APOLLON

REALFAG SPESIAL!

ET FORSKNINGSMAGASIN FRA UNIVERSITETET I OSLO

2014

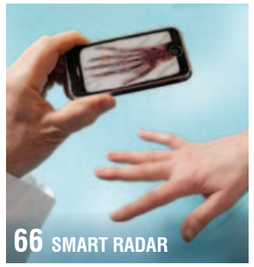
Livsvitenskap

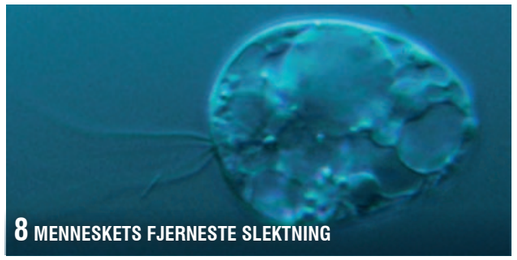
Jord og rom

Materialer og energi

Muliggjørende teknologier

UiO : Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet





APOLLON

FORSKNINGSMAGASIN FRA UNIVERSITETET I OSLO

www.apollon.uio.no

Dette er en spesialutgave med reportasjer hentet fra flere tidligere utgaver av forskningsmagasinet Apollon
ISSN 0803-6926
Opplag 4000
Apollon redigeres etter Redaktørplakaten.

REDAKTØRER:
Yngve Vogt
yngve.vogt@apollon.uio.no
• 22 85 40 31 / 90 56 64 83
Julie Øybø
j.b.oybo@mn.uio.no
• 905 62 109

GRAFISK DESIGN:
Hanne Utigard
PRODUKSJONSKONS.:
Alv Reidar Dale
TRYKK: 07 Media
FORSIDEILLUSTRASJON:
Colourbox, Hanne Utigard

Oslo, februar 2014

KOLOFON

Lange linjer

Denne utgaven av Apollon består av en samling artikler om forskning ved Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet (MN). Mye av forskningen på MN kan kategoriseres i fire tverrfaglige temaområder. Disse er livsvitenskap, jord og rom, materialer og energi og muliggjørende teknologier.

Livsvitenskap handler om vitenskapene som studerer levende liv og prosesser nødvendige for liv.

Jord og rom strekker seg fra studier av prosesser i jordens indre og i jordskorpa via prosesser på jordens overflate og i atmosfæren til vårt eget solsystem og videre ut i verdensrommet.

Mange av miljøutfordringene verden står overfor, er knyttet til menneskehetens energibruk. MNs satsing på **materialer og energi** handler i all hovedsak om produksjon, lagring, distribusjon og bruk av fornybar energi. Verden er imidlertid avhengig av energi fra fossile råstoffer i mange år fremover. Vi er derfor opptatt av å finne de mest miljøvennlige metodene for å utnytte disse råstoffene.

MN er et stort teknologifakultet, og anslagsvis 50 % av våre studenter får solid skolering i teknologifag. **De muliggjørende teknologiene**, som er bioteknologi, nanoteknologi og informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT), er viktige for oss. Størst aktivitet har vi innen IKT med sitt enorme nedslagsfelt.

Forskningen som presenteres i dette spesialnummeret av Apollon, er basert på langsiktig arbeid over mange år, og danner grunnlaget for nye studier i årene som kommer. Gjennom historien og inn i fremtiden finnes det mange lange linjer. Vår satsing på livsvitenskap, jord og rom, materialer og energi og muliggjørende teknologier er et uttrykk for dette.

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet har store ambisjoner om også i fremtiden å presentere nye, banebrytende resultater fra forskningen, og ikke minst gi våre kandidater en fremragende, forskningsbasert utdanning innrettet mot samfunnets store behov for kompetanse innen matematikk, naturvitenskap og teknologi.

Svein Stølen
Prodekan, forskning

Morten Dæhlen
Dekan

Livsvitenskap

4 **LIVSVITENSKAPEN BEDRER MEDISINEN**
Forlenger livet

5 **RØNTGENKJEMIKER LØSER KOLERAGÅTE**
Kolera avhengig av blodtype

8 **GENTESTET URTIDSDYR FRA ÅS**
Menneskets fjerneste slektning

12 **EPIGENETISK MEDISIN MOT KREFT**
Slår av og på gener

14 **AVDEKKET HEMMELIGHETEN TIL ENZYM**
Kan hindre spredning av kreft

16: **HJERNEN ER IKKE STABIL**
Hjernecellene endrer seg under læring

20 **OPPDAGER HISSIG BRYSTKREFT**
Gjenkjenner matematisk mønster i kreftgen

22 **REDDER TORSKESTAMMER**
Avler bedre laksekjøtt

Jord og rom

26 **UIO SATSER PÅ JORD OG ROM**
Fra mantel til mørk materie

27 **UIO VARSLER ROMVÆR**

28 **NOBELPRISEN TIL HIGGS**
UiO var en viktig brikke

30 **SIMULERER JORDENS INDRE**
Avhengig av kraftige jordskjelv

34 **SOLATMOSFÆREN ER OVEROPPHETET**
Magnetisme har skylden

36 **TIDENES TALLKNUSING**
Big Bang-teorier må endres

39 **FREMTIDENS OLJEUTVINNING**
Må forstå kreftene mellom molekyler

Materialer og energi

42 **FREMTIDENS ENERGILØSNINGER**
Bedre solceller og energismarte sensorer

43 **KAN LAGE BEDRE BENSIN**
Færre kreftfremkallende stoffer

46 **NESTE GENERASJONS SOLCELLER**
Lurer sollyset med mikrosmå kuler

48 **INSPIRERT AV RÅDYR MARS-TEKNOLOGI**
Fremtidens solceller lages av sink

50 **OMDANNER NATURGASS TIL DIESEL**
Suger ut hydrogenet

52 **VINDTURBINER KAN KNEKKE SOM FYRSTIKKER**
Mellomstore bølger er trusselen

54 **BLANDER THORIUM I ATOMVÅPENURAN**
95 prosent mindre radioaktivt

56 **VINDKRAFTEN GIR MER USIKRE STRØMPRISER**
Strømkabel fra Tyskland øker priskaoset

Muliggjørende teknologier

58 **FREMTIDEN OG SMARTE TEKNOLOGIER**
Kobler IKT med bio- og nanoteknologi

59 **MÅLER ELASTISITETEN I SVULSTER**
Helt ny måte å oppdage kreft på

62 **BEDRE KREFTSKANNER**
Halverer strålingen

64 **TAR I BRUK DIGITAL PATOLOGI**
Antall gale kreftprognoser kan halveres

66 **RADAR KAN ERSTATTE RØNTGEN**
Like ufarlig som kjøleskap

Livsvitenskap

Realister har gått i kompaniskap med medisinere om å oppdage og behandle sykdommer på en ny og bedre måte.

Mer enn tusen forskere ved UiO er involvert i livsvitenskap, en vitenskap som dekker hele spekteret **fra å lage bedre medisin og forlenge livet, til å forstå biologisk mangfold og lære mer om evolusjonens uløste mysterier.**

– Med livsvitenskap kan vi **oppdage sykdommer tidligere, forebygge kreft og Alzheimers sykdom,** og vi vil i større grad kunne ta hensyn til individuelle forskjeller og **skreddersy medisinen** til den enkelte pasient. Ved å avdekke de underliggende, molekylære prosessene som alt liv springer ut ifra, har livsvitenskapen endret medisinen som fag og revolusjonert vår forståelse av liv. Livsvitenskapen kan med andre ord **bedre medisinen og forlenge livet**. Et stort gjennombrudd var kartleggingen av menneskets genom, det vil si **oppskriften på mennesket**. Men det er en oppskrift vi knapt forstår. Vi er fortsatt bare i begynnelsen, forteller professor *Odd Stokke Gabrielsen* på Institutt for molekylær biovitenskap ved UiO.

Livsvitenskapen er et sterkt **samarbeid mellom medisin og en rekke realfag**, som biologi, molekylærbiologi, fysikk, kjemi, matematikk, informatikk, farmasi og nanoteknologi.

– Realfagene ved UiO dekker hele bredden i livsvitenskap. Ingen andre norske universiteter har den samme bredden som oss. **Fakultetet vårt skal bli det nasjonale tyngdepunktet for både den humane medisinen og for den biologiske forståelsen av livet**. Da er tungregninger svært viktige, sier forskningsdekan *Svein Stølen* på Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet ved UiO.

Livsvitenskapen kan bli en viktig bærebjelke i samfunnsøkonomien. OECD slår fast at **livsvitenskapen vil endre økonomien** i det 21. århundre. Bioøkonomien vil være en av **de betydeligste vekstindustriene** fremover, og vil også bety mye for miljøet og matforsyningen.

UiO planlegger et nytt livsvitenskapsbygg nedenfor Ring 3, mellom Blindern og Rikshospitalet.

FOTO: © LUCA KLEVE-RUUD / SAMFOTO

Røntgenkjemiker løser koleragåte

Sannsynligheten for å bli alvorlig syk av kolera, er avhengig av blodtypen. Ved å studere molekylstrukturen i giftstoffet til kolerabakterien, er det mulig å finne et nytt botemiddel mot den fryktede sykdommen.

Tekst: Yngve Vogt

Hvert år rammes tre til fem millioner mennesker av kolera. Dødeligheten er høy. Årlig dør 100 000 av den fryktede sykdommen.

– Kolera er avhengig av blodtypen. Visse blodtyper øker risikoen for å bli alvorlig syk, forteller professor *Ute Krengel* på Kjemisk institutt ved Universitetet i Oslo.

HØY DØDELIGHET: Hvert år dør 100 000 mennesker av kolera. Nesten 3000 døde av kolera på kort tid etter jordskjelvet på Haiti i 2010.

Her blir et koleraoffer gravlagt ved foten av fjellene utenfor hovedstaden Port Au Prince.

Når kolerabakteriene formerer seg inne i kroppen, danner de et forferdelig giftstoff som kalles *koleratoksin*. Toksinet må binde seg til cellemembranen før det kan trenge videre inn i tarmcellen og gjøre ugagn.

Ved å studere den molekylære strukturen til koleratoksiner, kan forskerne finne ut av hvordan toksinet binder seg til tarmceller på atomnivå.

Krengels mål er et nytt medikament som sørger

FOTO: SCIENCE PHOTO

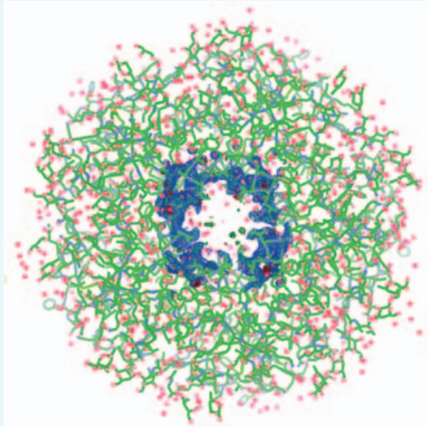


FOTO: JULIE HEGGELUND

FOTO: GV-PRESS

SKUMMEL BAKTERIE: De med blodtype 0 har størst risiko for å bli veldig syke av kolera.

Oppe, til høyre: MOLEKYLSTRUKTUREN TIL ET KOLERATOKSIN: De grønne strekene er koblingen mellom karboner. De blå prikkene er nitrogen, mens de røde prikkene er vannmolekyler. Eller for å være enda mer presis: Et vannmolekyl består av to hydrogenatomer og ett oksygenatom. Med den oppløsningen de bruker, er det ikke mulig å se hydrogenatomene med røntgen. De røde prikkene er derfor oksygenatomer.

for at koleratoksinet ikke fester seg i tarmen, men forsvinner ut igjen, uten å gjøre noen skade.

Kolera fører til voldsom diaré. Pasienten kan miste opptil 12 liter væske i døgnet. Behandlingen er væskeerstatning med salt i.

– Den må gis så fort som mulig og i store mengder. Hvis pasienten allerede er bevisstløs, må saltløsningen gis intravenøst. Antibiotika har ingen hensikt, forklarer professor *Gunnar Bjune* på Institutt for samfunnsmedisin ved Universitetet i Oslo.

Blodtype 0 er verst. Kolerabakterien kommer opprinnelig fra Bangladesh, men har de siste to hundre årene spredt seg til store deler av verden og har nå bitt seg fast i mange afrikanske og asiatiske land.

– Pasienter med blodtype 0 har størst risiko for å bli veldig syke. De med blodtype A, B eller AB er mer beskyttet mot kolera, konstaterer Ute Krengel.

Befolkningen i Bangladesh har en jevn fordeling med blodtype 0, A og B. I Afrika har flesteparten blodtype 0. Urbefolkningen i Latin-Amerika har nesten bare blodtype 0. Når koleraen rammer disse områdene, rammer den spesielt hardt.

I samarbeid med Rikshospitalet og Bioteknologisenteret studerer forskergruppen til Ute Krengel hvor sterkt koleratoksinet binder seg, hvor lang tid det bruker på å binde seg og hvor lenge det holder seg fast i reseptorene på tarmcellene.

Lurer bakterien. Koleratoksinet binder seg til små reseptorer i tarmveggen. Reseptorene består av små strå med sukkermolekyler på. De skal beskytte cellene mot skadelige inntrengere. Uheldigvis kan reseptorene utnyttes.

– Vi vil utvikle nye medikamenter som binder seg til koleratoksinet, slik at de ikke klarer å binde seg til tarmcellene.

Koleratoksinet består av to deler. Forskerne studerer den nederste delen, den som fester seg til reseptorene.

– Vi har oppdaget hvordan koleratoksinet binder seg annerledes enn man har trodd.

Toksinet er et protein. Proteiner er bygd opp av aminosyrer. Krengel-gruppen skal nå undersøke hvor viktige de ulike aminosyrene er for bindingene og hvilke aminosyrer som binder mest.

For å trenge inn i tarmcellene, må koleratoksinet først gjennom et slimlag.

– Resultatene våre tyder på at koleratoksinet bruker lengre tid på å trenge seg igjennom slimlaget om pasientene har blodtypeantigener i slimet.

Fire av fem mennesker har blodtypeantigener i slimet. Og det er de med blodtype 0 som er minst beskyttet og som derfor blir mer alvorlig syke enn andre.

Ufarlig koleramodell. I det avanserte eksperimentet har Krengel-gruppen laget en biologisk modell av hvordan koleratoksinet trenger inn i tarmceller. De bruker ikke ekte kolerabakterier. Det er for farlig. De har i stedet valgt å bruke E. coli-bakterier, som er modellbakterie nummer én for cellebiologer.

– De er både lette å lage og mye raskere og sikrere å jobbe med. Vi må dyrke store mengder for å kunne studere bindingene, forteller stipendiat *Julie Heggelund* som har faglig bakgrunn i molekylærbiologi.

For å lage kunstige koleratoksiner, eller for å være helt presis: for å lage den nederste delen av dem, må hun manipulere genene i E. coli-bakterier. Når hun har produsert den nederste delen, dreper hun bakteriene i en trykk-koker. Reseptorene er syntetiserte sukkermolekyler.

Røntgensjekken. For å finne strukturen i koleratoksinet og reseptorene, nytter det ikke med mikroskop. Oppløsningen er ikke god nok. De må ty til røntgen. Røntgenstråler har så kort bølgelengde at de fleste trenger igjennom hulrom i molekyler. Men før de kan kaste seg over røntgenmaskinen, må de krystallisere toksinet og reseptormolekylene. Dette er Krengels spesialitet.

Ved å tolke de røntgenstrålene som spres av krystallen, kan de beregne hvordan atomstrukturen ser ut. Dette kan sammenlignes med å sende laserlys gjennom en sil. Ved å studere det lyset som spres av silgitteret, kan man beregne hvordan selve silen ser ut.

Hver eksponering er todimensjonal. For å ta et tredimensjonalt bilde, bestråler de toksinkrystallen med opptil 500 eksponeringer fra ulike vinkler. Selv om avfotograferingen bare tar noen dager, kan tolkningen av molekylstrukturen ta flere måneder.

Julie Heggelund tar også slike røntgenbilder i Grenoble. Takket være en svær røntgenmaskin med en omkrets på nesten en kilometer, kan avfotograferingen ta så kort tid som to minutter.

FAKTA

Kan ikke utryddes

Kolera lar seg ikke utrydde. Kolerabakterien overlever i vann sammen med plankton. Med klimaendringene blir det flere bakterier, og det vil derfor bli et enda større problem, særlig i land med flomkatastrofer.

Vaksine

• Dagens vaksine mot kolera heter Ducoral. Den er ikke god nok. Den er dyr og immuniteten blekner raskt. Vaksinen er en drikkbar væske med døde kolerabakterier. Beskyttelsen varer bare et halvt år. Så må man vaksineres på ny.

• – Man må stadig vaksineres. Vaksinen må dessuten oppbevares kaldt. Det er vanskelig i Afrika, poengterer Ute Krengel.

• Det er ikke lett å bygge opp immunforsvaret i tarmen. Det er derfor heller ikke lett å lage noen vaksine. Ute Krengel har hatt noen ideer, men de er hver gang blitt hindret av de mange brede patentene.

• – Ducoral ble utviklet i Göteborg og ble liggende på hylla i ti år før Golfkrigen skapte et marked for vaksinen: Så dette er det kjente problemet med markedsmekanismene. En vaksine blir ikke nødvendigvis billig nok for dem som trenger den mest, forteller *Gunnar Bjune*, som påpeker at det snart kommer en ny vaksine på markedet som skal gi beskyttelse over lengre tid.

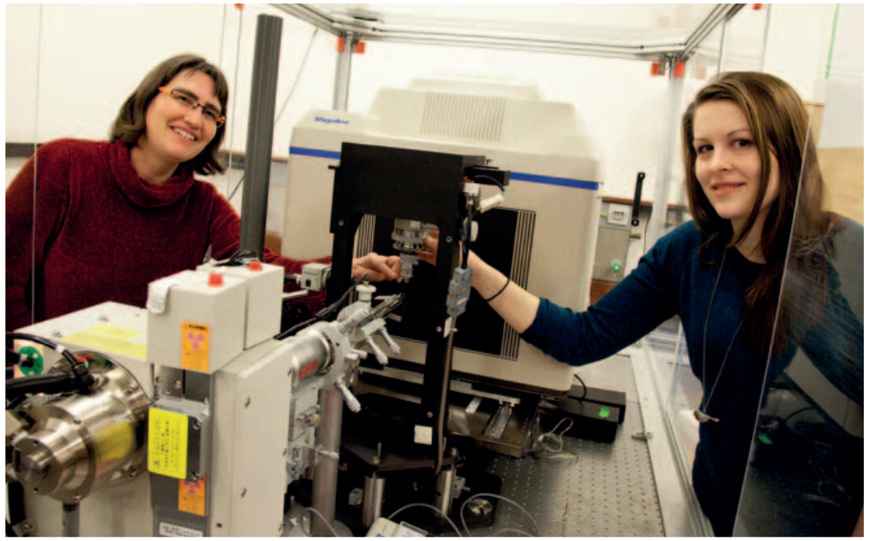


FOTO: YNGVE VOGT

RØNTGENBLIKK: Professor Ute Krengel og stipendiat Julie Heggelund bruker en liten røntgenmaskin på Kjemisk institutt for å finne molekylstrukturen i koleratoksinet.

Menneskets aller fjerneste slektning er en svært sjelden mikroorganisme fra Ås utenfor Oslo. Oppdagelsen kan gi innblikk i hvordan livet så ut på jorda for nesten én milliard år siden.

BLIKK INN I URTIDEN: Genanalyser av en mikroorganisme som lever i mudderet i en innsjø i Ås, gir forskerne et innblikk i hvordan det første livet på jorda så ut.

Har gentestet urtidsdyr fra Ås:

Menneskets aller fjerneste slektning

Tekst: Yngve Vogt

Biologer over hele verden har ventet i spenning på genanalysen av en av verdens minst kjente arter, *Collodictyon*, heretter kalt *urdyret* i Apollon-reportasjen, fra innsjøen Årungen rett ved E6 i Ås utenfor Oslo.

Da forskere ved Universitetet i Oslo sammenlignet genene med alle andre kjente arter i verden, viste det seg at urdyret ikke passer inn i noen av de fem hovedgrenene på livets tre. Urdyret er verken sopp, alge, parasitt, plante eller dyr.

– Vi har funnet en ukjent gren av livets tre som holder til i Årungen. Det er unikt! Så langt har vi ikke kjennskap til andre grupper organismer som nedstammer nærmere roten av livets tre enn denne arten. Den kan brukes som et teleskop inn i urtidens mikrokosmos, gløder førsteamanuensis *Kamran Shalchian-Tabrizi*, lederen av Microbial Evolution Research Group (MERG) på Universitetet i Oslo. Forskergruppen hans studerer ørsmå organismer for å finne svar på store, biologiske spørsmål innen økologi og evolusjonsbiologi, og arbeider på tvers av så ulike fagområder som biologi, genetikk, bioinformatikk, molekylærbiologi og statistikk.

Verdens eldste skapning. Livet på jorda kan deles opp i de to hovedgruppene *prokaryote* og *eukaryote* arter. De prokaryote artene, slike som bakterier, er den enkleste formen for levende organismer på jorda. De har ikke membraner inne i cellen og er derfor ikke ekte cellekjerner. Det har derimot eukaryote arter, slike som dyr og mennesker, planter, sopp og alger.

Stamtreet til urdyret fra Ås begynner ved roten av de eukaryote artene.

– Mikroorganismen er blant de eldste, nålevende eukaryote organismene vi kjenner. Den ble skapt for én milliard år siden, pluss/minus noen hundre millioner år. Med denne organismen kan vi bedre forstå hvordan det tidlige livet på jorda så ut.

Slik beveger de seg. Livets tre deles gjerne inn i organismer med én og to *flageller*. Flageller er viktige for at celler skal kunne bevege seg. Akkurat som hos alle andre pattedyr, har sædcellene til mennesker bare én flagell. Mennesker tilhører derfor den samme énflagellgruppen som sopp og amøber.

Derimot tror man at våre fjernere slektninger fra stamgrenene planter, alger og excavata (encellete parasitter) opprinnelig hadde to flageller.

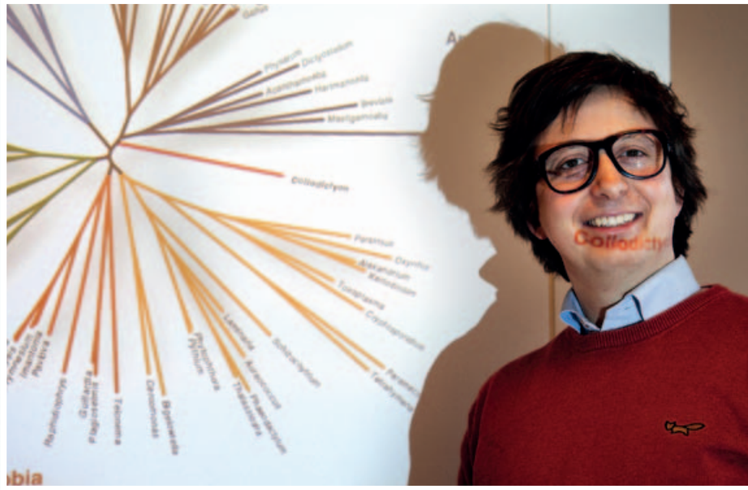
Urdyret fra Ås har fire flageller. Slektskapet den hører til i, er et sted mellom excavata, den eldste gruppen med to flageller, og noen amøber, som er den eldste gruppen med bare én flagell.

– Hvis vi skulle rekonstruere den eldste, eukaryote cellen i verden, tror vi at den ligner på arten vår. For å beregne hvor mye arten vår har endret seg siden urtiden, må vi sammenligne genene den har, med de nærmeste slektningene, amøber og excavater, forteller Shalchian-Tabrizi.

→

FOTO: MERG/UIO

FOTO: YNGVE VOGT



SLEKTSKAPET: Urdyret fra Ås passer ikke inn i noen av hovedgrenene på livets tre. Kamran Shalchian-Tabrizi måtte opprette enda en hovedgren. Den kalles for Collodictyon.

FAKTA

Urdyret fra Ås

- Mikroorganismen fra Ås er menneskets fjerneste slektning. Den er en av verdens eldste arter og er svært vanskelig å dyrke i et laboratorium.
- Den er 30 til 50 mikrometer lang og lever i mudderet på sjøbunnen i Årungen i Ås kommune.
- Genanalyser viser at den ikke tilhører noen av de fem hovedgrenene på livets tre.
- Organismen kan brukes som et teleskop inn i urtidens mikrokosmos.

Fanges med lekkerbisken. Urdyret er ikke lett å få øye på. Det lever nede i mudderet i sjøbunnen. Det er tretti til femti mikrometer langt og kan bare sees i mikroskop. Når professor *Dag Klaveness* på MERG skal fange dyret, stikker han et rør ned i sjøbunnen og tar opp en søyle med mudder og heller på en gallegrønn algeblanding.

Algene er så fristende lekkerbiskener for de små urdyrene, at de svømmer opp.

– Så kan vi plukke dem ut, én og én, med en pipette, forteller Klaveness.

Det er ikke mange av dem. Og UiO-biologene har ikke funnet dem andre steder enn i Årungen ved Ås.

– Vi er overrasket. Det lages enorme mengder miljøprøver i verden. Vi har lett etter arten i alle DNA-databaser som finnes, men har bare funnet samsvar med en halv gensekvens i Tibet. Så det kan tenkes at det bare eksisterer noen ganske få andre arter i denne slektsgrenen av livets tre, som har overlevd alle de mange hundre millioner årene siden de eukaryote artene dukket opp på jorda første gang.

Lite sosial. Urdyret lever av alger, men forskerne vet ennå ikke hvem som spiser urdyret. De vet heller ingenting om livssyklusen. Men én ting er sikkert: – De er ikke sosiale dyr. De trives best alene. Når de har spist opp maten, råder kannibalismen, konstaterer Klaveness.

Urdyret har en spesiell innbuktning i cellen. Den ser ut som en fure.

– Arten har den samme intracellulære strukturen som excavater. Og den har den samme utveksten som amøber til å fange maten med. Det betyr at arten kombinerer to kjennetegn fra hver sin stamgren av de eukaryote hovedgruppene. Det gir oss ekstra støtte for at arten fra Ås tilhører en urgammel gruppe. Kanskje er den avledet av forfedrene til både excavatene og amøbene? spør Shalchian-Tabrizi.

Urdyret ble oppdaget allerede i 1865, men det er først nå, takket være svært avanserte genanalyser, at forskerne skjønner hvor betydningsfull arten er for livets historie på jorda.

Dyrker urdyret i enorme mengder. Dag Klaveness har, sammen med stipendiat *Jon Bråte*, klart å dyrke opp arten i store mengder. Ingen har gjort dette før. Klaveness har de siste 40 årene spesialisert seg på å dyrke organismer som er vanskelige å dyrke eller som det er vanskelig å isolere fra andre arter.

Dyrkingen er viktig for å kunne kartlegge genene til skapningen. Det trengs mer enn noen få eksemplarer til en gentest. Forskerne har vært nødt til å ale opp store mengder. Arbeidet er krevende og har tatt mange måneder.

Yndlingsmaten til urdyret er grønne alger, men ettersom både urdyret og grønne alger er eukaryote arter, det vil si arter med ekte cellekjerner, er det lett å forveksle genene til urdyret og til maten i gensekvenseringen. Klaveness har derfor valgt å fore urdyret med blågrønne bakterier, som genetisk er veldig forskjellige fra urdyret. Blågrønne bakterier er ikke akkurat yndlingsretten, men urdyret får bare valget mellom å spise eller dø. Blågrønne bakterier er prokaryote, altså arter uten membraner og ekte cellekjerner. Da kan forskerne skille mellom genene til urdyret og maten i gensekvenseringen.

I laboratoriet har Klaveness flere dunker med urdyret. Algeblandingen synker til bunns. Urdyret dukker ned når det har lyst til å spise.

Når forholdene er som best, deler de seg annet hvert døgn. Men med blågrønne bakterier på menyen, som er like kjedelig som om du bare fikk gulrøtter i flere måneder og intet annet, vokser urdyrene mye langsommere.

Når urdyrene har formert seg nok, blir de sentrifugert ut og gensekvensert. Så blir genene sammenlignet med tilsvarende gensekvenser fra andre arter. – Vi har gensekvensert 300 000 biter av genomet (den samlete arvemassen), men vi vet fortsatt ikke hvor stort genomet er. Vi leter foreløpig bare etter de viktigste delene, forklarer Kamran Shalchian-Tabrizi.

Spor fra urtiden. Problemet er at DNA-sekvenser endrer seg mye over tid. Deler av DNA-et kan ha blitt visket bort i årenes løp. Ettersom urdyret er en svært gammel art, trengs ekstra mye geninformasjon.

– Ofte er det slik med så gamle organismer at fellestrekk med andre kjente arter har blitt visket bort fra DNA-sekvensen på grunn av lang tids mutasjoner. Du kan sammenligne det med asfaltering. Hvis du asfalterer en vei mange nok ganger, ser du ikke lenger brosteinene.

Man må derfor samle sammen store gensekvenser for å finne felles spor fra urtiden.

Stipendiat *Sen Zhao* står bak de omfattende, statistiske beregningene. For å beregne slektskapet har de brukt informasjon fra forskergruppens egen Bioportal, i samarbeid med tungregnegruppen ved Universitetet i Oslo.

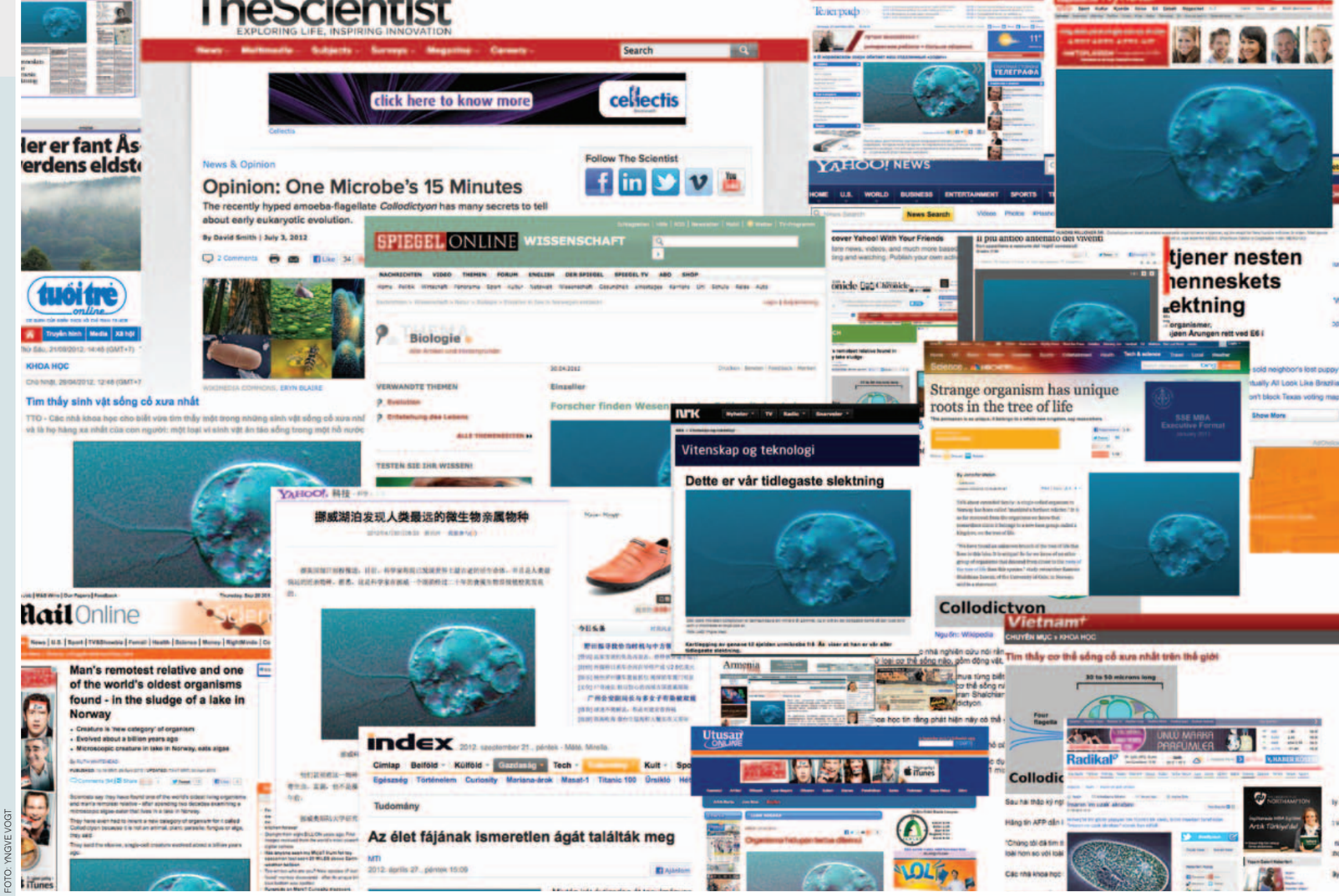


FOTO: YNGVE VOGT

MEDIA: Nyheten om urdyret fra Ås gikk verden rundt.

40 ÅRS ERFARING: Professor Dag Klaveness har de siste 40 årene spesialisert seg på å dyrke opp mikroorganismer. Det trengs store mengder for å kunne kartlegge genene.

FOTO: YNGVE VOGT

Løser evolusjonære gåter. Kamran Shalchian-Tabrizi forteller at livets tre kan gi fundamentale svar på store gåter i evolusjonen.

– For å forstå hvordan en art er i dag, må vi skjønne hvordan den genetisk har endret seg. Med livets tre kan vi forklare cellulære endringsprosesser ved å koble genom og morfologi (utseende) med levesett.

Shalchian-Tabrizi ønsker blant annet å bruke urdyret til å undersøke når fotosyntesen oppstod blant de eukaryote organismene. Fotosyntesen skjer i kloroplasten.

Kloroplasten var opprinnelig en frittlevende, blågrønn bakterie. Hvis forskerne finner genrester av disse bakteriene i urdyret fra Ås, kan det tyde på at fotosyntesen har oppstått tidligere enn antatt.

– Det er mange sannsynlige scenarier, men vi vet fortsatt ikke svaret, erkjenner Shalchian-Tabrizi.

Forskerne ønsker også å stille seg spørsmålet om når andre egenskaper kom, slike som *mitokondriene,* som er energimotoren i cellene våre.

Rense drikkevann i Japan? De siste årene har forskere funnet noen tilsynelatende like eksemplarer av urdyret fra Ås i Japan og i Sørøst-Asia. En forsker fra Japan kom ens ærend med et glass av arten til Oslo, for at Klaveness kunne dyrke den.

– Vi skal nå gensekvensere disse stammene. For det er ikke sikkert at genene er like, selv om morfologien er lik, sier Klaveness.

Japanerne håper at urdyret kan brukes til å rense drikkevann for giftige, blågrønne bakterier.

RAGNHILD ESKELAND har oppdaget at spesifikke gener i kreftceller fra pasienter med spiserørskreft, er pakket inn på en annen måte enn i friske celler.

Fremtidens medisin bygger på epigenetikk

Fremtidens behandling mot kreft og diabetes kan være en epigenetisk medisin som skrur av og på helt bestemte gener. Med epigenetikk kan man også bedre forstå hvordan stamceller omdannes til andre celler.

Tekst og foto: Yngve Vogt

Da forskerne kartla menneskets genom for ti år siden, trodde mange at DNA-forskningen hadde kommet til veis ende. Men det var først da det begynte.

Selv om alle cellene i kroppen har nøyaktig de samme DNA-trådene, oppfører de ulike cellene våre, slik som nerveceller og leverceller, seg forskjellig. Og hvis DNA-et skulle bety alt, hadde eneggete tvillinger vært identiske, med eksakt de samme sykdommene. Slik er ikke virkeligheten.

Ikke alle gener er aktive. Stress, sult og miljøendringer kan føre til at gener blir skrudd av og på. Endringene kan bli varige og faktisk overføres til neste generasjon.

FAKTA

Epigenetikk

- Ikke alle gener er aktive. Gener kan skrus av og på.
- Forskning på av- og på-knappene kalles epigenetikk.
- Av- og på-knappene styres av måten genet er pakket inn på.
- Stress, sult og miljøendringer kan føre til at gener blir skrudd av og på.
- Endringene kan bli varige og overføres til neste generasjon.

Den nye vitenskapen. Forskningen på disse av- og på-knappene er en svært moderne vitenskap som kalles for *epigenetikk*.

– Mange sykdommer, som kreft og diabetes, skyldes blant annet epigenetiske mekanismer. Når man har fått den epigenetiske forklaringen på en sykdom, kan man i fremtiden få en spesiell medisin som slår av eller på visse gener. Allerede i dag fins det noen epigenetiske medisiner under klinisk utprøving mot noen krefttyper. Jeg tror også vi får kosttilskudd, i stedet for vitaminpiller, som gjør noe med epigenetikken vår. Med kunnskap om epigenetikk kan vi holde oss friskere, leve lenger og forstå mer om hvordan sykdommer oppstår. Da vil det være mulig å unngå sykdommer både for oss selv og neste generasjon, påpeker postdoktor *Ragnhild Eskeland* på Institutt for molekylær biovitenskap ved Universitetet i Oslo.

Hun jobber nå med å finne den epigenetiske forklaringen på hvorfor stamceller utvikler seg til spesifikke celler, som blodceller og nerveceller, tidlig i fosterstadiet. Dette er viktig for å forstå fremtidens stamcelleterapi. Hun har også, i samarbeid med forskere fra MRC Cambridge, jobbet for å finne den epigenetiske forklaringen på spiserørskreft. Eskeland har oppdaget at spesifikke gener i kreftceller fra pasienter med spiserørskreft, er pakket inn på en annen måte enn i friske celler.

Nå vil hun gjerne bruke denne teknikken til å finne epigenetiske angrepsvinkler mot to av de vanligste kreftformene, brystkreft og prostatakreft.

Pakket inn i trådsneller. Arvematerialet vårt, DNA-tråden, er fullt utbrettet to meter lang og inneholder over 20 000 gener. For at hele DNA-tråden skal få plass i en cellekjerne, må den pakkes sammen og tvinnes rundt en rekke små trådsneller, kalt *nukleosomer*.

– Vi ønsker å forstå sammenhengen mellom trådsnellene, innpakkingen og genfunksjonen, og om det er flere årsaker som til sammen styrer om et gen er på eller av. Når et gen er pakket sammen, betyr det som oftest at genet er slått av, men ikke alltid. Det kan også tenkes at pakkingen bare justerer styrken til genet. Det er det jeg forsker på nå, forteller Ragnhild Eskeland.

Tre gengrep. Måten gener kan slås av og på, kan grovt sett deles inn i tre grupper.

Den ene muligheten er direkte, kjemisk modifikasjon av en av grunnsteinene i DNA-strengen, A (adenin), T (tymin), G (guanin) og C (cytosin). Dette skjer ved at visse enzymer gjør noen små endringer i et cytosin.

Den andre muligheten er en kjemisk modifikasjon av proteinene i trådsnellen som DNA-tråden tvinnes rundt. Det betyr at proteinene inne i selve trådsnellene kan brukes til å styre om et gen skal være av eller på.

Den tredje muligheten er enda mer sofistikert. Proteiner og enzymer utenfor trådsnellene kan bytte ut eller modifisere histonene inne i trådsnellene, flytte trådsnellene fra hverandre eller pakke dem tettere sammen for å styre om et gen skal være av eller på.

Proteinene inne i trådsnellene kalles for *histoner*. Det finnes fem forskjellige typer histoner. Fire av dem fins i trådsnellene. Hver trådsnelle består av åtte stykk histoner. Fire innerst og fire ytterst. De innerste histonene er nesten like i hele dyreriket, hos alt fra bananfluer til mennesker.

Trådsnellene kan reguleres ved at de ytterste histonene byttes ut med andre histonvarianter.

Forstår trådsnellene. Forskerne kan i dag se på sammenhengen mellom histonene og hva den aktuelle biten av DNA-strengen representerer.

– Vi vet nå at ikke alle trådsnellene i DNA-strengen er like og begynner å forstå hvordan trådsnellene virker.

Ragnhild Eskeland mikser sammen gener, histoner og andre proteiner på laboratoriet, for å finne ut av hva som skal til for å pakke sammen arvematerialet vårt. – Vi ønsker altså å vite hvilke proteiner som gjør jobben og hvordan det gjøres.

For å se om et gen er aktivt, kan hun se på RNA. RNA er en DNA-kopi av genet som lager proteiner. Hvis RNA er til stede i en celle, vet forskerne at genet er på.

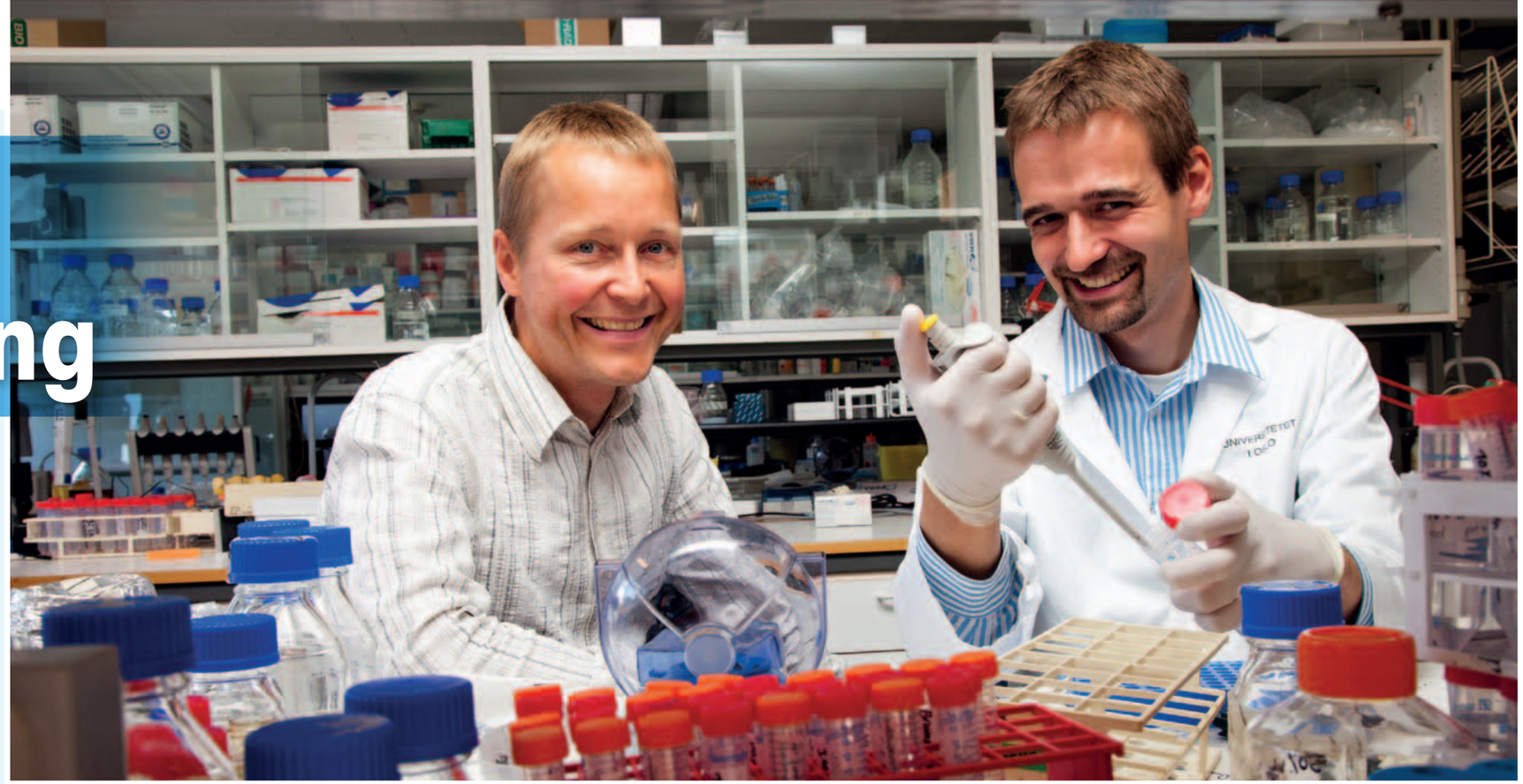
For å se om et gen er pakket sammen eller åpent, bruker hun mikroskop. Hemmeligheten er fluorescerende prober. *Prober* er små DNA-biter som fester seg til bestemte deler i genomet.

– Når man skrur på genet, vil probene stå lenger fra hverandre. Det betyr at genet er blitt aktivert. Når probene står nær hverandre, er genet pakket tett sammen. Da er genet skrudd av.

Puslespill. Epigenetisk forskning er meget møysommelig. Eskeland har nå funnet et sett av proteiner som er ansvarlig for genpakkingen.

– Oppdagelsen min blir bare en liten brikke i det store puslespillet. Det er enorme muligheter i epigenetikk. Vi er bare i begynnelsen, poengterer Ragnhild Eskeland.

Nyoppdaget enzym viktig for kreftspredning



Enzymjegere ved UiO har funnet funksjonen til et enzym som er viktig for kreftspredning. Kreftforskere håper nå å kunne hemme enzymet.

Tekst og foto: Yngve Vogt

Den nye oppdagelsen kan være banebrytende for pasienter med metastase, det vil si alvorlig spredning av kreft. Enzymjegere ved Universitetet i Oslo har funnet funksjonen til et enzym som får kreftceller til å spre seg.

– Enzymet kan hjelpe kreftceller å overleve. Vi har vist at de cellene som mangler enzymet, vokser langsommere enn normale celler. Funnet vårt kan bli viktig i kreftbehandling. Vi håper den nye kunnskapen vår kan gjøre det lettere å finne et stoff som kan hindre spredning av kreft. Man kan tenke seg en kreftmedisin bestående av skreddersydde hemmere av enzymet, forteller professor *Pål Falnes* på Institutt for molekylær biovitenskap ved Universitetet i Oslo. Forskningen har vært et samarbeid med Oslo universitetssykehus. Resultatene ble nylig publisert i *Nature Communications*.

Enzymjakten. Enzymjakt er et svært møysommelig arbeid. For å få kunnskap om enzymer, må forskerne ha detaljert kunnskap både om arvematerialet og proteiner.

Menneskets genom består av noe over 20 000 gener. Gener er koder for proteiner. De inneholder oppskrifter på hvordan proteinene skal settes sammen i lange kjeder, bestående av 20 ulike typer byggeklosser, kalt aminosyrer. Forskere kjenner i dag funksjonen til bare halvparten av proteinene i cellene våre.

Mange proteiner er enzymer. Enzymer er katalysatorer. De sørger for å holde i gang de biokjemiske reaksjonene i cellen.

Pål Falnes forsker på ukjente enzymer. For å klare det har han med seg forskere med bakgrunn i biokjemi, genetikk, bioinformatikk og cellebiologi.

Merking av proteiner. Forskerne må også være i frontlinjen i epigenetikk. Epigenetikere studerer hvordan genene kan slås av og på og hvordan epigenetisk informasjon kan nedarves fra en generasjon til den neste. Denne informasjonen kan påvirkes av ytre stimuli, slike som miljø og livsstil.

– Man kan tenke seg en kreftmedisin bestående av skreddersydde hemmere av enzymet.

Genomet vårt er en lang kjede som består av de fire ulike byggesteinene adenin, tymin, guanin og cytosin. Rekkefølgen av disse byggesteinene utgjør den genetiske informasjonen.

Genomet vårt er pakket sammen med en viss type proteiner, kalt histoner. For å slå av og på gener, fins det en rekke enzymer i cellen som kan legge til og fjerne epigenetiske merkelapper både på histoner og i DNA-et. En type merkelapp er metylmolekyler, som består av noen få hydrogen- og karbonatomer.

Det spesielle enzymet som forskerne ved UiO har funnet funksjonen til, kan også feste slike metylmerkelapper på histoner, men hovedoppgaven det har, er å legge slike merkelapper på et annet, svært viktig protein.

Kreftspredning. En tysk forskergruppe fra Universitetet i Heidelberg slo i 2011 fast at det nyoppdagete enzymet er viktig for kreftcellers evne til å spre seg og invadere annet vev.

Men det er forskerne ved Universitetet i Oslo som har avslørt egenskapene til enzymet.

– Selv om dette er et stort gjennombrudd, vet vi fortsatt lite om hvordan enzymet fremmer kreftspredning og hvor viktig det egentlig er. Det kan tenkes at enzymet påvirker de epigenetiske metylmerkelappene i kreftceller på en slik måte at svulsten blir mer aggressiv, sier Falnes.

Professor *Jonathan Sleeman* i den tyske forskergruppen sier til Apollon at resultatene fra Oslo-gruppen er svært spennende fordi de avslører hvordan enzymet fungerer.

Fra gjær- til menneskeceller. For å finne funksjonen til enzymer, bruker molekylærbiologer ofte encellete organismer, slike som gjær eller bakterier. Problemet er at enzymet som UiO-forskerne har funnet funksjonen til, ikke finnes i disse modellorganismene. Hovedpersonen bak studien, *Stefan Kernstock*, tidligere postdoktor ved UiO og nå ansatt i det bioteknologiske selskapet Sero, har derfor forsket direkte på menneskeceller. For å kunne oppdage det spesielle enzymet, måtte han utvikle en helt ny biokjemisk metode.

Innovasjonsselskapet Inven2 ved UiO og universitetssykehusene har sendt inn en patentsøknad på metoden.

– Vi håper en internasjonal aktør kjøper produktet og gjøre det tilgjengelig. Da vil flere kunne forske på dette enzymet, sier forretningsutvikler *Kristin Sandereid* i Inven2.

Omvendt egenskap. Pål Falnes har jaktet på funksjonen til ukjente enzymer siden 2000. For ti år siden oppdaget han hvordan et enzym repererer skadete gener. Det vakte en del oppmerksomhet.

Mens enzymet som han forsker på nå, bekler et protein med metylmolekyler, gjør enzymet som han forsket på den gang, nettopp det motsatte. Det fjerner skadelige metylmolekyler fra DNA-strengen. Siden den gang har forskere oppdaget at denne mekanismen også blir brukt av en rekke proteiner som fjerner epigenetiske metylmerkelapper.

Åtte nye enzymer. Enzymjegerne ved UiO har nylig også kastet lys over ytterligere åtte ukjente enzymer hos mennesker. Resultatene tyder på at også disse enzymene bruker metylmerkelapper til å endre visse proteiner.

– Noen av disse enzymene kan være viktige for kreft og andre sykdommer.

Forskergruppen til Falnes skal nå studere disse enzymene nærmere.

HINDRER KREFTSPREDNING: – Vi håper den nye kunnskapen kan gjøre det lettere å finne et stoff som kan hindre spredning av kreft, forteller enzymjegerne professor Pål Falnes (til venstre) og hovedpersonen bak studien, tidligere postdoktor Stefan Kernstock.

Hjernen er *ikke* stabil. De mikrosmå kontaktpunktene på tentaklene til hjernecellene endrer seg mens man lærer.

Hjernecellene endrer seg under læring

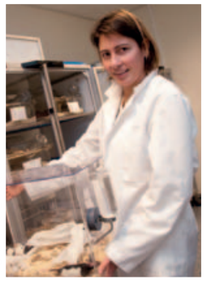


FOTO: YNGVE VOGT

FANT STEDSANSEN: Doktoravhandlingen til Marianne Fyhn om stedsansen i hjernen ble kåret til verdens beste for to år siden.

Tekst: Yngve Vogt

Mange medikamenter mot nevrologiske lidelser har bivirkninger. Når vi får større forståelse av den friske hjernen, kan vi lage bedre medisiner mot disse lidelsene, poengterer førsteamanuensis *Marianne Fyhn* på Institutt for molekylær biovitenskap ved Universitetet i Oslo. Hun leder en ny forskergruppe som studerer hvordan hjernen forandrer seg under læring.

Ny forskning viser at hjernecellene endrer kontaktpunkter under læring. Marianne Fyhn tar nå et dypdykk i hjernen for å vise hvordan dette skjer. Forskningen hennes kan vekke like stor oppmerksomhet som doktorgraden hennes for to år siden. Da fant hun stedsansen i hjernen. Doktoravhandlingen ble den gang kåret til verdens beste av den amerikanske organisasjonen Society for Neuroscience.

For å forstå den nye forskningen hennes, må Apollon sveipe innom doktorgraden hennes.

Fant stedsansen. Det var lenge en vedtatt sannhet at stedsansen er lokalisert i hippocampus, som ligger dypt inne i tinninglappen i storhjernen. Når hippocampus skades, får man problemer med hukommelsen og slike enkle ting som å finne veien hjem igjen.

Da Marianne Fyhn brukte elektroder for å måle aktiviteten til hjernecellene i hippocampus på rotter, gjorde hun en banebrytende oppdagelse. Rottene ble trent til å få belønning når de kom til et bestemt sted i en labyrint. Det viste seg at hjernecellene i hippocampus dannet et stabilt kart over hele labyrinten. Da hun endret plasseringen der rottene kunne få belønning, endret også hjernekartet seg.

– En hjernecelle som var aktiv for et helt bestemt område i labyrinten, ble nå plutselig aktiv i et helt annet område.

Og enda viktigere: Fyhn slo fast at stedsansen ikke var lokalisert i hippocampus, men i naboområdet *entorhinal cortex*.

Ettersom det er svært krevende å undersøke denne delen av hjernen med elektroder, har dette området nærmest vært en hvit flekk for hjerneforskere.

Perfekt symmetri. Da Fyhn målte responsen fra hjernecellene i entorhinal cortex, oppdaget hun at de samme hjernecellene var aktive hver gang rottene befant seg på et bestemt, geografisk punkt. Og som om dette ikke var nok:

– Avstanden mellom aktivitetsfeltene var konstant og dannet et perfekt symmetrisk møns-ter. Det var faktisk mulig å plassere likesidete trekanter mellom alle aktivitetsfeltene. Vi døpte disse områdene *gridceller* fordi de dannet et rutenett over omgivelsene, akkurat som lengde- og breddegradene på et kart.

Uansett om rottene beveget seg i en boks på en ganger en meter eller to ganger to meter, var avstanden mellom aktivitetsfeltene konstant.

– Vi fant med andre ord hjernens kart og kompass. Hjernens minnesenter, hippocampus mottar informasjonen fra disse gridcellene og setter sammen denne informasjonen til komplekse minner, forteller Marianne Fyhn.

– Kunnskapen kan brukes til å fremstille bedre og mer effektive medisiner mot nevrologiske sykdommer og skader.

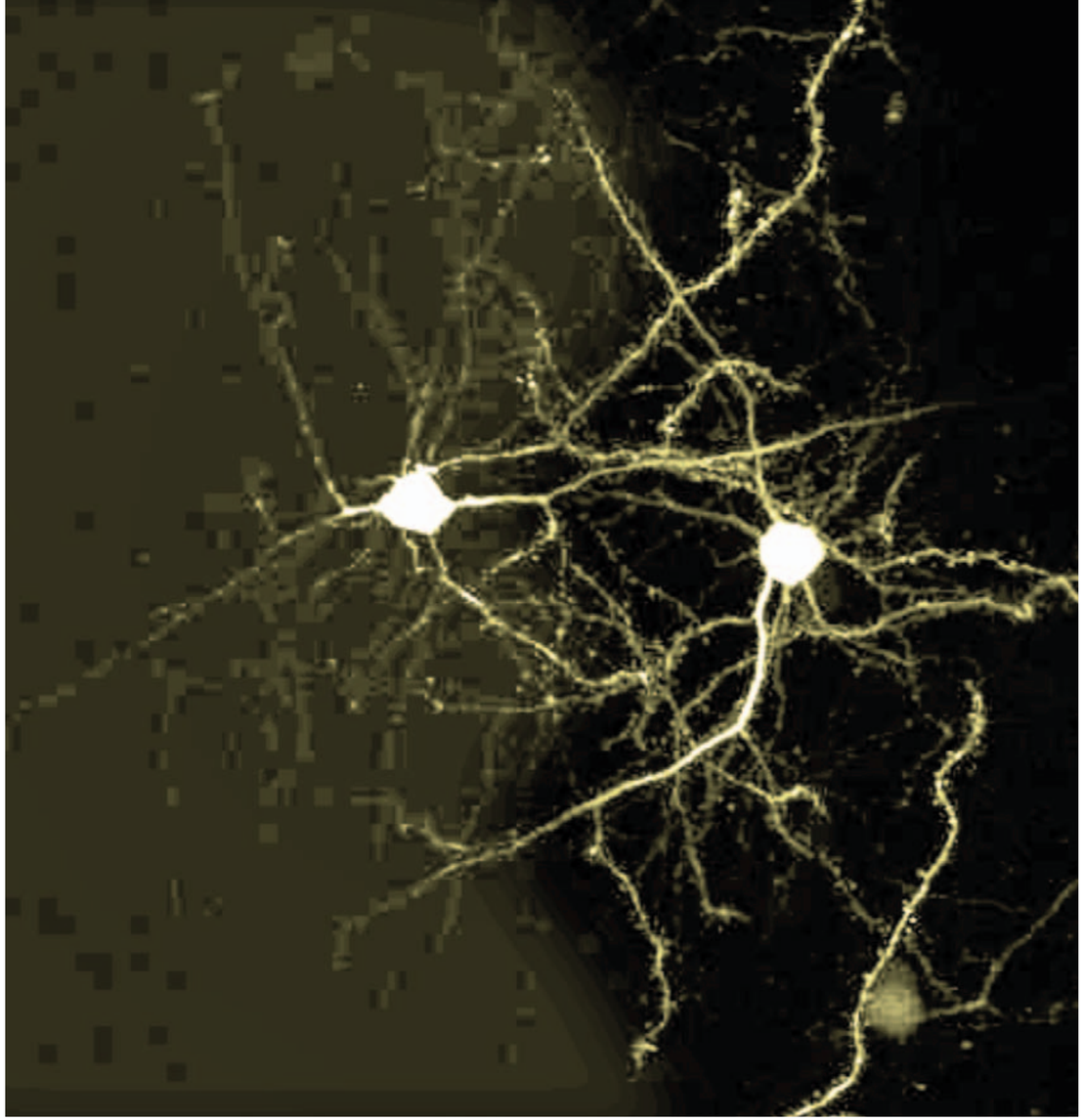


FOTO: IMBV/UIO

400 mikrometer

TO HJERNECELLER: Hver eneste celle i hjernen har titusenvis av kontaktpunkter med andre hjerneceller. Ny forskning tyder på at kontaktpunktene endrer seg under læring. Dette lasermikroskopibildet viser to hjerneceller med utløpere i synshjernebarken hos rotter. For å kunne ta bildet måtte forskerne på forhånd sprøyte inn et selvlysende stoff i hjernen mens rotten var et foster.

Ingen hadde sett noe slikt før. Nå vil Marianne Fyhn ta et steg videre. Hun vil vite hva som skjer i hjernen når man kommer til et nytt sted og skal lage og lagre nye kart og minner.

– Vi vet veldig lite om hvordan dannelsen av nye minner påvirker hjernecellene. Dette har med hukommelse å gjøre. Vi vil derfor gjerne vite hvordan hjernen skaper nye minner.

Kontaktpunktene i hjernecellene endrer seg. Fridtjof Nansen påviste i sin tid, som professor i zoologi, at hjerneceller har kontaktpunkter med hverandre, men at det likevel fins en liten avstand mellom dem. Alle hjerneceller har lange utløpere, som tentaklene fra en brennmanet. Hver av dem har titusenvis av kontaktpunkter med andre hjerneceller. Det er via disse kontaktpunktene at hjernecellene kommuniserer med hverandre.

– Barn lærer voldsomt raskt, og slagpasienter har evnen til å komme tilbake igjen til normal funksjon. Ny forskning tyder på at det skjer en del endringer i kontaktpunktene mens man lærer.

FOTO: YNGVE VOGT

SER INN I HJERNEN: Marianne Fyhn har operert inn et glassvindu i skallen på rottene, slik at man kan studere de ytterste lagene av hjernecellene i synshjernebarken.

Mikroskopi av levende hjerner. Bakgrunnen for denne oppdagelsen er en helt ny teknikk. Før i tiden måtte forskerne avlive rotter og sammenligne hjernene til de rottene som ble trent opp til en bestemt oppgave og til dem som slapp denne opptreningen.

– Med den metoden var det nesten umulig å få et godt bilde av hvordan kontaktpunktene hele tiden dannes og forsvinner. Med den nye teknologien er det derimot mulig å se på endringene mens de skjer, uten å avlive dyrene. Men det er utfordrende å mikroskopere våkne dyr. Rottene våre løper på en ball mens vi undersøker hjernen i et lasermikroskop. For at hjernen skal stå helt støtt, er rottehodet festet til en liten metallplate. Ved å se på de samme utvalgte hjernecellene og kontaktpunktene dag for dag, kan vi se endringer i hjernen. Der er vi nå.

Lasermikroskopet har kostet 3,6 millioner kroner og er så stort at det fyller et dobbeltkontor på Blindern. Med lasermikroskopet er det mulig å se en halv millimeter ned i hjernen. Det er ikke mye. Forskerne kan derfor bare bruke mikroskopet til å se inn i de aller øverste lagene av hjernebarken.

For å se inn i hjernen har UiO-forskerne operert inn et to millimeter bredt hull i hjerneskallen på forsøksrottene og tettet igjen hullet med et glassvindu. Da kan de ta frem de samme rottene og se hvordan kontaktpunktene i hjernecellene utvikler seg dag for dag. Kontaktpunktene er bare en til tre mikrometer brede. En mikrometer er en tusendels millimeter.

– Vi er ikke sikre på om utløperne fra hjernecellene vokser, men vi vet nå at det dannes nye kontaktpunkter på utløperne og at noen kontaktpunkter endrer størrelse.

Neste skritt er å finne den molekylære forklaringen. – Når vi har den grunnleggende kunnskapen om hva som skjer i hjernen, kan kunnskapen brukes til å fremstille bedre og mer effektive medisiner mot nevrologiske lidelser og skader, forteller Marianne Fyhn.

Opererer hjernen i rottefostre. For å kunne studere endringene i hjernecellene, har forskerne sprøytet inn et fluorescerende stoff i bestemte områder i rottehjernen. Stoffet får hjernecellene til å produsere selvlysende proteiner. Det spesielle proteinet får hjernecellene til å lyse opp i lasermikroskopet.

For at det fluorescerende stoffet skal havne på rett sted i hjernen, må stoffet sprøytes inn på et helt bestemt tidspunkt mens rotten fortsatt er et foster i livmoren til mammaen sin. Forklaringen er at ulike deler av hjernen dannes på helt bestemte dager i fosterutviklingen.

Merkingen av hjernecellene krever presis nennsomhet. Forskerne legger den drektige rottemoren i dyp narkose, åpner buken og tar ut livmoren.

– Embryoene ligger som perler på en snor i den gjennomsiktige livmoren.

Med en syltynn pipette injiserer de det fluorescerende stoffet i hulrommet i hjernen. Stoffet inneholder en DNA-kode. DNA-et programmerer hjernecellene til å lage selvlysende proteiner. DNA er negativt ladet. Ved å sende ut en svak elektrisk strømpuls, vil DNA-et bli drevet gjennom cellemembranen og inn i hjernecellene.

– Så legger vi fostrene varsomt tilbake i morens bukhule før vi syr igjen. Ungene fødes på vanlig måte.

Sjekker synsbarken. Det store spørsmålet til Fyhn er hvordan kortvarige erfaringer kan skape langtidsminner.

Ettersom lasermikroskopet bare kan brukes til å se ned i de øverste områdene i hjernen, kan hun bare bruke teknologien på de områdene av hjernen som ligger aller nærmest skallen.

Hippocampus og entorhinal cortex, som er de viktige sentrene for læring og hukommelse, er svært vanskelige å nå med mikroskop. Det er dessuten svært komplisert å måle hva som forårsaker minnene, ettersom disse hjernesentrene mottar informasjon fra alle sansene våre.

– Det er derimot langt lettere å kontrollere sanseinntrykkene som kommer inn til synshjernebarken. Det holder å lukke øynene. Samtidig ligger synshjernebarken lagelig til rett under skalletaket og er av den grunn ideelt egnet for mikroskopering.

Fyhn bruker derfor synssenteret som vitenskapelig modell. – Hvis du vil vite hva som skjer med læringen, kan du se på hva som skjer når synsinntrykkene endrer seg. Synssystemet er på et meget lavt nivå i hjernen, og de sanseinformasjonene som kommer hit, er derfor lette å kontrollere.

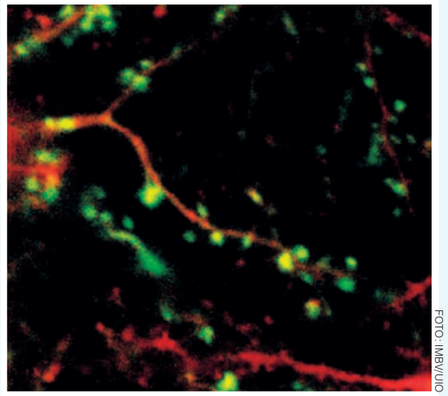


FOTO: IMBV/UIO

KONTAKTPUNKTENE: De røde strekene er utløperne til en hjernecelle. De grønne prikkene er kontaktpunkter på utløperne.
Hver grønne spinae har en diameter på ca 0,2–1 mikrometer.

Våken tilstand. Synssenteret kommuniserer med andre deler av hjernen. For å se sammenhengen mellom synshjernebarken og hukommelsessenteret, måler forskerne samtidig hva som skjer i hippocampus med elektroder.

Dagens kunnskap om hvordan hjernecellene bearbeider synsinntrykk, stammer fra dyr i narkose, siden synssenteret, uansett om dyr er i koma eller ei, responderer på synsstimuli.

– Ettersom vi er opptatt av læring og hukommelse, er vi avhengige av å undersøke hjernecellene mens dyrene reagerer på omgivelsene. Dyrene må derfor være våkne når vi undersøker dem. Vi antar at synsinntrykkene blir bearbeidet på en annen måte når dyrene ikke er i koma. Det er vi i ferd med å kartlegge nå. Metoden vår åpner for uante muligheter.

Forskerne belønner rottene når de klarer bestemte oppgaver.

– Rottene får belønning om de gjenkjenner et bestemt mønster, slik som en sirkel. Kvadrater gir ingen belønning. Dette er læring på lavt nivå. Hvis vi forstår hvordan læring påvirker synssenteret, kan vi overføre kunnskapen til andre deler av hjernen.

Selv om dette er grunnforskning, er ikke veien lang til medisinsk anvendelse:

– Forskningen vår øker forståelsen av hvordan mennesker kan være blinde, selv om de har et funksjonelt øye, forteller Marianne Fyhn.

FAKTA

Kontaktpunkter i hjerneceller

- Alle hjerneceller har lange utløpere. Utløperne har titusenvis av kontaktpunkter med andre hjerneceller.
- Hjernecellene kommuniserer med hverandre gjennom disse kontaktpunktene. Kontaktpunktene er en til tre mikrometer store.
- Ny forskning tyder på at kontaktpunktene endrer seg under læring.

Oppdager hissig brystkreft

Nå er det mulig å identifisere hissig brystkreft ved å tolke det matematiske mønsteret i kreftgenomet.

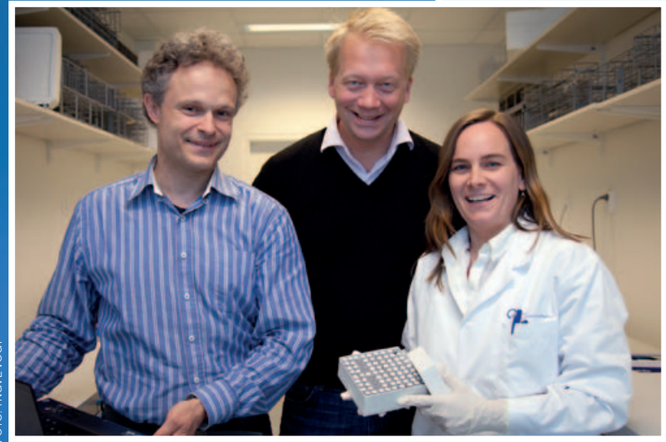
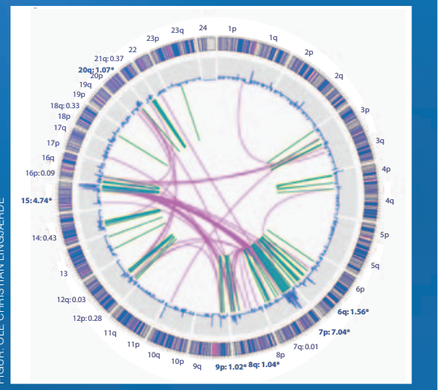


FOTO: YNGVE VOGT

TALLKNUSING: Onkolog Hans Kristian Vollan og patolog Hege Russnes har inngått et tett samarbeid med bioinformatiker Ole Christian Lingjærde (t.v.) for å finne den statistiske sammenhengen mellom endringene i kreftgenomet og hvor alvorlig sykdommen er.



FIGUR: OLE CHRISTIAN LINGJÆRDE

FOTO: SCIENCE LIBRARY PHOTO

GENKAOS: Det store hjulet viser hele genomet med 24 kromosomer. De buede linjene i midten viser hvordan genmateriale har byttet plassering. Dette matematiske mønsteret viser at pasienten har alvorlig brystkreft.

FAKTA

Brystkreftsjekk

Dagens metoder er for dårlige til å forutsi hvilke brystkreftpasienter det går bra med og dårlig med. Mange pasienter blir derfor unødig behandlet med cellegift.

Matematisk mønstergjenkjenning av endringene i kreftgenomet kan slå fast hvem som har hissig brystkreft. Da er det mulig å skille mellom pasienter med god og dårlig prognose.

Den nye metoden blir nå kontrolltestet av Universitetet i Cambridge.

Tekst: Yngve Vogt

Forskere ved Universitetet i Oslo har utviklet en helt ny metode for å skille mellom de brystkreftpasientene som har høy og de som har lav risiko for å dø av sykdommen.

– Dagens metoder er for dårlige til å forutsi hvem det går bra og hvem det går dårlig med. Vi har ønsket å identifisere de alvorlig syke pasientene, slik at de kan få aggresiv behandling, forteller patolog *Hege Russnes* ved Avdeling for patologi og Avdeling for genetikk ved Oslo universitetssykehus (OuS) og UiO.

For å være på den sikre siden, blir unødig mange brystkreftpasienter behandlet med cellegift.

– I dag får mange pasienter cellegift selv om de ikke trenger denne behandlingen. Uten behandlingen kunne de ha sluppet alvorlige bivirkninger. Bivirkningene kan noen ganger bli kroniske eller livstruende. Med den nye metoden vår kan vi skille mellom pasienter med god og dårlig prognose. Det gjør det lettere å velge hvilken behandling pasientene skal ha, forteller onkolog *Hans Kristian Vollan* på Avdeling for onkologi og Avdeling for genetikk ved OuS og UiO.

Finner mønsterendringene i genomet. Mange snakker om å finne det spesielle kreftgenet. Så enkel er ikke virkeligheten. Den nye metoden ser på endringene i hele arvestoffet i kreftcellene.

For å klare dette har de to medisinerne, sammen med forskningsleder, UiO-professor *Anne-Lise Børresen-Dale*, inngått et tett samarbeid med *Ole Christian Lingjærde* på Institutt for informatikk ved UiO. Han er professor i medisinsk bioinformatikk, et nytt fagområde som bruker statistikk, matematikk og informatikk til å løse komplekse problemer i kreftbiologien.

De fire forskerne har funnet den statistiske sammenhengen mellom endringene i kreftgenomene og sykdomsforløpene til 600 norske brystkreftpasienter gjennom ti år.

For hver av pasientene har de målt opptil 240 000 egenskaper i genomet i kreftcellene.

– Vi druknet i informasjon og måtte bruke matematiske og statistiske metoder for å identifisere de komplekse endringene i genomet. Vi så på lokale områder i genomet der DNA-bitene var stokket om hverandre. I noen områder mangler det gener. I andre områder er det for mange gener. De statistiske analysene viser at høy kompleksitet var klart assosiert med økt risiko for å dø av sykdommen, forteller Vollan.

I samarbeid med Universitetet i Cambridge skal de nå undersøke om de får de samme svarene i 2000 britiske og kanadiske brystkreftprøver.

– Hvis den store studien i Cambridge bekrefter våre funn, kan både vi og andre fagmiljøer ta opp tråden og gjennomføre mer målrettede, kliniske studier for å teste om metoden vår kan komme pasientene til gode, sier Ole Christian Lingjærde.

Da vil det være mulig å gi hurtige, diagnostiske svar på hvilken type brystkreft pasienten har.

I dag bruker patologer mikroskop for å diagnostisere brystkreft og si hvor alvorlig pasienten er rammet. Men det er ikke mulig å se de komplekse genomendringene i mikroskopet.

– Detaljerte genanalyser og statistiske metoder kan hjelpe oss videre. Dette blir en veldig viktig del av den nye patologien, forteller Russnes.

Genkaos i kreftceller. Det menneskelige genomet består av 24 kromosomer. Under normale forhold har hvert av de 20 000 genene en fast plass på et av de 24 kromosomene. Hvert gen består av en mengde basepar. Et genom har til sammen 3,3 milliarder basepar.

Med unntak av kjønnskromosomene har friske celler alltid to kopier av hele genmaterialet. Kopitallet er med andre ord alltid lik to i friske celler.

– I kreftcellene skjer det endringer i genomet, inkludert endringer i kopitallet. Endringene kan være veldig lokale eller involvere store områder i et kromosom. Vi har fokusert på de situasjonene der det er mange lokale endringer innenfor et begrenset område av genomet, forteller Lingjærde. Algoritmen hans gjenkjenner de områdene i genomet som har et høyt antall kopier.

Moderne behandling. De fire norske forskerne står i spissen for prosjektet, sammen med amerikanske, engelske og svenske forskere.

De er nå i gang med å videreutvikle metoden for å identifisere nøyaktig hvilke områder i genomet og hvilke gener som hyppigst rammes av de komplekse endringene i genomet.

Den nye kunnskapen kan også bli viktig for å finne en målrettet, molekylær behandling mot brystkreft.

TORSKEOPPDRETT: Oppdrettstorsken kan være fremtidens fiskerinæring, men det er fortsatt langt dyrere å avle torsk enn laks. Et av de store problemene med torskeoppdrett er sykdommer. Immunsystemet til torsk er svært forskjellig fra andre dyr. For å forstå immunsystemet bedre, skal professor Kjetill S. Jakobsen sammenligne torskens genom med både nært og mindre nært beslektede arter.

FOTO: PER EIDE STUDIO / SEAFOOD

UiO skal finne genomet til tusen laks og tusen torsk. Da kan forskerne designe en superlaks og redde torskestammer fra utrydding.

Redder torskestammer og avler frem bedre laksekjøtt

Tekst: Yngve Vogt

Biologer ved UiO sekvenserer nå genomet til tusen torsk og tusen laks for å kunne forstå hvordan genene og mutasjonene blir påvirket av ting som klimaendringer, temperatursvingninger og målrettet avl. De vil også finne den genetiske forklaringen på hvorfor laks vandrer opp i de samme elvene der de er født, hvorfor skrei og kysttorsk er forskjellige og hvilke gener som styrer kjønnsmodningen. Og sist, men ikke minst: Forskerne vil lære mer om hvilke gener som kan avles på for å bedre lakseoppdrettet og redde torskestammene fra utrydding.

Bare for noen år siden ville det vært utopi å gensekvensere flere tusen individer. Da det menneskelige genomet ble kartlagt for ti år siden, kostet sekvenseringen like mye som et romfartsprogram. Arbeidet tok ti år.

Siden den gang har DNA-teknologien vært igjennom en rivende utvikling. For to år siden publiserte Universitetet i Oslo en artikkel om torskens genom. Arbeidet vakte oppsikt verden rundt.

Nå har UiO anskaffet en av verdens raskeste DNA-maskiner, som gjør det mulig å sekvensere genomet til mellom 30 og 40 fisk i uken.

Forskningsrådet har gjennom Biotek2021, som er Norges satsing på bioteknologi frem til 2021, sponset gensekvenseringen med 40 millioner kroner. Arbeidet er et samarbeid mellom Institutt for biovitenskap ved Universitetet i Oslo, CIGENE ved Universitetet for miljø og biovitenskap på Ås, som forsker på moderne genomikk i fiskeoppdrett og husdyravl, matforskningsinstituttet Nofima og industribedriften Aquagen, som produserer lakserogn til oppdrettsanlegg.

Penere mønster i laksekjøttet. Laksenæringen trenger kunnskap om hele genomet både for å avle frem sykdomsfri laks og laks med bedre kjøtt. Mønsteret i kjøttet påvirker filetprisene.

– Når vi har en helhetlig biologisk forståelse av laksen, kan vi effektivisere lakseoppdrettet og forbedre kvaliteten på kjøttet ved å manipulere oppdrettslaksen gjennom miljø, fôr og avl, forteller lederen for forskningsprosjektet, professor *Kjetill S. Jakobsen* ved Senter for økologisk og evolusjonær syntese (CEES), som er en del av Institutt for biovitenskap ved Universitetet i Oslo.

For oppdrettsnæringen er det dessuten viktig å avle frem en laks som vokser enda fortere til lavest mulig pris, samtidig som den bruker lengre tid på kjønnsmodningen.

Poenget er å slakte fisken før den blir kjønnsmoden. Ellers forringes kvaliteten på kjøttet.

FOTO: COLOURBOX

FAKTA

Torsk

- Tusen torskeindivider skal genomsekvenseres.
- Genkunnskapen er viktig for forvaltningen av torskestammer.
- Hvis en torskestamme forsvinner, vil det være mulig å avle frem en ny torskestamme med rett genvariant.
- Genkunnskapen kan også brukes i den kommende torskeoppdrettsnæringen.
- Oppdrettstorsk kan bli fremtidens fiskerinæring.
- De uløste problemene står i kø.
- Et av de store problemene i oppdrettsnæringen er sykdommer. Torskens immunsystem er svært forskjellig fra andre fisk. For å forstå immunsystemet bedre, skal torskens genom sammenlignes med genomet til både nære og mindre nært beslektede arter.

BILLIGERE LAKS: – Når vi har en helhetlig biologisk forståelse av laksen, kan vi effektivisere lakseoppdrettet og forbedre kvaliteten på kjøttet ved å manipulere oppdrettslaksen gjennom miljø, fôr og avl, forteller Kjetill S. Jakobsen.

FOTO: YNGVE VOGT

– Vi ønsker fisk med god kvalitet, god tekstur på kjøttet og fin rødfarge. Da må vi blant annet utnytte pigmentene. Og vi ønsker fisk med høyest mulig overlevelse. 20 prosent svinn er for mye. Vi ønsker også å forstå genetikken bak laksens kjønn. Det vet vi ikke nok om i dag, forteller forsknings- og utviklingsdirektør *Nina Santi* i Aquagen.

Med den nye genkunnskapen vil det være mulig å avle frem fisk som enten blir steril eller senere kjønnsmoden. Det vil også bli mulig å lage en virtuell laks og simulere avl på datamaskinen før man gjennomfører avl i virkeligheten.

For å få best mulig oversikt over laksegenene, må forskerne studere genene både til oppdrettslaks og ulike villaksstammer.

– Laksen har vært selektert for flere egenskaper i sju-ni generasjoner siden 1970. Med det enorme sekvenseringsarbeidet kan vi finne ut av hvilke genetiske forandringer som har skjedd og hvordan vi kan designe avlen videre for å bedre kvaliteten. Det er mange gener som styrer dette, poengterer seniorforsker *Øivind Andersen* i Nofima.

Den nye genkunnskapen kan også brukes til å forstå laksesykdommer.

Aquagen har brukt bestemte genmarkører til å avle frem rogn som er motstandsdyktig mot det fryktede IPN-viruset. Viruset kan drepe opptil 90 prosent av yngelen.

– Selv om laksen er motstandsdyktig mot viruset, vet vi fortsatt ikke hvilke gener og varianter av dem som er involvert, forteller Kjetill S. Jakobsen.

Mer torsk på matfatet. Biologene skal ikke bare gensekvensere laks. De skal også saumfare genene til tusen torskeindivider. Poenget er todelt. Den nye genkunnskapen skal både kunne brukes i den kommende oppdrettsnæringen og til å forvalte de ville torskestammene.

La oss starte med oppdrettstorsken.

Tross store investeringer rundt årtusenskiftet er det få som satser på oppdrettstorsk i dag.

– Oppdrettstorsk kan være fremtidens fiskerinæring, men oppdrettsnæringen sliter. Det er langt dyrere å avle torsk enn laks. De uløste problemene står i kø, forteller Jakobsen.

Torskelarvene er særdeles kresne og vil ikke spise annet enn noen helt spesielle hjuldyr. Torsken har en notorisk tendens til å bite seg igjennom nettingen og rømme vekk fra fiskerianlegget. Og i motsetning til laksen gyter torsken med største vellyst i oppdrettsanlegget. Det er uheldig.

– Både gyting og rømming kan forurense genetisk og skape store økologiske problemer.

Merkelig immunsystem. Et av de andre store problemene med torskeoppdrett er sykdommer. Mens villtorsken klarer seg godt, blir oppdrettstorsk ofte syke.

For noen år siden oppdaget forskergruppen til Kjetill S. Jakobsen at immunsystemet til torsk er svært forskjellig fra andre dyr.

Torskens immunsystem har ikke den tradisjonelle beskyttelsen mot bakterier og parasitter. Torsken mangler halvparten av det vanlige immunsystemet.

Torskens immunsystem er likevel ikke defekt. Immunsystemet til de fleste andre arter består av to typer hovedmolekyler i detektorsystemet: Den ene reagerer på virus, den andre på bakterier og parasitter. Når molekylene oppdager angripere, gir de beskjed til immunsystemet. I motsetning til andre arter mangler torsken den andre detektoren. Likevel klarer den seg.

– Vi tror den ene detektoren har overtatt funksjonen til den andre. Det er viktig å forstå denne funksjonen for å kunne skape bra torskeoppdrett og for å kunne redusere dødeligheten med gode vaksiner.

For å forstå immunsystemet bedre, skal Kjetill S. Jakobsen sammenligne torskens genom med genomet til både nært og mindre beslektede arter.

Redder torskestammer. En ting er torskeoppdrett. – Vel så viktig er forvaltningen av de ville torskestammene. Torskefisket er viktig for fiskeindustrien.

Torsken er spredt over hele den nordlige halvkulen, men de ulike torskestammene lever svært ulikt. Mens skreien vandrer fra Barentshavet til Lofoten for å gyte, er kysttorsken langt mer avslappet på hvor den vil pare seg. Den gyter lokalt.

Østersjøtorsken lever dessuten i vann med lavere saltinnhold enn både skrei og kysttorsk.

Det øverste laget i Østersjøen er ferskvann. Det nederste laget mangler oksygen. Østersjøtorsken kan bare leve i et sjikt midt imellom. Det er derfor viktig at eggene flyter i den rette vannmassen.

Et av spørsmålene Jakobsen stiller seg, er hva som er den genetiske forskjellen mellom østersjøtorsken og de andre torskestammene.

– Det dreier seg ikke bare om ett gen. Hundrevis av genene kan variere.

Hvis østersjøtorsken forsvinner, er det ikke mulig å erstatte tapet ved å sette ut skagerraktorsk i Østersjøen. Eggene deres har feil tetthet. Da flyter eggene i feil vannlag. Når forskerne har oversikt over genene, kan de kanskje avle frem en torsketype som kan gyte i Østersjøen.

FOTO: JOHAN WILDHAGEN / SEAFOOD

VIRTUELL LAKS: Med den nye genkunnskapen vil det være mulig å simulere avl på datamaskinen før avlen blir gjennomført i virkeligheten.

Torskestammen utenfor den svenske vestkysten er mest truet. – Skagerraktorsken har ikke den genetikken som skal til for å tilpasse seg økologien i den svenske skjærgården. Bare en liten andel av skagerrakstammen kunne ha fungert. Vi må derfor rendyrke dens genvariant ved å plukke ut individer med rett genvariant og krysse dem med andre individer med den samme genvarianten. Når avkommet får den spesielle genvarianten i dobbel dose, kan den bli en levedyktig torskestamme, forteller Jakobsen.

Fiskerievolusjon. Forskerne ved UiO ønsker å undersøke om overfisking kan endre evolusjonen.

– Torsken blir mindre og tidligere kjønnsmoden. Torskestammene går ikke alltid tilbake til normalen når beskatningen blir lavere. Forklaringen kan være genetisk eller epigenetisk. Hvis noen av genene har endret seg, er forklaringen genetisk. Hvis genene fortsatt er de samme, men har slått seg av eller på, kan forklaringen være epigenetisk.

– Epigenetiske endringer kan da nedarves til neste generasjon, men de er ikke like stabile som mutasjoner.

Det er derfor viktig å finne ut av om forklaringen er genetisk eller epigenetisk. Hvis forklaringen er epigenetisk, vil det i prinsippet være lettere å reversere utviklingen, men det kan også være en kombinasjon av genetikk og epigenetikk, fordi genetikken påvirker epigenetikken.

Vanntemperaturen på embryostadiet påvirker kjøttmønsteret i oppdrettslaks. Jakobsen vil nå undersøke om dette kan forklares epigenetisk.

Den epigenetiske og genetiske kunnskapen er også viktig for å forstå hvordan klimaendringer påvirker fisk.

– Etter at havet er blitt varmere, har torsken hatt en tendens til å flytte nordover. Vi spør hvordan genene blir påvirket av miljøforandringene. Hvis temperaturen øker, må fisken skru på et bestemt protein som beskytter den mot varme. Torsk med rette gener er flinkere til å skru på dette proteinet enn andre torsk.

Gensekvenseringen kan også slå fast hvilke land som eier en torskestamme. Island har en stor torskestamme. Nå befinner torskestammen seg store deler av året utenfor Grønland. Det kan skape konflikt mellom Island og Danmark.

– Området der torsken gyter, er viktig for forvaltningen. Med en gentest kan vi si hvilken stamme torsken tilhører.

Referansegenom. Uten kartleggingen av torskens genom for noen år siden hadde det ikke vært mulig å sekvensere 30 til 40 torsk i uken.

Arbeidet er krevende. Et torskegenom består av nesten en milliarder basepar. Laksegenomet er derimot mer enn tre ganger større.

Ingen DNA-maskiner klarer å lese hele genomet på en gang. Løsningen er å kutte genomet i småbiter og lese en og en bit. Hver bit består av hundre basepar. Det store problemet er å sette sammen alle bitene i riktig rekkefølge.

Da forskerne lette etter torskens referansegenom, ble hver bit lest hundre ganger. Jo flere ganger en bit ble lest, desto større er sannsynligheten for at bitene blir lagt sammen i rett rekkefølge.

Nå skal forskerne finne de individuelle forskjellene. Ettersom man kan sammenligne resultatene med referansegenomet, kan man lese en bit færre ganger. Jo færre, desto mindre koster sekvenseringen. Jo flere lesninger, desto bedre blir resultatet.

– Vi sjekker nå 48 torsk for å beregne hvor mange ganger bitene må leses. Det blir en avveining mellom pris og kvalitet.

Venter på laksesvar. Laksens referansegenom er snart i boks. Forskergruppen trenger den som referanseramme for å kunne tolke sekvenseringene av de tusen lakseindividene. Den enorme mengden med data blir samlet i en søkbar database. Alle beregningene skjer på universitetets raskeste datamaskin.

FAKTA

Laks

- Tusen lakseindivider skal genomsekvenseres.
- Forskningsrådet støtter gensekvenseringen med 40 millioner kroner.
- Oppdrettsnæringen kan da lære mer om hvilke gener som kan avles på for å bedre lakseoppdrettet.
- Laksen skal vokse enda fortere til lavest mulig pris.
- Laksen skal bli steril eller bruke lengre tid på kjønnsmodningen.
- Med genkunnskapen vil det være mulig å simulere avl på datamaskinen før man gjennomfører avl i virkeligheten.

Jord og rom

Forskere ved UiO studerer mer enn alt mellom himmel og jord. De studerer hele spennet fra hva som foregår i jordas indre til mørk materie i verdensrommet.

Jord og rom er et av de fire store satsingsområdene på Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet. **Her studeres alt fra den geologiske utviklingen på jorda og forholdet mellom atmosfære og land, til hvordan partikler fra sola påvirker forholdene på jorda og mørk materie i verdensrommet.**

Et nytt senter for fremragende forskning, *Centre for Earth Evolution and Dynamics*, prøver å forstå hvordan bevegelsen i mantelen i jordas indre påvirker jordskorpa. Den nye kunnskapen vil gjøre det mulig å få **en bedre forståelse av hvordan klimaet har endret seg på jorda de siste 250 millioner år**.

De partiklene fra sola som danner nordlys, kan føre til at fly i polarområdene mister radioforbindelsen over lengre tid. Fysikere har sendt opp flere forskningsraketter for å skjønne hva som skjer når nordlyset herjer som verst. **Målet er bedre romværvarsler.**

Solatmosfæren er en million grader varmere enn solens overflate. En ny matematisk modell forklarer hvorfor. Den **forklarer hvordan solstormer oppstår.** Modellen kan derfor bidra til bedre romværvarsel. Dette er viktig fordi kraftige solstormer kan ødelegge elektriske installasjoner på jorda.

Et av de store, uløste problemene i verdensrommet er mørk materie. Kosmologer bruker romteleskop for å studere mørk materie. Samtidig leter partikkelfysikerne etter mørk materie, partikkel for partikkel, i verdens største partikkeleksperiment i CERN i Geneve.

Ny forståelse på atomnivå kan øke den norske oljeproduksjonen. Fremtidens olje må hentes ut fra nanotynne sprekker i skiferstein. Da må geologene forstå hvordan de enkelte molekylene beveger seg.

FOTO: YNGVE VOGT / DREAMSTIME / HANNE UTIGARD

UiO varsler romvær med 20 nye satellitter

Nordlys forstyrrer radiosamband, GPS-navigasjon og satellittkommunikasjon. Nå skal forskere skyte opp 20 satellitter med verdensledende instrumenter fra UiO for å finne forklaringen.

Tekst: Yngve Vogt

Satellitter blir stadig viktigere i kommunikasjon og navigasjon. Det gjør oss mer sårbare for nordlys, spesielt innen offshore og luftfart. I verste fall kan flyene miste kontakten med omverdenen. Oljetankere kan slite med fin-navigeringen.

For å kunne varsle bedre når radiosamband og navigasjon bryter sammen, trenger forskerne mer informasjon om hva som skjer når voldsomme solvinder treffer jorda og skaper nordlys.

Solvinden består av ladde partikler og skaper kraftig turbulens i ionosfæren, som består av plasmaskyer med elektriske partikler, 80 til 500 kilometer over bakken. Turbulensen forstyrrer radiosignalene. Noen ganger reflekteres de feil. Andre ganger stopper signalene fullstendig opp.

– I nordområdene ligger GPS-satellittene lavt på himmelen. Da må signalene gjennom mye ionosfære. Det forsterker navigasjonsproblemene, forteller professor *Jøran Moen* på Fysisk institutt ved UiO.

Unike instrumenter. Nå samarbeider universiteter over hele verden om å forstå hva som skjer på mikronivå i plasmaskyene. Når de har funnet svarene, kan romekspertene varsle romvær, akkurat som meteorologene varsler været på jorda i dag.

UiO har utviklet svært små instrumenter som kan måle mikrostrukturer og turbulensen i plasmaskyene. Instrumentet består av fire nåler som kan monteres på satellitter på størrelse med en melkekartong. Ingen andre har fått dette til.

Uheldigvis er det ikke nok med en enslig satellitt. Rundetiden rundt jorda er litt over halvannen time. Det er altfor lenge. Fenomenene som forskerne leter etter, er ofte borte allerede etter en time. Det er derfor ikke mulig å bruke en enkelt satellitt til å studere endringene over så kort tid. Forskerne trenger mange satellitter, som skal spres som perler på en snor rundt jorda.

Minutter mellom hver satellitt. I 2013 samarbeider universitetene om å skyte opp 50 små satellitter i en polar bane 320 kilometer over bakken. Da vil satellittene kunne passere hvert enkelt geografisk punkt med bare noen få minutters mellomrom, over både polområdene og ekvator.

På grunn av luftmotstanden vil satellittene miste fart og hele tiden dale sakte ned mot jorda. Det gir forskerne muligheten til å studere alle lag i ionosfæren. Beregnet levetid er tre til åtte uker, avhengig av solaktiviteten, før satellittene stuper ned i atmosfæren og brenner opp.

Satellittene er konstruert så små at de alle kan skytes opp med samme rakett. Det er lønnsomt.

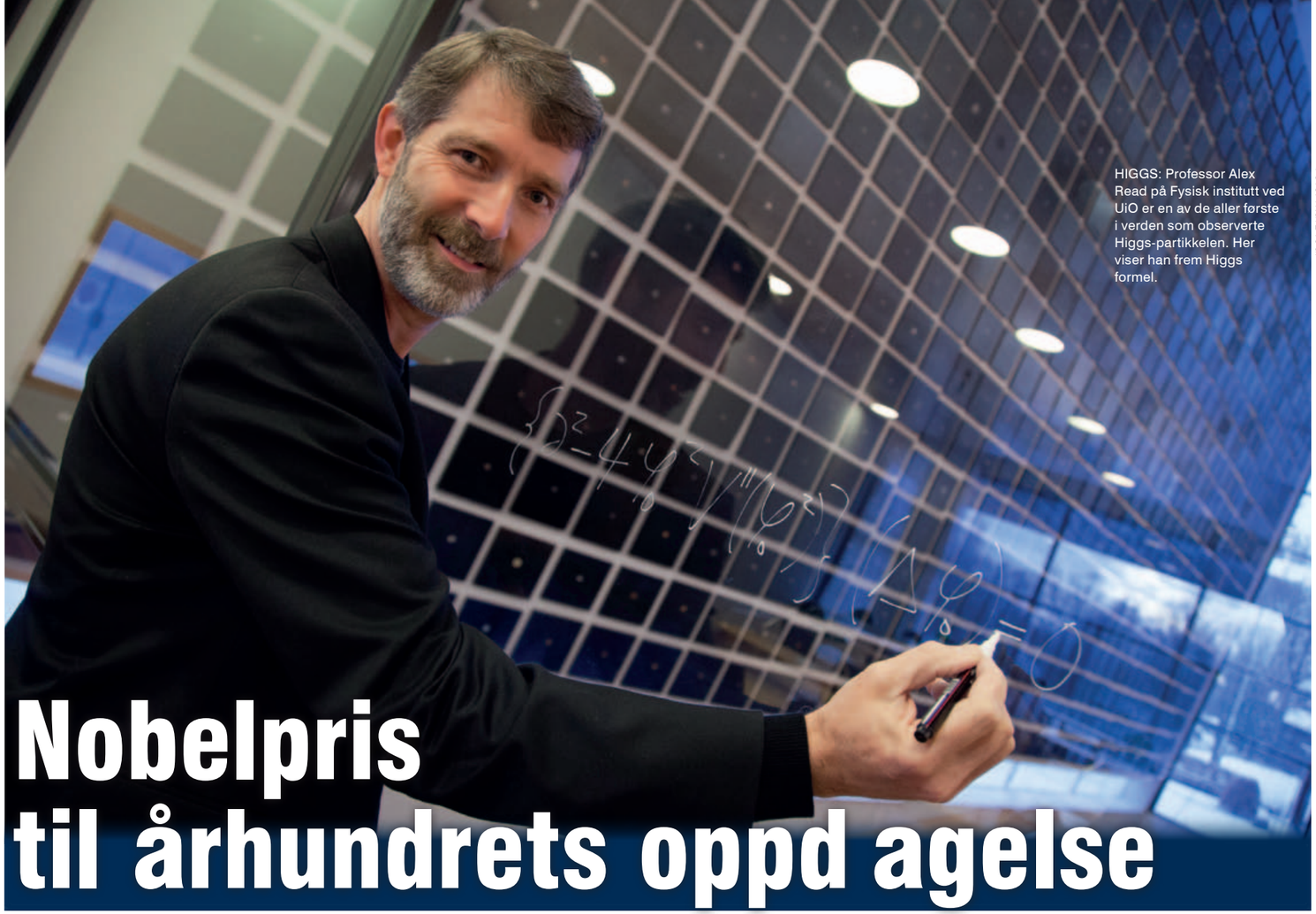
– 20 av satellittene skal konsentrere seg om høyden mellom 320 og 160 kilometer. Disse satellittene skal fylles med måleutstyret vårt fra UiO. Dette er historiens første helnorske, vitenskapelige instrument i en satellitt. Gøy! forteller stipendiat *Tore André Bekkeng* i STAR-prosjektet ved UiO.

Bekkeng har utviklet elektronikken, laget de superraske algoritmene og gjort alt så kompakt som mulig for å spare mest mulig strøm. Nå leter han etter de materialene som er best egnet til å bekle de supertynne antennene som skal måle elektrontettheten.

Både ESA og NASA har vist stor interesse for instrumenteringen fra UiO. NASA skal for øvrig bruke UiO-oppfinnelsen i vårens rakettoppskytning i Alaska.

SELVLAGET: – 20 satellitter skal fylles med instrumenter fra UiO, forteller Tore André Bekkeng.

UiO-professor er en av de aller første i verden som så Higgs-partikkelen. To år senere fikk hovedmennene bak Higgs-partikkelen Nobelprisen i fysikk.



HIGGS: Professor Alex Read på Fysisk institutt ved UiO er en av de aller første i verden som observerte Higgs-partikkelen. Her viser han frem Higgs formel.

FOTO: YNGVE VOGT

Nobelpris til århundrets oppd agelse

Tekst: Hilde Lynnebakken

Higgs-partikkelen, også kalt gudspartikkelen, forklarer hvorfor elementærpartikler har masse.

I de enormt store eksperimentene i CERN, som har samlet flere tusen fysikere fra hele verden, ble Higgs-partikkelen oppdaget. Funnet av den nye partikkelen var årets begivenhet i vitenskapen da det ble annonsert i juli 2012.

Professor *Alex Read* på Fysisk institutt ved UiO er en av de aller første i verden som observerte Higgs-partikkelen. Han forteller om det magiske øyeblikket i Paris, en sen fredagskveld i november 2011.

Tre fysikere som alle var sentrale i søk etter Higgs-partikkelen ved CERN, var samlet hjemme hos professor *Marumi Kado* ved Université Paris-Sud, Orsay.

Marumi Kado fyrte i peisen og serverte grappa til Alex Read og professor *Eilam Gross* fra Weizmann Institute of Science. Denne fredagen skulle være en rolig avslutning på en tung arbeidsuke. Gross, som var Higgs-sjef i Atlas, et av de to store eksperimentene i jakten på Higgs-partikkelen i CERN, sovnet utmattet på sofaen.

– Vi visste at andre i eksperimentet jobbet med å analysere data, og lurte på om det hadde skjedd noe i løpet av dagen, minnes UiO-professor Alex Read. I innboksen lå oppdaterte grafer med statistiske analyser. I og for seg ikke spesielt, men på disse grafene kunne forskerne tydelig se "humper" i dataene. Kado og Read så på hverandre; skulle de vekke sjefen?

– *Vil du se Higgs?*

Spørsmålet fikk Eilam Gross lys våken. Fysikerne kunne nesten ikke tro det de så.

– For første gang tenkte jeg at dette kunne være noe, forteller Read. Vi var ikke helt sikre, men vi tenkte jo at i kveld har vi kanskje sett Higgs-partikkelen! Mens vi satt og jobbet, tenkte jeg at jeg kanskje var med på noe historisk.

Og historisk skulle det bli: Et halvt år senere, 4. juli 2012, annonserte CERN funnet av en ny partikkel, som senere har vist seg å være en vaskeekte Higgs-partikkel. Høsten 2013 ble Nobelprisen i fysikk tildelt professorene *Peter W. Higgs*, University of Edinburgh og *François Englert*, Université libre de Bruxelles, to av fysikerne som lanserte Higgs-teorien for fem tiår siden.

– Du forstår ikke fysikk! Oppdagelsen av Higgs-partikkelen har fått selv sindige norske fysikere til å bruke store ord som "århundrets oppdagelse" og "månelanding".

Men hva er det med akkurat denne oppdagelsen som gjør den så spesiell?

Helt fra teorien ble framsatt på begynnelsen av 1960-tallet, har den vært kontroversiell. En av teoriens opphavsmenn, *Carl Richard Hagen*, fikk høre fra fysikknestoren *Werner Heisenberg* (ja, han med usikkerhetsrelasjonen) at "du forstår ikke fysikk!"

Utover 1970-tallet begynte fysikerne å se at teorien ga mening rent matematisk, og etter funnet av Z- og W-partiklene på 1980-tallet (de partiklene som er ansvarlige for radioaktivitet) begynte fysikkmiljøet for alvor å tenke på Higgs-partikkelen som en mulighet. Men det gjaldt slett ikke alle fysikere; helt fram til oppdagelsen holdt sentrale forskere teorien for høyst spekulativ.

Tapte veddemål. Både Stephen Hawking og Nobelprisvinnerne Frank Wilczek og Brian Schmidt tapte veddemål om at partikkelen ikke ville bli funnet.

Så hvordan finner man Higgs-partikkelen? Man trenger, enkelt sagt, en maskin som får protoner, kjernen i hydrogenatomet, til å gå nærmest i lyshastighet. Da har protonene enorm energi. Av denne energien skapes helt nye partikler når protonene kolliderer.

Med et 7000-tonns digitalkamera, Atlas-detektoren, blir resultatet av kollisjonene foreviget.

– Atlas-detektoren har en oppløsning på 90 megapiksler og tar 20 millioner bilder hvert sekund. Så vi kan trygt si at Atlas er verdens mest avanserte digitalkamera, sier Alex Read. De fleste av bildene anses som uinteressante og kastes med en gang. 'Bare' 400 bilder i sekundet blir lagret.

Mikrometerpresisjon. En av dem som har deltatt i å designe, konstruere og bygge Atlas, er *Ole Dorholt*, ingeniør på elektronikklaboratoriet til Fysisk institutt. Siden tidlig på 1990-tallet har han vært involvert i utviklingen av detektorsystemer for partikkelfysikk. Han har dessuten vært en av nøkkelpersonene for bygging av moduler til den innerste delen av Atlas-detektoren, en jobb som ble gjort i samarbeid mellom universitetene i Bergen, Uppsala og Oslo.

Modulene består av to silisiumplater limt sammen, med elektronikk montert oppå.

– Platene ligger litt på skrå i forhold til hverandre for at det skal være mulig å bestemme retningen til partiklene som fyker gjennom. Rett vinkel er viktig. Feilmarginen er fjorten ganger mindre enn bredden på et hårstrå.

Utstyret for å montere silisiummodulene, er også utviklet og laget på instrumentverkstedet på UiO.

FAKTA

Higgs-partikkelen

- Higgs-feltet er et medium som finnes jevnt fordelt over hele universet.
- Feltet ble skrudd på en brøkdel av et sekund etter Big Bang. Hvorfor vet vi ikke, men det finnes teorier (blant annet i det som kalles supersymmetri).
- Elementærpartikler, som elektroner, får massen sin fra dette feltet.
- Uten Higgs-feltet ville universet bestått av en suppe av partikler som føk rundt i lysets hastighet. Da ville aldri atomer, stjerner, planeter eller noe liv blitt til.
- I eksperimentene Atlas og CMS ved CERN har forskerne klart å fravriste Higgs-feltet en partikkel, Higgs-partikkelen.
- Rundt 10 000 fysikere og teknikere har bidratt til oppdagelsen av Higgs-partikkelen.

FAKTA

UiO og Higgs-oppdagelsen

Partikkelfysikere ved UiO deltar i Atlas-eksperimentet, det ene av to eksperimenter som sommeren 2012 meldte om oppdagelsen av en ny partikkel. Men hva har UiO bidratt med, helt konkret?

Leder av den norske forskergruppen i Atlas, professor *Farid Ould-Saada* forklarer:

– Vi har deltatt i hele kjeden i forskningen, fra bygging av instrumentet og infrastruktur for datahåndteringen, kjøring av eksperimentet og datainnsamling, modellering av teoretiske idéer, søk etter og oppdagelsen av en ny partikkel, og kommunikasjon av resultatene til et bredt publikum.

– De enorme datamengdene som genereres fra LHC-eksperimentene, trenger egne datasystemer for lagring og ikke minst behandling og analyse. Mer enn 120 petabytes Atlas-data analyseres 130 steder i verden, ett av dem er Oslo. Universitetets senter for informasjonsteknologi (USIT) leverer også maskinvarestøtte i form av lagringsplass og regnekraft.

– Higgs-partikkelen har ekstremt kort levetid, så vi må se etter restene som blir igjen etter at den forsvinner. UiO-fysikere bidro til søket etter Higgs-partikler som blir til to fotoner i detektoren, og var sentrale i arbeidet med å kombinere forskjellige Higgs-målinger.

– For å vite hva vi skal se etter når vi leter etter sjeldenheter som Higgs-partikkelen, er det også avgjørende å forstå alt det andre som foregår i detektoren. Mange av UiO-studentene har gitt verdifulle bidrag til dette gjennom oppgavene sine.

FOTO: NTB/ SCANPIX

Nye matematiske modeller om den flytende massen i jordas indre kan forklare både klimaet og hvordan jordskorpa så ut i urtiden. Modellene er pepret med data fra de verste jordskjelvene de siste hundre år.

Beregner urtiden med voldsomme jordskjelvdata

Tekst: Yngve Vogt

FAKTA

Simulerer jordas indre

- UiO simulerer hvordan mantelen i jordas indre har utviklet seg de siste par hundre millioner år.
- Beregningene er enormt tunge og kan bare gjennomføres på supercomputere.
- Hver simulering tar fire dager.
- Forskerne har nå brukt 400 000 datamaskintimer av en kvote på 600 000 timer.

Når enorme jordskjelv knuser byer, slik som i Asia i 2004 og i Japan i 2011 – da den voldsomme kraften fra jordskjelv sendte tsunamibølger inn over land og drepte til sammen flere hundre tusen mennesker – går trykkbølger gjennom hele jorda, fra jordskjelvområdet gjennom den flytende massen i jordas indre og ut til den andre siden. Trykkbølgene blir fanget opp av målestasjoner over hele verden, slik som av det seismologiske observatoriet NORSAR på Kjeller utenfor Oslo.

Ved å tolke disse trykkbølgene, kan forskerne få et innblikk i hvordan innsiden av jorda ser ut.

En av de store uløste gåtene de siste årtiene er sammenhengen mellom den flytende massen i jordas indre, kalt mantelen, og hvorfor kontinentalplatene på jordskorpa beveger seg slik de gjør.

Kan forstå klimaendringene. Takket være helt nye matematiske modeller, prøver geologene å tolke trykkbølgene fra jordskjelv for å beregne hvordan jorda, både på utsiden og innsiden, har endret seg i løpet av de siste 250 millioner år.

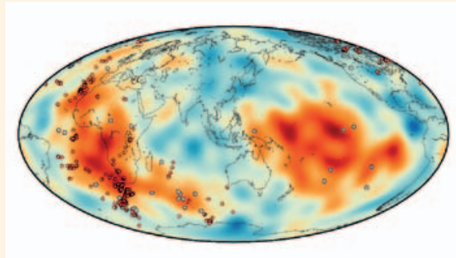
– Med den nye modellen kan vi få et historisk bilde av hvordan planeten vår har sett ut, hvordan jordskorpa og mantelen har utviklet seg, og om det er mantelen som styrer bevegelsene til jordplatene eller omvendt. Vi vil da kunne forstå hvorfor mantelen er lagdelt, og om det har skjedd umiddelbart eller over millioner av år. Forskning på mantelen er dessuten viktig for å forstå klimaendringene på jorda. Det er en sammenheng mellom mantelen og klimaet på kloden. Vi kan bruke modellene til å se på massebalansen av kjemiske elementer i mantelen og i atmosfæren, og bruke denne massebalansen til å se hvordan klimaet på jorda har utviklet seg. Med modellene kan vi også lære oss mer om hvordan planeter er bygd opp, både i solsystemet vårt og andre steder i verdensrommet, forteller postdoktor *Abigail L. Bull-Aller* på det nye senteret for fremragende forskning, Centre for Earth Evolution and Dynamics ved Universitetet i Oslo, ledet av professor *Trond Torsvik*.

Senteret vil de neste ti årene få 155 millioner kroner til å utvikle matematiske modeller som kan forklare hvordan mantelen i jordas indre påvirker bevegelsen til jordplatene og fører til massive vulkanutbrudd.

Jordskorpa slukes opp. For å finne svar på dette, må forskerne forstå hvordan deler av jordskorpa blir slukt opp av mantelen. Jordskorpa består av kontinentale plater. Platene beveger seg hele tiden. Det kan skje på tre måter. Platene kan bevege seg fra hverandre. Da skapes en åpning til jordas indre. Island, med alle vulkanene sine, ligger i en slik åpning. Platene kan bevege seg sidelengs mot hverandre. Og sist, men ikke minst: Platene kan bevege seg rett mot hverandre. Da skjer de verste jordskjelvene.

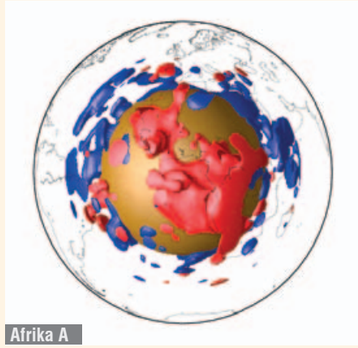
Når plater kolliderer, kan den ene platen bli presset nedover mot mantelen. Det er nettopp det som skjer utenfor kysten av Japan. Der har den ene platen gjennom flere millioner år blitt presset 600 kilometer nedover i mantelen. Disse kollisjonene skjer vanligvis når de få kilometer tynne havplatene kolliderer med de opptil 20 kilometer tykke jordplatene. Det er nettopp slike kollisjoner som førte til de fryktinngytende jordskjelvene i Japan i 2011 og utenfor Indonesia i 2005.

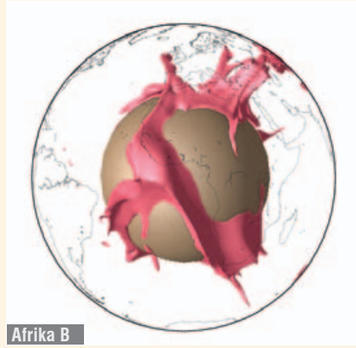
Disse platene ser ut som underjordiske tunger. Ettersom tungene er tyngre enn selve mantelen,

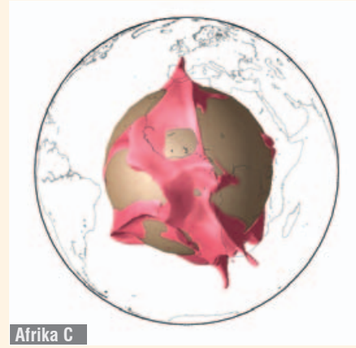


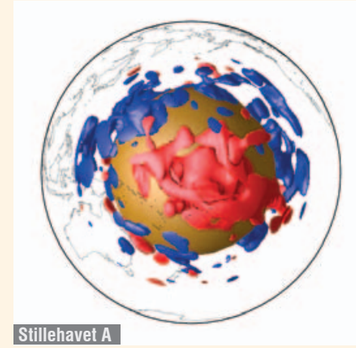
SIMULERER FORHISTORIEN: For å kunne studere den flytende massen i jordas indre, må geologer tolke energibølgene fra enorme jordskjelv. Abigail L. Bull-Aller simulerer nå hvordan mantelen har utviklet seg de siste 200 millioner år.

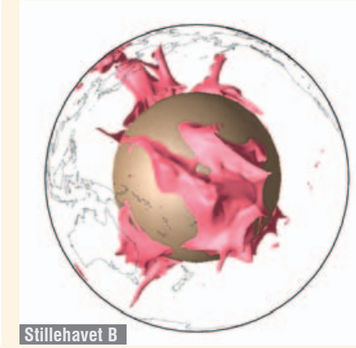
FOTO: YNGVE VOGT

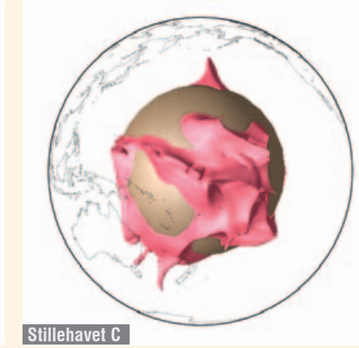












MANTELSIMULERINGER: Dypt nede i jorda finnes to svære områder, kalt Anomolis, som er varmere enn resten av mantelen. Det ene ligger under Afrika, det andre under Stillehavet.

Forskerne lurer på hvordan de er skapt og hva de betyr for forflytningene av kontinentalplatene på jordskorpa. Noen geologer antar at Anomolisen under Stillehavet er mye eldre enn Anomolisen under Afrika. For å finne ut hva som er riktig, simulerer Abigail L. Bull-Aller forhistorien til begge områdene.

De tre første bildene viser Anomolis under Afrika. De tre siste viser Anomolis under Stillehavet.

• Bilde A er et seismisk bilde av hvordan området ser ut i dag.

• Bilde B er det foreløpige resultatet av simuleringen hvis man antar at bare Anomolisen under Stillehavet eksisterte for 250 millioner år siden.

• Bilde C er det foreløpige resultatet av simuleringen hvis man antar at begge Anomolis-områdene eksisterte for 250 millioner år siden.

– Vi vil finne ut av hva Anomolis-områdene er laget av, hvorfor de er der og hvorfor de har fått den formen de har i dag, forteller Abigail L. Bull-Aller.

synker de stadig lenger ned i jorda, med en fart på ti centimeter i året. Teoretisk sett kan de synke helt til bunnen av mantelen.

– Tungene er kjemisk annerledes enn mantelen, og de er mye kaldere enn mantelmassen rundt dem. Mens temperaturen inne i tungene bare er på fattige 700 grader, er mantelmassen rundt tungene over dobbelt så varm. Lenger nede er mantelen 3000 grader.

Avhengige av jordskjelv. For å måle hva som skjer inne i mantelen, holder det ikke med små menneskeskapte seismologiske målinger. De trykkbølgene som menneskene selv klarer å lage, går bare noen få kilometer ned i jorda. Forskerne er derfor avhengige av målestasjoner som fanger opp energibølgene fra skikkelig store jordskjelv. Det finnes en rekke jordskjelvstasjoner på den nordlige halvkule, de fleste i velstående land. Afrika har bare noen få slike stasjoner. Mange av dem ble satt opp under den kalde krigen for å registrere hemmelige atomvåpensprengninger.

Seismologiske målinger viser at den 600 kilometer lange japanske tungen som stikker ned i mantelen, holder formen, og at bare en liten brøkdel av massen faller av og blir omdannet til mantel.

Amerikanske forskere mener at tungen har falt av og at kontinentalplaten derfor har begynt å bevege seg sidelengs i stedet.

– Målingene er dessverre ikke gode nok til at vi kan være helt sikre. For å få bedre målinger hadde vi trengt et tettere nettverk av målestasjoner. Vi må i stedet bruke numeriske beregninger på superdatamaskiner for å beregne hva som skjer med denne tungen, forteller Bull-Aller.

Kikkhull til jordas indre. Når noe synker ned i mantelen, blir andre deler av mantelen presset opp som varmesøyler. Dette er Bull-Aller spesielt opptatt av. Den varme massen stiger langsomt opp gjennom mantelen og havner til slutt på jordas overflate. Noen ganger kan det resultere i svære vulkanutbrudd. Andre ganger kommer massen bare sakte opp.

Varmesøylene er geologenes kikkhull ned i jordas indre. I noen av disse varmesøylene er diamanter fra jordas indre blitt transportert opp til jordoverflata. Et eksempel på et slikt kikkhull er sørafrikanske Kimberley, som har en av de største diamantforekomstene i verden.

Et annet viktig kikkhulleksempel til jordas indre er Devvan Traps i India. Her ligger restene etter en 65 millioner år gammel supervulkan.

Måler temperaturen inne i jorda. Takket være de seismologiske målingene, kan forskerne måle temperaturen i mantelen. Når materien er varmere, bruker energibølgene fra jordskjelv lengre tid til jordoverflata. I kaldere materie er energibølgene raskere.

Temperaturen er ikke den samme i hele mantelen. Rett under Stillehavet og Afrika fins to svære områder, kalt Anomolis, som er varmere enn andre deler av mantelen.

Forskningsleder Trond Torsvik mener at begge Anomolis-områdene er gamle, mens andre mener at det ene Anomolis-feltet under Afrika er av nyere dato. Og med nyere dato mener geologene bare noen få hundre millioner år.

– Begge hypotesene kan være riktige, sier Bull-Aller. Hun bruker nå simuleringer til å undersøke hvem som har rett.

– Vi vil finne ut av hva Anomolis-områdene er laget av, hvorfor de er der, hvordan de har endret seg over tid og hvorfor de har fått den formen som de har i dag.

En hypotese er at skorpa fra jordas barndom har sunket ned og dannet de spesielle områdene. Men det kan også tenkes at de består av noe som kommer dypt inne fra mantelen.

Simulerer forhistorien. For å beregne hvordan mantelen og jordskorpa har endret seg de siste hundre millioner år, har Bull-Aller tatt i bruk enormt tunge beregninger. For å klare det må hun gjøre en rekke antakelser om hvordan mantelen så ut den gangen. Så simulerer hun hvordan mantelen kan ha utviklet seg og sammenligner om svaret ligner på hvordan mantelen ser ut i dag.

Så lenge svaret ikke stemmer, må hun endre på antakelsen og prøve igjen.

Hun har startet simuleringer både der hun antar at Anomolis ligger som et lag nederst i mantelen og der begge Anomolis-områdene er der de er i dag.

– Vi er på sporet! Vi har fått noe som ligner på det vi har i dag. Simuleringsmodellen klarer å gjenskape Anomolis under Stillehavet. Den har nå rett størrelse, men fortsatt ikke samme form. Vi har også fått noe som ligner på Anomolis under Afrika. Men simuleringene viser fortsatt et hull i midten som ikke skal være der.

Tunge beregninger. Beregningene er enormt tunge og kan bare gjennomføres på superdatamaskiner. Bull-Aller har muligheten til å kjøre ti simuleringer, med ulike parametre, samtidig. Hver simulering tar fire dager. – Vi stopper simuleringene om de ikke bærer rett vei. Vi vil ikke sløse med maskintiden.

Siden september i fjor har hun brukt 400 000 datamaskintimer av kvoten hennes på 600 000 timer.

Foreløpig har hun bare klart å simulere hvordan mantelen kan ha sett ut for 250 millioner år siden.

Nå vil hun simulere enda lenger tilbake i tid.

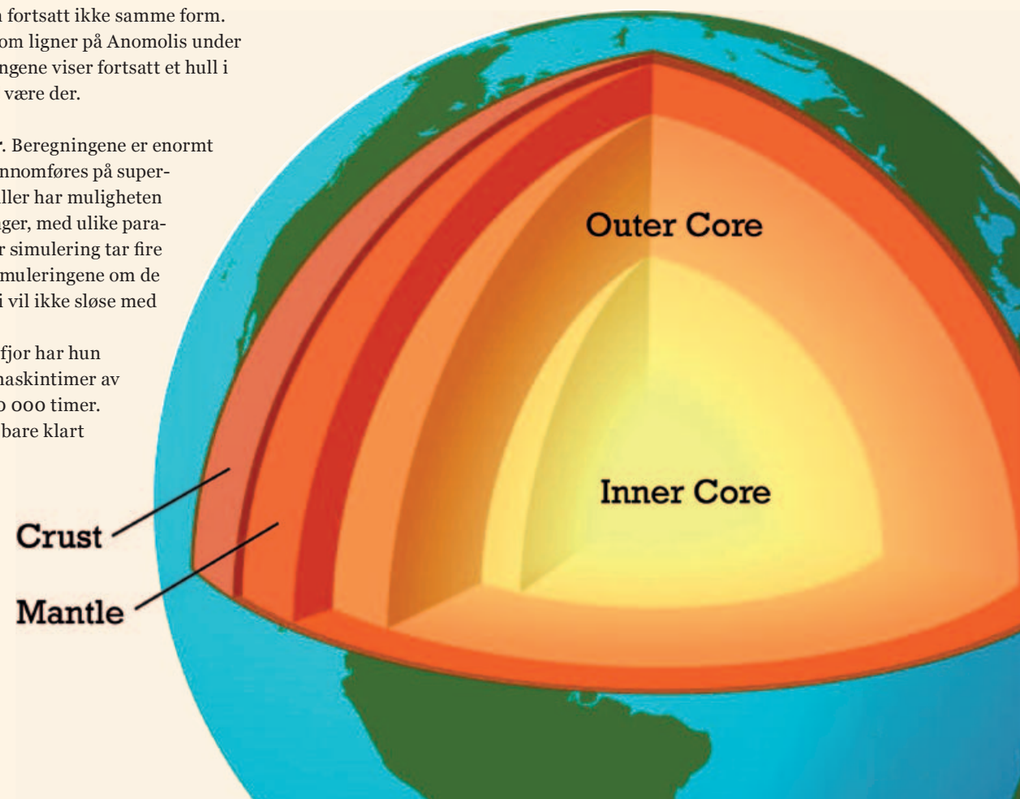
Med modellen kan geologene også forklare hvor det fins mer vann på jorda.

– Ikke glem at det er en tynn skorpe mellom verdenshavene og mantelen. Det går mye vann ned i mantelen og opp igjen. Noen mener at vi har mer vann i mantelen enn i verdenshavene.

Med modellen kan de også gi mer presise anslag av hvordan kontinentalplatene vil bevege seg videre. Denne vitenskapen kalles for platetektonikk.

– Vi ønsker å finne ut av om jorda er den eneste planeten i universet med bevegelige kontinentalplater. Livet på jorda ville ha vært helt annerledes uten denne platetektonikken, avslutter Abigail Bull-Aller.

JORDAS INDRE: Jordas oppbygning ser ut som skallene på en løk. Det ytterste skallet, jordskorpa, er det tynneste. Det tykkeste laget er mantelen. Geologer ved UiO utvikler nå matematiske modeller som skal forklare hvordan mantelen påvirker bevegelsen til jordplatene og fører til massive vulkanutbrudd. De to innerste lagene i jorda kalles den indre og ytre kjernen.



VERDENSLEDENDE: Professor Mats Carlsson på Institutt for teoretisk astrofysikk er verdensledende i matematisk modellering av solatmosfæren.

Magnetisme forklarer overopphetingen på solen

Solatmosfæren er en million grader varmere enn solens overflate. Ny matematisk modell viser at magnetisme har skylden. Modellen kan føre til bedre romværvarsler for når solstormer kan ødelegge elektriske installasjoner på jorda.

Tekst og foto: Yngve Vogt

Astrofysikere ved Universitetet i Oslo har utviklet en matematisk modell som langt på vei forklarer hvorfor det ytterste laget av solatmosfæren, *koronaen*, er en million grader varmere enn overflaten på solen. Det er ikke mulig å forklare denne temperaturforskjellen uten å forstå hva som foregår i hele atmosfæren.

– Dette er svært hot forskning. Mange prøver å løse dette, men vi er fortsatt lengst fremme i verden i å lage matematiske modeller av solatmosfæren. Modellene våre viser at det er langt større variasjoner i solatmosfæren enn tidligere antatt. Ved å lage modeller av hvordan magnetfelt og gass kobles sammen, kan vi bedre forstå hvordan soleksplosjoner og solstormer blir til, forteller professor *Mats Carlsson* på Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo.

Lammende solstormer. Solstormer er ingen spøk. De kan lamme elektriske anlegg på jorda. De to solstormene i 1859 og 1921 hadde vært katastrofale om de hadde skjedd i dag. Elektrisitetssystemet kan slås ut på svært kort tid.

Dagens solstormvarsler er basert på statistiske analyser om hvordan solflekker ser ut.

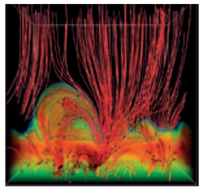
– Dette er som å spå været uten meteorologiske ligninger. Hvis det er sol i dag, er sannsynligheten stor for at det også er sol i morgen. Men uten avanserte, matematiske modeller kan ikke meteorologene varsle ekstremvær.

Slik er det også med solstormvarsling. Den dagen astrofysikere kan beskrive alt som skjer i solatmosfæren med en matematisk modell, kan det danne grunnlaget for langt bedre romværvarsler.

Eksperimenterer med solen. Ettersom det ikke er mulig å eksperimentere direkte med solen, kan forskerne bruke den matematiske modellen til å studere hva som skjer når de endrer på parametrene, slik som hvordan magnetfeltet ser ut.

De kan da endre på parametrene helt til de har fått en modell som gir de samme svarene som solobservasjonene.

De matematiske ligningene ligner på dem som meteorologene bruker til å studere jordatmosfæren. Atmosfærer består av gass. Gass kan presses sammen. Etter at gassen er presset sammen, utvider den seg og presser vekk gassen ved siden av seg. Da får man en trykkbølge. En trykkbølge er det samme som en lydbølge.



VARMEN PÅ SOLEN: Datasimuleringer viser at temperaturen er 6000 grader ved solens overflate (grønn) og en million grader i koronaen, som er det ytterste laget i solatmosfæren (svart). De røde linjene er magnetfeltene.

Hastigheten på lydbølgen er avhengig av temperatur og gasstype. Men selv om lyden på solen går fortere enn på jorda, er de matematiske ligningene for solatmosfæren stort sett de samme som for jordatmosfæren.

Mange av ligningene er derfor kjent for numerikere. Numerikere lager dataprogrammer som løser de matematiske ligningene med datamaskiner.

Kokende, elektronfrie atomer. Det spesielle med solen er de vanvittig høye temperaturene. Jorda har andre gasstyper enn solen. Mens jordatmosfæren består av molekyler, fins det nesten ingen molekyler på solen. Det er så varmt at elektronene blir slått ut av atomene. Da blir atomene ladde. Det kalles ioner.

En annen stor forskjell fra jorda er det sterke magnetfeltet. Kombinasjonen av gassbevegelser og et sterkt magnetfelt kan føre til voldsomme soleksplosjoner.

For å studere solen, må man spre sollyset ut i de forskjellige bølgelengdene som lyset består av. Tenk på regnbuen! Denne spredningen kalles for solens spekter. Spekteret får mørke streker når atomer i solatmosfæren får tilført energi fra sollyset og havner i et annet energinivå. Strekene er mørke fordi atomer, avhengig av gassen, absorberer lyset ved bestemte bølgelengder. De mørke strekene kalles spektrallinjer.

– Spektrallinjene blir som et fingeravtrykk av gassen.

Ved å studere spektrallinjene kan astronomene studere hvordan gassen beveger seg. Spektrallinjene blir rødere om gassen beveger seg fra oss og blåere når den nærmer seg.

I den matematiske modellen kan astrofysikerne studere hvordan spektrallinjene beveger seg og hvor mye energi de forskjellige lysbølgene har.

Avviste teori. Astrofysikerne oppdaget allerede på 40-tallet en del spektrallinjer i solspekteret som bare kunne dannes hvis temperaturen var over en million grader. De trakk derfor konklusjonen at solens korona måtte være så varm.

– Den første teorien vår var at lydbølger varmer opp kromosfæren, altså den delen av solatmosfæren som ligger nedenfor koronaen. Men den matematiske modellen vår viser klart at oppvarmingen ikke kan forklares med lydbølger.

Dette er blitt vist i en doktorgrad ved UiO. Resultatene havnet i *Nature*. Astrofysikerne klarer heller ikke å forklare oppvarmingen med strålingen fra solen.

– Da måtte det være noe annet som frakter opp varmen og dumper den lenger ute i atmosfæren.

Magnetfelt. Astrofysikerne ved UiO har lenge hatt en hovedteori om at det er solens magnetfelt som frakter energien opp i de høyere lagene i solatmosfæren, men hvordan dette skjer og hvordan energien gjøres om til varme i koronaen, er uklart.

Magnetfeltet kan fungere på flere måter. Den ene muligheten er at magnetfeltet flyttes langsomt av gassbevegelser i den nedre delen av solatmosfæren. Den andre muligheten er at energien fraktes opp ved at magnetfeltet rister, trykkes sammen eller vris på forskjellige måter.

De matematiske modellene viser at begge deler er mulig, men det er fortsatt uklart hvilken beskrivelse som er den riktigste.

– Ved å sammenligne nye observasjoner med modeller som har bedre oppløsning, håper vi å finne det endelige svaret på hvorfor kromosfæren og koronaen i solen varmes opp. Når vi forstår hvordan de ulike elementene i solatmosfæren henger sammen, kan vi få langt bedre romværvarsler.

Gigatunge beregninger. De matematiske beregningene av hvordan solen fungerer, er formidable. For å løse dem har astrofysikerne de siste seks månedene brukt 24 millioner timer datamaskinkraft. Det er det samme som å skulle regne på 5600 PC-er døgnet rundt et halvt år.

Den matematiske modellen har omtrent den samme oppløsningen som bildeoppløsningen fra solteleskoper, det vil si at hvert punkt dekker vel 70 kilometer.

Hvis forskerne skal doble oppløsningen, må de ha åtte ganger så mange punkter. Samtidig må tidsintervallene i simuleringene halveres. Det betyr: En dobling av oppløsningen krever 16 ganger mer regneressurser. Hvert tidsspenn genererer 20 GB data. En kjøring med 360 tidsspenn genererer 7 TB data. Det tar derfor tid å se igjennom så store datamengder.

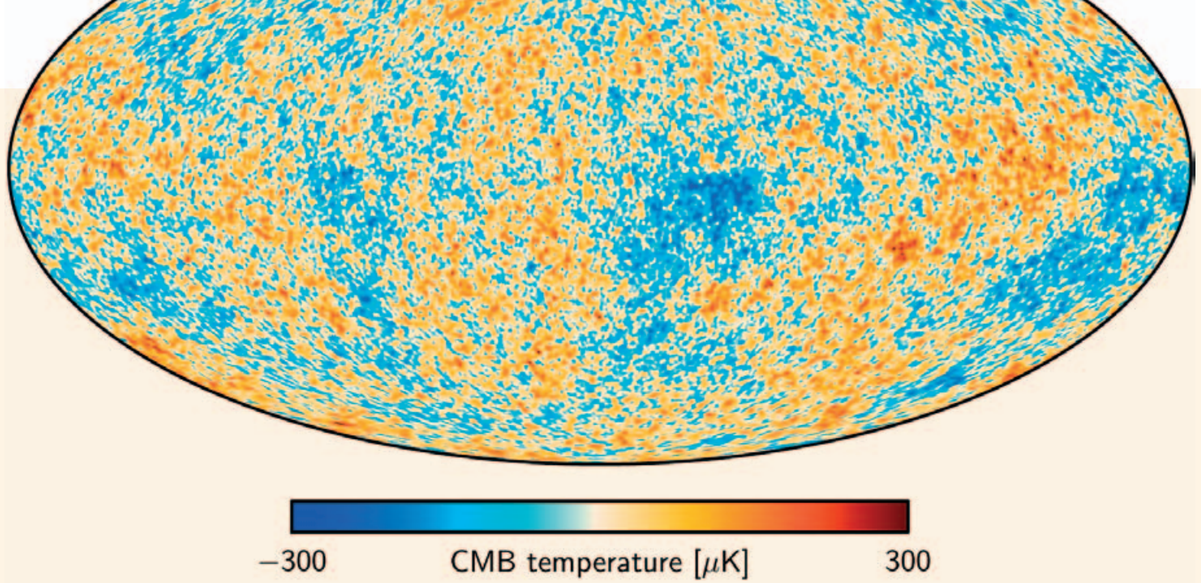
– *Hvordan unngår dere programmeringsfeil?*

– Vi tester modellen med standardproblemer der løsningen er kjent. Vi kan da bruke disse eksemplene til å sjekke om modellen er riktig. Men ellers er det vanskelig, forteller Mats Carlsson, som ble tildelt forskningsprisen fra UiO 2012 for solforskningen sin.

FAKTA

Modellerer solatmosfæren

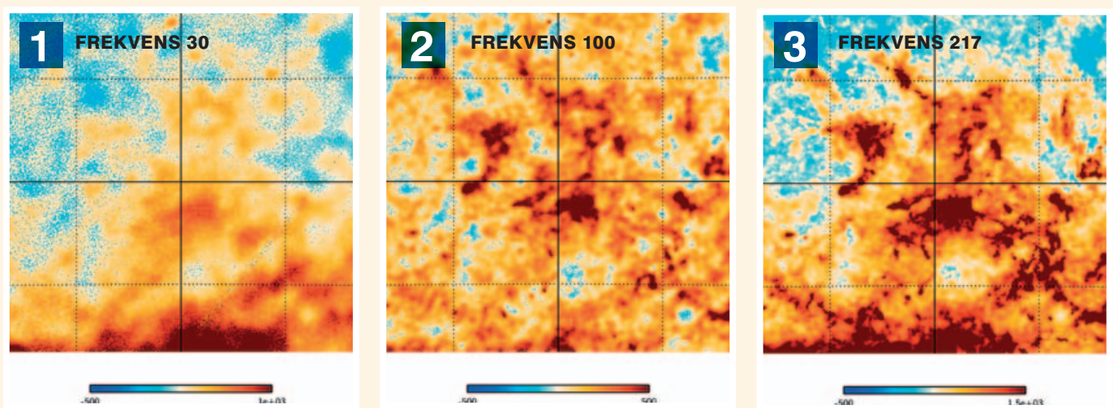
- UiO har laget en matematisk modell av solatmosfæren.
- Modellen øker forståelsen av hvordan solstormer blir til. Solstormer kan ødelegge elektriske installasjoner på jorda.
- Modellen kan danne grunnlaget for bedre romværvarsler.

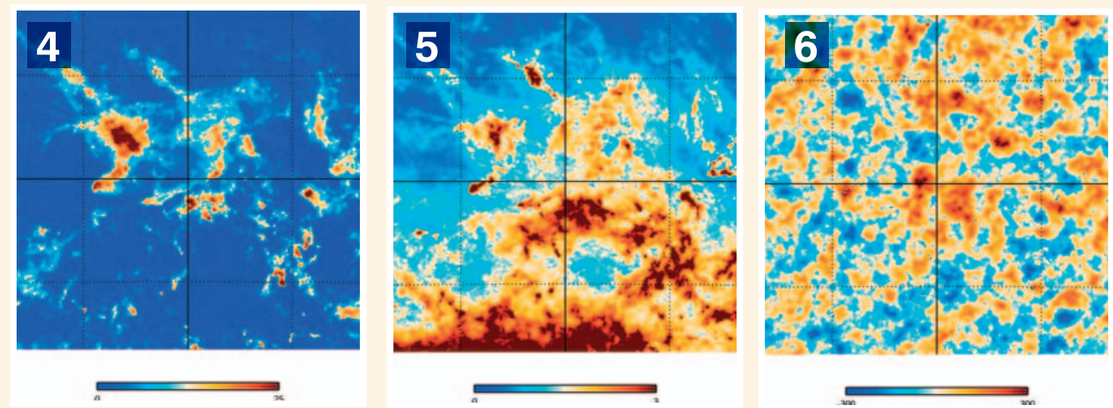


TEMPERATURKART: Temperaturen i universet er i underkant av minus 270 grader. Teleskopet Planck har målt temperaturvariasjonene i universets bakgrunnsstråling med en nøyaktighet på en titusendels grad.

Tidenes innblikk i universets spede begynnelse

Astrofysikere har sett tvers gjennom Melkeveien og fått tidenes innblikk i universets spede begynnelse. Nå må mange teorier endres.





TALLKNUSING: Planck har målt universets bagrunnsstråling i ni ulike frekvenser. De tre venstre figurene viser målingene fra tre ulike frekvenser. Målingene består av store mengder støy, ettersom Planck måtte se igjennom Melkeveien og alle de andre galaksene i universet. I arbeidet med å filtrere bort denne støyen, har astrofysikerne – som bonus – fått en rekke kart. Kart 4 viser karbonmonoksidskyer, som er rester etter supernovaer. Kart 5 viser galaktisk støv. Kart 6 viser mikrobølgene fra universets barndom.

Tekst: Yngve Vogt

Jubelen var stor da det milliarddyre teleskopet *Planck* ble skutt opp av den europeiske romfartsorganisasjonen ESA i 2009. Teleskopet har målt de ørsmå temperaturvariasjonene i mikrobølgene fra universets spede begynnelse, fra det magiske øyeblikket da universet ble synlig, 380 000 år etter Big Bang.

Jo lenger ut i verdensrommet du ser, desto lenger ser du tilbake i tid. Lyset fra solsystemets nærmeste stjerne bruker fire år til jorda. Når du studerer denne stjernen, ser du fire år tilbake i tid.

Signalene fra universets barndom har brukt ufattelige 13,3 milliarder år på reisen. Når du studerer disse signalene, kan du se helt tilbake til 380 000 år etter Big Bang.

Akkurat som antennen i mobiltelefonen din lytter etter bestemte frekvenser, har Planck-teleskopet scannet hele universet i ni ulike frekvenser.

Ti forskere ved Institutt for teoretisk astrofysikk på Universitetet i Oslo har vært sterkt beskjeftiget med å analysere de enormt mange målingene. Etter fire års intenst arbeid ble de første resultatene offentliggjort i 2013.

– Informasjonen er enda mer interessant enn vi har håpet på, forteller professor *Hans Kristian Eriksen* på instituttet.

Resultatene har allerede tatt livet av brorparten av de hundre ulike inflasjonsteoriene, det vil si teorier som forklarer den første tiden etter Big Bang.

– Det er bare de enkleste modellene som har overlevd. Alle de fancy modellene har fått dødsstøtet.

Ser gjennom Melkeveien. Den store utfordringen med Planck har vært å se tvers igjennom Melkeveien, støvrestene fra gamle stjerneeksplosjoner og de mange milliardene med galakser, for å nevne noe, for å fange opp de ekstremt svake signalene fra universets spede barndom, 13,3 milliarder lysår unna.

– De sterkeste signalene kommer fra vår egen galakse. Vi ønsket med andre ord å se igjennom Melkeveien og se alle de svært små variasjonene fra ytterkanten av universet.

Dette kan sammenlignes med å lytte til et menneske som puster svakt bak et inferno av diskolyder.

Her har UiO vært en viktig brikke. Institutt for teoretisk astrofysikk er verdensledende i å bruke supertunge beregninger på tidenes raskeste datamaskiner. Dataprogrammet deres tygger igjennom alle Planck-dataene i et jafs, skiller ut all støy, korrigerer for feil og lager et kart over mikrobølgene fra universets barndom, samtidig som programmet lager en mengde ulike forgrunnskart med fysiske fenomener fra Melkeveien.

– På dette området er vi fremst i verden, sier Hans Kristian Eriksen.

For å komme i mål måtte de fjerne alle signalene som viser alt annet enn restene etter Big Bang.

– Vi måtte blant annet se gjennom galaktisk støv, som er partikler fra gamle supernovaeksplosjoner. Samtidig som de fjernet det galaktiske støvet fra målingene, kunne de lage et spesialkart over partikkelstøvet.

Hodebry. Det samme gjelder karbonmonoksidskyer, som også er rester fra supernovaer.

– Kartet over karbonmonoksidskyene kan brukes til å se hvordan Melkeveien beveger seg og kan

→

FOTO: YNGVE VOGT

GRAVITASJONSBØLGER: Professor Hans Kristian Eriksen skal nå sende opp en ballong for å finne gravitasjonsvølgene fra de første brøkdelene av et millionte-dels sekund etter Big Bang.

dessuten gi oss ny informasjon om mørk materie. De spesielle skyene voldte hodebry for kosmologene.

– Vi fikk noen stygge resultater i de første analysene av Planck-dataene og skjønte at noe var galt. Merkverdig nok skjedde det bare innenfor et bestemt frekvensområde.

Forskerne måtte også fjerne de signalene som viser de spinnende elektronene i Melkeveien.

– Som bonus kan dette brukes til å lage et kart over magnetfeltet i galaksen vår.

UiO-beregningene kan også brukes til å slå fast hvordan lysfotonene fra bakgrunnsstrålingen endrer retning hver gang de passerer de enormt mange galaksene på den 13,3 milliarder lysår lange reisen fra universets barndom til Planck-teleskopet, svevende 1,4 millioner kilometer fra jorda.

Fjerner målestøy. Astrofysikerne måtte ikke bare ta hensyn til alt som stod i veien for de ultrasvake signalene fra universets barndom. De måtte også ta hensyn til systemfeilene på instrumentene i Planck.

– En del av feilene visste vi om på forhånd, men det kom noen overraskelser.

Instrumentene på Planck ble bombardert med partikler fra sola og fra gamle supernovaer. Når partiklene traff Planck i lysets hastighet, ble det dannet kraftige signaler.

– Vi forutså ikke disse signalene. Det var en stor jobb å bli kvitt dem.

Planck var konstruert for å skape minst mulig støy på måledataene.

– Jo lavere temperatur i Planck, desto mindre vibrasjoner – og mindre støy. Planck er derfor laget så kald som mulig. Med sine 0,1 Kelvin er Planck faktisk det kaldeste stedet i verdensrommet.

Null Kelvin er definert som minus 273,15 grader Celcius og er det absolutte nullpunktet. Temperaturen i universet er 2,7 Kelvin.

For å måle signalene fra Big Bang, måtte Planck måle temperaturvariasjoner i bakgrunnsstrålingen med en titusendedels grad.

Enorme beregninger. Selv om algoritmene, altså de matematiske beskrivelsene, er enkle, er de svært krevende å programmere. Noen av programmerne har ingen bakgrunn i astrofysikk. De er tvert imot eksperter i numerisk analyse. Dette er et fagområde innen informatikken der man bruker datamaskinen til å løse store matematiske og statistiske problemer.

– Takket være numerikerne har vi fått en stor rolle internasjonalt, forteller Hans Kristian Eriksen.

De har kjørt 50 til 100 variasjoner av programmet. Under den siste og avgjørende kjøringen brukte de en halv million CPU-timer. Da la de beslag på den nye superdatamaskinen på UiO i nesten en hel uke.

Nå planlegger de mer detaljerte kjøringer, som krever 100 millioner CPU-timer. Med dagens kapasitet på supercomputeren må de ha maskinen for seg selv i to år. Det får de ikke. De må derfor utvikle enda raskere metoder.

Endrer forståelsen. Planck-resultatene kan endre forståelsen av universet.

– Vi måler lydbølgene fra det tidligere universet. Noen av bølgene har mye diskant, men mangler en del bass. Det er altså noe som demper bassen som vi ikke skjønner.

De nye resultatene stemmer ikke med den såkalte standardmodellen. Universet er ikke, slik som antatt, likt i alle retninger.

– Det er noe vi ikke har forstått. Nå må teoretikerne steppe inn og lage en ny modell.

Planck har også skapt en liten bieffekt.

– Dataene våre viser at ekspansjonen av universet er mindre enn antatt.

Gravitasjonsbølger. Nå ønsker astrofysikerne nye målinger som gjør det mulig å se tilbake til de første brøkdelene av et millionte-dels sekund etter Big Bang, eller for å være helt nøyaktig, 10 opphøyd i minus 34 sekunder etter eksplosjonen. Den første tiden kalles for *inflasjonen*.

Planck kunne bare se tilbake til 380 000 år etter Big Bang. Det var først da universet ble synlig. Men det store spørsmålet er hvordan Big Bang oppstod. Da må de se etter noe annet enn lys.

For å se helt tilbake til begynnelsen, må astrofysikerne lete etter 13,7 milliarder år gamle gravitasjonsbølger. Dette er svært svake bølger og er aldri blitt observert.

De norske forskerne Hans Kristian Eriksen ved UiO og *Ingunn Wehus* ved California Institute of Technology planlegger nå å sende opp en ballong i samarbeid med Columbia University, proppet med instrumenter, i 35 kilometers høyde fra Kiruna i Sverige til Canada. Ballongturen skal ta fem døgn.

– Vi skal bruke ballongen til å vise at gravitasjonsbølgene finnes. Hvis svaret er ja, håper vi at det kan bli sendt opp et nytt instrument, tilsvarende Planck, som kan måle gravitasjonsbølgene fra hele universet. Vi må med andre ord ha bevis for at de finnes, før vi kan gå videre, forteller Hans Kristian Eriksen.

FAKTA

Tolker data fra universets barndom

- Planck har målt de ørsmå temperaturforskjellene i mikrobølgene fra universets barndom.
- Astrofysikere ved UiO har laget et dataprogram som fjerner all støyen i dataene, slik som signaler fra Melkeveien og andre galakser og støv og gasser fra supernova-eksplosjoner.
- Dataprogrammet la beslag på UiOs supercomputer og brukte en halv million CPU-timer på en uke.
- Nå planlegger de en kjøring som krever 100 millioner CPU-timer.

VIKTIG: – Det er viktig for oss å få en fundamental forståelse av strømningsprosesser i tette bergarter. Da må vi beregne og modellere strømning og utvinning fra bergarter med små og mange porer, forteller forskningsdirektør Lars Høier i Statoil.

FOTO: HARALD PETTERSEN; STATOIL

Ny atomforståelse kan øke den norske oljeproduksjonen

Fremtidens olje må pumpes opp fra nanotynne sprekker i skiferstein. Da må geologene forstå hvordan de enkelte molekylene beveger seg. UiO har allerede gjort de første beregningene.

Tekst: Yngve Vogt

– Den norske skifergassen kan være verdt 332 milliarder kroner.

Når oljen fra konvensjonelle kilder tar slutt, må vi utvinne olje fra skiferstein. Da er vi nødt til å forstå kreftene mellom de enkelte molekylene i væsken og overflaten i skiferen, poengterer *Bjørn Jamtveit*, professor og leder for forskergruppen PGP, Physics of Geological Processes ved Universitetet i Oslo.

Oljen og gassen ble i sin tid dannet i skiferstein. Skifer er rikt på organisk materiale. Da skiferen for mange millioner år siden sank dypere og dypere ned i berggrunnen, økte trykket og temperaturen. Skiferen begynte å svette olje og gass. Oljen og gassen steg opp gjennom sandstein og kalkstein, inntil de stanget hodet i en takbergart. Det er nettopp disse områdene som er blitt til konvensjonelle olje- og gassfelt.

Likevel fins det fortsatt enorme mengder olje og gass i skifersteinen.

Store, uløste problemer. For å presse ut oljen og gassen, må man bore tusenvis av hull og, under høyt trykk, pumpe inn store mengder vann, kjemikalier og sand.

Dette er likevel ikke nok.

– Mens sandstein og kalkstein har store porer, er skiferstein tette bergarter med nanosmå porer.

FOTO: YNGVE VOGT

EKSPERIMENTERER: – For hvert eksperiment får vi bare ut noen tall. Med simuleringer på datamaskinen kan vi studere de mange millionene med atomer enkeltvis, forteller Dag Dysthe.

Disse porene kan være så små som noen få nanometer. En nanometer er en tusendels mikrometer.

– I sandstein kan man forstå væskegjennomstrømningen uten å måtte forstå hva som skjer i nanoskala. For å forstå hvordan væsken strømmer gjennom skifer, er det derimot viktig å forstå hva som skjer på atomnivå. Når væske eller gass beveger seg gjennom nanosmå kanaler, endres de fysiske egenskapene. Disse egenskapene er fortsatt ikke kjent. Når vi forstår mer av hva som skjer når oljen og gassen blir presset til å bevege seg gjennom nanosmå porer, har vi bedre forutsetninger for å øke utvinningen fra tette bergarter, sier Jamtveit.

332 milliarder kroner. Ifølge amerikansk energistatistikk (EIA) fins det 24 milliarder fat skiferolje og 185 billioner kubikkmeter skifergass i verden.

– Det er sannsynligvis mer enn to billioner kubikkmeter skifergass i norske farvann. Med dagens pris kan den norske skifergassen være verdt 332 milliarder kroner, forteller professor i fysikk, *Paul Meakin* fra Temple University i USA, som frem til jul 2012 var gjesteforsker ved Universitetet i Oslo og Institutt for Energiteknikk.

De største norske forekomstene er, ifølge seniorrådgiver *Knut Henrik Jacobsen* i Oljedirektoratet, i Norskehavet, rundt Ekofisk-feltene og i Tampenområdet, som er et fellesnavn for den nordlige delen av Nordsjøen.

Jacobsen mener derimot at den norske oljen og gassen i skifer ikke har noen verdi fordi det koster for mye å få den opp.

– De norske ressursene er sannsynligvis mange ganger større enn det vi venter å finne i vanlige reservoarer, men de er ikke lønnsomme å produsere til havs. Forekomstene på land vil derimot endre det geopolitiske bildet. Om få år blir USA selvforsynte med olje og gass fra skifer. Kina og Russland har også store områder med skiferolje og skifergass, påpeker Jacobsen.

Viktig for Statoil. Statoil sponser Jamtveits forskningssenter med 11 millioner kroner de neste fire årene, for å få ny kunnskap om økt utvinning fra tette bergarter.

– Det er viktig å få en fundamental forståelse av strømningsprosesser i tette bergarter. Da må vi beregne og modellere strømning og utvinning fra bergarter med små og mange porer. Dette er interessant for oss, både internasjonalt og på norsk sokkel, forteller forskningsdirektør *Lars Høier* i Statoil.

For to år siden klarte Statoil å utvinne 50 prosent fra feltene sine på norsk sokkel. Statoil ønsker nå å øke denne prosentandelen til 60.

– En økning på bare ett prosentpoeng tilsvarer over 327 millioner fat olje, fastslår Lars Høier.

Eksperimenterer på nanonivå. For å forstå hva som skjer når væske renner gjennom nanoporøse bergarter, må forskerne studere kreftene mellom de enkelte atomene og molekylene. Det er lettere sagt enn gjort.

Riktignok fins det eksperimentelle metoder for å kunne studere hva som skjer på nanonivå.

– Det er likevel ikke nok til å forstå hva som skjer på atomnivå, forteller professor *Dag Dysthe* i PGP, som er ansvarlig for eksperimenter på væskegjennomstrømninger i nanoporøse bergarter.

Et av redskapene hans er et atomkraftmikroskop. Mikroskopet fungerer som en gammeldags grammofonplate, der spissen på stiften bare er ti til hundre nanometer bred. Hundre nanometer er en titusendels millimeter. Et hårstrå er hundre ganger bredere.

– Spissen kan føle kreftene til enkeltatomene.

Den store svakheten er at metoden er vanskelig å bruke når forskerne skal måle hva som skjer i overgangen mellom fast stoff og rennende væske. Da ser de ikke enkeltatomene, men bare snittet av et titalls atomer.

– Så selv om vi kan studere hva som skjer på nanonivå, er vi som driver med eksperimenter, nesten blinde. I eksperimenter kan vi bare observere gjennomsnittet av slike ting som kraft, ionestyrke og ph-verdi, sier Dag Dysthe.

For å studere hva som skjer på nanonivå, kan fysikerne også bruke røntgen og elektronmikroskop.

– Begge metodene har sine svakheter. Med røntgenundersøkelser får vi bare en statistisk tolkning av hvordan ting ser ut. Elektronmikroskop er ikke mulig å bruke på flytende væske.

Det er derfor ikke eksperimentelt mulig å se hvordan de enkelte atomene endrer de fysiske egenskapene i nanotrange rør. Forskerne må ty til simuleringer.

– For hvert eksperiment får vi bare ut noen tall. Med simuleringer på datamaskinen kan vi studere de mange millionene med atomer enkeltvis.

Simulerer atom for atom. Professor *Anders Malthe Sørenssen* ved PGP har nylig reist til University of Southern California for å lære seg mer om matematisk modellering av væskegjennomstrømninger i nanoporøse materialer.

FAKTA

Simuleringer av nanotynne porer

- Fremtidens olje og gass er gjemt i skifer. Skiferstein er tette bergarter med nanotynne porer.
- De fysiske egenskapene endrer seg når væske renner gjennom nanotynne porer. Disse egenskapene er fortsatt ikke kjent.
- UiO simulerer væskegjennomstrømning i nanotynne porer. I simuleringsprogrammet kan de studere oppførselen til hvert enkelt molekyl.
- Simuleringen bruker ti dager på 64 parallelle datamaskiner.
- Nå planlegges simuleringer som kan ta flere måneder. Fordelen er langt bedre statistikk.

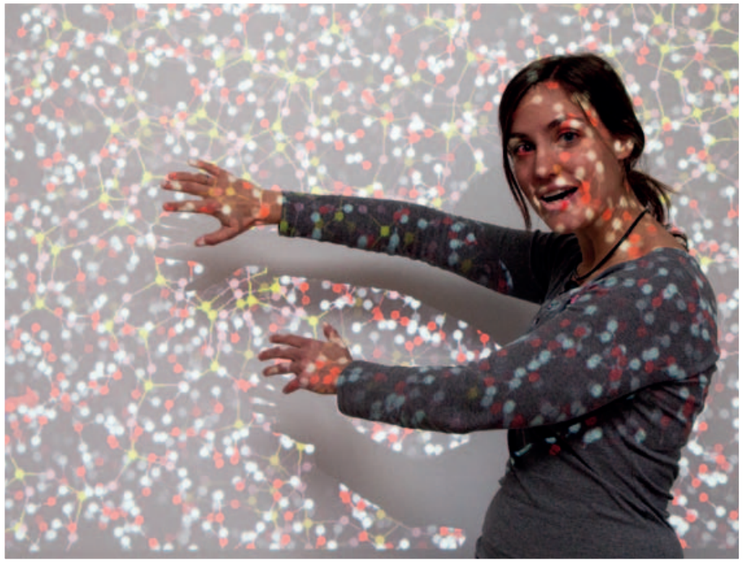


FOTO: YNGVE VOGT

SIMULERER MOLEKYLER OG ATOMER: Camilla Kirkemo studerer bevegelsen til hvert enkelt molekyl i porer som bare er noen få nanometer store. Simuleringene hennes viser at frysepunktet til vann kan stupe helt ned til minus 173 grader i nanotynne porer. De gule prikkene er atomene i det faste stoffet. De røde og hvite prikkene er vannmolekylene som renner igjennom poregangene i det faste stoffet.

FOTO: YNGVE VOGT

UKJENT: – Når væske eller gass beveger seg gjennom nanosmå kanaler, endres de fysiske egenskapene. Disse egenskapene er fortsatt ikke kjent, forteller Bjørn Jamtveit.

Som en start har stipendiaten hans, *Camilla Kirkemo* på PGP og Fysisk institutt, simulert hva som skjer når flere hundre tusen vannmolekyler er fanget i små porer.

Hun har studert bevegelsen til hvert enkelt molekyl i porer som bare er noen få nanometer store. Rørene er da så små at det bare er plass til ti vannmolekyler i bredden.

– I simuleringene kan vi sammenligne egenskapene til vannmolekyler nær overflaten og langt fra overflaten. Slikt er vanskelig å se eksperimentelt, sier Kirkemo.

Det er krefter mellom vannmolekylene og atomene i det faste stoffet. Ved hjelp av Newtons lover og avanserte modeller for hvordan atomer reagerer på hverandre, kan hun beregne kreftene og hvordan molekylene beveger seg.

Når molekylene ikke er ved overflaten, vil de være i jevn bevegelse. Når et molekyl nærmer seg overflaten, vil det en stund være fanget før det fortsetter og blir sittende fast et annet sted. Simuleringsprogrammet regner ut banen og hastigheten til hvert enkelt molekyl.

Simuleringene hennes har allerede ført til en banebrytende oppdagelse om frysepunktet til vann.

– I trange rom og kanaler vil væsken oppføre seg annerledes enn det vi har vært vant til.

Det viser seg at trykket blir større i små porer. Det er godt nytt for oljeindustrien.

– Væsken får da større tetthet. Og tettere væske gjør at vannet holder seg flytende selv i flere minusgrader. Simuleringene våre viser at vann i nanoporer faktisk kan være flytende helt ned til minus 173 grader Celsius, konstaterer Kirkemo.

Hun påpeker at simuleringene også er interessante for dem som skal forske på CO_2-lagring i skifer.

Skal simulere ekte skifer. Dagens simuleringer skjer i en tenkt ti nanometer bred, firkantet kube av glass.

– Glass er et enkelt materiale og ligner på mange bergarter.

Glasset i simuleringene er teoretisk generert i datamaskinen. For å skape de mange nanoporene i glasset, simulerte Kirkemo først at glasset ble strukket. Da fikk hun et materiale med mange poreganger.

– Glasset ble varmet opp og kjølt ned. Da ble porene strukket, og vi fikk et porenettverk som ser naturlig ut og minner om det som fins i naturen.

I neste runde skal hun simulere gjennomstrømningen av vann i ekte skifer. Da må hun få avbildet den mikroporøse strukturen i skiferen. Det skjer på den enorme syklotronen i Grenoble i Frankrike.

Med høyfrekvente røntgenstråler får hun en tredimensjonal avbildning av en bitte liten klump skifer, som bare er én millimeter bred.

Tunge simuleringer. Det krever store beregninger å simulere tilstanden til 100 000 atomer i slengen.

Selv om Kirkemo bare simulerer hva som skjer i ti nanosekunder, er hver tidsenhet i modellen en halv femtosekund. En femtosekund er en millionte-del av en milliarddels sekund. Det betyr at hun simulerer hva som skjer med vannmolekylene i 20 millioner steg.

Modellen tar så mye regnekapasitet at en enkelt kjøring bruker ti dager på 64 parallelle datamaskiner. Hun bruker da landets raskeste tungregnemaskiner.

Slike kjøringer er likevel ikke bra nok. I neste runde skal Kirkemo simulere oppførselen til en milliard atomer samtidig. Da blir de statistiske analysene mye bedre.

– Med en milliard atomer kan simuleringen ta flere måneder, sier Kirkemo.

For å unngå programmeringsfeil, tester hun først programmet på små maskiner.

Materialer og energi

Nye materialer kan revolusjonere fremtidens energiløsninger. UiO forsker både på bedre solceller, miljøvennlige brenselceller og sensorer som bruker mindre energi.

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet forsker på funksjonelle materialer som gjør det mulig å produsere **mye mer miljøvennlig energi** i fremtiden.

– Koblingen mellom energi og materialvitenskap er unik for UiO. Vi er opptatt av hele kjeden fra produksjon av energi, via distribusjon av energi til energiforbruk. **Målet vårt er å skape mest mulig fornybar energi i kraftproduksjonen, tape minst mulig energi på distribusjonen og utvikle utstyr som bruker lite energi**, forteller dekan *Morten Dæhlen* på Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet.

Solceller blir stadig viktigere for å dekke energibehovet i samfunnet. Forskere ved UiO leter nå etter nye materialer som gjør det mulig å fange opp en større del av solspekteret. **Solcellene skal dessuten bli mye tynnere – og billigere.**

Materialforskningen er også viktig for miljøvennlige biler. For at elektriske biler skal ta av, er det viktig med enda bedre batterier. Dagens batterier tar for mye plass. Den dagen batteriene veier mindre, vil bilene bruke mindre energi på å frakte dem. **Kjemikere på UiO har tatt i bruk nanoteknologi til å lage fremtidens batterier**, der hvert lag i batteriet er én nanometer tykk.

UiO-forskere **utvikler også nye materialer til brenselceller** som skal produsere elektrisk energi ved å forbrenne hydrogen i en elektrokjemisk prosess. **Avfallet er rent vann.**

Norge har mye naturgass. UiO-forskere har laget en katalysator som gjør det mulig å **omdanne naturgass til drivstoff uten CO_2-utslipp**. Nå utvikler kjemikere nye katalysatorer som bruker CO_2 som byggestein i polymerindustrien. Da blir det mindre CO_2-utslipp til atmosfæren.

Også matematikerne er opptatt av **energi**. Nye, matematiske modeller ved Universitetet i Oslo viser hvordan det er mulig å tjene penger på strømmarkedet.

FJERNER FARLIGE STOFFER: Forskningssenteret inGAP ved Universitetet i Oslo har utviklet en ny type katalysator som kan fremstille bensin med høyt oktantall uten at bensinen inneholder det kreftfremkallende stoffet benzen. De undersøker også muligheten for å bruke det selvutviklede stoffet UiO-66 til å fange CO_2 på en mer miljøvennlig måte.

Kan fremstille bedre bensin

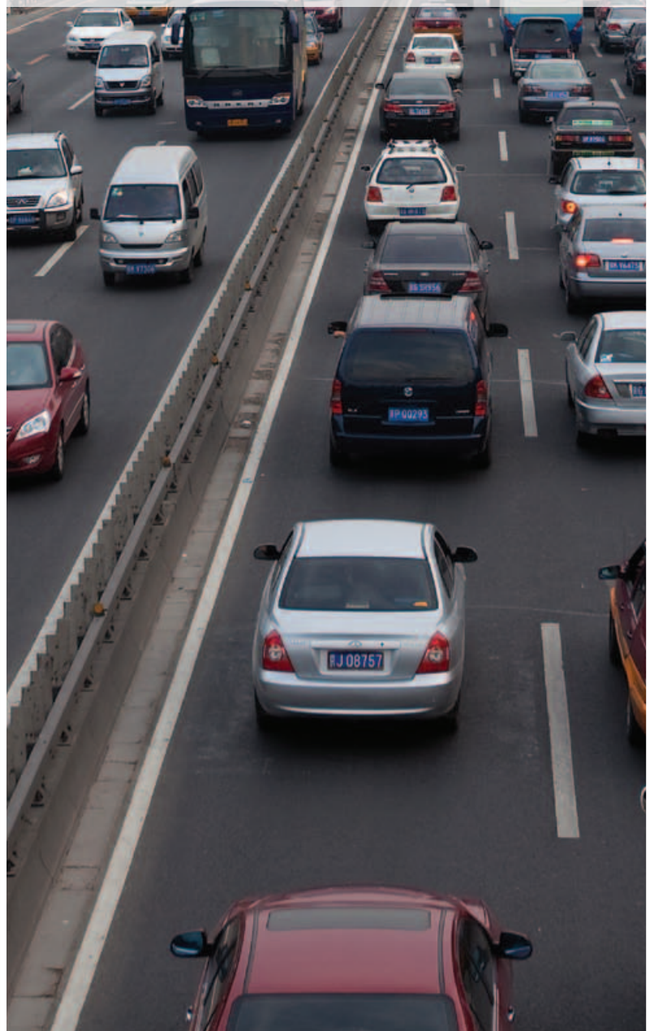


FOTO: DREAMSTIME

Ny katalysator kan foredle naturgass på en mer miljøvennlig måte. Da blir bensinen bedre.

Tekst: Yngve Vogt

For fem år siden ble katalysegruppen på Kjemisk institutt ved Universitetet i Oslo utnevnt til et Senter for forskningsbasert innovasjon (Sfi). I et tett samarbeid med industrien, SINTEF og NTNU har senteret, som kaller seg *Senter for innovative naturgassprosesser og -produkter* (inGAP) forsket på en rekke nye katalysatorer som kan gi store miljøgevinster i olje og gass-sektoren.

Senteret ble grunnlagt i 2006 for å styrke båndene mellom forskningsmiljøene og industrien, og finansieres av UiO, Forskningsrådet og flere bedrifter, deriblant Statoil.

De forsker på effektive katalysatorer og hvorfor katalysatorer mister effekten over tid. En katalysator er et stoff som øker hastigheten på ønskede, kjemiske reaksjoner.

– Vi skal bruke katalysatorene til å gjøre om naturgass til drivstoff og plast på en effektiv og miljøvennlig måte. Dette er et viktig forskningsfelt for oss som gassnasjon, fastslår lederen av senteret, professor *Unni Olsbye*.

De siste årene er det blitt utviklet ny teknologi for å hente ut naturgass som er gjemt i porøse bergarter.

– Det har ført til at prisen på naturgass har gått ned. Det er derfor viktig å øke verdien på gassen

ved å omdanne den til noe annet, påpeker Olsbye.

Fremstiller smarte stoffer. Senteret forsker på flere ulike grupper katalysatorer.

Den ene er *zeolitter*. Zeolitter brukes i alt fra vaskepulver til foredling av olje og gass. Zeolitter er en velkjent katalysator i oljeraffinerier, slik som på Mongstad.

Zeolitter er bygd opp av silisium og oksygen, og noe aluminium. Det spesielle med denne katalysatoren er at den inneholder porer i nanostørrelse. Porene kan skreddersys med størrelser mellom 0,4 og 1,2 nanometer, avhengig av hvilke molekyler man ønsker å slippe igjennom. En nanometer er en milliontedels millimeter. I dag finnes det vel 200 forskjellige strukturer i zeolitter.

Zeolittene kan ha ulike dimensjoner. Antall dimensjoner sier hvor mange retninger porene har. En endimensjonal zeolitt kan sammenlignes med et fjell med mange tuneller ved siden av hverandre. En todimensjonal zeolitt har "kryssende veier i tunellen". En tredimensjonal zeolitt har "luftekanaler rett opp og ned fra hvert eneste veikryss".

Forskerne ved inGAP har vist at størrelsen på hulrommene i "veikryssene" kan påvirke hvilke produkter som dannes i zeolittene.

I dag omdannes naturgass til bensin med tredimensjonale zeolitter. Det er ønskelig med et høyt oktantall. *Aromater*, som er en fellesbetegnelse på stoffer med ringformet karbonskjelett, har et høyt oktantall. Problemet er at en av aromatene, benzen, er kreftfremkallende. Det er derfor begrensninger på mengden aromater i bensin.

– Vi har nå laget endimensjonale zeolitter som gjør det mulig å lage bensin med høyt oktantall uten at denne bensinen inneholder aromater.

Med andre ord kan bensinen bli renere ved å designe rett antall dimensjoner og rett størrelse på porene i zeolittene.

– Ved å gjøre porene små nok, kan vi også lage råstoff til plastindustrien, slike som eten og propen. For å finne den optimale oppbygningen av zeolitter, studerer inGAP oppbygningen av zeolitter, størrelsen og tettheten av porene og i hvor mange retninger porene skal gå.

– UiO-66 kan spille en viktig rolle i CO_2-rensing.

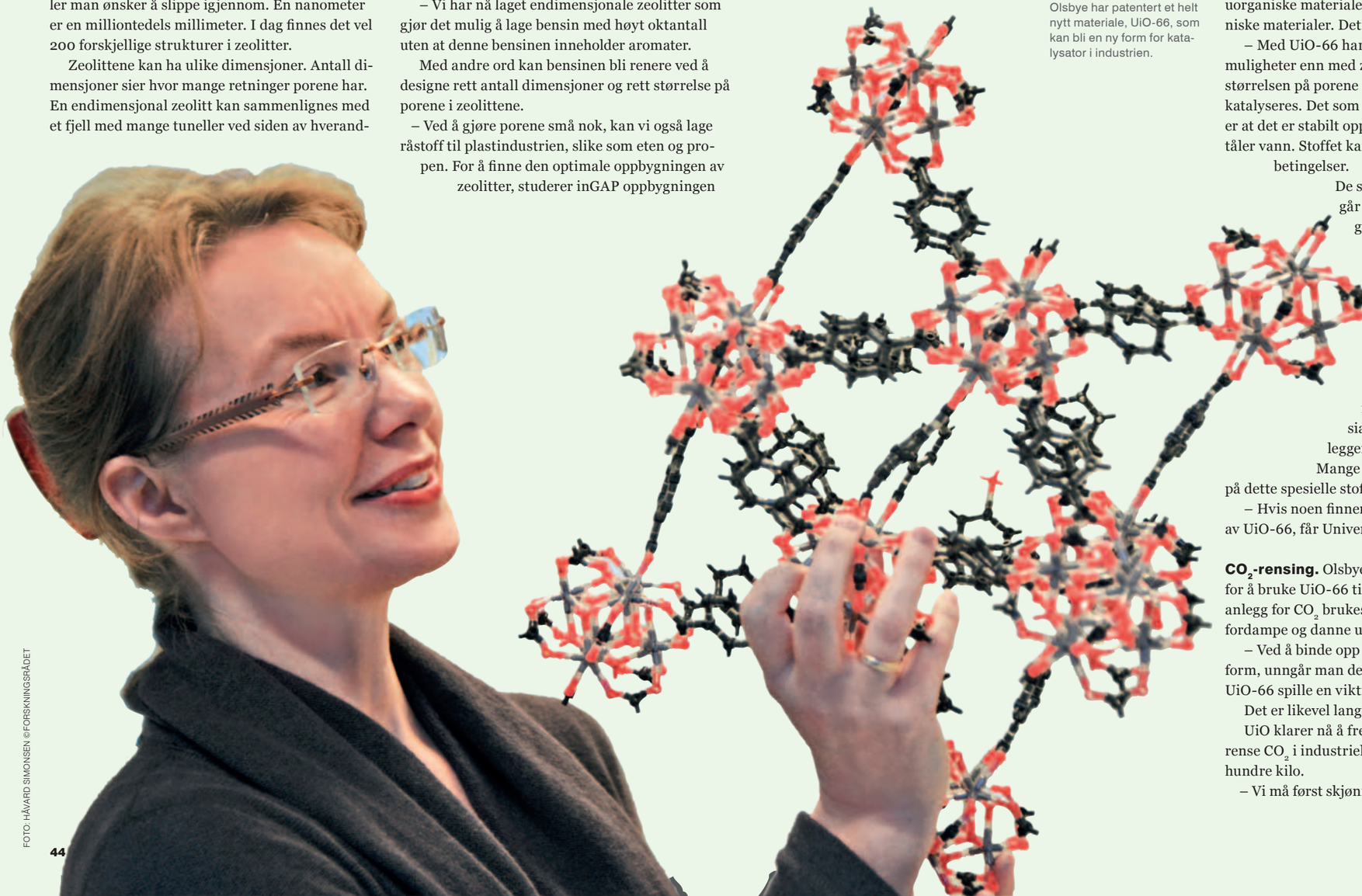


FOTO: HÅVARD SIMONSEN ©FORSKNINGSRÅDET

PATENTERT: Forskergruppen til professor Unni Olsbye har patentert et helt nytt materiale, UiO-66, som kan bli en ny form for katalysator i industrien.

– Industripartnerne har førsterett til oppfinnelsene.

– Internasjonalt er vi langt fremme, men arbeidet er tidkrevende. Det kan ta et helt hovedfag å lage en bestemt zeolitt, forteller Olsbye.

UiO-66. Forskningssenteret til Unni Olsbye har nå utviklet og patentert en helt ny type materiale, UiO-66, oppkalt etter Universitetet i Oslo. UiO-66 kan bli en helt ny form for katalysator.

UiO-66 er ingen zeolitt, men tilhører en annen gruppe nanoporøse materialer kalt MOF, *metall-organiske nettverksstrukturer*. Hjørnesteinene er uorganiske materialer. De bindes sammen av organiske materialer. Det er en helt ny måte å tenke på.

– Med UiO-66 har vi langt større variasjonsmuligheter enn med zeolitt, både når det gjelder størrelsen på porene og hvilke reaksjoner som kan katalyseres. Det som er så spesielt med UiO-66, er at det er stabilt opp til 400 grader og attpåtil tåler vann. Stoffet kan derfor brukes under tøffe betingelser.

De store industriprosessene foregår i dag mellom 200 og 1000 grader. De fleste MOF-materialer tåler ikke vann og brytes ned når temperaturen er mellom 200 og 300 grader.

Forskerne har tatt patent på UiO-66, men de har ennå ikke funnet noen kommersiell anvendelse.

– Potensialet er stort, men det tar tid å kommersialisere bruk av slik grunnleggende kunnskap, sier Olsbye.

Mange i verden forsker i dag videre på dette spesielle stoffet.

– Hvis noen finner en kommersiell anvendelse av UiO-66, får Universitetet i Oslo lisenspengene.

CO_2-rensing. Olsbye undersøker også muligheten for å bruke UiO-66 til å fange CO_2. I dagens renseanlegg for CO_2 brukes flytende kjemikalier. De kan fordampe og danne uheldige gasser.

– Ved å binde opp de aktive kjemikaliene i fast form, unngår man denne fordampingen. Her kan UiO-66 spille en viktig rolle.

Det er likevel langt frem.

UiO klarer nå å fremstille noen gram. For å rense CO_2 i industriell skala trengs det noen hundre kilo.

– Vi må først skjønne fremstillingen av stoffet i liten skala. Potensialet er stort, men den endelige konklusjonen kan også bli at stoffet ikke er stabilt nok.

Samarbeidet med industrien. For tiden mangler inGAP midler til å fortsette arbeidet med å utvikle UiO-66 til en katalysator.

– Selv om industrien viser interesse for UiO-66, er det vanskelig å få industrien med på slike finansieringer, når de ikke ser en klar mulighet for kommersialisering innen fem til sju år. Vi er derfor avhengige av forskningspenger uavhengig av industrien.

Unni Olsbye er svært opptatt av at de bedriftene som samarbeider med inGAP, må få noe igjen. Et eksempel er plastprodusenten INEOS. Takket være samarbeidet med forskerne har INEOS forbedret driften av sine fabrikker og blitt mer konkurransedyktige.

Eierskapet. Avtalen mellom inGAP og industrien er klinkende klar. Industripartnerne har førsteretten til oppfinnelsene.

– Det er ingen tvil om eierskapet. Det er essensielt. Ettersom industrien vet at kunnskapen tilfaller dem, tør de fortelle oss om flaskehalsene i prosessene deres. Hvis en av stipendiatene våre har gjort et arbeid som ikke skal offentliggjøres, må bedriften betale en forlengelse av stipendiatperioden. Det er ikke en hundre prosent vinn-vinn-situasjon. Men i praksis er ikke dette noe problem. Hvis vi ser faren for hemmelighold, lar vi ikke stipendiaten jobbe med problemstillingen. Da tar vi jobben selv, forteller Olsbye.

Noen av funnene i inGAP er holdt hemmelige. Dette er ikke forenlig med de nye kravene om at all forskning skal publiseres.

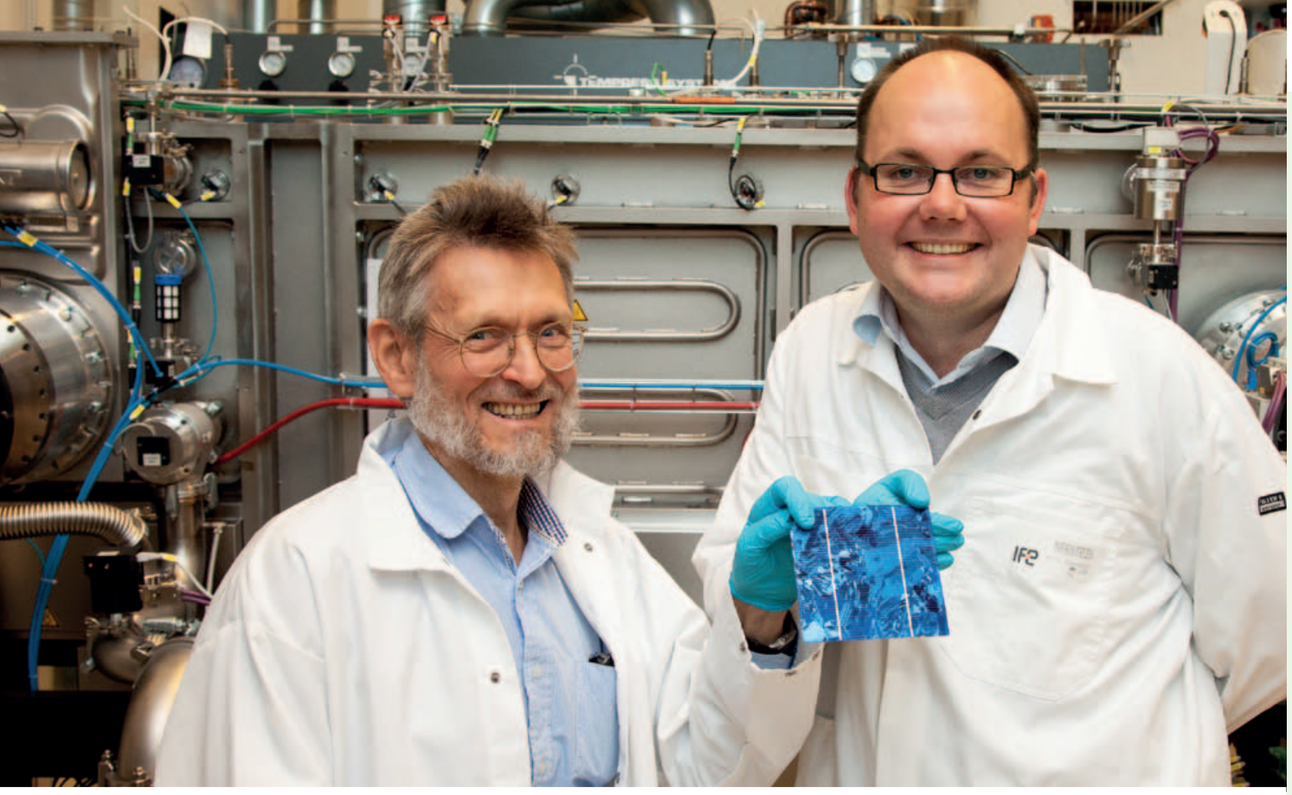
– Det nye regelverket kom etter at vi undertegnet avtalen. Det betyr i praksis at slike avtaler ikke vil bli mulige i fremtiden. Nye sentre for forskningsbasert innovasjon må derfor organiseres slik at den kortsiktige, industrinære forskningen må utføres av eksterne forskningsinstitutter, mener Olsbye.

Hun mener likevel at avtalen deres med industrien har vært lite hemmende for dem.

– I praksis publiserer vi nesten alt vi gjør.

Olsbye har følgende råd til andre forskere som vil samarbeide med industrien:

– Du må være villig til å legge fra deg noe du er veldig opptatt av, og forske mer på det industrien vil. Det krever en mentalitetsendring, poengterer Olsbye.



MAGI: Professor Aasmund Sudbø og forskningsleder Erik Marstein har brukt alle mulige knep med lys for å redusere tykkelsen på solcellene med 95 prosent.

Neste generasjons solceller:

Lurer sollyset med mikrosmå kuler

Om fem til sju år er solcellene blitt mye billigere – og bare en tjuendedel så tjukke som dagens solceller. Trikset er å lure sollyset med mikrokuler.

Tekst og foto: Yngve Vogt

Nanoforskere utvikler nå neste generasjons solceller, som skal bli tjue ganger tynnere enn dagens solceller.

Over 90 prosent av dagens strøm fra solcellepanel er laget av 200 mikrometer tykke silisiumplater. Det lages flere milliarder hvert år. Problemet er det store forbruket av silisium, hele fem gram silisium per watt.

200 Altakraftverk. I år produseres det, på verdensbasis, mellom fem og ti milliarder solcelleenheter. Det tilsvarer 30 GW, eller kapasiteten til 200 Altakraftverk.

Selv om silisium er et av de vanligste grunnstoffene på jorda, fins det ikke rent silisium i naturen. Silisium binder seg lett til andre grunnstoffer. For at solceller skal fungere, må silisiumplaten bestå av minst 99,9999 prosent silisium. Du leste riktig. Hvis solcellen består av mer enn én millionte-del andre stoffer, fungerer den ikke.

I dag lages rent silisium i 2000 grader varme smelteovner. Det krever mye energi. Fabrikkene leverer silisium i vedkubbestore blokker. Deretter blir de sagd opp i solcelletynne skiver. Bare halvparten blir til solceller. Resten blir sagspon.

– Det går med mer enn 100 000 tonn silisium hvert år. Men det er åpenbart noe fundamentalt galt når halvparten av silisiumet må kastes under produksjonen, konstaterer *Erik Marstein*, som både er leder for det norske forskningssenteret i solcelleteknologi, forskningsleder for solcelleavdelingen ved Institutt for energiteknikk (IFE) på Kjeller utenfor Oslo og førsteamanuensis på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo (UiO).

Solcelleprisene faller stadig. I dag koster det en halv euro per watt for et solcellepanel. For bare fire år siden kostet det to euro per watt.

– Det er vanskelig å tjene penger på å fremstille solceller med dagens priser. For å klare det, må solcellene lages mye billigere.

Supertynne solceller i 2020. Sammen med professor *Aasmund Sudbø* på Fysisk institutt står Erik Marstein nå i spissen for å utvikle neste generasjons solceller. De kan komme på markedet om fem til sju år.

– Den åpenbare veien videre er å lage skikkelig tynne solcelleskiver, uten å øke kostnadene.

For alle typer solceller gjelder regelen: Jo flere elektroner sollyset dytter ut, desto mer strøm. Og jo mer energi i elektronene, desto mer spenning.

– Jo tynnere solcellene blir, desto lettere er det å få ut elektrisiteten. I prinsippet blir det derfor mer spenning og mer strøm med tynne solceller. Vi utvikler nå solceller som er minst like gode som dagens, men som kan lages med bare en tjuendedel så mye silisium. Det betyr at silisiumforbruket kan reduseres med 95 prosent, påpeker Erik Marstein.

Men det er et stort *men*!

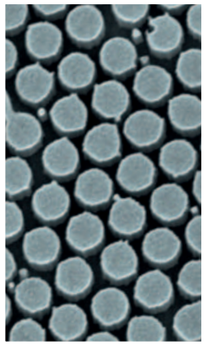
Jo tynnere plater, desto mindre av sollyset blir fanget opp. Dette har med lysets bølgelengder å gjøre. Blått lys har mye kortere bølgelengder enn rødt lys. Blått lys kan fanges opp med plater som bare er noen få mikrometer tynne. For å fange opp det røde lyset, må silisiumplaten være nesten en millimeter tjukk. For infrarødt lys må platen være enda tjukkere.

Når solcelleplaten skal være så tynn som 20 mikrometer, vil derfor altfor mye av lyset gå tvers igjennom.

Tykkelsen på dagens solceller dobles med et speil. Ved å reflektere lyset, dobles lysets reise gjennom platen.

En 20 mikrometer tynn solcelle med speil blir i teorien 40 mikrometer tykk. Det er likevel ikke nok. Dessuten er dagens speil langt fra perfekte. De reflekterer bare 70 til 80 prosent av lyset.

Magien. – Det er her magien vår kommer inn. Vi prøver alle mulige, vidunderlige knep med lys. Trikset vårt er å lure sollyset til å bli lenger i solcellen. Da blir den lengden som sollyset beveger seg i inne i solcellen, mye lengre, forteller Erik Marstein. Dette kalles for *lyshøsting*.



LURETRIKSET: For å etse små groper på baksiden av solcellen, bruker forskerne de verdensberømte Ugelstad-kulene som maske.

– Vi prøver alle mulige, vidunderlige knep med lys.

Forskergruppen hans lager nå et baksidestykke pepret med periodiske strukturer, for eksakt å kunne bestemme hvor lyset skal gå. De har klart å tvinge lyset til å bevege seg sidelengs.

– Vi kan øke den tilsynelatende tykkelsen 25 ganger ved å tvinge lyset opp og ned hele tiden. Vi har beregnet hvordan et slikt baksidestykke skal se ut og studerer nå hvilke ulike strukturer som fungerer.

En av mulighetene er å dekke hele baksiden med Ugelstad-kuler, en av de største norske oppfinnelsene i forrige århundre. Ugelstad-kuler er mikrosmå plastkuler. Alle kulene er nøyaktig like store.

– Vi kan tvinge Ugelstad-kulene til å legge seg tett sammen på silisiumoverflaten, i et nesten perfekt, periodisk mønster.

Laboratorieforsøk har vist at kulene kan brukes som maske. Stipendiat *Jostein Thorstensen* viser at laser er velegnet til å etse groper rundt kulene.

– Vi undersøker nå om denne og andre metoder kan skaleres til storskalaproduksjon i industrien. Vi har klokkertro på dette og diskuterer for tiden med flere industrielle partnere, men vi kan ennå ikke nevne hvem.

Asymmetrisk triks. For å fange opp enda mer av lyset i solcellen, har *Jo Gjessing* tatt doktorgraden på hvordan man kan lage asymmetriske mikrogroper på baksiden av silisiumskiven.

– Sylindre, kjegler og halvkuler er symmetriske former. Vi har foreslått flere strukturer som bryter opp symmetriene. Beregningene våre viser at vi med asymmetriske mikrogroper kan fange opp enda mer av sollyset, sier veilederen Erik Marstein.

I praksis betyr det at 16 mikrometer tynne plater med asymmetriske groper er like effektive som 20 mikrometer tynne plater med symmetriske mikrogroper. Det betyr at silisiumforbruket kan reduseres med ytterligere 20 prosent.

– Hovedpoenget vårt er å kunne få ut samme mengde strøm fra tynnere celler. Vi vil være svært fornøyde også om de nye solcellene våre blir 30 mikrometer tykke, poengterer professor Aasmund Sudbø.

De nye solcellene kan lages på flere måter, slik som å kløyve tynne silisiumfolier eller gro tynne silisiumfilmer. Og ekstrabonusen? Silisiumsvinnet blir minimalt.

FAKTA

Solceller

- I år produseres solceller tilsvarende energien fra 200 Altakraftverk.
- Jo tykkere solcellen er, desto mer av lyset blir fanget opp. Tykkelsen dobles med et speil på baksiden.
- Neste generasjons solceller kan lure sollyset til å bli opptil 25 ganger lenger i solcellen. Luretrikset er Ugelstad-kuler.
- Asymmetriske mikrogroper på baksiden kan lure sollyset til å bli enda lenger i solcellen.

Solcellene på robotbilen på Mars er dobbelt så bra som solcellene på jorda. Hemmeligheten er rådyre materialer. Fremtidens solceller kan bli like effektive med superbillig sink.

Inspirert av rådyr Mars-teknologi

NANOTEKNOLOG: Eduard Monakhov forsker på fremtidens solceller i Mikro- og nanoteknologilaboratoriet ved UiO.

FAKTA

Solceller

Dagens solceller er laget av silisium. De utnytter opptil 20 prosent av sollyset.

Fremtidens solceller skal lages av sinkoksid. De skal kunne utnytte opptil 40 av sollyset.

De nye solcellene skal bare bli en tiendedel så tykke som dagens silisiumsolceller.

For at de nye solcellene skal fungere, må materialer dopes med ulike typer atomer.

Tekst og foto: Yngve Vogt

De mest brukte solcellene i dag klarer i beste fall å utnytte 20 prosent av sollyset. Fremtidens solceller kan bli dobbelt så effektive.

De eneste solcellene som allerede utnytter opptil 40 prosent av sollyset, er de meget kostbare solcellene som brukes på robotbilen på Mars. De er laget av rådyre materialer som *galliumindiumfosfid* og *galliumarsenid*. Materialene har to store svakheter.

Det er sannsynligvis ikke nok indium i verden til å dekke den fremtidige etterspørselen av solceller. Noen kjemikere mener at alt indiumet på jorda er brukt opp allerede om ti år. Noen av stoffene i materialene er dessuten alt annet enn miljøvennlige.

Romindustrien bryr seg lite om at solcellene er dyre. Ytelsen og vekten teller langt mer. De dyre solcellene bruker bare halvparten så mye areal for å produsere den samme mengden strøm som vanlige silisiumsolceller på jorda.

Nå undersøker forskere ved Universitetet i Oslo om de klarer å lage like effektive solceller ved å erstatte det dyre og giftige materialet med et superbillig materiale.

Lurere med sink i solceller. Dagens vanligste solceller består av silisium. Med silisium er det teoretisk sett ikke mulig å fange opp mer enn en tredjedel av sollyset. I praksis er prosentandelen langt lavere. Noen klarer bare ti prosent. De beste fanger opp litt over en femdel av sollyset. Forskere ser derfor etter andre materialer til å lage solceller. Blant annet prøver de *sinkoksid*. Sinkoksid er billig og består av sink og oksygen. Både sink og oksygen er svært vanlige grunnstoffer på jorda. Problemet er at det er mye vanskeligere å jobbe med sinkoksid enn silisium.

– Den store utfordringen med sinkoksid, både vitenskapelig og teknologisk, er å lage krystaller som fanger opp lyset og samtidig forbedre de elektriske egenskapene. Hele poenget er å finne en ny metode som kan produsere solcellene i storskala i industrien – til markedspris og så billig at de vil bli ettertraktet, både av solkraftverk og hytteeiere, forteller professor i nanoteknologi *Eduard Monakhov* i gruppe for halvlederfysikk på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo og Forskningssenter for miljøvennlig energi (FME).

Tiendedel så tykke. De nye solcellene blir bare en tiendedel så tykke som dagens silisiumsolceller.

For å lage solcellene så tynne, nytter det ikke å skjære dem ut av silisiumblokker. Solcellene, som skal bestå av tre lag, må i stedet bygges opp lag for lag. Hvert lag er spesialtilpasset et bestemt fargespekter i sollyset; rødt, grønt og blått.

– Vi lager først en bakplate med en helt bestemt krystallstruktur. Så legges de andre lagene oppå, med nøyaktig den samme krystallstrukturen. Denne teknologien kalles for *epitaksi*. Men problemene står i kø. Krystallene må kunne fange opp lysfotonene. Og forskerne må få kontroll på de elektriske egenskapene. Det er lettere sagt enn gjort.

Atom-manipulering. For å endre på de elektriske egenskapene i materialet, må forskerne manipulere halvlederegenskapene. Da må de gjøre noe med båndgapet. Båndgapet sier noe om hvor mye energi som må til for å dytte elektroner ut i ledningsområdet. Størrelsen på båndgapet bestemmer hvilket fargespekter i lyset som fanges opp. Materialer med minst båndgap passer best for rødt lys. For å fange opp grønt og blått lys trengs større båndgap. Ved å bytte ut atomer inne i materialet, kan fysikerne designe materialer med et helt bestemt båndgap, som passer med bølgelengden til den enkelte fargen. Forskerne ønsker derfor å lage tre ulike versjoner av sinkoksid, med hvert sitt båndgap, tilpasset rødt, grønt og blått lys.

Forskerne kan styre størrelsen på båndgapet ved å tilsette visse grunnstoffer i sinkoksidet.

– For å minske båndgapet, kan vi tilsette kadmiumatomer. Ønsker vi et større båndgap, kan vi tilsette magnesiumatomer.

Problemet er at naturen ikke liker for mye tilsetninger til sinkoksid.

– Jo mer kadmium i sinkoksid, desto dårligere blir krystallstrukturen.

Doper solcellene. Og som om ikke dette er nok: For å kunne lede strøm, må halvlederen dopes med små mengder av andre atomer som sørger for at det blir et overskudd eller underskudd av elektroner.

For å få et overskudd av elektroner, må de tilførte atomene i krystallet ha ett elektron for mye. For å få et underskudd av elektroner, må de nye atomene ha ett elektron for lite. Denne elektronmangelen kalles for hull.

Det er ikke bare svært vanskelig å lage slike hull i sinkoksid. Dette er faktisk en av de aller største utfordringene halvlederfysikere, over hele verden, har i dag.

– Hullene kan lages i sinkoksid ved å erstatte sinkatomer med litium eller natrium. Problemet er hvordan vi kan bytte ut atomene uten å ødelegge krystallstrukturen. Det har vi ikke fått til. Laboratorier over hele verden kjemper om å løse dette. Første mann kan få Nobelprisen. Implikasjonene er store. Den dagen dette er løst, kan også de nye, energisparende lyspærene bli mye billigere, forteller Eduard Monakhov.

Naturgass kan omdannes til drivstoff uten CO_2-utslipp. Investorer har allerede brukt mer enn ti millioner kroner på å kommersialisere teknologien.

Forvandler naturgass til flytende drivstoff

Tekst: Yngve Vogt

Forskere ved Universitetet i Oslo og det UiO-baserte firmaet Protia har funnet opp en ny metode som gjør det mulig å omdanne naturgass til flytende drivstoff uten CO_2-utslipp. Det eneste biproduktet er rent hydrogen. Nå er forskerne i gang med å kommersialisere metoden.

Når råoljen pumpes opp fra havet, følger naturgass med. Det er ikke alltid lønnsomt å transportere gassen til land. Gassen blir ofte brent på stedet. Konsekvensen er betydelige CO_2-utslipp.

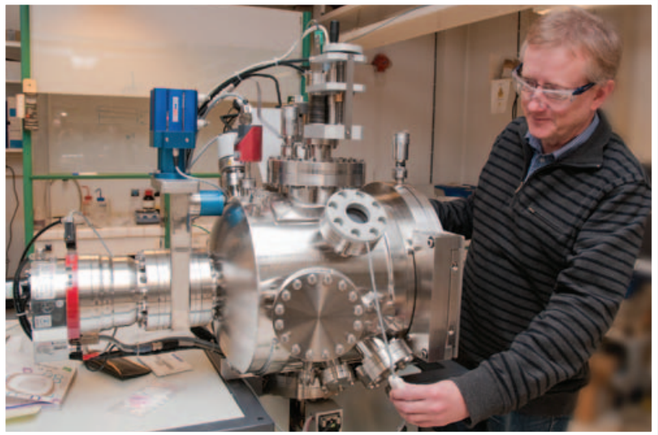


FOTO: YNGVE VOGT

– Avfallsproduktet er rent vann!

MILJØVENNLIG: Med den nye teknologien til professor Truls Norby kan naturgassen omdannes til flytende drivstoff i et lite anlegg på oljeplattformen. Han har klart å fremstille den første dråpen flytende drivstoff på laboratoriet. Nå skal Protia, der Norby er styremedlem, teste ut produksjonen i et lite industrianlegg på Gaustad.

FOTO: DREAMSTIME

– Med den nye metoden er det mulig å omdanne naturgass til flytende drivstoff i ett kjemisk steg uten CO_2-utslipp, forteller professor *Truls Norby* i toppforskningsmiljøet Funksjonelle Energi-Relaterte Materialer i Oslo (FERMiO) ved Senter for materialvitenskap og nanoteknologi (SMN).

Med dagens teknologi er det både dyrt og forurensende å omdanne naturgass til flytende drivstoff. Det sør-afrikanske selskapet Sasol produserer mesteparten av landets dieselbehov fra naturgass gjennom en tretrinns kjemisk metode som ble utviklet i Tyskland allerede på 1920-tallet.

– Teknologien vår kan fungere i langt mindre skala enn i Sør-Afrika. Den gamle metoden er dyr og lite effektiv. Biproduktene er dessuten enorme CO_2-utslipp. Sasol står faktisk for ett av de største punktutslippene av CO_2 i verden.

Spesialmembran. Naturgassen bearbeides ved å trekke ut noe av hydrogenet gjennom en membran. En membran er en tynn hinne som bare slipper igjennom bestemte molekyler.

Norby har forsket på keramiske membraner i 17 år og er i dag en av verdens ledende på feltet.

– Det har vært vanskelig å finne det rette materialet til membranen.

Membranen er noen tusendels millimeter tykk og er pakket rundt en katalysator. En katalysator øker hastigheten på bestemte kjemiske reaksjoner. Katalysatoren, som består av metallholdige partikler finfordelt i en struktur med veldefinerte hulrom og kanaler, er fremstilt av førsteamanuensis *Stian Svelle* ved Kjemisk institutt og inGAP, universitetets eneste senter for forskningsdrevet innovasjon.

Suger ut hydrogenet. Naturgassen kjøres gjennom katalysatoren innenfor membranen. Den kjemiske reaksjonen sørger for at hydrogenmolekyler skilles fra naturgassen. Hydrogenmolekylene splittes opp i protoner og elektroner som passerer membranen hver for seg. Etter å ha passert membranen, samles protonene og elektronene igjen og blir til hydrogenmolekyler.

Når naturgassen tappes for hydrogen, omdannes naturgassen til lengre karbonkjeder med mindre hydrogeninnhold. Det er smart. Lengre karbonkjeder er tyngre og blir flytende ved romtemperatur. Karbonkjedene kan brukes som ulike komponenter i diesel.

Ved å pumpe vekk hydrogenmolekylene fra den andre siden av membranveggen, vil den kjemiske likevekten sørge for at prosessen holdes i gang.

Hvis man ikke ønsker å ta vare på hydrogenet, kan man trekke ut hydrogenet gjennom membranen ved å bruke helt vanlig oksygen i luft. Da dannes det meget rene avfallsproduktet vann.

For at katalysatoren og membranen skal fungere optimalt, må temperaturen være mellom 600 og 800 grader.

Testproduksjon. Protia, der Norby er styremedlem, har klart å fremstille den første dråpen drivstoff.

De tre ansatte i Protia, hvorav to er tidligere stipendiater hos Norby, tester nå ut drivstoffproduksjonen i laboratorieskala.

– Målet er å demonstrere konseptet ved å produsere én liter om dagen, forteller Norby.

Springfondet, som delvis er finansiert av Kistefos, investerte for noen år siden over ti millioner kroner i Protia. Protia har nå amerikanske eiere.

Selv om teknologien er vitenskapelig bevist, må industriskapere ta ett skritt om gangen.

Før det er mulig å få investorer med på et drivverdig industrianlegg til mellom en og ti milliarder kroner, må Protia demonstrere teknologien i et mellomstort demonstrasjonsanlegg. De håper at anlegget, som skal produsere nesten 1600 liter i døgnet, kan stå klart i slutten av 2012.

– For å klare det trenger vi internasjonale aktører og investeringer i hundremillionerkronersklassen, forteller Norby.

Det mellomstore anlegget må plasseres ved en eksisterende gasslinje.

– Aktuelle norske steder kunne ha vært Risvika eller Herøya, men vi har ennå ikke besluttet om anlegget skal plasseres i Norge, forteller daglig leder i Protia, *Per Kristian Vestre*.

Prisbelønnet. Teknologien kan brukes til mer enn å produsere flytende drivstoff. Den er også egnet til å omdanne naturgass til kjemikalier på en mer miljøvennlig måte. Kjemikaliene kan brukes i blant annet plast, isolasjonsmaterialer, emballasje og bildeler.

I 2010 fikk Protia DnB NORs nasjonale innovasjonspris på en million kroner for den mest nyskapende forretningsideen i Norge.

Selv om Norby på vegne av UiO var med på å danne Protia i 2008 sammen med NTNU og SINTEF, har Norby selv ingen aksjer i Protia.

– Jeg er ikke så interessert i økonomi eller å tjene mer penger, men jeg vil at forskningen skal tas i bruk. Det er viktig for meg, avslutter Norby.

Mellomstore bølger kan ødelegge vindturbinene på havet. De kan knekke som fyrstikker. Matematikere prøver nå å forklare hvorfor.

Vindmøller på havet kan knekke som fyrstikker

FOTO: COLOURBOX

Tekst: Yngve Vogt

Mellomstore bølger kan knekke vindturbinene på havet som fyrstikker. Slike bølger oppstår allerede i vanlig storm, og det er som kjent mange slike stormer i Norskehavet. Problemet er: Vi vet fortsatt ikke nok om *når* vindturbinene kan knekke, forteller professor *John Grue* på Matematisk institutt ved Universitetet i Oslo. Han er en av verdens fremste bølgeforskere og oppdaget allerede i 1989, som den første i verden, et uforklarlig fenomen i bølger, som kalles for *ringing*. Ringing er betegnelsen på en spesiell type vibrasjon som oppstår når krappe bølger treffer installasjoner til havs. Oppdagelsen ble gjort i det 25 meter lange bølgelaboratoriet i underetasjen i Matematikkbygningen på Blindern.

Forskere har frem til i dag studert ringing i små og store bølger, men det viser seg at ringing først og fremst oppstår i mellomstore bølger.

For vindturbiner til havs, med en sylinderdiameter på åtte meter, er de verste bølgene over 13 meter høye, og når avstanden mellom hver bølge er 11 sekunder.

Økonomisk ruin. Problemet med ringing kan bli langt større i årene som kommer. Det skal bygges titusenvis av vindturbiner på havet.

– Tar man ikke hensyn til ringing, kan vindturbinparker bli en økonomisk ruin, advarer John Grue.

Dagens største vindmølleparker til havs ligger utenfor kysten av Danmark og Storbritannia. De blir likevel som små miniatyrer i forhold til Statkrafts og Statoils enorme planer på Doggerbanken utenfor Skottland. Denne vindmølleparken skal produsere like mye strøm som 60 til 90 Altakraftverk. Utenfor Møre og Romsdal kommer en vindmøllepark med en kapasitet på to Altakraftverk.

– Det har hittil vært umulig å beregne kraften fra ringing. Laboratoriemålinger viser at den store skjelvingen i vindturbinene skjer rett etter at bølgen har passert og ikke når bølgen treffer turbinen. Rett etter at bølgetoppen har passert, kommer et nytt rykk. Hvis rykket treffer egenfrekvensen til vindturbinen, blir vibrasjonen sterk. Det betyr at vindturbinen først blir utsatt for en kraft, for så å ristes etterpå av nok en kraft. Når bestemte bølgetyper gjentar seg, blir slitasjen ekstra stor. Det øker faren for utmatting.

Det er nettopp denne sekundære kraften som lager ringing og som matematikerne frem til i dag ikke har klart å beregne.

Uheldige vibrasjoner. Alle konstruksjoner har egensvingninger, uansett om det er vindturbiner, broer, oljeboringsplattformer eller skip.

Når vibrasjonen er i takt med egenfrekvensen, kan det gå hardt for seg. Fenomenet kalles *resonans* og kan sammenlignes med taktfast soldatmarsj på en bro. Hvis soldatene marsjerer i takt med egenfrekvensen til broen, kan den kollapse.

Urealistiske beregninger. NTNU og Massachusetts Institute of Technology (MIT) har allerede gjort en del beregninger på ringing. Det samme har Ecole Centrale Marseille og det franske Bureau Veritas. Det Norske Veritas er blant dem som bruker varianter av disse modellene.

– Dagens modeller er de beste man har, men anslagene er for grove og feilaktige. Teoriene brukes langt utenfor gyldighetsområdet. Da kan man ikke beregne utmattingen godt nok.

Ringing har ikke noe å gjøre med turbulens. Ringing inntreffer systematisk og handler om et høyhastighetsundertrykk på baksiden av sylinderen.

Matematisk besværlig. Det er gjort lite internasjonalt på dette fenomenet. John Grue har nå to stipendiater som regner på disse bevegelsene. Han samarbeider også med det danske forskningsmiljøet i vindkraft ved Risø National Laboratory og Danmarks Tekniske Universitet.

– Ringing er svært vanskelig å beregne. Usikkerheten er stor. Vi vil ha mer presise beskrivelser av fysikken i ringing. Vi prøver nå med avanserte nivåflatemodeller og tunge beregninger å gjenskape disse målingene nøyaktig. Vi vil vise at ringingkraften opptrer systematisk etter en generell, matematisk formel.

Saga Petroleum gjennomførte i sin tid et omfattende sett med målinger av ringingkraften i bølger.

– De passer meget godt med målingene våre, forteller Grue.

Forskjell på grunt og dypt vann. Forskerne må også ta hensyn til om installasjonen står i grunt eller dypt vann.

– Egenfrekvensen er dessuten avhengig av bunnforholdene.

Du kan sammenligne dette med en flaggstang i storm. Flaggstenger vibrerer forskjellig avhengig av om pålen står i betong eller i mykere bunn.

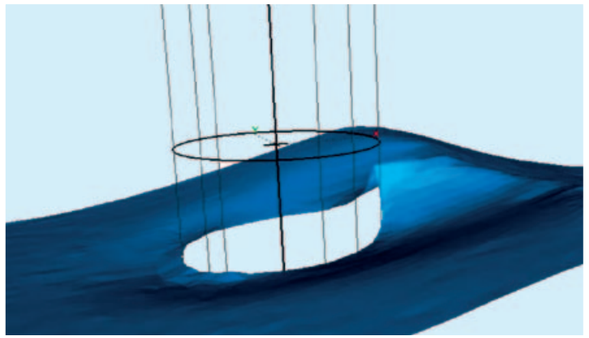
– Ingen har forsket på sammenhengen mellom vibrasjon og bunnforhold.

Oljeplattform skadet. Ringing er ikke bare uheldig for vindturbiner. Ringing har allerede vært et stort problem for oljenæringen. Konstruktørene av YME-plattformen tok ikke hensyn til ringing. Tapet er 12 milliarder kroner.

– Det er mulig å bygge seg ut av ringingproblemet ved å forsterke oljeplattformer. Derimot er det ikke økonomisk lønnsomt å gjøre det samme med vindturbiner, påpeker John Grue.

Bedrer modellene. Sjefsspesialist *Arne Nestegård* i hydrodynamikk i Det Norske Veritas bekrefter til Apollon at vindturbiner på moderate vanndyp kan utsettes for høyfrekvente resonanssvingninger hvis bølgene er ekstreme, men at man sikrer seg mot dette. Nestegård forteller at Veritas de siste tjue årene har utviklet ringingmodeller, og at de nå arbeider med å forbedre modellene for vindturbiner til havs.

FOTO: YNGVE VOGT



UHELDIG BØLGEKRAFT: Når bølger over tretten meter slår mot vindturbiner, dukker det opp en uheldig kraft på baksiden av turbinen. Denne kraften kalles ringing. John Grue leter nå etter en generell, matematisk formel som kan forklare det spesielle fenomenet.

FOTO: COLOURBOX

Vil blande **uran fra russiske atomvåpen** med **norsk stein**

USA bruker uran fra russiske atomvåpen som brensel i sivil kjernekraft. Hvis våpenuranet blandes med det norske grunnstoffet thorium, blir avfallet 95 prosent mindre radioaktivt.

Tekst: Yngve Vogt

Takket være nedrustningsavtalen mellom Russland og USA i 1994, er 500 tonn høyanriket våpenuran fra 20 000 atomvåpen brukt som brenselstoff i amerikanske kjernekraftverk. Dette tilsvarer ti prosent av det samlete strømforbruket i USA de siste tjue årene.

Amerikanerne blander våpenuranet med vanlig uran. Uheldigvis fører metoden til store mengder langlivet, radioaktivt avfall som menneskeheten må leve med de neste 30 000 årene.

Nå har en forsker ved Universitetet i Oslo kommet frem til en ny løsning som kan redusere det radioaktive avfallet med 95 prosent. Løsningen kan brukes i lettvannsreaktorer, som er den vanligste reaktortypen i vestlige kjernekraftverk i dag.

Trikset er å blande våpenuranet med grunnstoffet *thorium*. Norge har med sine 180 000 tonn en av verdens største forekomster av thorium. Brorparten av de norske thoriumforekomstene fins i Fensfeltet utenfor Ulefoss i Telemark.

– Det er fortsatt 20 000 atomvåpen igjen i verden. Hvis man blander uranet fra disse ladningene med thorium, kan man utnytte mye mer av energien og få langt færre farlige avfallsstoffer. Avfallet blir dessuten mindre radioaktivt i fremtiden, forklarer stipendiat *Sunniva Rose* på Senter for akselerator-basert forskning og energifysikk (SAFE) ved Universitetet i Oslo.

Hun er landets eneste forsker som har fått stipend for å studere reaktorfysikk sammen med de store gutta ved *Institut de Physique Nucléaire* utenfor Paris, og hun er en av landets få forskere som har tilgang til den superhemmelige koden som gjør det mulig å datasimulere kjernefysiske reaksjoner i en atomreaktor. USA er meget strikse med slike koder. De frykter at land som Iran skal få tak i koden.

Bedre enn USA. Da russerne i sin tid lagde atombombene, brukte de svært mye energi og penger på å lage høyanriket uran. I løsningen til Sunniva Rose blir ikke denne energien kastet bort.

– Amerikanerne kaster bort alt dette arbeidet ved å blande det høyanrikete uranet med naturlig uran for å fremstille lavanriket uran.

For å skjønne dette, er det viktig å forstå forskjellen på lavanriket og høyanriket uran.

Akkurat som alle andre grunnstoffer fins uran i mange ulike isotoper.

Uran-235 og uran-238 er bare to av de mange mulige isotopene til uran. Uran har 92 protoner. Numrene 235 og 238 står for summen av protoner og nøytroner. Jo flere nøytroner, desto tyngre er atomkjernen.

I naturlig uran fins det mindre enn én prosent uran-235. Resten er uran-238. Når man øker andelen uran-235 i forhold til uran-238, kalles det *anriket uran*. Vanlig uranbrensel i amerikanske atomkraftverk har fem prosent uran-235. Atomvåpenbrensel har minst 90 prosent uran-235.

Kjernekraftenergi blir skapt ved å spalte atomer. Det skjer ved å bombardere brennstoffet med nøytroner. Det er langt lettere å spalte uran-235 enn uran-238. Når uran-235 spaltes, frigjøres store mengder energi. Da får man frie nøytroner som starter en kjernefysisk kjedereaksjon.

I den løsningen som amerikanerne har valgt, blir våpenuranet, uran-235, blandet med naturlig uran, altså nesten rent uran-238. Uran-238 er opphavet til svært farlig, radioaktivt avfall.

I forslaget til Sunniva Rose kan en andel på fem prosent høyanriket uran blandes med 95 prosent thorium. Det vil si at andelen med vanlig uran er byttet ut med vanlig thorium. En del av thoriumet vil etter hvert omdannes til uranisotopen uran-233.

– Med denne løsningen kan man utnytte mer enn dobbelt så mye av energien i brenselet som amerikanerne klarer i dag.

Løsningen er å gjenvinne uranet gjentatte ganger fra det kjernefysiske avfallet.

– For hver gjenvinning blir uranet litt dårligere, men det er likevel mulig å få ut mer energi ved å gjenvinne restavfallet sju til åtte ganger.

Når avfallet er mindre radioaktivt, avgir det mindre varme. Da kan man stable avfallet mye tettere sammen.

– Etter tusen års lagring vil avfallet bare være en tjuendedel så radioaktivt og dermed bare tjuendedelen så varmt som den amerikanske løsningen, påpeker Sunniva Rose.

Må gjenvinnes. Løsningen til Rose har et lite aber. Uten gjenvinning er det ikke noe poeng å bruke thorium-metoden. Da er den amerikanske løsningen bedre.

– Gjenvinningen er ikke triviell. Når man bruker brensel med thorium, blir det dannet små mengder av det meget radioaktive stoffet uran-232.

Uran-232 vil etter hvert omdannes til talium-208 og bly-208. Denne prosessen er så radioaktiv at brenselet blir vanskelig å håndtere.

– Dosen er dødelig etter kort tid. Når man gjenvinner uran fra thoriumbrensel, må hele anlegget fjernstyres. Det er ennå ikke løst. Den dagen råprisen på uran øker, kan det være økonomisk lønnsomt å se på dette.

Sunniva Rose påpeker likevel at metoden hennes kan brukes før gjenvinningsanlegget er på plass. – Løsningen er et mellomlager. Restavfallet fra thoriumløsningen er en ressurs og er like verdifullt selv om man må vente med å gjenvinne det i mange tiår.

Plutonium i Halden. Verden er ikke bare interessert i å bli kvitt farlig våpenuran. Verden er også interessert i å kvitte seg med radioaktivt avfall fra dagens atomkraftanlegg. I atomreaktoren i Halden tester kjernefysikere nå ut hvordan man kan produsere energi ved å blande det superfarlige avfallet plutonium med thorium. Forsøket er godkjent av Forskningsrådet og Statens strålevern.

Forsøket er i regi av norske Thor Energy og skal gå over fem år.

Dette er det første eksperimentet i Europa på hvordan thorium oppfører seg som brensel i en atomreaktor.

FOTOS: DREAMSTIME

NORSK STEIN: Det norske grunnstoffet thorium kan bli en viktig ressurs for å utnytte atomvåpenuran i kjernekraftverk.

Det radioaktive avfallet reduseres med 95 prosent!

FOTO: YNGVE VOGT

FREDELIG: – Det er fortsatt 20 000 atomvåpen igjen i verden. Hvis man blander uranet fra disse ladningene med thorium, kan man utnytte mer av energien og få langt færre avfallsstoffer enn det amerikanerne klarer i dag, poengterer stipendiat Sunniva Rose.

Strømprisen blir mer jojo med vindkraft

Vindkraften gir mer usikre strømpriser i det tyske og det norske markedet. Prisene blir enda mer ustabile med ny strømkabel mellom Norge og Tyskland.

Tekst og foto: Yngve Vogt

Allerede i dag må kraftaktørene ty til meget avanserte analyseverktøy for å kunne tjene penger på kjøp og salg av strøm. Nye, matematiske modeller ved Universitetet i Oslo viser at strømmarkedet blir enda mer uoversiktlig med vindkraft.

Det er ikke alltid behov for strøm når det blåser. Takket være vannkraften har Norge den enestående muligheten at strømmen kan lagres til senere bruk, ved å bruke vindkraften til å pumpe vann fra lavlandet og opp i vannmagasinene i fjellet.

Denne muligheten har ikke Tyskland. I Tyskland er det politisk bestemt at vindkraften skal ha prioritert tilgang til elektrisitetsnettet. Problemet er at den strømmen som dyttes inn i nettet, må brukes momentant. Mye vind fører derfor til at de andre leverandørene av strøm må skru ned kraftproduksjonen eller betale noen for å bli kvitt strømmen.

STORMFULLT ENERGIMARKED: Professor Fred Espen Benth har utviklet banebrytende, ny matematikk for å kunne beregne sammenhengen mellom strømprisen og så forskjellige variabler som vind, regn, kullpriser og prisen for CO_2-utslipp.

– Dette er i økonomisk forstand bortkastet energi. Det koster mye å justere energiproduksjonen fra kull-, gass- eller atomkraftverk. Hvis vinden er økende, kan det være lurt å betale noen for å bli kvitt strømmen fremfor å skru ned produksjonen. Norge unngår dette, fordi man kan bruke vindkraften til å pumpe vann opp i vannmagasinene. Da blir det mindre forskjell mellom høye og lavere priser. Det betyr at markedsmekanismen for vindkraft er forskjellig i Norge og i Tyskland, forteller professor *Fred Espen Benth*, nestleder på Senter for anvendt matematikk (CMA) ved Universitetet i Oslo.

Med støtte fra Forskningsrådets program «*Renergi*» studerer forskergruppen hans matematisk hvordan temperatur, vind og regn i de to landene påvirker strømmarkedene i Tyskland og Norge.

Norge: Tysklands batteri. For å utnytte vindkraften best mulig, ønsker Tyskland å bruke Norge som batteri.

– Selv om vindkraft ikke er regulerbar energi, blir den indirekte til regulerbar energi ved å omdanne vind til regn gjennom pumping opp i vannmagasinene. Hvis prisen på strøm er lav når det blåser mye, er det bedre å bruke den tyske vindkraften til å pumpe vann opp i norske vannmagasiner. Det fins allerede en elektrisitetskabel mellom Tyskland og Norge. Spørsmålet vårt er: Hva er effekten av å koble det tyske markedet med det norske, altså et tysk marked *uten* vannreservoarer med et norsk marked *med* vannreservoarer? Og hva skjer med strømprisene når man legger flere kabler mellom de to landene? spør Fred Espen Benth.

Forsikrer seg mot tap. Hele markedet er auksjonsstyrt. Strømprodusentene kan kjøpe forsikringsprodukter, kalt derivater, for å sikre seg mot varm vinter eller våt høst. Da går prisene ned.

– For strømleverandører som kull- og kjernekraftverk tar det tid å skalere opp og ned produksjonen. De ønsker en stabil produksjon. De har ingen sikkerhet for at man får solgt all strømmen. De kan derfor bruke forsikringspengene til å betale noen for å bruke strømmen, eller bruke pengene til å justere produksjonen.

Med i modellen har Benth også prisen på gass og kull.

Fundamental, ny matematikk. Matematisk er det komplekst å beskrive strømmarkedene i de forskjellige landene, og sammenhengen mellom de ulike markedene. For å klare det måtte de utvikle helt ny matematikk.

– Modellering av strømmarkedet skaper fundamentale, matematiske problemstillinger. Vi har allerede definert en rekke nye teoremer i matematikken. Denne matematikken kan gjenbrukes i livsvitenskapen, forteller Fred Espen Benth. Modellen gjør det også mulig å beregne hvordan vindmøllene bør plasseres i en vindmøllepark for å utnytte vinden best mulig.

Måler usikkerhet. Modellering av nedbør, temperatur og vind krever innsikt i stokastikk. Stokastikk er den eksakte læren om tilfeldigheter.

Med på laget har Benth professor *Ole Barndorff-Nielsen* ved Universitetet i Århus. Spesialet hans er stokastiske prosesser i tid og rom. Matematikken hans blir også brukt i turbulensberegninger og til å beskrive overflaten av kreftceller.

Norden, Tyskland og Storbritannia er bare noen av kraftmarkedene i Europa. Det fins også en rekke kraftmarkeder i Øst-Europa. Postdoktor *Paul Krühner* ser på hvordan modellen kan utvikles til å forutsi strømprisen i flerdimensjonale markeder.

Avhengig av CO_2-utslipp. Jo mer strøm fra vindkraft, desto mindre behov for gass og kull. Det påvirker prisen på kjøp og salg av rettigheter til å slippe ut CO_2. Dette kalles emisjonsmarkedet. Professor *Rüdiger Kiesel* fra Universitetet i Essen har utviklet nye, matematiske teorier for å beskrive dette markedet.

– Når prisen på utslipp går ned, blir det billigere å produsere strøm fra gass og kull. Emisjonsmarkedet henger derfor sammen med både vind og temperaturer.

Modellene må også ta hensyn til hva det koster å frakte gass og kull.

Optimerer inntjeningen. Hele ideen til Fred Espen Benth er hvordan en enkelt enhet kan styre risikoen i strømmarkedet.

– *Hva skjer om alle aktørene i energimarkedet skulle bruke den samme modellen?*

– Da vil modellen være ødeleggende for dem alle. Men vi lager bare et matematisk rammeverk for hvordan man kan modellere et strømmarked som endrer seg over tid. Aktørene må selv spesialisere modellene og legge inn sine subjektive antakelser, forteller Fred Espen Benth.

Muliggjørende teknologier

Fremtiden blir smart kobling av det nyeste nye innen IKT, bioteknologi og nanoteknologi.

– Vi lever annerledes enn på 1960-tallet. Teknologien vil stadig endre hverdagen vår, og da snakker vi om alt fra helsevesenet til duppeditter. Fremtiden blir å koble sammen det nyeste av det nyeste i IKT, bioteknologi og nanoteknologi, fremhever forskningsdekan *Svein Stølen* på Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet.

Sensorene i kroppen vil kunne kobles til fremtidens internett. Mulighetene er enorme. Nå kommer sensorer som overvåker miljøet, måler blodsukkeret under huden og sjekker om eldre klarer å holde seg oppreist.

Et viktig eksempel på en banebrytende teknologi er **partikkelterapi mot kreft**. Etter årelang kamp skal Oslo universitetssykehus få et behandlingssenter. Dette senteret skal ha et tett forskningssamarbeid med partikkelfysikerne på Fysisk institutt.

En av Norges mest betydningsfulle innovasjoner er utviklingen av det objektorienterte programmeringsspråket **Simula.** Objektorientering er blitt den viktigste teknikken for å utvikle ny programvare.

I løpet av de siste årene har forskere ved Institutt for informatikk utviklet **nye metoder og verktøy for utvikling av robust programvare,** som skal fungere over internett og på ulike plattformer.

Fakultetet har også en rekke forskningsmiljøer som **utvikler teorier, metoder og verktøy for store beregninger** på noen av verdens kraftigste datamaskiner.

Beregninger blir stadig viktigere innen flere fagfelt. UiO har, som det første universitetet i verden, innført undervisning der **nybegynnerstudentene i realfag lærer avanserte beregninger på datamaskinen** for å eksperimentere med virkeligheten. Simuleringer er allerede blitt en viktig del av undervisningen i de tunge realfagene. Nå skal simuleringene inn i livsvitenskapen.

– Vi kan nå lage realistiske oppgaver, eksperimentere med virkeligheten og vise hva som skjer i forskningsfronten, forteller professor *Knut Mørken*.

Utdanningen kalles «**Computer in Science Education**» og har fått både nasjonale priser og stor internasjonal oppmerksomhet.

OSLO ER FØRST: Universitetssykehusene i Oslo og Paris er de aller første sykehusene i verden som skal teste ut den nye metoden som gjør det mulig å oppdage kreft ved å måle elastisiteten til svulster.

Ny metode for KREFTsjekk rett rundt hjørnet

FOTO: COLOURBOX

Tekst: Yngve Vogt

Nå skal det bli mulig å oppdage kreft ved å måle elastisiteten til svulster.

Metoden er både billig, ufarlig og strålingsfri.

Nå skal Norge, som et av de første landene i verden, teste en helt ny måte å oppdage kreft på. Det skjer ved å måle elastisiteten til svulster. Metoden kalles *elastografi*. Og du kan likeså godt lære deg det nye ordet med én gang. Om noen år kan elastografi bli like vanlig som røntgen.

– Med elastografi får kreftlegene enda en mulighet til å lete etter svulster. Elastografi kan bli spe-

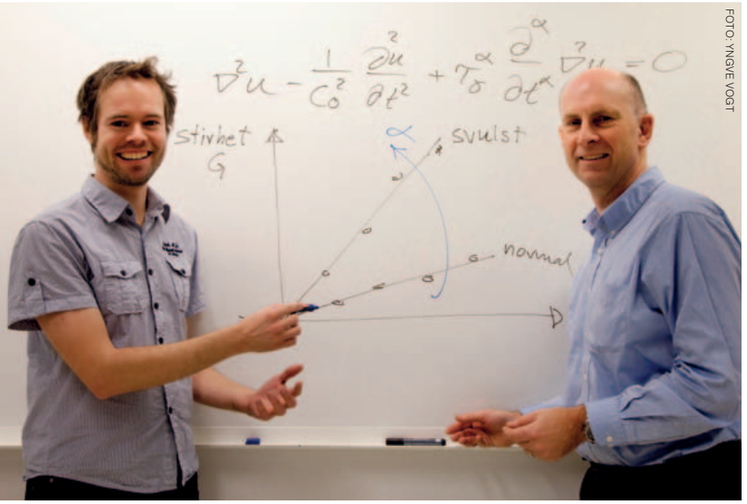


FOTO: YNGVE VOGT

MÅLER STIVHETEN: Ettersom svulster ikke har den samme elastisiteten som friskt vev, kan man oppdage svulster ved å måle elastisiteten i bløtvev. Metoden kalles for elastografi.
– Bølgehastigheten i ultralydmålingene øker jo farligere svulsten er, forklarer professor Sverre Holm (t.h.) og postdoktor Peter Näsholm på Institutt for informatikk ved UiO.

sielt egnet til å slå fast hvor alvorlig sykdommen er, forteller radiolog og overlege *Per Kristian Hol* ved Intervensjonssenteret på Oslo universitetssykehus, Rikshospitalet.

For å oppdage kreft, hvordan kreften utvikler seg og hvor farlig kreften er, må sykehusene ofte bruke store og dyre undersøkelser som røntgen, MR, CT eller PET.

– Noen av metodene avgir mye stråling. Andre er veldig dyre i drift.

Hvert år får nesten hundre nordmenn kreft av røntgen. Det slo radiolog *Lars Borgen* fast i avhandlingen sin på klinisk medisin i fjor. Strålingen etter en runde i en CT-maskin er, ifølge forsker i partikkelfysikk *Erlend Bolle*, ti ganger høyere enn den gjennomsnittlige bakgrunnsstrålingen over et år. I PET-skanning blir pasienten injisert med et radioaktivt sporstoff. – Vi ønsker best mulig diagnostikk med minst mulig stråledose. Elastrografi er helt ufarlig, sier Hol.

Lovende metode. Elastografi kan gjøres i kombinasjon med enten MR eller ultralyd. MR-maskiner er dyre.

– Ultralyd er billig, men resultatet er meget avhengig av hvor god ultralydundersøkelsen er. I fremtiden kan vi se for oss at elastografi blir utført på et vanlig legekontor, sier Hol.

Universitetssykehuset planlegger nå å teste ut metoden på pasienter.

– Vi vet fortsatt lite om elastografi, men metoden ser lovende ut. Hvis elastrografi er den teknikken vi håper på, kan dette bli en viktig undersøkelse i fremtiden. Da kan man bruke elastografi til å karakterisere ulike typer svulster, slik som kreft i lever, forteller *Anne Cathrine T. Martinsen*, som både er seksjonsleder i diagnostisk fysikk på Intervensjonssenteret og førsteamanuensis på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo.

Vibrator. Svulster har ikke den samme elastisiteten som friskt vev. Elastisiteten har sammenheng med tettheten av blodårer. Svulster består av flere blodårer enn friskt vev. Og ondartete svulster har vanligvis enda flere blodårer og større blodgjennomstrømning enn godartete svulster.

– Ulike svulster i forskjellige stadier av kreftutviklingen har ulik elastisitet. Svulster kan være mindre eller mer elastiske enn friskt vev. Noen svulster kan være spredningsfarlige, mens andre ikke er det. Vi kan med andre ord få et helt nytt kart over organer og svulster ved å måle elastisiteten.

Undersøkelsen er enkel. Legen legger en vibrator på det stedet som skal undersøkes. Vibratoren har en puls på opptil 200 svingninger i sekundet. Trykkbølgen fra vibratoren går gjennom organet. Da kan man studere elastisiteten i de friske og syke delene.

Forskere på universitetssykehuset Hôpital Beaujon i Paris er allerede i gang med å teste elastografi på pasienter med leverfibrose, en sykdom der leveren er blitt stiv på grunn av hepatitt eller alkoholskader.

Intervensjonssenteret planlegger nå å teste metoden på norske pasienter med leverfibrose. Metoden kan erstatte biopsi. Det vil si at pasientene kan slippe å bli stukket med nål i leveren.

Trikset: Skill bølgene! Professor *Sverre Holm* på Institutt for informatikk ved Universitetet i Oslo har de siste fire årene samarbeidet tett med de franske forskerne. Holm har forsket på ultralyd i 20 år og er også professor II på Institutt for sirkulasjon og bildediagnostikk ved NTNU.

– Elastografi-ultralyd er helt annerledes enn dagens bruk av ultralyd. Tradisjonell ultralyd sender ut et signal som kommer tilbake som et ekko. Problemet er at det ikke er mulig å skille godartete og ondartete svulster med vanlig ultralyd, sier Holm.

Og det er her Apollon kommer til poenget: Ultralyd skaper to typer bølger. Den vanligste typen er trykkbølger. Trykkbølger går ned i vevet. De andre bølgene skapes av strålingstrykket fra trykkbølger og går på tvers. Disse bølgene kalles *skjærbølger*.

Mens trykkbølger for det meste blir påvirket av væske, fanger skjærbølgene opp egenskapene til de resterende 30 prosentene i kroppen som ikke er vann.

Det har frem til i dag ikke vært mulig å måle skjærbølger.

– Vi studerer hvordan skjærbølgene oppfører seg i vevet, og ser på viskositet (studier av hvor flytende væsken er), demping og hastighet, sier Holm.

Skjærbølger oppstår når trykkbølger sendes ned til bestemte punkter. Derifra skapes de helt spesielle energibølgene på tvers. Kluet er å bruke vanlige ultralydbølger til å måle disse energipulsene på tvers.

– Vi må rekonstruere det som skjer. Vi må kaste all informasjon fra trykkbølgene og bare beholde informasjonen fra skjærbølgene, sier Holm.

Trykkbølgen går 1500 meter i sekundet. Skjærbølgen holder en hastighet på en til ti meter i sekundet.

– En vanlig ultralydskanner tar hundre bilder i sekundet. Hastigheten må økes til tusen bilder i sekundet for å fange opp skjærbølger. For å klare dette tempoet, må vi ofre noe av bildekvaliteten, forteller postdoktor *Peter Näsholm* på Institutt for informatikk.

Hvis frekvensen endres, vil hastigheten på bølgene endre seg. Det viser seg at bølgehastigheten øker jo farligere svulsten er. Det kreves store regneressurser for å tolke disse bølgene. Matematikken er alt annet enn enkel.

Håper å erstatte mammografi. Franske forskere mener at elastografi kan erstatte mammografi i fremtiden. Mammografi bruker røntgen for å sjekke brystet. Enhver stråledose er uheldig.

– Elastografi kan bli en viktig tilleggsundersøkelse for å diagnostisere brystkreft. Det vil bli gjort store kliniske tester i nær fremtid for å se om man kan erstatte mammografi med elastografi, forteller professor *Mickael Tanter* ved ESPCI, den tekniske høyskolen for industriell fysikk og kjemi som står bak teknologien til det franske ultralydselskapet Supersonic Imagine.

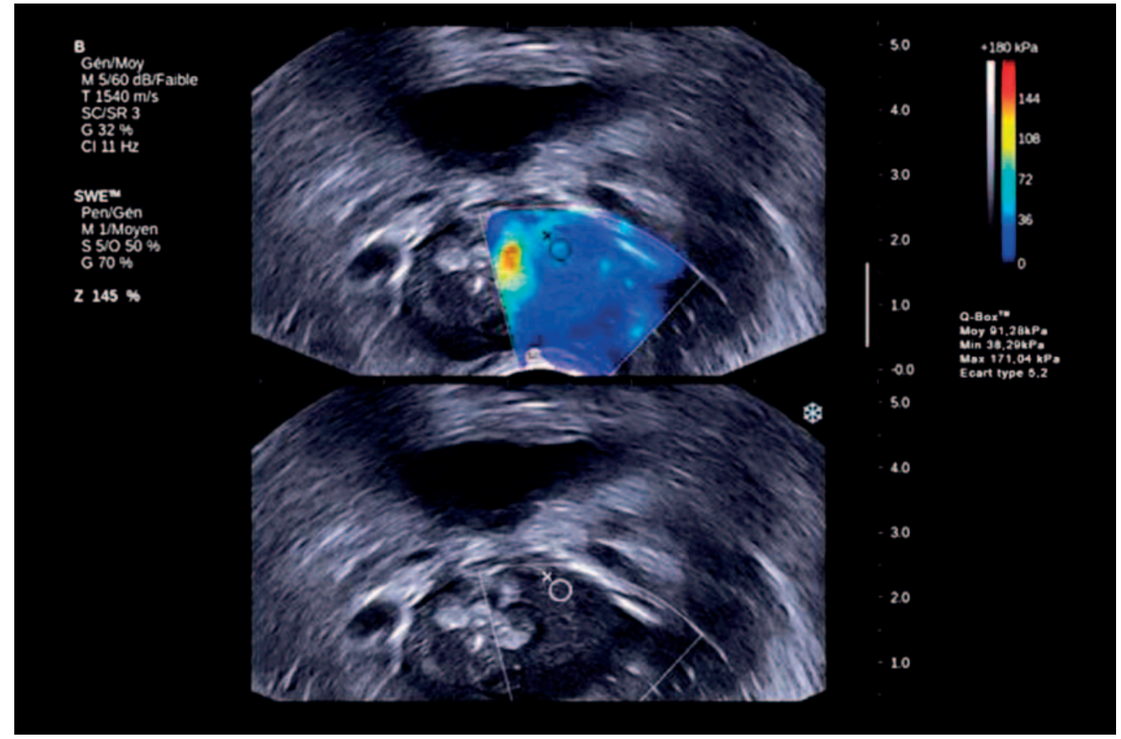
Intervensjonssenteret er litt mer avventende enn den franske professoren.

– Hvis elastografi skal overta screeningen av brystkreft, må den kunne se mindre svulster og se svulstene bedre enn i dag. I mammografi er det vanskelig å oppdage små svulster. Det er håp om at elastografi også kan brukes til å se små svulster. Men det er nok fortsatt langt frem, påpeker radiolog Per Kristian Hol.

FAKTA

Elastografi

- Svulster har ikke den samme elastisiteten som friskt vev. Elastografi er en helt ny metode som måler elastisiteten i vevet.
- Elastografi er helt ufarlig og kan i fremtiden bli utført på et vanlig legekontor.
- Oslo universitetssykehus og universitetssykehuset Hôpital Beaujon i Paris er de første sykehusene i verden som tester ut den nye metoden.



FARGELEGGER SVULSTER: Ultralyd skaper to typer bølger; trykkbølger og skjærbølger. Trykkbølger går ned i vevet. Skjærbølgene går på tvers og skapes av strålingstrykket fra trykkbølger. Dagens ultralydundersøkelser måler trykkbølgene. Den nye ultralydundersøkelsen måler skjærbølgene. Det har frem til i dag ikke vært mulig å måle disse skjærbølgene. Skjærbølgene kan brukes til å måle elastisiteten i bløtvev. Elastisiteten er forskjellig i friskt vev og svulster. Svaret vises med farger.

– Elastografi er helt ufarlig.

Ny kreftskanner halverer strålingen

FOTO: SCIENCE PHOTO

Partikkelfysikere har utviklet ny medisinsk teknologi som kombinerer PET og MR i en jafs. Gevinst: Bedre bildekvalitet og mindre stråling.

Tekst: Yngve Vogt

Dagens undersøkelser av kreft avgir svært mye stråling. Partikkelfysikere ved UiO, med bakgrunn fra Big Bang-forskningen i CERN, har laget helt ny teknologi som kombinerer de medisinske bildeteknologiene PET og MR. Denne kombinasjonen avgir langt mindre stråling enn dagens teknologi.

PET står for *positronemisjonstomografi* og gir et romlig bilde av hvor kreftcellene er i kroppen. PET-undersøkelser er vanskeligere å tolke om man ikke kan sammenligne plasseringen av kreftceller i forhold til skjelett og bløtvev. Dette kan gjøres ved å sammenligne PET-bildet med et anatomisk bilde, slik som CT (computertomografi) eller MR (magnetresonanstomografi).

CT gir et tredimensjonalt røntgenbilde av kroppen. MR avfotograferer kroppen med radiobølger og et kraftig magnetfelt. MR gir langt bedre bilder av bløtvev enn CT. Minuset med MR er at undersøkelsen er dyrere og tar mye lengre tid. Fordelen er at MR ikke avgir ioniserende stråling.

Kombinasjonen PET og CT er den vanligste på sykehus i dag, men har en betydelig svakhet.

– Strålingen etter en slik undersøkelse er ti ganger høyere enn den gjennomsnittlige bakgrunnsstrålingen over et år. Mange kreftpasienter må igjennom undersøkelsen flere ganger for å teste om behandlingen virker. Da kan den samlete strålingen under behandlingen bli veldig høy, forteller forsker i partikkelfysikk, *Erlend Bolle* på Fysisk institutt ved UiO.

Dyreskanner for forskning. I dag finnes det to typer PET-teknologier, spesialtilpasset hver sin bruk. Den ene er tilpasset kliniske undersøkelser av pasienter. Den andre teknologien er optimalisert for at forskere kan finne frem til ny og bedre kreftbehandling ved å teste ut nye medisiner på dyr. Siemens og Philips har nylig lansert en ny PET/MR-kombinasjon for pasienter. Partikkelfysikerne ved UiO er de første i verden som har utviklet en spesiallaget PET/MR-løsning for dyreskanning.

– Den høye oppløsningen i PET-skanneren vår gir bedre bilder, og den høye sensitiviteten vil gjøre det mulig å bruke bare halvparten så mye radioaktivitet i undersøkelsene uten at det går ut over bildekvaliteten. Dette vil åpne for nye muligheter i forskningen, og kan også være med på å redusere strålingen i kliniske skannere, spesielt innen mammografi og hjerneskanning. Vi håper derfor at Philips og Siemens fatter interesse for teknologien vår, sier Bolle.

Sammen med sine tre kollegaer har han konstruert PET-maskinen så liten at den kan plasseres inne i en MR-maskin. Da kan man ta begge bildene samtidig og slippe å korrigere feilene som oppstår når man slår sammen to bilder i etterkant.

Spiser opp alle fotonene. I en standard PET-undersøkelse blir radioaktive isotoper festet på sukkermolekyler og sprøytet inn i kroppen. PET-bildet tas en time senere, når sukkeret har fordelt seg i hele kroppen. Kreftcellene forbrenner sukker raskere enn friske celler gjør. Det vil derfor skje en opphopning av radioaktive gammapartikler i kreftcellene. Gammapartiklene sender ut to sett fotoner i diametralt motsatte retninger. Dette kalles *parallelle fotoner*.

For å kunne spore den radioaktive kilden, må PET-skanneren finne hvilke parallelle fotoner som henger sammen. Dette er en av de store utfordringene i dagens PET-skannere.

Så lenge fotonene treffer detektorene vinkelrett, er alt greit. Når de blir fanget opp, er det mulig å beregne hvilke to fotoner som hører sammen. Problemet oppstår når fotonene kolliderer skjevt med detektoren. Da er faren stor for unøyaktige målinger av kollisjonspunktene. Det forringer bildekvaliteten.

Bare halvparten av fotonene avsetter all energien ved første treff. De andre gangene avsettes bare deler av energien, før fotonene skifter retning og avsetter resten av energien i et annet punkt. Dagens detektorer har ingen dybdeinformasjon og kan derfor ikke rekonstruere posisjonen til disse fotonene.

– For å fange opp alle fotonene, måler vi posisjonen i tre dimensjoner i en femlags detektor, forteller Bolle.

For at fotonene skal treffe mest mulig vinkelrett i dagens maskiner, er det viktig at hele pasienten befinner seg nærmest mulig sentrum i maskinen. Det er derfor viktig med stor avstand mellom pasienten og detektoren. Løsningen har en stor svakhet.

– Når det er store åpninger på begge sider av skanneren, havner altfor mange fotoner på avveier. Dette forringer bildekvaliteten. Jo tettere pasienten ligger inntil detektoren, desto høyere blir sensitiviteten på bildet.

I den nye PET-skanneren ved UiO kan de få god bildekvalitet selv om forsøksdyret ligger helt inntil detektorene.

– Vi har klart å doble sensitiviteten. I praksis kan vi ta bildene dobbelt så raskt, eller bare bruke halvparten så stor radioaktiv dose for å få til den samme bildekvaliteten som før.

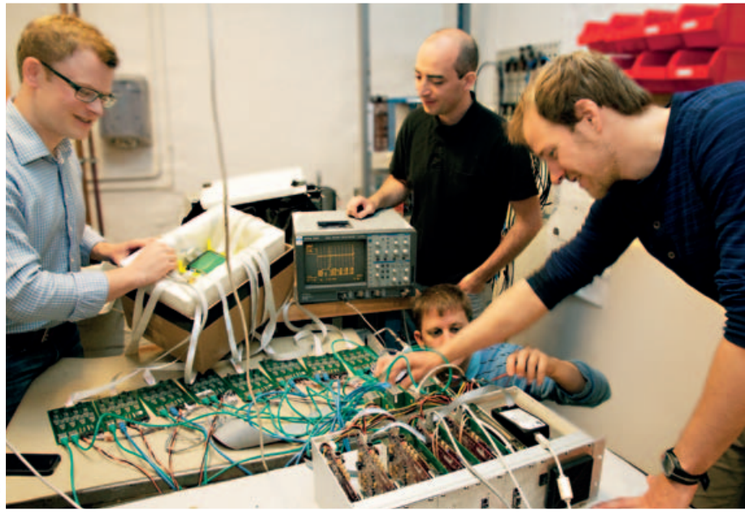


FOTO: YNGVE VOGT

FEMTI PROSENT MINDRE STRÅLING: Partikkelfysikerne Erlend Bolle, David Volgyes, Michael Rissi og Kim Eigard Hones har utviklet helt ny teknologi som gjør det mulig å halvere strålingen fra en PET-skanner. PET-skanneren er dessuten konstruert så liten at den kan plasseres inne i en MR-maskin. Da kan MR- og PET-bildene tas samtidig.

Nye krystaller. De nye detektorene er laget av helt nye krystaller og lysledere. I hvert av de fem lagene i detektorene er krystallpinnene plassert oppå et tverrgående lag med lysledere.

– Dette er en helt ny måte å måle gammapartikler på.

Detektorene er plassert slik at hulrommet i den nye skanneren blir firkantet.

– I dag står detektorene i en sirkel. Da er det en åpning mellom hver detektorblokk. Fotoner forsvinner gjennom åpningene. Nå har vi full dekning av krystaller på alle kanter. Vi klarer å fange opp flere millioner partikler i sekundet. Men dette skjer ikke i et jevnt tidsintervall. Vi måler hvert nanosekund. Hvis vi ikke måler raskt nok, kan vi få målefeil.

Tidlig digitalisering. Alle delene i PET-skanneren settes sammen som legoklosser. Systemet digitaliserer dataene tidligere enn i dagens PET-løsninger. Dataene kan sendes til et vilkårlig antall PC-er. Bildebehandlingen skjer parallelt med undersøkelsen.

– Selv om vi skal lage en dyreskanner, kan skanneren med letthet bygges om til sykehusbruk, forteller Bolle, som har hentet ideen fra det store Big Bang-eksperimentet i CERN, der enorme detektorer i verdens største fysikkeksperiment skal spore opp verdens minste partikler. PET-prosjektet er støttet av Forskningsrådet og Swiss National Science Foundation.

FAKTA

PET
(positronemisjonstomografi) gir et romlig bilde av hvor kreftcellene er i kroppen.

MR
(magnetresonanstomografi) avfotograferer kroppen med radiobølger og et kraftig magnetfelt.

CT
(computertomografi) gir et tredimensjonalt røntgenbilde av kroppen.

SJEKKER CELLEKJERNEN: Professorene Håvard Danielsen og Fritz Albregtsen har utviklet et avansert dataprogram som kan beregne hvor alvorlig kreften er, ved å studere hvordan DNA-strengen er pakket sammen i cellekjerner.

Antall gale kreftprognoser kan halveres med datastyrt bildeanalyse. Om tre år kan metoden brukes på pasienter med tarmkreft, eggstokkreft og prostatakreft.

Sikrere kreftprognoser med datastyrt bildeanalyse

Tekst og foto: Yngve Vogt

I dag blir altfor mange kreftpasienter enten overbehandlet eller underbehandlet, fordi patologene ikke vet nok. Kreftprognosene deres er bare 60 prosent sikre.

Nå har patologer, cellebiologer og informatikere ved Universitetet i Oslo utviklet en helautomatisk metode som med 80 prosent sikkerhet kan slå fast hvor alvorlig en kreftprognose er. Det betyr at antall feil kan halveres. Metoden kan om få år bli tatt i bruk på sykehus, i første omgang på pasienter med tarmkreft, eggstokkreft og prostatakreft.

Dagens kreftprognoser skjer ved å studere vevsprøver fra kreftsvulster i mikroskop.

– Patologi er en sårbar, vitenskapelig del av medisinen. Når patologene sjekker et snitt, må de sjekke resultatene med sin egen hukommelse. Resultatene kan variere fra patolog til patolog. Resultatene kan også variere hos den samme patologen fra en mandag til en fredag. Selv om patologer kan diagnostisere kreft med 100 prosent sikkerhet, er graderingen av hvor alvorlig kreften er og hvor langt den er kommet, svært usikker. Det finnes ingen absolutte ja- og nei-svar. Svaret avgjør om en pasient skal ha behandling A eller B. Patologer er uenige fordi metodene ikke er gode nok. Analysene deres er basert på skjønnsmessig vurdering, forteller *Håvard Danielsen*, forskningsleder på Institutt for medisinsk informatikk på Radiumhospitalet og professor ved Universitetet i Oslo. Han er blant verdens ledende på digitale bildetolkninger av patologiske snitt.

Sammen med professor *Fritz Albregtsen* ved Institutt for informatikk har han brukt de siste tjue årene til å utvikle den nye metoden som gjør det mulig å øke sannsynligheten for rett kreftprognose med 33 prosent.

De to forskerne påpeker at den nye metoden deres ikke skal erstatte patologer, men være et hjelpemiddel.

Av- og på-gener. Selv om to pasienter får den samme risikovurderingen og den samme behandlingen, kan den ene dø, mens den andre blir frisk.

Dette har med epigenetikk å gjøre. *Epigenetikk* er en moderne vitenskap om av- og på-knappene til gener.

– Man har tidligere sagt at mutasjoner er viktige for kreft. Men det er likevel viktig å vite hvilke gener som er skrudd av og på.

Genene i kreftsvulster er annerledes slått på og av enn i friske celler. Hvilke gener som er av og på, kan derfor skille mellom liv og død.

– Ustabiliteten i genomet er blitt viktig i kreftforskning.

Fasiten ligger på kirkegården. Metoden bygger på svært avanserte bildeanalyser av alle kreftsnittene til pasienter tjue år tilbake i tid, og kombinerer svarene med hva som har skjedd med hver enkelt pasient.

– Vi fikk tilgang til et stort arkivmateriale med patologiske snitt fra 5000 pasienter med tykktarmskreft og endetarmskreft, fra de fikk diagnosen og ti år frem i tid. Vi plukket ut 300 pasienter, hvorav det gikk bra med den ene halvparten og dårlig med den andre halvparten.

Ved hjelp av avanserte bildetolkninger kunne de se hvordan *kromatinene*, altså blandingen av DNA-strengen og alle de andre proteinene i cellekjernen, var organisert. De analyserte opptil 2000 cellekjerner fra den samme pasienten.

Tolker genklumper. DNA-strengen består av mer enn 20 000 gener og er nesten to meter lang. For å få plass til hele DNA-strengen i en cellekjerne, som bare er seks mikrometer bred, må en del av genene pakkes tett sammen. Og naturen er så finurlig laget at de genene som er pakket tett sammen, er slått av. De andre er på.

Det er mulig å fargelegge de aktive genene med et spesielt fargestoff. De lyse delene består av aktive gener, mens de mørke feltene viser de delene av DNA-strengen der genene er skrudd av.

Sannsynligheten for riktig prognose øker med 33 prosent.

Sammenligner mønstre. Bildeanalyse kan tolke organiseringen av arvestoffet i cellekjernen ved å se på *teksturene*.

– Mønsteret på skjorta di er et eksempel på tekstur. Det er ganske små forskjeller i cellebilder med god og dårlig prognose. Vi bruker matematiske og statistiske metoder for å kartlegge teksturmønstrene. Det er umulig å se dette med det blotte øyet. Vi har testet mange metoder for teksturanalyser. Bare fantasien setter begrensninger på hvordan metodene kan brukes, sier Fritz Albregtsen.

Poenget er å finne noen få parametre som får analysemetoden til å skille klart mellom gode og dårlige prognoser.

Gjenkjenner cellekjerner. Det er ikke nok at bildeanalyseprogrammet skal gjenkjenne av- og pågener i en cellekjerne. Programmet må også kunne angi hvor cellekjernene er i et patologisk snitt.

En cellekjerne er bare en liten del av en celle. Tumorer kan dessuten inneholde fremmede celler, som bindevevsceller og blodceller. Disse cellene skal ikke fanges opp.

– Vi skal med andre ord bare gjenkjenne kjernene i de cellene som var levende før kreftprøven ble tatt.

Testes internasjonalt. I samarbeid med Karolinska Universitetssjukhuset i Stockholm og universitetene Oxford og Harvard tester de norske forskerne nå metoden på andre patologiske kreftsnitt.

– Vi har nådd et gjennombrudd. Om tre år håper vi at metoden kan anvendes klinisk, forteller Håvard Danielsen, som har fått støtte til forskningsprosjektet, ikke bare av UiO og Radiumhospitalet, men også av Forskningsrådet, Helse Sør-Øst og Kreftforeningen.

FAKTA

Kreftprognose

- Dagens kreftprognoser er 60 prosent sikre.
- Kreftprognosen blir 80 prosent sikker med ny, datastyrt metode.
- Den datastyrte metoden beregner kreftprognosen ved å se på hvordan DNA-strengen er pakket sammen i cellekjerner.
- Metoden kan tas i bruk klinisk om tre år.

Om noen år kan legen sjekke beinbrudd med en håndholdt radar. Undersøkelsen vil bli like ufarlig som strålingen fra et kjøleskap.

Ufarlig RADAR kan erstatte røntgen

Tekst: Yngve Vogt

Noen år frem i tid blir det langt enklere å sjekke om du har brukket håndleddet eller beinet ditt. I stedet for å måtte dra til Legevakten for røntgenfotografering, kan den lokale legen sjekke bruddet med en håndholdt radar.

– Teknologien blir billig. Apparatet behøver dessuten ikke være større enn en iPhone, forteller professor i mikroelektronikk, *Tor Sverre Lande* på Institutt for informatikk ved Universitetet i Oslo.

Han er en av verdens fremste forskere i radarteknologi og har oppdaget hvordan en kortholdsradar, altså en radar som skal fungere over svært korte avstander, kan brukes til å forbedre medisinske undersøkelser.

– Radarteknologien vår kan bli et supplement til røntgen, ultralyd og magnetisk resonans (MR), påpeker professoren.

Radarmålinger skader ikke. – I motsetning til røntgen har kortholdsradarer ingen bivirkninger. Strålingen vil være en hundredel til en tusendel av vanlig mobilstråling. Det er veldig lite. Strålingen blir like lite skadelig som om du står ved siden av et kjøleskap.

Ny databrikke. Frem til i dag har det ikke vært teknisk mulig å bruke radar til å ta bilder av kroppens indre.

Nyheten fra Landes forskergruppe er en ny type databrikke som kan gjøre det mulig å lage en kortholdsradar til medisinske anvendelser i fremtiden.

– Det er likevel for tidlig å kunne se hvor bra dette blir. Men det er allerede gjort internasjonale studier på radarmålinger av brystkreft. Det viser seg at radarbølger har forskjellige egenskaper på sykt og friskt vev.

Superrask måling. Radar har ikke en like god gjennomtrengingsevne som røntgen, men trenger lettere inn i kroppen enn ultralyd.

En radar sender en smal stråle, akkurat som lyset fra en lommelykt. Når radarsignalet treffer en gjenstand, reflekteres en liten del av strålen.

Et radarsignal kan ha ulike frekvensområder. Jo lavere frekvensen er, desto lengre blir bølgelengden. Da blir bildeoppløsningen dårligere. En høyoppløselig radar forutsetter derfor høye frekvenser. Dette kalles *mikrobølger*.

I dag fungerer radar best over lange avstander. Militæret bruker radar til å se konturene av fiendtlige fly og skip.

– Det store problemet har vært å fange opp et radarsignal som blir reflektert fra kort avstand. Det er nettopp dette vi har funnet en løsning på.

Ryggesensorer på moderne biler bruker radar. Sensorene har problemer med å måle avstander under en halv meter. Nøyaktigheten på målingen er bare noen få centimeter. Slik teknologi er ikke bra nok for medisinsk diagnostikk.

Et radarsignal beveger seg med lysets hastighet, det vil si 300 000 kilometer i sekundet. Den nye løsningen til Institutt for informatikk er så kjapp at den kan måle avstanden som en radarbølge tilbakelegger på halvannet pikosekund. Et pikosekund er et tusendels nanosekund, eller for å si det enda mer ufattelig: Et pikosekund er et millionedels millionedels sekund.

Verdens første. – Med den nye konstruksjonsmetoden vår kan vi i praksis måle med en nøyaktighet på en millimeter. Det er unikt. Dette er verdens første databrikke som er rask nok til å fange opp refleksjonen av radarbølger på så korte avstander.

Forklaringen er en ny databrikke med tidenes raskeste prosessering, ti ganger raskere enn i dagens pc-er.

– Dette kan bli et nytt fundament i medisinsk diagnostikk. Men vi må gjøre det klart: Dette er bare begynnelsen. Vi forsker på metodene. Vi vet ennå ikke hvordan vi skal kunne måle forskjellige ting i kroppen. Her kommer bildebehandlere, signalbehandlere og medisinere inn, forklarer Lande.

Deler av databrikken er konstruert av den iranske UiO-stipendiaten *Malihe Zarre Dooghabadi*. Hun forsker på den optimale kombinasjonen av kortholdsradarer for å få den skarpeste radarstrålen. Et elektronisk system skal styre radarstrålen. Det blir ingen bevegelige deler.

Fjerne landminer. Radarforskerne har kommersialisert forskningen sin gjennom spinn-off-firmaet Novelda, som Lande var med på å grunnlegge i 2004. Nå er førsteamanuensis *Dag Wisland* daglig leder. Brorparten av de 17 ansatte ved Novelda er tidligere studenter ved Institutt for informatikk. Den nyeste radaren deres på markedet har en målenøyaktighet på to millimeter.

– Nå ser vi etter viktige anvendelser for den nye radarteknologien vår. Vi snakker ikke bare om medisin. Den nye teknologien kan også brukes til å måle skader i bygninger eller se hvor armeringsjern, elektriske ledninger eller vannrør befinner seg inne i veggen.

Teknologien kan dessuten være velegnet til å fjerne landminer.

– Dagens mineryddingsteknologi er ikke god nok. Med dagens tempo i mineryddingen tar det 1100 år å fjerne alle minene i verden. Minene ligger 10 til 20 centimeter under bakken. Med nøyaktige radarmålinger skulle det være mulig å finne dem raskere.

Berøringsfrie smarttelefoner. Lande håper at teknologien havner i fremtidens smarttelefoner. Da kan du styre telefonen uten berøring ved å bevege hendene dine i løse luften. Teknologien kan også brukes til å sjekke om noen er begravd av snøskred og til å analysere tettheten i snølag. På den måten kan man bruke radarteknologien til å forutsi faren for snøras.

Informatikerne forsker nå på å forbedre nøyaktigheten på målingene i et nyopprettet nanoelektronikklaboratorium i den nye informatikkbygningen.

– Laboratoriet, kalt PicoLab, er i verdensklasse og spesielt tilrettelagt for neste generasjons trådløse systemer, forteller Lande.

FAKTA

Radar:

- Et radarsignal beveger seg med lysets hastighet (300 000 km i sekundet).
- Radar fungerer i dag vanligvis best over lange avstander.
- Den beste nøyaktigheten på dagens radarmålinger er noen centimeter.
- En ny og kjappere databrikke kan øke nøyaktigheten på radarmålingen til en millimeter.
- Denne databrikken kan måle avstanden som radarbølgen tilbakelegger på halvannet pikosekund. Et pikosekund er et tusendels nanosekund.
- Informatikerne skal nå forbedre nøyaktigheten på radarmålingene i et nyopprettet pikolaboratorium.

FOTO: FRANCESCO SAGGIO

HÅNDHOLDT RADAR: Ny radarteknologi kan om noen år brukes til å sjekke alt fra beinbrudd til lokalisering av miner. (Ill.-foto)

– Radarteknologien kan havne i smarttelefoner.

FOTO: YNGVE VOGT

VERDENS KJAPPESTE: Malihe Zarre Dooghabadi og Tor Sverre Lande kan nå måle avstanden som en radarbølge tilbakelegger på halvannet millionedels millionedels sekund.

KLIMANØYTRAL DISTRIBUSJON B
NORGE P.P. posten

Returadresse:
MN-fakultetet
Universitetet i Oslo
Postboks 1032 Blindern
NO-0315 Oslo

FORSKNINGSMAGASINET

APOLLON

FOTO: YNGVE VOGT

2006 Fagpressens forsidepris
2008 Fagpresseprisen
2009 Hederlig omtale Fagpressens journalistpris
2010 Fagpressens journalistpris