



LED-lys tændes når smeltet sne og salt mellem plastiklagene reagerer med metallerne. (Foto: Julien Nolin).

Ved at placere sne/is på et lag af salt i en lille beholder smelter sneen/isen og bliver til en saltvandsopløsning – og omdanner dermed den mest udbredte og tilgængelige ressource på Svalbard så den kan tilfredsstille øernes høje efterspørgsel efter energi. Disse saltvandsbatterier producerer tilstrækkelig udgangsspænding til at drive en række af lys, der er forbundet med facaden på indretningen. Enheden udforsker begrebet latent energi i Longyearbyen. I modsætning til at udnytte oplagte løsninger for at generere energi stiller enheden spørgsmål ved at bruge de ressourcer, der er inden for rækkevidde, og udfordrer dermed vores forståelse af energi i det byggede miljø.

Gennem et tæt samarbejde med lokalsamfundet, kraftværket og kulminerne var Julien i stand til at udfordre og opdage det skjulte potentiale i varmetabet over hele Longyearbyen, hvilket senere resulterede i et design der gjorde det muligt for lokalsamfundet selv at dyrke grøntsager, varer der ellers blev importeret.

### At være der

Arkitektuddannelsen er divers i sine metoder og tilgange til faget. Men et argument for et stedsspecifikt engagement og kontekst er svært at komme uden om. Det er stadig udbredt i dag, at arkitekter ofte designer for geografier og kulturer, der ligger fjernt fra deres egen, uden meget andet engagement end med en lokal partner og nogle dage med et kamera eller en skitsebog. Der må opstilles et argument, der taler for en dybere involvering i kontekst. En besøgende vil altid være en besøgende, men en designmetodologi, der fra begyndelsen sigter mod at samarbejde med lokalbefolkningen og eksperter fra regionen for bedre at forstå de særlige udfordringer og potentialer på stedet, har en bedre chance for succes ud fra et kulturelt, materiale- og designmæssigt perspektiv. Det er underligt at konstatere, hvordan nogle studenter på dette kandidatkursus ofte opdagede muligheder, hvor der kun var problemer, tabt viden, der nemt kan genanvendes med ny teknologi, eller styrken ved at engagere brugeren før der trækkes en streg i sandet.

AF JAKOB SIEVERS

## En kort historie om øl, kuldioxid og havis



**Jakob Sievers** er uddannet glaciolog ved Københavns Universitet og har for nyligt forsvaret sin ph.d.-grad omkring CO<sub>2</sub> udveksling mellem havis og atmosfæren i Arktis. Studiet var et samarbejde mellem Aarhus Universitet, University of Manitoba, Canada, og Greenland Climate Research Centre.

Jakob er i øjeblikket ansat ved det Arktiske Forskningscenter i Aarhus og tager sommeren 2016 til University of Calgary, Canada, for at fortsætte sin forskning i havis med Canadiske kolleger. Artiklen var et bidrag til Arktisk Instituts formidlingskonkurrence *Academicus Arcticus* (2015).

### RESUMÉ

Artiklen beskriver på baggrund af felteksperimenter i Nordøstgrønland, hvordan CO<sub>2</sub> udveksles mellem havet og atmosfæren, når der dannes havis. Artiklen var et bidrag til Arktisk Instituts formidlingskonkurrence *Academicus Arcticus* (2015) og er godkendt af forfatteren.

Forestil dig et øjeblik, at du sidder med nogle venner foran en hyggelig café i solen og nyder en kold øl. Du bliver grebet af samtalen og opdager efter nogen tid, at din øl er blevet lunken og flad. Du kæmper med de sidste par slurke, mens du vinker febrilsk efter en tjener for at få fat i en ny øl. Et scenarie vi sandsynligvis alle kun kender alt for godt. Men hvad er det egentlig, der er sket? Der er sket det, at eftersom din øl har et meget højt indhold af kuldioxid (CO<sub>2</sub>) i forhold til atmosfæren omkring dig, så vil CO<sub>2</sub> langsomt begynde at sive eller diffundere fra øl-overfladen ud i atmosfæren. Det er, hvad vi i fagsprog kalder en *flux*. Denne proces vil foregå med stadig langsommere intensitet, indtil CO<sub>2</sub> indholdet i din øl når samme niveau som i atmosfæren. Forestil dig nu i stedet, at du foretager dette eksperiment i -30 grader i det høje nord. Fra det øjeblik du får serveret din øl, vil et tyndt lag is begynde at danne sig på overfladen. Hvad vil der nu ske med CO<sub>2</sub> indholdet i din øl?

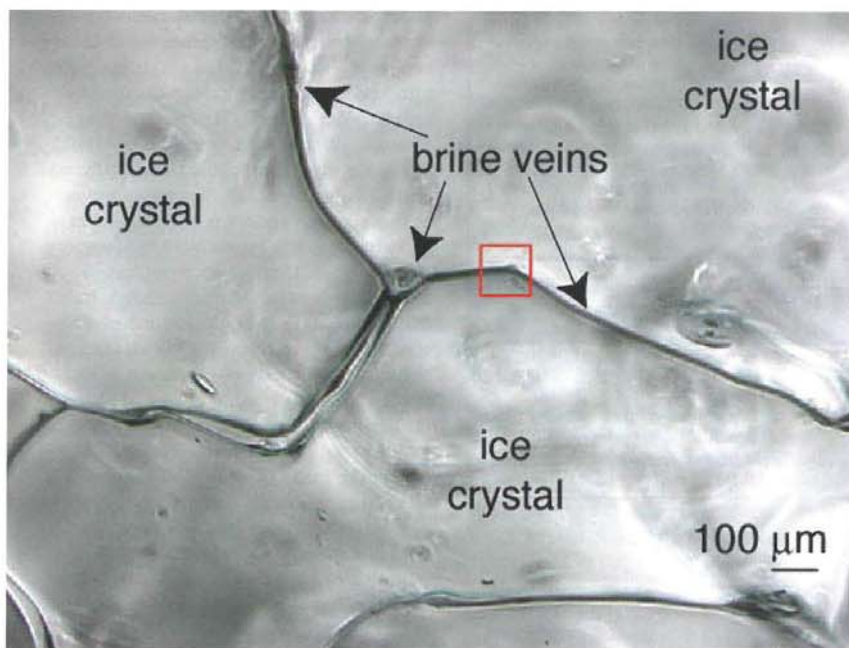
Selvom problemstillingen ved første øjekast virker noget hverdagsagtig, er det i de senere år blevet klart, at den har enorme konsekvenser i Arktis. Din intuition har måske allerede sagt dig, at et tyndt lag is på en øl gør, at der ikke længere kan være nogen udveksling af CO<sub>2</sub> mellem øl og atmosfæren. Den





En nysgerrig isbjørn inspicerer et af vores instrument-tårne på havisen ud for Nordgrønland. (Foto: Jakob Sievers).

samme intuitive indstilling har drevet forskere til igennem årtier at opfatte havisen som et kæmpe låg over havet, når



Figur 1: Et billede af saltkanalerne i havis. (Foto: Junge et al., 2001).

de skulle bruge deres klimamodeller til at forudsige det fremtidige klima og den globale kulstofcyklus (Tison et al., 2002). Men i modsætning til din øl indeholder det havvand, som havis dannes af, salt. Som vi alle ved, gør salt, at vand får sværere ved at fryse, så når havisen fryser til, dannes der samtidig en masse små meget saltholdige kanaler inde i havisen. Disse kaldes på engelsk brine channels (figur 1). Kanalernes volumen er proportional med temperaturen, hvorfor de er større på undersiden af havisen, hvor der er "varmt" (-1.4 grader) i forhold til i den overliggende atmosfære. Da CO<sub>2</sub> ligesom salt ikke kan opholde sig i selve isen, vil den samles i disse salt-kanaler. Vand bliver desuden tungere, jo mere salt

det indeholder, og både CO<sub>2</sub> og salt bliver derfor trukket ned igennem kanalerne af tyngdekraften og videre ned i de dybere vandlag. Vi kalder dette *gravity drainage* eller *konvektion*, ligesom vi kender det fra f.eks. meteorologi.

Dette betyder, at der er to måder, hvorpå havis kan indgå aktivt i det årlige kulstof-kredsløb:

### (1) Den direkte måde

Her udveksles CO<sub>2</sub> mellem atmosfæren og isoverfladen som funktion af udviklingen i CO<sub>2</sub> indholdet i de øverste brine channels. Neteffekten over lang tid af denne proces er dog endnu uklar, delvis fordi forskellige felteksperimenter har resulteret i meget forskellige observationer (Sievers et al., 2015b), og fordi det har vist sig at være yderst vanskeligt rent teknisk at observere disse udvekslinger i så udfordrende et miljø (Sievers et al., 2015a; Miller et al., 2015; Papakyriakou and Miller, 2011). Meget få instrumenter bygges til operationer under -30 grader, og hvis man kontakter en virksomhed, der producerer et givent instrument, vil man som oftest blot blive mødt af en kombination af hovedrysten og "skriv lige hvordan det gik, ik'?...".

### (2) Den indirekte måde

Når foråret banker på døren, og havisen smelter, vil der pga. en hel vintersæson med gravity drainage blive dannet en hinde af overfladevand med markant lavere CO<sub>2</sub> indhold end atmosfæren. Ligesom naturen agerer ved at genskabe CO<sub>2</sub> balancen mellem din øl og atmosfæren, vil den her genskabe balancen ved at trække CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren og ned i havet. Konsekvensen er, at den årlige haviscyklus som helhed er forbundet med et ganske markant optag af CO<sub>2</sub>. Processen er blevet døbt *havisens kulstof-pumpe* (Rysgaard et al., 2007; Rysgaard et al., 2009). Det kan måske lyde som en knap så indflydelsesrig proces, men man bør ikke glemme, at havisen trods alt (endnu) optager et meget

stort areal, og at der årligt dannes meget havis, der netop kun overlever én sæson (Notz, 2009). De første estimater vurderer, at denne effekt er ansvarlig for et optag af omkring 50 millioner ton kulstof årligt (Rysgaard et al., 2007). Det skal ses i forhold til, at hele det Arktiske Ocean er estimeret til at optage omkring 66-199 millioner ton kulstof årligt (Parmentier et al., 2013). Det er altså en markant brik, vi har manglet i det store klimapuslespil de sidste mange år.

### Målemetoder

Det grundlæggende princip bag de målinger af CO<sub>2</sub> udvekslinger, vi foretager, er den mikrometeorologiske teknik *Eddy Covariance*. Før du render skrigende bort, så lad mig forklare kort. Teknikken omfatter, at sætte et måletårn (f.eks. 3 meter) op og måle både vindhastigheder i alle tre retninger og atmosfærisk CO<sub>2</sub> koncentration 10-20 gange i sekundet (figur 2). På denne måde kan vi beregne, hvor meget CO<sub>2</sub>, der bæres til eller fra overfladen af den atmosfæriske turbulens, og dermed hvor meget CO<sub>2</sub>, der optages eller frigives i et større område foran tårnet, hvor vinden kommer fra. Områdets størrelse er afhængigt af tårnets højde og atmosfærens tilstand, men vil for et 3 meter højt tårn typisk ligge inden for de første 300 meter foran tårnet. Metoden er udviklet til at observere udvekslinger i varme CO<sub>2</sub>-aktive miljøer såsom skove og marker, og jeg har derfor måttet bruge en del tid under min ph.d. på at tilpasse metoden til de udfordrende arktiske betingelser (Sievers et al., 2015a).

### Udfordringer fremadrettet

Vi er kun i begyndelsen af at forstå, hvor komplicerede og forbundne de kemiske og fysiske små-skalaprocesser i havis er, og hvordan de bidrager til CO<sub>2</sub> udvekslinger med atmosfæren og dybhavet. Der arbejdes f.eks. hårdt på at



Figur 2: Vores Eddy Covariance tårn på tynd is (20 cm) i Nordøstgrønland. (Foto: Jakob Sievers).

forbinde de observerede udvekslinger med de helt grundlæggende aspekter af selve miljøet såsom udviklingen i temperaturer og energibalancen (Sievers *et al.*, 2015b; Sørensen *et al.*, 2014). Dette er en ydmyg start. Den overordnede ambition i hele feltet er dog knap så ydmyg: at gå endnu videre og formulere komplekse modeller til at beregne CO<sub>2</sub> udvekslinger for hele Arktis og Antarktis, så vi bliver bedre til at forudsige det fremtidige klima og undersøge vores indflydelse i dette yderst skrøbelige miljø mod nord.

#### Litteraturliste

- Junge, K., Krembs, C., Deming, J., Stierle, A., and Eicken, H.: *A microscopic approach to investigate bacteria under in situ conditions in sea-ice samples*, *Ann Glaciol*, 33, 304-310, 10.3189/172756401781818275, 2001.
- Miller, L. A., Fripiat, F., Else, B. G. T., Bowman, J. S., Brown, K. A., Collins, R. E., Ewert, M., Fransson, A., Gosselin, M., Lannuzel, D., Meiners, K. M., Michel, C., Nishioka, J., Nomura, D., Papadimitriou, S., Russell, L. M., Sørensen, L. L., Thomas, D. N., Tison, J.-L., van Leeuwe, M. A., Vancoppenolle, M., Wolff, E. W., and Zhou, J.: *Methods for biogeochemical studies of sea ice: The state of the art, caveats, and recommendations*, *Elementa*, 2015.
- Notz, D.: *The future of ice sheets and sea ice: Between reversible retreat and unstoppable loss*, *P Natl Acad Sci USA*, 106, 20590-20595, DOI 10.1073/pnas.0902356106, 2009.
- Papakyriakou, T., and Miller, L.: *Springtime CO<sub>2</sub> exchange over seasonal sea ice in the Canadian Arctic Archipelago*, *Ann Glaciol*, 52, 215-224, 2011.
- Parmentier, F. J. W., Christensen, T. R., Sørensen, L. L., Rysgaard, S., McGuire, A. D., Miller, P. A., and Walker, D. A.: *The impact of lower sea-ice extent on Arctic greenhouse-gas exchange*, *Nat Clim Change*, 3, 195-202, DOI 10.1038/Nclimate1784, 2013.



En uventet udfordring under arbejdet i Nordøstgrønland: Invasion af slædehundehvalpe! (Foto: Karl Attard).

- Rysgaard, S., Glud, R. N., Sejr, M. K., Bendtsen, J., and Christensen, P. B.: *Inorganic carbon transport during sea ice growth and decay: A carbon pump in polar seas*, *J Geophys Res-Oceans*, 112, Artn C03016, DOI 10.1029/2006jc003572, 2007.
- Rysgaard, S., Bendtsen, J., Pedersen, L. T., Ramlov, H., and Glud, R. N.: *Increased CO<sub>2</sub> uptake due to sea ice growth and decay in the Nordic Seas*, *J Geophys Res-Oceans*, 114, Artn C09011, DOI 10.1029/2008jc005088, 2009.
- Sievers, J., Papakyriakou, T., Larsen, S. E., Jammot, M. M., Rysgaard, S., Sejr, M. K., and Sørensen, L. L.: *Estimating surface fluxes using eddy covariance and numerical optimization*, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 2081-2103, 10.5194/acp-15-2081-2015, 2015a.
- Sievers, J., Sørensen, L. L., Papakyriakou, T., Else, B., Sejr, M. K., Haubjerg Sogaard, D., Barber, D., and Rysgaard, S.: *Winter observations of CO<sub>2</sub> exchange between sea ice and the atmosphere in a coastal fjord environment*, *The Cryosphere*, 9, 1701-1713, 10.5194/tc-9-1701-2015, 2015b.
- Sørensen, L. L., Jensen, B., Glud, R. N., McGinnis, D. F., Sejr, M. K., Sievers, J., Sogaard, D. H., Tison, J. L., and Rysgaard, S.: *Parameterization of atmosphere-surface exchange of CO<sub>2</sub> over sea ice*, *The Cryosphere*, 8, 853-866, 10.5194/tc-8-853-2014, 2014.
- Tison, J. L., Haas, C., Gowing, M. M., Sleewaegen, S., and Bernard, A.: *Tank study of physico-chemical controls on gas content and composition during growth of young sea ice*, *J Glaciol*, 48, 177-191, DOI 10.3189/172756502781831377, 2002.