

AT GIVE DEN GAS

Af: Bo Elberling & Anders Michelsen

I LABORATORIET



Fig. 1. Zackenberg i 2013 hvor en række permafrostkerner blev hjembragt for at undersøge, i hvilket omfang metan (CH_4) produceret i nyoptøet permafrost kan iltes til kuldioxid (CO_2) i den mere eller mindre iltrige overjord. Foto: Hanne H. Christiansen.

Denne artikel handler om, hvordan permafrosten producerer CO_2 , og hvilke forhold der er vigtige for, hvor hurtigt permafrostens indhold af organisk stof omsættes og frigives som drivhusgasser. Det har nemlig vist sig, at alle permafrostprøver hjemtaget fra Grønland, som efterfølgende er blevet placeret i en lukket beholder, efter ganske få dage er begyndt producere kuldioxid (CO_2) og evt. andre drivhusgasser som metan (CH_4) og lattergas (N_2O).

Fra felt til laboratoriemålinger

Der er mange kilder til at CO_2 eller CH_4 slippes ud i atmosfæren. De fleste er velkendte, og der måles og vejes i stort omfang for at bestemme frigivelsen af drivhusgasser fra biler, kraftværker, fabrikker og prutter fra køer. Men der er et par ubekendte medvirkende faktorer, som kan få stor betydning for drivhusgasbudgettet i fremtiden. Permafrosten er en af dem. Vi ved ganske enkelt ikke, hvilken betydning optøningen af permafrost har på produktionen og frigivelsen af CO_2 , CH_4 og måske også lattergas.

For at komme tættere på svaret har vi valgt at kombinere feltmålinger med forsøg i laboratoriet. Forsøgene går ud på, at en større eller mindre prøve hjemtages og opbevares i en lukket beholder under

konstante forhold, mens frigivelsen af en given gas, f.eks. kuldioxid, måles som en stigende koncentration af gassen i beholderen. Hvis gassen forbruges, f.eks. ved et iltoptag, måles ændringen som et fald i koncentrationen. Ændringen af gaskoncentrationen over tid omregnes derefter til en rate, f.eks. hvor mange gram CO_2 der er frigivet per gram jord i beholderen per time. Dette kaldes inkubationsforsøg, og det lyder simpelt, det er simpelt, og det har intet med virkeligheden ude i naturen at gøre. Pointen er, at sådanne laboratorieforsøg er velegnede til at blive klogere på, hvorledes enkelte faktorer som f.eks. temperaturen påvirker CO_2 -produktionen ude i naturen. Derfor skal

alle de andre faktorer, som varierer i naturen, holdes konstante. Ved at koble forsøg udført i laboratoriet sammen med, hvad vi observerer fra feltmålinger, kan vi bedre forstå, hvordan en række processer samspiller, og dermed har vi også mulighed for at kunne forudsige, hvordan naturen vil respondere på fremtidige klimaændringer.

Temperaturfølsomheden

De biologiske processer, som er ansvarlige for produktion og optag af drivhusgasser i jorden, er meget følsomme overfor temperaturudsving. I Arktis svinger temperaturen i luften betydeligt, og en temperaturforskel fra sommer til vinter på 50 grader er ikke ualmindeligt. Temperaturen i jordmiljøet svinger mindre

end i luften og er tæt koblet til snemængderne. Den kolde mørke vinter betyder, at de fleste biologiske processer går ned på et lavt blus i 6-9 måneder om året. I relation til fremtidige klimaændringer betyder det, at sommeren muligvis bliver varmere. Det kan dog være lige så vigtigt, at snemængderne om efteråret stiger, hvorved jorden isoleres bedre fra vinterens kulde, og sensommerens varme derved medfører en forlængelse af den periode, hvor de biologiske processer i jorden forbliver aktive.

Ved en ændring på 10 grader, f.eks. fra 0 til 10°C , vil mikroorganismer i jorden øge deres aktivitet med en faktor mellem 2 og 4. Denne følsomhed overfor

” FORSØGET VISTE, AT NÅR EN PERMAFROSTPRØVE TØR, PRODUCERES DER I STØRRELSESORDENEN $0,8 \mu\text{g}$ LATTEGAS I TIMEN PER KILO JORD ”

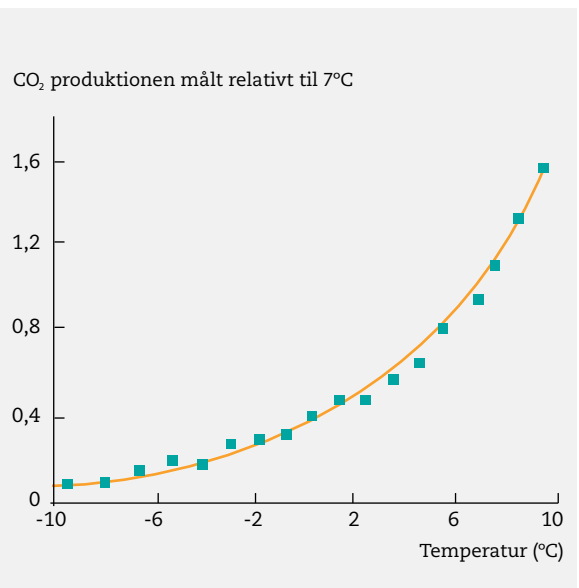


Fig. 2. Her ses permafrostprøver indsamlet ved Disko i Vestgrønland placeret i termoblok samt resultaterne i form af mikrobiel aktivitet målt som CO_2 produktion som funktion af temperatur. Foto: Bo Elberling.

temperaturændringer kan undersøges uden andre forstyrrende effekter ved, at et antal delprøver fra én større permafrostkerne bliver placeret i en såkaldt termoblok. I denne massive aluminiumsblok holdes temperaturen konstant varm i den ene ende og konstant kold i den anden ende, f.eks. fra minus 10 til plus 10 °C. I blokken er der boret huller til prøveglas med delprøver i en regelmæssig afstand fra den ene ende til den anden (fig. 2).

Lattergas fra vandmættet permafrost

Fra målinger i felten ved man, at der kan frigives lattergas fra meget fugtige arktiske økosystemer som f.eks. kærømråder. Stedvis er der også målt ganske høje udslip af lattergas, men det generelle billede er, at lattergasfrigivelse fra Arktis ikke spiller den store rolle. Dog kan permafrostlag indeholde overraskende store mængder af ammonium (NH_4^+), som kan ende som lattergas ved en række mikrobiologiske processer. Man kan derfor spørge sig selv, om en optøning af permafrosten vil kunne ændre denne generelle opfattelse af Arktis' rolle i det globale lattergasregnskab og medføre både en frigivelse af lattergas til atmosfæren og en frigivelse af ammonium til rodzonen, så planterne kan få glæde af den ekstra "gødning".

Ammonium kan nedbrydes til nitrat, som er en velkendt kilde til produktion af lattergas. Processerne forudsætter, at de relevante mikroorganismer er til stede. For at undersøge om dette er tilfældet, er der blevet etableret et forsøg, hvor permafrostkerner først er blevet drænet for vand og efterfølgende igen tilsat det samme vand og herefter vand med forskellige mængder af tilsat nitrat. Disse forhold giver basis for omdannelsen af ammonium til nitrat under dræning og fri adgang til ilt og derefter omdannelse af nitrat til lattergas under vandmættede og iltfrie forhold.

Forsøget viste, at når en permafrostprøve tør, produceres der i størrelsesordenen 0,8 µg lattergas i timen per kilo jord. Men når kernen i stedet for drænes og efter en uge vandmættes igen med det samme vand, så stiger den samlede frigivelse af lattergas fra permafrostkernen med en faktor 20. Ved at tilsætte yderligere nitrat kan frigivelsen af lattergas bringes op i samme størrelsesorden, som er målt i mange ikke-arktiske landbrugsjorder. Dette er markant højere end tidligere målt i arktiske områder.

På den måde er vi blevet klogere på, at tilstedeværelsen af ammonium i permafrosten har et potentiale for kunne påvirke lattergasproduktionen, når permafrosten tør. Forsøget har medført, at de samme processer nu studeres i felten. Fremtiden må vise, i hvilket omfang permafrostens optøning kan være en kilde til et øget indhold af lattergas i atmosfæren.



Fig. 3. En kerne fra lige under grænsen til permafrosten fra et vådbundsområde og senere brugt i en laboratorieopstilling med henblik på at måle diffusionen af lattergas produceret i kernen efter vådgøring. Foto: Bo Elberling.

Ting tager tid

En væsentlig fordel ved at lave disse inkubationsforsøg er at kunne måle over kort tid (dage til måneder) og derved forbedre vidensgrundlaget for at forudsige langtidseffekter i naturen. Dog er det vigtigt at huske på, at mange processer ude i naturen tager meget lang tid – et godt eksempel er nedbrydning af organisk stof i permafrost. I starten går nedbrydningen hurtigt, fordi den mest reaktive del af kulstofpuljen bliver omsat først. Det skyldes, at der i organisk stof findes delkomponenter, der er nemmere for mikroorganismerne at nedbryde end andre delkomponenter. Når de første delkomponenter er væk, er den resterende pulje lidt mindre nem at nedbryde, og derfor kommer nedbrydningen til at gå langsommere. Det betyder, at korte inkubationsforsøg kan give et forkert indtryk af de mere langsigtede processer i naturen.

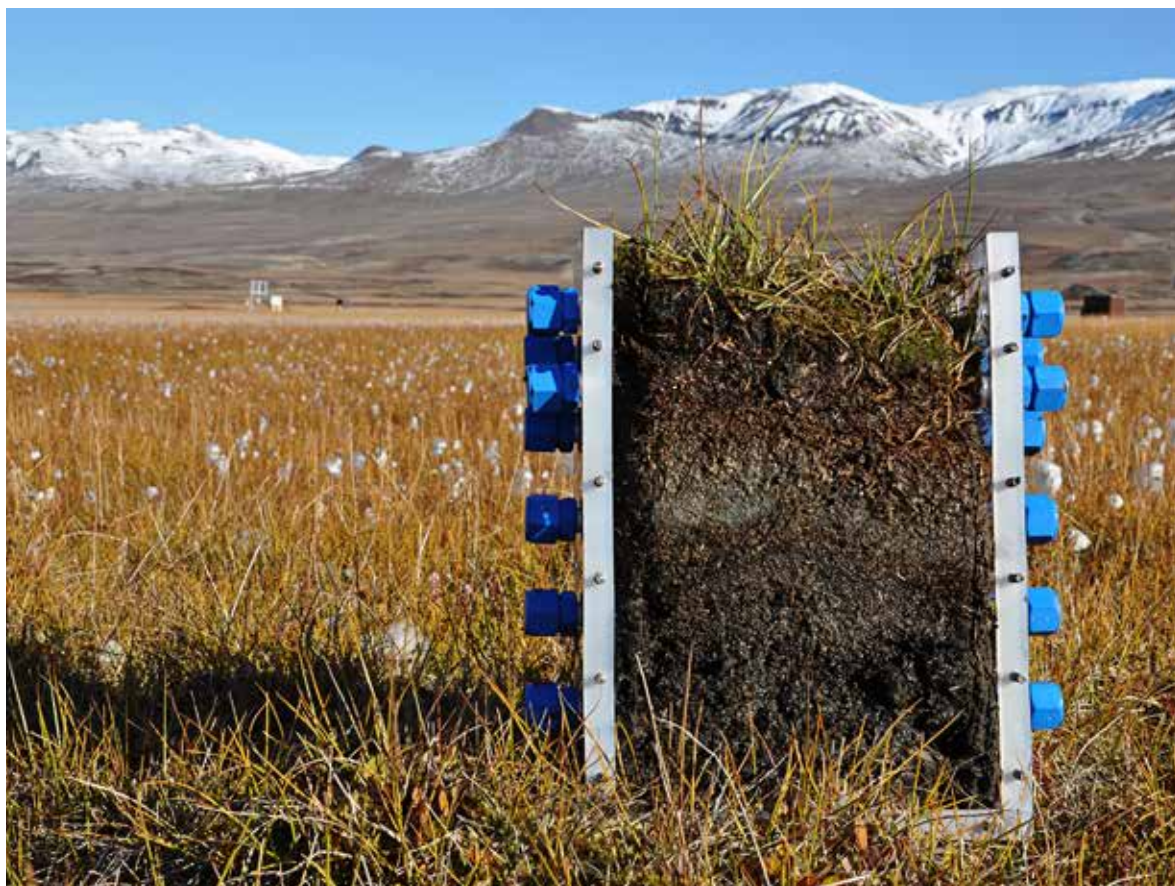


Fig. 4. Foto fra Zackenberg i 2012 hvor en række mesokosmer blev hjembragt for at studere, i hvilken omfang metan (CH_4) produceret i nyoptøet permafrost kan iltes til kuldioxid (CO_2) i den mere eller mindre iltrige overjord. Foto: Fra feltet af Bo Elberling og fra laboratoriet af Kent Pørksen.

Det ved vi, fordi vi i laboratoriet har målt over 12 år på de samme prøver fra Zackenberg. Inkubationerne har kørt så længe netop for at kunne forstå, hvilke fejl man kan begå ved at lave korttidsforsøg og derefter opskalere resultaterne til mange år ud i fremtiden.

Resultaterne fra permafrostkerner fra Zackenberg viser et tab i kulstof på 9-75 %, afhængig af om kernerne blev drænet eller ej inden den lange inkubationstid. Det høje procentvise kulstofftab knyttet til de drænedede kerner viser potentialet for en hurtig mobilisering af organiske kulstof under iltholdige forhold. Forsøg under vandmættede betingelser viser derimod, at permafrostens kulstofpulje under iltfrie forhold kan bevares uden de store tab, selvom permafrosten tør.

Mesokosmer – små økosystemer i laboratoriet

I forsøgene omtalt ovenfor er der udtaget forholdsvis små permafrostkerner i felten, som er hjembragt i frossen tilstand til laboratoriet. For at skabe en model af naturen i laboratoriet hjembringes også i vid udstrækning såkaldte mesokosmer (fig. 4). Det er det tætteste, vi kommer på at have et lille økosystem i laboratoriet. Derved bringes en kompleks sammensat natur ind i laboratoriet og udsættes for veldefinerede miljøforhold, f.eks. vanding eller tilsætning af næring, og i et større antal gentagelser. Figur 4 viser, hvordan de øverste 30 centimeter af aktivlaget af kerner fra Zackenberg er udtaget forsigtigt med planter og en intakt rodbiomasse. Hele forsøgsopstillingen er efterfølgende langsomt blevet kølet ned og opbevaret i flere måneder ved minus 6 °C svarende til vinter i Arktis. Når opstillingen efterfølgende varmes op og får lys, spirer planterne igen, og det er derefter muligt at iagttage de koblede processer under forholdsvis konstante forhold f.eks. fotosyntese, plante- og jordrespiration, metandannelse i jordmiljøet, iltindtrængning via rødder og metan-transport via luftvæv i planterne mv.

En helt anden slags forsøg er transplantationer. Her laves et større antal delprøver af samme permafrost, som efterfølgende sættes ud i naturen (fig. 5). Prøverne er placeret i rør og pakket i net, så vand og næringsstoffer frit kan løbe til og fra prøven og således, at prøverne kan indsamles efter 1-3 års inkubation i felten. Disse prøver vil i modsætning til i laboratoriet blive udsat for en række påvirkninger, som er uden for vores kontrol, men fordi udgangspunktet er kendt (og består af et stort antal replikater), vil prøverne, når de indsamles og analyseres, bidrage til et mere fuldstændigt billede af, hvad der bestemmer variationer i permafrostens potentielle bidrag til drivhusgasser i fremtiden.



Fig. 5. Her ses rækker af permafrostkerner pakket og klar til at blive placeret i forskellige dybder i aktivlaget. Disse forsøg er sat i gang både i Zackenberg (Grønland) og i Kytalik (Sibirien). Foto: Bo Elberling og Daan Blok.

Kilder:

Elberling, B., Michelsen, A., Schädel, C., Schuur, E.A.G., Christiansen, H.H., Berg, L. Tamstorf, Sigsgaard, C. (2013) Long-term CO₂ production following permafrost thawing. *Nature Climate Change* 3, 890-894.

Elberling, B., Christiansen, H.H. & Hansen, B.U. (2010). High nitrous oxide production from thawing permafrost. *Nature Geoscience* 3, 332-335.

Elberling, B., Nordstrøm C., Grøndahl, L., Søgaard, H., Friberg, T., Christensen, T.R., Stroem, L., Marchand, F. & Nijs, I. (2008) High Arctic Soil CO₂ and CH₄ Production Controlled by Temperature, Water, Freezing, and Snow. *Advances in Ecological Research* 40, 441-472.

Elberling, B. & Brandt, K.K. (2003) Uncoupling of microbial CO₂ production and CO₂ release in frozen soil and its implications for field studies of arctic C cycling. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 263-272.

Temaer til undervisningen:

For eksempel til gruppearbejde i 7.-9. kl. og på stx.

- Hvorfor måle i laboratoriet, når man kan måle i felten?
- Forklar, hvad resultaterne fra et transplantationsforsøg med permafrost kan bruges til?
- Kan du lave et inkubationsforsøg?

Artiklen er skrevet af:

Bo Elberling

Professor og centerleder, Center for Permafrost (CENPERM), Institut for Geoviden-skab og Naturforvaltning, Københavns Universitet.



Anders Michelsen

Professor, CENPERM, Biologisk Institut, Københavns Universitet.

