

Virkning av klimaendring på karbonsyklus og drivhusgassbalanse i arktiske terrestriske økosystemer

Av Arne Grønlund
Bioforsk Jord og miljø

Stigende temperatur og frigjøring av karbon i jordsmonnet i nordområdene kan gi en tilbakekobling til klimasystemet og føre til at den globale oppvarmingen akselererer. Potensialet for tap av karbon fra myr og permafrost er anslått til 200 milliarder tonn de neste 100 år. Det er nesten like mye som verden hittil har hatt av utslipp ved bruk av fossilt brensel.

Arktiske terrestriske økosystemer

Arktiske områder har gjennom tusener av år blitt tilpasset et kaldt klima og er blant de økosystemene i verden som er mest sårbare mot en temperaturøkning. Det kalde klima skyldes først og fremst lav solhøyde som fører til mindre innstrålt energi. I tillegg bidrar snø og is til stor refleksjon (høy albedo) slik at en større del av den innstrålte energien blir sendt tilbake ut i atmosfæren.

Arktiske terrestriske økosystemer har liten primærproduksjon, først og fremst på grunn av lav temperatur og kort vekstsesong, men også på grunn av mangel på plantenæringsstoffer, spesielt nitrogen og fosfor. Arktiske plantearter har generelt en stor andel av underjordisk biomasse. Lav temperatur fører også til at nedbrytingen og mineraliseringen av organisk materiale skjer langsomt. Disse forholdene fører til akkumulering av organisk karbon i jord, spesielt i subarktiske områder (Nordkalotten, Russland og Canada). Den totale mengden karbon i jord i nordområdene har vært estimert til ca 750 milliarder tonn i de øverste lagene, hvorav 350 millioner tonn fins i myr og 400 millioner tonn i jord med permafrost. Denne mengden er omlag like stor som karbonmengden i hele atmosfæren og den utgjør mellom 25 og 50 % av den totale mengden organisk materiale i jord i verden. Nyere undersøkelser tyder på at dypere lag av permafrost inneholder en karbonmengde på ca 500 milliarder tonn. Dette er nedfrosne rester av planter og dyr som har vært konserverv i 30 000 år.

Jord med permafrost fins i områder med årsmiddel under 0 grader og kan omfatte både myr og mineraljord. Høyt karboninnhold i jord med permafrost skyldes en direkte temperatureffekt gjennom langsom nedbryting av organisk materiale og en indirekte effekt, såkalt cryoturbasjon, som innebærer omfordeling av jordmassen og nedgraving av organisk materiale som følge av fryse- og tineprosesser. I Norge forekommer permafrost over hele Svalbard og i deler av i Finnmark og i enkelte høyfjellsområder ellers i landet.

I Russland forekommer permafrost i deler av Kola-halvøya, i områdene nordvest for Uralfjellene og over det meste av Øst-Sibir. Ca halvparten av landarealet i Russland er dekket av permafrost. Svalbard har såkalt kontinuerlig permafrost med et tynt aktivt lag, vanligvis mellom 0,5 - 1 m, som tines om sommeren. På grunn av liten produksjon av biomasse og tilførsel av organisk materiale har jordmonnet på Svalbard lavt humusinnhold og myr forekommer derfor bare sporadisk. Områdene med permafrost i Nordvest-Russland har hovedsakelig såkalt diskontinuerlig permafrost (dekker 50 - 90 % av arealet) og sporadisk permafrost (dekker mindre enn 50 % av arealet) og regnes for å være mer sårbare mot temperaturøkning enn kontinuerlig permafrost.

Jordsmonnen i arktiske områder kan ha stor lokal variasjon på grunn av topografi, fuktighet, jordsmonnutvikling, snødekke og cryoturbasjon. En spesiell landskapstype i permafrostområder er Palsmyr, som er myr som består av torvhauger (palser) med permafrost. Haugene kan være opp til flere meter høye og dekke flere hundre m². Mellom haugene er det våtmarker uten permafrost. I Norge finnes palsmyrer blant annet i indre Toroms og i Sør-Varanger i Finnmark. Palsmyrer er en truet naturtype og er spesielt sårbar overfor klimaendringer.



Palsmyr er myr som består av torvhauger med permafrost. Deler av myra er frosset hele året. Klimaendringer utgjør en stor trussel mot myrtypen i Norge. Foto: Morten Günther

Virkning av forventede klimaendringer

Den forventede klimaendringen innebærer bl. a. økt temperatur og lengre vekstsesong og ventes å føre til en forskyvning av skoggrensa nord, økt fotosyntese og produktivitet, endring fra tundra til boreal skog og i noen tilfelle endring fra boreal skog til våtmark. I tillegg forventes lavere albedo, delvis som følge av kortere perioder med is og snødekke, og delvis som følge av endring av vegetasjon, fra lavtvoksende kratt til skog. Endringen i albedo vil føre til redusert energitap til atmosfæren og ytterligere økt temperatur.

De mest dramatiske endringer vil skje i jord med permafrost, hvor en forventer lengre perioder med tinet jord, dypere aktivt lag, forskyvning av permafrostgrensene mot nord, ustabil grunn for bygninger og infrastruktur, økt emisjon av drivhusgasser, frigjøring av vann fra smelting av permafrost og forurensning av vassdrag og havområder. Potensialet for tap av karbon fra myr og permafrost som følge av oppvarming de neste 100 år er til sammen estimert til 200 milliarder tonn, som er nesten like stort som det samlede utslippet som følge av forbrenning av fossilt brensel de siste 150 år. I tillegg er det antatt at om lag 450 milliarder tonn C kan (90 %) kan frigjøres fra dypere lag av permafrosten dersom den skulle tine opp.



Smelting av permafrost fører også til dannelse av såkalt Thermokarst (bilde venstre), en form for dødisgroper forårsaket sammensynking som følge av smelting av is i permafrosten. Landskapet blir en mosaikk av våtmarker og tørt land. Våtmarkene kan frigjøre store mengder metan. I de tørre områdene imellom kan skogen dø ut som følge av lavere fuktighet og grunnvannstand slik at landskapet nærmest blir en ørken.

En kan allerede nå registrere at den observerte temperaturøkningen de siste 40 årene har ført til endringer i permafrosten.

Karbonbalanse kan defineres som differansen mellom binding av karbon fra luften gjennom produksjon biomasse (netto fotosyntese) og tap til vann eller atmosfæren som følge av nedbryting av biomasse, hovedsakelig som respirasjon. Begge prosesser øker ved økende temperatur, men nedbrytingen øker raskere. Frysepunktet er en kritisk temperatur, og i frossen jord er tilgangen på vann en sterkt begrensende faktor for nedbrytingen, i tillegg til temperatur.

Jordsmonn i arktiske områder har vist seg å inneholde en relativt stor andel lettløselige organiske forbindelser med lav molekylvekt, som mer sensitiv mot temperaturendring og gir raskere mineralisering ved en klimaendring enn organisk materiale i andre typer jordsmonn.

Et sentralt spørsmål er om karbonbalansen blir positiv eller negativ når temperaturen øker, det vil si om økt fotosyntese og biomasseproduksjon vil kompensere for raskere nedbryting av organisk materiale. Det er stor usikkerhet om dette spørsmålet. Modellering og målinger har vist motsatt resultat. Ved høy jordfuktighet er det sannsynlig at balansen blir positiv og at det akkumuleres karbon. Ved lav fuktighet er det derimot sannsynlig at nedbrytingen øker raskere enn produksjonen og at balansen blir negativ.

Størst usikkerhet er knyttet til metanemisjon fra myr og permafrost. Metan har stor betydning for den totale drivhusgassbalanse på grunn av høy drivhuseffekt, mer enn 20 ganger høyere enn CO₂. Emisjonen av metan kan øke som følge av økning i temperatur og større arealer med våtmarker. Metan kan bli oksidert til CO₂ av bakterier i jorda som bruker metan som energikilde, forutsatt at jorda ikke er vannmettet i overflata. Både metandannelse og oksidasjon er svært uforsigbare prosesser som er vanskelig å modellere på grunn av et komplisert samspill mellom temperatur, fuktighet, tilgjengelighet av substrater, mikrobiell sammensetning og vegetasjon.

Utslipp av metan kan vise stor lokal variasjon i rom og tid. Den kan variere over korte avstander som følge av variasjon i vegetasjon og vann- og oksygeninnhold i jordmonn. Mens CO₂-emisjonen foregår som diffus utstrømming (diffusjon), foregår en stor del av metanemisjonen i form av bobler eller gjennom plante- og rotkanaler. Påvirkningen av karplanter på metanemisjon kan skje på ulike måter. Organiske stoffer som skilles ut i jordvæska fra planterøttene kan stimulere metanproduksjonen. Ledningsnett og rotkanaler i planter kan virke som drenerør eller skorsteinspiper for gasstransport, enten ved at metan slippes ut fra jorda og unnslipper oksidasjon til CO₂ i topplaget, eller ved at oksygen ledes fra luften til jorda slik at metandannelsen hemmes. Ulike arter av karplanter kan vise stor variasjon i virkning på metanemisjon. Det har vist seg å være høyere emisjon fra våtmarker med karplanter sammenlignet med moser (sphagnum). Diskontinuerlig og sporadisk permafrost regnes for å være blant de områder som er mest sårbar mot temperaturøkning. Undersøkelser i Abisko i Sverige har vist at full oppløsning av permafrost førte til endring fra næringsfattig (ombrotrof) til næringsrik (minerotrof) myr med lavere redox-potensial og økt CH₄-emisjon.

Variasjonen i tid henger sammen med årstidsvariasjoner i temperatur og fuktighet. Høy temperatur stimulerer både CO₂ og CH₄-emisjon, mens høy grunnvannstand stimulerer CH₄-emisjon og motvirker CO₂-emisjon.

Måling og overvåking av gass-flukser

Virkingen på karbonomsetning og drivhusgasser i nordområdene er en av de største usikkerhetsfaktorene knyttet til global oppvarming. Det er sannsynlig at arktiske terrestrisk økosystemer vil bestå av en blanding av kilde- og sluk-arealer, at kilde-arealer vil dominere over sluk-arealer og at en klimaendring vil føre til en netto økning i utslipp av drivhusgasser.

Kunnskapen om hva som skjer med de enorme karbonmengdene som er lagret organisk i nord er tildels svært mangelfull og samtidig avgjørende for en samlet forståelse for klimautviklingen. Data om utslipp av drivhusgasser fra arktiske områder er svært viktig for globale klimamodeller, men per i dag har vi lite data om disse utslippene og virkingen av dem.

Den store variasjonen i rom og tid skaper store utfordringer i måling og overvåking av drivhusgasser. Det vil derfor være behov for målinger på ulike skalaer:

- Gassfluks-kammere for punktmålinger (ca 1 m²), som kan variere i størrelse og utforming, fra små lukkede kammer, f. eks. 25 x 25 cm til større ventilerte kammer på noen kvadratmeter.

- Mikrometeorologiske tårn for målinger på landskapsnivå (ca 1 km²)
- Fjernmåling fra satellitt eller fly på regions- og landsnivå

Den enkleste metoden for måling av emisjon av drivhusgasser er å plassere en boks på jordoverflata og måle endringer i gasskonsentrasjon over tid. Med noen tekniske tilpasninger virker denne metoden godt for måling av CH₄ og N₂O. Den virker også for måling av CO₂ fra jord. I et plantebestand vil den ikke kunne måle CO₂-fluksene gjennom fotosyntesen og respirasjon. Dette problemet kan løses ved bruk av større gjennomsluktige og ventilerte kammer. Men på grunn av sterk påvirkning av miljøforholdene innenfor kammeret, kan de bare bli brukt noen få dager per måned. Et felles problem for alle typer kammer er at de bare dekker små flater.

For måling på landskaps-, økosystem og nedbørfeltnivå, kan en bruke det såkalte eddy-covarians prinsippet, som er basert på høyfrekvens måling av CO₂-konsentrasjon og den vertikale vindhastigheten. CO₂-fluksen kan avledes direkte fra disse målingene. Teorien om eddy-covarians har eksistert i mange år, men det er bare de siste 15 årene at instrumenter har blitt tilgjengelig for målinger i økosystemer. Helt nylig har det blitt utviklet instrumenter for tilsvarende høyfrekvens målinger av CH₄ og N₂O. Fordelen med å bruke eddy-covarians teknikken er at en kan måle flukser av drivhusgasser kontinuerlig over større areal. Ved å kombinere måling av CO₂ og CH₄, vil gjøre det mulig å måle den aktuelle drivhusgassbalansen i sensitive arktiske terrestriske økosystem. I tillegg vil målinger over tid gi stadig bedre muligheter til å analysere interaksjoner mellom klimatisk variasjon og emisjon av drivhusgasser.

Oppskalering fra eddy-covarians målinger på økosystem-nivå til regionalt nivå kan bli gjort ved målinger fra satellitt av gasskonsentrasjonen i atmosfæren og isotopiske målinger av luftmasser på tvers av kontinenter.

