



Norsk Oljemuseum
Årbok 2017





DYPE HEMMEIGHETER DEEP SECRETS

Alger blir olje
Det er nå på vei over 200 millioner år tilbake i tid. I dag forteller vi om Persepolis - med 11 kaver, dypt ned i landet - hvor Persepolis ligger. Det er nå på vei over 200 millioner år tilbake i tid.

Alger become oil

It is now on its way over 200 million years back in time. Today we tell about Persepolis - with 11 caves, deep in the land, where Persepolis lies. It is now on its way over 200 million years back in time.



Energifabrikken

AV BJØRN KÅRE BRYN

Hva er verdien av hydrokarboner? Det var dette spørsmålet jeg ble bedt om å belyse på Oljemuseet i forbindelse med Forskningsdagene i 2017. Her er en versjon av mitt svar på det.

For at noe skal ha verdi, må det gi oss noen fordeler, eller i det minste være noe vi setter pris på. Ressursene på sokkelen påvirker oss på flere nivåer. På individuelt og nasjonalt nivå er økonomiske verdier sentrale, på globalt nivå handler det om å ta vare på mennesker og sikre en bærekraftig natur for våre etterkommere. Hvis man antar de globale verdiene er uerstattelige, og truet av klimagassutslipp fra fossilt brensel, har lokal økonomisk gevinst da relevans i det hele tatt? At lokal økonomisk gevinst blekner i møtet med mennesker, natur og deres iboende verdi, blir åpenbart hvis man stiller spørsmålet: Er det greit at vi gjør planeten ubeboelig for våre etterkommere hvis vi bare tjener nok penger på det?

Jeg vil derfor kun fokusere på globale verdier. Det store spørsmålet blir da om det er mest

ideelt å legge ned vår produksjon av fossilt brensel umiddelbart. Eller vil de globale klimagassutslippene falle enda hurtigere hvis vi gjør to ting på en gang, nemlig bygger ut fornybar energi så fort som overhodet mulig, samtidig som vi proaktivt optimaliserer den fossile energiporteføljen med henblikk på renere produksjon?

Jeg har ikke noe fasitsvar på disse vanskelige spørsmålene, som er av helt klar politisk karakter, og overlater til leseren å reflektere videre rundt dette. I stedet vil jeg fortelle noen historier som belyser noen sider ved fossilt brensel som ikke får mye plass i den offentlige debatten. På den måten vil jeg rette søkelyset mot noen fasetter av et komplekst problem som jeg mener det kan være nyttig å kjenne til hvis man vil engasjere seg for en hurtig og effektiv avkarbonisering av verdens

Geolog Bjørn Kåre Bryn forteller om det han kaller Energifabrikken, om hvordan prosesser på jorda omdanner energi fra sola. Foto: Marie von Krogh

energimiks. Felles for historiene er at de setter norske olje- og gassforekomster i et globalt og historisk perspektiv.

Den første historien er «Geologien bestemmer». Her kommer jeg inn på jorden som energifabrikk, svart kull og Nordsjøens petroleum. Den andre historien handler om «Homo sapiens forhold til energi», om energibehov på artsnivå og kampen om ressursene på nasjonalt nivå. Den tredje historien er om «Norge som olje- og gassnasjon», altså den norske energifabrikken. I den fjerde historien vil jeg belyse hva som skjer når kull, olje og gass forbrennes. Det er nemlig dette som bestemmer, mer enn noe annet, hvor mye energi og klimagassutslipp de forskjellige produktene leverer. Helt til sist vil jeg se fremover og komme inn på noen «ikke-fossile» muligheter. Historien jeg har kalt «Et hav av muligheter» retter seg mot fremtiden og hvordan vi kan benytte vår geologi og kompetanse for å forsvare vår posisjon som energistormakt i lavkarbonsamfunnet.

En forståelse av verdien til hydrokarboner begynner med en forståelse av vår geologiske historie. Det er geologien som setter premissene for hva vi finner, hvor vi finner det og hvordan det kan produseres. Jeg vil påstå at over 90 prosent av verdien til energien kan tilskrives geologien. Til syvende og sist er det nemlig hvordan et drivstoff dannes som bestemmer dets fysiske og kjemiske egenskaper, og det er

dette som styrer effekten (energi) og bieffekten (uønskede utslipp) ved forbrenning.

Verdens geologiske historie er også full av spennende fortellinger.



Geologien bestemmer tilgangen til fossil energi. Det trengs en kildebergart, en reservoarbergart og en takbergart for at olje eller gass skal kunne finnes. På Norsk Oljemuseum kan Bjørn Kåre Bryn vise fram disse bergartene.

Foto: Jan A. Tjemsland/Norsk Oljemuseum

Visste du for eksempel at geologiske hendelser som fant sted for millioner av år siden har satt premissene for hvordan samfunnet vårt ser ut i dag? Den industrielle revolusjon ville aldri spredd seg så fort som den gjorde hvis det ikke var for noen trær som aldri råtnet i sumpskogene for mer enn 300 millioner år siden. Norge ville nok ikke vært rikere enn nabolandene hvis ikke en serie med jordskjelv hadde dannet rifter i jordskorpen for om lag 150 millioner år siden. Det hadde ikke engang bodd folk i Norge hvis ikke isen trakk seg tilbake for mer enn 10 000 år siden. Det var kanskje da de første kom vandrende over tørrlagte deler av Nordsjøen og bosatte seg på Jæren. At de spaserte rett over de ressursene som senere skulle gjøre Jærbuene til noen av de rikeste i ett av verdens rikeste riker, visste de nok ingen ting om.

For å illustrere historien, har jeg inkludert noen tusjtegninger som jeg brukte i min presentasjon på Oljemuseet under Forskningsdagene. Hvis det er unøyaktigheter i noen av grafene, vil jeg beklage dette og tilskrive det en ustødig hånd. Meningen med disse illustrasjonene er først og fremst å illustrere det «grove bildet».

Geologien bestemmer

Før man trer inn i den geologiske verden og ned i dypet der oljen og gassen blir dannet, kan det være nyttig å filosofere litt over fenomenet «dyp tid». Dette er et uttrykk som brukes om tidsperioder som er så lange at vi ikke forstår dem. Hver og en av oss har tross alt, så vidt vi selv kan huske, alltid

eksistert. Hvor lang vår personlige evighet er i forhold til for eksempel jordens alder har hjernen i utgangspunktet ikke kapasitet til å prosessere. Geologer som skal formidle «dyp tid» komprimerer derfor den geologiske tiden til et format som hjernen kan behandle, ikke så ulikt det man gjør på pc-en når store datafiler pakkes sammen for å få plass på harddisken.

Hvis vi komprimerer jordklodens alder på 4,6 milliarder år 1,74 milliarder ganger, sitter vi igjen med litt under to og et halvt år. Siden du nå sitter og leser i denne årboken er du, forhåpentligvis, mer enn to og et halvt, og derfor i stand til å forstå at to og et halvt ikke er «alltid». La oss derfor tenke oss at jordkloden er en ivrig smårolling, på snart to og et halvt, en unge som har brukt mesteparten av sitt liv på å vokse seg sterk nok til å reise seg opp og springe omkring. Den siste tiden har det bokstavelig talt blitt ganske mye liv og røre.

Hvis du tar et bilde av en slik «snart-to-og-et-halvt-åring» med et analogt kamera, med normal lukketid på 1/60 sekund, fanger du en ørliten fraksjon av krabatens liv. Uten noen referanser til hvordan småfolk oppfører seg kunne man, basert på bildet alene, kommet til å tro at de er helt stillestående, akkurat som de øvrige omgivelsene på bildet. Bare tydelige spor etter aktivitet, som mat i munnvikene, et veltet melkeglass og snørr under nesene, kan fortelle oss at krabaten er i full aktivitet.

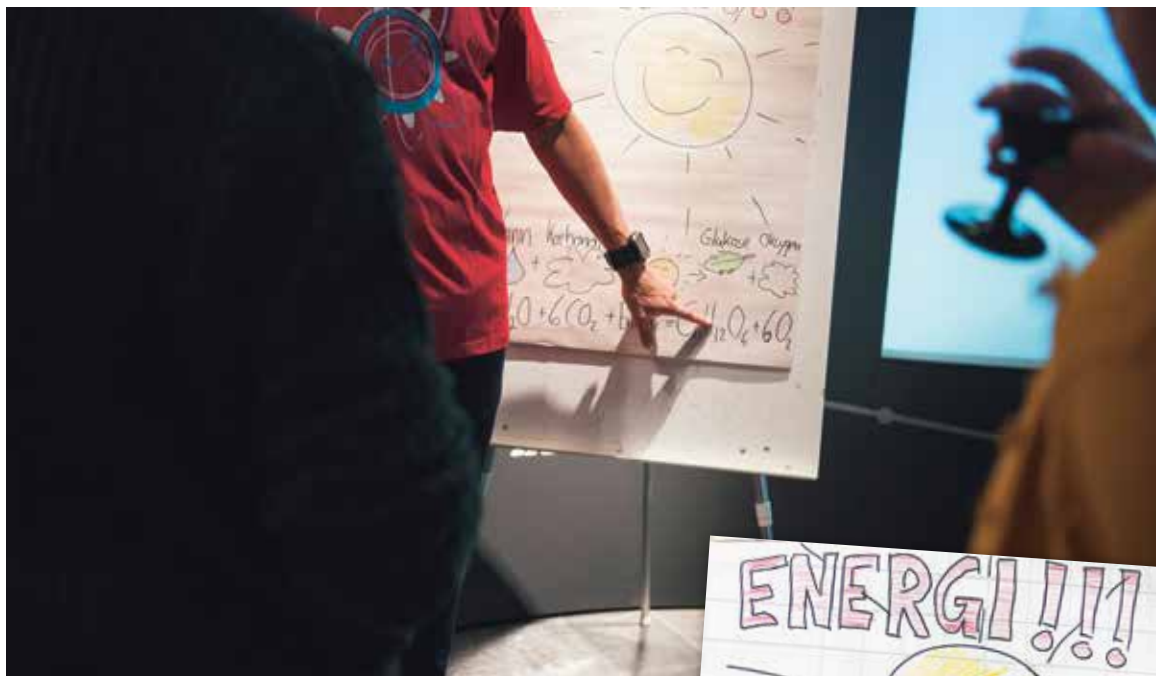
Det interessante i denne sammenhengen er at et gjennomsnittlig menneskeliv fanger en like liten fraksjon av jordens alder som et fotografi fanger av en liten krabats liv. På grunn av den korte eksponeringstiden vi har her på jorden ser det ut som Moder Jord står helt stille. Det kan vi imidlertid fastslå at hun ikke gjør. Hun har nemlig satt en rekke spor som avslører hennes aktivitet. Hun har, bokstavelig talt, vært både høyt og lavt, akkurat som en toåring.

Geologer setter sporene etter aktivitet i relasjon og rekkefølge, og med dette som utgangspunkt kan vi rekonstruere hva som har skjedd, og påvise hvordan naturen alltid er i bevegelse og endring. Dette åpner opp for nye perspektiver og kunnskap om den levende jordkloden. Blant annet ser vi at biologiske og geologiske prosesser kan utføre komplekse oppgaver i samspill, som for eksempel å omforme energi fra solen til karbohydrater, foredle denne energien til petroleum med enda høyere energitetthet, og la dette sive tilbake til jordens overflate hvor det blir til ny næring for yrende liv. Denne store og langsomme energifabrikken består av levende organismer som sanker energi fra solen gjennom fotosyntesen, og en levende planet med energi i sitt indre som brukes til å utføre en rekke prosesser. Noen ganger skjer tilfeldigvis dette i en bestemt rekkefølge, slik at petroleum, på vei til overflaten, fanges i reservoarer i undergrunnen. Det er slike reservoarer vi utvinner olje og gass fra på norsk sokkel.

Jorden som energifabrikk

Energi fra solen drifter vær, vind og fotosyntesen. Energi fra jordens indre får jordplatene til å drive fra hverandre noen steder og støte sammen andre steder. Spenningene som settes opp blir utløst i plutselige jordskjelv og vulkanisme som forandrer og former overflaten. Hydrokarboner dannes med energi fra både solen og jorden. Ingrediensene blir blandet i fotosyntesen, bakeprosessen skjer med varme fra jorden.

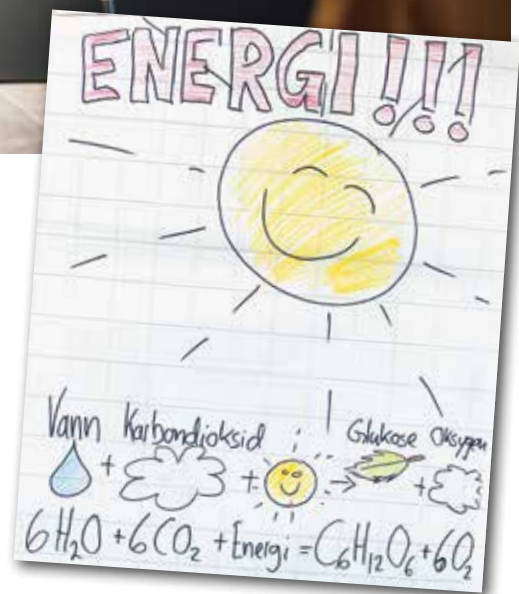
Fabrikken som produserer fossilt brensel begynte så smått å produsere da organismer med fotosyntese oppstod i jordens urtid, omtrent på samme tid som jordplatene begynte å bevege seg. Noe som antas å være fossile blågrønne bakterier har blitt funnet i sedimenter som er 3,5 milliarder år gamle, men det var først i den geologiske perioden som kalles Kambrium at evolusjonen av nye arter virkelig begynte å skyte fart. Midt i Kambrium, for omlag 430 millioner år siden, begynte vannplanter å overleve også i sumper og våtmark, og dette regnes som de første organismene som etablerte seg på land. Muligvis kan livet ha spredd seg til landjorden enda tidligere, men det er Kambrium som regnes som den perioden hvor utviklingen eksploderte, og forfedrene til de fleste moderne livsformer oppstod. I geologisk sammenheng er Kambrium så skjellsettende at jordas urtid, som egentlig er mesteparten av jordas liv, kalles pre-kambrium. Hvis vi vender tilbake til sammenligningen med to-og-et-halv-åringen, kan vi tenke oss at



Energien fra sola setter i gang et avansert kretsløp på jorda. Bjørn Kåre Bryn forklarer kompliserte sammenhenger enkelt.
Foto: Marie von Krogh

Kambrium er den perioden krabaten lærer å gå. Nå ligger alt til rette for å omsette energi til mer bevegelse.

Plantene har gjennom noen milliarder år spesialisert seg på å magasinere energi fra sollys. Ufattelige mengder energi har blitt omdannet ved fotosyntese, men bare en liten del har blitt oppbevart for ettertiden. Oppbevaring av organisk materiale vil typisk skje i områder hvor det er dårlig vannsirkulasjon, som for eksempel



Fotosyntesen slik Bjørn Kåre Bryn framstiller den.
Tegning: Bjørn Kåre Bryn

i myrer og våtmark, på bunnen av stillestående ferskvann, eller på havbunnen når havstrømmene ikke får byttet ut bunnvannet. Organisk materiale i myrene gir torv som senere kan bli til kull hvis det synker inn til et dyp hvor det utsettes for høyt trykk og temperatur. Organisk materiale i bunnslam fra innsjøer, eller havets bunn, kan omdannes til gasskifer eller oljeskifer.

Som regel blir døde organismer, og deres energilagre, effektivt renovert og resirkulert av andre organismer. Det er bare i miljøer hvor renovatørene ikke får gjort jobben sin at betydelige mengder organisk materiale kan bli oppbevart over tid, og da mener jeg geologisk tid.

I geologien ser man ofte at noe som kan ha skjedd for mange, mange millioner år siden blir styrende for det som kommer senere. Grunnen til at den industrielle revolusjonen spredde seg så fort som den gjorde kan være at noen helt spesielle renovatører ikke dukket opp når det var bruk for dem, for litt over 300 millioner år siden.

Mysteriet om trærne som aldri råtnet og den industrielle revolusjon

En helt spesiell hendelse, som har vært skjellsettende for menneskeheten, fant sted i den geologiske perioden Karbon. Da lå forholdene til rette for at trærne for alvor kunne utvikle seg, og et sumpskoglandskap bredde seg utover verdens landmasse. Evolusjonen hadde utviklet forsterkende fibre (lignin) som ga trærne styrke til å vokse seg høye, men lignin er betydelig

mer motstandsdyktig mot forråtnelse enn de fleste andre organiske stoffer i naturen, og en populær teori postulerer at evolusjonen enda ikke hadde frembragt mikroorganismer som effektivt kunne bryte ned tømmeret da trærne døde. Dermed ble store mengder karbon, som trærne og andre planter hadde sugd til seg fra atmosfæren, magasinert i sumpene. En annen effekt som kan ha forhindret at trærne råtnet, er stillestående, anoksisk vann i skogbunnen. Uansett, når dette sumplandskapet ble overleiret, presset sammen, og sank inn til et dyp med høyt trykk og temperatur, ble karbonskogene, over tid, omdannet til mektige, svarte steinkullsekvenser. Perioden Karbon har fått navnet sitt etter alt karbonet som finnes i bergarter fra denne tidsperioden.

Svart kull har trolig blitt brukt som brensel i flere tusen år, og vi vet med sikkerhet at kull var en ettertraktet handelsvare allerede i romertiden. Verdens første industrielle dampmaskin ble laget av Thomas Savery i 1698 for å pumpe vann ut av kullgruver, og i tiårene som fulgte ble teknologien utbedret. Kullproduksjonen økte og det produserte kullet ble etter hvert transportert over store avstander på kanallektere og jernbaner. Dampmaskiner tok over for hester, produksjonen ved jernstøperiene økte, byer fikk belysning fra kulldrevne gasslamper, og tungindustri og tekstilfabrikker surret for full maskin. Det var kanskje dampmaskinen som startet den industrielle revolusjonen, men det var kullet som startet dampmaskinen. Og hvor kom så kullet fra? Det kom fra de trærne som aldri råtnet i Karbonsumpskogene.

Norge får fedme

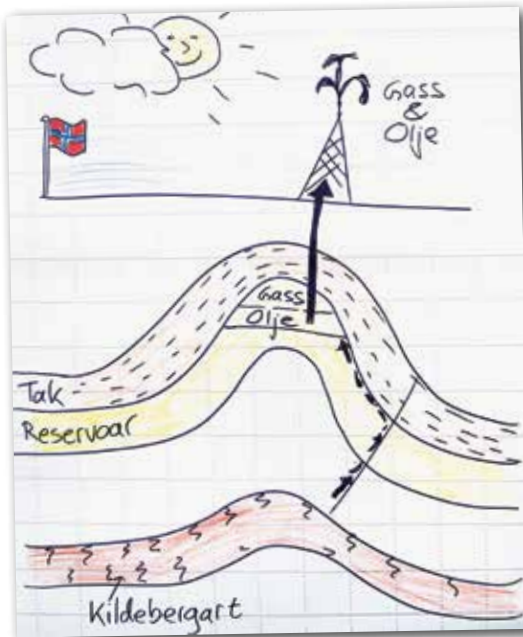
Erik Pontoppidan berettet i sin «Norgesbeskrivelse» fra 1752–53 at Nordsjøen var kjent for sin «fedme», noe han antok skyldes naturlige petroleumlekkasjer. I dag er det velkjent at hydrokarboner som dannes i dypet strømmer oppover og til slutt havner i havet eller på landjorden, med mindre de møter hindringer på veien. På steder der hydrokarbonene når havbunnen oppstår det rike kolonier av mikroorganismer som ernærer seg på petroleum. Registrering av hydrokarboner på havoverflaten og oppdyrking av mikroorganismer fra sedimentprøver er standard prosedyrer som brukes, sammen med en rekke andre teknologier og metoder, for å identifisere nye leteområder. Positive observasjoner av olje eller organismer som lever av lekkede hydrokarboner forteller oss at det finnes en kildebergart som generer olje i området.

De fleste kildebergarter for olje og gass er organisk rike skifre. Disse ble opprinnelig avsatt som leire på bunnen av innsjøer eller hav med dårlig sirkulasjon og lite oksygen. I slikt «råttent» bunnvann blir bakterier, alger og planterester ikke fullstendig brutt ned, men begravd i leire. Det var dette som skjedde da grunnlaget for det norske oljeeventyret ble lagt sent i Jura og tidlig i Kritt (for ca. 160–140 millioner år siden). Tidligere i Jura var store deler av det som i dag er norsk kontinentalsokkel et lavtliggende, flatt elve- og kystslättelandskap, med stor transport av sand i elver som munnet ut i store deltaer. Dette flate landskapet endret seg dramatisk da det oppstod en serie med rifter som

forgrenet seg gjennom Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet. Deltaene ble oversvømt av havet, og riftene i jordskorpen dannet avlange havpassasjer med dårlig vannsirkulasjon. Det organiske materialet som akkumulerte i bunnslammet ble senere til en kildebergart i verdensklasse.

Når en kildebergart dannes, blir det organiske materialet i første omgang omdannet til et fast stoff av store molekyler som kalles kerogen. Videre overleiring gir økt innsynkning, og når sedimenter synker inn, kommer de nærmere jordas varme indre. Etter hvert som kerogenet og leiren varmes opp og trykkes sammen blir kerogenet til hydrokarboner og leiren til skifer. Når kildebergarter genererer olje og gass, øker trykket og hydrokarbonene tvinges ut.

I forbindelse med riftingen sent i Jura og tidlig i Kritt skjedde det også store omstruktureringer av de sandrike deltasekvensene som hadde blitt avsatt tidligere i Jura. Denne omstruktureringen satte opp en rekke feller som kunne fange hydrokarbonene på flukt mot overflaten. Fellene består av hulrom som hydrokarbonene kan oppbevares i og et tak som danner en effektiv barriere. Hulrommene er åpninger i mellomrom mellom sandkornene i deltaavsetningene, og barrieren er bunnslammet som ble avsatt da deltaene ble oversvømt av havet. I disse fellene har oljen og gassen vært fanget til den dag i dag. Når det bores et hull ned i en slik felle, strømmer hydrokarbonene fra det høye trykket i undergrunnen til lavere trykk på overflaten.



Kildebergart, reservoarbergart, takbergart. Alle tre må på plass for at olje og gass skal kunne finnes. Tegning: Bjørn Kåre Bryn

De rike oljeforekomstene og generelt gode strømningsegenskapene i reservoarene på norsk sokkel skyldes en rekke prosesser som har skjedd i rett rekkefølge. Organisk materiale ble oppbevart i sediment, sedimentene sank inn og ble oppvarmet, hydrokarbonene som ble dannet fant en trasé å strømme langs, de kom til et reservoar, men kunne ikke komme lengre fordi en tett bergart stoppet dem, og dermed begynte de å fylle opp en lomme i undergrunnen, men ikke for mye, for da ville den tette bergarten sprukket opp, og denne lommen lå ikke for dypt, for da hadde reservoaret vært totalt forsteinet og potte tett, og ikke for grunt, for da ville mikroorganismer ha spist opp mesteparten av oljen.

Homo sapiens' forhold til energi

Det moderne mennesket er eneste art som sanker energi fra naturen, omformer den fra en energiform til en annen, og bruker den til nyttige formål. Det har gjort det mulig for oss å spre oss utover hele verden og ernære en hurtig voksende befolkning.

Omkring én prosent av verdens energiforbruk går med til å lage ammonium til gjødsel. Det går også med energi til en rekke andre prosesser som vi avhenger av for å skaffe mat. Energien som blir brukt på å produsere maten, pakke den, transportere den, kjøle eller fryse den, for deretter å tilberede den før du spiser den, er betydelig større enn den energien du inntar når du spiser selve maten. For hver kalori ett menneske inntar brukes det flere kalorier på å fremskaffe maten. Regnestykket, selve forutsetningen for alt liv, nemlig positiv energibalanse, går ikke opp uten tilgang på en stor mengde ekstrasomatisk energi (energi som brukes utenfor legemet til formål som gagnar oss).

Ild, og senere andre energiformer, har gjort det mulig for Homo sapiens å spre seg lang utenfor det habitatet evolusjonen har gitt oss fysiologi til å overleve i. Mange av de med høyest levestandard bor i områder med dødelige omgivelser store deler av året, som for eksempel Norge, hvor vi i vår opprinnelige nakne form ikke kan overleve lenge ute en vinternatt. Andre bor i ekstremt varme områder, som Dubai, hvor temperaturer rundt 50°C og sandstormer ikke er uvanlig. Tilgang på tilstrekkelig energi til innendørs temperaturregulering er en forutsetning for å overleve



Menneskene temmet ilden og fikk varme. Tegning: Bjørn Kåre Bryn

i de klimasonene vi har inntatt etter at vi begynte å beherske ilden.

Hvis man fjernet fossilt brensel, som utgjør 80 prosent av verdens energiforbruk, umiddelbart, ville det utvilsomt medført en verdensomspennende humanitær katastrofe. Den politiske debatten dreier seg derfor ikke om hvorvidt verden trenger fossilt brensel i dag, men om hvordan fornybar energi kan fases inn fortest mulig, samtidig som det til enhver tid er nok av den ekstrasomatiske energien verdens økende befolkning avhenger av. Den store utfordringen er at mennesker avhenger både av

å få nok energi og av at ressursforvaltningen er bærekraftig.

Energiavhengighet

Hos mange arter vil et individ som har energi utover det som skal til for å overleve øke sine sjanser for reproduksjon. Slike tegn på overskudd kan manifestere seg på mange ulike måter, for eksempel som overdimensjonerte horn hos en kronhjort. Det virker sannsynlig at også Homo sapiens, i likhet med andre arter, har et evolusjonsbetinget behov for å vise overskudd utover det å overleve. Dette kan være årsaken til at det i alle kulturer oppstår en rekke nye psykologiske behov så snart de primære behovene er dekket. Slike behov fører til økt forbruk, energibruk og økonomisk vekst. Dette er en annen form for avhengighet enn den som dreier seg om å dekke livsviktige behov som beskyttelse mot naturkrefter og riktig ernæring. Det er allikevel mulig at slike behov er så sterkt nedarvet gjennom evolusjon at det i praksis er umulig å få hele menneskeheten til å begrense sitt forbruk til de primære og livsviktige behovene.

Energi har blitt verdens største handelsvare, og fossil energi er ikke rettferdig fordelt mellom verdens land. De fleste økonomier er avhengig av å importere olje og gass. Dette bidrar til å styrke en rekke oljestater som man ellers ikke ville støttet på grunn av deres syn på demokrati, fri presse, kvinnefrigjøring, homofiles rettigheter eller menneskerettigheter generelt. Det åpner også opp for at regimer som eksporterer olje og gass kan bruke energistruping

som politisk våpen. Trusler om å stenge gasstilførselen eller kutte oljeeksporten kan redusere beredskap i fredstid og sette militært materiell ut av funksjon i krigstid. Energistruping over tid kan påvirke industri, konkurransevne og tilførselen av matvarer og energi til privat forbruk. Stor oljeavhengighet er også en generell trussel mot økonomien fordi oljeprisen er svært volatil og kan skyte til værs i perioder med begrenset tilgang. Å være avhengig av å importere energi kan med andre ord representere en betydelig risiko.

En måte å spre risiko er å unngå for stor avhengighet av en enkelt nasjon, som for eksempel Russland, eller en enkelt koalisjon, som for eksempel OPEC.

Energinasjonen Norge

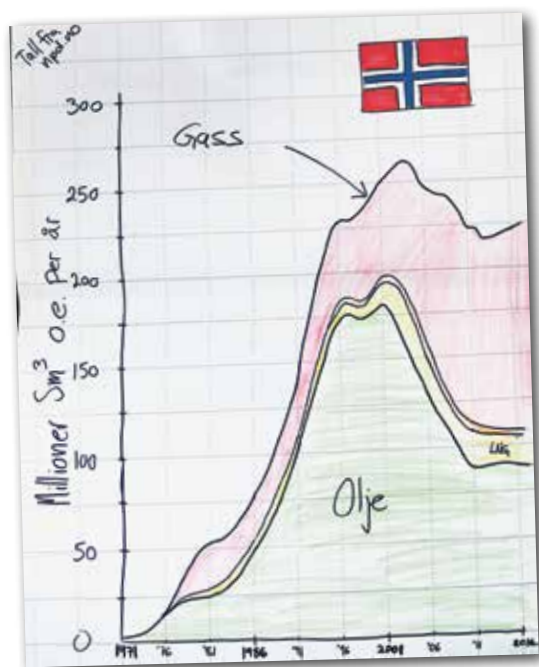
Under OPEC sin oljeboikott, den som utløste den store energikrisen i 1973, da Kongen tok trikken, fikk den vestlige verden en påminnelse om verdien av energien. Denne hendelsen fant sted to år etter at det første, og tilfeldigvis største, norske oljefeltet, Ekofisk, ble satt i produksjon. Statoil var nyoppstartet og hadde to ansatte, og den store norske kontinentalsokkelen lokket til seg oljeselskap fra hele den vestlige verden. I tillegg til olje hadde vi vår nasjonalromantiske juvel, det bratte landskap, med en rekke store vassdrag som fortsatt lå urørte og klare til å bli tappet for sin potensielle energi. Alt lå til rette for at det folkefattige Norge, som kunne produsere sin egen elektrisitet fra vann, ville eksportere oljen til sine allierte. Dermed lå også alt til rette for at det vesle landet kunne bli et viktig kort i kortstokken når OECD-kretsen måtte legge en ny energikabal for å gjøre seg mindre avhengig av OPEC.

I motsetning til mange andre oljeproduserende land, valgte Norge høy skatteprosent og sterkt statlig engasjement. «Den norske modellen» lot folket få del i inntektene fra landets naturressurser. Oljedrevet økonomisk vekst, i en tid hvor den kalde krigen dominerte nyhetsbildet, hvor USA ble stadig mer avhengig av oljeimport, og Sovjetunionen satt på uante ressurser, ble verdien av norsk olje og gass innlysende. Folk som hadde vokst opp i en kultur hvor sparsomhet ikke bare var en dyd, men også nødvendig for å overleve, i en tid da selv Kongen tok trikken, og ingen ante stort om konsekvensene av karbondioksidutslipp eller plast i naturen, omfavnet man den lønnsomme nye næringsveien. Verden var opptatt av krisen som ville oppstå når det nærmet seg slutten på fossilt brensel, og ingen ante at fremtidens debatt ville dreie seg om hvor mye som bør legges igjen i undergrunnen for å bremse global oppvarming. Historien om den undervurderte lillebroren som tok vare på alt og alle, og til slutt fikk sin belønning, utspilte seg på nasjonalt nivå. Nasjonen vokste inn i rollen som Espen Askeladd. Historien ble kalt Oljeeventyret.

I årene som fulgte ble det gjort en rekke store funn, og ved millenniumskiftet ble klimakset nådd. Da var Norge verdens tredje største oljeeksportør. Saudi-Arabia var desidert størst, både på produksjon og eksport, og det knyttet seg spenning til hurtig økende utvinning fra det tidligere Sovjetunionen. I 2016 var det Russland som produserte mest olje i verden, fulgt av Saudi-Arabia og USA, mens Norge, som nesten hadde halvert sin oljeproduksjon siden toppårene,

kom på en 15. plass, bak land som Angola og Nigeria (kilde: U.S. Energy Information Administration). Til gjengjeld tok den norske gassproduksjonen seg kraftig opp da oljeproduksjonen begynte å falle.

2017 ble et rekordår for norsk produksjon av naturgass. Det er interessant å merke seg at i løpet av en drøy tiårsperiode gikk vi fra å være verdens tredje største oljeeksportør til å bli verdens tredje største gasseksportør. I fremtiden forventes det økende produksjon og cirka 50/50 fordeling mellom olje og gass i Norge. Fortsatt snakkes det allikevel mest om



Gass er på vei til å bli viktigere for Norge enn olje.
Tegning: Bjørn Kåre Bryn

«olja», oljebransjen, oljeselskapene og Oljeeventyret. Gasseventyret har fått mindre oppmerksomhet og har ikke samme klang, ikke minst fordi det har funnet sted i en tid hvor fossilt brensel gir helt andre assosiasjoner enn den gangen Kongen tok trikken.

Kampen om det europeiske gassmarkedet

Norge har investert i et omfattende undersjøisk rørledningssystem på 8800 kilometer som leder norsk gass til mottakerland i Europa (hvis disse rørene ble lagt etter hverandre kunne de gått fra Stavanger forbi Tokyo og drøye 100 kilometer ut i Stillehavet). I tillegg har det siden 2007 blitt eksportert nedkjølt, flytende naturgass («Liquid Natural Gas», LNG) fra Snøhvitfeltet i Barentshavet. Samlet er 80-90 prosent av all gassen som produseres i Norge metan.

Forventninger om nye gassrørledninger mot Europa, og et globalt LNG marked i vekst, varsler om et europeisk gassmarked i endring. Etter hvert som flere LNG-skip inntar verdenshavene forventes det at ubalanse i pris og geopolitiske styrkeforhold mellom ulike markeder og nasjoner kan jevnes ut ved å skipe inn gass. I det europeiske markedet er det Russland og Norge som er de største leverandørene. Nye gassfunn øst i Middelhavet gjør at også Egypt og Israel har store mengder gass de ønsker å lede til Europa. Libanon har igangsatt letevirsomhet på den samme geologiske trenden og håper på tilsvarende funn på sin side av grensen. Også USA har kapasitet til å ta en betydelig andel av det europeiske gassmarkedet med LNG-transport over Atlanteren.

I de neste årene kan det åpne seg opp nye muligheter for gass eksport til Øst-Europa. Polen sin avtale med den russiske energigiganten Gazprom utgår i 2022, og nye gassrør som kan lede norsk gass østover via Danmark er under planlegging. Også Ukraina ønsker å koble seg til denne for å bli mindre avhengig av Russlands president Vladimir Putin.

Gassproduksjonen internt i EU er i hurtig fall og en helt ny gassledning fra Russland, gjennom Østersjøen til Tyskland, er på vei. Byggingen søkes påbegynt allerede i 2018, og utbyggerne hevder at full utnyttelse av kapasiteten i denne rørledningen, som kalles North Stream 2, kan senke de årlige CO₂ utslippene med 160 millioner tonn hvis gassen brukes til å fase ut kull. North Stream 2 var mye omtalt i media i 2017 da Donald Trumps sanksjoner mot Putin ble rettet direkte mot denne gassledningen til sterk protest fra Angela Merkel.

Tyskland har tatt rollen som avantgarde-stat i det europeiske energimarkedet. I Tyskland skjer utbyggingen av fornybar energi fort, men fortsatt kommer nesten 40 prosent av energien fra kull, blant annet for å sikre «back-up»-energi som er uavhengig av vær og vind. Bedre batteriteknologi kan fjerne dette behovet, men det vil uansett ta tid å utvikle og installere, og mange eksperter regner naturgass som den beste støtteløsningen i perioden det tar å implementere karbonnøytrale energiløsninger. Gassen slipper ut mindre CO₂ enn både olje og kull, og moderne gasskraftverk kan gå fra «stand by» til full produksjon på minutter for å kompensere for

varierende sol og vindstrøm. I denne sammenhengen er norsk naturgass et velkomment tilskudd, og vårt bidrag gir også vennene våre på kontinentet en reell mulighet til å spre politisk risiko.

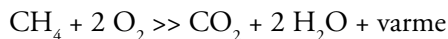
Energi og utslipp fra ulike typer brensel

Det er først og fremst den høye energimengden i forhold til masse (høy spesifikk energi) som skiller naturens eget batteri fra de industrielt fremstilte batteriene. Ulempen med fossilt brensel er de uønskede utslippene. De fossile produktene med høyest energitetthet gir minst klimagassutslipp når de forbrennes.

Forbrenningsprosessen forener stoffer med oksygen. Energien i fossilt brensel frigjøres når hydrogen og karbon oksiderer. Å bryte bindingene mellom H-atomene og C-atomene krever energi, men de nye bindingene som dannes med oksygen er sterkere, og da frigjøres energi.

Naturgass

80-90 prosent av all gassen som produseres i Norge er metan (CH₄). Metan er det aller enkleste hydrokarbonmolekylet som finnes. Det består av ett hydrogen (H) og fire karbon (C). Når metan oksiderer, skjer følgende reaksjon:



Prosessen gir karbondioksid (CO₂) og vanddamp (H₂O). Metangass er det fossile brenselet som utvikler mest varme i forhold til mengden CO₂ som dannes.



Kull har høy brennverdi, men også høye utslipp ved forbrenning.
Tegning: Bjørn Kåre Bryn

Den blå fargen til en gassflamme avslører den høye temperaturen den brenner med, mens den røde fargen til glødende kull skyldes mindre varmeutvikling ved forbrenning. Det er den fundamentalt forskjellige fysiske og kjemiske oppbyggingen til disse to fossile energibærerne som gjør at utslippene av CO_2 fra et gasskraftverk kan være det halve av det et kullkraftverk med samme energiproduksjon slipper ut.

Olje

Nesten halvparten av produksjonen fra norsk sokkel er olje. Det slippes ut lite CO_2 ved produksjon av

olje i Norge. Dette er viktig for nasjonale klimamål, men mindre viktig for globale klimagassutslipp fordi mindre enn 10 prosent av de totale utslippene skjer ved produksjon. Det er kvaliteten på oljen som avgjør hva den raffineres til og hvordan de endelige produktene forbrennes. Råoljekvaliteten på norsk sokkel varierer fra felt til felt, men generelt regnes nordsjøoljer for å være av god kvalitet.

Den anerkjente tankesmien Carnegie har vurdert klimapåvirkning til ulike råoljer gjennom hele verdikjeden fra utvinning, transport, raffinering, salg og endelig bruk. Deres beregninger indikerer at det kan være over 60 prosent forskjell på CO_2 -avtrykk fra ulike råoljer¹. Det er ultralette råoljer som kommer best ut og ekstra tunge råoljer som kommer dårligst ut. Carnegie sin online database inneholder kun fem råoljer fra Europa hvorav tre råoljer fra Norge. Dette er selvsagt ikke et statistisk representativt utvalg, men det er allikevel interessant å merke seg at de norske feltene i databasen kommer greit ut og Ekofisk er best av de testede feltene i Europa med 481 kg CO_2 per oljefat. Den «reneste» råoljen i Carnegie sin database kommer fra West Texas Eagleford med 458 kg CO_2 per oljefat. Eagleford slipper ut litt mer CO_2 i produksjonsfasen enn Ekofisk, men den gode råoljekvaliteten mer enn kompenseres for dette.

Kull

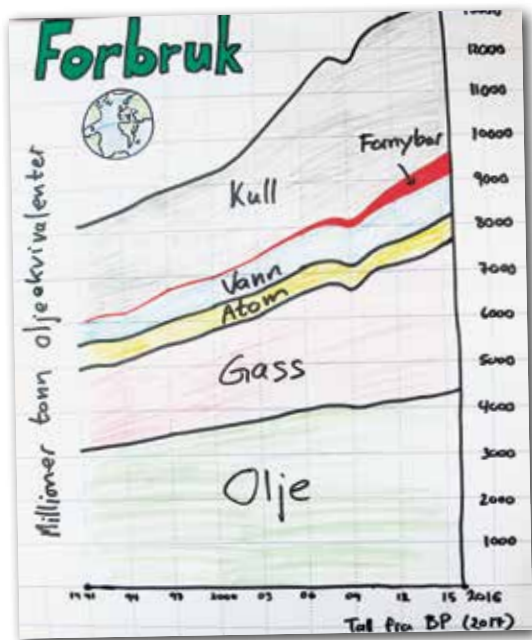
I kull er det varierende mengder av materiale som ikke brenner. Dette blir til aske. Kull med høy brennverdi er høyt priset, mens høyt innhold av aske, svovel, fosfor, kalsiumoksid, fukt, og diverse flyktige bestanddeler, gir



Engasjert formidling av den geologiske historien. Foto: Marie von Krogh

lavere pris. De kullslagene som er av dårligst kvalitet er de billigste og dermed de som mange steder foretrekkes i energiproduksjon. Ved kraftproduksjon fra kull kan det oppstå en kombinasjon av røyk («smoke») og tåke («fog») som også er kjent under navnet «smog». Smogen som tidligere herjet London skyldtes brenning av svovelholdig kull som ga store mengder sot, aske, svoveldioksid, natriumklorid og kalsiumsulfat. Brenning av kull gir fortsatt smog av lignende type i store byer som Beijing, New Dehli og Mexico City.

Storskala utnyttelse av kull byr på flere utfordringer utover klimagassutslipp og luftforurensing ved forbrenning. Når kullet brytes, unnslipper metangass som må ventileres ut av gruvene. Metan fortrenger oksygen, og dårlig utlufting kan føre til kvelning eller eksplosjoner hvis gassen antennes. Metangassen som må føres ut av gruvene, er i seg selv en sterk drivhusgass som kommer i tillegg til gassene og partiklene som spres når kullet forbrennes. I gruver kan metangassen fanges fra utluftingsanlegget, i dagbrudd har man mindre kontroll. Det er også et velkjent problem at



Slik fordeler verdens energiforbruk seg. Tegning: Bjørn Kåre Bryn

metan kan unnslipe ved håndtering av kull og fra stengte kullgruver.

Et hav av nye muligheter

Det moderne samfunnet, slik vi kjenner det, er ikke avhengig av energi. Det avhenger av energi. Samtidig står verden foran en ny energirevolusjon. Klimagassutslippene skal kuttes.

Det jobbes parallelt med ulike løsninger som karbonfangst, hydrogen, fornybar og atomkraft. Dette gir mange nye muligheter for Norge. Hvis vi

fokuserer på å finne synergier mellom våre naturgitte fordeler, godt utbygde infrastruktur, og ikke minst spesialkompetanse innenfor energisektoren, kan vi bidra til løsninger på viktige globale utfordringer.

Stor satsing på sol og vind i Europa gir variabel strømproduksjon, og effektiv lagring av overskuddsenergi er fortsatt utfordrende med dagens batteriteknologi. Batterienes begrensninger i kombinasjon med geopolitiske hensyn har så langt gjort kullet til en foretrukket vær-uavhengig, lokalt tilgjengelig, energikilde.

Mange spør seg hva som blir den nye oljen. Mens denne debatten har pågått, har gassen gradvis blitt en større del av vår produksjon, og et viktig tilskudd for våre kunder som må ha minst mulig kull i energimiksen for å komme i mål med ambisiøse klimamål. Med karbonfangst har gassen også potensiale for å bli sentral i nullutslippssamfunnet. Kanskje er det gassen som blir den nye oljen?

Det kan tenkes at karbonfangst fra naturgass kan kombineres med storstilt hydrogenproduksjon. Miljøfordelen med hydrogen er at det gir vanddamp, og ikke CO₂, ved oksidering. I tillegg har komprimert hydrogen svært høyt energiinnhold i forhold til vekt. Mens det elektrokjemiske batteriet kan lagre mye energi på liten plass (har høy energi-tetthet), noe som er perfekt for biler og mobiltelefoner, gir den høye spesifikke energien til hydrogen helt andre fordeler. Hydrogen kan drifte fremtidens interkontinentale overlydsfly, med flere hundre passasjerer ombord,

og brukes som medium til lagring av store mengder energi. NASA sine raketter flyr med hydrogen og det er trolig dette som kommer til å ta oss til Mars, ikke batteriet. Det er også mulig at hydrogenkjøretøy med brenselceller vil utkonkurrere de «tradisjonelle» el-bilene på langtransport.

Å produsere hydrogen krever mye energi, og det fordres at det brukes grønn energi hvis klimabudsjettet skal bli positivt. Denne utfordringen har Norge de beste forutsetninger for å løse. Det bratte landskapet i kombinasjon med store nedbørsmengder, med årlig snøsmelting og kraftig vannføring, gir oss fordeler som vannkraftprodusent. Vi har lagt smelteverk til områder med høyt vannfall, og tungindustri, som andre steder er kullbasert, blir drevet på fornybar energi her hjemme. Energieffektivisering og stor utbygging av fornybar energi i hele Europa fører også til at mer og mer grønn energi er på vei. Alt dette gir oss mulighet til å øke ambisjonsnivået og løse nye utfordringer. Kanskje kan vi bruke naturgass eller biogass til å fremstille miljøvennlig hydrogen?

Hvis vi fanger hydrogen fra gass får vi et overskudd på CO_2 som må deponeres. I et nullutslippssamfunn må vi også forvente et betydelig behov for deponering av CO_2 fra andre kilder. Den grunne Utsira-formasjonen i Nordsjøen er et velegnet reservoar for lagring av CO_2 . På Sleipnerfeltet har CO_2 blitt injisert i mer enn 20 år. Kanskje kan det en gang gå CO_2 som skal deponeres gjennom rørene våre i Nordsjøen, og kanskje sender vi en dag hydrogen til markedene i Europa?

Med lavkarbonløsninger følger også økt elektrifisering som legger press på nye naturressurser. Intensiv bruk av enkelte metaller som kobolt, nikkel og kobber i produksjon av elbiler kan gjøre det lønnsomt å utvinne disse metallene fra undersjøiske minivulkaner. Slike finnes det mange av på dypt vann mellom Jan Mayen og Svalbard. Oljebransjens erfaring med dypvannsboring, undervannsteknologi, og lang tradisjon for å utføre omfattende miljøundersøkelser for å redusere risiko ved offshore operasjoner, gir oss også et godt utgangspunkt for å bli en ledende nasjon på undersjøisk gruvedrift. Vi kan til og med finne masse gull rundt de små undersjøiske vulkanene.

Norge ble ikke rikt fordi vi har olje, men fordi det ble typisk norsk å være god til å utnytte den til fordel for fellesskapet. Fortsatt i dag ligger store naturressurser av ulike slag utappet og venter på at vi skal utvikle teknologi som gjør utvinning lønnsomt. Store dyphavsområder og områder med arktiske forhold gjør at vi har enorme forekomster av gassmolekyler som er pakket inn i iskrystaller (såkalte gasshydrater). Vi har også store energiressurser på land, som for eksempel det radioaktive grunnstoffet thorium. Norge er ikke kjent for kjernekraftverk, men har kommet langt på forskning innenfor utnyttelse av thorium i kraftproduksjon. Rike thoriumforekomster ved Fensfeltet i Telemark og Sæteråsen i Vestfold har potensiale til å produsere mange ganger mer kraft enn de fossile ressursene på sokkelen. Avfallet fra en thorium-reaktor har mye lavere halveringstid enn uranavfallet fra de tradisjonelle plutoniumreaktorene.

Thoriumet i en slik reaktor vil heller ikke spalte av seg selv og starte en prosess som løper løpsk hvis reaktoren kommer ut av kontroll.

Det har aldri vært mangel på energi under solen eller i bakken. I Norge har vi spesialisert oss på å finne, sanke, omforme og benytte eller selge denne energien. På samme måte som de første Jærbuer vandret over Nordsjølandet for mer enn 10 000 år siden, uten å ane hvilke enorme ressurser de tråkket forbi, vandrer vi fortsatt på jakt etter nye områder og muligheter. Det som virker umulig nå, eller noe vi ikke en gang har tenkt på til nå, kan bli fremtidens løsninger. Energibransjen i Norge er kjent for å tenke nytt, ta i bruk ny teknologi og finne løsninger på utfordringer som ble regnet som nærmest umulige noen tiår i forveien.

Naturressursene våre har ingen verdi i seg selv, det er kompetansen til å utvinne dem på en fordelaktig måte som skaper verdier. Oljebransjen i Norge har gjennom 50 år bygget opp kompetanse på nettopp dette. Det er også en bransje som er kjent for å løse teknologiske utfordringer og legge nye strategier for å tilpasse seg hurtige svingninger i markedet. Hvis verdien av petroleum forringes kan vi forvente at det gjøres store oppkjøp innen andre energiformer, og at det investeres tungt i forskning og utvikling av ny teknologi som kan øke lønnsomheten. Slik har modus operandi vært til nå, og slik bør vi forvente at det blir også i fremtiden.

Det er ingen tvil om at olje og gass har stor verdi her og nå. Ingen vet sikkert hvor fort utvikling og

implementering av ny teknologi kan skje og hvor lenge «olja» kan vare. Min påstand er at hvis bransjen skal lykkes på lang sikt må den først og fremst hegne om sin sterke kultur for naturvitenskapelig og teknologisk nysgjerrighet, og opprettholde sitt omdømme som spennende og innovativ. Bare slik kan den være i front i utviklingen og tiltrekke seg unge talenter. Det er de som skal skape fremtidens løsninger!

1 Gordon, D., Brandt, A. R., Bergerson, J., & Koomey, J. (2015). *Know your oil: Creating a global oil-climate index*. Washington, DC: Carnegie Endowment for International Peace.