

2°C

STATUS: KLIMA OG ENERGIOMSTILLING

2015



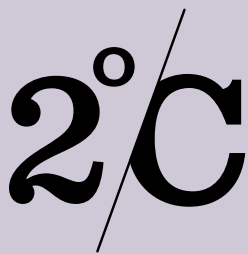
DÅRLIG TID

ENERGISKIFTET ER I FULL GANG,
MEN TEMPOET MÅ ØKES



UTGITT MED STØTTE FRA:





ANSVARLIG REDAKTØR:
ANDERS BJARTNES

REDAKTØR:
HARALD QUESETH

TOGRADER.NO

DENNE UTGAVEN AV 2°C ER UTGITT MED STØTTE FRA:
**MILJØDIREKTORATET | UNIVERSITETET I BERGEN
NTNU | TEKNA**

REDAKSJON:

GUÐRUN SYLTE | BJERKNESSENTERET FOR KLIMAFORSKNING
ELISE SÆLE DAHLE | HALTENBANKEN
LARS-HENRIK PAARUP MICHELSEN | NORSK KLIMASTIFTELSE

ANSVARLIG UTGIVER:

NORSK KLIMASTIFTELSE

DESIGN | **HALTENBANKEN**

TRYKK | **BODONI AS**

TYPESNITT | **FREIGHT | SENTINEL | METRIC**

PAPIR | **EDIXION OFFSET**

OPPLAG | **5 000**

FORSIDEFOTO | **ALGOT PETERSON**

REDAKSJONSSLUTT | **04.11.2015**



ISSN 1893-7829

VÅRE DISTRIBUSJONSPARTNERE:

**DEN NORSKE KIRKE | HOVEDBIBLIOTEKENE I OSLO,
BERGEN, TRONDHEIM, STAVANGER OG TROMSØ |
HORDALAND FYLKESKOMMUNE | SOGN OG FJORDANE
FYLKESKOMUNE I SØR-TRØNDELAG FYLKESKOMMUNE
I FYLKESMANNEN I HORDALAND | VENSTRES HUS AS |
HAVFORSKNINGSINSTITUTTET | CHRISTIAN MICHELSEN
RESEARCH AS | ASPLAN VIAK |**

VI VIL OGSÅ TAKKE KLIMASTIFTELSENS STØTTESPILLERE:

SPAREBANKEN VEST | BKK | UMOE AS | KAVLIFONDET

I SAMARBEID MED:



UNIVERSITETET I BERGEN



Kunnskap for en bedre verden



Togradersprosjektet er et samarbeid mellom Norsk Klimastiftelse, NTNU og Universitetet i Bergen. Prosjektet inkluderer magasinet 2°C som gis ut en gang i året og nettstedet tograder.no. Forskere fra Bjerknessenteret og NTNU er hovedleverandør av det faglige innholdet.

UTGITT AV:



Norsk Klimastiftelse
NORWEGIAN CLIMATE FOUNDATION

Norsk Klimastiftelse ble opprettet i 2010. Stiftelsen arbeider for kutt i klimagassutslippene gjennom overgang til fornybar energi og andre lavutslippsløsninger. Stiftelsen er basert i Bergen og har støtte fra et bredt nettverk i næringsliv, akademia, organisasjoner og offentlige institusjoner. Stiftelsens styre ledes av Pål W. Lorentzen.

BIDRAGSYTERE

INGRID H. ONARHEIM | STIPENDIAT,
OSEANOGRAFI, UIB OG BJERKNESSENTERET

TOR ELDEVIK | PROFESSOR, OSEANOGRAFI,
UIB OG BJERKNESSENTERET

SVETLANA SOROKINA | POSTDOKTOR,
UIB OG BJERKNESSENTERET

LARS H. SMEDSRUD | PROFESSOR, POLAR-
OSEANOGRAFI, UIB OG BJERKNESSENTERET

JO BRENDRYEN | POSTDOKTOR, FORTIDS-
KLIMA, UIB OG BJERKNESSENTERET

JOSTEIN BAKKE | PROFESSOR,
UIB OG BJERKNESSENTERET

NADINE GORIS | FORSKER, UNI RESEARCH
OG BJERKNESSENTERET

SIV KARI LAUVSET | FORSKER,
UNI RESEARCH OG BJERKNESSENTERET

EYSTEIN JANSEN | PROFESSOR, FORTIDS-
KLIMA, UIB OG BJERKNESSENTERET

ELLEN VISTE | POSTDOKTOR, METEOROLOGI,
UIB OG BJERKNESSENTERET

TOR FUREVIK | DIREKTØR, BJERKNESSEN-
TERET OG PROFESSOR I OSEANOGRAFI, UIB

SVEIN SUNDBY | FORSKER, HAVFORSKNINGS-
INSTITUTTET OG HJORTSENTERET

KAREN O'BRIEN | PROFESSOR VED
INSTITUTT FOR SOSIOLOGI OG
SAMFUNNSGEOGRAFI, UIO

ASUNCION LERA ST.CLAIR |
SENIORFORSKER, DNV GL

ESPEN MOE | FORSKER VED INSTITUTT FOR
SOSIOLOGI OG STATSVIDENSKAP, NTNU

JOHN OLAV GLÆVER TANDE |
FORSKNINGSLEDER, SINTEF ENERGI

ANNETTE F. STEPHANSEN |
SENIORFORSKER
CHRISTIAN MICHELSEN RESEARCH (CMR)

YNGVE HEGGELUND | SENIORFORSKER
CHRISTIAN MICHELSEN RESEARCH (CMR)

ÅNUND KILLINGTVEIT | PROFESSOR VED
INSTITUTT FOR VANN- OG MILJØTEKNIKK, NTNU

ASGEIR TOMASGARD | PROFESSOR
VED INSTITUTT FOR INDUSTRIELL ØKONOMI
OG INDUSTRIEDELSE, NTNU OG SENTERLEDER
CENSES

GABRIELLA TRANELL | PROFESSOR VED
INSTITUTT FOR MATERIALTEKNOLOGI, NTNU.

FRIDE VULLUM-BRUE | FORSKER VED
INSTITUTT FOR MATERIALTEKNOLOGI, NTNU.

OLAV ANDERS ØVREBØ | JOURNALIST
OG REDAKTØR I ENERGI OG KLIMA

Forsiden:

NESTEN PÅ NORDPOLEN: En stor gruppe forskere fra hele verden deltok puljevis i det halvårige toktet N-ICE 2015 på sjøisen fra januar til august 2015. Foto: Algot Peterson, UiB og Bjerknessenteret.

LARS-HENRIK PAARUP MICHELSEN

DAGLIG LEDER

NORSK KLIMASTIFTELSE

ANDERS BJARTNES

REDAKTØR

ENERGI OG KLIMA

HARALD QUESETH

REDAKTØR

2°C

FORORD

INNHALDET AV CO₂ I ATMOSFÆREN ØKER.
ISEN SMELTER. TEMPERATUREN STIGER.
HAVET BLIR SURERE.

Oppvarmingen i havet fører til at en de største breene i Antarktis, Thwaites Glacier, er i ferd med å smelte og kanskje forsvinne helt. Smelting av brearmene i Vest-Antarktis alene kan gi en langsiktig havstigning på tre meter og sette flere av verdens storbyer helt eller delvis under vann. Er prosessen først satt igang blir den bortimot umulig å stoppe, skriver professor Eystein Jansen i en artikkel i denne utgaven av Tograder.

For alle som har ansvar for klimapolitiske tiltak bør denne forskningen være en ekstra grunn til anstrengelser for å realisere lavutslippssamfunnet på raskeste måte, påpeker han.

Deler av denne utgaven beskriver den kritiske situasjonen verden er i på klimaområdet. Men det er óg positive trekk i bildet.

Teknologiske fremskritt skaper muligheter. Solenergi er blitt mye billigere og har vokst raskere enn de fleste trodde var mulig for få år siden. Offshore vindkraft blir billigere. Vannkraft, storebror i fornybar kraftproduksjon, vil vokse mye de neste årene, blant annet i energiintensive USA.

Her hjemme forskes det i hvordan «problemet» CO₂ kan brukes til å dekke behov; nemlig produksjon av omega 3-rike alger til bruk som fiskefôr. Nordsjøen har et stort potensial for havvind. NORCOWE Offshore vind kartlegger hvordan turbinene bør plasseres for å for at en skal få mest mulig ut av vinden. Norsk næringsliv kan nyttiggjøre seg kunnskapen fra petroleumsvirksomhet og skipsfart – hvis vi er villig til å satse.

Et bilde av de teknologiske mulighetene blir ikke fullstendig om vi ikke også beskriver bremseklossene. De utgjøres av institusjoner og virksomheter som kortsiktig er best tjent med å bevare status quo. NTNU-forsker Espen Moe beskriver hvordan etablerte krefter innen blant annet kraftforsyning og politikk i flere land bremser endringer.

Krise, muligheter og bremseklosser er tre stikkord for denne utgaven av Tograder.

Håpet er at all kunnskapen vi har, blant annet om ismelting, fører til handling. Igjen siterer vi Eystein Jansen:

«Klarer vi ikke det, overlater vi fremtidige generasjoner til en uunngåelig akselerasjon i havstigning og et problem som ikke lar seg stanse.»

Vi har dårlig tid.



ARKTIS SOM LABORATORIUM: Forskningskipet RV Lance fotografert under en ekspedisjon til sjøisen i Arktis som ledd i prosjektet N-ICE 2015.

Foto: Algot Peterson, UiB og Bjerknessenteret.

6 – 16 | ARKTIS

TEMPERATUREN I ARKTIS ØKER NESTEN DOBBELT SÅ FORT SOM I RESTEN AV VERDEN. HAVOMRÅDENE I ARKTIS ER SPESIELT UTSATT FOR HAVFORSURING. DET TRUER NÆRINGSKJEDEN – OG KAN RAMME HAVET SOM MATFAT. ARKTIS ER OGSÅ ATTRAKTIVT FOR OLJE- OG GASSVIRKSOMHETEN. MEN HVOR SKAL GRENSEN GÅ?



SOLENERGI VOKSER: I 2014 ble det bygget ut nærmere 40 GW solenergi. Det tilsvarer verdens samlede solenergikapasitet i 2010. Kostnadene faller og i 2015 forventes veksten å bli enda større. Bildet viser Alamosa Solar Generating Project i Colorado, USA. FOTO: Dennis Schroeder / NREL

3 | FORORD

KLIMAVITENSKAP

- 6 | DETTE ER ARKTIS
- 8 | ET STED MÅ GRENSEN GÅ
- 10 | DERFOR ØKER TEMPERATUREN SÅ RASKT I ARKTIS
- 12 | ET VARMERE OG VÅTERE ARKTIS
- 14 | HAVFORSURINGEN TRUER NÆRINGSKJEDEN
- 16 | MENNESKESKAPTE ENDRINGER OG NATURLIGE VARIASJONER
- 18 | TRE FORSKERE OM VIKTIGSTE FUNN DET SISTE ÅRET:
BEKYMRINGSFULL USTABILITET I ANTARKTIS
UTFORDRINGEN I Å TENKE NYTT
KLIMAPOLITIKK OG VELFERD
- 20 | SUPERVINDEN
- 21 | CALIFORNIA: TØRT, TØRRERE, TØRREST
- 24 | KLIMASTATUS 2015

ENERGIOMSTILLING

- 26 | NY ENERGI VINNER FREM
- 28 | STERKE KREFTER BREMSER ENDRING
- 30 | HAVVIND PÅ KOSTNADSJAKT
- 32 | VIKTIG Å Plassere vindturbinene rett
- 34 | MER KRAFT I VANNET
- 36 | VANNKRAFT SIKRER SYSTEMET
- 37 | SOLENERGI: BILLIGERE, RASKERE, STØRRE
- 39 | BILLIGERE OG BEDRE BATTERIER
- 40 | GRØNT HÅP FOR BLÅTT HAV

DETTE ER ARKTIS

HARALD QUESETH | REDAKTØR 2°C

NOEN ENTYDIG DEFINISJON AV ARKTIS FINNES IKKE.

Arktisk Råd definerer Arktis som områdene nord for polar-sirkelen eller land og havområder nord for en linje gjennom steder med en middeltemperatur for juli på 10 grader celsius. For Norge omfatter denne definisjonen Nordland, Troms og Finnmark på fastlandet og havområdene fra Trøndelagskysten og nordover med Svalbard og Jan Mayen.

Norge i Arktis

Utforskningen av Arktis og erobringen av Nordpolen var målet for Fridtjof Nansens Fram-ekspedisjon 1893–1896.

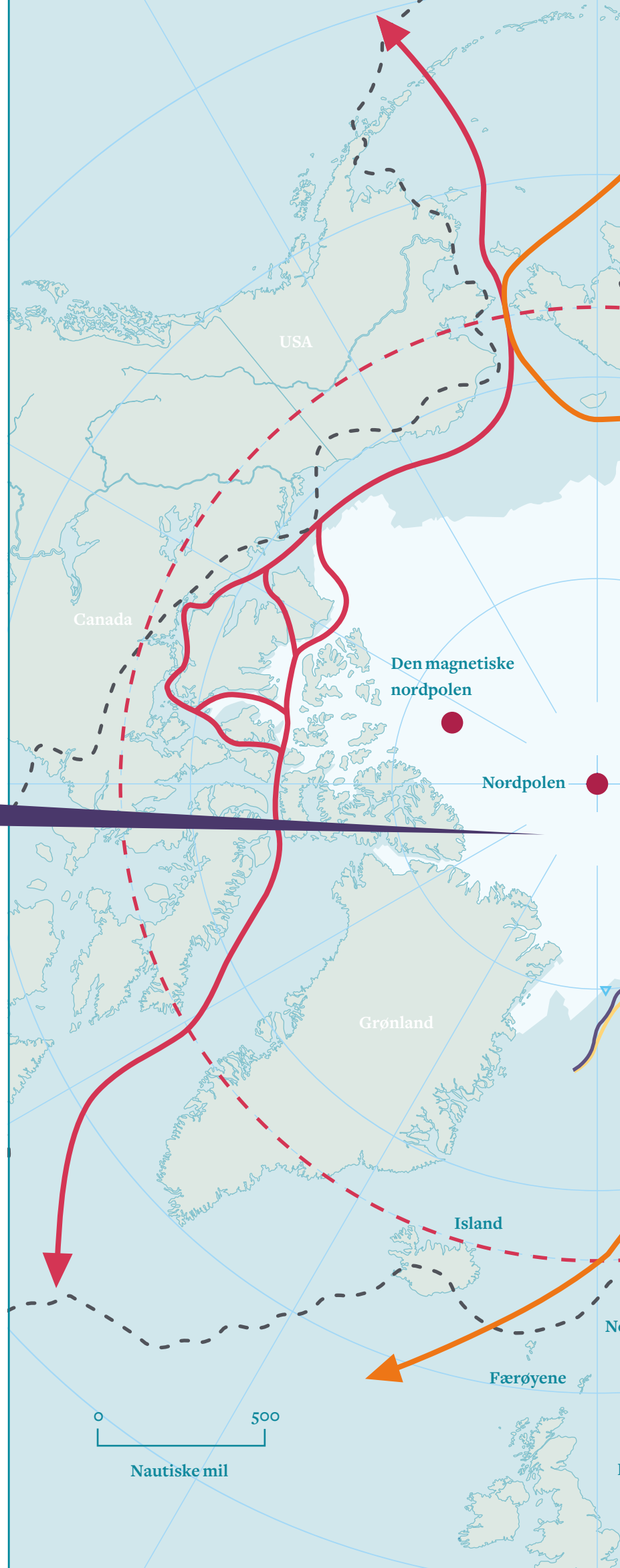
I 1925 ble Norge tildelt overhøyhet over Svalbard, og i 1929 ble Jan Mayen lagt inn under Norge.

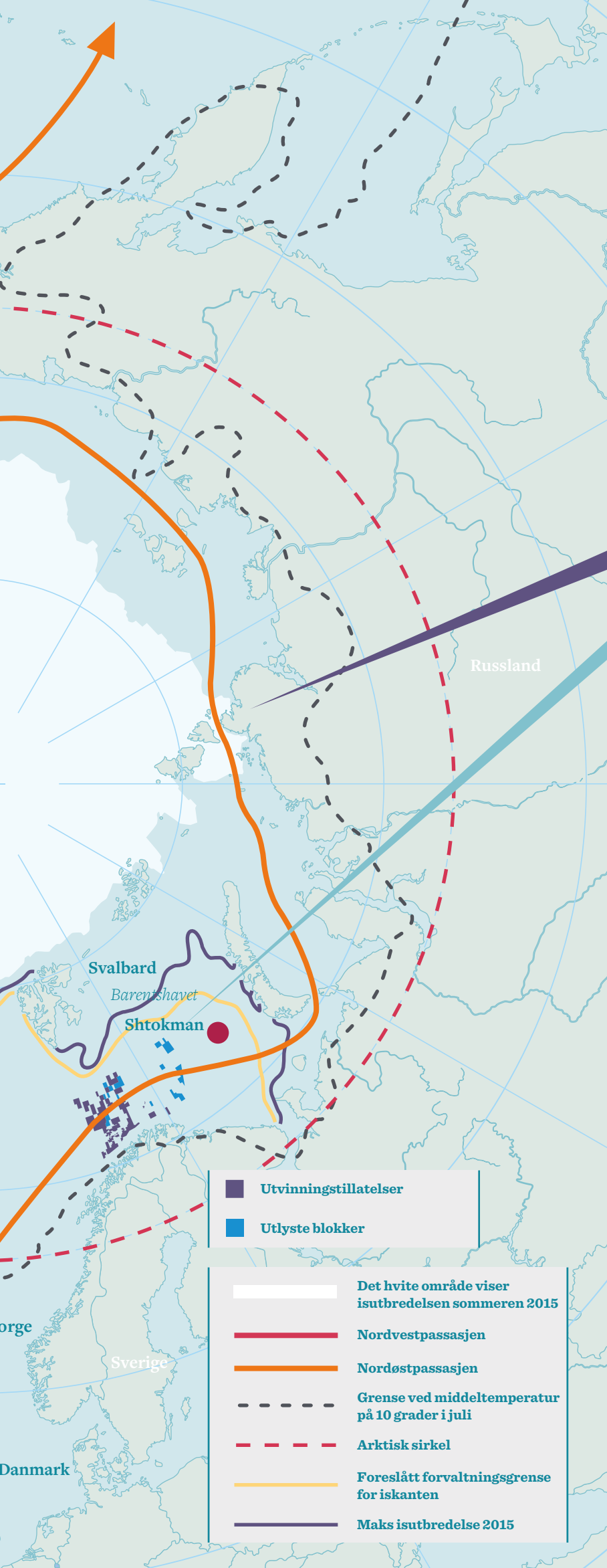
Arktisk råd

Arktisk råd er det eneste regionale samarbeidsorganet som omfatter alle de åtte arktiske land; de fem nordiske pluss USA, Canada og Russland.

Endring

Klimaet i Arktis er i sterk endring med økende temperaturer, smeltende is og endrede økosystemer. Områder som tidligere var utilgjengelige på grunn av isen åpnes nå for utvinning av ressurser og nye seilingsruter.





Skipstrafikk i Arktis

Mindre sjøis i Arktis de siste tiårene har økt forventningene til en kommersiell skipsrute gjennom Arktis.

Åpning av Nordøstpassasjen, som inkluderer norskekysten og Russlands arktiske kyst, vil gi bedre tilgang til naturressurser og forkorte reisetiden mellom Europa og Asia sammenlignet med ruten gjennom Suezkanalen.

Isflak, tøffe værforhold og stor avstand mellom egnede havner gjør det for optimistisk å anse Nordøstpassasjen som et realistisk alternativ til Suezkanalen i nær framtid, mener forskerne Linling Chen (NERSC), Lingling Suo (NERSC) og Mari Myksvoll (IMR).

KILDE: bjerknessenteret.no

Olje og gass i Arktis

Om lag 30 prosent av verdens uoppdagede gassressurser og 13 prosent av uoppdagede oljeressurser er beregnet å være i Arktis.

Norge har hatt petroleumsvirksomhet i Barentshavet siden 1980. Regjeringen utlyste våren 2015 57 nye letetillatelser helt opp til den arktiske iskanten gjennom 23. konsesjonsrunde. USA/Alaska, Canada, Russland driver også petroleumsvirksomhet i Arktis.

Shell meldte i september 2015 at de stanser all off-shore leteaktivitet i Alaska i overskuelig fremtid. Høye kostnader og utfordrende og uforutsigbare krav fra føderale myndigheter ble oppgitt som grunn.

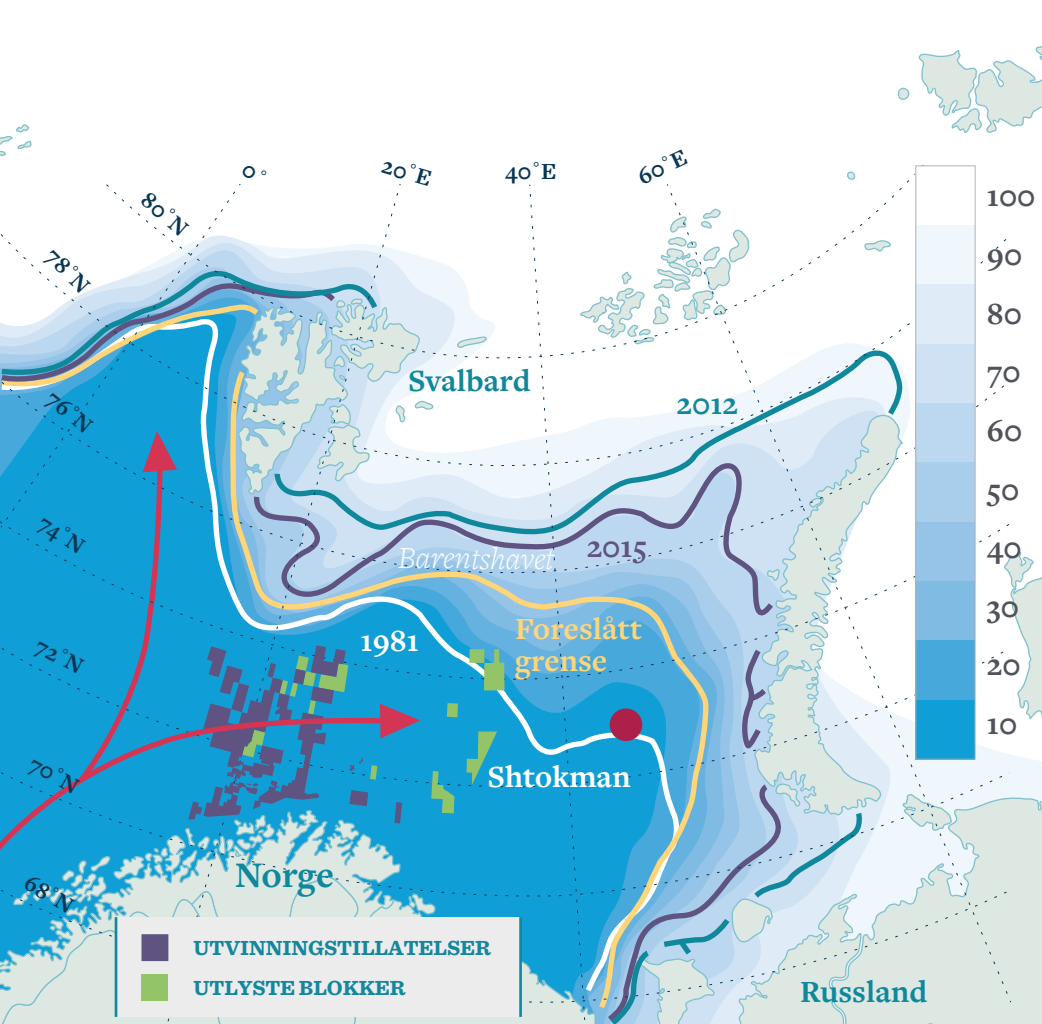
Shtokman er et av verdens største gassfelt og er lokalisert i den russiske delen av Barentshavet.

KILDER: US Energy Information Administration, www.eia.gov, Shell

Grunnlovsstridig, mener jussprofessor.

Jussprofessor Beate Sjøfjell og dr. juris Anita Margrethe Halvorsen mener det er i strid med Grunnlovens paragraf 112 å starte en storstilt utvinning av fossile ressurser i Arktis. Hun viser til at Grunnloven pålegger staten å gjøre det som er nødvendig for å sikre oss og våre barn og barnebarn et levelig klima og miljø og forbyr staten å gjøre det som hindrer at dette målet kan oppnås.

KILDE: Kronikk av professor Beate Sjøfjell på nrk.no/ytning



Dette er iskanten

Iskanten i Barentshavet har trukket seg nordover de siste tiårene. Men siden 2012 har isutbredelsen økt og nærmer seg forvaltningsplanens foreslåtte grense, markert med gult.

Linjene med årstall 1981 - hvit, 2012 - grønn og 2015 - lilla markerer iskanten disse årene. Det er iskanten om vinteren det refereres til.

Blokker som ble utlyst i januar 2015, i 23. konsesjonsrunde, er vist med grønn farge. Regjeringens mål er å tildele utvinningstillatelser her våren 2016.

Blokker der det per oktober 2015 er gitt tillatelse til leteboring og utvinning av olje er vist med lilla farge.

De røde pilene viser Golfstrømmens forlengelse mot Arktis.

ET STED MÅ GRENSEN GÅ

INGRID H. ONARHEIM | UIB OG BJERKNESSENTERET
TOR ELDEVIK | UIB OG BJERKNESSENTERET

DEN MYE OMTALTE ISKANTEN HAR I DET SISTE BEVEGET SEG FREM OG TILBAKE MELLOM REGJERING OG STORTING.

Det er stor spenning knyttet til hvorvidt den faktiske iskanten i Barentshavet vil ligge innenfor forvaltningsplanens grense de kommende årene.

Isdekket i Arktis har krympet sterkt de siste tiårene.

Større åpne havområder bringer med seg både store muligheter og store utfordringer. Når iskanten flytter seg nordover i Barentshavet, åpnes muligheter for økt aktivitet med fiskerier, skipsfart og olje- og gassutvinning. Det gigantiske gassfeltet Shtokman, som på 1980-tallet lå ved iskanten, ligger nå i et isfritt område.

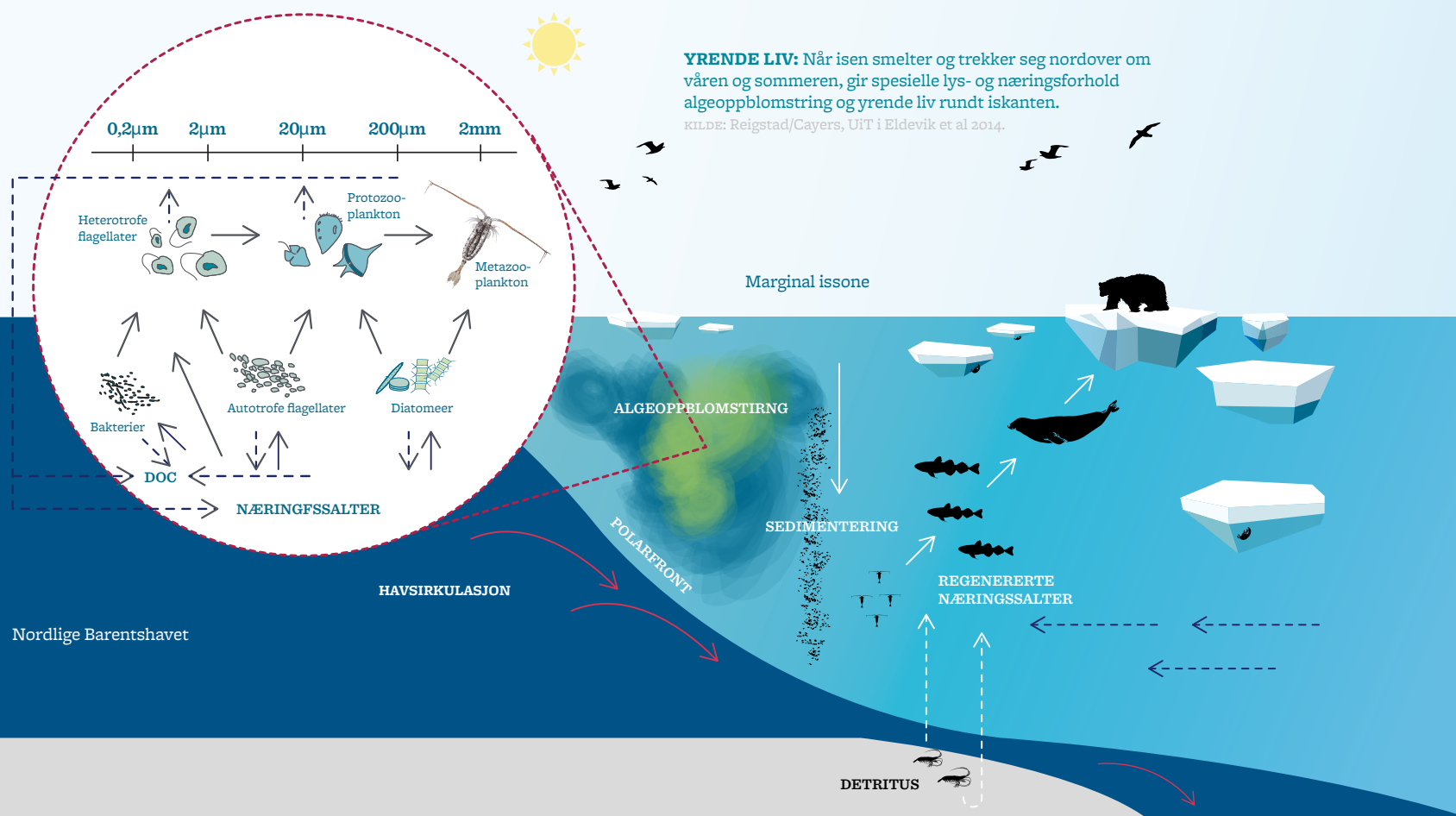
Den stadig skiftende iskantsonen er særdeles viktig for det marine økosystemet. Den økologiske sårbarheten er spesielt stor her grunnet høy biologisk produksjon under ismeltingen om våren og sommeren og dertil hørende stort biologisk mangfold. Et bærende prinsipp i forvaltningsplanen for Barentshavet er derfor at eventuell fremtidig aktivitet skal finne sted i åpent hav, altså ikke

i isdekte områder og spesielt ikke ved iskanten.

Hvilken (administrativ) iskant er det fornuftig å forholde seg til? Et sted må nødvendigvis grensen gå.

For å svare på dette, må en ha best mulig kunnskap om hvordan isdekket kan endre seg, både på lang sikt og fra et år til det neste. Ny forskning fra Bjerknessenteret viser at fremtidig isutbredelse i Barentshavet kan varsles. Sist vinter varslet vi korrekt en økning i isdekket, mens varselet for vinteren 2016 er en liten reduksjon.

Barentshavet er tilnærmet isfritt om sommeren, og mesteparten av isen fryser lokalt om vinteren. Vinterisens frem- og tilbakegang fra år til år gjenspeiler hvor mye varme som er i Barentshavet. Denne sammenhengen ble foreslått av norsk havforsknings «superstjerner» Bjørn Helland-Hansen og Fridtjof Nansen for mer enn 100 år siden. Vi har nå et tilstrekkelig observasjonsgrunnlag til å slå fast at dette stemmer.



YRENDE LIV: Når isen smelter og trekker seg nordover om våren og sommeren, gir spesielle lys- og næringsforhold algeoppblomstring og yrende liv rundt iskanten.

KILDE: Reigstad/Cayers, UiT i Eldevik et al 2014.

I år med sterk innstrømming av varmt vann med Golfstrømmens forlengelse mot Arktis, forventes relativt lite isdannelse den påfølgende vinteren. Og motsatt, for år med svak innstrømming, forventes stor isdannelse. Resultatet blir da større isutbredelse og en iskant lenger mot sør, som har vært tilfellet i perioden fra 2012 til 2015. Det er denne tette koblingen mellom hav- og isforhold som er grunnlaget for vår varslingsmodell.

Det har vært stor debatt etter at klima- og miljøminister Tine Sundtoft i januar 2015 meldte at regjeringen ville foreslå for Stortinget å flytte iskanten lenger nord i en oppdatert forvaltningsplan. Den nye iskanten er beregnet ut fra referanseperioden 1985-2014 som regjeringen legger til grunn. Vår forskning beskriver hvordan og hvorfor iskanten i Barentshavet har variert og kan komme til å endre seg. Hvordan forholder observerte og varslede endringer i isdekket seg til regjeringens nye iskant?

Det faktiske isdekket gikk generelt lenger sør enn regjeringens foreslåtte iskant frem til år 2000, men har befunnet seg innenfor grensen de siste ti årene. Dette stemmer overens med den generelle reduksjonen av isen i Arktis. Det er likevel store svingninger i hvor stort isdekket er fra et år til det neste, opptil femten ganger større enn den langsiktige tendensen. Det er spesielt verdt å merke seg at det har vært en relativt sterk økning i isutbredelse siden 2012.

Så hvor «sikker» er regjeringens foreslåtte iskant?

I en verden med fortsatt global oppvarming og der tendensen med stadig redusert isdekke består, vil det være mindre sannsynlig at en slik grense krysses i fremtiden.

Vinterisen vil i så fall om 10–20 år befinne seg så langt mot nord at forvaltnings-planens grense er utenfor isens rekkevidde basert på de svingninger vi har observert siden 1979. Vi kan likevel ikke se bort fra at naturlige svingninger i perioder gir redusert varmeinnstrømming til Barentshavet og dermed en iskant lenger mot sør.

Uansett hva utviklingen på sikt kommer til å bli, viser vår forskning at variasjonene fra et år til det neste er så store at det per i dag ikke er usannsynlig at vinterisen igjen kan krysse regjeringens grense. Isfrie områder som nå er tilgjengelig for fiskerier og annen kommersiell aktivitet, for eksempel nevnte Shtokman, kan igjen bli dekket av is enkelte vintre i nær fremtid. Vårt varsel er dog at regjeringens grense ikke krysses kommende vinter.

KILDER: Eldevik, T., m.fl. (2014), Arven etter Nansen, UiT. 48 pp. Helland-Hansen, B., og F. Nansen (1909), Fiskdir. Skr. Ser. Havunders., 11(2), 1–360. Onarheim, I.H., m.fl. (2015), Geophys. Res. Lett., 42. Årthun, M., m.fl. (2012), J. Climate, 25, 4736–4743

Deler av artikkelen har vært publisert i Dagens Næringsliv

VARSLER MED HØY PRECISJON

Bjerknessenterets nye varslingsmodell for isen i Barentshavet viser gode resultat. En økning kontra reduksjon i isdekket varsles korrekt for 31 av 35 observerte år. Statistisk fanger varselet 71% av svingningene i det virkelige isdekket. Varselet er basert på siste års observerte isdekke fra satellitt og havstrøm gjennom Havforskningsinstituttets observasjonsnettverk sør for Svalbard.

LITE FLERÅRSIS: Det er lite flerårsis igjen i Arktis, altså is som har overlevd en sommer. Den unge og tynne isen både smelter og bryter lettere opp enn den eldre og tykkere isen.

FOTO: Algot Peterson, UIB og Bjerknessenteret.

DERFOR ØKER TEMPERATUREN SÅ RASKT I ARKTIS

SVETLANA SOROKINA | UIB OG BJERKNESSENTERET

LARS H. SMEDSRUD | UIB OG BJERKNESSENTERET

I MER ENN TI ÅR HAR TEMPERATUREN I ARKTIS ØKT NESTEN DOBBELT SÅ FORT SOM I RESTEN AV VERDEN. EN VIKTIG ÅRSAK TIL DENNE SÆREGNE UTVIKLINGEN FINNER VI I ALBEDO-EFFEKTEN.

Albedo er et uttrykk for flaters evne til å reflektere solstråling. Hvit snø og is reflekterer 50–95 % av solstrålingen, mens mørkt hav reflekterer ca 6 %. Når Arktis varmes opp, smelter sjøis og snø og vi får større områder med åpent hav. Dette gjør at mer av solenergien lagres i havet. Resultatet er en negativ spiral: Mørkt hav absorberer mer varme og forhindrer isen i å fryse på nytt, noe som øker opptak av solenergi enda mer. Dette forsterker oppvarmingen når snøen og isen først har begynt å smelte.

Skydekke-effekten

Det er ytterligere en effekt som er med på å forklare den spesielt sterke oppvarmingen i Arktis. Det er skydekke-effekten.

Økningen i global temperatur øker fordampingen fra havet og gir dermed et tykkere skydekke. Skyer kan både forårsake oppvarming og nedkjøling. Et økt skydekke kan både beholde mer av energien som forlater jorden (utgående langbølget stråling), men også reflektere mer av sollyset tilbake ut i verdensrommet om sommeren. På vinteren er derfor alle skyer med på å varme opp overflaten, men om sommeren er det de lave skyene som bidrar til oppvarmingen av overflatelaget i atmosfæren. Dette fører til lengre sommersesong og økt reduksjon i havisen.

Lav isutbredelse

Utbredelsen av den arktiske havisen nådde i 2015 sitt maksimum 25. februar, på 14,5 millioner kvadratkilometer. Dette er både det tidligste tidspunktet for maksimal utbredelse og den laveste maksimale utbredelsen som er registrert siden satellittmålingene begynte i 1979. De største negative avvikene fra normalen ble registrert i Okhotskhavet, Beringhavet, og Barentshavet.

Om vinteren har Barentshavet det største bidraget til tapet av havis. Det skyldes innstrømming av varmt vann med Golfstrømmens forlengelse mot Arktis, og at denne innstrømmingen har vært stor det siste tiåret. Det varmere vannet som har strømmet inn bruker lengre tid på å kjøle seg ned til frysepunktet, og dette gjør at isen dannes lenger nord neste vinter.

Mindre varmt vann

Det finnes flere indikasjoner på at varmen som strømmer inn til Barentshavet er i ferd med å minke. De siste årene har vi hatt relativt svak innstrømming av varmt vann fra Atlanterhavet og forventet areal på havisen har vært på vei opp siden 2013 (se artikkel «Et sted må grensen gå» på sidene 8–9). Resultatet vil altså kunne bli større

Isutbredelse



isutbredelse i Barentshavet i vinterene som kommer de neste 20–30 år fordi innstrømmingen av varme ser ut til å pulsere i perioder på over 50 år.

Endringer i havisen påvirker i sin tur også varmetapet fra havet til atmosfæren. Varmetapet er størst om vinteren, fordi temperaturforskjellen mellom åpent hav og luft er størst da. Derfor er også temperaturøkningen i lufta i Arktis størst om vinteren og ikke om sommeren, når vi har de store områdene med varmt åpent vann istedenfor den kalde sjøisen.

Smeltesesongen 2015 endte i september med den fjerde laveste utbredelsen av is siden målingene startet i 1979. Utbredelsen er området dekket av sjøis med over 15 % konsentrasjon av havis. Figuren over viser utbredelsen av sjøis for februar (vinter) og september (sommer) i 1979 og de tre siste årene. Tapet av sjøis i Barentshavet om vinteren er godt synlig, i tillegg til det mer kjente tapet av is inne i Polhavet om sommeren.

Den røde linjen er medianverdien for 1979–2000.

Men situasjonen beskrives dårlig ved bare å se på utbredelsen, for isen er blitt mye tynnere enn den var for 10–20 år siden. Det er nå veldig lite tykk flerårsis igjen (is som har overlevd en sommer) i Arktis. Isens alder og tykkelse er faktorer som gir systemet en slags hukommelse. Den unge tynne isen både smelter og bryter lettere opp enn den gamle tykke isen, og derfor kan smeltingen akselerere.

Vil oppvarmingen fortsette?

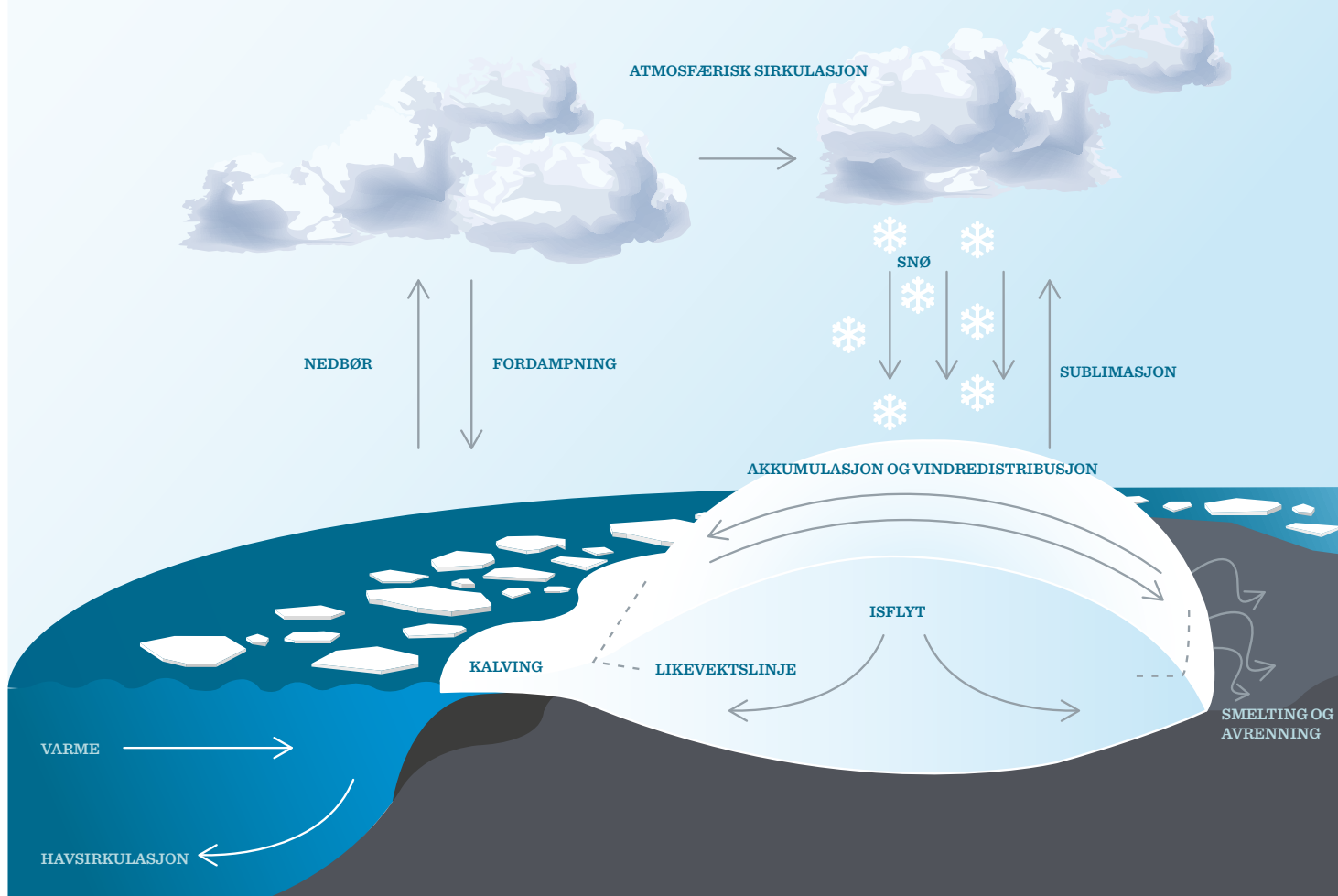
Naturlige klimavariasjoner kan både forsterke og skjule effektene som skyldes utslipp av drivhusgasser. Det er ca. 60 år lange svingninger i transporten av varmt vann nordover i Atlanterhavet. Fenomenet forkortes AMO, av Atlantic Multidecadal Oscillation. Den Atlantiske Multidekadiske Oscillasjon i Atlanterhavet er kjent som en av de viktige spillerne for langtidsendringene i Arktis.

Flere studier har vist at den varme perioden fra 1930–til 1950-tallet og den etterfølgende kalde perioden fra 1960–til 1980 tallet i Arktis i all hovedsak skyldtes en slik langtidssvingning i klimasystemet. Det siste maksimumsnivå av AMO ble nådd ca. 2007–2008 og nå er den på vei ned igjen. Det vil si at innstrømming av varmt vann fra Atlanterhavet til Arktis sannsynligvis vil bli mindre i årene framover. Dette kan føre til at havet i Arktis vil kjøles ned, noe av sjøisen kan muligens derfor også komme tilbake, i hvert fall i Barentshavet.

Det kan de nærmeste årene skjule den direkte effekten av CO₂ som driver den globale oppvarmingen.

Usikkert i fremtiden

Forklaringen på at gjennomsnittstemperaturene i Arktis har økt dobbelt så hurtig som gjennomsnittet ellers i verden er altså kombinasjoner av global oppvarming og et ganske innviklet samspill mellom atmosfæren, havet og isen. En forventet mindre innstrømming av vann fra Atlanterhavet til Arktis på grunn av naturlige svingninger (AMO) gjør det vanskelig å forutsi hvor raskt endringene vil skje i fremtiden.



BALANSEN FORSKYVES. Skjematisk oversikt over prosessene som bestemmer massebalansen til en iskappe. En isbre, iskappe eller isdekke er prisgitt forholdet mellom akkumulasjon av snø om vinteren og tap av is i form av smelting om sommeren og kalving av isfjel, dersom isen rekker ned til havet eller i en innsjø. Dette forholdet bestemmer høyden til likevektslinjen, linjen rundt isdekket der akkumulasjon og avsmelting er i likevekt.

KILDE: NASA, wikimedia commons https://en.wikipedia.org/wiki/File:Mass_balance_atmospheric_circulation.png

ET VARMERE OG VÅTERE ARKTIS

JO BRENDRYEN | UIB OG BJERKNESSENTERET
 JOSTEIN BAKKE | UIB OG BJERKNESSENTERET

ARKTIS ER TØRT. MEN FREMTIDENS ARKTIS KAN LIGNE MER PÅ VESTLANDET ENN PÅ EN POLAR ØRKEN.

Endringene i Arktis gjelder ikke bare temperatur. Hydroklimaet, vannklimaet, vil også endres, noe som kan ha stor innvirkning på natur og samfunn både i og utenfor Arktis.

Over store deler av Arktis faller det svært lite nedbør og i noen områder er det like tørt som i Sahara. Dette kan midlertid endre seg etter hvert som sjøisdekket blir redusert og som en konsekvens av økt fuktighetstransport i atmosfæren i et varmere klima. En studie

basert på satellittobservasjoner viser at temperatur og luftfuktighet øker markant i områder der sjøisen har forsvunnet om sommeren. Dette kommer av at åpent hav avgir mye mer varme og fuktighet til atmosfæren enn når samme område er dekket av sjøis. Siden vanndamp er en effektiv drivhusgass vil høyere luftfuktighet sammen med økt skydekke ytterligere forsterke oppvarmingen i Arktis. Nedbørsobservasjoner viser også at nedbøren øker over store deler av Arktis.

Stor naturlig variasjon i Arktis

Det eneste vi vet sikkert om variasjoner i arktisk hydroklima er det vi kan lese ut av tidsseriene som går omtrent hundre år tilbake i tid. For eksempel på Svalbard viser nedbørsmålingene at variasjonene er relativt små.

Klimamodeller indikerer at det noen steder i Arktis kan bli opptil 50 % våtere enn i dag i løpet av de neste hundre årene. Spørsmålet er om disse modelleksperimentene gir et realistisk bilde av hva vi kan vente oss i fremtiden. Hva om vi i et varmere klima får en varig endring i de atmosfæriske sirkulasjonsmønstrene slik vi har sett særlig i slutten av forrige istid og i begynnelsen av den mellom istiden vi er inne i nå. Mer detaljert informasjon om fortidsklimaet er derfor av stor betydning i Arktis.

En metode som kan gi oss mer eksakt viten er rekonstruksjoner av breer i Arktis. Dette kan gjøres ved å datere morenerygger eller ved å ta sedimentkjerner i innsjøer som mottar smeltevann fra breer. Isbreene responderer på klimatiske endringer over noen år, dvs. de filtrerer ut år-til-år variabilitet og responderer på summen av vinternedbør og sommer-temperatur.

I prosjektet Shifting Climate States of the Polar Regions (SHIFTS) ved Universitetet i Bergen og Bjerknæssenteret for klimaforskning er det blitt gjennomført spektakulære feltarbeid både i Arktis og i Antarktis for å rekonstruere breer med høy tidsoppløsning. Det vi ser i disse rekonstruksjonene er at det har vært store variasjoner i brestørrelse særlig de siste 2000 år og at disse variasjonene ikke kan forklares med temperaturendringer alene. Sammenstillinger av tidsseriene viser at de nedbørs mønstrene vi ser fra Fastlands-Norge kalkulert ut fra bre-rekonstruksjoner de siste to tusen årene også gjør seg gjeldende i Arktis. Det tyder på at det nord-atlantiske klimaet i perioder påvirker nedbørs mønstrene i Arktis. Disse klimasvingningene som skjedde før mennesket begynte å påvirke klimaet med utslipp av CO₂ kan forklares med storskala endringer i atmosfære-sirkulasjon som i noen tilfeller har koplinger til endringer på lavere breddegrader rundt ekvator. Klimarekonstruksjonene over tusener av år viser at tidsseriene med instrumentelle data, ca. hundre år tilbake i tid, ikke får frem

hele spennet hva en kan forvente av naturlig klimavariabilitet. Rekonstruksjoner av fortidsklima med høy presisjon er derfor svært verdifulle for å forstå fremtidens nedbørs mønstre i Arktis, der de naturlige svingningene vil virke sammen med økt konsentrasjon av CO₂ i atmosfæren. I en tid med økende aktivitet og oppbygging av infrastruktur i nordområdene er det svært viktig å ta høyde for at fremtidens Arktis kan ligne mer på Vestlandet enn på en polar ørken.

«Klimamodeller indikerer at det noen steder i Arktis kan bli opptil 50 % våtere enn i dag i løpet av de neste hundre årene.»

Akselererende smelting

Et varmere Arktis smelter også is på land. Det er estimert at smelting av isbreer, isdekker og iskapper i Arktis bidro til omtrent 1,3 mm (40 %) av den totale årlige havnivåstigningen på 3,1 mm i mellom 2003 og 2008.

Hvor mye en isbre eller et isdekke bidrar til global havnivåstigning avhenger av massebalansen. Det vil si balansen mellom hvor mye snø den mottar om vinteren og hvor mye som smelter om sommeren (se figuren). En snørik vinter kan oppveie for en varm sommer slik at massebalansen forblir nøytral. Smelter det mindre is på isbreen om sommeren enn det den mottar som snø om vinteren, blir massebalansen positiv og isbreen vokser. Mer nedbør i form av snø (det er fortsatt kaldt i Arktis om vinteren) vil derfor til en viss grad motvirke massetap fra større sommeravsmelting fra isbreer og iskapper.

Det er imidlertid tvilsomt om økt nedbør i det lange løp vil være nok til å motvirke smelting forårsaket av den raske oppvarmingen i Arktis. Selv om nedbørs mengden i Arktis har økt i de siste tiårene har massebalansen på isbreer og isdekkene blitt stadig mer negativ.

Om det blir mer eller mindre snøfall er særlig viktig for isdekket på Nord-Grønland. Nord-Grønland er en polar ørken der det årlig kommer mindre enn 20 cm (vannekvivalenter) nedbør. Tørt klima og lav akkumulasjon

av snø gjør at denne delen av isdekket er svært ømfintlig i et varmere klima. En varm sommer kan her potensielt smelte mange års snøfall og dermed forårsake en sterk negativ massebalanse. Over tid vil negativ massebalanse føre til at isdekket blir tynnere. Siden temperaturen er høyere i lavere luftlag, fører en lavere isoverflate til at en større del av isdekket smelter om sommeren. Dette fenomenet, som blir kalt massebalanse-ishøyde-mekanismen, virker som en ond sirkel der negativ massebalanse i et isdekke over tid fører til reduksjon av ishøyden noe som bidrar til ytterligere negativ massebalanse.

Isdekkemodelleringer gjort ved Bjerknæssenteret har avdekket at deler av isdekket på Grønland kan være særlig ømfintlig for endringer i temperatur og nedbør. I denne modellen gjorde massebalanse-ishøyde-mekanismen seg gjeldende og forårsaket at isdekket i de nordøstlige delene av Grønland smeltet helt vekk. Klimaet i Arktis var i den modellerte tidsperioden varmere enn i dag pga. mer solinnstråling på sommeren, men er sannsynligvis likevel sammenlignbart med klimaet vi kan forvente mot slutten av dette århundret (IPCC AR5). Isdekket på de sørlige delene av Grønland smeltet imidlertid ikke i denne modellen, her motvirket økt snøfall massetap som en følge av høyere temperatur.

Avgjørende for dagens isdekke på Grønland er om massebalanse-ishøyde-mekanismen vil slå inn i fremtidens klima, eller om økt nedbør som en følge av redusert sjøisdekke og/eller endret atmosfærisk sirkulasjon vil være tilstrekkelig til å redde Grønlandsisen i et varmere Arktis. Les mer om pågående forskning i Ice2Ice prosjektet som har som mål å finne hvilken betydning sjøisdekket i Arktis har for isdekket på Grønland.

KILDER: Born, A. and Nisancioglu, K. H.: Melting of Northern Greenland during the last interglaciation, *The Cryosphere*, 6, 1239–1250, doi:10.5194/tc-6-1239-2012, 2012. | Boisvert, L. N., and J. C. Stroeve (2015). The Arctic is becoming warmer and wetter as revealed by the Atmospheric Infrared Sounder, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 4439–4446, doi:10.1002/2015GL063775. | AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011 | Overview Report. | Min, S.-K., Zhang, X., Zwiers, F., 2008, Human-Induced Arctic Moistening. *Science* 320, 518–520, DOI: 10.1126/science.1153468. | IPCC AR5



HAVET ER VERDENS STØRSTE MATFAT. De nordlige havområdene inneholder enorme fiskeressurser. Foto: Shutterstock

VÅRE OMRÅDER SPESELT UTSATT:

HAVFORSURING TRUER NÆRINGSKJEDEN

NADINE GORIS | FORSKER UNI RESEARCH

SIV KARI LAUVSET | FORSKER UNI RESEARCH OG BJERKNESSENTERET

HAVFORSURINGEN I NORSKEHAVET OG I ARKTIS SKJER MYE RASKERE ENN ELLERS I VERDEN. DET SKYLDES AT KALDT VANN ER SPESELT EGNET TIL Å TA OPP CO₂. DETTE KAN TRUE HAVOMRÅDENE VÅRE SOM MATFAT.

Havforsuring er kjennetegnet av langsiktig synkende pH-verdier i havene. Årsaken er de økte utslippene av karbon i form av CO₂. Når CO₂ reagerer med vann, skjer en kjemisk reaksjon som fører til redusert pH.

Siv Lauvset fra Uni Research og Bjerknessenteret har brukt data fra verdenshavene for å analysere utviklingen i pH-verdiene i verdenshavene.

Over de siste 20 årene er det en trend av synkende pH-verdier. Både observasjoner og beregninger i klimamodeller viser en nedgang på 0.0018 millipH/år. 50 % av nedgangen siden den industrielle revolusjonen har skjedd i løpet av de siste 25 år.

Skremmende raskt

Når vi beregner trender for havforsuring, møter vi et kjent problem i forskningsverdenen: mangel på observasjoner. Situasjonen har bedret seg de siste årene, men var grave-rende før 1990. Det gjør det vanskelig å lage trender lenger tilbake. Og selv når forskerne bare betrakter de siste 20 årene, er det fremdeles noen regioner som har for lite data.

I Norskehavet finnes nok data til å gjøre oss sikre på at pH-verdiene synker skremmende raskt. Her er forsuringstrenden dobbel så rask som gjennomsnittet globalt. Den raske endringen lar seg forklare av et naturlig fenomen: havets opptak av karbon fra atmosfæren er mer effektivt jo kaldere vannet er. Høyere breddegrader er derfor spesielt utsatt for havforsuring. Derfor er også Arktis spesielt utsatt. Her har vi imidlertid veldig få observasjoner.

Usikker framtid for organismene i havet

Havforsuring er et relativt nytt forskningstema. De fleste studiene er fra det siste tiåret. Forskerne har gjennomført forskjellige eksperimenter i havet og i laboratorier for å finne ut hvordan organismer i havet reagerer på havforsuring. Resultatene er mangfoldige, og det er derfor vanskelig å gi et entydig svar.

Men det er fremdeles relativt sikkert at en tiltakende havforsuring reduserer det biologiske mangfoldet. Spesielt truet er kalkdannende organismer som forskjellige planktonarter, reker, hummer, snegler og muslinger, sjøstjerner, kråkeboller og koraller. Grunnen er at havforsuringen reduserer mengden karbonation, som er en viktig bestanddel i kalk. Kalkdannende organismer er en del av næringskjeden i havet. Følgelig kan den tiltakende havforsuringen også gjøre stor skade på fiskeriene i Norskehavet.

DERFOR BLIR HAVET SURERE

Med den industrielle revolusjonen begynte vårt utslipp av CO₂ (karbondioksid) å stige. Utslippene har økt fra omtrent 4,6 gigatonn karbon per år (Gt C/år) i årene 1960–1969 til omtrent 8,8 Gt C/år i årene 2000–2009. Mens vegetasjonen på land og verdenshavene tar opp 29 % og 26 % av vår karbonutslipp, forblir 45 % av utslippene i atmosfæren. Resultatet er en økende karbonkonsentrasjonen i atmosfæren, i havet og i biosfæren. Helt siden 1957 er det kjent at pH-verdiene i verdenshavene synker med stigende karbonopptak, men det var først på begynnelsen av 2000-tallet at denne endringen ble gitt navnet havforsuring og at forskningen begynte til å fokusere på konsekvensene av havforsuring på marine organismer.

Når havet tar opp CO₂, skjer det tre kjemiske hovedreaksjoner mellom vann og karbondioksid som resulterer i karbonsyre, bikarbonation og karbonation. Fordelingen mellom disse tre bestemmer pH-verdien til sjøvann. I typisk sjøvann, som er lett basisk med en pH på omtrent 8,1, er andelen bikarbonat-ioner størst (ca. 90 %), etterfulgt av karbonationer (ca. 10 %) og karbonsyre (ca. 0,5 %). Når vi slipper ut mer karbondioksid i atmosfæren tar havet opp mer karbondioksid. Det fører til at andelen bikarbonationer øker og mengden karbonationer minker. Samtidig øker mengden hydrogenioner som betyr at pH-verdien synker og havet blir surere.

KILDER: Lauvset, S. K., Gruber, N., Landschützer, P., Olsen, A., and Tjiputra, J.: Trends and drivers in global surface ocean pH over the past 3 decades, *Biogeosciences*, 12, 1285–1298, doi:10.5194/bg-12-1285-2015, 2015. | Heinze, C., Meyer, S., Goris, N., Anderson, L., Steinfeldt, R., Chang, N., Le Quééré, C., and Bakker, D. C. E.: The ocean carbon sink – impacts, vulnerabilities and challenges, *Earth Syst. Dynam.*, 6, 327–358, doi:10.5194/esd-6-327-2015, 2015.



FASTFRYST I ISEN: Forskningsskipet RV Lance drev med sjøisen fra januar til august 2015, blant annet for å undersøke hvordan varmt vann påvirker den tynne førsteårsisen. FOTO: Algot Peterson, UiB og Bjerknessenteret

MENNESKESKAPTE ENDRINGER OG NATURLIGE VARIASJONER

SVEIN SUNDBY | HAVFORSKNINGSINSTITUTTET OG HJORTSENTERET FOR MARIN ØKOSYSTEMDYNAMIKK

NATURLIGE KLIMAVARIASJONER KAN GI KALDERE ARKTIS DE NESTE TIÅRENE. MEN Å PLUKKE UT ENKELTE TIDSSERIER FOR Å VISE AT KLIMAUTVIKLINGEN PÅ JORDEN KUN ER RESULTAT AV NATURLIGE KLIMAVARIASJONER ER EN GRUNNLEGGENDE FEILSLUTNING.

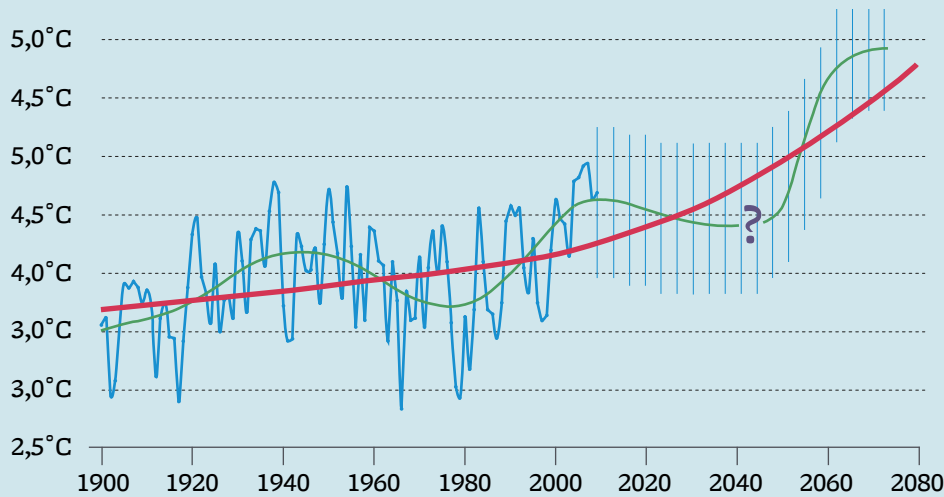
Problemstillingen har vært en gjenganger i norske media helt siden den første rapporten fra FNs klimapanel kom ut for 25 år siden hvor virkningene av den stadig økende forbrenningen av fossile energikilder er beskrevet. På den ene siden i denne mediedebatten har vi hatt det store flertallet av atmosfære- og havforskere som har fokusert på at konsentrasjonen av økende drivhusgasser i atmosfæren har endret klimaet på jordkloden gjennom det 20. århundret og at endringene vil akselerere gjennom det 21. århundret. På den andre siden har vi hatt en mindre men ulik gruppe av øvrige naturvitere og skeptikere som har påpekt betydningen av øvrige klimadrivere som eksempelvis astronomiske faktorer som gir opphav til naturlige klimavariasjoner. Disse naturlige variasjoner, mener de, forveksles med menneskeskapte klimaendringer.

Utilstrekkelig innsikt

Hvorfor har vi ikke, etter 25 års debatt, vært i stand til å oppnå konsensus mellom de to grupperingene om realitetene? Årsakene er flere, men her skal jeg avgrense meg

til rent vitenskapelige faktorer. Viktigst av dem ligger i utilstrekkelig innsikt - fra begge sider - i prosessene omkring naturlige klimavariasjoner. Mens modellering av drivhuseffektens virkning på klodens klima er ganske enkel og oversiktlig og gir robuste resultater, er modellering av naturlige klimasvingninger betydelig mer kompliserte. Fra kortere og lengre tidsserier rundt om på kloden har vi til dels presise beskrivelser av hvordan ulike naturlige klimasvingninger opptrer, men drivkreftene bak dem er utilstrekkelig kjent. Derfor kan vi heller ikke forutsi dem, slik som vi kan for drivhuseffekten.

Et aktuelt eksempel er det storskala naturlige klimafenomenet El Niño-Southern Oscillation (ENSO) med kjerneområde i den ekvatoriale delen av Stillehavet. ENSO opptrer med ujevne intervaller av varierende styrke, og med et gjennomsnitt på omtrent 4 år. Det er alt vi kan si med sikkerhet i dag. Først når El Niño faktisk er i ferd med å manifestere seg i månedene før jul, slik som tilfellet er nå i høst, er vi i stand til med noenlunde



TEMPERATURUTVIKLING I ATLANTISKE VANNMASSER I BARENTSHAVET: Figuren viser temperaturutviklingen i de atlantiske vannmassene i Barentshavet. Blå kurve viser observerte svingninger i havtemperaturen. Grønn kurve indikerer den langperiodiske Atlantiske Multidekadiske Oscillasjonen (AMO). Rød kurve indikerer et av scenariene for den menneskeskapte komponenten av klimaendringene. Forløpet av den naturlige komponenten av klimaendringene gjennom det 21. århundret er usikkert. Men dersom AMO utvikler seg med omtrent samme periode og styrke som gjennom det 20. århundret, kan vi forvente et forløp som indikert i figuren. Da kan vi få midlertidig utflating i temperaturen de neste par tiårene, kanskje til og med en reduksjon i temperaturen, før AMO og det menneskeskapte klima-signalet igjen trekker i samme retning mot midten av dette århundret med kraftig temperaturøkning som resultat.

KILDE: www.pinro.ru

sikkerhet å si noe om hvordan den vil utvikle seg utover den første delen av nyåret, før den igjen dør ut mot midten av året. Men noe pålitelig varsel ett år eller mer i forveien har vi i dag ikke mulighet til å utføre. Et annet klimafenomen som er inngående beskrevet de siste 25 årene er den Nordatlantiske Oscillasjonen (NAO) som i sterk grad påvirker vårt hjemlige klima i Europa. Som ENSO opptrer NAO med varierende styrke, primært som et fenomen med effekter på økosystemene på vinter- og vårparten. Virkningene av NAO på hav og land er godt kjent. Kraftige NAO-signaler med en periode på omtrent 10 år kan opptre i flere tiår på rad, slik som tilfellet var på begynnelsen av det 20. århundret og i perioden fra 1960 til 1995. I andre tidsintervaller slår den plutselig om i kortere svingninger med mindre amplituder fra år til år, men vi vet ikke hvorfor. Det mest storskala naturlige klimafenomenet vi kjenner til i dag er den Atlantiske Multidekadiske Oscillasjonen (AMO), et fenomen med periode på omtrent 60-80 år. Utbredelsen av AMO dekker Nord-Atlanteren med Nord-Amerika og Europa. AMO har således en større skala enn både ENSO og NAO. Direkte temperturobservasjoner dokumenterer slike langperiodiske svingninger i vår del av verden fra midten på 1800-tallet. De viser en kald fase på begynnelsen av det 20. århundret, en varm fase mellom 1930 og 1950, en kald fase igjen på 1960- og 1970-tallet før den siste varme-fasen de siste 20 årene. Analyse av treringer i Europa og USA viser at dette fenomenet i hvert fall kan spores tilbake til 1500-tallet.

Ukjente drivkrefter

I avsnittet over er det nevnt tre framtreddende eksempler på naturlige klimasvingninger. Det finnes mange flere av kortere periodisitet og kanskje til og med også fenomener med lengre periodisitet enn AMO. Til sammen finnes det en «kakafoni» av naturlige klimasvingninger på kloden vår. Felles for dem er at vi kjenner dårlig til drivkreftene bak dem, og dermed er vi ikke i stand til å varsle dem slik som vi kan når det gjelder virkningene av drivhusgassene.

Men det at vi ikke er i stand til å varsle dem betyr ikke at de er ikke-eksisterende under det framtidige klimaet. Menneskeskapte klimaendringer vil ikke ta livet av naturlige klimavariasjoner, og naturlige klimavariasjoner vil ikke ta livet av menneskeskapte klimaendringer.

Skeptikere holder gjerne fram utvalgte tidsserier for å vise at ingen menneskeskapte klimaendringer har skjedd. Det å plukke ut enkelte, eller til og med svært mange, tidsserier for å vise at klimautviklingen på jorden kun viser naturlige klimavariasjoner er en grunnleggende feilslutning. Det er fordi ingen av de dominerende naturlige klimasvingningene vi til nå kjenner er globale i utstrekning. Akkurat som på et strengeinstrument er lyse toner (korte perioder), knyttet til korte strenger, mens dype toner (lange perioder) knyttet til lange strenger. Selv det mest storskala klimafenomenet som er nevnt over, AMO, med en periodisitet på 60-80 år («dyp tone») dekker mindre enn 10 % av jordens overflateareal.

Det er bare et par klimaforskningsmiljøer i verden som er i stand til å beregne jordens middeltemperatur på en representativ måte. Det krever tusenvis av målepunkter, og det nytter lite om alle disse målepunktene er begrenset til «verdens navle» (les Europa og Nord-Amerika), de må være fordelt ut på hele klodens overflate. Året 2014 var beregnet til å være klodens varmeste år i moderne tid. Året 2015 ligger an til ny rekord. Menneskeskapte klimaendringer er på gang, men ennå er endringene beskjedne i forhold til det som vi vil se utover i andre halvdel dette århundret.

Kan bli regionalt kaldere

Hva vil så skje regionalt i Norge og Europa de nærmeste 10-årene? Sannsynligvis ikke en like sterk økning i temperaturen som vi har sett de siste 30-40 årene. Isdekket i Arktis som helhet har gått ganske kraftig tilbake siden satellittmålingene startet i 1978. Fra den atlantiske siden av Arktis, altså i det nordlige Norskehavet og Barentshavet, har isreduksjonen i denne perioden vært særlig stor på grunn av tilleggseffekten fra AMO. Sannsynligvis er vi nå på et av toppunktene for AMO. Hvis AMO forsetter med samme styrke og periode som vi har opplevd i det 20. århundret vil temperaturen i vår del av verden kunne reduseres noe i et par tiår før AMO og den menneskeskapte komponenten av klimaendringene igjen drar i samme retning. Det betyr at vi må ta høyde for at klimaet i Barentshavet midlertidig kan bli kaldere de første par tiårene, og da vil iskanten også midlertidig ekspandere sørover igjen. Det vil få følger for planleggingen av mange næringsaktiviteter i Barentshavet, både når det gjelder fiskeri, sjøfart og industri.

Vi har spurt tre norske forfattere i FNs klimapanel om det de mener er det viktigste funnet i klimaforskningen det siste året – som også norske politikere bør vite om.



EYSTEIN JANSEN

PROFESSOR VED INSTITUTT FOR GEOVITENSKAP, FORSKER VED UNI RESEARCH OG BJERKNESSENTERET. FORFATTER I DEN FJERDE OG FEMTE HOVEDRAPPORTEN FRA FNS KLIMAPANEL.

BEKYMRENGSFULL USTABILITET I ANTARKTIS

VALGENE VI GJØR DE NESTE PAR
TIÅRENE VIL HA LANGSIKTIG
BETYDNING.

Får vi ikke kontroll over utslippene og realiserer lavutslippssamfunnet, setter vi i gang prosesser som ikke lar seg stanse. Det tunge historiske ansvaret vi har i Norge, er ikke særlig fremtredende i den politiske debatten selv om det burde være det.

I klimasystemet kan vi snart passere viktige terskler, der utviklingen ikke lar seg stanse. Massetap fra innlandsisen i Antarktis og Grønland er allerede i gang og bidrar til havstigningen vi observerer. Richard Alley fra Pennsylvania State University publiserte nylig sammen med en rekke medforfattere arbeidet «Oceanic Forcing of Ice-Sheet Retreat: West Antarctica and More» i tidsskriftet Annual Reviews of Earth and Planetary Science.

Trass i at lufttemperaturen over Antarktis alltid er under frysepunktet, befinner store deler av ismassene seg under havnivå og kan påvirkes av varmere hav som skaper smelting. I artikkelen vises det hvordan oppvarmingen i havet undergraver stabiliteten til isdekkene som kalver i havet. Det kommer fram at en av de vesentligste utløperne i Vest-Antarktis, Thwaites Glacier, kanskje allerede har passert en terskel og nå er dømt til å forsvinne.

Forfatterne oppsummerer en rekke forskjellige kunnskapskilder, blant annet fra boringer på kontinental-sokkelen rundt Antarktis og studier av kildene til det høye havnivået under den forrige og varmere mellomistiden. Det fremgår tydelig fra dette materialet at vi må regne med betydelig ustabilitet i store områder i Antarktis når klimaet blir varmere.

En trygg klimafremtid må bety at vi ikke løper denne risikoen. Vi kan ikke risikere at brearmene i Antarktis

og på Grønland passerer slike terskler. Klarer vi ikke det, overlater vi fremtidige generasjoner til en uunngåelig aksellerasjon i havstigning og et problem som ikke lar seg stanse. Alley og hans medforfattere konkluderer med at det bare i Vest-Antarktis kan være snakk om tre meter havstigning fra slike forhold. Akkurat når disse tersklene overskrides er ikke skikkelig kjent. Dette betyr at tidsutviklingen for havstigningen vil være usikker. Tre meter havstigning vil sette mange av verdens største byer helt eller delvis under vann.

For alle som har ansvar for klimapolitiske tiltak bør denne forskningen være en ekstra grunn til anstrengelser på å realisere lavutslippssamfunnet på raskeste måte.

Får vi ikke kontroll over utslippene og realiserer lavutslippssamfunnet, setter vi i gang prosesser som ikke lar seg stanse.

LES MER

Richard B. Alley, Sridhar Anandkrishnan, Knut Christianson, Huw J. Horgan, Atsu Muto, Byron R. Parizek, David Pollard, and Ryan T. Walker, Oceanic Forcing of Ice-Sheet Retreat: West Antarctica and More Annual Review of Earth and Planetary Sciences Vol. 43: 207-231, DOI: 10.1146/annurev-earth-060614-105344

**KAREN O'BRIEN**

PROFESSOR VED INSTITUTT FOR SOSIOLOGI OG SAMFUNNSGEOGRAFI, UNIVERSITETET I OSLO. HOVEDFORFATTER I KAPITTELET "CLIMATE-RESILIENT PATHWAYS", DELRAPPORT 2 FRA FNS KLIMAPANEL.

UTFORDRINGEN LIGGER I Å TENKE NYTT

Christophe McGlade og Paul Ekins fra University College London (UCL) publiserte artikkelen «*The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C*» i januar 2015. De konkluderer med at store deler av de fossile ressursene ikke bør utvinnes om vi skal holde temperaturøkningen under to grader.

En viktig beskjed i artikkelen er at vi må å endre vår forståelse rundt fossil energi – det betyr at vi må tenke annerledes og stille spørsmål rundt antakelser i forhold til verdenssyn og verdier. Som FNs Klimapanel understreker: Dersom vi ikke kutter i klimagassutslippene og selv med tilpasning, vil oppvarmingen ved slutten av det 21. århundret føre til stor risiko for alvorlige, omfattende og irreversible konsekvenser globalt.

Fortsetter vi dagens utslipp så går vi mot svært alvorlige konsekvenser for både samfunn og natur. Vi har allerede brukt opp 80 prosent av karbonbudsjettet i atmosfæren for all tid. For å nå 2°C målet og unngå de mest alvorlige følgene av klimaendringer, må Norge tilpasse seg de unngåelige konsekvensene og samtidig sette i gang en storstilt omstilling av samfunnet.

Den største utfordring for oss som mennesker er å tenke nytt!

LES MER

Christophe McGlade¹ & Paul Ekins, *The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C*, *Nature*, 2015, doi:10.1038/nature14016 <http://www.nature.com/nature/journal/v517/n7533/full/nature14016.html>
Amartya Sen, *Development as Freedom*, Oxford, 1999

**ASUNCION LERA ST. CLAIR**

SENIORFORSKER VED KLIMAPROGRAMMET, DNV GL STRATEGIC RESEARCH & INNOVATION. FORFATTER I DEN FEMTE HOVEDRAPPORTEN FRA FNS KLIMAPANEL.

KLIMAPOLITIKK MÅ BLI KOBLET MED VELFERD, VEKST OG INNOVASJONS-POLITIKK

Utviklingsøkonomen og filosofen Amartya Kumar Sen er for meg er en av de viktigste forfatterene man bør ha i tankene når man tar avgjørelser i klimapolitikk. Jeg vil sterkt anbefale norske beslutningstakere å lese Sens mest tilgjengelige arbeid *Development as Freedom*. Denne boken forklarer utviklingsarbeid i lys av individers kapasitet, som er en egen økonomisk teori. Hovedargumentene i denne boka er fundamentale for en balansert forståelse av avhengigheten mellom velferdsutvikling, vekst og innovasjon som gjør folks frihet mulig. Boka peker også på viktigheten av å beskytte sårbare mennesker for eventuelle ikke-planlagte politiske konsekvenser, såvel som konsekvenser av klimaendringer, i tillegg til å unngå farlige klimaendringer og tilpasning til uunngåelige konsekvenser.

Den viktigste funnet i klimaforskningen er for meg den økende forståelsen for at klimaendringer er et utviklingsproblem, og ikke bare et miljøproblem. Klimaendringer i dag omfatter mange fagområder, ikke bare naturvitenskapen om klimasystemet, men også kunnskapene, teorier og metoder fra samfunnsfagene og humaniora. Det har blitt tydelig at en bærekraftig framtid som unngår farlige klimaendringer, krever en ny generasjon av synergier. Det innebærer strategier for vekst, utvikling, velferd og livskvalitet, strategier for tilpasning til uunngåelige følger av klimaendringer og hvordan disse interagerer med sosio-økonomiske, kulturelle sårbarheter og flere ulikheter, og dempende tiltak.

Fellesnevneren for disse områdene krever at politikere anerkjenner klimaendringers tverrfaglige natur, og at de ser deres avgjørelser på klimafeltet i forhold til konteksten på andre områder. Klimapolitikk må bli koblet med velferd, vekst og innovasjonspolitik.

SUPERVINDEN

ELLEN VISTE | UIB OG BJERKNESSENTERET

DEN STERKESTE VINDEN I VERDEN BLÅSER IKKE VED BAKKEN, MEN EN MIL OVER HODENE VÅRE. HØYT DER OPPE STYRER DEN LAVTRYKKENE MOT OSS ELLER LENGRE SØROVER. DERFOR MÅ VI FINNE UT HVORDAN KLIMAET STYRER DENNE VINDEN.

Da stormen Nina dundret inn i Norskehavet i januar i år, fikk Hordaland sitt kraftigste uvær på mange år. Ikke siden 1994 hadde vinden vært så sterk. Og det var ikke bare ved bakken det blåste. Nina var drevet fremover av uvanlig sterk vind høyt oppe i atmosfæren over Atlanterhavet. Sterk vind er synonymt med uvær. Men de siste årene har klimaforskerne diskutert om perioder der vinden der oppe er svak, kan være like problematiske.

Jetstrømmen er som et bånd av sterk vestavind som sirkler kloden, åtte til tolv kilometer over Europa, Russland og Nord-Amerika. I kjernen av strømmen kan hastigheten bli mer enn 350 kilometer i timen (100 meter per sekund). Strømmen går østover, men ikke rett østover, den bukker seg med bølger i nord-sør-retningen. Når jetstrømmen ligger langt nord over Atlanterhavet, sender den lavtrykk inn i Norskehavet, ligger den lengre sør, styres lavtrykkene inn mot De britiske øyer og det europeiske kontinentet. Det har alt å si for hva slags vær vi får. Jetstrømmen ligger ved polarfronten – grensen mellom kald polarluft og varmere luft i sør, der også lavtrykkene dannes. Fordi jetstrømmen

bukker seg i nord-sør-retningen, blir vi noen ganger liggende i den kalde polarluften, og andre ganger i luften fra sør.

De siste par tiårene har det vært påfallende mange vintre med sprengkulde i Nord-Amerika og Europa, til tross for at den globale gjennomsnittstemperaturen har steget. I 2012 lanserte de amerikanske forskerne Jennifer Francis og Stephen Vavrus en teori om at de lange kuldeperiodene kunne skyldes at klimaendringer i Arktis hadde endret jetstrømmen. Resultatene deres indikerte at buktningene var blitt større og at bølgene også beveget seg saktere. Dermed, mente de, hengte været seg lettere opp. Det tok lengre tid for lavtrykk og høytrykk å passere, og dermed ender vi oftere opp med lange perioder der været ikke endrer seg. Både langvarige kuldeperioder om vinteren og hetebølger om sommeren ble koblet til en slik opphengt jetstrøm.

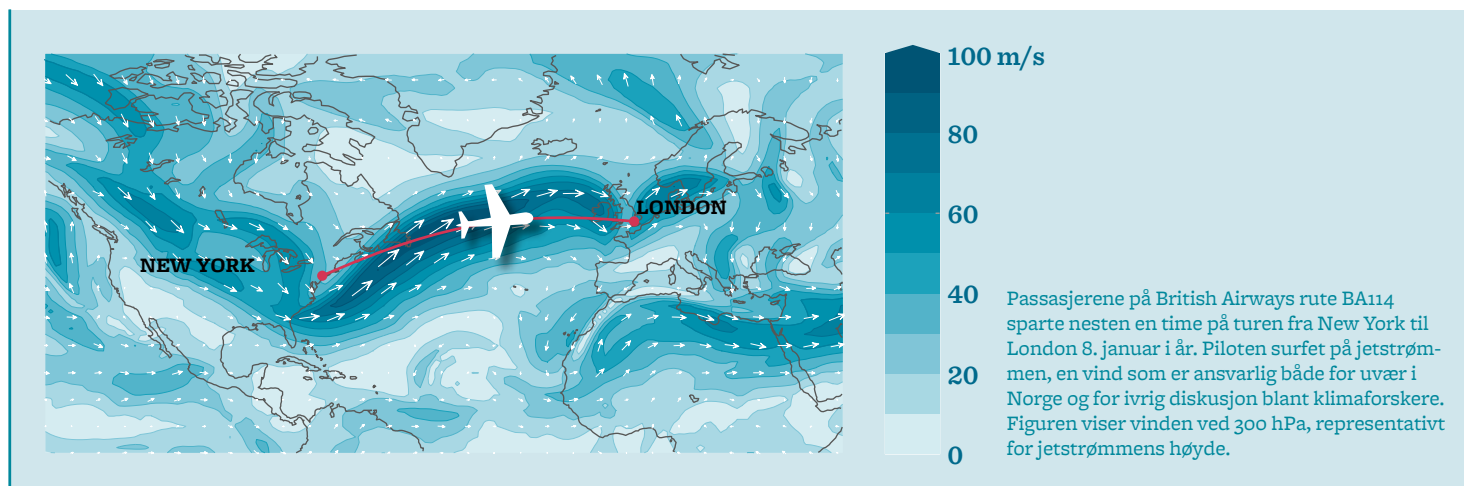
Endringene i jetstrømmen er igjen blitt koblet til klimaendringer i Arktis. Det er blitt varmere på jorden det siste hundreåret. Men temperaturen har ikke steget like mye alle steder. Aller mest har den steget i Arktis,

og Francis' og Vavrus' teori er at dette har endret jetstrømmen.

Har de rett? Problemstillingen har blitt opphav til både ivrig diskusjon blant klimaforskere og mange nye studier av jetstrømmen. – Påstandene om at oppvarming i Arktis påvirker jetstrømmen må underbygges med fysikk, sier Thomas Spengler, professor ved Geofysisk institutt ved UiB, og Bjerknessenteret.

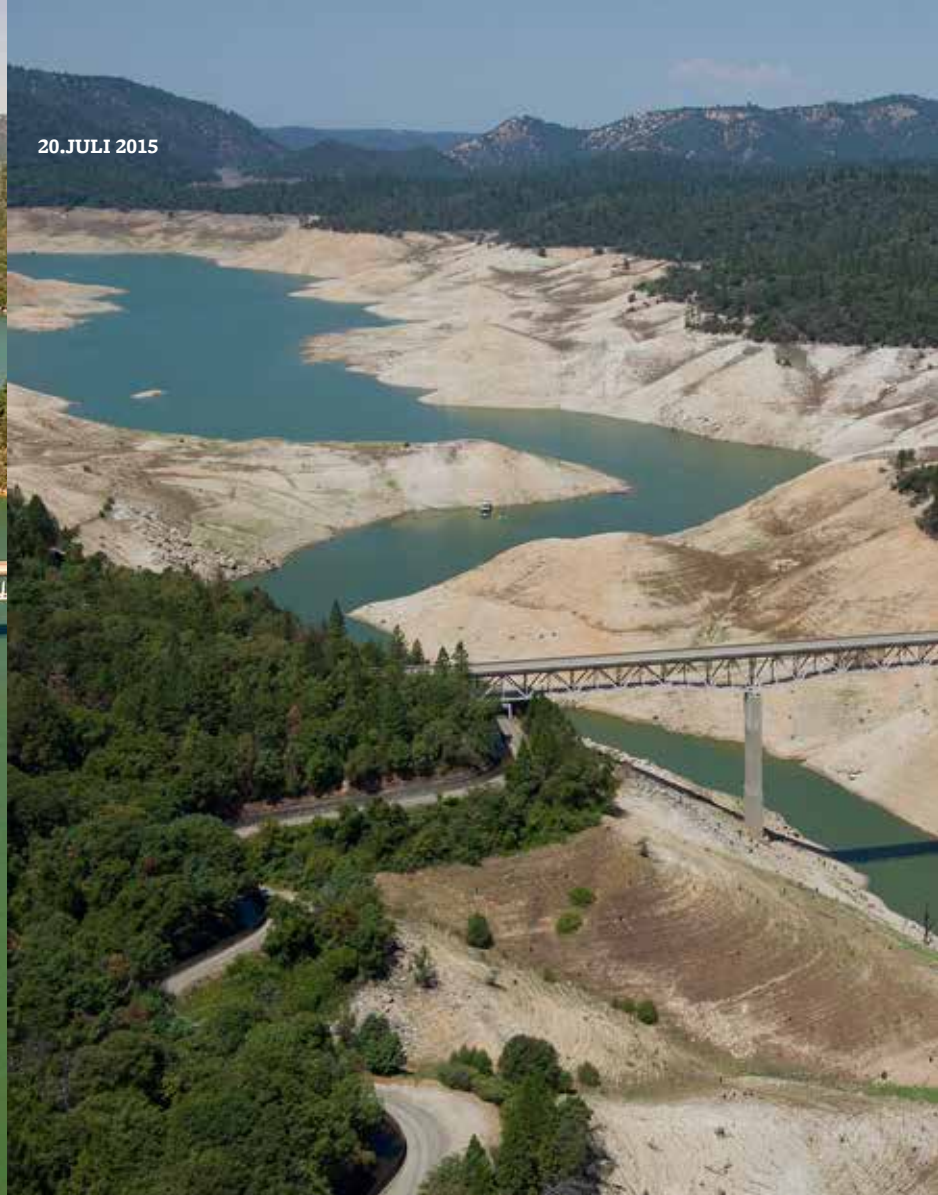
Han etterlyser mer forskning, ikke bare på om det er en sammenheng mellom oppvarming i Arktis og langvarig ekstremvær, men på hvordan dette i så fall foregår. Mekanismene er uklare. Spengler fremhever at det uansett er viktig at vi handler nå. – Det er svært viktig at vi finner ut hvordan Arktis samvirker med resten av klimasystemet. Særlig fordi vi allerede observerer store endringer i Arktis, og fordi endringene i fremtiden vil være enorme, sier Spengler.

[LES UTVIDET VERSJON PÅ TOGRADER.NO](#)





20. JULI 2011



20. JULI 2015

FØR OG ETTER: Bildene viser Enterprise Bridge over Lake Oroville i California før og etter uttapping. Vannet er tappet ut for å bekjempe tørken. Bildet til venstre ble tatt 20. juli 2011, mens bildet til høyre ble tatt 20. juli 2015.

FOTO: Paul Hames/DWR Photography.

CALIFORNIA: TØRT, TØRRERE, TØRREST

ELLEN VISTE | UIB OG BJERKNESSENTERET

GULLGRAVERNE SOM KOM TIL CALIFORNIA PÅ MIDTEN AV 1800-TALLET FIKK SE FRÅDENDE ELVER BRØYTE SEG GJENNOM ØRKENSAND. TØRRE OG VÅTE PERIODER AVLØSTE HVERANDRE, SLIK DE HAR GJORT DE SISTE HUNDREÅRENE. DET HAR IKKE ALLTID VÆRT SLIK, OG FREMTIDEN KAN BLI TØRRERE.



ELVELØP: Det har vært knusktørt i California det siste året. I deler av staten har det vært tørt helt siden 1999.
Foto: Jill Johannessen

Ved hjelp av gamle trær og rester av trær har amerikanske forskere kunnet rekonstruere klimaet i Nord-Amerika hele to tusen år tilbake i tid. Årlige treringer forteller om hvilke forhold trærne vokste i til ulike tider. Ulike arter påvirkes ulikt – noen mest av temperatur, andre av tilgangen til vann. Det har gjort det mulig å lage et historisk atlas over tørke.

Dataene viser at det har vært eksepsjonelt tørt de siste årene, men at denne tørken foreløpig blekner sammenlignet med megatørke i middelalderen. Fremtidens tørke kan bli verre enn noen av dem.

Svært tørt nå

At det har vært tørt i sørvestlige deler av USA de siste årene, er det ingen tvil om. Men hvor tørt, sammenlignet med tidligere tider? Basert på treringdata har to amerikanske forskere konkludert med at 2014 sannsynligvis var det tørreste året i California de siste 1200 år. Det har ikke vært det året med minst regn, men lite regn i kombinasjon med høy temperatur har gjort at jordsmonnet har fått mindre vann enn i noe tidligere år.

Hvor tørr jorden blir, avhenger ikke bare av hvor mye det regner, men også av hvor det blir av regnvannet. Jo varmere det er, jo mer vann vil fordampe og forsvinne ut i luften igjen, uten å være til nytte for verken avlinger, husholdninger eller industri. Når det regner lite, blir det enda tørrere hvis det i tillegg er varmt.

Og 2014 var det varmeste året som er observert i California. På toppen av dette har lite snø i fjellene de siste vintrene gjort at det har vært lite smeltevann i elvene om våren og sommeren. Utviklingen av landbruk, industri og økt befolkningstall har ført til at behovet for vann er større enn noensinne. I perioder som nå, da forbruket er større enn tilførselen, tærer man på reservene.

Velstanden utviklet i våt epoke

«En våt epoke kan gå mot slutten», skrev The New York Times i april, med henvisning til tørken i California de siste årene. Artikkelen påpeker at California, med sine 39 millioner innbyggere og en økonomi som ville falle inn blant verdens ti rikeste land, har fått bygge seg opp under uvanlig gode forhold. At «the golden state» har kunnet bli USAs ledende produsent av frukt og grønnsaker, kan skyldes at det var uvanlig vått på 1800- og 1900-tallet, sammenlignet med gjennomsnittet for de siste to tusen årene.

I 1848 ble det funnet gull i California. Det førte til at staten ble opprettet og til at 300 000 mennesker strømmet til med skip og prærievogner. San Francisco vokste fra under 1000 innbyggere i 1848 til 25 000 i 1849. Gullgraverne, de såkalte forty-niners, fikk oppleve et klima med stor variasjon.

I januar 1850 regnet det så mye at Sacramento kunne minne om Venezia. Men i mangel av gondoler, måtte gullgraverne stake seg gjennom de oversvømmede gatene i prærievogner uten hjul, bakstetrau og flåter laget av whiskytønner. Det neste tiåret fulgte den ene flommen etter den andre.

Tørken overtok i 1862–65. Det regnet minimalt, ikke nok til å få gresset til å gro, og store kvegflokker døde av sult. Slettene var overstrødd av beinrester. Men ved Anaheim, midt i tørkelandskapet, var det en grønn oase: vingårdene. Druene var så viktige at de ble holdt i live av kunstig vanning og en mann til hest. Han skulle forhindre de sultne oksene på utsiden i å bryte seg gjennom gjerdet. Også senere, blant annet på 1930- og 1950-tallet, var det utstrakt tørke i sørvestlige deler av USA. Men et kjennetegn for de siste hundreårene er at tørkeår har blitt avløst av våtere perioder. Dermed har innsjøer og grunnvannsreservoarer fått fylle seg opp mellom hver tørkeperiode.

Megatørt i middelalderen

Det har vært knusktørt det siste året, og i deler av California har det vært tørt helt siden 1999. Likevel blekner nåtidens tørke mot megatørkene i middelalderen. Treringdata for de siste 1200 årene indikerer at det har vært mer enn hundre år lange perioder med økt uttørking i sentrale og vestlige deler av Nord-Amerika. Aller verst var det rundt midten av 1100-tallet. Da var nesten hele det vestlige USA og nordlige deler av Mexico berørt. En studie av ulike rekonstruksjoner av temperatur- og vannføringsdata i elvene Colorado River og Sacramento River viser at de verste tørkeperiodene gjennom tidene har oppstått i perioder da temperaturen har vært høyere enn ellers. I den varme perioden i middelalderen, år 900–1300, var det varmt på den nordlige halvkule. Innstrålingen fra solen var høy, og det var få vulkanutbrudd, som vanligvis bidrar til å avkjøle jordkloden. Episodene fra middelalderen viser at tørke i det sørvestlige USA kan vare i mange tiår, kanskje også hundreår. Hvis så lange perioder med like lite regn skulle oppstå i fremtiden – med høyere temperatur – vil fordampningen tørke ut jorden enda mer enn i middelalderen.

Risikoen for tørke øker

Det kan bli mindre druer, bomull, brokkoli og appelsiner fra gårdene i California i fremtiden. Risikoen for alvorlig tørke i sørvestlige og sentrale deler av USA øker. Det viser en artikkel publisert i Science Advances i februar i år. Forskerne bak studien har sammenlignet treringdata og andre observasjoner med jordfuktigheten i 18 forskjellige klimamodeller frem til år 2099. I den siste halvdel av århundret er jorden i klimamodellene tørrere enn noen gang tidligere observert, både i historisk tid og i den tørre middelalderen.

De 18 modellene er jevnt over enige om at tørkefaren øker, først og fremst fordi høyere temperatur øker fordampningen. Om det vil bli mer eller mindre nedbør er usikkert, men nesten alle modellene viser at jorden vil bli tørrere når det regner lite. Selv på steder der modellene gir mer vinternedbør, er temperaturstigningen så høy at det ekstra vannet fordamper før det kan brukes til noe.

Mexico skylder USA vann

I California diskuteres det om det er en god eller dårlig idé å bytte ut gressplen med svømmebasseng, og Hollywood-kjendisene beskylder hverandre for å ha for grønne hager. Som nasjon har USA heldigvis gjort mer for å unngå nabokrangler.

I 1944 inngikk USA og Mexico en avtale om å dele på vannet i elvene som renner gjennom de tørre områdene på hver side av grensen mellom de to landene. Avtalen krever at USA skal gi Mexico vann fra Colorado River og den nordvestlige delen av Rio Grande, mens Mexico må gi USA vann fra den sørøstlige delen av Rio Grande. Regnskapet for Rio Grande gjøres opp hvert femte år, og nå mener USA

at Mexico skylder dem vann. Ifølge en rapport til den amerikanske kongressen, lå de etter med 24 prosent i oktober 2014, ett år før utløpet av regnskapsperioden.

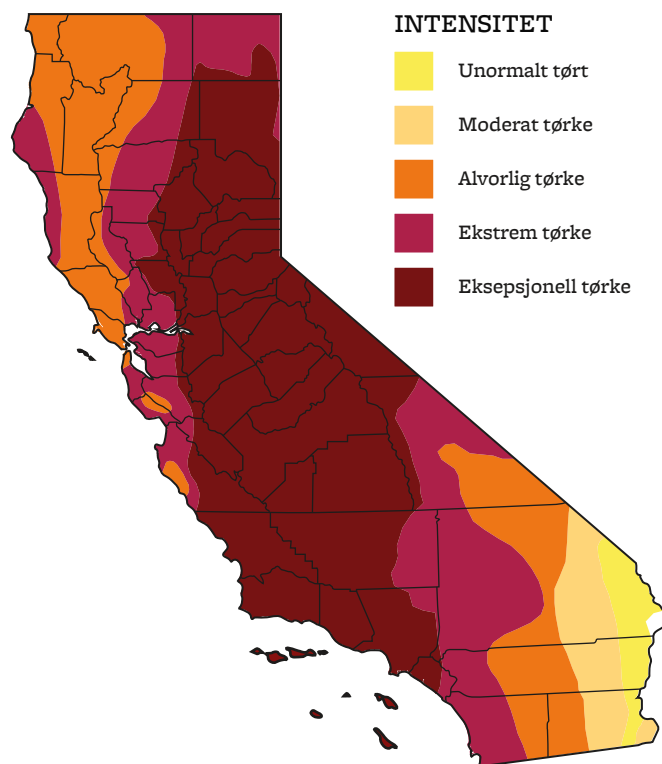
Meksikanerne er ikke uenige i at de skylder USA vann, men hevder at deres egen vannmangel, med mindre nedbør enn normalt siden 1994, fritar dem for leveringskravet. Amerikanerne mener derimot det ikke har vært tørt nok i Mexico de siste årene, og ingen tørke av betydning siden 2012.

Behovet for vann i den sørøstlige delen av Rio Grande er større enn den tilgjengelige vannmengden. Det har økt i begge land, men mest på den meksikanske siden av grensen, der landbruksindustrien og bruk av kunstig vanning ble utvidet kraftig mellom 1965 og 1994. På den amerikanske siden har ikke økningen vært like stor, i og med at landbruket allerede var godt etablert før avtalen ble inngått. Men befolkningstallet har økt på begge sider av grensen.

Hvis ekstraordinær tørke gjør at Mexico ikke klarer å levere nok vann i denne femårsperioden, har de mulighet til å gjøre opp for seg i neste periode. Men uenighet om avtalen skaper uansett utfordringer for diplomatiet og for organisasjonen de to landene har opprettet for å håndtere delingen av vannet.

Skulle de langvarige tørkeperiodene fra middelalderen gjenta seg, ville det bli enda mindre vann å fordele mellom de to naboene.

TØRKE I CALIFORNIA: Illustrasjonen viser tørkesituasjonen i California per 28. juli 2015. Denne dagen var over 70 prosent av statens landareal rammet av enten ekstrem eller eksepsjonell tørke. KILDE: Kartet er utarbeidet av United States Drought Monitor. <http://droughtmonitor.unl.edu>.



KILDER:

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/LDEO/TRL/NADA2004/pdsi-atlas.html> | Carter et al. 2015: U.S.-Mexico water sharing: Background and recent developments. Congressional Research Service. | Cook et al. 2015: Unprecedented 21st century drought risk in Southwest and Central Plains. Science Advances. | Griffin og Anchukaitis, 2014: How unusual is the 2012–2014 California drought? GRL. | Guinn, 1890: Exceptional years, a history of California floods and drought. Historical society of Southern California. | Woodhouse et al., 2010: A 1200-year perspective of 21st century drought in southwestern North America. PNAS.

CO₂ I ATMOSFÆREN I 2014

397,2 PPM

+ 1,9

SAMMENLIGNET MED 2013

Tallene viser globalt gjennomsnitt og er hentet fra NOAA/ Earth System Research Laboratory.

Øker stadig: Innholdet av CO₂ i atmosfæren måles i deler per million (engelsk: parts per million - ppm). På grunn av størst plantevekst når det er sommer på den nordlige halvkulen, er nivået høyest om våren og lavest om høsten.

Konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren er nå den høyeste på millioner av år. En viktig forskjell sammenlignet med tidligere tider, er at man nå endrer CO₂ innholdet i en fart man aldri tidligere har sett.

CO₂ -MÅLINGER 2015 (ppm - parts per million)

JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP
399,3	399,9	400,4	400,8	400,6	399,8	398,1	396,8	397,0

Tallene viser globalt gjennomsnitt og er hentet fra NOAA/ Earth System Research Laboratory.

PPM - ENHET FOR MENGDE CO₂ I ATMOSFÆREN

Mange forskere regner 350 ppm CO₂ i atmosfæren som en øvre forsvarlig grense for mengde CO₂. Mer karbondioksid enn dette vil gi konsekvenser til klimaet. I 1988 passerte vi denne grensen, og i mars 2015 passerte det globale gjennomsnittet av CO₂ i atmosfæren for første gang 400 ppm. I 2012 og i 2013 passerte man denne symbolske grensen i noen lokale regioner.

HVOR BLIR CO₂-UTSLIPPENE AV?



45%

CO₂ LAGRES I ATMOSFÆREN OG BIDRAR TIL GLOBAL OPPVARMING



29%

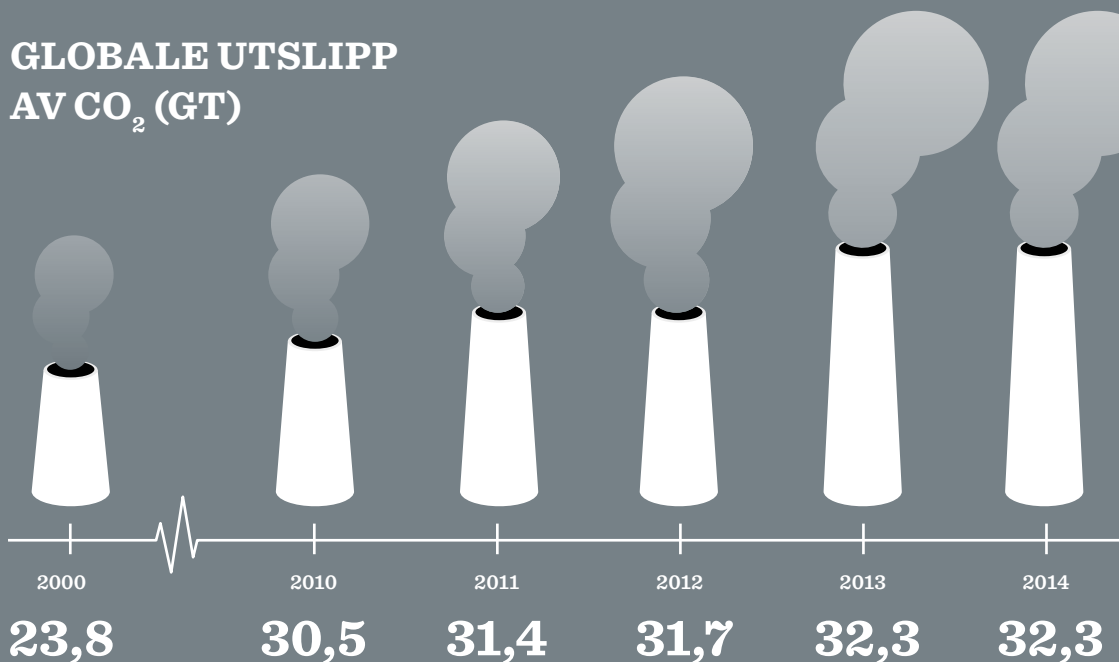
CO₂ TAS OPP AV PLANTER OG PÅ LANDJORDEN



26%

CO₂ TAS OPP AV HAVET

GLOBALE UTSLIPP AV CO₂ (GT)



HISTORISK UTFLATING: Oversikten viser globale energirelaterte CO₂-utslipp og er hentet fra Det internasjonale energibyrået (IEA). CO₂-utslipp fra energisektoren dekker nesten 70 prosent av verdens samlede klimagassutslipp. I tillegg kommer utslipp fra særlig sementproduksjon og avskoging. Enheten er i milliarder tonn CO₂.

I 2014 flatet utslippene av CO₂ ut sammenlignet med året før, selv om verdensøkonomien vokste. To viktige forklaringer er redusert kullforbruk i Kina og kraftig vekst i fornybar energi.

SOMMERSNØEN SMELTER

-42 %

Snødekket på nordlige halvkule ble i juni 2015 målt til 5,43 millioner kvadratkilometer. Det er 42 prosent under 1981-2010-normalen og det nest minste som noensinne er målt. Tendensen fra 1967-2015 er en nedgang på 13,5 prosent snødekt land per tiår.

KILDE: NOAA National Centers for Environmental Information. Data from Rutgers University



ISBREEN KRYMPER

-73 cm

Verdens isbreer smelter stadig hurtigere. I tidsrommet 1980 til 2014 har verdens isbreer i gjennomsnitt blitt 18,5 meter lavere. I 1980-årene smeltet breene 22 cm per år, i 1990-årene 39 cm per år, og etter 2000 har breene smeltet hele 73 cm per år.

KILDE: BAMS State of the climate 2014



ARKTIS SJØIS FORSVINNER

-29 %

Sjøisutbredelse i Arktis for sep 2015 (gjennomsnitt for mnd) var 4,63 mill kvadratkilometer, 1,87 million kvadratkilometer (29%) under 1981-2010 normalen og 4. laveste som er målt.

KILDE: National Snow and Ice data Centre, <http://nsidc.org/arcticseaicenews/>



LUFTLAGENE VARMES

+0,5°C

Luften varmes opp ikke bare ved bakken. Ved hjelp av satellitter kan temperaturen måles høyere oppe i atmosfæren. Målinger fra 3-5 kilometers høyde viser at 2014 var litt varmere enn året før, og at i løpet av perioden hvor vi har satellittdata, fra 1978 til 2014, er det blitt ca 0,5 grader varmere.

KILDE: Bjerknessenteret/ Helge Drange

TEMPERATUREN PÅ JORDEN STIGER

+0,69°C

Gjennomsnittstemperaturen på jorda i 2014 var 14,59 °C. Det er 0,69 °C høyere enn snittet for perioden 1901-2000, som er på 13,9 °C. Verdien er beregnet ut fra millioner av enkeltmålinger på land og i havoverflaten, og har aldri vært målt høyere enn i 2014.

KILDE: NOAA State of the Climate 2014

TEMPERATUREN OVER LAND ØKER

+1°C

Temperaturen øker raskere over land enn over havet. Middelttemperaturen over land i hele 2014 var på 9,55 °C. Dette er den fjerde høyeste middeltemperatur som har vært målt. I perioden 1901-2000 var gjennomsnittet 8,5 °C over land over hele kloden.

KILDE: NOAA State of the Climate 2014

HAVOVERFLATEN BLIR VARMERE

+0,57°C

Havoverflaten blir stadig varmere. I 2014 var temperaturen i snitt i verdenshavene på 16,67 °C. Dette er det høyeste som har vært målt, og er 0,57 °C høyere enn gjennomsnittet for perioden 1901-2000.

KILDE: NOAA State of the Climate 2014

HAVET STIGER

+22 cm

Satellittdata og direkte målinger langs verdens kyster viser at havet har steget ca 22 cm siden starten av det forrige århundret. De siste årene har havstigningen vært ca 3,3 mm per år og hastigheten forventes å øke ettersom det blir varmere og isen vil smelte raskere utover i dette århundret. Havet stiger både på grunn av smelting av is som ligger på land, og på grunn av at vannet utvider seg når det blir varmet opp.

KILDE: Bjerknessenteret

HAVET BLIR SURERE

+26 %

Siden førindustriell tid har konsentrasjonen av hydrogenioner i havet økt med 26 prosent. Det tilsvarer en reduksjon i pH-verdi med 0,1 pH-enheter. Når CO₂ tas opp av havet skjer en kjemisk reaksjon som produserer hydrogenioner (H⁺). Havforsuring innebærer en høyere konsentrasjon av H⁺, og en endring av den kjemiske balansen i havets karbonkretsløp. Dette kan ha negative konsekvenser for skjell og koraller, siden lavere pH tærer på kalk. Produksjon av skjell vil bli vanskeligere og det blir mer energikrevende å vedlikeholde balansen mellom produksjon og erosjon av skjellene.

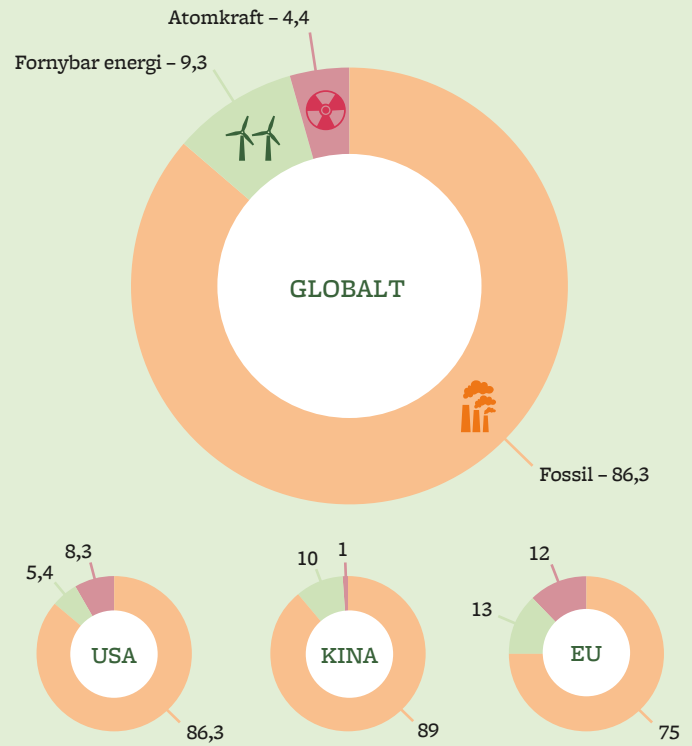
NY ENERGI VINNER FREM

- ENERGISYSTEMET ER FREMDELES DOMINERT AV FOSSIL ENERGI.
- DET BYGGES NÅ MER FORNYBAR KRAFTKAPASITET ENN FOSSIL. VANNKRAFT ER KLART STØRST BLANT DE FORNYBARE ENERGIKILDENE. MEN VEKSTEN ER STØRST INNEN SOL OG VIND.
- DE GLOBALE FORNYBARINVESTERINGENE NÅDDE I 2014 SITT NEST HØYESTE NIVÅ NOENSINNE. KINA TILTREKKER SEG OVER 30 PROSENT AV INVESTERINGENE.

ENERGIFORBRUK

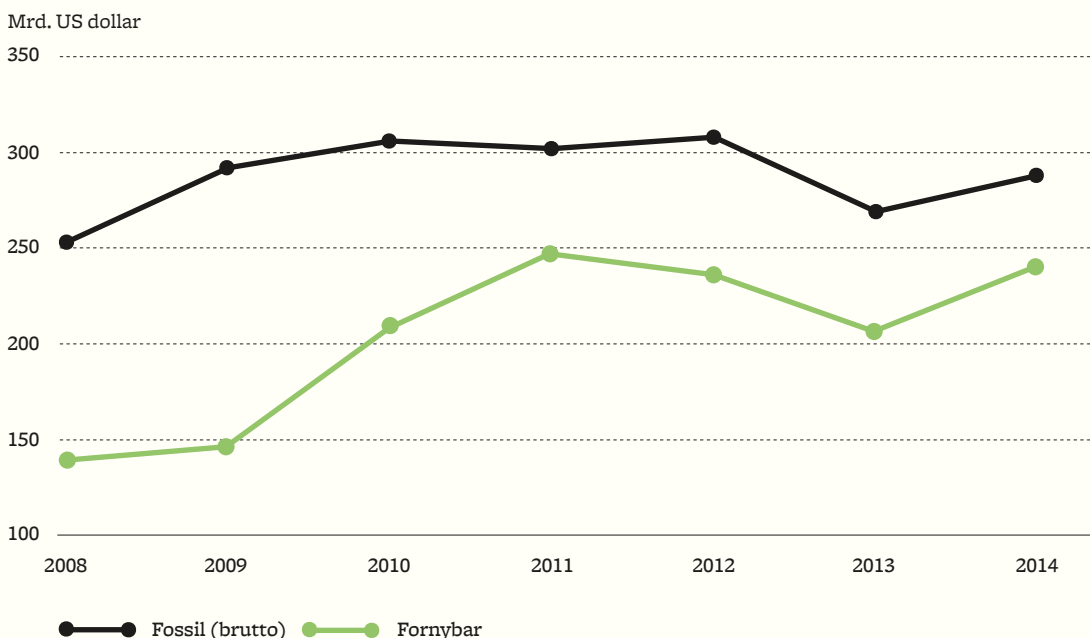
FORTSATT FOSSILAVHENGIG: Estimerte prosentandeler for ulike energikilder av primært energiforbruk 2014.

KILDE: BP Statistical Review 2015



FORNYBAR MOT FOSSIL

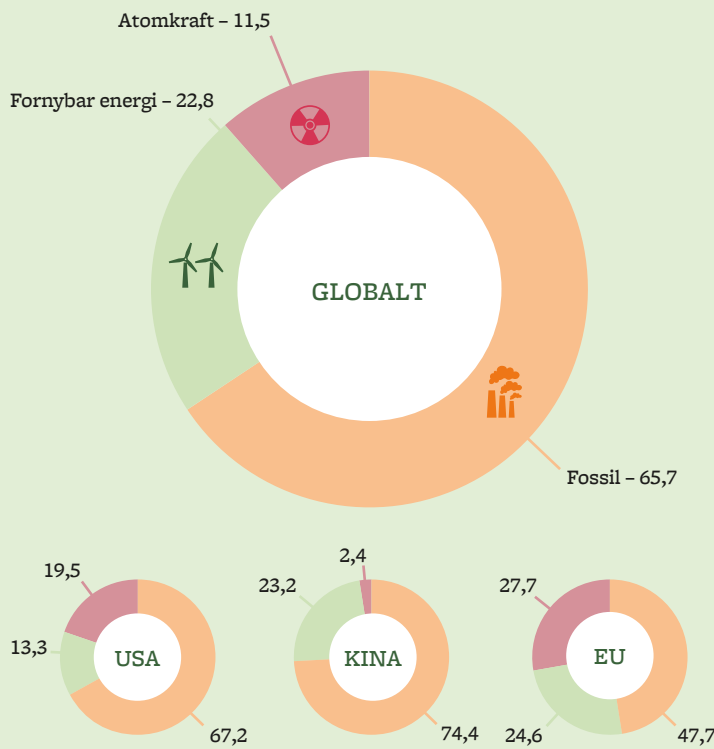
GAPET MINKER: Investeringer i ny fornybar kraftkapasitet og ny fossil kraftkapasitet (brutto), i milliarder am. dollar. Grafen bygger på tall fra Bloomberg New Energy Finance (BNEF) og inkluderer ikke stor vannkraft (over 50 MW), selv om vannkraft er den tredje største fornybarsektoren etter sol og vind. BNEF anslår at de globale vannkraftinvesteringene i 2014 utgjorde minst 31 milliarder am. dollar. KILDE: Frankfurt School-UNEP Centre / BNEF (2015)



KRAFTPRODUKSJON

FORNYBAR LILLEBROR: Estimerte prosentandeler for ulike energikilder av global produksjon av elektrisk kraft 2014.

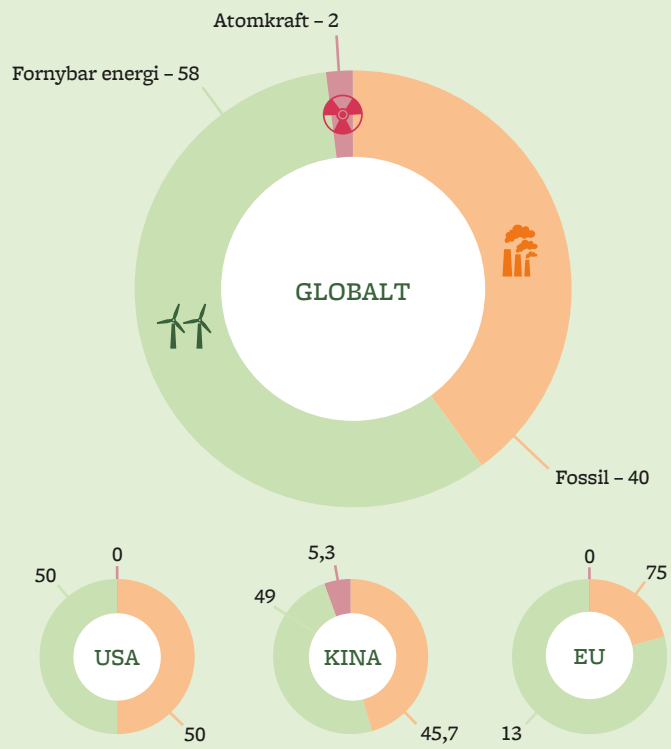
KILDE: REN21 (GSR 2015), EIA (Electric Power Monthly, September 2015), Eurostat, EurObserver (Photovoltaic Barometer, 2015), China Electricity Council og IAEA



NY KAPASITET

FORNYBAR VOKSER MEST: Estimerte prosentandeler for ulike energikilder av nyinntallert kraftkapasitet 2014.

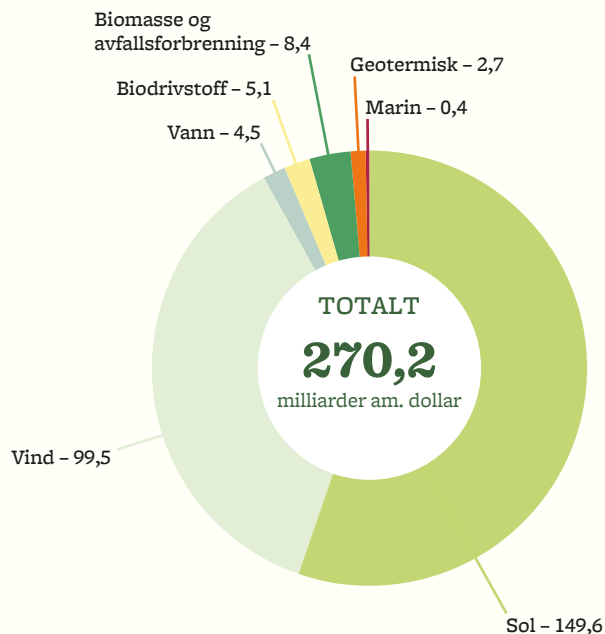
KILDE: REN21 (GSR 2015), IAEA, Ferc.gov (Energy Infrastructure Update, December 2014), EWEA og China Electricity Council



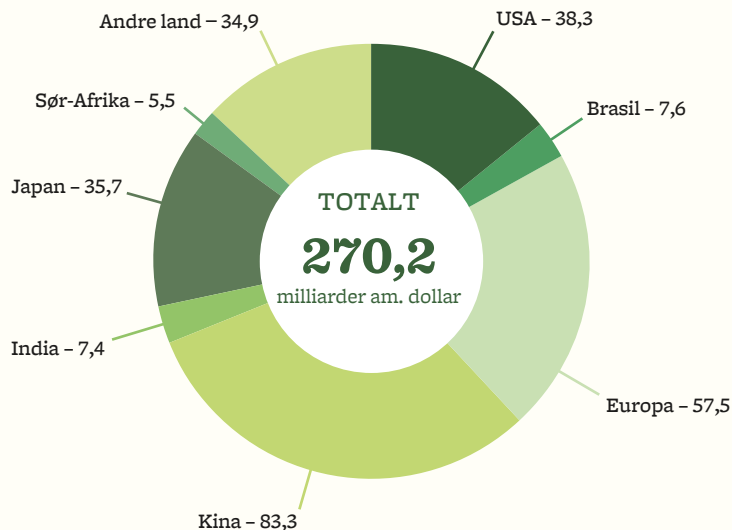
GLOBALA FORNYBARINVESTETERINGER 2014

HVOR GÅR PENGENE?: De globale investeringer i fornybar energi og drivstoff passerte 270 milliarder am. dollar i 2014, opp fra 232 milliarder i 2013. Investeringer i stor vannkraft (over 50MW), som BNEF mener beløpte seg til mer enn 30 milliarder am. dollar, er ikke inkludert. Figuren viser hvordan investeringene fordelte seg mellom energiteknologier og land. KILDE: REN21 (GSR 2015)

TEKNOLOGI



GEOGRAFI



STERKE KREFTER BREMSER ENDRING

ANDERS BJARTNES | NORSK KLIMASTIFTELSE

OVERGANGEN TIL LAVUTSLIPPSSAMFUNNET ER EN AV DE STØRSTE OMLEGGINGER VI HAR SETT I VERDENSHISTORIEN.

Men motkreftene er mange og sterke, forklarer NTNU-forsker Espen Moe. Hindre og bremseklosser for omstilling er hans forskningsfelt. Med ham som guide skal vi se på fire viktige land: Japan, Tyskland, USA og Kina.

«Vested interests» er hans forskningsfelt. Det er vanskelig å finne et godt ord på norsk. Det er noe annet enn «særinteresser». Det handler om aktører som støtter seg på institusjoner og organisasjoner som virker i de etablertes tjeneste – reguleringer og økonomiske strukturer, inngrodde oppfatninger, departementer og direktorater. Sammen utgjør dette et system som motsetter seg endringer de oppfatter som truende. Innenfor energifeltet er det nullutslippssløsningene og teknologiske, økonomiske og politiske virkemidler som kan hjelpe dem frem, som er trusselen. Mye vil bli snudd på hodet.

Espen Moe tror landene som klarer å kontrollere sine «vested interests» er best i stand til å foreta skiftet.

Japan

Japan er en stor utslippsnasjon som importerer all sin fossile energi. De har med andre ord gode grunner til å omstille energi-



ESPEN MOE

Espen Moe er førsteamanuensis ved Institutt for sosiologi og statsvitenskap, NTNU. Hans forskningsfelt er «vested interests» – etablerte interesser/særinteresser.

sektoren i klimariktig retning, ikke minst i lys av Fukushima-ulykken. Den omfattende importen av fossilenergi tynger handelsbalansen. Japanske selskaper var tidlig ute med solenergi, men energiomstillingen går likevel veldig trått.

Dette skyldes ifølge Espen Moe i stor grad de etablerte interessenes makt.

- Kraftselskapene, som har stor politisk innflytelse, vil ikke ha vindkraft. De ser at folketallet vil gå ned og at behovet for elektrisitet faller. Hvorfor gjøre det vanskeligere for seg selv ved å slippe til en konkurrent, sier Moe.

I Japan står kjernekraft, kull og gass, veldig sterkt. Sektoren har stor politisk innflytelse. Japan har ti regionale elektrisitetsselskaper som i praksis har monopol både på kraftproduksjon og nett i sine områder. Også tekniske forhold, som spenningen i nettet, hindrer friere konkurranse og stenger nykommere ute.

- Etter Fukushima er det bygd ut mye solenergi, men så har elektrisitetssektoren satt foten ned. Den hevder også at vind og sol ikke er til å stole på – i motsetning til tradisjonell kraftproduksjon basert på kull, sier han.

Tyskland

Tyskland er ifølge Espen Moe landet som har kommet lengst i å bryte opp det gamle regimet. Sterk politisk konsensus og folkelig støtte til Energiewende har gjort det mulig. Der finnes et mulighetsrom som ikke er tilstede for eksempel i USA.

- Land som har stor grad av politisk konsensus kan få til endring. Da blir ikke endringene noe som kan utnyttes i valgkamper. Det er sjelden upopulært å være for et renere samfunn i Tyskland, sier han.

I Tyskland er Sosialdemokratene i SPD og Kristeligdemokratene i CDU stort sett enige, og den tyske befolkningen er mot atomkraft og for miljøvern.

Under slike forhold er det mulig å ta beslutninger som går på tvers av store markedsaktørers interesser, mener Moe – til tross for at Tysklands Energiewende koster forbrukerne mye. I 2014 kostet støttesystemene for sol og vind 24 milliarder euro.

Husholdninger setter solceller på taket og selger strøm tilbake til nettet. Skiftet er langt fra problemfritt. Selv om det blir mer desentral produksjon av sol og vind, kreves likevel sterkere nett og det koster. Mye fornybar energi stiller store krav til kraftlinjene også når elektrisitetsproduksjonen blir mer desentral, fordi sol og vind leverer mye mer variabel kraft.

- Tyskland har kommet lengst i retning av en «prosumer»-revolusjon (producer+consumer=prosumer) basert på solenergi, sier Moe.

Tyskland er landet hvor sol i størst grad er blitt en «disruptive technology». Den er desentral og utfordrer derfor klassisk sentralisert kraftproduksjon med lange overføringslinjer. Den tar fortjenesten bort fra kraftselskapene (selger til og med strøm tilbake til nettet). Dette fører til at de tyske kraftselskapene har de største underskuddene noensinne. Men samtidig trenger vi strømmettet, og vi trenger et forbedret nett fordi vi skal fortsette å fase inn mer fornybar energi. Denne utbyggingen er det kraftselskapene, med sine store underskudd, som normalt bekoster. Systemet rives i forskjellige retninger. Sluttresultatet er ikke opplagt.

USA

USA er veldig forskjellig fra Tyskland. Det er ikke konsensus i klima- og energipolitikken. Det republikanske partiet mot er mot «alt» som smaker av skjerpet klimapolitikk.

- I USA er systemet, særlig Senatet, i stand til å blokkere alt. Derfor forsøker president Obama å styre gjennom en sektor som er unndratt politisk kontroll. Helt siden Nixon,

tidlig på syttitallet, har Environmental Protection Agency (Forurensningstilsynet) regulert, kontrollert og vurdert utslipp. CO₂ er innenfor mandatet. Det har amerikansk høyesterett bekreftet, forklarer Espen Moe. Obamas vei, med utslippsreguleringer gjennom byråkratiet heller enn for eksempel karbonprising, innebærer det Moe kaller «teknokratisk problemløsning heller enn politikk». Å få til endring gjennom politikk som bestemmes sentralt i Washington er umulig. Samtidig virker andre krefter i det amerikanske systemet sterkt i retning av endring.

For eksempel er Forsvarsdepartementet en sterk drivkraft. De militære lederne vil ha systemer som fungerer i felt, og er derfor langt fremme når det gjelder bruk av solenergi i såkalte microgrids.

Moe legger også vekt på at det er en stor statlig satsing på forskning, blant annet gjennom Department of Energy.

Enkelte stater, som California, driver endringer frem gjennom kvotesystemer og ulike reguleringer.

Det er også sterke tegn til at teknologi- og markedsdrevne endringer «nedenfra» skalerer utbyggingen, for eksempel av solenergi på private hus.

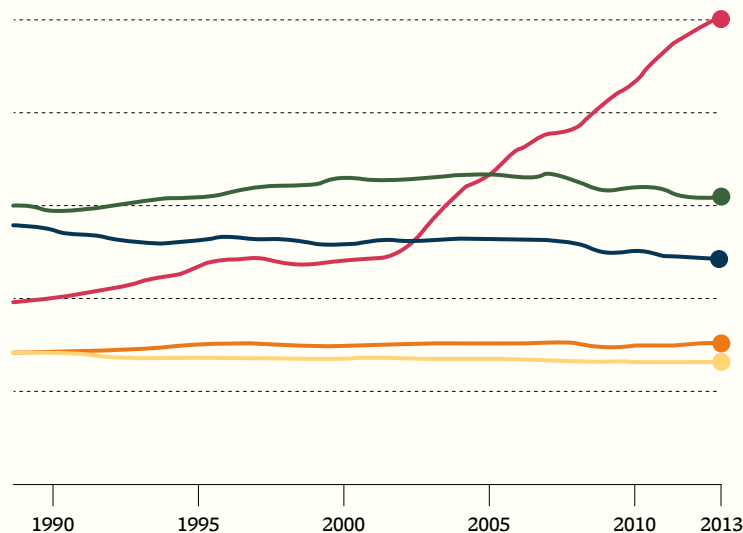
– Ingenting virker bedre enn markeds-mekanismer når de først fungerer, sier Espen Moe.

Kina

Ingen land bygger ut så mye fornybar energi som kineserne, men den utnyttes ikke alltid like godt. Espen Moe viser til at det er manges inntrykk at de sentrale myndighetene har stålkontroll. Det har de i en viss forstand, men lenger ut og ned i systemene er ikke alt like lett.

Espen Moe forklarer at incentiv-systemet i Kina har stimulert bygging av kapasitet, heller enn produksjon av elektrisitet.

– I Kina har det politiske incentivet vært at man skal installere så mye som mulig så fort som mulig. I enkelte tilfeller har vindmøller vært bygd 150 kilometer fra nærmeste kraftledning. Dette gir et stort spill av ressurser. Målt som installert kapasitet, har Kina 75 prosent mer vindkraft enn USA. Men amerikanerne produserer likevel 20 prosent mer elektrisitet.



	KINA	9977
	TYSKLAND	759
	JAPAN	1246
	USA	5233
	EU	3483

Denne grafen viser utviklingen i CO₂-utslippene i Kina, USA, Japan, Tyskland og EU. Utslippene i Kina har eksplodert de siste 15 årene. Tallene i den nederste grafen viser utslipp i millioner tonn.

KILDE: Global Carbon Atlas

Forklaringen er både at den amerikanske teknologien er bedre enn kinesernes, men også at store deler av Kinas vindkraft ikke er koblet godt til nettet.

Espen Moe sier at den kinesiske fornybarpolitikken startet som industripolitikk. For vind handlet det om å skape en ny industriell sektor. Innen solenergi satset kineserne på å ta det europeiske markedet.

– Da det europeiske markedet crashet, ble det utviklet et hjemmemarked for sol i Kina. Trinnene er altså industripolitikk, så energipolitikk/energisikkerhetspolitikk med aspekter av klimapolitikk, sier han.

– Kineserne mener at dette også er klimapolitikk – de ser kostnadene ved forurensning, både for kloden og med tanke på å bevare den «sosiale harmonien». Det er få ting den jevne mann i Kina irriterer seg mer over enn forurensning.

Fremover mener Espen Moe det blir avgjørende hvordan aktørene i det kinesiske samfunnet takler at «alt» ikke lenger vokser i rekordtempo.

– I Kina har så langt alt vært «enkelt». Med økonomisk vekst på 9–10 prosent er det nok til alle. Det er rom for mer olje, gass, kjernekraft, kull, vindkraft, sol. Fremover vil vi få se hva som skjer når andre energikilder skal

vokse på bekostning av kullet, sier han.

Voldsom endring

Voldsomme endringer må gjennomføres de nærmeste tiårene hvis verdens energiforbruk skal legges om i tråd med togradersmålets krav. Overgangen handler om teknologi, økonomi og politikk. Førsteamanuensis Espen Moe ved NTNUs senter for industriell økologi ser i hovedsak på det politiske hjørnet i dette triangelet.

«Ingenting virker bedre enn markeds-mekanismer når de først fungerer.»

– Politikken er ofte vanskelig å overskue. Den er mye mer irrasjonell enn både teknologien og økonomien, sier Espen Moe.

– Den økonomiske og teknologiske logikken fremstår ofte som mye mer «logisk» enn den politiske. Den politiske handler i mye større grad om å skape og utnytte muligheter. Og ofte kommer de rekende på en fjøl, som Fukushima – store eksterne sjokk som gjør det mulig å stake ut en ny kurs fordi oppfatningen om verden plutselig forandrer seg så mye at ingen aktører lenger er sterke nok til å blokkere endring. Slike potensial må utnyttes mens de er der, sier han.

HAVVIND PÅ KOSTNADSJAKT

ANDERS BJARTES | NORSK KLIMASTIFTELSE

OFFSHORE VINDKRAFT BLIR BILLIGERE. KOSTNADENE ER PÅ VEI NED.

Norske aktører har svært mye å bidra med i den videre utviklingen, mener John Olav Tande – direktør for forskningssenteret Nowitech.

Offshore vind har i mange år vært pekt ut som en sektor der norske aktører har viktige fortrinn i lys av kompetansen fra maritime næringer og petroleumsutvinning til havs. Forskningssentrene Nowitech og Norcowe har siden 2009 drevet forskning med sikte på forbedringer og kostnadsreduksjoner.

Stort potensial

John Olav Tande mener potensialet for Norge er stort – dersom forskningen, politikken og næringslivet spiller sammen.

– Offshore vind er en relativt kostbar teknologi. Det er imidlertid ingen grunn til at den skal være så dyr som i dag, sier Tande.

Forskningen på offshore vind ble styrket fra 2008-09, en periode leverandørindustrien innen olje og gass var bekymret for om det ville være nok å gjøre. Derfor var interessen stor fra virksomheter som ville skaffe seg et fornybart ben å stå på. Så kom investeringsboomen i norsk oljesektor – og interessen for offshore vind dalte. Det fantes ingen ledige hender. Med oljeprisfallet og nedgangen i olje og gass er bildet annerledes. I 2015 ser flere leverandørbedrifter igjen mot offshore vind. Politikken er også viktig, mener han.

Daværende olje- og energiminister Åslaug Haga hadde store visjoner. De ble delvis fulgt opp av etterfølgeren, Terje Riis-Johansen. Så ble det full stopp under Ola Borten Moe.

– Mange selskaper falt av da de så at det ikke ville bli noen utbygging i Norge.

I lys av oljesmellen tror John Olav Tande at flere leverandørbedrifter innen olje og gass vil rette søkelyset mot offshore vind, både i Norge og ellers rundt Nordsjøen.

– Mer konkurranse betyr lavere kostnader. Mange bedrifter har teknologi og kunnskap som kan bidra til å få ned kostnadene, sier han.

Innen forskningen mener han at mer integrert design av vindparkene vil være det neste store.

– Nå er hver vindturbin et eget kraftverk. Vindparken utgjør en gruppe av kraftverk. Spørsmålet er om vi kan gjøre designet enklere. Kanskje kan deler av oppgavene som i dag utføres i hver vindturbin sentraliseres og dermed gi reduserte kostnader. Det er også mye ugjort når det gjelder kontroll, styring og overvåking, sier han.

Målet er å maksimere profitten over levetiden – det betyr at man produserer mest mulig når strømmen er godt betalt og gjør service når den er dårlig betalt. Man kan også spare turbinene når det er lave priser og kjøre hardere når betalingen er god. Det handler om optimering av driften med mest mulig produksjon og lavest mulig slitasje.

Norsk kompetanse

Tande mener norske aktører har mye å bidra med: I konstruksjon og bygging av understell, installasjon, nettilkobling, drift, materialteknologi, offshore operasjoner, vedlikehold – altså i nesten hele verdikjeden.

– Men spørsmålet er om norske fortrinn har et datostempel. Gapet var stort i norsk favør for fem år siden, men vi risikerer å bli tatt igjen. Det er stor offshorekompetanse og ledende miljøer

også i land som Tyskland og Storbritannia. Vi må være innovative og arbeide med de kunnskapskrevende delene, sier han.

Tande viser til at mange forhold kan bidra til å få kostnadene ned: Større turbiner, bedre understell og nett, effektivisering ved installering – og ved drift og vedlikehold.

Europa er i ledelsen. Det er store muligheter for å få til industriell verdiskaping knyttet til en ny næring, sier Tande.

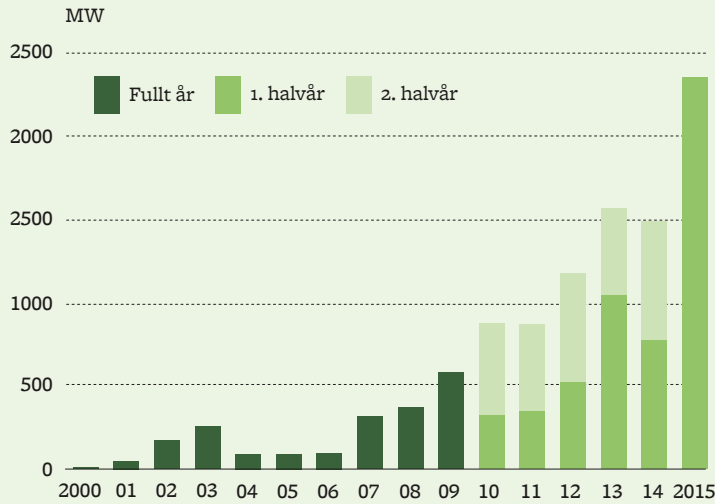
Utbyggingen av offshore vind i Europa har gått saktere enn mange så for seg for noen år siden. Det ble snakket om det i EU ville være omkring 40 GW i 2020. Nå ser det ut til at det samlet i EU vil være bygd ut omkring 30 GW når tiåret er omme.

Svenske Vattenfall satte «prisrekord» da selskapet vant et anbud i Danmark på offshore vind-anlegget Horns Rev 3 for 77 danske øre pr kWh i februar 2015. Tande sier at dette er vesentlig lavere enn i liknende prosjekter i Storbritannia. Forklaringen er dels at staten i Danmark tar større ansvar for å koble vindparker til nettet, dels at man har klart å presse prisene ned.

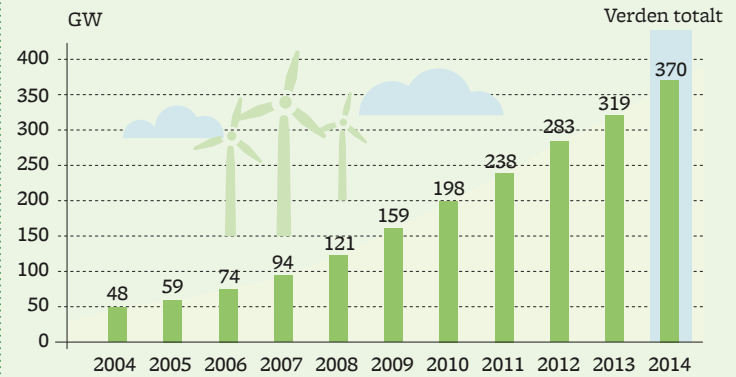
Gode marginer

Tande tror kostnadsreduksjonene har gått saktere enn nødvendig fordi både utbyggere og leverandører har kunnet ta ut relativt gode marginer. Samtidig understreker han at industrien må ha muskler for å drive utvikling og innovasjon.

– Hvem blir sittende med profitten når det betales 1,50 for kilowattimen i Storbritannia, spør han.



OFFSHORE VIND I VEKST. Offshore vindkraft har vokst fra nesten ingenting for ti år siden til i dag å være en betydelig faktor i kraftsektoren i Europa. KILDE: EWEA



TI ÅR MED STERK VEKST. I 2004 var vindkraft en relativt liten industri. Den samlede installerte kapasiteten i hele verden var 48 GW. I 2014 ble det samlet installert 370 GW – altså mer enn det som samlet var bygd ut inntil 2004. KILDE: REN 21 (GSR 2015)

Teknologiutviklingen har gått fort.

– Turbinene er blitt større. Effektivitet i installasjon og drift er bedre. Dette bringer kostnadene ned.

Mens størrelsen på vindturbinene som ble installert for fem-seks år siden var 1,5-3 MW, er det nå turbiner i på 6-8 MW.

Statkraft og Statoil er store aktører i Europa – med betydelige prosjekter i drift og underveis i Storbritannia.

«På 70X70 km til havs vil man kunne produsere nok kraft til å dekke hele Norges nåværende elforbruk.»

Tande peker på at offshore vind er omtrent der vind på land var i 1997–98. Vekstkurvene utvikler seg omtrent på samme måte. Hvis offshore vind fortsetter veksten, vil dette bli en stor industri – med årlige investeringer på flere hundre milliarder kroner.

– Fred. Olsen har nå en markedsandel på 22 prosent når det gjelder installasjon. Det er det mulig å få til dette også innenfor andre sektorer av havvindmarkedet. Jeg mener en norsk markedsandel på 20 % av hele havvindmarked innen 10 år er et realistisk mål. Men det krever en opptrappet systematisk satsning. Vi snakker da om en omsetning i størrelsesorden 100 milliarder kroner for norsk leverandørindustri, sier Tande.

Offshore vinds konkurransefortrinn mot landbasert vindkraft er at det er god plass på

havet, at vinden blåser bedre enn på land, og at offshore vindparker kan plasseres i nærheten av store befolkningsentra – som utenfor London eller store byer i Asia.

– Japan legger nå store ressurser i å utvikle flytende vind. Kina er i gang. India kommer på banen. I USA har det gått ekstremt tregt, men det skjer ting der også.

Offshore vind er den av de «nye» fornybarteknologiene som likner mest på tradisjonell fossil kraftproduksjon eller stor vannkraft. Det er store industriprosjekter med lang planleggings- og byggetid. I kontrast til dette står særlig solenergien med vekt på desentrale løsninger, kort byggetid – i et marked med mange aktører.

Tande tror at det også i fremtiden vil trenge store kraftverk – som fra offshore vind. Han ser det attraktive i at hvert hus kan lage sin egen fornybare energi, men mener det trengs storskala energiproduksjon i tillegg.

– Vi trenger vind både til lands og til havs, sol – og mer effektivisering, sier han.

Et hav av muligheter

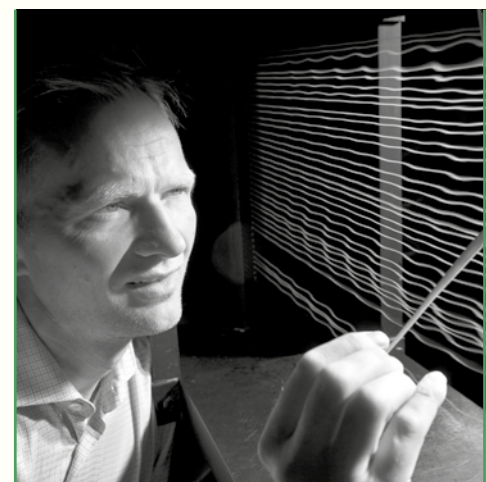
Han minner om at offshore vindkraft – fordi man kan ta i bruk havet – har et enormt potensial. Ved å bruke et område på 70X70 km til havs vil man kunne produsere nok kraft til å dekke hele Norges nåværende elforbruk. Han er overrasket over at Norge ikke har tatt en mer aktiv posisjon i utviklingen. Ved å sette i gang en forsiktig utbygging kunne norsk industri fått drahjelp til å etablere seg internasjonalt

Offshore vind har aldri oppnådd noen virkelig politisk støtte i Norge. Statoil plasserte sin

flytende Hywind-turbin utenfor Karmøy i 2009, men det har ikke vært politisk vilje til å satse mer.

Han mener det bør bygges et demonstrasjonsanlegg for offshore vindkraft i Norge.

– En forsterket satsning på forskning og utvikling av offshore vindkraft demonstrasjonsanlegg vil få frem ny kostnadsbesparende kunnskap, prosesser og teknologier. Norsk eksport av dette gir verdiskaping, lavere kostnad for offshore vindkraft og større utbygging globalt. Vår innsats får altså en multiplikatoreffekt ved at kunnskapen og teknologien vi utvikler kan anvendes globalt til større utbygging – og dermed lavere CO₂-utslipp. Å anvende vår petro-maritime kompetanse på offshore vindkraft er det grønne skiftet i praksis, sier han.



JOHN OLAV TANDE

John Olav Tande er forsker ved Sintef – og direktør for forskningssenteret Nowitech. Han har i mange år arbeidet med offshore vindkraft og vindkraftteknologi.



DANSK VINDKRAFT: Middelgrunden vindpark ved København. FOTO: CMR



RUTENETT: Vindturbinene plasseres ofte i et rutenett. Med den nye metoden kan man raskt beregne energiproduksjonen for ulike plasseringer.

SMÅ ENDRINGER I PLASSERING GIR STORE FORSKJELLER I EFFEKT

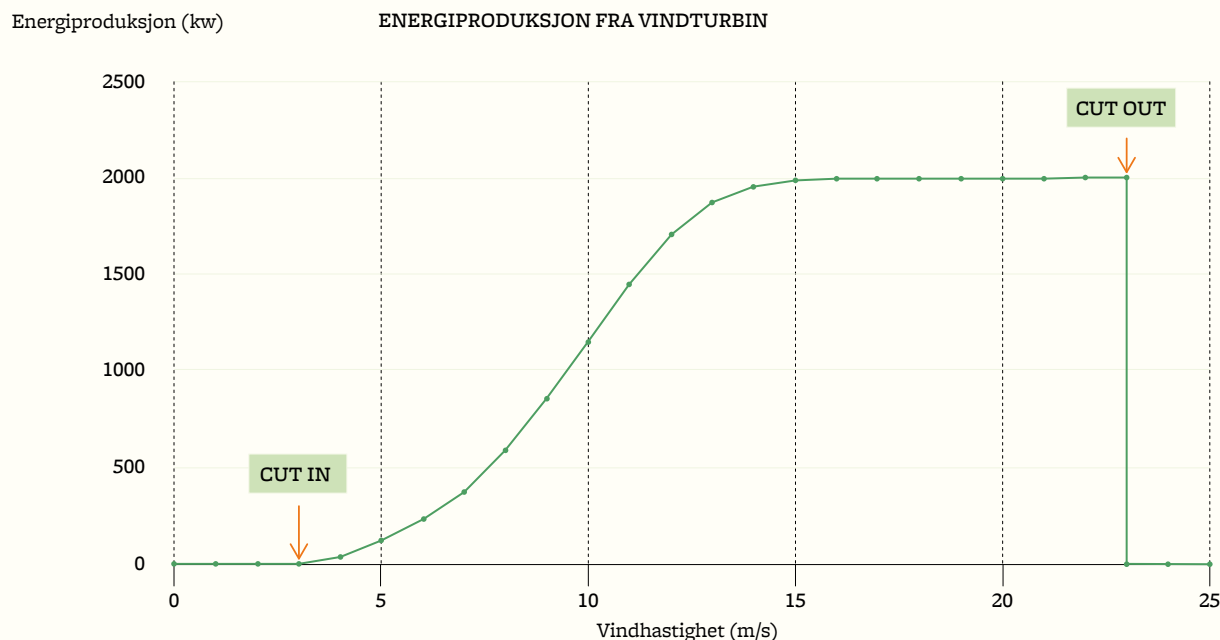
ANNETTE F. STEPHANSEN OG YNGVE HEGGELUND | CHRISTIAN MICHELSEN RESEARCH (CMR)

HVORDAN PLASSER MAN VINDTURBINENE INNENFOR ET GITT OMRÅDE SLIK AT EN OPPNÅR STØRST MULIG ENERGIPRODUKSJON?

Turbulens er et problem som ikke bare er knyttet til ubehagelige flyturer. En uforstyrret horisontalt blåsende vind er unntaket heller enn regelen i en vindpark der turbinene står på rekke og rad, siden hver turbin gir turbulens og svekkelse av vindhastigheten for turbinene bak. Selv små variasjoner i horisontal vindhastighet kan gi store utslag på energiproduksjonen. På figur 1 ser en hvor mye en typisk 2 MW vindturbin produserer i funksjon av vindhastigheten. I dette eksempelet vil det ikke være produksjon hvis vindhastigheten er under 3 m/s eller over 23 m/s, såkalte cut-in og cut-out verdier. En ser også at hvis

vindhastigheten faller fra for eksempel 11 til 10 m/s vil det utgjøre en forskjell på rundt 300 kW. Det er klart at slike fall i produksjonen vil fort gi store økonomiske utslag. Mye arbeid legges derfor ned i å skape nye verktøy for å optimere plasseringen av turbinene.

En beregning av vindfeltet i parken kan gjøres ved å løse de fysiske ligningene for vindhastighet, temperatur og trykk på datamaskin – altså ved bruk av CFD-koder.



FIGUR 1 Eksempel på energiproduksjonen til en vindturbin som funksjon av vindhastigheten.

Detaljerte kontra raske beregninger

I CFD-koden legger man inn modeller av turbinene og løser de tilhørende ligningene for vinden. Hovedproblemet er tid – å beregne vindfeltet med god nok presisjon kan ta dager, og for hver gang en turbin flyttes må hele utregningen gjøres på nytt.

På Christian Michelsen Research (CMR) jobbes det med en ny programvare som skal bruke et utvalg av CFD-beregninger for å løse posisjonsproblemet. Idéen er at dette utvalget av beregninger danner byggeklosser som brukes videre av programvaren. Når man begrenser seg til å bruke disse byggeklossene vil beregningene gå veldig raskt, ofte på bare noen sekunder. Dette gjør det mulig å teste ut et stort antall konfigurasjoner av turbinene på kort tid for å finne den plasseringen som gir størst energiproduksjon.

Men hvordan kan en sikre seg at resultatene blir nøyaktige nok?

Her må utvalget av CFD-kjøringer som gir oss byggeklossene være representativt for problemet en ønsker å se på. Med et uendelig antall utvalgte CFD-kjøringer vil en selvfølgelig få alt det en trenger, men da har en jo allerede løst posisjonsproblemet med CFD. Hvor sier en stopp – er dette et godt nok kompromiss?

Hvis energiproduksjonen blir godt nok estimert kan en overse at vindfeltet ikke er like godt beregnet overalt. Programvaren som er i utvikling er testet med et lite antall turbiner. En av problemstillingene vi har sett på er som følger: vi har en rekke med ti turbiner – hva vil energiproduksjonen for hver turbin være hvis vi justerer avstanden mellom disse?

Vi kjører CFD-simuleringer der distansen mellom turbinene er lik 5 og 9 rotordiameter for å lage grunnleggende byggeklosser for videre beregninger. Kan vi da med vår programvare raskt regne ut hva energiproduksjonen blir når distansen er 7 rotordiameter? Rotordiameteren er avstanden mellom laveste og høyeste punkt som kan nås av den roterende delen av vindturbinen. I vårt tilfelle er det 76 meter.

Lovende resultater

Resultatene er lovende og simuleringene med den nye programvaren er gjort nærmest i sanntid: en kan flytte turbinene og vindfeltet blir nesten umiddelbart oppdatert. Avviket for den totale energiproduksjonen mellom den nye teknikken og CFD ligger typisk på under 3 prosent, som gjør den godt egnet til å optimere plasseringen av turbinene. En kan så verifisere sluttresultatet ved å kjøre en siste CFD-simulering.

Vi har også testet effekten av å dreie vinden, og av å flytte turbiner inn og ut av vindskyggen generert av andre turbiner. Neste steg er å teste ut om verktøyet gir pålitelige resultat når en har med en reell vindpark å gjøre. CMR har, gjennom NORCOWE, fått tilgang til data fra Statoils vindpark på Sheringham Shoal, som er en vindpark eid av Statoil og Statkraft. NORCOWE er et FME-senter på offshore vind, der CMR står som vertskap.

Det skal bli spennende å gjøre sammenligningene med reelle produksjonsdata. Vi er meget fornøyd med å ha en så god dialog med Statoil på dette feltet. Teknikken som brukes her er ikke ny, men har ikke tidligere vært brukt i forbindelse med vindparksimuleringer så vidt vi vet.

Teknologioverføring

Et annet interessant anvendelsesområde er datavisualisering. Et eksempel er visualiseringen av en bil som kjører gjennom en stor haug med løv, der løvet blir løftet opp av bakken og blåser i alle retninger. Med en tradisjonell teknikk hadde dette vært en umulig oppgave å visualisere i sanntid, men den nye teknikken klarer det.

Teknologioverføring er et høyaktuelt tema, spesielt i disse dager når olje- og gassindustrien sliter.



MER KRAFT I VANNET

ANDERS BJARTNES | NORSK KLIMASTIFTELSE

FOTO: Shutterstock

VANNKRAFTEN ER FORTSATT STOREBROR I FORNYBAR KRAFTPRODUKSJON – OG VIL VOKSE MYE OGSÅ I TIÅRENE FREMOVER. BÅDE I EUROPA OG ELLERS I VERDEN VIL VANNKRAFTEN VÆRE EN GOD PARTNER FOR SOL OG VIND.

Vannkraften har lett for å havne i skyggen av sol og vind når den fornybare energiens rolle drøftes i lys av klima. Men både i rollen som viktig energiproducent og som komponent i et klimariktig energisystem, er vannkraften veldig viktig.

- Nå har vi omkring 3750 TWh i vannkraftproduksjon på verdensbasis. Det kan i hvert fall dobles, kanskje økes med tregangeren, sier Ånund Killingtveit, professor ved NTNUs institutt for vann- og miljøteknikk.
- Vannkraften kan være med å spille de andre fornybare energikildene gode, sier Killingtveit. Fordi vannet kan lagres i magasiner, kan strømmen produseres når sola ikke skinner og vinden ikke blåser.

Vannkraften vil ha lavere prosentvis årlig vekst enn de nye fornybare energikildene frem mot midten av århundret, men målt i TWh blir bidragene store. En doubling av vannkraftproduksjonen til omkring 7000 TWh tilsvarer en vekst på størrelse med EUs samlede elektrisitetsproduksjon.

Det er først og fremst utenfor Europa og USA at den største veksten i vannkraft er ventet å komme, men både

i mange europeiske land og i Nord-Amerika er det ifølge Killingtveit mulig med vesentlig mer vannkraftproduksjon. Særlig har han tro på at vannkraft vil kunne få en renessanse i USA.

- Der har vannkraft vært utenfor radaren lenge men så har man begynt å se på saken på nytt. Det er mange små kilder man ikke har sett på tidligere, men som nå kan bli utnyttet. Blant annet viser det seg at USA har mange små damanlegg som ikke har vært brukt til vannkraftproduksjon, men der det kan bygges ut kraftverk. Litt av det samme ser vi i Europa. Da småkraftpotensialet i Norge ble kartlagt for noen år siden, viste seg at det er på 20–30 TWh. I mange land er det bare de store vannkraftressursene som er kartlagt grundig, sier Killingtveit.

- Det er et stort potensial for småkraftverk også på verdensbasis, det er mange utnyttede ressurser, der man også kan se vannkraft i samspill med vannforsyning og vanning av landbruksarealer. Mye vannkraft vil være lønnsom å bygge ut, sier han.

I USA har tørke rammet vannkraftproduksjonen i California de siste par årene, men Killingtveit mener dette er innenfor den normale variasjonen vannkraft-



produksjon alltid har vært utsatt for. Over tid har vannkraftproduksjonen i USA vært ganske stabil, men svingninger i nedbør påvirker hvor stor produksjonen er.

Miljøaspektet er krevende å håndtere ved så godt som all vannkraftutbygging. I tillegg til konflikter rundt selve naturinngrepet, peker Killingtveit på at det ofte er interessekonflikter knyttet til andre roller vannet har. Rett til å bruke vannet til irrigasjon, vanning, er den store kilden til konflikt. Egypts frykt for at Etiopia skal «ta» vannet i Nilen er et eksempel.

– Samtidig finnes det gode eksempler på at bygging av dammer og regulering også åpner for bedre bruk av vannet til irrigasjon, sier han.

Studerer statistikken for vannkraftutbygging i verden de siste årene, er det ingen tvil om hvilke land som kommer på topp: Kina. Bare i 2014 bygde kineserne ut 22 GW vannkraft, og det var en nedgang på 29 prosent fra 2013. Til sammenlikning er det norske vannkraftsystemet på 32 GW. Kina er verdens desidert største vannkraftnasjon, og har ifølge Killingtveit fortsatt mye som kan bygges ut. Store naturinngrep er imidlertid baksiden, men Killingtveit mener kineserne gradvis blir mer bevisst på hvordan vannkraftutbygginger kan løses med mindre skadevirkninger for folk og miljø enn en del av gigantprosjektene har medført.

Gjennom Cedren – senter for miljødesign av fornybar energi – samarbeider norske forskningsmiljøer med kinesiske forskere.

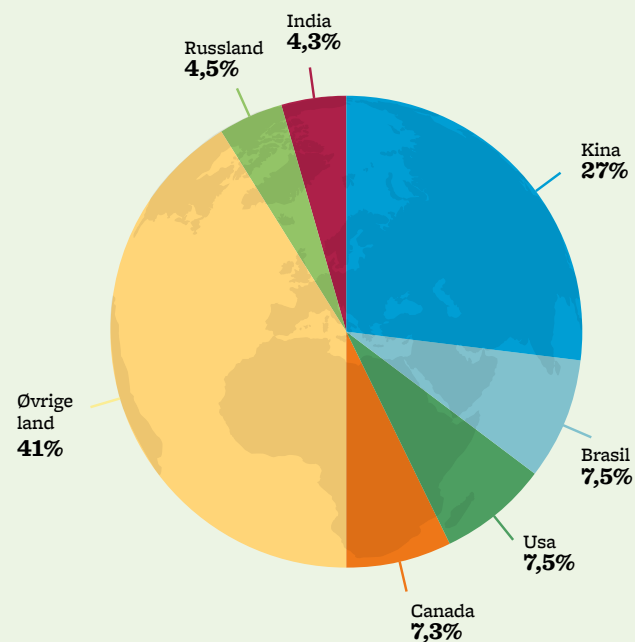
– Mens kineserne tidligere var opptatt av norsk vannkraft-teknologi, opplever vi nå en betydelig interesse for miljøpåvirkningen ved vannkraft, sier han.

Sammen med miljøspørsmål er kineserne opptatt av samspillet mellom vannkraft og andre fornybare energikilder.

– Spørsmålet er hvordan de kan bruke vannkraften til å balansere og spille de andre fornybare kildene gode, sier Killingtveit.

For CO₂-utslippene er dette avgjørende. Effektiv utnyttelse av vannkraften i samspill med sol og vind, og bedre kraftnett og styringssystemer, kan bidra til å redusere Kinas avhengighet av kullfyrte kraftverk.

Nettopp samspillet med andre fornybare kilder tror Killingtveit at vil være en viktig rolle for vannkraften i mange deler av verden. Både i Afrika og i Asia er det stort potensial for å bygge ut mye vannkraft. Diskusjonen om Norges rolle i Europa (se egen sak) er en del av dette bildet. Sol og vindkraft trenger back-up for å kunne sikre stabil strømleveranse, og dette representerer en kostnad som må betales. Vannkraft – der den er tilgjengelig – er et godt alternativ.



VIKTIGSTE FORNYBARKILDE: Samlet global vannkraftkapasitet nådde 1055 GW i 2014, opp 37 GW fra året før. Til sammenlikning utgjorde verdens samlede sol- og vindkraftkapasitet henholdsvis 177 GW og 370 GW i 2014. KILDE: Ren 21 (GSR 2015)

Kina er størst

Kina er verdens største vannkraftland og bygde også ut vesentlig mer vannkraft i 2014 enn noe annet land. Kineserne bygde 22 GW – andre plass på listen var Brasil som bygde 3,3 GW.

Også Canada, Tyrkia, India og Russland bygde ut mer enn 1 GW vannkraft i 2014.

I Afrika er et gigantprosjekt på 6GW under bygging i Etiopia – hvordan Nilens vannressurser skal utnyttes er en sak som ikke angår bare Etiopia, men i høyeste grad også Sudan og Egypt.

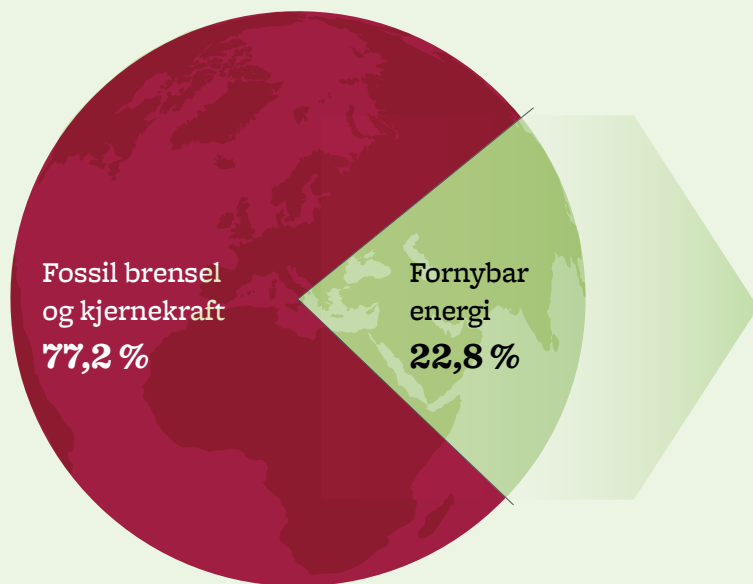
Ellers i Afrika ble det bygget vannkraftverk blant annet i Rwanda.

Svært mange vannkraftprosjekter rundt om i verden blir stoppet fordi utbygging medfører ødeleggende naturinngrep eller har andre negative sosiale konsekvenser. KILDE: Ren 21 (GSR 2015)



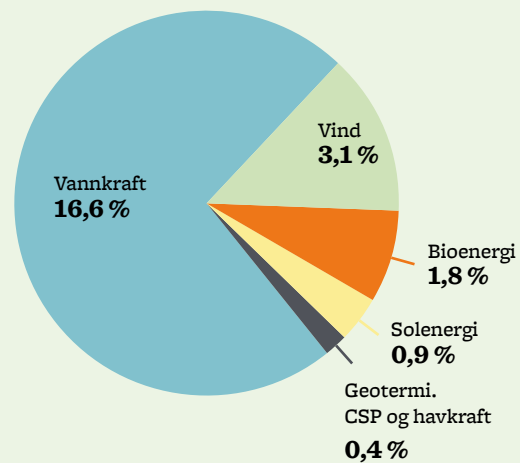
ÅNUND KILLINGTVEIT

Ånund Killingtveit er professor ved Institutt for vann og miljøteknikk. NTNU Hans fagfelt er hydrologi og vannressursforvaltning.



Grafen viser estimert andel av fornybar energi som andel av den globale elektrisitetsproduksjonen.

KILDE: Ren 21 (GSR 2015)



VANNKRAFT SIKRER SYSTEMET

ANDERS BJARTNES | NORSK KLIMASTIFTELSE

ET EUROPA SOM GÅR I RETNING AV FORNYBAR ENERGI VED HJELP AV SOL OG VIND VIL TRENGE STORE MENGDER KRAFT PÅ LAGER.

Vannkraftens fleksibilitet gjør den svært verdifull, mener Asgeir Tomasgard, professor ved NTNUs Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse.

Norges naboland i Europa gjennomfører en ombygging av sine energisystemer som innebærer at fossil kraftproduksjon gradvis overtas av fornybar. Det skjer en overgang fra kull og gass til sol og vind.

– Forutsetningen for at man kan få et slikt system til å fungere er at man har tilstrekkelig fleksibilitet. Vannkraft i magasiner, sammen med bedre kraftnett og mer avansert styring av etterspørselen, er nøkkelteknologier for å få dette til, sier Tomasgard.

Han er senterleder ved Centre for sustainable energy studies (CenSES), som blant annet ser på hvordan det norske vannkraftsystemet best kan integreres med Europa.

– Hvordan kan vi i Norge utnytte ressursene våre best mulig? Det samme spørsmålet er relevant for alle land med storskala vannkraft i magasiner. Vi må se på fleksibilitetens betydning, sier han.

Tomasgard mener leveranser av fleksibilitet og effekt vil være svært viktig. Sol- og vindkraft kan ikke alene dekke et lands kraftbehov. Ombygging og tilpasning av vannkraftsystemene slik at det best mulig kan matche det nye bildet, kan derfor være riktig vei å gå, mener han. I praksis betyr dette for eksempel pumpekraftverk eller kraftverk som kan levere vesentlig mer effekt på kortere tid, samt kapasitet til å flytte store mengder energi når vinden ikke blåser eller sola skinner i våre naboland. Fleksibilitet handler både om systemtjenester på svært kort sikt, å utnytte prisforskjeller innenfor en dag, og å kunne levere strøm til Europa i perioder hvor det for eksempel er vindstille lenge.

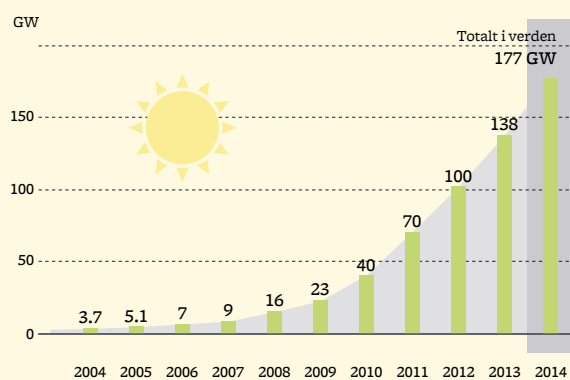
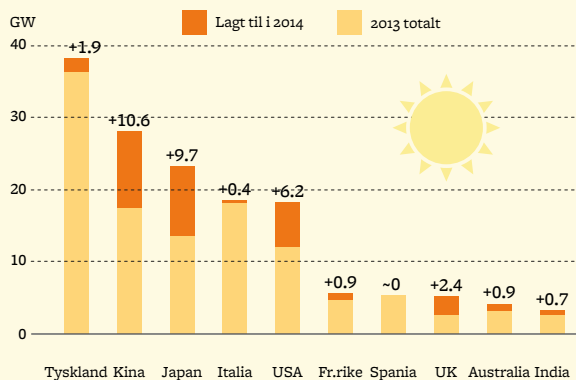
Men i dag er det ingen markeds- eller pris-signaler som tilsier at store norske investeringer i en slik retning vil være lønnsomme. Usikkerheten er for stor. – Jeg tror det er en forutsetning at dette ikke overlates til private interessenter alene. Det må lages europeiske eller bilaterale avtaler. Investering i ombygging av vannkraft og bygging av nye kabler til Europa handler om store summer og lange tilbakebetalingstider, og det er svært vanskelig å spå om energisystemet om 20 år, sier han.

– Hvis ikke Norge inngår slike avtaler med naboland kan vi gå glipp av gevinsten. Selv om energisystemet gradvis blir mer desentralisert, vil vannkraft være et godt alternativ til de aller fleste teknologier. Dersom vi ikke reduserer den langsiktige risikoen for både kjøper og selger, er det mulig at våre europeiske naboer velger dyrere og dårligere løsninger. Vi bør heller bli enige om en gevinst- og risikodeling ved å benytte fleksibiliteten i vannkraften, sier Asgeir Tomasgard.



ASGEIR TOMASGARD

Asgeir Tomasgard er professor ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, NTNU. Han leder også forskingssenteret CenSES, senter for studier av bærekraftig energi.



STERK VEKST I 2015: I 2015 forventes det at omkring 55 GW solenergi blir installert globalt. Kina er det største markedet, fulgt av Japan og USA. Europas andel av verdensmarkedet faller stadig – også i reelle tall bygges det mindre solenergi i Europa nå enn for noen år siden.

Veksten i solenergi er formidabel. 55 GW – som altså bygges ut i år – er like mye som det samlet var installert i verden midtveis i 2010. GTM Research – et analyseselskap som følger solmarkedet tett – forventer at det globale markedet vil være mer enn dobbelt så stort i 2020 som det er i år. Både Latin-Amerika, Afrika og Midt-Østen kommer som store og viktige markeder. KILDE: REN 21 (GSR 2015)

BILLIGERE, RASKERE, STØRRE

ANDERS BJARTNES | NORSK KLIMASTIFTELSE

SOLENERGI HAR BLITT MYE BILLIGERE OG VOKST MYE RASKERE ENN DE FLESTE TRODDE VAR MULIG FOR FÅ ÅR SIDEN. LIKEVEL HAR VI BARE SETT BEGYNNELSEN, MENER GABRIELLA TRANELL, PROFESSOR VED INSTITUTT FOR MATERIALTEKNOLOGI PÅ NTNU.

Da verdens klimaforhandlere og politiske ledere var samlet like oppunder jul i 2009 på det store klimatoppmøtet i København, hadde verden samlet bygget ut 23 GW solenergi, eller nok til å produsere omkring en femtedel av Norges samlede strømforbruk.

Solenergi var smått og dyrt og noe som kanskje kunne komme til å spille en viktig rolle en gang langt, langt inn i fremtiden. Enormt mye har skjedd de siste årene. I 2015 bygger Kina alene ut omkring 23 GW – altså det samme som verden samlet hadde bygd ut i alle år frem til og med 2009.

Gabriella Tranell viser til tall og utviklingstrekk fra ulike deler av verden; Kina, India, Tyskland, USA og Australia.

– solenergi er i sterk vekst og spiller en gradvis viktigere rolle i energisystemet i mange land. Målt som andel av verdens kraftproduksjon, er solenergi fortsatt en lillebror. Men dette vil snart ta slutt, tror hun. Ser vi noen tiår frem i tid, vil bildet være ganske annerledes.

– Alle må «face the facts». Solenergi blir kjernen i det nye energisystemet som vokser frem, sier Gabriella Tranell. Solenergi ble lenge «snakket ned» når representanter for

den etablerte energisektoren spådde om fremtiden. Her ser Tranell et markant skifte.

– Den aller største endringen de siste tre-fire årene handler hverken om teknologi eller installasjonstakt, men om holdningene til rollen solenergi vil spille fremover. Oppfatningen om solenergiens rolle har endret seg, sier hun.

Solenergi kan bygges ut både i stor og liten skala. Fra gigantiske anlegg i Kinas ørken og ned til småskala løsninger på private hustak er grunnteknologien den samme.

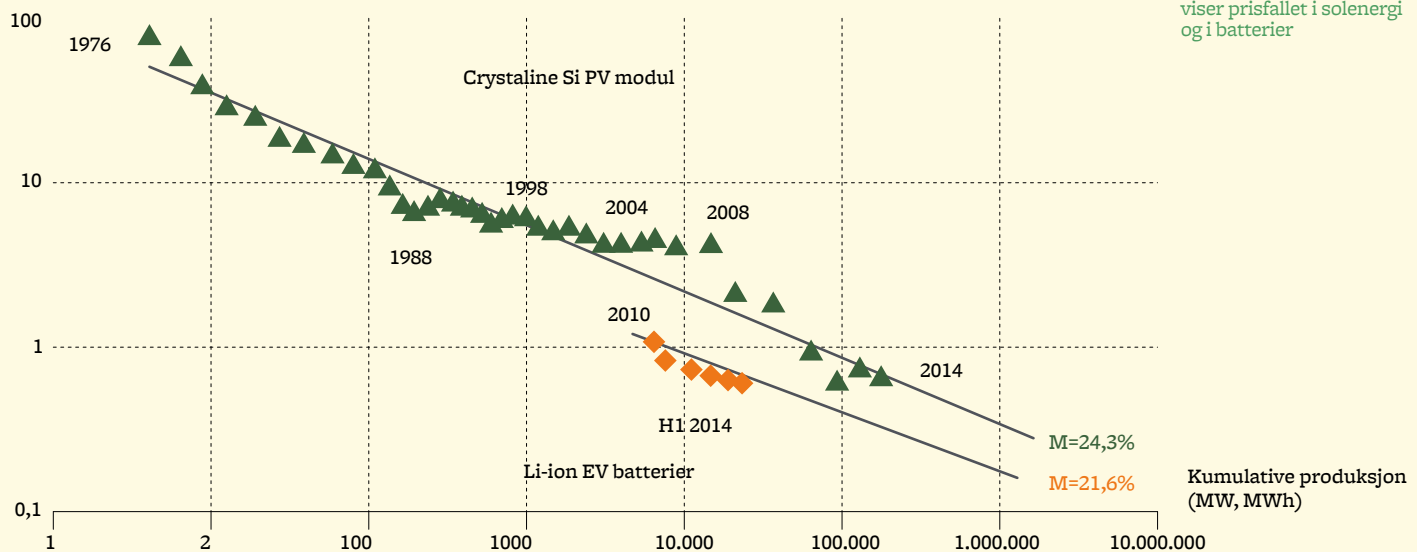
På teknologi- og kostnadssiden var det lenge mye som handlet om å få ned kostnaden på silisium. Dette er en viktig råvare i solcelleproduksjon, og derfor en viktig kostnadsfaktor. Nå er bildet annerledes.



GABRIELLA TRANELL

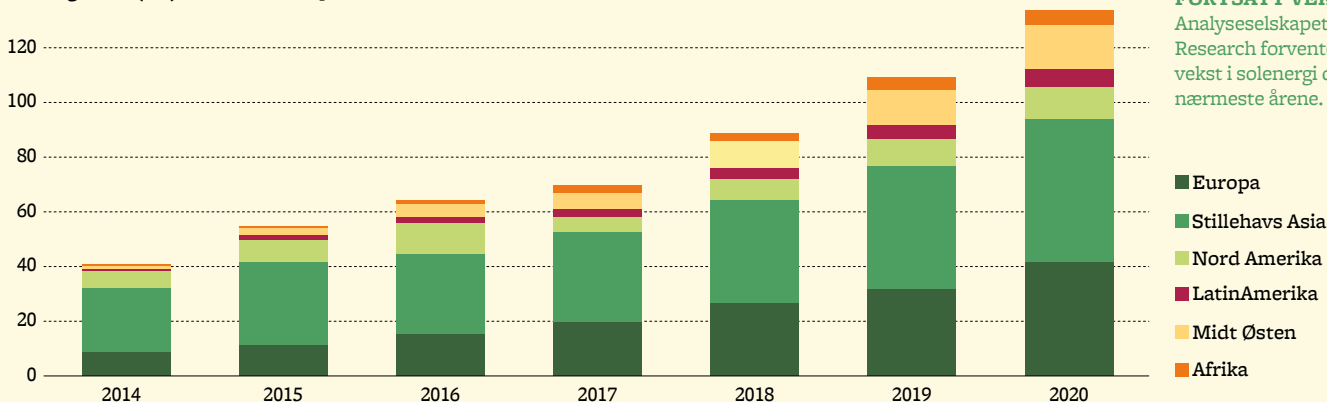
Gabriella Tranell er professor ved Institutt for materialteknologi, NTNU. Hennes forskningsfelt er materialer til bruk ved produksjon av solceller.

Historisk pris (USDW, USDWh)



LAVERE PRISER: Grafen viser prisfallet i solenergi og i batterier

140 Gigawatt (DC) av installert kapasitet



FORTSATT VEKST: Anseselskapet GTM Research forventer rask vekst i solenergi de nærmeste årene.

svært mye billigere og har ikke lenger så mye å si for prisen på en solcelle. Det er andre faktorer som vil drive kostnadsreduksjonene fremover, forbedringer i styringssystemer og elektronisk utstyr. Her er det fortsatt store rom for reduksjoner, sier hun.

Det er mye diskusjon om hvor mye solenergi som kan integreres i et energisystem uten at det blir mye kluss. Tranell mener det finnes – og stadig utvikles – nye løsninger for lagring og konvertering som demper dette problemet.

Installasjonskostnader varierer også veldig mellom ulike land. Erfaring og skala bidrar til at kostnadene kommer ned. Solindustrien er fortsatt ung og har derfor et stort læringspotensial.

En avgjørende faktor for kostnadene ved solenergi er knyttet til kostnadene ved finansiering.

– Den gode nyheten er at finansieringskostnadene er på vei ned fordi solenergi i økende grad blir sett på som en «mainstream» energikilde. Halvering av kapitalkostnadene fra 14 til 7 prosent vil for eksempel redusere livsløpskostnadene for sol i India med 35 prosent, sier hun.

En viktig forskningsarena er knyttet til solcellenes livsløp og karbonavtrykk – hvordan utslippene knyttet til produksjonen kan begrenses mest mulig.

– Den miljømessige kvaliteten på solcellene blir en viktigere og viktigere faktor, sier hun.

Likeledes mener hun at det mer å hente ved å utnytte materialer best mulig, å optimalisere slik at solcellene yter mest mulig gitt ressursinnsatsen. Økt effektivitet i form av flere kwh er bra, men det må stå i forhold til kapital og arbeidsinnsats; kostnadene helt enkelt.

Det er mye man fortsatt ikke vet. Solindustrien er fortsatt en relativt fersk virksomhet når de handler om industriell skala.

Gabriella Tranell tror også at solenergien vil få stadig nye bruksområder. For eksempel er solceller integrert i bygningsmaterialer en sektor der hun tror veldig mye vil skje. Designet, det visuelle uttrykket, blir også viktigere.

– Solindustrien har vært dårlig på design, sier hun. Integrasjon av solenergi i byggematerialer og ønske om å produsere egen el vil være en drivkraft for utvikling – solceller på garasjetaket der elbilen lades er et eksempel.

– Men vi må få med oss arkitektene. Det må se pent ut, sier hun.



BILLIGERE OG BEDRE BATTERIER

ANDERS BJARTNES | NORSK KLIMASTIFTELSE

BEDRE OG BILLIGERE BATTERIER ER NØKKELEN BÅDE TIL RASKERE UTRULLING AV ELBILER OG STASJONÆR LAGRING AV SOLENERGI.

Kostnad, skala og sikkerhet er de viktigste faktorene, sier Fride Vullum-Bruer, førsteamanuensis ved Institutt for materialteknologi ved NTNU.

Hun tror ikke det vil ta mange år før vi har elbiler som tar igjen bensin- og dieslbiler både når det gjelder rekkevidde og kostnad.

– Det foregår veldig mye forskning i bilindustrien som vi som sitter ved universitetene ikke får se så mye til. De holder kortene tett inntil patentene er på plass, sier hun.

Internasjonalt er bilindustrien den viktigste driveren for å kostnadene ned og skalaen opp. Det er ikke for batterier i små «duppeditter» som telefoner og laptopper at behovet for nye teknologiske gjennombrudd er størst.

– Batteriene må få bedre kapasitet, lade fortere og kjøre lengre. Når batteriene får bedre kapasitet øker rekkevidden. Dessuten er brannsikkerheten ved batteriene svært viktig, sier hun. Sikkerhet og miljømessige utfordringer knyttet til produksjonen er også viktige aspekter. Det er store utslipp knyttet til produksjonen, forklarer Vullum-Bruer. All fremstilling av batterier er energikrevende, og derfor spiller det stor rolle for livsløpsutslippene om det er fornybar eller fossil elektrisitet som benyttes i produksjonen. Her har et land som Norge komparative fortrinn fordi den norske strømproduksjonen er basert på vannkraft.

Også materialene som brukes i batteriene kan bli langt mer miljøvennlige enn tilfellet er i dag. En mer miljø- og klimariktig fremstilling av batteriene er et felt det arbeides mye med på NTNU.

I Norge er skipsindustrien en sterk interessent. Batterifergen Ampere er en pioner, men også for skip som har lengre opphold mellom anløpene til land, og dermed til lademuligheter, enn fergene, er utslippsfrie teknologier et mål.

– Det kan være hydrogen, brenselceller, hybridløsninger eller batterier, sier Fride Vullum-Bruer.

Når det gjelder batterier til biler, er det avgjørende at løsningene som velges er kompakte og lette. Vekt og volum er viktige faktorer.



TRANSPORTSEKTOR I ENDRING: Mye har skjedd med batterikostnader og rekkevidde siden Think dominerte det norske elbilmarkedet for ti år siden. Her er en Think City fra 2008. FOTO: Wikimedia Commons

Et batteri som skal brukes til stasjonære løsninger, stiller ikke samme krav til vekt og volum. Derfor tror Vullum-Bruer at litt forskjellige teknologier vil kunne slå igjennom avhengig av batterienes bruksområde.

Det foregår mye forskning rundt om i hele verden på hvordan batterier kan bli bedre og billigere.

Hittil er det litium-ionebatterier som har vært enerådende i elbilene. Her er det metalloksider som benyttes på katodesiden og karbonbaserte materialer på anodesiden. Dette tror Fride Vullum-Bruer at kan endre seg.

– Silisium-anoder har vært forsket på i mange år nå. Og selv om det fremdeles er mange utfordringer med å bruke silisium, så vil Li-ionebatterier kunne gi økt kapasitet og dermed lengre kjørelengde og mer kraft til for eksempel å kjøre air-condition anlegg enn det som er tilfellet i dagens elbil-batterier. Silisium har bedre lagringskapasitet enn karbon som brukes i dagens litium-batterier, sier hun.

Men Fride Vullum-Bruer er også opptatt av at batteriteknologiene må kunne virke i samspill med det øvrige energisystemet. Infrastruktur for lading er for eksempel en viktig faktor for å sikre en storskala utrulling av elbiler.



FRIDE VULLUM-BRUER

Fride Vullum-Bruer er førsteamanuensis ved Institutt for materialteknologi, NTNU. Hennes forskningsfelt er batteriteknologi.



STILLFERDIG OG PÅLITELIG:
Batteriferja "Ampere" på vei over Sognefjorden.
Foto: Bård Ek

GRØNT HÅP FOR BLÅTT HAV

OLAV ØVREBØ | ENERGI OG KLIMA

UTSLIPPSVEKSTEN I GLOBAL SKIPSFART MÅ STOPPES.
I NORSKE FARVANN TESTES SMARTE KLIMALØSNINGER.
DE KAN OGSÅ BLI LØNNSOMME.



GRØNN SHIPPING: Nils Aadland tenker ut nye skipskonsepter. FOTO: Bård Ek

Ingen motordur, ingen dirring, en svak summing er alt vi kan høre oppe på broen. Stillheten brytes bare av korte walkie-talkie-beskjeder fra medarbeidere på land når styrmann Sveinung Brosvik og mannskapet hans manøvrerer «Ampere» inn til ferjekaien i Lavik. Så skjer alt raskt: Et fortøyningssystem etter sugekopp-prinsippet holder ferja ved kai slik at propellene kan slås av. Falllemmen senkes og bilene kjører i land. En ladeplugg som et gigantisk støpsel føres ned i stikk-kontakten på kaien, og ladingen av litium-ion-batteriene om bord starter.

«Ampere» er verdens første i sitt slag – en bilferje kun drevet av el-motorer. Det betyr at den ikke slipper ut noe karbondioksid der den pendler fram og tilbake over Sognefjorden. Innenriks skipsfart forårsaker 9 % av norske CO₂-utslipp. Det er allerede betydelig, men kan bli mer. Skipstrafikken er ventet å øke kraftig både i Norge og internasjonalt de neste årene. Uten satsing på ny teknologi og andre tiltak vil utslippene fra den maritime næringen dobles innen 2050 – i en periode da verdensøkonomien egentlig må avvennes fra fossil energi. Behovet for maritim nytenkning er påtrengende.

Etter noen minutters lading er energitapet fra siste tur erstattet, den nye lasten med biler parkert på dekket, og «Ampere» kan legge ut på den 20 minutter lange overfarten til Oppedal på sørsiden av fjorden. Jomfruturen var i februar i år; ved utgangen av august hadde batteriferja krysset fjorden 5270 ganger. Lavik-Oppedal er en skikkelig test for et helt nytt skipskonsept, været kan være barskt og biltrafikken stor. Men innkjøringsproblemene har vært få. «Ampere», bygget ved verftet Fjellstrand i Hordaland, som også hadde ideen til ferja, kan være begynnelsen på noe stort for den norske maritime næringen.

Nytenkning til sjøs

Det har gått bilferje mellom Lavik og sørsiden av Sognefjorden siden 1950-tallet, men sjøfartstradisjonene

er mye eldre. Før veier og tunneler ble bygd, fraktet båter passasjerer og gods og bandt kyst- og fjordsamfunnene sammen.

– Det er naturlig å bruke sjøen på Vestlandet, det er bare en periode de siste 40 årene at vi har tonet det ned, sier Nils Aadland, prosjektleder ved NCE Maritime Cleantech, et nettverk for innovasjon i den maritime næringen på Sørvestlandet. Aadland var sjef for Fjellstrand da «Ampere»-prosjektet ble etablert.

Sammen med aktører i næringen utvikler Aadland og hans kolleger nye lav- eller nullutslippsløsninger for skipsfarten. Flere av prosjektene utmerker seg med spennende design, og dette er en viktig del av tilnærmingen.

– Skal du lage et produkt i et marked der du konkurrerer med absolutt alle – shipping er en internasjonal industri – må du bringe noe ut som utmerker seg, noe nytt og annerledes som gjør at du får en aha-opplevelse, sier Aadland. Det blir ikke noe gjennombrudd av bare å utstyre en konvensjonell båt med et batteri.

I utviklingsprosessen deltar folk fra mange fagmiljøer, ikke bare innenfor det maritime – brukere, kunder, leverandører. Industridesignere har gitt viktige bidrag. Arbeidet munner ut i noen designkriterier som er annerledes enn næringen er vant til. Et av prosjektene er Urban Water Shuttle, et konsept for et elektrisk passasjerfartøy for lokaltrafikk. Det er kommet nærmere realisering etter at kommuner og fylker langs Oslofjorden har gått inn for «Fjordbanen», et nettverk av el-båter som skal gjøre fjorden til et blått kollektivfelt.

El-båten er i likhet med «Ampere» tenkt bygd i aluminium. Lettmetallet reduserer fartøyets vekt, essensielt når det skal drives med elektrisk kraft. En annen viktig grunn til valg av aluminium er materialets levetid og de gode mulighetene for resirkulering, påpeker Aadland.



PÅ BROEN: Styrmann Sveinung Brosvik (foran) og maskinsjef Peter Skutvik. Foto: Bård Ek



KRAFTPAKKE: Geir Haaland fra Norled viser fram batterirommet i «Ampere». Foto: Bård Ek

Forutsetninger for eksportsuksess

Om bord på «Ampere» tar teknisk inspektør Geir Haaland i rederiet Norled oss med ned i batterirommet. Diodene blinker blått på de sammenkoblede litium-ion-batteriene. Ferjas energiforbruk er lavere enn ventet, 130 kilowattimer går i snitt med til en overfart. Slik spares 800–900.000 liter diesel i året. Dermed er det enda en fordel: Tankbilene som skulle fraktet all denne dieselen på smale riksveier, trengs ikke.

Suksessen med «Ampere» gir mersmak. Studier viser stort potensial for elektrifisering av flere ferjestrekninger. DNV GL og Energi Norge har pekt ut 52 strekninger som egnet for helelektrisk drift. Siemens og Bellona mener potensialet er enda større. Hybridløsninger med delvis elektrifisering er i prinsippet aktuelt for alle strekninger. Tidspunktet er gunstig: Store deler av ferjeflåten er gammel og må snart skiftes ut uansett, og i de kommende årene skal det lyses ut mange nye kontrakter for ferjesamband.

Også i godstransporten er det muligheter for nye klima- og miljøvennlige løsninger. Å flytte gods fra vei til sjø og jernbane har vært et mål lenge. Flere miljøer er engasjert i å utvikle nye godskonsepter for sjøtransport.

Det brå fallet i oljeprisen har skapt usikkerhet også i den maritime næringen, som lenge har levd godt på leveranser til olje- og gassindustrien. Maritim næring sysselsetter over 110.000 arbeidstakere i Norge og er den nest største eksportnæringen. Et større marked for maritim miljøteknologi – grønn skipsfart – kan gi næringen nye muligheter akkurat i rett tid.

Med prosjektet Grønt kystfartsprogram vil DNV GL få fart på omstillingen. Aktører fra de ulike delene av den maritime verdikjeden deltar. Målet er å etablere verdens mest effektive og miljøvennlige kystfart.

– Norsk maritim næring kan bli en viktig grønn vekstnæring med tusenvis av nye arbeidsplasser. Det handler om å ta en internasjonal lederposisjon. Norsk skipsfart kan bli en inkubator og plattform for uttesting og i neste omgang eksport av norsk miljøteknologi og miljøvennlige transporttjenester, sier direktør Narve Mjøs i DNV GL. Den maritime næringen har alle forutsetninger for å klare noe lignende som det Danmark har fått til innen vindkraft og annen miljøteknologi, mener Mjøs.

En omlegging til miljøvennlige drivstoff innenriks – elektrisk drift, biodrivstoff og LNG (flytende naturgass) – vil gi positive utslag for norsk maritim næring. Hvor stor effekt det vil få, varierer i ulike scenarier, ifølge beregninger konsultantselskapet Menon har gjort i en rapport for Klima- og miljødepartementet. Næringseffektene av eksport vil være vesentlig større enn effekten av tiltak innenlands, ifølge Menon. Den maritime næringen er svært eksportrettet. Utstysleverandørene har 89 % av omsetningen sin i utlandet.

Eksportpotensialet kan vokse ytterligere med internasjonal handling mot klimagassutslipp fra sjøfarten. Utslippene stammer i all hovedsak fra fossilt drivstoff. Prosjektet New Climate Economy, som Norge var med på å starte, anbefaler flere tiltak for å stabilisere eller helst redusere utslippene tross den forventede økningen i skipstrafikken: Et åpent globalt system med data om det enkelte skips utslipp; et globalt mål for utslippskutt fra internasjonal skipsfart; tiltak for å effektivisere driften av skip, bl.a. en global standard; lavere havneavgifter for renere skip.

I Grønt kystfartsprogram er planen å identifisere demonstrasjonsprosjekter, vurdere tekniske og forretningsmessige sider ved dem, og i løpet av få år sette utvalgte prosjekter ut i livet (se tekstboks).

– Teknologiene er her. De er utprøvd i andre industrier og er bare å ta i bruk innenfor maritim industri, sier Mjøs.

Kompleks utfordring

Realisering av de grønne skipsprosjektene krever effektiv bruk av offentlige virkemidler. Det må stilles miljøkrav når ferjestrekninger legges ut på anbud, som det ble gjort med "Ampere". Transportnæringen må få insentiver til å flytte gods fra vei til sjø. Små kystrederier må få støtte til å skifte ut eldre fartøyer.

At utfordringene for et grønt maritimt skifte er komplekse, erfarte Nils Aadland i arbeidet med godskonseptet "Short Sea Pioneer". For å få mer transport over på sjøen, ønsker en gjerne å bygge havner. Paradokset er at havnene fort kan komme til å skape mer veitrafikk istedenfor mindre. For å få økonomi i havnedriften, trengs store godsvolumer. Men store volumer genererer mer lastebiltrafikk for videre distribusjon av godset til et stort omland. Løsningen? Et fartøyskonsept som ikke trenger store havner, men kan bruke eksisterende små kaianlegg. I "Short Sea Pioneer" fungerer et større skip som et dynamisk flytende havnelager som går opp og ned langs kysten.

– Så har du små båter som kommer og henter og distribuerer varene. Da kan vi ta i bruk fjordene igjen, som vi gjorde før med fjordabåtene. Grunnideen er at du lager et fartøy som gjør det mulig å distribuere varer kystnært uten å forurense bygdene og de tett bebygde områdene,

sier Aadland.

Havneoppgravene utføres om bord på det store fartøyet, som drives med lavutslippsteknologi. De små distribusjonsbåtene kan være batteridrevne. Elektrifisering av ferjene får med denne tankegangen ytterligere mening: Aadland ser for seg at lokale aktører som små godsbåter og havbruksbåter kan bruke den samme lade-infrastrukturen.

Grønt pionerarbeid

I Oppedal har "Ampere" klappet til kai. Det er tid for lading igjen. Ferja har to ladesystemer: "Støpselet" som var i aksjon i Lavik, og en strømskinne på skipssiden. Den fungerer etter samme prinsipp som strømforsyningen til et tog. En bevegelig "arm" plassert i en stor boks på kaien festes til strømskinnen, og batteriene lades opp.

Flere av de tekniske løsningene er laget spesielt for "Ampere", forteller Geir Haaland. Dette er pionerarbeid.

– I framtiden vil ikke ladepunktene være slik. De vil bli mindre. Smekrere.

Grønne skip

Flere grønne prosjekter er i gang eller under planlegging.

FISKEBÅT: Sjark, 11 meter, kan gå på strøm fra batteri en hel dag. Hybrid, har også en dieseltank for lengre turer. Bygd ved Selfa Arctic i Trondheim.

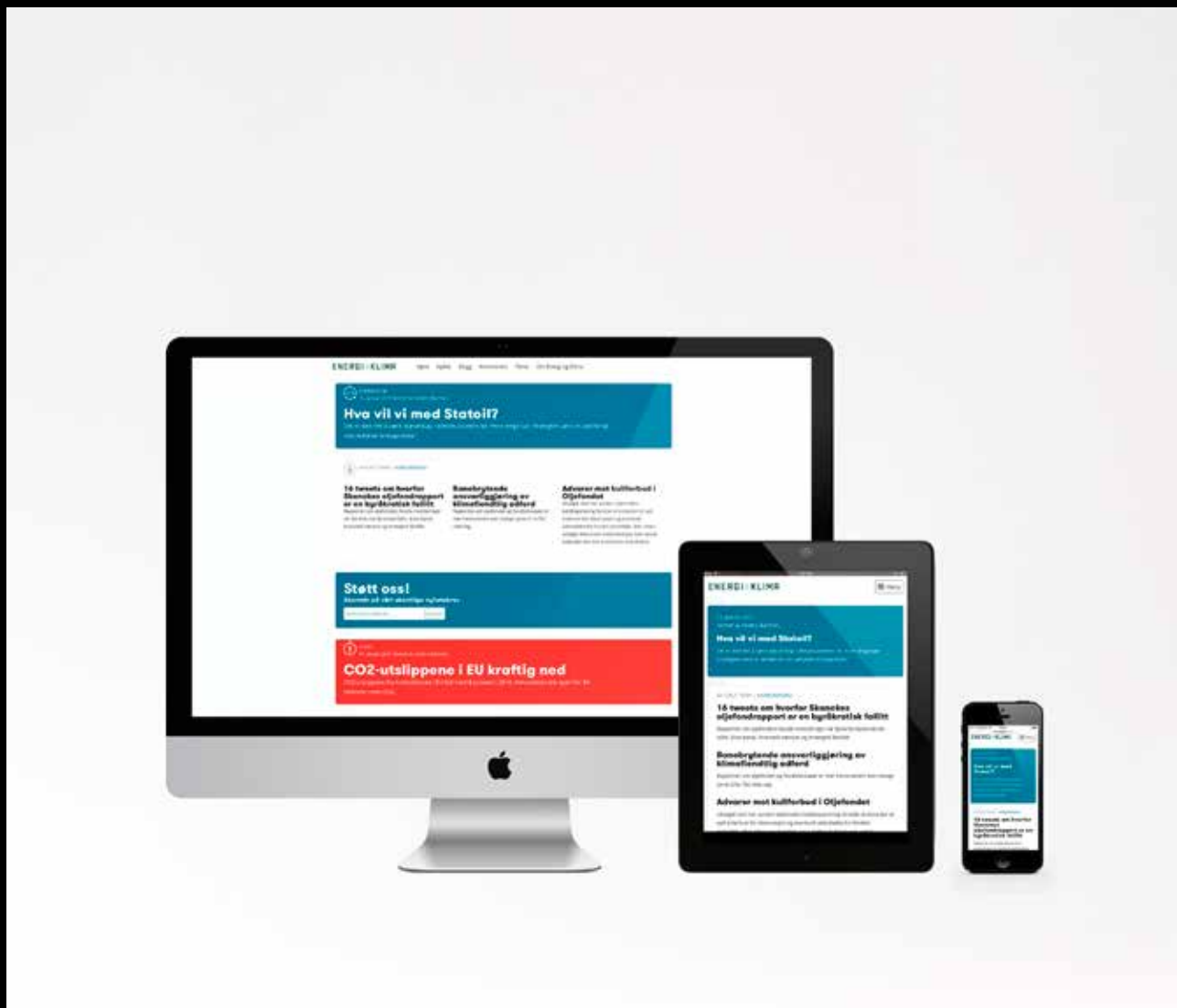
SIGHTSEEINGBÅT: "Seasight", 40 meter, går på batteri og tar turister fra Flåm til Nærøyfjorden. Hybrid, utstyrt med generator for lengre turer/raskere transportetapper. Under bygging ved Brødrene Aa i Hyen.

NÆRTRAFIKK: "Fjordbanen", planlagt nettverk av batteridrevne passasjerbåter i Oslofjorden.

Pilotprosjektene under Grønt kystfartsprogram

- Plug-in-hybrid godsferge (Norlines)
- Batterihybrid bøyelaster (shuttletanker) med VOC-forbrenning (Teekay)
- Hybrid-propulsjon for havbruksfartøy (ABB/ Fraktesfartøyenes rederiforening)
- Ombygging av frakteskip til hybrid LNG-bunkringsfartøy (Øytank Bunkerservice/ Energigass Norge)
- Grønn havn – elektrifisering og lavere energibruk (Risavika Havn)

I tillegg et prosjekt for et veikart for elektrifisering av den norske ferjeflåten.



NYE TOGRADER.NO

Nettadressen er den samme, men nye tograder.no har nå flyttet til en egen seksjon under nettmagasinet Energi og Klima. Vi har ryddet i innholdet og lagt til noe nytt.

På tograder.no kan du lese alt innhold fra dette magasinet som artikler. Magasinet kan også lastes ned og leses i pdf-format. Du finner aktuell statistikk og grafikk, illustrasjoner, svar på ofte stilte spørsmål og tidligere utgaver av 2°C

Vi håper du liker nye tograder.no.

2015

2°C

UTGITT AV:



Norsk Klimastiftelse
NORWEGIAN CLIMATE FOUNDATION

I SAMARBEID MED:

 **NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



UNIVERSITETET I BERGEN