

Årsrapport 2017



Innhold

Ny strategi – et institutt i rivende utvikling	3
Forskning for en ren atmosfære	4
NILUs avdelinger	5
Slik måles luftkvaliteten på verdens ytterpunkter	6
NILU – vert for data fra hele verden.	10
Beregner lystgassbudsjettet	12
COMTESSA: Vil forstå turbulens	14
Datarevolusjon innen urban atmosfæreforskning	16
Om hybelkaniner og miljøgifter	18
Smarte nanopartikler i kampen mot kreft	19
Tusenvis spilte fotball for forskning.	20
Når forskning leder til innovasjon	22
Vil ha løsninger som gir miljøgevinst	23
Klimaavtrykk og livsløpsvurdering.	24
Miljøkemisk kildesporing – jakten på miljøkjeltringer	25
Ser inn i vulkanutslipp.	26
Nøkkeltall.	27

Christine Forsetlund Solbakken, redaktør.
I redaksjonen: Ingunn Trones og Sonja Grossberndt.
Utforming og tilrettelegging: Finn Bjørklid.

Forside: Kontroll av en Innosense-mikrosensor satt opp ved Nationaltheatret stasjon i Oslo.
Foto: Ingunn Trones & Finn Bjørklid



Ny strategi – et institutt i rivende utvikling

NILUs styre vedtok ny strategi for 2018-2022 i desember. Viktige satsinger er å fortsette å være verdensledende innenfor atmosfære- og klimaforskning på regional og global skala, urban luftkvalitet og miljøgiftsforskning. Vi tydeliggjør og øker vår satsing på forskning innen luftkvalitet og helse, og satser på bærekraftige miljø- og klimaløsninger, både for offentlig og privat sektor. Vi vil også bidra med spisskompetanse innenfor digitalisering og videreutvikle vår innovasjonssatsing.

NILU satser tungt både i Arktis og Antarktis med helårlig atmosfæreovervåkning koblet til forskning i verdens- toppen. Zeppelinobservatoriet er et sentralt overvåkningsobservatorium for atmosfæren, ledet av NILU. Regjeringen har dessuten etablert SIOS (Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System) med NILU som medlem, og Zeppelinobservatoriet er en del av denne infrastrukturen. I Tromsø er Fram II i ferd med å ta form, og NILU satser på å levere avanserte analyser fra vårt nye laboratorium med renromfasiliteter sentralt i det nye bygget.

Norge er i en omfattende omstillings- prosess innen både offentlig og privat sektor. Produktivitetskommisjonens rapporter følges opp med sektor- gjennomganger, og vi venter store endringer i årene som kommer. Det er viktig for NILU å forberede en god strategi for dette skiftet, og vi har god dialog med vårt departement.

Klima

NILU har en rekke aktiviteter rettet mot klimasystemet og utfører ledende forskning på klimadrivere (kort- og lang- livede) og geofysiske prosesser. Siden 2015 har grunnforskning på turbulens vært et sentralt tema, og det er videre fokus på atmosfæriske spredningspro- sesser. I 2017 skrev NILU flere viktige publikasjoner innen temaene atmosfæ- risk metan og CO₂. Det var også stor aktivitet rettet mot utvikling av forskningsinfrastrukturer som støtter klimaforskning (ICOS, SIOS, INES og ACTRIS). En annen satsing er å få etablert et nytt senter for studier av

atmosfærisk vanntransport.

Horizon 2020

EUs rammeprogram (H2020) har mange nye utlysninger i 2018 som er relevante for NILU. Ved utløpet av 2017 deltar NILU i 13 H2020 prosjekter. Norge satser tungt på EU-forskning, og Forskningsrådets statistikker viser at NILU har svært god uttelling i H2020. På tross av hard konkurranse, har NILU fått til mye.

Innovasjon

Innovasjon er en tverrgående aktivitet i instituttet og bidrar på en rekke områder innen idegenerering og bidrag til prosjektutforming. NILU sikrer videre sin samfunnsrelevans ved å være aktiv

med nye spennende spin-off selskaper. Kjeller innovasjon, sammen med NILU og de andre instituttene på Kjeller jobber med å løfte en ny stor satsing på et investeringsfond for tidlig-selskaper. Dette vil bli viktig for å ta instituttets mange idéer frem til nye selskaper og fremtidige kunder for NILUs forskning.

I denne årsrapporten kan du lese om mange spennende nye satsinger og om forskning i verdenstoppen – god lesing!

Kari Nygaard
Adm.dir



Foto: Ingunn Trones

Forskning for en ren atmosfære

Stiftelsen NILU – Norsk institutt for luftforskning ble etablert i 1969. Vår forskning har som formål å øke forståelsen for prosesser og effekter knyttet til våre kjerneområder: atmosfærens sammensetning, klimaendringer, luftkvalitet og miljøgifter.

Instituttet har en sterk posisjon både nasjonalt og internasjonalt, og er blant ledende fagmiljøer i verden innenfor disse områdene. Vi leverer tjenester tett koblet til egen forskning, og har lang erfaring med å koordinere både nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter. Sentrale oppdragsgivere er EU, Norges forskningsråd, næringslivet samt sentrale og lokale myndigheter.

NILUs avdelinger

NILUs forskning favner bredt, og utforsker de fleste sider av det som påvirker atmosfære, miljø og klima. Dette gjenspeiles i instituttets sammensetning, representert ved de ulike avdelingene:

Avdeling for atmosfære og klima arbeider med luftforurensning på regionalt (europeisk) og globalt plan, klimagasser og -drivere, transport av vulkanaske, ozonlaget og UV. Avdelingen driver også utstrakt internasjonalt samarbeid og er datasenter for en rekke måle- og forskningsprogrammer.

Avdeling for by og industri forsker på problematikken rundt lokal og regional luftforurensning. Dette spenner fra utvikling av forvaltningssystemer for luftkvalitet i storbyer, til systemer som setter klimagassutslipp og lokal luftforurensning i sammenheng. I tillegg er avdelingen sentral i norsk overvåkning og forskning på industriutslipp.

Avdeling for miljøeffekter og bærekraft arbeider hovedsakelig med eksponerings- og effektstudier, kost-nytte-analyser og sosio-økonomiske studier av hva slags virkninger forurensning har på miljøet. Avdelingen er også involvert i prosjekter som fokuserer på Europas kystsoner.

Avdeling for miljøkjemi forsker på nye og etablerte miljøgifter, og har kompetanse på alle typer miljøprøver fra luft, vann og sedimenter til biologisk materiale. Avdelingen har særlig fokus på miljøgifter innen polare problemstillinger, og har to laboratorier til sin disposisjon, ett på Kjeller og ett i Framsenteret i Tromsø.

Avdeling for måle- og instrumentteknologi er ansvarlig for operasjonell drift av NILUs feltmålinger, prøvetakingsutstyr og instrumentering. Avdelingen er også ansvarlig for datainnhenting og kvalitetssikring av måledata, og driften av NILUs observatorier i Ny-Ålesund på Svalbard, i Dronning Maud Land i Antarktis, Birkenes i Sør-Norge og Andøya i Nord-Norge.

Avdeling for software- og hardwareutvikling har ansvar for utvikling og vedlikehold av NILUs program- og maskinvareprodukter, prosjektnettsider og tilpasning av moduler og databaser.

I tillegg har NILU en egen **avdeling for innovasjon**, som arbeider med å sikre at instituttets forskning skal ha størst mulig nytteverdi. Avdelingens primære mål er å tilgjengeliggjøre resultater fra NILUs forskning, og når det er mulig, skape en kommersiell utvikling på basis av disse.

Målestasjonen E6-Tiller i Trondheim. Dette er en såkalt trafikknær stasjon, som måler svevestøv (PM^{10} og $PM^{2.5}$) og nitrogendioksid (NO^2).

Foto: Claudia Hak / NILU

Slik måles luftkvaliteten ved verdens ytterpunkter

Fra Zeppelinobservatoriet på 79 grader nord til Trollhaugenobservatoriet på 72 grader sør – NILU måler luftkvaliteten på noen av verdens mest utilgjengelige steder. Hvorfor så langt unna?

Christine F. Solbakken
Kommunikasjonssjef

– Grunnen til at det er så viktig å måle luftkvaliteten i Arktis og Antarktis er at det er de mest sårbare områdene. Der ser vi endringene først, forklarer seniorforsker Chris Lunder i NILUs avdeling for måle- og instrumentteknologi.

«Førindustriell» luft

Zeppelinobservatoriet nær Ny-Ålesund på Svalbard og Trollhaugenobservatoriet i Dronning Maud Land ligger der lufta er renest på henholdsvis den nordlige og sørlige halvkule. Det betyr at luftforskerne fra NILU får målt det de kaller

«bakgrunnsnivå». Bakgrunnsnivået vil si det laveste nivået av ulike partikler og gasser som finnes i atmosfæren, og det får man kun målt på steder der menneskelig aktivitet ikke bidrar med lokal forurensning. Den reneste plassen på kloden finner du i Antarktis, og ut fra luftprøver tatt der har forskerne best forutsetning for å si noe om hvordan partikkeldannelsen i lufta var før den industrielle revolusjon.

– Når vi kjenner «bakgrunnsnivå» kan vi også gjennom luftprøvene finne ut hvor de forurensende stoffene kommer fra, og i hvilke mengder forurensningene slippes ut, sier Lunder.

Viser trender over tid

Klimagasser er blandet inn i all lufta i hele atmosfæren, så det er alltid et visst «bakgrunnsnivå» av f.eks. CO₂ i lufta. Det går ikke an å måle lavere enn dette. Høyere nivåer kan variere fra stasjon til stasjon i forhold til lokale utslipp og hvordan utslippene transporteres i atmosfæren.

– Fordelen med avsidesliggende stasjoner som Zeppelin er at det er enklere å se trender over tid der, fordi variasjonen fra måned til måned er mindre, forklarer seniorforsker Ove Hermansen.

– Du får ikke de samme voldsomme svingningene som målestasjoner i mer



Zeppelinobservatoriet ved Ny-Ålesund, Svalbard.

Foto: Are Bäcklund.

befolkede områder kan vise, som f.eks. Mace Head i Irland og Jungfraujoch-observatoriet i Sveits.

Disse to europeiske observatoriene er plassert slik at de skal fange opp lufta som kommer inn fra Atlanterhavet. Luftstrømmene som kommer inn derfra er ofte påvirket av luft fra tett befolkede strøk i USA.

Skal man måle bakgrunnsnivåene må man ha virkelig fjerntliggende observatorier som Mauna Loa midt i Stillehavet, Cape Grim på Tasmania og Ragged Point på Barbados. Og Zeppelinobservatoriet, selvsagt – den beste bakgrunnsstasjonen på den nordlige halvkule.

Kontroll og kalibrering

Men for at NILU skal kunne måle luftkvaliteten korrekt er det viktig at de som jobber nær og på observatoriet ikke forurensrer målingene. Derfor er det viktig å ha kontroll på alt som er i umiddelbar nærhet; fra materialvalg på stasjonen til hvor ulike forurensningskilder – f.eks. kjøretøy – kan stå. Forskerne må være helt sikre på at det de måler er reelle luftprøver fra Arktis og Antarktis.

– Når vi skal måle nøyaktig må utstyret være i topp stand, forklarer Hermansen. – Det gjelder ikke bare her, men på alle stasjonene våre. Det må kalibreres jevnlig og på en god måte.

Hvordan og hvor ofte slik kalibrering foregår avhenger av målemetode og type instrument. De fleste instrumenter testes ved hjelp av en luftprøve forskerne allerede vet hva inneholder, en såkalt «standard». I tillegg deltar NILU i såkalte «ringtester». Da blir en gassflaske med luft sendt fra målestasjon til målestasjon over hele Europa, slik at alle måler lufta fra den samme flasken og bør få nøyaktig samme resultat.

– Denne kalibreringen foregår innenfor store nettverk, forklarer Hermansen.

– NILU er med i mange ulike nettverk som hvert har sine sammenlikningsprogrammer for instrumenter og utstyr til luftprøvetaking. Og vi skal ikke bare måle nøyaktig, alle målestasjoner i et nettverk skal måle mot samme referanse.

For partikkelinstrumenter finnes det ikke «standards» på samme måte, så med noen års mellomrom møtes representantene for opptil tjue av målestasjonene på et kalibreringssenter i Europa for å sammenlikne og kontrollere at instrumentene måler likt.



Det elektriske kjøretøyet «Vesla» brukes når forskerne skal besøke Trollhaugen.

Foto: Jan Henrik Wasseng.



Trollhaugenobservatoriet i Antarktis.

Foto: Chris Lunder.

Strengte rutiner

For å være sikre på at de måler på samme skala som de andre målestasjonene rundt om i verden bruker Lunder, Hermansen og senioringeniør Are Bäcklund mye tid på kalibrering av instrumentene. Det er strenge rutiner som skal følges.

– Det er også egne prosedyrer på stasjonene, forteller Bäcklund, – der vi går gjennom en rekke ulike kontroller av instrumentene. For å oppfylle kvalitetskravene må vi vise at vi gjennomfører kontrollene på riktig måte og at kontrollene utføres jevnlig.

I tillegg til kontroll av instrumentene må NILU-mannskapene ha kontroll på trykk og temperatur og luftgjennomstrømning i luftinntaksrøret hvor instrumentene er koblet til. Alle målinger skal sjekkes og logges, data skal overføres til NILU og registreres i ulike målenettverk NILU er en del av.

I tillegg får NILU av og til besøk av representanter for de ulike nettverkene, f.eks. Global Atmospheric Watch, som gjennomfører kontrollmålinger av instrumentene på Zeppelin med egne instrumenter.

Målenettverk til glede og nytte

En gang i uka går de gjennom alle rådata og kontrollerer om de er riktige. Først etter denne kontrollen blir målingene registrert som godkjente i databasen. Han deltar også i månedlige møter med forskere fra andre europeiske målestasjoner, der de sammen går gjennom alle dataplott, registrerte kalibreringer og avvik. Særlig avvikene blir nøye gransket for å avdekke årsak og finne løsninger.

I tillegg arrangeres det årlige møter i Europa, der forskerne kommer sammen og legger fram plott fra sine målestasjoner på storskjerm. Er det noen avvik blir det påpekt og diskutert, og kan

ikke avvikene forklares risikerer man at data fra målestasjonen blir forkastet.

– Slik sikrer vi at alle data er av god kvalitet, forklarer Hermansen, – og vi lærer mye av hverandre når vi sitter slik og diskuterer. Særlig om feilkilder, som kan være alt fra en lekkasje i instrumentet til en sliten pumpe eller en pakning som er gåen.

Alle de tre kan fortelle om tilfeller der det har tatt både dager, uker og måneder før de har funnet ut hva feilen er. Og nettopp i den sammenhengen er slike nettverk gode å ha. Der kan de høste av andres erfaringer for å finne løsninger raskere enn om de hadde jobbet alene.

Norge og NILU i polare områder

Alle data NILU produserer ut fra målingene ved observatoriene er åpent tilgjengelig så snart de er kvalitetssikret og overlevert til oppdragsgiver. Data fra både Zeppelin og Trollhaugen blir mye brukt både av norske og internasjonale forskere, kan Lunder fortelle.

– Zeppelin er mye mer tilgjengelig enn Trollhaugen på mange måter, sier Bäcklund. – Det er mye enklere å drifte en del av utstyret vårt der enn på Trollhaugen, av rent logistiske årsaker. Mannskap fra måle- og instrumentavdelingen besøker i snitt Zeppelin-observatoriet annenhver måned. På Trollhaugen derimot, er de en gang i året. Observatoriet er tilgjengelig kun i den sydlige sommersesongen, da fly til Troll kun går i perioden november til februar. Ergo sier det seg selv at det er mer utfordrende å holde alle typer instrumenter i kontinuerlig drift der.

NILU har overvåket luftkvaliteten ved Zeppelin-observatoriet siden 1989 (NILUs aller første luftmålinger på Svalbard ble gjort i Ny-Ålesund i 1974), og i Antarktis siden 2007. Hvordan ble det til

Avdeling for måle- og instrumentteknologi (MIT)

Avdeling for måle- og instrumentteknologi er ansvarlig for operasjonell drift av alle NILUs feltmålinger. De er også ansvarlig for prøvetakingsutstyr og instrumentering som brukes i felt. Det omfatter alt fra kalibrering og vedlikehold av instrumenter og prøvetakere, til datainnhenting og kvalitetssikring av måledata.

Avdelingen står også for driften av Zeppelinobservatoriet i Ny-Ålesund på Svalbard, Trollhaugen i Dronning Maud land i Antarktis, Birkenes i Sør-Norge og Andøya i Nord-Norge.

De ansatte har stor kompetanse knyttet til kvalitetssikret operasjonell drift av målestasjoner og måleutstyr. I tillegg bidrar avdelingen i prosjekter og oppdrag gjennom å bygge kvalitetssystemer for drift av luftkvalitetsmålinger for andre.

NILU er Nasjonalt Referanselaboratorium for luft, og dette arbeidet er lagt til MIT. NILU ved MIT er dessuten akkreditert i henhold til NS-EN ISO/IEC17025, med akkrediteringsnummer TEST 008, for feltmålinger.

at nettopp NILU måler luft fra pol til pol?

– Norge er jo en polarnasjon, og NILU er i en enestående posisjon i forhold til å forvalte ansvaret som ligger i å overvåke lufta og atmosfæren i de polare regionene, sier Ove Hermansen.

– NILU har bygget opp kompetanse og erfaring over tid, og har gjort seg fortjent til renomméet som gir tilgang til de nødvendige nettverkene. Vi har vist at NILU kan levere på kvalitet og kvalitetssikring, og det vil vi fortsette med, avslutter han.

Fra venstre: Chris Lunder, Are Bäcklund og Ove Hermansen.



Taubanen opp til Zeppelinobservatoriet.

Foto: Are Bäcklund.

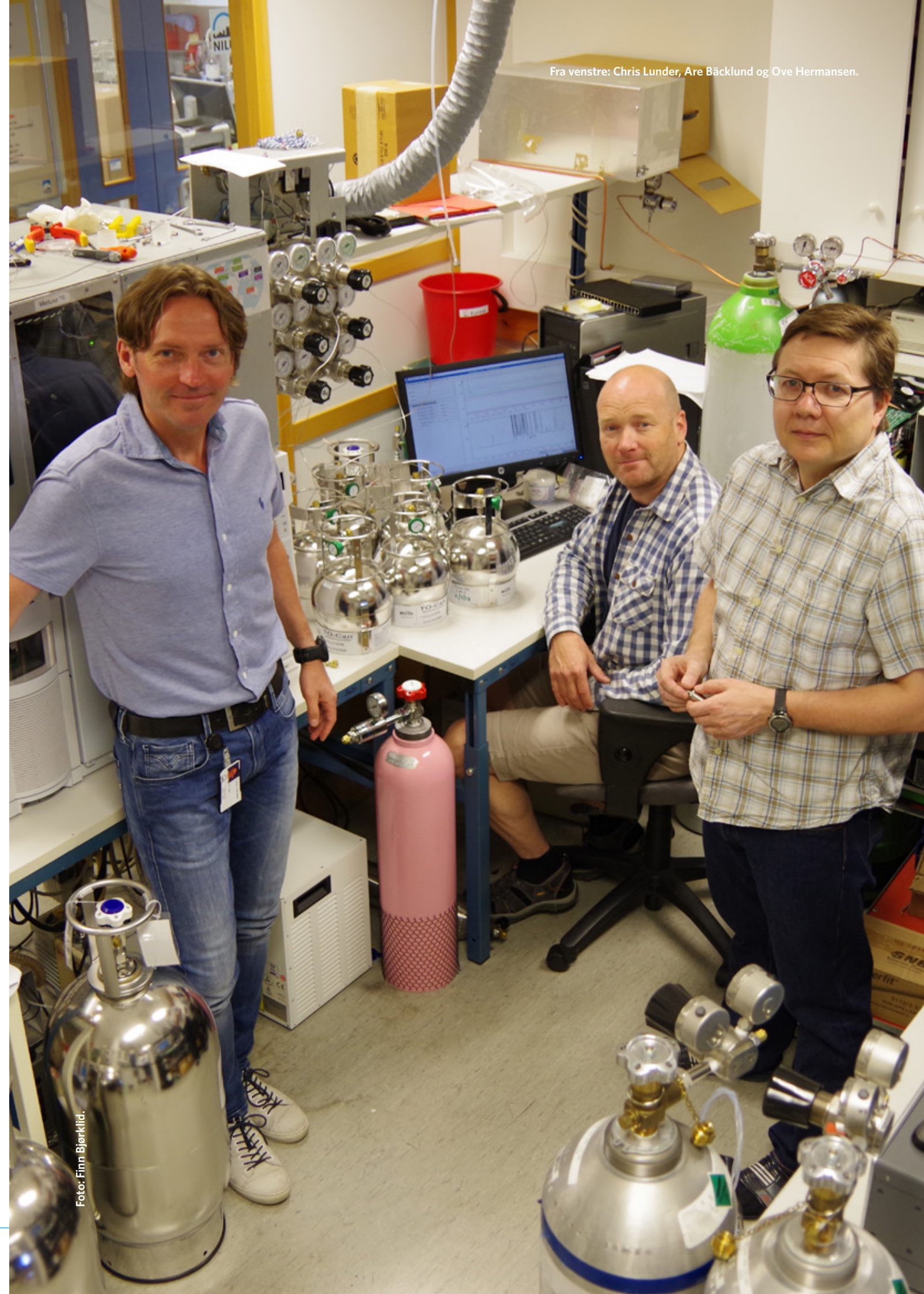


Foto: Finn Bjørklid.

NILU – vert for data fra hele verden

Hver eneste dag strømmer det mengder av data fra satellitter, målestasjoner, observatorier og forskningskampanjer inn til NILU på Kjeller. I tillegg til alt annet som skjer her, er NILU i nasjonal og internasjonal sammenheng også et ledende vertsmiljø for data om atmosfærens sammensetning.

Christine F. Solbakken
Kommunikasjonssjef

NILUs fremtredende rolle innen organisering, innsamling og lagring av atmosfæriske observasjoner ble etablert gjennom de første studiene av langtransportert forurensning på 70-tallet. Disse dataene beviste at luftforurensninger kunne transporteres over store avstander, og gi negative effekter på natur og helse. Siden da har NILU hatt ansvaret for å samle sammen data fra målestasjoner over hele Europa, og senere også globalt.

– Siden den gang har NILU markert seg som vert for flere av de største europeiske og internasjonale forskningsdatabasene, forklarer seniorforsker Ann Mari Fjæraa i NILUs avdeling for atmosfære og klima. – Per i dag samler vi inn, organiserer og tilgjengeliggjør data på vegne av blant andre FN, verdens meteorologiorganisasjon (WMO), flere europeiske forskningsinfrastrukturer og den europeiske romorganisasjonen (ESA).

Åpne data for alle

Helt sentralt i arbeidet med disse databasene er kunnskap om en rekke

ulike målemetoder, instrumentering og meteorologi. Det stilles svært strenge krav til harmonisering av både instrumenter, måleteknikker, data samt informasjonen som ledsager alle opplysninger som registreres i databasene. Slike metadata er tilleggsinformasjon om bl.a. kvaliteten og anvendbarheten av målingene som ligger i databasene. Dette tar databasegruppen «EBAS-team» på NILU seg av, i samarbeid med datarapportørene. Databasegruppen er en sammensatt gjeng, med bakgrunn innen informasjonsteknologi og ulike realfag, både fysikk, kjemi og meteorologi.



Databasegruppen på NILU er en sammensatt gjeng. Fra venstre: Markus Fiebig, Norbert Schmidbauer, Ann Mari Fjæraa, Cathrine Lund Myhre, Wenche Aas, Karl Espen Yttri, Paul Eckhard, Anne-Gunn Hjelmbrekke, Sverre Solberg og Kjetil Tørseth. Richard Olav Rud var ikke til stede da bildet ble tatt. Foto: Ingunn Trones/NILU



Seniorforsker Ann Mari Fjæraa.

– Å samle inn, systematisere og sikre data for fremtiden er en viktig del av jobben, forteller Fjæraa videre. – Like viktig er det at vi lar informasjonen være åpent tilgjengelig for alle som ønsker å ha tilgang til atmosfæriske forskningsdata.

NILU er i tillegg datatilbyder til prosjektet NorDataNet (Norwegian Scientific Data Network). NorDataNet jobber for å gi det vitenskapelige samfunnet en integrert, kostnadseffektiv og bærekraftig infrastruktur gjennom å etablere standarder for datadokumenta-

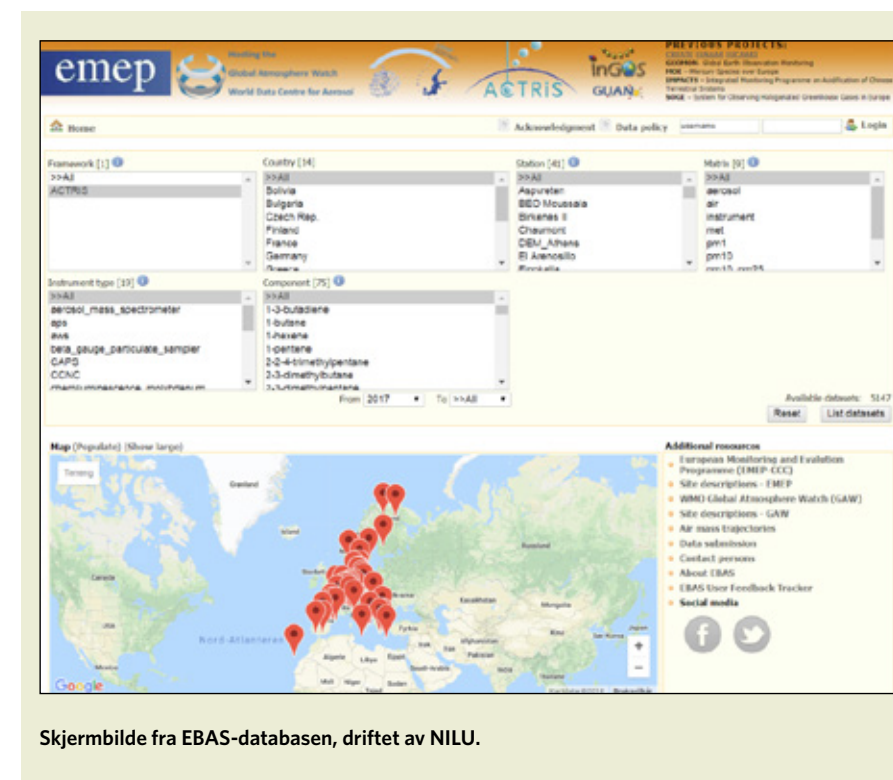
sjon, arkivering, søk og utveksling av forskningsdata på tvers av ulike datadisipliner og nasjoner.

Datagrunnlag for globale avgjørelser

Databasegruppen jobber også med opplæring av datarapportører, og holder jevnlig kurs i blant annet dataformatering, -kvalitetssikring og -rapportering. Databasene har de senere årene gått fra manuell håndtering av data til nå å ha en høy grad av operasjonell dataflyt, der program og rutiner håndteres av digitale rutiner i nær sanntid.

Samlinger av forskningsdata, som de som er tilgjengelige via NILUs databaser, er viktige, uavhengige kilder til informasjon. Forskere fra hele verden bruker dem til å for eksempel utarbeide globale og regionale trender, teste modeller og vurdere endringer i atmosfæriske parametere over lang tid. I tillegg er informasjonen fra disse databasene viktig fordi den også danner grunnlag for internasjonalt samarbeid og politikkutforming for utslippsreduksjoner på globalt nivå.

– Et eksempel på en slik viktig og sentral database er EBAS-databasen, forklarer Fjæraa videre. – Den er bygget opp på grunnlag av data samlet inn i forbindelse med en rekke prosjekter og overvåkningsprogrammer for måling av luftkvalitet helt tilbake til 1970-tallet. NILU administrerer fortsatt databasen, og vi er ansvarlige for all kvalitetssikring av data.



Skjerm bilde fra EBAS-databasen, driftet av NILU.

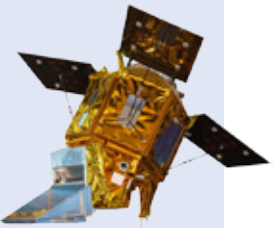
Databasene på NILU

Den mest omfattende databasen NILU har ansvar for er **EBAS**. I denne databasen er det samlet observasjonsdata om atmosfærisk kjemisk sammensetning og fysiske egenskaper fra en rekke ulike nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter og overvåkningsprogrammer, som for eksempel ACTRIS, AMAP, EMEP, GAW, HELCOM, MOCA og selvsagt NILU.

I tillegg har NILU siden begynnelsen av 2000-tallet vært vert for ESAs (den europeiske romorganisasjonens) database, **EVDC**. EVDC-databasen brukes til å lagre, kvalitetssikre og utveksle atmosfæredata fra jordobservasjonssatellitter og data for å validere disse, såkalte Cal/Val-data (kalibrering og validering). Cal/Val er essensielt for å sikre kvaliteten på satellittdataene. Jordobservasjonssatellitter er satellitter som er spesielt utviklet for jordobservasjon fra bane, lik spionsatellitter, men beregnet for ikke-militære bruksområder som miljøovervåkning, meteorologi, kartlegging av forandringer i jordens vegetasjon, atmosfærisk sammensetning og isfelt osv. I EVDC samles relevante data fra hele verden inn på daglig basis.

Foruten dette har vi **ACTRIS**-datasenteret, som omfatter EBAS og to andre eksterne databaser (CloudNet og EARLINET). Det gir fri og åpen tilgang til alle data som skriver seg fra ACTRIS-infrastrukturnettverkets aktiviteter. Målet med databasen er å hjelpe forskere med å samle og få tilgang til atmosfæriske data fra en rekke databaser distribuert over hele verden.

Kanskje mest kjent her hjemme i Norge er **luftkvalitet.info**, som i tillegg til å være en nettportal med informasjon om luftkvaliteten i norske byer også er en database. Den inneholder et stort antall luftkvalitetsmåledata fra mange målestasjoner over mange år. Også disse dataene er åpent tilgjengelige for alle, og de blir brukt av både forskere og privatpersoner i en rekke ulike sammenhenger.



Beregner lystgassbudsjettet

«Lystgass» høres harmløst ut. Men gassen, som også er kjent som dinitrogenoksid, er den tredje viktigste klimagassen i atmosfæren og slik sett ikke noe å le av.

Christine F. Solbakken
Kommunikasjonssjef

I tillegg til å være en viktig klimagass, er dinitrogenoksid eller N_2O et av de viktigste ozonnedbrytende stoffene i atmosfæren, etter at Montréal-protokollen stoppet bruken av klorfluorkarboner (KFK-er). Derfor er det viktig å vite så mye som mulig om alle prosessene som produserer N_2O .

Ser på alle sider av saken

Rona L. Thompson er seniorforsker ved NILUs avdeling for atmosfære og klima, i

tillegg til å være en av to ledere for N_2O -delen av prosjektet «the Global Carbon Project».

– Jeg ble spurt om å være med på å lede denne nye aktiviteten i desember 2015, sier hun, – og vi begynte arbeidet året etter. Jeg tar for meg atmosfæriske observasjoner og modellering av N_2O . Andre forskere som deltar i prosjektet ser på N_2O -utslipp fra landbruk, naturlige utslipp, utslipp av avløpsvann og andre aspekter av N_2O budsjettet. Dette budsjettet skal bestå av en så nøyaktig som mulig oversikt over alle utslipp, opptak og endringer av N_2O .

Dinitrogenoksid (N_2O)

Dinitrogenoksid, også kjent som lystgass eller lattergass, er en gass med den kjemiske formelen N_2O . Dinitrogenoksid forekommer i små mengder i atmosfæren, men fordi utslipp av klimagassen N_2O er en av de største kildene til ozonnedbrytende stoffer spiller gassen også en viktig rolle for stratosfærisk tap av ozon. Det anslås at 30% av N_2O i atmosfæren er et resultat av menneskelig aktivitet, hovedsakelig jordbruk. (Kilde: Wikipedia)

Kunstgjødsel er hovedkilden

– Bruken av kunstgjødsel i landbruket er den viktigste kilden til nitrogenoksid i dag, forklarer Thompson. – Hvis vi kan redusere bruken av kunstgjødsel som inneholder nitrogen, vil vi også se en reduksjon av N_2O i atmosfæren.

Det er imidlertid ikke så lett å redusere bruken av kunstgjødsel, da det trengs for å dyrke nok mat. I vestlige land forsøker bøndene nå å bruke gjødsla mer effektivt, og er i stand til å dyrke fram like store eller til og med større avlinger med mindre kunstgjødsel. Det samme er dessverre ikke tilfellet i flere fremvoksende økonomier, blant annet i Asia, der bruken av kunstgjødsel stiger samtidig som effektiviteten går ned.



Rona L. Thompson, foto: Ingar Næss

Skal gjøre N_2O synlig for verden

– Ved utgangen av 2017 var prosjektgruppen ferdig med å samle inn data og estimater for alle aspekter av N_2O -budsjettet.
– Nå skal vi begynne å se på hvordan alt passer sammen, sier Thompson.
– Vi sjekker hvordan den atmosfæriske økningen av N_2O stemmer overens med alle utslipp og opptak. Vi planlegger også å publisere vitenskapelige artikler, i tillegg til å legge ut alle resultatene i form av interaktiv grafikk på Global Carbon Project-nettstedet. Da blir det mulig for hvem som helst å få oversikt over N_2O -utslippene, både globalt og regionalt.

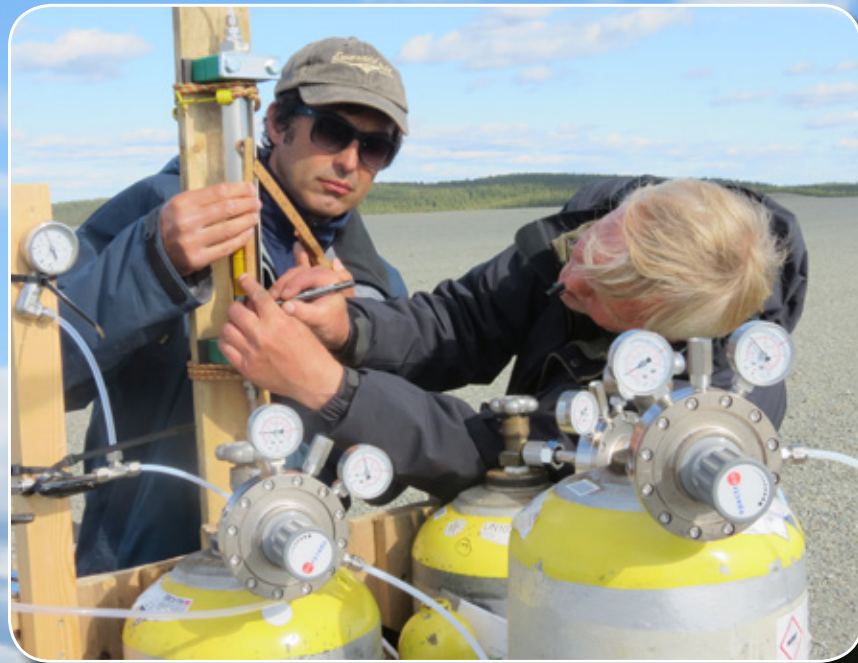
Hva er the Global Carbon Project?

The Global Carbon Project (GCP) ble etablert i 2001, for å møte behovet for informasjon om kilder og opptak av CO_2 i havet og landbiosfæren. Det vitenskapelige målet med prosjektet er å utvikle et komplett bilde av den globale karbonsyklusen, samt å sette opp budsjetter for de tre viktigste klimagassene. Budsjettene tar for seg både biofysiske og menneskelige dimensjoner, i tillegg til hvordan klimagassene spiller sammen og påvirker hverandre.
www.globalcarbonproject.org

COMTESSA: Vil forstå turbulens

ERC-prosjektet COMTESSA (*Camera Observation and Modelling of 4D Tracer Dispersion in the Atmosphere*)

ledes av seniorforsker Andreas Stohl i NILUs avdeling for atmosfære og klima. COMTESSA skal heve teorien og simuleringen av turbulent sporingsdispersjon i atmosfæren til et nytt nivå ved å utføre helt nye høyoppløselige 4D-målinger. I juli 2017 var COMTESSA-teamet ute i felt, for å spore turbulens i atmosfæren ved hjelp av UV- og IR-kameraer.



Massimo Cassiani og Norbert Schmidbauer legger til flere merker på SO₂-gassflytmåleren i forbindelse med en følsomhetstest: NILU øker andelen SO₂ som slippes ut og sammenlikner det med SO₂-fluksene som måles med kameraene.



Massimo Cassiani sjekker utstyret på toppen av masten



6 UV-kameraer ble plassert like ved, for en følsomhetsstudie i 2D der mengden SO₂ som ble sluppet ut varierte trinnvis. På tårnet er det tre sett med måleinstrumenter for å måle turbulens, og SO₂ blandet med luft slippes ut gjennom det svarte røret og dysen ses på toppen av masten.



Soon-Young Park og Solvejg Dinger gjør klar dronene.

Fredag 7. juli 2017:
Kerstin Stebel med UV-kameraene som skal ta opp SO₂-utslippet.



Datarevolusjon innen urban atmosfæreforskning

I løpet av det siste tiåret har behovet for informasjon og data eksplodert, og denne «datarevolusjonen» har også nådd forskningen. Innen miljøforskning spiller informasjon en stadig viktigere rolle – til det punkt at forskere nå til og med vet hvordan peisen din ser ut.

Susana Lopez-Aparicio
Seniorforsker

– Datainnsamling er det avgjørende steget innen de fleste miljøforskningsområder. Når vi utvikler høyoppløselige utslippsoversikter for både luftforurensning og klimagasser, er det viktigste å skaffe data av høy kvalitet, forklarer Susana Lopez-Aparicio, seniorforsker ved NILUs avdeling for by og industri.

Vedfyringsdata en utfordring

En av de største utfordringene er karakterisering av utslipp fra vedfyring til boligoppvarming. I Norge er vedfyring

en viktig kilde til oppvarming i hjemmet, og dessuten sterkt forbundet med kos og hygge. Det er ca. 2,5 millioner ildsteder i landet, og over halvparten av dem antas å være i regelmessig bruk. Vedfyring i boliger gir ikke bare et varmt hjem, det er også en av de viktigste bidragsyterne til skadelige luftforurensende stoffer som partikler (PM) og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Vedfyring er dessuten en viktig kilde til svart karbon, en kortlivet klimadriver.

Lopez-Aparicio forklarer videre: – Når vi skal karakterisere utslipp fra vedfyring til boligoppvarming, trenger vi informasjon om vedforbruk i husholdningen,

type ildsted (f.eks. type peis, ny eller gammel ovn), tidsperioden vedfyringen skjer og type bolig. Sistnevnte indikerer høyden der utslippene kommer inn i atmosfæren. Når vi arbeider på byskala, trenger vi høyoppløselige data i både rom og tid, og denne informasjonen er sjelden enkelt tilgjengelig.

«Folkemengdekunnskap»

I iResponse-prosjektet (<http://iresponse-rri.com>), finansiert av Norges forskningsråd, har NILU-teamet utviklet og evaluert ulike metoder basert på crowdsourcing. Konseptet crowdsourcing er basert på å samle idéer, data og/eller tjenester fra en stor gruppe mennesker ved hjelp av informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT). Det er definert som det nye paradigmet innen kunnskapsdannelse. Et av målene for iResponse er å ta for seg utfordringene og mulighetene knyttet til datainnsamlingsmetodene som brukes til å forbedre forståelsen av utslipp fra vedfyring for boligoppvarming.

– I iResponse brukte vi to forskjellige datainnsamlingsmetoder, forklarer Lopez-Aparicio, som også koordinerer prosjektet. – Den første metoden er basert på publikumsdeltakelse i form av spørreundersøkelser, den andre på automatisk datautvinning fra nettportaler.

Får folk til å delta

Lopez-Aparicio og teamet hennes designet og testet to metoder basert på publikumsdeltakelse. Begge tok sikte på å samle inn geolokalisererte data om vedforbruk per person, hva slags ildsted de brant veden i, og når de fyrte.

Den første metoden var basert på et eksisterende verktøy for å samle inn folks kunnskap om sitt nærmiljø basert på geografiske informasjonssystemer (Maptionnaire; <https://maptionnaire.com>).



Maskinlæringsmodellen NILU har utviklet klassifiserer ulike typer ildsteder den finner på bildene web crawleren henter fra finn.no, som vist på dette eksempelet (illustrasjonsfoto: Colourbox).



Case-studier ble gjennomført i Oslo, Akershus, Sarpsborg og Fredrikstad, noe som resulterte i rundt 1000 geolokalisererte svar med informasjon om folks vedfyring og miljøoppfatning.

For den andre metoden utviklet de et eget verktøy for å samle inn vedfyringsdata. Dette verktøyet gir deltakerne noe tilbake, i form av informasjon om de økonomiske kostnadene og miljøpåvirkningen forbundet med vedfyringen deres.

– Vi identifiserte viktige utfordringer innen datainnsamling basert på publikumsdeltakelse, så som frivillig engasjement, datakvalitet og representativitet i prøven, forklarer Lopez-Aparicio. – Det krever betydelige ressurser for å oppnå representativ deltakelse, og å skaffe data av god nok kvalitet til bruk i miljøforskning er ganske utfordrende.

Automatisk datautvinning

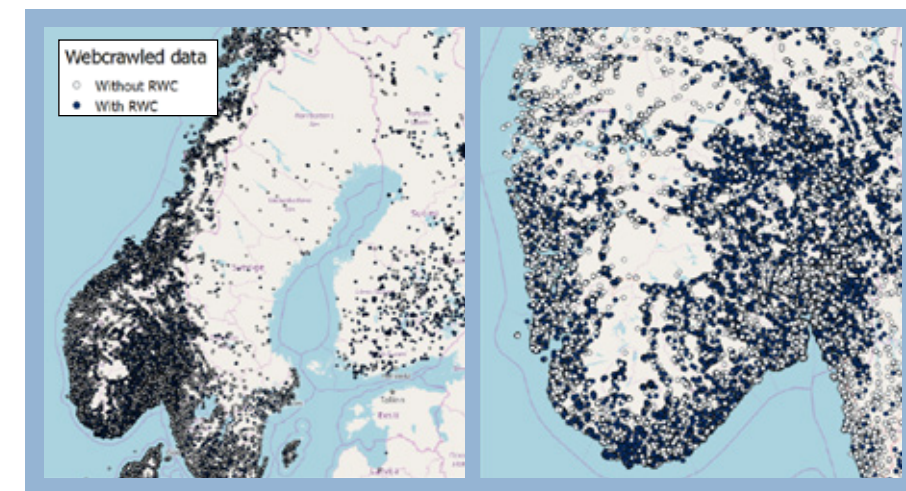
Når du utvikler en utslippsoversikt for boligoppvarming, handler noen av de viktigste spørsmålene om hvor ildstedene er, og i hvilken type bolig. Når forskerne vet dette, kan de identifisere vedfyringspotensialet for bestemte områder. Så iResponse-prosjektet

Web crawling

En web crawler (også kalt «web spider» eller «web robot») er et program eller et automatisert script som automatisk tråler Internett på jakt etter informasjon av interesse.

Datautvinning

Datautvinning («data mining») er en prosess som oppdager interessante og nyttige mønstre og relasjoner i store datasett, og bruker dette til å utvinne brukbare data.



Web crawler-data for Norden. Figur: Susana Lopez-Aparicio / NILU

utviklet en metode for automatisk datautvinning fra nettportaler som inneholder denne type opplysninger.

– Vi utviklet en såkalt «web crawling»-metode, sier Lopez-Aparicio. – Den henter ut den geografiske plasseringen av boliger annonsert på Finn.no, den norske rubrikkannonse-nettsiden som inneholder brorparten av alle norske boligannonser. Annonsene inneholder både bilder og detaljerte beskrivelser av boligene, inkludert type oppvarming (f.eks. varmepumpe, fjernvarme, vedovn) og boligtype (f.eks. enebolig, leilighet, tomannsbolig).

Bruker maskinlæring til å klassifisere ildsteder

NILU-teamet utviklet videre en modell for bildegjenkjenning og klassifisering basert på maskinlæring. Basert på bildene hentet fra Finn.no, identifiserer modellen ildsteder og klassifiserer dem med henholdsvis 81%, 85% og 91% sikkerhet for åpne peiser, gamle ovner og nye ovner.

Dataene samlet inn via web crawling

var avgjørende for utviklingen av en modell for å estimere høyoppløselige utslipp fra vedfyring. Dette arbeidet utføres i MetVed-prosjektet, finansiert av Miljødirektoratet og ledet av Lopez-Aparicio. Her har analysen av data fra forskjellige kilder vist hvor viktig datatilgjengelighet er, og dessuten understreket behovet for mer åpne data.

– Arbeidet vårt viser tydelig potensialet slike metoder har for å skaffe data med høyt detaljnivå, noe som er avgjørende for utviklingen av utslippsoversikter på urban skala, avslutter Lopez-Aparicio.

Arbeidet omtalt i artikkelen har blitt utført av et NILU-team ledet av Susana Lopez-Aparicio, og forøvrig bestående av:

- Henrik Grythe: Utvikling av utslippsmodell og dataanalyse
- Matthias Vogt: Dataanalyse
- Islen Vallejo: Utvikling av bildegjenkjenningsmodellen basert på maskinlæring

Om hybelkaniner og miljøgifter

Innemiljøet, det vil si hjemme, på jobb og på skolen, inneholder en rekke mulige kilder til både nye og gamle miljøgifter. For å finne ut mer om disse stoffene, har NILU-forskere gitt seg ut på «hybelkaninjakt» i norske boliger.

Sonja Grossberndt
Forsker

– Vi vet at det finnes et stort antall stoffer i miljøet vårt som kan ha potensial til å skade både økosystemene og helsen vår. Men vi vet fortsatt for lite om hvor disse stoffene kommer fra, og hvilke nye stoffer som kan være farlige for oss, forklarer seniorforsker Pernilla Bohlin Nizzetto fra NILUs avdeling for miljøkjemi.

Mer miljøgift inne enn ute

Vi tilbringer mesteparten av tiden vår inne. Dermed er vi utsatt for en rekke kjemiske stoffer som vi hverken ser eller lukter, men vi puster dem inn likevel. Flere kjente kjemiske stoffer har blitt påvist i høyere nivåer i innemiljøer enn i utemiljøer. Dette er et resultat av utslipp og frigjøring fra produkter og materialer vi har innendørs.

Forskere på NILU har jobbet mye med å finne ut hvilke stoffer som finnes i inneluften og hvordan man får samlet inn velegnete prøver for å analysere disse. Det har imidlertid vist seg at i tillegg til inneluften så er også husstøv og hybelkaniner fulle av miljøgifter. Lettere å samle inn prøver av er de også. Derfor har NILU på oppdrag fra Miljødirektoratet tatt støvprøver fra flere norske husstander, for å analysere dem for en rekke kjente og nyere kjemiske stoffer.

På jakt etter hybelkaniner

– Husstøv og hybelkaniner er kjent for de fleste. De er lette å samle inn, og de befinner seg oftest nær de potensielle kildene til stoffene de inneholder, forklarer Nizzetto videre. Sammen med andre kollegaer på NILU har hun analysert både støv- og inneluftprøver, og funnet mange stoffer med helse-skadelig potensial i høye konsentrasjoner. Resultatene er innlemmet i Miljødirektoratets årlige overvåkningsrapport «Screeningprogram for nye miljøgifter».

I tillegg til husstøv og inneluft har forskere fra NILU og Norsk institutt for

vannforskning (NIVA) analysert prøver fra renseanlegg og sigevann fra avfalls-deponier, samt sediment, overflatevann og biota relatert til de undersøkte renseanleggene. Prøvetypen med størst antall positive funn var husstøv og husstøv i kombinasjon med inneluft.

Hvor farlig er disse stoffene?

– Jeg er ikke overrasket over funnene, fortsetter Nizzetto. – De er en naturlig følge av at det stadig utvikles nye stoffer, som brukes i gjenstander mange av oss har hjemme. De finnes for eksempel i byggematerialer, kosmetikk, rengjøringsmidler, klær og møbler.

Enn så lenge vet ikke forskerne hvilken dose av disse stoffene som er farlig eller helseskadelig. Men er du bekymret kan du sjekke innholdsfortegnelsen på produktene du kjøper, og velge de med færrest farlige stoffer.

– Det er jo ikke alle som kan lese en slik ingrediensliste og forstå hva den betyr, sier Nizzetto. – Men du kan få veiledning gjennom svanemerket, eller bruke nettsiden www.erdetfarlig.no for å slå opp det du lurer på. I tillegg hjelper det å støvsuge litt oftere enn vanlig!

Kartlegging av miljøgifter innendørs

Hvis forskerne foreløpig ikke kan si noe om hvilken effekt miljøgiftene vi utsettes for hjemme har for helsen vår, hva kan man da bruke disse resultatene til? Svaret får vi av Martin Schlabach, seniorforsker på NILU.

Han er ansvarlig for screeningundersøkelsen, og forklarer at resultatene brukes til å kartlegge både forekomst og fravær av de ulike stoffene.

Mange miljøgifter opptre først i innemiljøet, før de kommer ut til utemiljøet. Det skjer for eksempel gjennom ventilasjon, kloakk, eller forbrenning av søppel. Slik settes miljøgiftene fri i luft, vann og sediment og transporteres deretter videre til steder langt unna stedet der de ble «sluppet fri».

– Man kan altså si at kartleggingen fungerer som et slags «early warning system», forklarer Schlabach. – Ved å



Støv og hybelkaniner kan inneholde miljøgifter.

Foto: NILU

kartlegge hvilke stoffer som forekommer innendørs kan vi påpeke hvilke miljøgifter som om kort eller lang tid også kommer til å finnes igjen ute. I tillegg vil det kanskje også være mulig å identifisere mulige kilder til miljøgiftene.

Forskning på spreng

Forskere over hele verden jobber på spreng for å identifisere nye miljøgifter, kildene til dem og hvor farlige de potensielt kan være for helse og miljø. Et eksempel på slik innsats er det internasjonale nettverket «NORMAN» (<http://www.norman-network.net/>), der referanselaboratorier, forskningssentre og relaterte organisasjoner jobber sammen om overvåkning av nye miljøgifter. Nettverket består av mer enn 50 medlemmer fra mer enn 19 land, som samarbeider i flere arbeidsgrupper. NILUs Pernilla Bohlin Nizzetto koordinerer NORMANs arbeidsgruppe for forbedring av metoder for å identifisere og overvåke nye miljøgifter innendørs, slik at det blir mulig å forbedre risikovurderingen av disse stoffene. Bedre risikovurdering vil gi bedre mulighet til å få på plass strengere regulering av, eller til og med et forbud mot, bruk av enkelte miljøgifter.

– Det er et stykke å gå, men vi er på god vei. Jo flere resultater vi får gjennom våre undersøkelser og analyser, jo lettere blir det å nå dette målet, konkluderer Nizzetto.

Smarte nanopartikler i kampen mot kreft

Nanomedisin gir unike muligheter for terapeutisk behandling, og multifunksjonelle nanopartikler har et stort potensial i kreftbehandling. Nå skal NILU bidra til at smarte nanopartikler, til bruk i både diagnostikk og behandling av lungekreft, også er trygge å bruke.

Elise Rundén Pran
Seniorforsker

NILU er partner i forskningsprosjektet GEMNS, «graphene-encapsulated magnetic nanoparticles». Målet med prosjektet er å utvikle trygge, multifunksjonelle nanopartikler som kan brukes til både bildediagnostikk og behandling av lungekreft.

Puslespill på nanoskala

I prosjektet overflatebehandles nanopartiklene slik at de gjenkjenner og kobler seg kun til kreftceller, og ikke til normale lungeceller. Etter at GEMNS-partiklene har bundet seg til reseptorene på overflaten av kreftcellene, frigjøres et enzym som kun dreper kreftcellene. Denne metoden skal også kunne brukes for målrettet strålebehandling.

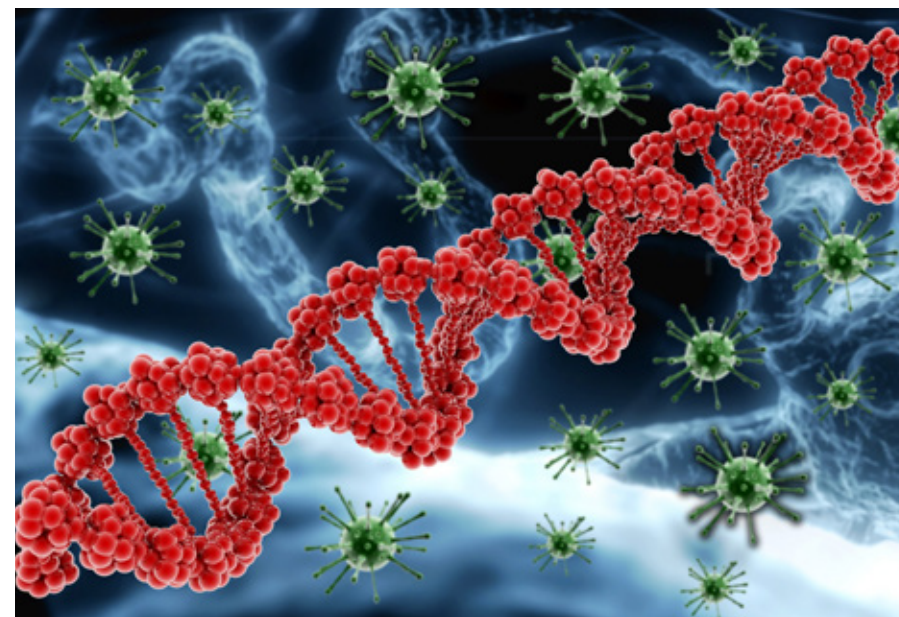
Safe-by-design

Når forskerne utvikler nye nanomaterialer, i dette tilfellet til bruk innen

Om GEMNS-prosjektet

GEMNS er et treårig prosjekt. Det er finansiert via EuroNanoMedII, som er et ERA-NET under EUs 7. ramme-program. Totalbudsjettet er på over 1,6 mill euro. Hensikten med EuroNanoMed-programmet er å overføre nanomedisinsk forskning (bruk av nanoteknologi for medisin og helsebehandling) fra lab til klinikk.

GEMNS har fire polske partnere, en fra Romania og to norske – Universitetet i Bergen og NILUs helseeffektlaboratorium. I GEMNS-prosjektet skal NILUs helseeffektlaboratorium bruke sin ekspertise fra mange internasjonale prosjekter innen nanotoksikologifeltet for å utføre toksisitetstesting av nanomaterialer og nanosikkerhet.



DNA og kreftceller. Foto: Shutterstock

nanomedisin, er det essensielt at de er trygge å bruke. Derfor testes GEMNS-nanopartiklene for å finne ut hvor giftige de er (såkalt «toksisitetstesting»), som et ledd i vurderingen av hvor trygge de er for fremtidig medisinsk bruk. Denne testingen gjøres i samsvar med globale regulatoriske krav.

I dette prosjektet benyttes «safe-by-design»-prinsippet, der toksisitetstesting utføres parallelt med den øvrige utviklingen av GEMNS-nanopartiklene. Forskerne skal utvikle fire ulike generasjoner av GEMNS-nanopartikler, hver av dem med et nytt element på overflaten. Så tester de hver generasjon for toksisitet, og finner ut hvilken variant som er minst giftig. Den minst giftige varianten selekteres for videreutvikling til neste partikkelgenerasjon etter samme mønster. En slik framgangsmåte for nanosikkerhet er både kostnads- og tidseffektiv.

Testing for toksisitet og effektivitet

Hittil i prosjektet har NILU-forskere

testet toksisitet av ulike metallkjerner, ulik størrelse på kjedeformede molekyler (polymerer) koblet til overflaten av partiklene og ulik lengde på linker for å koble til disse kjedene. Det brukes ulike tester for akutt giftighet for lungeceller (cytotoksitet), og alle testene er standardisert og validert for testing av nanomaterialer.

GEMNS-nanopartiklene testes også slik at det er lite sannsynlig at de kan skade DNA eller endre genuttrykk (epigenetisk modifisering ved global DNA metylering). Testingen utføres i humane lungeepitelceller. NILUs partnere gjør effektivitetsstudier og benytter også modellering for å undersøke om det er noen sammenheng mellom struktur av GEMNS-nanopartiklene og effekt (kvantitative struktur- og aktivitetsmodeller (QSAR)). Prosjektet har så langt vært vellykket, og fjerde og siste generasjon av GEMNS-nanopartikler er snart ferdig syntetisert og klare for testing for toksisitet og effektivitet.

Tusenvis spilte fotball for forskning

Hva var det som engasjerte 12 624 elever fra 286 skoler i 144 kommuner i 2017? Det var forskningskampanjen «Sjekk kunstgressbanen»!



Christine F. Solbakken
Kommunikasjonssjef

– Vi visste at rundt 3000 tonn gummi-granulat forsvinner fra norske kunstgressbaner hvert år, forklarer seniorforsker Dorte Herzke fra NILUs avdeling for miljøkjem. – Men vi ville finne ut mer om hvordan disse gummiknottene forsvinner og hva som skjer med dem videre, fordi de kan inneholde miljøgifter og bli spist av dyr. Og det er ikke bra for verken dyra eller miljøet.

Unikt forskningsprosjekt for barn og unge

For å få vite mer kom Herzke, i samarbeid med forskere fra Akvaplan-niva AS, Sintef Ocean, Havforskningsinstituttet, Norges forskningsråd og Nettverk for Miljølære (Skolelaboratoriet i realfag ved UiB) opp med idéen om å involvere barn og unge i en forskningskampanje. For det er jo de som bruker kunstgressbanene mest!

– Vi ville skape engasjement og kunnskap om temaet mikroplast, og om bruken av gummigranulat på kunstgressbaner over hele landet, forteller Herzke

videre. – Vi ville også vite mer om hvor kunstgressbanene er, hvilken type gummigranulat som brukes mest og hva som påvirker svinn av granulatet. Så det vi fant ut i løpet av denne kampanjen er både unikt i verden – ingen har gjort noe liknende noe sted – og svært verdifullt for videre forskning. Og som en bonus fikk vi elevene ut av klasserommet.

For å få vite mer, ble skoler over hele Norge invitert til å bidra med data for sine lokale kunstgressbaner via nettportalen «Sjekk kunstgressbanen». Elever og lærere undersøkte granulatene på «sine» baner, og spilte fotballkamper.



Her samles det opp gummigranulat på kunstgressbanen på Voldsløkka i Oslo. Foto: Christine F. Solbakken / NILU

Etter kampen sjekket de hvor mye gummigranulat som hadde festet seg til klær og sko, og meldte det inn til databasen i form av milliliter gummi per kamp, senere regnet om til milliliter per spiller. De oppga også informasjon om vær, antall spillere, kampenes varighet, beliggenhet og størrelsen på banen.

Topp engasjement, viktige funn

Alt i alt har 12 624 elever og 403 lærere

Hvordan forsvinner gummiknottene?

På hver vanlige kunstgressbane for 11 spillere ligger det mellom 100 - 200 tonn gummiknotter. Danske tall viser at mellom 1,5 og 2,5 tonn gummigranulat forsvinner fra hver slike bane hvert år.

I Norge har vi ca. 1600 kunstgressbaner, av disse er det 1058 «elleverbaner». Resten er mindre baner og ballbinger. Ifølge tallene fra Danmark vil det si at mellom 1600 og 2650 tonn gummiknotter forsvinner bare fra elleverbaner hvert år. Dette er veldig mye plast.

Dermed ønsket de norske forskerne å finne ut både om disse tallene kunne stemme, hvordan gummigranulatet forsvinner, og om det går an å gjøre noe med det.

Se resultatene fra «Sjekk kunstgressbanen» her.

fra 286 skoler i 144 kommuner spilt 594 fotballkamper på i snitt 29 minutter. De har sjekket 344 kunstgressbaner, og hver spiller har i snitt hatt med seg 1,9 ml gummigranulat vekk fra banen etter kampene.

– De viktigste funnene elevene og lærerne har bidratt til er at vi nå vet at i 2017 var mer enn 80% av gummigranulatet på norske kunstgressbaner laget av SBR, det vil si brukte bildekk, forteller Herzke. – Vi vet også at været har mye å si for hvor mye gummigranulat som fester seg til klær og sko, er det vått blir mer med spillerne vekk fra banen.

Forskerne har brukt tallene fra prosjektet til å regne ut hvor mye gummigranulat som forsvinner fra norske fotballbaner totalt hvert år. For de 355 000 kampene Norges fotballforbund oppgir vil det si ca. 44 ml per kamp (2x11 spillere), som blir 14 740 liter til sammen. 14 740 liter veier ca. 6,5 tonn. Forskerne har videre antatt at det spilles rundt ti ganger så mange treningskamper som offisielle kamper, ergo ender det på at spillere tar med seg 65 tonn gummigranulat fra norske baner hvert år.

– Fotballspillerne står jo heller ikke for alt svinn, sier Herzke. – Svært mye gummigranulat forsvinner fra kunstgressbanene gjennom direkte avrenning gjennom avløpene på banene, snømåking, vind og vær. Men uansett

hvordan det føres vekk fra banene kan mye av gummigranulatet ende i havet til slutt, blant annet på grunn av for dårlig rensing av avløpsvann over store deler av landet. Så det må vi se mer på i fremtiden.

Hva er gummigranulat laget av?

Det finnes ulike typer gummigranulat på norske kunstgressbaner. Den mest brukte er såkalt SBR fra oppmalte bildekk. I tillegg brukes TPE, som er kunstig fremstilt og kommer i flere farger og former, og EPDM. EPDM ligner på SBR i form, men kan leveres i forskjellige farger. Granulat av oppmalt kork forekommer også.

«Sjekk kunstgressbanen» var et samarbeid mellom NILU, Akvaplan-niva AS, Sintef Ocean, Havforskningsinstituttet, Norges forskningsråd og Nettverk for Miljølære. Framsenteret bidro med midler til gjennomføringen.

Mer om forskningskampanjen 2017

Resultatene fra «Sjekk kunstgressbanen» skal brukes direkte i det pågående forskningsprosjektet *Microplastics from artificial sports pitches: composition, degradation and biological interactions (MARS)*, som finansieres med midler fra Framsenteret.



Elever fra Elvebakken videregående skole deltok i prosjektet høsten 2017. Foto: Christine F. Solbakken / NILU

Når forskning leder til innovasjon

NILU har over tid satset tungt på utvikling av nye prosjekter og etablering av innovative tjenester. Involvering på tvers av instituttet har vist seg å være en god oppskrift på solide muligheter.

*Christine F. Solbakken
Kommunikasjonssjef*

NILUs innovasjonsstrategi sier blant annet at «Innovasjon skal bidra til at NILUs forskning nyttiggjøres på nye områder og måter i samfunnet». Dette er utgangspunktet for innovasjonsavdelingen på NILU, som per i dag teller fire personer.

Intern innovasjonsstøtte

Som leder for NILUs avdeling for software- og hardwareutvikling har utviklingssjef

Rune Ødegård etter hvert fått rutine på å tenke i litt uvante baner og se etter nye løsninger og muligheter som kanskje kan utvikles videre i en kommersiell setting. Hans ansatte samarbeider ofte og gjerne med Innovasjonsavdelingen.

– Det er viktig å åpne for muligheter, sier han, – og med Innovasjonsavdelingens hjelp har mine ansatte begynt å oppdage NILUs innovasjonsstøtte. Nå kommer det stadig idéer til innovasjonsprosjekter, også fordi oppfølgingen og tilretteleggingen har blitt langt mer profesjonalisert de siste årene.

Flere veier å gå

Intern støtte til innovasjon er et aktivt grep fra NILUs side. Instituttet har hatt egen innovasjonsdirektør siden 2008, og siden har det blitt jobbet på tvers av hele instituttet for å bygge opp både software- og hardwaretjenester. Innovasjonsavdelingen satser aktivt på å fange opp og utvikle innovative tjenester som på sikt har mulighet til å utvikle seg til noe mer.

– Innovasjon for oss på NILU handler om å finne de beste strategiene for implementering og bred anvendelse av nye løsninger, både produkter og tjenester. Dette kan være open source-avtaler, lisensiering, etablering av et nytt aksjeselskap eller lisensiering av løsningen til næringsliv eller offentlige aktører, sier innovasjonsdirektør Pål Midtlien Danielsen.

Følger opp en politisk satsing

Det er solid politisk oppslutning om grønne, digitale løsninger. Norges forskningsråd legger stor vekt på innova-

sjon og brukerstyrte prosjekter, og særlig Brukerstyrt innovasjonsarena (BIA) vil være viktig for NILU framover.

– I BIA legges det vekt på å utvikle løsninger for eller i samarbeid med næringslivet, sier Danielsen, – og vi må vise evne til å involvere brukerne. Det er spennende, og vi ser mange muligheter for NILU her.

Et annet interessant program er IKT i Horisont 2020 (ICT LEIT), med flere aktuelle utlysninger i 2018.

– Det er rom for mye innovasjon i disse programmene, sier Ødegård. – Når idéen så utvikler seg videre til et eget selskap fortsetter NILUs utviklingsavdeling å være viktig for dem, vi er med på å ivareta selskapets interesser.

Ikke all forskning tar tiår

I de tilfeller hvor NILU etablerer nye selskaper, om de er datterselskaper eller frittstående, kan det altså bety videre samarbeid og nye prosjekter for NILU.

– Å tenke innovativt handler mye om å lære seg å tenke annerledes, sier Ødegård. – Vi ser nye muligheter, vi oppsøker nye samarbeidspartnere. Vi har også blitt flinkere til å vise oss fram, og vise at forskning kan være næringsvennlig. Ikke all forskning tar tiår, heldigvis!

Vil ha løsninger som gir miljøgevinst



Foto: Ingunn Trones.

Når samfunn utvikler seg, endres samtidig målene man styrer etter. De senere årene har bærekraftige løsninger med miljøgevinst blitt stadig viktigere, både politisk og forskningsmessig.

Også innen industri og næringsliv er slike miljøløsninger sentrale for videre utvikling.

– Oppdrag fra industrien utgjør ca. 15% av NILUs inntekter, og vi ser tydelig at industri og næringsliv blir stadig viktigere for bærekraftig samfunnsutvikling, sier Leonor Tarrasón, markedsdirektør for miljøløsninger på NILU.

Markedsdirektørstillingen ble opprettet i 2017 for å styrke og videreutvikle instituttets bidrag og potensial i det grønne skiftet. Tarrasón er tydelig på at tiden er inne for å satse.

– I Norge har vi en fordel i at vi ikke har noen få markedsgiganter, vi har i stedet mange små aktører som kan samle seg i klynger for å romme innovasjon og mulighet til å vokse. Utfordringen ligger i å vokse sunt samtidig som man utvikler seg videre, sier hun.

Løsningen for sunn vekst, ifølge Tarrasón, ligger i forskningen. Det gjelder å samle forskjellige typer kunnskap. Hvis man klarer å legge til rette samarbeid mellom forskere, politikere og industri og næringsliv kan det bety mye for videre utvikling av innovative klynger i Norge.

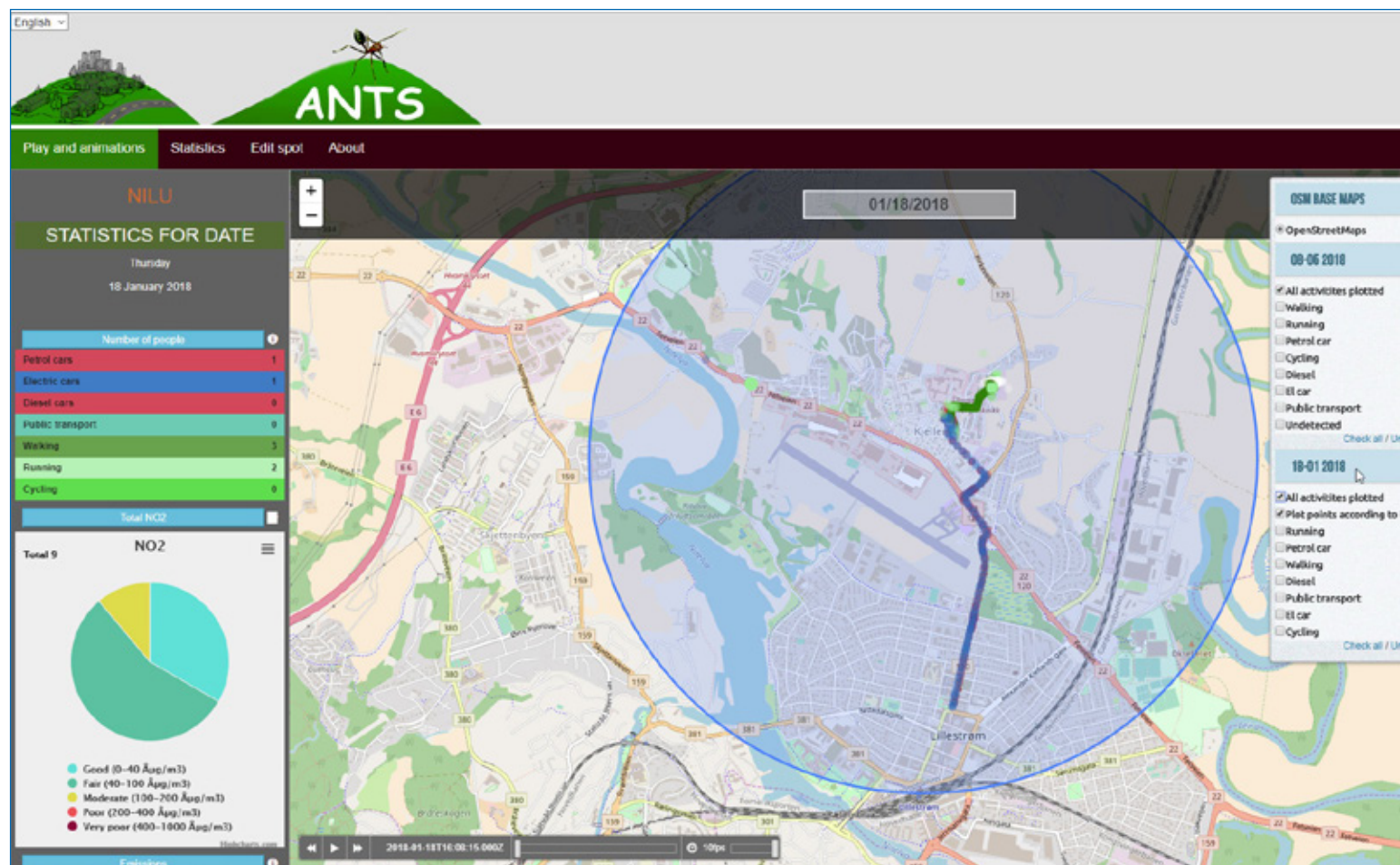
– Derfor er det viktig at vi som jobber innen forskning blir flinkere til å utvide nettverkene våre, sier hun. – Vi må jobbe mer tverrfaglig og ta mer samfunnsansvar. Verken forskning eller innovasjon kan eksistere i vakuum, da er vi ikke til nytte, men forskerne må tidligere på banen.

Tarrasón ønsker å utfordre NILU både på det å ikke bare identifisere effekten av tiltak, men også utvikle løsninger og metoder i den hensikt å unngå negative effekter. Tanken er at dersom man fra starten av jobber med å identifisere og eliminere mulige negative effekter vil man ende opp med mer gjennomtenkte løsninger, som dessuten er bedre for miljøet.

– Vi er i den heldige posisjon at NILU er et tverrfaglig institutt med bred og solid kompetanse innen en rekke forskjellige fagfelt, og det må vi utnytte, sier hun. – Vi må identifisere komplementariteten og synergiene, tenke nytt og utforske hvilke muligheter vi har uavhengig av tradisjonelle roller og mønstre. Vi har laboratoriene, vi har teknologien, det gjenstår bare å føre de kloke hodene sammen om å utvikle nye idéer.

NILUs innovasjonsprosjekter og nystartede selskaper

- INNOSENSE: I samarbeid med NILU har InnoSense AS utviklet en banebrytende mikrosensorplattform som på en presis og kostnadseffektiv måte måler relevante gasser i luften.
- ECLECTIC er et nystartet selskap som har til hensikt å tilby luftkvalitetstjenester til bilindustrien ved hjelp av tjenestene:
 - SMART luftinntak
 - Grønne soner
 - We CARE-appen
- Leopard – utvikling av en bærbar partikkel/støv-sensor for bruk i industrien.
- ANTS – utvikling av en spillbasert app som skal motivere til grønne transportvalg.
- «Modeling as a service» - dette er ny tjeneste som er under utvikling. NILU vil tilby tjenester til kommunene for å gjennomføre spredningsberegninger og ulike tiltak via en brukervennlig webtjeneste.
- Bedrock – utvikling av en enkel sensor for måling av avstanden fra overflatenivå til grunnfjell.



Skjerm bilde fra ANTS.

Klimaavtrykk og livsløpsvurdering

Du kjenner kanskje allerede til begrepet «klimaavtrykk». Men vet du også hvordan det beregnes og hva det kan brukes til?

Sonja Grossberndt, forsker, og Evert Alwin Bouman, forsker

Som mange kanskje vet, betyr «klimaavtrykk» den totale mengden klimagasser eller karbondioksid som slippes ut i atmosfæren som følge av ulike aktiviteter. Et klimaavtrykk inkluderer både direkte og indirekte utslipp. Direkte utslipp er de utslippene som oppstår i løpet av en bestemt aktivitet, f.eks. utslipp fra bensinforbrenning mens du kjører bil. Indirekte utslipp er knyttet til hele verdikjeden som støtter den omtalte aktiviteten. Da tar vi med utslipp fra f.eks. produksjonen av bilen og dens komponenter.

Kvantifisering av klima- og andre miljøavtrykk

– Miljøavtrykk fra enkeltaktiviteter kan beregnes ved hjelp av livsløpsvurderinger (Life Cycle Assessment, LCA), forklarer Evert Bouman, forsker ved NILUs avdeling for miljøeffekter og bærekraft.

– Livsløpsvurdering er et verktøy for kvantifisering og vurdering av en rekke potensielle miljøpåvirkninger fra bruk av produkter eller tjenester. Det kan bidra til å identifisere uforutsette konsekvenser – såkalt «miljøproblemforskyvning».

Problemforskyvning kan oppstå når en foreslått løsning for å redusere (direkte) utslipp fra en aktivitet fører til økte utslipp andre steder. CO₂-fangst på et kraftverk krever for eksempel energi samtidig som det reduserer nettoeffektiviteten. Dermed må mer kull eller naturgass forbrennes, noe som betyr

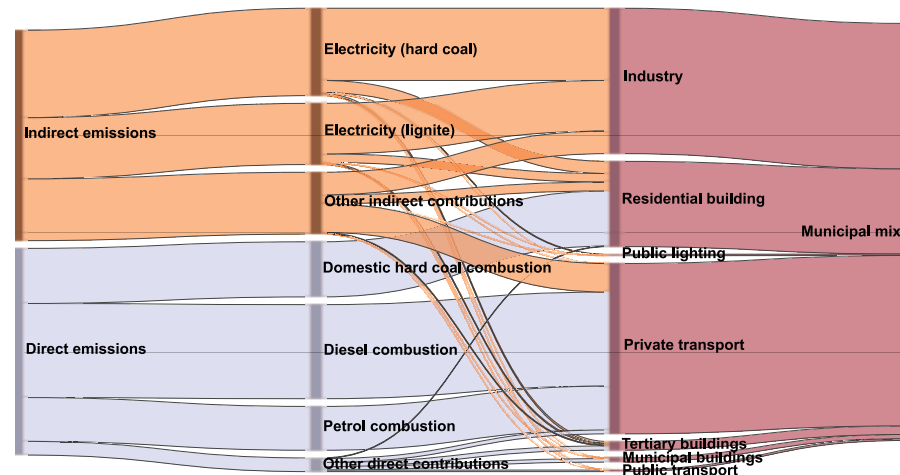
at både ressursbruken og utslippene øker i andre deler av verdikjeden. Men livsløpsvurdering kan ikke bare beregne produkters klimaavtrykk. Verktøyet kan også brukes til å kvantifisere andre miljøpåvirkninger, som for eksempel hvordan utslipp påvirker helse og økosystemer. Beregning av disse miljøavtrykkene og identifisering av potensiell miljøproblemforskyvning gir dermed grunnlag for å velge den mest miljømessig bærekraftige løsningen.

Energibalanse og klimaavtrykk i Polen

I 2017 var Rebecca Thorne, Evert Bouman og Cristina Guerreiro fra NILU med på å beregne energibalansen og klimaavtrykket fra 17 polske kommuner. Prosjektet ble ledet av Częstochowa polytekniske universitet og finansiert med EØS-midler.

Alle kommunene ble bedt om å rapportere inn data om sitt energiforbruk til NILU klassifisert etter sektor (f.eks. transport, oppvarming og belysning) og energibærer (for eksempel elektrisitet, bensin og kull). NILU-teamet brukte disse opplysningene til å bygge en livsløpsmodell og beregne avtrykk for hver kommune. NILU-analysen brøt også ned avtrykket etter sektor og bidrag fra energibærerne.

– Eksempler på resultater fra en av kommunene vises i den følgende figuren, fortsetter Bouman.



Sektorers og energibæreres relative bidrag til klimaavtrykket i en av deltakende polske kommunene.

– Industri, boligbygg og privat transport er de viktigste kildene til utslipp. Men mens de fleste utslipp fra privat transport og byggevirksomhet er direkte (fra forbrenningsprosesser), er utslippene fra industrien indirekte (fra strømforbruk). Figuren fungerer også som en veiledning for hvor retningslinjer og vedtak kan ha størst effekt når du vil fokusere på utslippsreduksjoner. For denne kommunen vil for eksempel nye retningslinjer knyttet til reduksjon av utslippene i offentlig transport ha en mindre effekt på totale kommunale utslipp enn tiltak rettet mot næringsliv eller privat transport.

– Våre erfaringer i Polen har vist at ett enkelt tiltak ikke vil kunne redusere klimagassutslippene fra kommunene, da hvilke sektorer som bidrar mest til CO₂-avtrykket varierer stort fra kommune til kommune, konkluderer Bouman. – Snarere vil kommunenes klima- og energiplanlegging dra nytte av mer skreddersydde løsninger. Eksemplet fra de polske kommunene viser at livsløpsvurdering er et verdifullt verktøy for å støtte miljøbeslutninger. Det vil også være en av NILUs nøkkelmetoder innen bærekraftsvurderingstjenester i fremtiden.

Miljøkjemisk kildesporing – jakten på miljøkjeltringer

Oljesøl, tankskipulykker, kjemiske katastrofer – plutselig slippes stoffer som kan skade både mennesker og natur ut i miljøet. Er det mulig for forskere å spore miljøsynderne?

Sonja Grossberndt, forsker, og Stephen Michael Mudge, seniorforsker

– Svaret er ja, sier Stephen Michael Mudge, seniorforsker ved avdeling for miljøeffekter og bærekraft på NILU.

Miljø-CSI

Dette forskningsområdet kalles miljø-kjemisk kildesporing, på engelsk «environmental forensics», og minner mye om det praktiske politiarbeidet som utføres på åsteder.

– Det er egentlig ikke så annerledes, siden hver kontakt etterlater et spor, forklarer Mudge.



Stephen Michael Mudge. Foto: Finn Bjørklid.

– Miljøkjemisk kildesporing beskriver den vitenskapelige studien av forurensninger i miljøet. Ved hjelp av moderne teknologi kan vi identifisere kilden(e), risikoen, hvor lang tid som har gått mellom utslipp og måling, og hvor store de eventuelle biologiske effektene er.

Å vite alt dette er til stor hjelp når du skal finne den beste løsningen på et miljøproblem. Næringsliv, regulerende myndigheter og advokater kan alle dra nytte av en slik undersøkelse, både under og etter hendelser som fører til forurensning.

Kilde – forløp – mottaker

Mudge har lang erfaring fra mange miljøkjemiske kildesporingssaker.

– Vanligvis ser vi etter en eller flere potensielle kilder til forurensninger til miljøet, forklarer han.

– Forurensningene kan transporteres via flere veier fra kilden til mottaker. Det kan være via luft, vann, sedimenter eller jord, eller via planter, dyr og mennesker. Hvis mottakeren er en levende organisme, er det også nødvendig å måle hvordan kilden(e) potensielt påvirker den.



Visste du at det er mulig å:

- Angi potensiell utslippsdato for enkelte stoffer?
- Skille nylige utslipp fra gamle utslipp av samme forbindelse?
- Bestemme hvordan bakgrunns- og grunnlinjetilstanden var i forkant av et utslipp?
- Beregne kildefordelingen i komplekse blandinger?
- Spore forurensningsveien gjennom miljøet?

rede betydelige analyseressurser, og i satsingen på miljøkjemisk kildesporing tas det sikte på å benytte instituttets sensitive instrumenter for å gi ytterligere innsikt i miljøtilstanden.

Satsingen vil også bli utvidet til gjenskaping av miljøhistorier, for å kunne bevise endringer i miljøet. Disse endringene kan skyldes naturlige prosesser, klimainduserte endringer eller teknologiske hendelser. Dette inkluderer også utslipp, planlagte eller ikke planlagte. For eksempel kan visse trær registrere enkelte luftbårne forurensningsbelastninger i årringene sine. En analyse av årringene kan gi en relativt høyoppløselig oversikt over konsentrasjonen av disse forurensningene gjennom tidene.

– Miljøkjemisk kildesporing er et veldig spennende fagfelt, med et bredt utvalg av forskningsmuligheter. Jeg ser fram til å fortsette utviklingen av faget på NILU, sier Mudge.

Forurenseren betaler

Hvem er forurenseren?
Mer enn én?
Riktig som er identifisert?

Hvilken skade har de gjort?
Ingen andres?
Hva var der tidligere?

«Forurenseren betaler»-prinsippet

Prinsippet om at «forurenseren betaler» har vært et viktig aspekt ved nyere miljølovgivning, selv om den enkle formuleringen skjuler en rekke komplekse spørsmål: Hvem er forurenserne? Hvor mye bidro hver av dem til systemet? Hvilken «skade» forårsaket de? Kan du skille mellom historiske og naturlige kilder, og stoffer som nylig har blitt sluppet ut? Hva skal forurenserne betale for? Hvordan «kompenserer» du for skaden? Miljøkjemisk kildesporing kan besvare disse spørsmålene.

Miljøkjemisk kildesporing på NILU

Miljøkjemisk kildesporing er et nytt forskningsfelt på NILU. NILU har alle-

Ser inn i vulkanutslipp

Gasser fra vulkaner kan påvirke klimaet, miljøet og samfunnet. Disse gassene frigjøres ikke bare ved voldsomme utbrudd, men også når vulkanen er i ro.

Jonas Gliß forsvarte sin doktorgrad ved Fysisk institutt på Universitetet i Oslo 10. november i år. Arbeidet er utført ved NILUs avdeling for atmosfære og klima. Tittelen på avhandlingen hans er «Passive UV remote sensing of volcanic sulphur and halogen emissions».

Doktorgradsavhandlingen gir ny innsikt i effekten av halogenutslipp fra vulkaner. I tillegg bidrar Gliß med nye analysemetoder og programvare som vil bidra til å redusere usikkerhetene knyttet til estimeringen av vulkanske svovelutslipp.

Påvirker klimaet

I avhandlingen fokuserer Gliß på målinger av vulkanske gassutslipp og deres innvirkning på miljøet og samfunnet ved hjelp av optiske fjernmålingsteknikker. Han ser særlig på utslippene av halogener (brom og klor) og svovelforbindelser, som kan ha stor innvirkning både lokalt og globalt.

– Svoveldioksid (SO₂) kan være skadelig for mennesker og dyr i høye konsentrasjoner og kan ha innvirkning på miljøet både i vann og på land i form av sur nedbør, forklarer Gliß. – I tillegg til å være en forløper for svovelholdige aerosoler, kan SO₂ påvirke klimaet direkte, særlig ved voldsomme eksplosive utbrudd. Da kan gassene nå stratosfæren, der de omdannes til aerosoler. Disse aerosolene kan forbli der i måneder og år, og motvirke global oppvarming ved å fungere som et «speil» som reflekterer innkommende solstråling. Et kjent eksempel er utbruddet av den filippinske vulkanen Mt. Pinatubo i 1991. Det førte til at den globale gjennomsnittlige troposfæriske temperaturen i etterkant sank med 0,5-1,0°C.

– Utslippene av halogenarter kan påvirke atmosfærens oksidasjonstilstand og reaktivitet, forteller Gliß videre. – Inne i en vulkansk utslippssky omdannes de til meget reaktive halogenradikaler som effektivt kan påvirke viktige klimagasser som ozon (O₃) og metan (CH₄).



Jonas Gliß avla sin doktorgrad i november 2017.

Med dette doktorgradsarbeidet er Gliß den første som undersøker den kombinerte kjemiske utviklingen av reaktivt klor og brom i den ferske utslippsskyen fra Mt. Etna i Italia. Dette gjør han ved hjelp av en spektroskopisk teknikk som kalles Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS). Målingene fører til bedre forståelse av halogenkjemien til klor i vulkanske utslippsskyer, og da spesielt problemer tilknyttet klimaet (for eksempel nedbryting av ozon og metan).

Bedre SO₂-estimerer

Den andre delen av avhandlingen tar for seg UV SO₂-kamerateknologien. Disse kameraene kan brukes til å måle det totale vulkanske utslippsbudsjettet av den giftige og skadelige svoveldioksidgassen (SO₂), gjennom bruk av ultrafiolett sollys som lyskilde.

Gliß utviklet åpen kildekode-programvaren Pyplis som del av sin PhD. Programvaren inneholder en omfattende samling av algoritmer og rutiner som brukes til å analysere bildedata for å kunne estimere SO₂-utslippsrater. Målet med Pyplis er å forene ulike analyse-

metoder, gjennom økt åpenhet, mer effektive analyser og muligheten til å utføre sammenligningsstudier.

For å beregne vulkanske SO₂-utslippsrater må man kjenne gasshastighetene i utslippsskyen. Disse kan måles direkte fra UV-bildene ved hjelp av optiske strømningsalgoritmer. Optiske strømningsalgoritmer sporer kontraster i tidsrekker av bilder og estimerer gasshastighet på pikselnivå. Et vanlig problem med slike algoritmer er at de ikke kan oppdage bevegelse i homogene områder av bildene, og det kan føre til betydelig underestimering av SO₂-utslippene.

I sin avhandling foreslår Gliß en korreksjon basert på en lokal statistisk analyse av et hastighetsfelt innhentet via en optisk strømningsalgoritme. Ved å bruke to datasett fra vulkanene Mt. Etna i Italia og Guallatiri i Chile, viser han at den foreslåtte korreksjonen fungerer bra og kan forbedre analysenes robusthet og pålitelighet. I tillegg gir studien de første målingene av SO₂-utslipp fra Guallatiri.

Nøkkeltall

Utdrag fra årsregnskap: Alle tall i MNOK

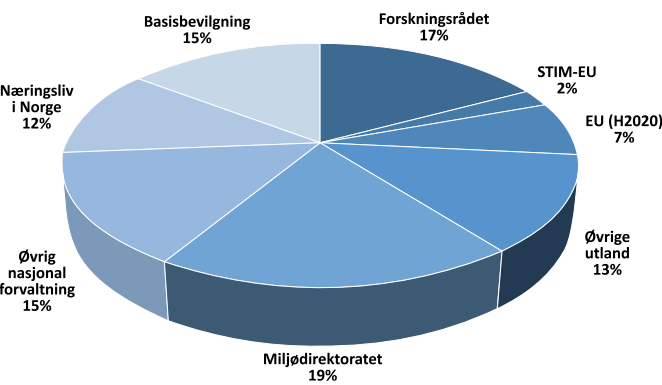
Resultatregnskap	2017	2016
Prosjektinntekter	149,9	158,0
Basisbevilgning*	29,4	28,4
Nasjonale oppgaver og tildelinger	16,3	16,3
STIM-EU	4,3	3,5
Andre inntekter	0,1	0,8
Driftsinntekter	200,0	207,0

Lønn og sosiale kostnader	-136,6	-138,1
Eksterne utlegg	-24,6	-27,8
Andre driftskostnader	-35,7	-35,9
Driftsresultat	3,1	5,3
Netto finansposter	0,3	-1,0
Skatt på ordinært resultat	-2,0	-2,3
Årsresultat	1,4	2,0

Balanse	31.12.17	31.12.16
Anleggsmidler	98,7	100,0
Omløpsmidler	100,5	96,9
Sum eiendeler	199,2	196,9

Egenkapital	123,8	122,4
Kortsiktig gjeld	75,4	74,5
Sum gjeld og egenkapital	199,2	196,9

PROSJEKTPORTEFØLJE – PROSENTVIS FORDELING 2017



*ink. strategiske instituttsatninger

Antall utførte årsverk	2017	2016
Totalt	162	163
– herav forskerårsverk	104	104
– herav årsverk andre ansatte	58	59
Omsetning per forskerårsverk	1 923	1 990

Antall ansatte	31.12.17	31.12.16
Totalt fra over 20 ulike nasjoner	171	176
– herav kvinner	86	92
– herav menn	85	84
Antall ansatte med doktorgrad	69	68

NILUs utgivelser	2017	2016
Vitenskapelige artikler	130	130
Oppdragsrapporter	45	35
EMEP/CCC-rapporter	4	4
Foredrag	170	136
Postere	26	41

I tillegg bidro NILUs forskere til utgivelse av:

Eksterne rapporter	41	20
Kapitler/artikler i bøker/rapporter	20	33



www.nilu.no

NILU – Norsk institutt for luftforskning
Hovedkontor
Postboks 100
NO-2027 Kjeller
Norge
Besøksadresse: Instituttveien 18, Kjeller
Telefon 63 89 80 00
Telefaks 63 89 80 50
E-post nilu@nilu.no
www.nilu.no

NILU i Framsenteret
Hjalmar Johansens gate 14
NO-9296 Tromsø
Norge
Telefon 63 89 80 00
Telefaks 63 89 80 50
E-post nilu@nilu.no
www.nilu.no

NILU Polska Ltd
Centrum Energetyki AGH
C5 ul. Czarnowiejska 36 pok. 017
30-059 Kraków
Poland
Tel. + 48 519 165 371
E-mail: nilupolska@nilu.pl
www.nilupolska.eu

ISBN 978-82-425-2928-2 (trykt utgave)
ISBN 978-82-425-2926-8 (elektronisk utgave)