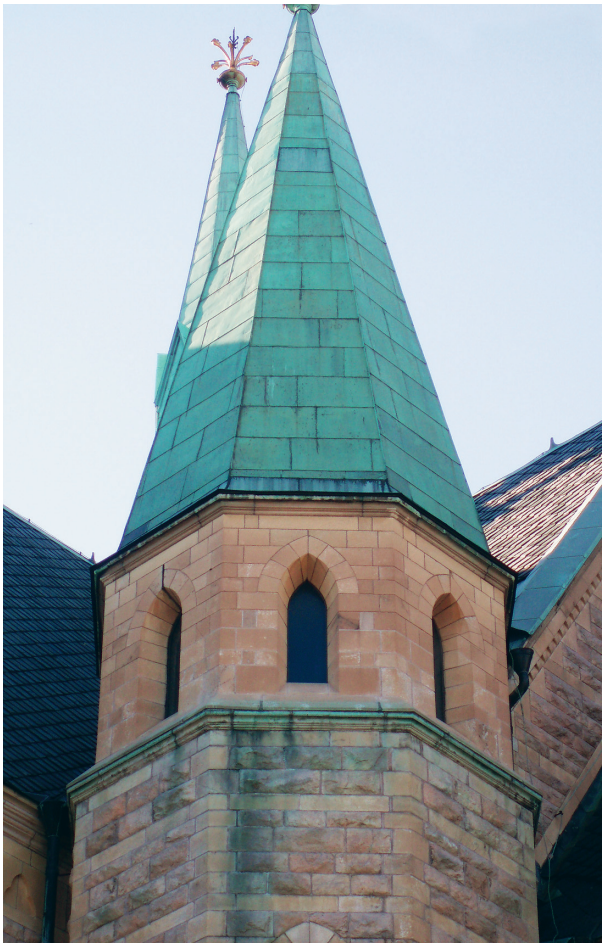
I Stockholm finns det ett stort antal både äldre och nyare koppartak vars patina har en brun eller grön karaktär beroende på ålder och ursprung. Sedan 1950-talet har luftföroreningsnivåerna av framför allt SO_2 minskat dramatiskt i Stockholm. Det har resulterat i att fler och fler nylagda koppartak behåller sin brunsvarta nyans även efter flera årtionden av exponering, något som inte var möjligt under förra decenniet.

Förutom att kopparen oxideras och en patina bildas, växer till och förändras, innebär växelverkan med miljön även att en del av patinan kan lösas upp. Koppar kan antingen fällas ut som korrosionsprodukter eller frigöras till omgivningen genom transport med regn som avvattnar koppartaket. Huvuddelen av den oxiderade kopparen är dock fortfarande bunden till ytan i olika korrosionsprodukter. Den mängd koppar som kan frigöras från patinan, så kallad kopparavrinning eller kopparfrigörelse, beror av rådande miljöförhållanden och luftföroreningsnivåer. Studier av atmosfärisk korrosion har en lång tradition och förståelsen är god, vilket dock inte gäller avrinningsprocessen. Vid avdelningen för Yt- och korrosionsvetenskap på KTH har sedan 1995 forskning bedrivits för att öka förståelsen för mekanismerna för denna avrinningsprocess och kvantifiera hur mycket koppar som kan frigöras från byggnader. Genom en rad tvärdisciplinära aktivititeter har studier även genomförts för att ta reda på vart den frigjorda kopparen tar vägen. Forskningen har bland annat omfattat studier av förändringar i kopparens kemiska form och biotillgänglighet (toxicitet mot vattenorganismer) i kontakt med olika ytor i en byggnads närhet, till exempel trottoarsten, dagvattensystem, kalksten, och jordytor.

Resultaten visar bland annat att den mängd koppar som frigörs från koppartaken är avsevärt lägre än de korrosionshastigheter (oxidationshastigheter) som finns rapporterade i den vetenskapliga litteraturen och som ofta används för att förutsäga hur mycket koppar som kan spridas till miljön. Baserat på verkliga data och en

ingående förståelse för avrinningsprocessen av koppar har därför en modell tagits fram för att kunna förutsäga ett verkligt scenario. Modellen möjliggör för till exempel arkitekter och miljökonsulter att själva kunna göra en bedömning om hur mycket koppar som totalt kan frigöras från en byggnad. Det ska dock poängteras att modellen inte förutspår en eventuell miljöpåverkan, vilket kräver djupare insikter om kopparens kemiska form och hur den förändras i miljön vilket påverkar metallens biotillgänglighet.

Frigörelsehastigheter av koppar från naturligt brun- och grönpatinerad koppar har genererats i Stockholm under mer än tolv års tid. Ytorna har exponerats i 45 graders lutning mot söder. Resultaten visar att för en regnmängd motsvarande cirka 500 mm per år (medianvärde), frigörs mellan 1 till 1,3 gram koppar per år (medianvärden) från en kvadratmeter stor kopparyta. För Stockholms tak av koppar motsvarar denna spridning av koppar en årlig mängd av cirka 650 kg koppar. Dessa nivåer ska jämföras med spridningen av 5 700 kg koppar från trafiken och 4 000 kg koppar från vattenledningsnätet.



Vart tar kopparen vägen?

Vart tar då den frigjorda kopparen från taken vägen och vad innebär det för miljön? Att den frigjorda kopparen växelverkar med omgivningen kan tydligt ses i stadsbilden som gröna avrinningsområden på exempelvis kalkstensfasader och trottoarytor nedanför koppartak som avvattnas med utanpåliggande stuprör.

De tvärdisciplinära forskningsaktivititeter som genomförts på KTH har visat att en stor del av den frigjorda kopparen mycket snabbt och effektivt binds upp, och ofta fastläggs på olika sätt, redan i en byggnads omedelbara närhet. Förutom att många hårdgjorda ytor, som till exempel trottoarer och betong, har en stor kapacitet att binda koppar har de också visat sig ha en god förmåga att påverka och förändra kopparens kemiska form, något som är avgörande för kopparens biotillgänglighet.

Forskningen visar att koppar vid det omedelbara avrinningstillfället frigörs i form av fria kopparjoner, vilket är en naturlig konsekvens av att upplösningsprocessen av patinan främst är en kemisk process. De frigjorda kopparjonerna reagerar dock omedelbart med organiskt material som till exempel löv och pollen samt med andra komponenter i regnvattnet från taket varvid den kemiska formen och därmed tillgängligheten av koppar kraftigt reduceras redan innan vattnet lämnat takytan. När regnvattnet som innehåller frigjord koppar transporteras vidare innebär det ytterligare växelverkan med organiskt och oorganiskt material i regn och dagvatten samt med olika ytor i avvattningssystemet. Ingående laboratorie- och fältstudier av hur kopparinnehållande avrinningsvatten från tak växelverkar med ytor såsom trottoarsten av betong, kalksten samt jordar av olika karaktär, har visat att dessa material naturligt fungerar som sänkor för frigjord koppar från tak. Detta beror på deras höga kapacitet att binda koppar och i många fall mycket snabbt bilda naturligt förekommande mineral på ytan (vilka också förekommer som korrosionsprodukter i vissa miljöer). Samtliga material har också visat en hög förmåga att kraftigt förändra kopparens kemiska form från att vara i en tillgänglig form vid avrinningstillfället till att vara mycket hårt bunden till olika komplex och föreningar av låg tillgänglighet. Huvuddelen av dessa studier har genomförts med modellytor i mindre skala för att kunna möjliggöra studier av individuella parametrar.

Mätningar från ett verkligt tak

Att koppar som frigörs från takytor binds upp av olika ytor i en byggnads omedelbara närhet, visas mycket tydligt i resultaten från en nyligen genomförd studie av kopparavrinning från ett befintligt tak på ett shoppingcenter i Farsta centrum i södra Stockholm. Denna studie har genomförts inom ramen för den så kallade Miljömiljarden, en satsning från Stockholms stad för att minska miljöskulden och förebygga nya miljöproblem. Andelen koppar i avrinningsvattnet från taket uppmättes vid två olika platser; efter transport genom avvattningssystemet och efter ytterligare transport genom rör av betong innan utspädning och kontakt med det övriga dagvattennätet.

Redan under transport genom avvattningssystemet har den den största mängden frigjord koppar från taket fastlagts av betongytorna och den koppar som inte bundits upp på vägen har förändrat sin kemiska form, från att vara tillgänglig vid det omedelbara avrinningstillfället till att vara hårt bunden, främst till organiskt material, och därmed inte tillgänglig för exempelvis vattenlevande organismer. De totala koncentrationer av koppar som mättes upp i avrinningsvattnet efter växelverkan med avrinningssystemen i betong, hade en mediankoncentration av 15 till 18 μg/L koppar. Denna koncentration är mer

än hundra gånger lägre än vad som uppmätts under olika regnepisoder vid det omedelbara avrinningstillfället. Som jämförelse uppmättes även kopparkoncentrationer i dagvattnet från en närliggande parkeringsplats. Även i detta fall skedde mätningen av koppar i avrinningsvattnet utan växelverkan och utspädning med annat dagvatten från andra hårdgjorda ytor i omgivningen. Resultaten visade att de koncentrationer av total mängd koppar i dagvattnet från parkeringsplatsen hade en mediankoncentration av 35 μg/L, alltså högre än den koncentration som uppmättes i det regnvatten som avvattnade koppartaket och som varit i kontakt med avvattningssystemen. Koppar från parkeringsplatsen härstammar inte från taket utan kommer framför allt från slitage av bromsbelägg, däck och från asfalten.

Precis som för koppar i avrinningsvattnet från takytan så var även den koppar som fanns i dagvattnet från parkeringsplatsen starkt bunden till organiskt material och i en otillgänglig form för vattenlevande organismer.

Uppmätta totalkoncentrationer av koppar från takytorna efter växelverkan med avvattningssystemen och i dagvattnet från parkeringsplatsen är avsevärt mycket lägre än det gränsvärde (2 000 μg/L) som Världshälsoorganisationen (WHO) fastställt för total koppar i dricksvatten. Resultaten visar dessutom att redan innan växelverkan och utspädning med annat dagvatten är de uppmätta koncentrationerna av total koppar från både tak och parkeringsplats i nivå eller lägre än rapporterade koncentrationer av koppar, där inga negativa effekter på vattenorganismer rapporterats. Om hänsyn tas till den kemiska formen av koppar i avrinningsvattnen är de uppmätta koncentrationerna som skulle kunna vara tillgängliga och toxiska för vattenorganismer ännu lägre.

Resultaten visar tydligt att koppar som frigörs från takytor huvudsakligen binds upp av ytor i avvattningssystemet och att koncentrationen av frigjord koppar därmed reduceras till nivåer som är lägre än observerade effektkoncentrationer för vattenorganismer. Avvattningssystem fungerar alltså som effektiva sänkor för frigjord koppar varvid ytterligare reningssystem inte anses nödvändigt. ■

Stort tack till

Lars-Gunnar Jansson, Sweco, *Jan Stenlycke* och *Bo Värnhed*, Stockholm Vatten VA AB, samt till *Stefan Hedlund* och *Stefan Carlsson Löfstedt*, Atrium Ljungberg AB för all hjälp, positiva anda och ovärderlig support, vilket möjliggjort mätningarna i Farsta. Utan er hade studien inte varit möjlig att genomföra.

Tack till Lantmäteriverket för att vi fick använda flygfotot.

Ytterligare information från pågående forskningsprojekt och publikationer finns bland annat på www.corrosionscience.se och i följande utvalda referenser. Ytterligare information om Stockholms stads miljömiljardsprojekt finns att läsa på www.miljomiljarden.se.

1. *The interaction between concrete pavement and corrosion-induced copper runoff from buildings*, B. Bahar, G. Herting, I. Odnevall Wallinder, K. Hakkila, C. Leygraf & M. Virta, Environmental Monitoring and Assessment, 140, 175–189 (2008).
2. *Modelling and mapping of copper runoff for Europe*, I. Odnevall Wallinder, B. Bahar, C. Leygraf & J. Tidblad, Journal of Environmental Monitoring, 9, 66–73 (2007).
3. *Model studies of corrosion-induced copper runoff fate in soil*, S. Bertling, F. Degryse, I. Odnevall Wallinder, E. Smolders & C. Leygraf, Environmental Toxicology and Chemistry, 25(3), 683–691, (2006).
4. *Long term corrosion-induced copper runoff from natural and artificial patina and its environmental fate*, S. Bertling, I. Odnevall Wallinder, D. Berggren & C. Leygraf, Environmental Toxicology and Chemistry, 25(3), 891–898, (2006).
5. *Immobilization of copper in runoff water from roofing materials by limestone, soil and concrete*, S. Bertling, I. Odnevall Wallinder, C. Leygraf & D. Berggren, Proceedings, 15th International Corrosion Conference, paper 44, Granada, Spain, (2002).
6. *The capacity of limestone to immobilize copper in runoff water. A laboratory investigation*, S. Bertling, I. Odnevall Wallinder & C. Leygraf, Proceedings, 15th International Corrosion Conference, paper 42, Granada, Spain, (2002)
7. *Environmental interaction of copper and zinc released from building materials as a result of atmospheric corrosion*, I. Odnevall Wallinder, S. Bertling & C. Leygraf, Metall, 58, 11, 717–720 (2004)
8. *Frigörelse av koppar och zink från byggnadsmaterial och växelverkan med omgivande miljö*, I. Odnevall Wallinder, S. Bertling & C. Leygraf, Bygg & teknik, 4, 55–58 (2005).