

Kjemisk forvitring – hva er det?

Andreas Olaus Harstad

Hvorfor ser jordas overflate ut akkurat slik som den gjør? Hva er årsaken til de store topografiske og sediment-variasjonene vi ser rundt oss? Dette er et spørsmål mange av oss har stilt seg på et eller annet tidspunkt i livet. Enten når man sitter på hytta og skuer utover fjellheimen, i en båt på tur inn i en av Norges mange fjorder, eller i det man passerer ukjente deler av verden i fly 10 000 m over bakken. Som de fleste vil forstå er jordoverflatens utforming ikke resultatet av en enkelt prosess, snarere samspillet mellom mange ulike prosesser. I denne sammenheng er forvitring et sentralt begrep når vi skal forstå hvordan ulike geologiske prosesser bidrar til å forme jordens overflate.

Jordoverflaten er faktisk full av spektakulære landformer dannet ved forvittringsprosesser. Ta for eksempel vidstrakte karst-terreng og dype elvedaler. For enkelthets skyld kan vi dele inn prosessene som former jordas overflate i to hovedgrupper: de som bygger opp, og de som bryter ned.

Prosesser som bygger opp jordas overflate vil typisk være dannelsen av vulkanske områder (f. eks. Hawaii og Sierra Nevada fjellene), samt jordskorpebevegelser (kontinentkollisjoner) med fjellkjededannelse som resultat (f. eks. Alpene og Himalaya).

Prosesser som bryter ned jordas overflate samles ofte under fellesbetegnelser som forvitring og erosjon. Selv om forvitring og erosjon på langt nær er like spektakulære prosesser som vulkanisme og kollisjon av kontinentalplater, er disse svært omfangsrike og viktige geologiske prosesser. Menneskene er faktisk avhengige av en effektiv forvitring av jordkloden for å kunne overleve. Sluttproduktet av forvitring er nemlig jorda vi dyrker maten vår i.

Når vi nå skal se nærmere på de prosesser som bryter ned jordens overflate, er det viktig å definere en del sentrale begrep. Dette er nødvendig da flere av disse prosessene opererer parallelt og grenseoppgangen mellom de ulike prosessene kan av og til være noe uklar. De tre hovedprosessene som bryter ned jordskorpen er; 1) *Forvitring*, 2) *Erosjon* og 3) *Massetransport*. Disse begrepene er definert på følgende måte:

Forvitring: Oppknusning og nedbrytning/oppløsning på eller nær jordas overflate.

Erosjon: Innlemmelse og transport av materiale ved hjelp av mobile agenter slik som vann, is og vind.

Massetransport: Bevegelse av bergartsmateriale nedoverbakke under innflytelse av tyngdekraften.

I tillegg til denne hovedinndelingen er det hensiktsmessig å gå i enda større detalj når vi skal snakke om forvitring som prosess. Som sikkert de fleste vil mistenke er det flere måter en bergart kan brytes ned på/forvitre. Av forvittringsprosesser er det i hovedsak tre undergrupper som er dominerende. Disse er; 1) *Biologisk forvitring*, 2) *Mekanisk forvitring* og 3) *Kjemisk forvitring*. Et eksempel på biologisk forvitring vil være

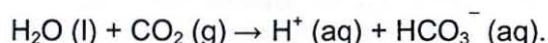
nedbrytning av bergarter og mineraler i kontakt med organiske syrer tilført ved forråtnelse av biologisk materiale (barnåler, blader osv.). Denne formen for forvitring er meget vanlig i områder med tett vegetasjon. Mekanisk forvitring kan forekomme ved at røtter trenger seg inn på sprekker i berggrunnen, eller ved at vann fryser på sprekker og forårsaker en ytterligere oppsprekning. Når vi nå skal se nærmere på kjemisk forvitring vil vi fokusere på prosesser der eksponering for uorganiske syrer fører til en nedbrytning/oppløsning av eksisterende bergarter og mineraler, og dannelsen av nye stabile mineraler. Slike uorganiske syrer kan enten komme i form av regn (sur nedbør) eller dannes ved reaksjoner mellom mineraler og vann på bakken.

Av definisjonene og eksemplene over fremgår det tydelig at det i svært mange tilfeller kan være vanskelig og skille mellom de ulike typene av forvitring. Man kan for eksempel spørre seg om ikke oppsprekning av en bergart som følge av at røtter trenger ned på sprekker ikke også er en form for biologisk forvitring? Det er også slik at det kan være svært vanskelig å se for seg kun en type forvitring, ofte pågår både mekanisk, biologisk og kjemisk forvitring parallelt. Samtidig er det viktig med både erosjon og massetransport for at forvitringen skal kunne være effektivt. Dette fordi forvitringsprosessene er avhengig av periodevis fjerning av "forvitret" materiale slik at prosessen kan få tilgang på nytt og "friskt" materiale å jobbe på. Som for de fleste prosesser på jorden er også forvitringen en tilsynelatende mer kompleks prosess enn det vi kanskje i utgangspunktet ville anta.

Forutsetningen for at vi i det hele tatt har forvitring på jordoverflaten er knyttet til den kjemiske stabiliteten av ulike mineraler. Kunnskap om ulike mineralers stabilitet er knyttet opp mot den grenen av fagfeltet kjemi som kalles termodynamikk. Dette er et meget komplekst og vanskelig fagfelt, og vi skal ikke gå i videre detalj her. Et par enkle grunnprinsipper kommer vi allikevel ikke utenom. En av årsakene til at vi har så mange ulike mineraler er at det samme settet med kjemiske komponenter vil gå sammen og danne ulike strukturer (mineraler) i ulike geologiske miljø. Ulike geologiske miljø er særlig knyttet opp mot variasjoner i temperatur og trykk. Ta for eksempel grunnstoffet karbon som er hovedbestanddelen i to så ulike mineraler som grafitt og diamant. Diamant dannes som kjent ved svært høye temperaturer og trykk langt inne i jordskorpen. Under slike betingelser er diamantstrukturen den stabile organiseringen av karbonatomer. En diamant ved overflatebetingelser (f. eks. i en ring), vil derfor befinne seg langt fra de stabile dannelsesbetingelsene og vil således være termodynamisk ustabil. Det betyr rett og slett at diamanten gradvis brytes ned til den fasen som er stabil ved overflaten – nemlig mineralet grafitt. Når vi allikevel opplever diamanter som noe av det sterkeste og mest bestandige mineralet som finnes ("diamanter varer evig") er dette fordi denne nedbrytningsprosessen går svært langsomt. Prinsipielt er det akkurat det samme som skjer når en isbit smelter til vann når den kommer ut av fryseren. Av dette skjønner vi at svært mange av mineralene vi finner i magmatiske (granitter) og metamorfe bergarter (gneiser) faktisk ikke er stabile ved jordas overflate. Disse mineralene vil være metastabile og ønsker egentlig å danne mer stabile faser. Det er altså forskjellene mellom dannelsesmiljø og det miljøet bergarten/mineralet opplever på jordas overflate som er selve drivkraften bak kjemisk forvitring. Når det gjelder den relative innvirkningen av kjemisk, biologisk og mekanisk forvitring er denne styrt av forholdet mellom temperatur, vegetasjon og nedbør. Varmt klima med mye nedbør gir en sterk kjemisk forvitring, mens et kaldt klima med moderat nedbør vil domineres av mekanisk forvitring.

Hvis vi nå retter fokus mot kjemisk forvitring, er det en faktor som kan betraktes som en forutsetning for denne typen prosesser. Vi snakker selvfølgelig om H₂O, eller vann om du vil. Og siden vann er en så viktig parameter, følger det at klima spiller en avgjørende og kontrollerende rolle med tanke på kjemisk forvitring. Klimatiske variasjoner finner vi både globalt, regionalt og mer lokalt. Ta for eksempel den høyere nedbøren på Vestlandet sammenlignet med sentrale Østlandet. Globalt finner vi de største nedbørsmengdene rundt ekvator. Det at det i tillegg er relativt høye og stabile temperaturer i ekvatoriale strøk gjør at vi har en svært effektiv kjemisk (og ofte biologisk) forvitring i disse områdene. En annen svært viktig faktor med hensyn til kjemisk forvitring er karbonets kretsløp. Dette er ikke fordi karbon i seg selv er forvittringsdrivende, men fordi det styrer mengden av CO₂ i atmosfæren. Så hva er det som gjør CO₂ til en så viktig faktor i kjemisk forvitring?

Når CO₂ i atmosfæren reagerer med vannet i atmosfæren vil følgende reaksjon finne sted:



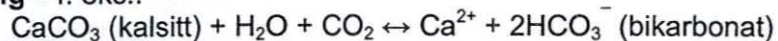
H⁺ representerer her syren, nærmere bestemt karbonsyren, som dannes i denne reaksjonen. Karbonsyre er ikke en veldig sterk syre, men den er allikevel svært effektiv og bidrar som vi skal se litt senere aktivt i forvittringsprosesser. I tillegg til det CO₂ som produseres naturlig, har vi også andre kilder til CO₂ i atmosfæren. Både vulkansk aktivitet og forbrenning av fossile brennstoff (olje, gass og kull) bidrar til CO₂ budsjettet. Forbrenning av fossile brennstoff tilfører også SO₂ (svoveldioksid) til atmosfæren. Følgende to koblede reaksjoner kan da finne sted:



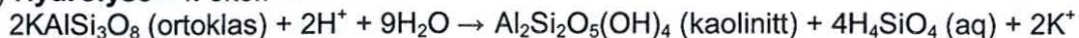
Sluttproduktet, H₂SO₄, er det vi kaller svovelsyre, en meget sterk syre som effektivt vil angripe bergarter når den treffer jorda i form av sur nedbør.

Så hvilke mekanismer er det egentlig som resulterer i kjemisk forvitring av bergarter og mineraler? Først av alt er det viktig å poengtere at kjemisk forvitring er en prosess som kan observeres på mange ulike skalaer. Enten vi ser på jordkloden fra en satellitt, eller vi "zoomer" inn på en enkel mineraloverflate, vil vi kunne observere spor av kjemiske forvittringsprosesser (Figur 1). Som nevnt er forvittringsprosessene drevet av ønsket om å danne en mest mulig energetisk stabil struktur for et gitt sett av ulike elementer. Ulike mineraler har som en følge av deres dannelse derfor også en ulik innbyrdes stabilitet ovenfor forvittringsprosesser. Noen er svært motstandsdyktige, mens andre brytes lett ned. Ta for eksempel silikatmineralene. Som en forenklet førsteordens tilnærming kan vi si at silikatenes relative motstandsdyktighet mot forvitring er den motsatte av deres dannelsesrekkefølge i et magmatisk system. Således vil kvarts og glimmer, som dannes sent i krystalliseringen av et magma være mer motstandsdyktige enn for eksempel pyroksen og amfibol som krystalliseres tidlig i avkjølingen av et magma. Beviset for dette ser vi for eksempel i typisk jord som ofte domineres av leirmineraler. Det er i hovedsak fire hovedmekanismer som er årsak til kjemisk forvitring i naturen. Disse er:

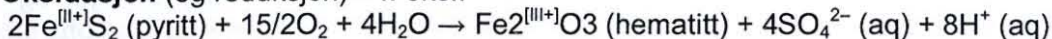
1) **Oppløsning** – f. eks.:



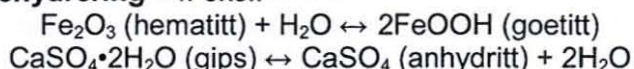
2) **Hydrolyse** – f. eks.:



3) **Oksidasjon** (og reduksjon) – f. eks.:



4) **Hydrering og dehydrering** – f. eks.:



I tillegg til disse fire mekanismene representerer også mer komplekse prosesser som ione-utbyttingsreaksjoner, ligand-utvekslingsreaksjoner og chelateringsreaksjoner mulige forvittringsmekanismer. Av de typiske eksemplene gitt over ser vi at de ulike mekanismene ofte gjenspeiler forvitring av ulike mineral-/bergartsgrupper. Samtidig ser vi også at vann inngår som en viktig komponent i alle disse reaksjonene. Men det er også en annen viktig faktor som kontrollerer effektiviteten av den kjemisk forvitringen, nemlig overflatearealet. Jo større areal av et mineral eller en bergart som er tilgjengelig for forvittringsprosessene, jo mer omfattende vil graden av forvitring være. En kube med 2 cm lange sider vil ha et overflateareal på 24 cm². Deler vi derimot opp denne kuben i åtte like store kuber med 1 cm lange sider økes overflatearealet for dette "systemet" til 48 cm², altså en fordobling. Av dette forstår vi at en prosess som erosjon er en viktig "partner" til forvitringen i det den fjerner allerede forvitret materiale slik at friske overflater blottlegges.

I de siste årene har kjemiske forvittringsprosesser fått økt interesse i en rekke forskningsmiljøer. Dette henger blant annet sammen med en økt fokus på miljøaspekter knyttet til gamle gruveområder, og da spesielt forlatte sulfidgruver. Kjemisk forvitring av sulfider gir opphav til svært sure løsninger når regnvann reagerer med malmen i dagen. På engelsk omtales dette som "Acid Mine Drainage", og et norsk begrep kan kanskje være "Sur gruveavrenning". Når slike sure løsninger transporteres i elveløp og bekker kan de påføre omgivelsene store skader og ta livet av så vel flora som fauna. Ved å forstå og gjenkjenne de aktuelle forvittringsprosessene kan man sette igang tiltak for å hindre/nøytralisere disse prosessene og på denne måten ta vare på miljøet. Også i forhold til vedlikehold av bygninger og monumenter er kjemisk forvitring et aktuelt tema, spesielt i forhold til bygg der marmor er brukt som bygningsmateriale. Marmor er i utgangspunktet en relativt lett oppløselig bergart og blir den eksponert for sure løsninger (f. eks. gjennom sur nedbør) vil kjemisk forvitring kunne påføre bygninger stor skade. Kjemisk forvitring er altså en mangfoldig og spennende prosess som er svært aktiv i våre omgivelser og som det er viktig å forstå! I foredraget vil de ulike kjemiske forvittringsprosessene bli ytterligere beskrevet og eksemplifisert.



Figur 1. Et LANDSAT satellittbilde over deler av Oman. En rekke av de ulike landformene som vises her er helt, eller delvis, et produkt av kjemiske forvittringsprosesser i samspill med erosjon og massetransport (bildet er produsert av Satellite Imaging Corporation: www.satimagingcorp.com).