

# Norske varmekilder i dyphavet

## – en underfundig verden full av spennende livsformer

Ida Helene Steen

*På havbunnen på dyp ned til 4000 m finner vi varme kilder med et yrende liv. Her er organismer som er tilpasset å vokse under høyt trykk og høye temperaturer i et miljø der sollys ikke finnes. Hvordan er disse livsformene tilpasset et liv under slike ekstreme forhold? Holder de på en hemmelighet om hvordan livet på jordkloden oppstod? Kan noen av disse enestående organismene og prosessene føre til industriell anvendelse og nye produkt?*

Lenge trodde man at det ikke var liv på bunnen i dyphavet. Varmekilder på havbunnen i vulkanske områder ble først oppdaget i Stillehavet av forskere om bord i undervannsfarkosten Alvin mot slutten av 1970-tallet. De oppdaget svart ”røyk” som strømmet ut av skorsteinslignende strukturer på havbunnen. Disse undersjøiske varmekildene fikk derfor navnet ”black smokers”. Både ”røyken” og pipestrukturene som kan bli flere titalls meter høye, dannes fra varmt, mineralrikt vann som strømmer ut fra havbunnen. Når dette blandes med kaldt sjøvann felles det ut mineraler, og den sulfiskorsteiner svarte fargen skyldes utfelling av ørsmå sulfidpartikler. Det varme vannet som kommer ut av skorsteinene er i all hovedsak sjøvann som har trengt 1 til 2 kilometer ned i havbunnen hvor det varmes opp av 1200 °C varmt magma til over 400 °C, for så å stige tilbake til overflaten. At slike varmekilder også ligger på norsk territorium visste vi ikke før i 2005.

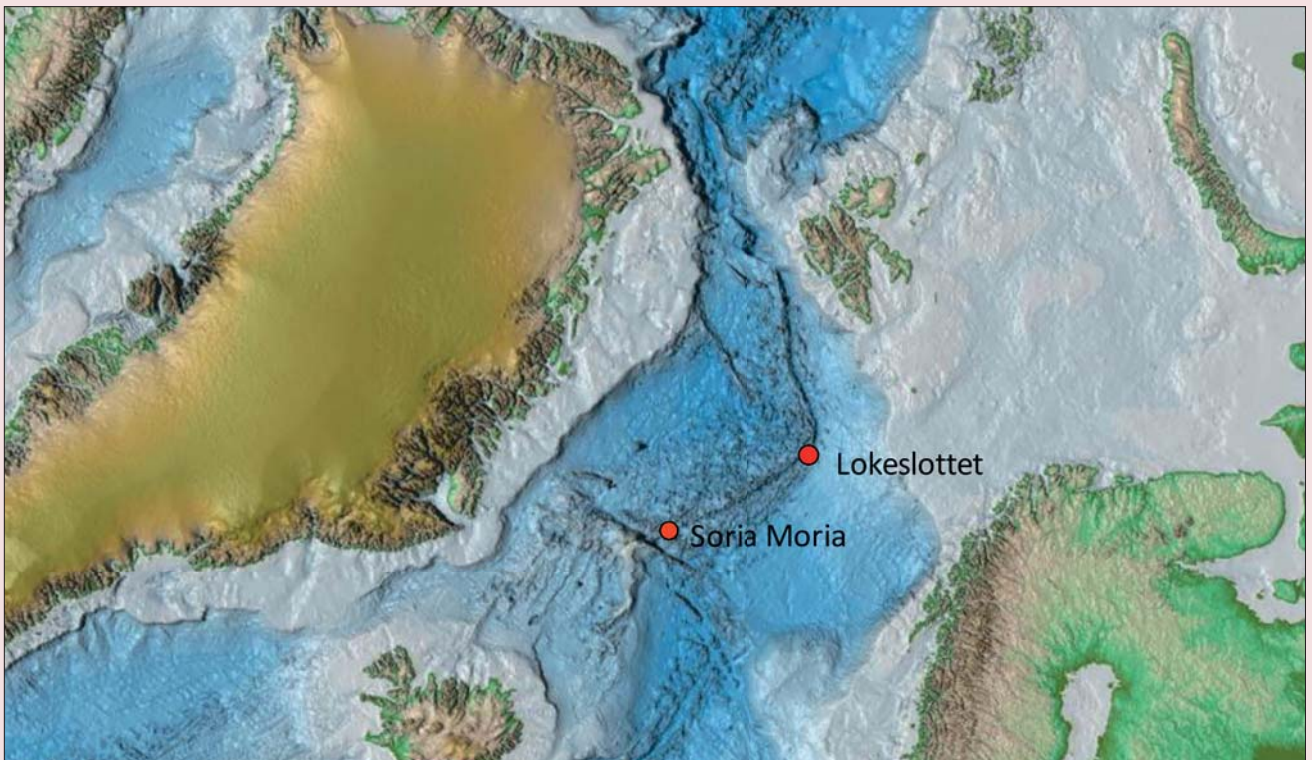
### Norske varmekilder

Forskere ved Universitetet i Bergen (UiB) har de siste årene avdekket en rekke varme kilder langs den arktiske midthavsryggen nord for Jan Mayen (Fig. 1). Siden da har systematisk arbeid ved UiB vist at Norge har en spennende undervannsnatur i dyphavet bestående av varme kilder – også kalt hydrotermale felt. De varme kildene er omgitt av en oase av liv, med vekst av tette bakteriematter både på skorsteinene og den varme havbunnen, og med kolonier av større organismer. Sammenlignet med livet på jordoverflaten og i de øverste vannlagene i havet, i den fotiske sonen der sollys slipper til, baserer ikke livet i de varme kildene seg på fotosyntese. Rundt varmekildene i dyphavet finner vi et unikt økosystem med primærprodusenter som livnærer seg av vulkanske gasser som metan, hydrogensulfid og hydrogen. Disse gassene kan bli oksidert ved reaksjon med oksygen, nitrat og sulfat som finnes i det om-

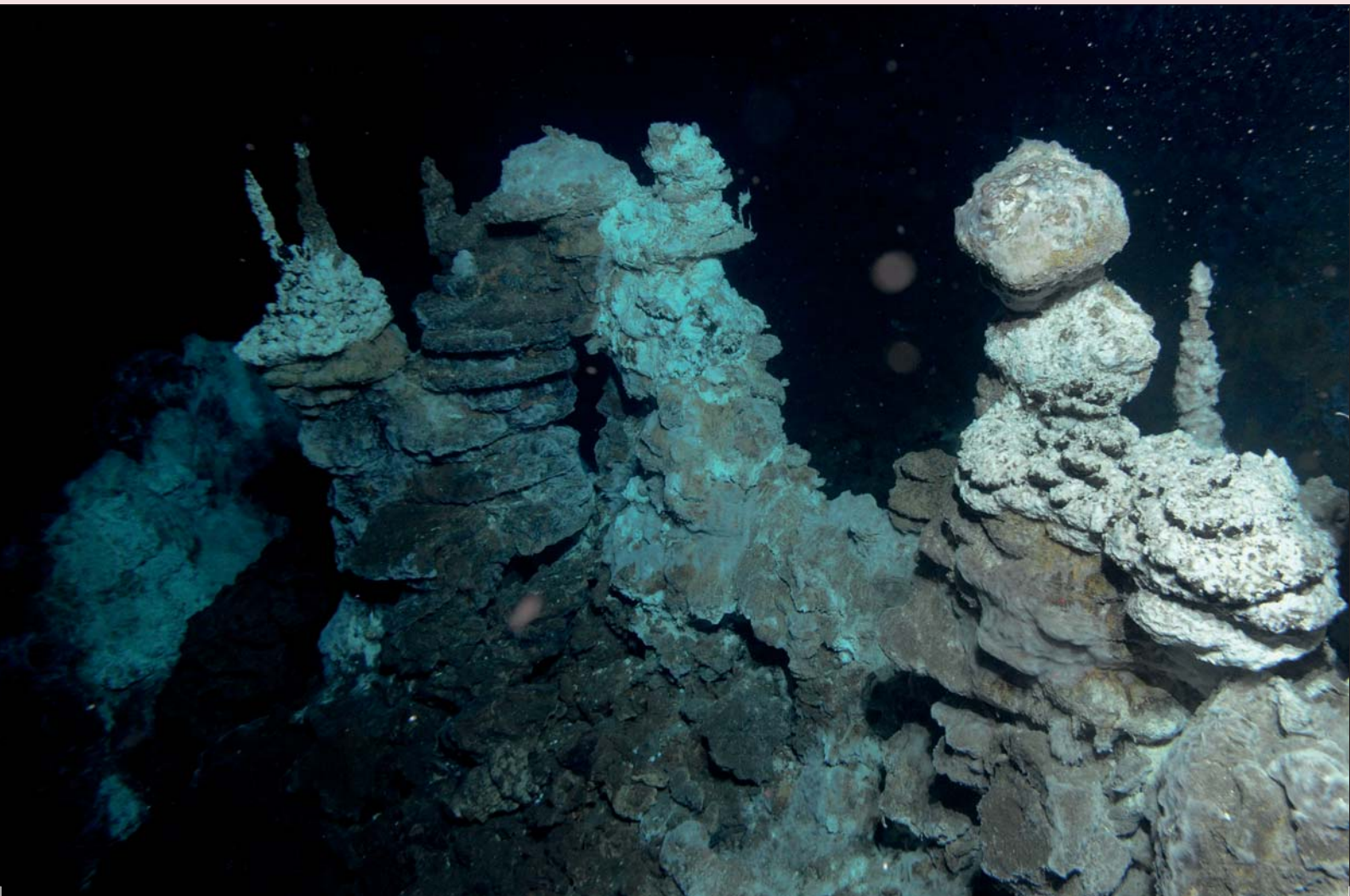
liggende sjøvannet. Det er energien fra disse kjemiske reaksjonene som på samme måte som lys-energien kan benyttes av mikroorganismer til å vokse og fikse uorganisk karbon og danne biomasse. Tilsammen står fotosyntese og kjemosyntese for all dannelse av primær biomasse på jordkloden.

### Kjemosyntesen – det første grunnlaget for liv?

I vår tid er fotosyntesen den kvantitativt viktigste prosessen for dannelse av primær biomasse, men forskere mener at organismer som kunne utføre fotosyntese ikke fantes på jordkloden før 3,5-3,2 milliarder år siden. Det første livet på jordkloden tror man kan ha vært basert nettopp på kjemisk energi. Varmekilder på havbunnen er et mulig sted hvor liv oppstod for drøyt 4 milliarder år siden. Ved å studere livet rundt nåtidens varmekilder har man mulighet til å kikke inn i et vindu som forteller oss om hvor-



■ Figur 1. Lokaltet og bilder av de hydrotermale feltene Lokeslottet og Soria Moria oppdaget på den arktiske midthavsryggen.  
Foto: Senter for Geobiologi, UiB





dan livet på jordkloden oppstod.

Et viktig bidrag fra UiB er her oppdagelsen av mikroorganismen *Lokiarchaeota*. Dette er en type mikroorganisme kalt arkée til forskjell fra en bakterie. Både arkéer og bakterier er imidlertid prokaryote organismer, det vil si de mangler en membranomsluttet cellekjerne slik man finner i eukaryote organismer som blant annet mennesker. Ved å avdekke *Lokiarchaeotas* arvemateriale kunne man lese at den sannsynligvis er langt mer kompleks og avansert enn andre mikroorganismer som til nå er beskrevet og muligens innehar egenskaper som finnes i de mer avanserte eukaryote organismene. «*Lokiarchaeota* kan dermed karakteriseres som en av evolusjonshistoriens manglende brikker og funnet av den har bidratt til å gi svar på hvilke mikroorganismer som mer avanserte livsformer oppstod fra, en utvikling som begynte for drøyt 2000 millioner år siden. På den tiden skjøt evolusjonen fart i havet, en utvikling som til slutt førte til mennesket. Enkle cellestrukturer utviklet seg til å bli mer avanserte, og fra disse komplekse

cellene utviklet etter hvert det livet seg som vi har på kloden i dag»<sup>1</sup>.

### Tilpasninger og liv i 122 °C

Alle livsformer lever innenfor et bestemt temperaturområde og en optimal temperatur der de vokser best ved. Studier av mikroorganismer dyrket fram fra varmekilder på havbunnen har ført til at vi nå definerer den øvre temperaturgrensen for liv til 122 °C. Mikroorganismen som holder denne rekorden er en metanproduserende arkée som er isolert fra varmekilden Karei i Det Indiske Hav.

Det er imidlertid ikke slik at det kun er væsker med ekstremt høye temperaturer som strømmer ut i et hydrotermalt felt. Innenfor ett og samme felt er det ofte også utstrømning av væsker med mer moderat temperatur – såkalte lavtemperatur-utstrømninger. Den kjemiske sammensetningen av disse væskene er annerledes enn den som går gjennom sulfidskorsteinene. Dette kan være forårsaket av kjemiske og/eller mikrobiologiske prosesser under overflaten. Dermed kan det være flere ulike miljøfak-

torer som påvirker hvilke mikroorganismer som lever innenfor ett og samme hydrotermale felt og hvordan de er tilpasset akkurat disse leveforholdene.

### Livet på Lokeslottet

Av de varme kildene som til nå er oppdaget på den arktiske midthavsryggen er det Lokeslottet som kanskje er best studert med hensyn til hvilke mikroorganismer som lever der og hvordan de har tilpasset seg de miljøfaktorene som karakteriserer dette feltet. Lokeslottet ble oppdaget i 2008. I 2009 ble et unikt område med lavtemperatur-utstrømninger også oppdaget der. Da ble det funnet noen helt spesielle skorsteiner som er dannet av mineralet barytt ( $\text{BaSO}_4$ ) og ikke av sulfidmineraleer slik som høytemperatur-skorsteinene eller sulfidskorsteinene. Væskene som strømmer ut av disse baryttkorsteinene har både en mye lavere temperatur (ca. 20 °C) og strømningshastighet enn sulfidskorsteinene.

Både sulfidskorsteinene og disse baryttkorsteinene er dekket av bakteriematter (Fig. 2). Bakteriemattene som vokser på sulfidskorsteinene er organisert på en helt forskjellig måte enn de som vokser på baryttpipene. På sulfidskorsteinene danner mikroorganismene en varmestabil biopolymer av et cellulose-lignende stoff. Dette antar vi er en tilpasning for å kunne feste seg til de varme skorsteinsveggene i tillegg til at de kan sitte godt nok fast under forhold med kraftig væskeutstrømning. Mikroorganismen som danner denne biopolymeren er ved hjelp av molekylære metoder klassifisert som en epsilonproteobak-



Figur 2. Mikrobielle matter som vokser på sulfidskorsteiner og en baryttkorstein på Lokeslottet.  
Foto: Senter for Geobiologi, UiB



terie som livnærer seg på hydrogen og hydrogensulfid. Bakteriemattene som vokser på baryttpipene derimot er organisert på en helt annen måte. Her er mikroorganismene bundet sammen av tynne tråder av et organisk materiale. Dette mate-

rialet danner en stor overflate som krystaller av barytt begynner å vokse på. Barytt har en høy tetthet og de utfelte baryttkrystallene har sannsynligvis en betydning for den karakteristiske boble- eller eggeformede strukturen til disse mattene.

Dette er også et godt eksempel på hvordan biologiske og geologiske prosesser gjensidig påvirker hverandre i dette systemet.

Studier av det mikrobielle livet på Lokeslottet har også avslørt andre hemmeligheter. Fra Lokeslottet er det isolert en mikroorganisme som livnærer seg på hydrokarboner og i fellesskap med en metanproduserende arkée, produserer metan-gass fra denne prosessen. Nylig har vi også funnet en mikroorganisme som blir stimulert av trykk til å vokse fortere. I forhold til landjorda er livet på Lokeslottet utsatt for et betydelig høyere trykk. Videre er det blitt isolert flere sukkerspise- og proteinspisende bakterier fra Lokeslottet og andre varmekilder langs den arktiske midthavsryggen (Fig. 3). Tilsammen tyder dette på at det er en spennende mikrobiell undervannsverden som befinner seg

i de varme kildene på den arktiske midthavsryggen.

### Bioprospektering av livet i dyphavet

Marin bioprospektering er formålsrettet og systematisk leting i marine organismer som finnes i havet etter bestanddeler, forbindelser eller gener som kan inngå som komponenter i produkter eller prosesser. Kartleggingen av dyphavsnaturen med de varme kildene langs den arktiske midthavsryggen er viktig i denne sammenhengen. For Norge representerer dette helt unike økosystem hvor man kan lete etter bestanddeler for utnyttelse og slik utvikle marin bioprospektering. På norsk sektor er det kun i oljereservoar under havbunnen man finner liv som kan tåle så høye temperaturer som i de varme kildene.

### De utrolige enzymene

Siden de såkalte termofile eller varmeelskende mikroorganismene ble oppdaget, har forskere søkt etter å finne anvendelser av disse. Hvorfor

er disse mikroorganismene av spesiell interesse? Jo, det er for at mikroorganismene som lever under slike temperaturforhold skal kunne fungere, så må deres enkelte cellekomponenter også tåle slike ekstreme forhold. Blant disse cellekomponentene er det spesielt enzymene som kan anvendes.

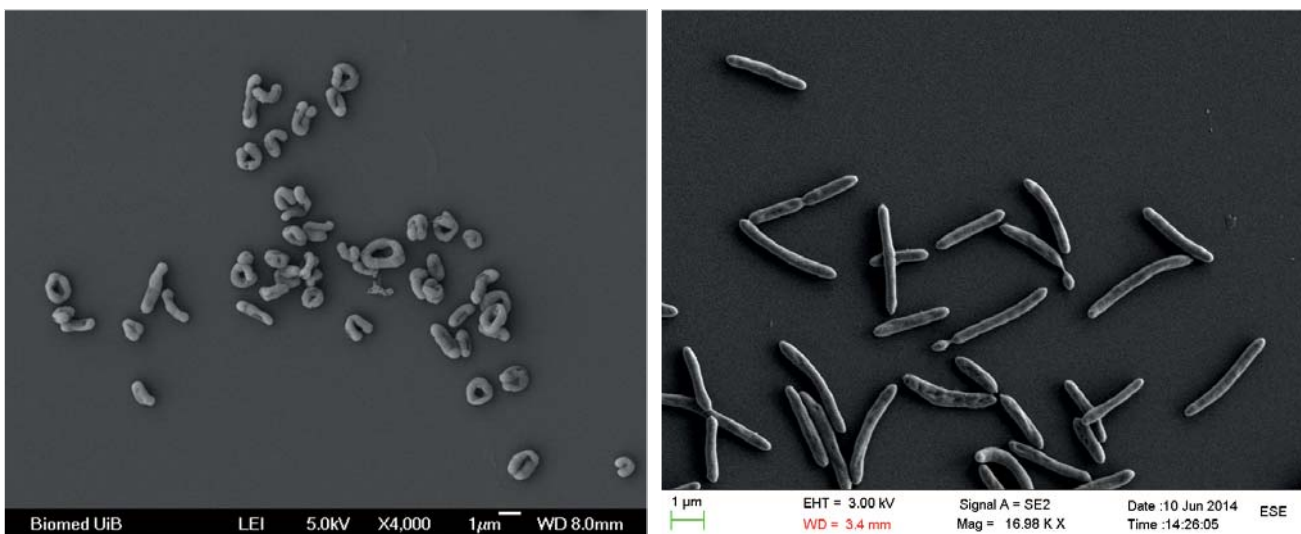
Enzymer er naturens egne biologiske katalysatorer. Enzymer er svært effektive i å øke reaksjonshastigheten til biokjemiske prosesser som ellers går veldig sakte, eller i noen tilfeller ikke i det hele tatt. Menneskeheten har brukt dem i flere tusen år for å utføre viktige kjemiske reaksjoner for å fremstille kjente produkter som ost, øl og vin, uten å forstå hva de var eller hvordan de fungerte. Smak og tekstur i brød og yoghurt skyldes f. eks også bruk av enzymer eller enzymproduserende mikroorganismer. Enzymer spiller altså en viktig rolle i produksjonen av den maten vi spiser.

Vi vet at vi står overfor globale utfordringer i forhold til å skaffe nok mat, energi og fornybare ma-

terialer for å imøtekomme en stadig større befolkning på jordkloden. Bioteknologi og bruk av enzymer er uatskillelig, og er beskrevet som en teknologi som kan gi nye muligheter. Vi vil nok derfor i framtiden se en mer omfattende bruk av enzymer innenfor medisin, industri og produksjon av mat og fôr. Bruken av enzymer vil sannsynligvis også bli enda viktigere for å redusere både energiforbruk og miljøforurensning.

Det som kanskje er mest interessant ved enzymene fra de varmeelskende bakteriene en finner i de varme kildene er altså at de kan fungere og være stabile ved høye temperaturer. Dette er f. eks. av stor interesse i såkalte bioraffineri. Dette kan sammenlignes med et oljeraffineri, men her er det biologisk materiale som raffineres og ikke olje. Industrien bruker bioraffineri til å lage nye produkter av for eksempel tømmerstokker og fiskeavfall. Utvikling av enzymer for bruk i norske bioraffineri pågår akkurat nå i et stort nasjonalt forskningsprosjekt (NorZymeD<sup>2</sup>) hvor UiB deltar.

■ Figur 3. Skanning elektronmikroskopbilder av bakterier dyrket fram fra varme kilder. Foto: Irene Roalkvam og Anders Schouw, Senter for Geobiologi, UiB



Sammen med firmaet Biomega på Sotra, letes det f. eks. etter enzymer som kan brukes til å gjøre fiskebein og fiskehoder om til menneskemat. Olje og proteinpulver fra fiskerester er energikilder som ikke bare trenger å brukes som fôr, men også i brød, sportsdrikker og fiskeuppe. Ved å omgjøre mer av fiskerestene til mat hindrer man at store mengder fiskeprotein går til spille.

### **Virus**

I tillegg til bakterier og arkéer så tror man at virus kan være en god kilde for nye enzymer som kan anvendes innenfor molekylærbiologi og bioteknologi. Virus har en unik livssyklus og er de mest tallrike livsformer som finnes på jorden. Som datavirus inneholder også virus i naturen en «ondsinnert kode» som tar kontrollen over en vertscelle for å reproducere og spre seg selv. For influensaviruset er det en menneskcelle, i havet kan det være en alge eller en bakterie. Maskineriet som virusene bruker for å overta kontrollen av vertscellen og lage kopier av seg selv, er avansert og utspøkult. For at dette maskineriet skal kunne fungere, så kan virusene benytte enzymer som kan klippe, lime og/eller produsere arvestoff. Slike enzymer er ofte brukt innenfor molekylærbiologien. Til nå er det kun noen få virus som har fungert som en kilde til å få tak i disse enzymene. Med tanke på hvor mange og ikke minst ukjente virus som finnes, er det godt mulig at vi ved å kartlegge arvematerialet til flere av disse, kan finne nye og hittil ukjente funksjoner og bruk av virus. Vi vet for øyeblikket svært lite om hvilke typer, hva de bærer av arvemateriale og hvilke or-

ganismer som fungerer som vert for virus fra varme kilder i dyphavet. Det trengs derfor mye forskning for å finne ut mer om betydningen av virus for økosystemet i varme kilder og hvordan de kan anvendes. Dette er noe av det vi gjør i EU-prosjektet Virus-X<sup>3</sup>.

Vår kartlegging av ny norsk undervannsnatur har altså vist seg å ha mye spennende å by på. Imidlertid er der fremdeles store områder vi enda ikke har kartlagt og nye varmekilder på norsk sektor kan nok fremdeles avdekkes. Til nå har vi bare så vidt fått våre første glimt inn i denne fascinerende verdenen. Ved UiB er vi så heldig at vi har tilgang til og kompetanse på bruk av tung marin infrastruktur slik at vi kan fortsette disse studiene. Videre har vi også tung kompetanse på bruk av molekylære metoder for å avdekke biodiversitet i dyphavet. Denne kombinasjonen er unik i norsk øyemed og muliggjør at vi kan arbeide systematisk med å avdekke ny og grunnleggende kunnskap om sammenhengen mellom geologiske og biologiske prosesser på jordkloden. Det er imidlertid mange utfordringer å ta tak i. For eksempel er det å kunne gjøre flere og mer detaljerte kjemisk målinger kontinuerlig direkte i miljøet helt essensielt for å bedre forstå hvordan unike miljøfaktorer i ulike hydrotermale system styrer biodiversiteten der. Videre er det en stor utfordring å klare å dyrke mikroorganismene fra disse systemene i laboratoriet. Dette er avgjørende for å kunne teste hypoteser om mikroorganismenes levemåte og tilpassinger til systemene. Jo mer vi vet om de grunnleggende egenskapene til mikroorganismene,

jo lettere vil det være å kunne finne en industriell anvendelse av dem.

## Kilder

- Brock-Biology of Microorganisms*. 2012. Madigan, M.T., Martinko, J.M., Stahl, D.A. and Clark, D.P. (Eds). Thirteenth Edition. Pearson Education, Inc., 1301 Sansome Street, San Francisco, CA 94111.
- Fosse, H., Pedersen, R.B., Bergh, S. og Andresen, A. 2013. *En fjellkjede blir til*. I: Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. og Rangnes, K. (red). Landet blir til - Norges geologi. 2. utg. Trondheim. Norsk Geologisk Forening, 608 s.
- Enzyme Technical Association (2001). *Enzymes: A primer on use and benefits today and tomorrow* - Report. Washington DC.
- Fiskeri- og Kystdepartementet, Kunnskapsdepartementet, Nærings- og Handelsdepartementet og Utenriksdepartementet. *Marin bioprospektering – en kilde til ny og bærekraftig verdiskaping*. Nasjonal strategi 2009.
- Roalkvam, R., Bredy, F., Baumberger, T., Pedersen, R.B., and Steen, I.H. (2015). *Hypnocyclicus thermotrophus* gen. nov. sp. nov. isolated from a microbial mat situated in a hydrothermal vent field in the Greenland Sea. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 65, 4521-4525. doi: 10.1099/ijsem.0.000606.
- Schouw, A., Stokke, R., Pedersen, R.B., Steen, I.H., and Bødtker, G. (2016). *Abyssivirga alkaniphila*, gen. nov. sp. nov., an alkane degrading anaerobic bacterium from a deep-sea hydrothermal vent system, and emended descriptions of *Natranaerovirga pectinivora* and *Natranaerovirga hydrolytica*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 66, 1724-34. doi: 10.1099/ijsem.0.000934
- Sjøberg, A.G. (2016). Physiological characterization of a novel strain within *Rhodobacteraceae*, isolated from a biofilm sample on a barite chimney at the Loki's Castle Vent field. *Master's thesis in Geobiology*, Centre for Geobiology and Department of Biology, University of Bergen.
- Spang, A., Saw, J.H., Jørgensen, S.L., Zaremba-Niedzwiedzka, K., Martijn, J., Lind, A.E., van Eijk, R., Schleper, C., Guy, L., and Ettema, T.J. (2015). Complex archaea that bridge the gap between prokaryotes and eukaryotes. *Nature* 521, 173-179 doi:10.1038/nature 14447.
- Steen, I.H., Dahle, H., Stokke, R., Roalkvam, I., Daae, F.L., Rapp, H.T., Pedersen, R.B., and Thorseth, I.H. (2016). Novel barite chimneys at the Loki's Castle Vent Field shed light on key factors shaping microbial communities and functions in hydrothermal systems. *Frontiers in Microbiology* 6, 1510. doi: 10.3389/fmicb.2015.01510.
- Stokke, R., Dahle H., Roalkvam, I., Daae, F.L., Wissuwa, J., Thorseth, I., Pedersen, R.B. and Steen I.H. (2015). Functional interactions among *Epsilonproteobacteria* and *Bacterioidetes* in a deep-sea hydrothermal vent biofilm. *Environmental Microbiology* 17, 4063-4077. doi:10.1111/1462-2920.12970
- Takai, K., Nakamura, K., Toki, T., Tsunogai, U., Miyazaki, M., Miyazaki, J., Hirayama, H., Nakagawa, S., Nunoura, T., and Horikoshi, K. (2008). Cell proliferation at 122°C and isotopically heavy CH<sub>4</sub> production by a hyperthermophilic methanogen under high-pressure cultivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, 10949-10954, doi:10.1073/pnas.0712334105

## Noter

1. <http://www.aftenposten.no/norge/Norsk-forsker-Evolusjonsteorien-maskrives-om-41511b.html>
2. Se <http://norzymed.nmbu.no>
3. Se <http://virus-x.eu>