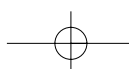
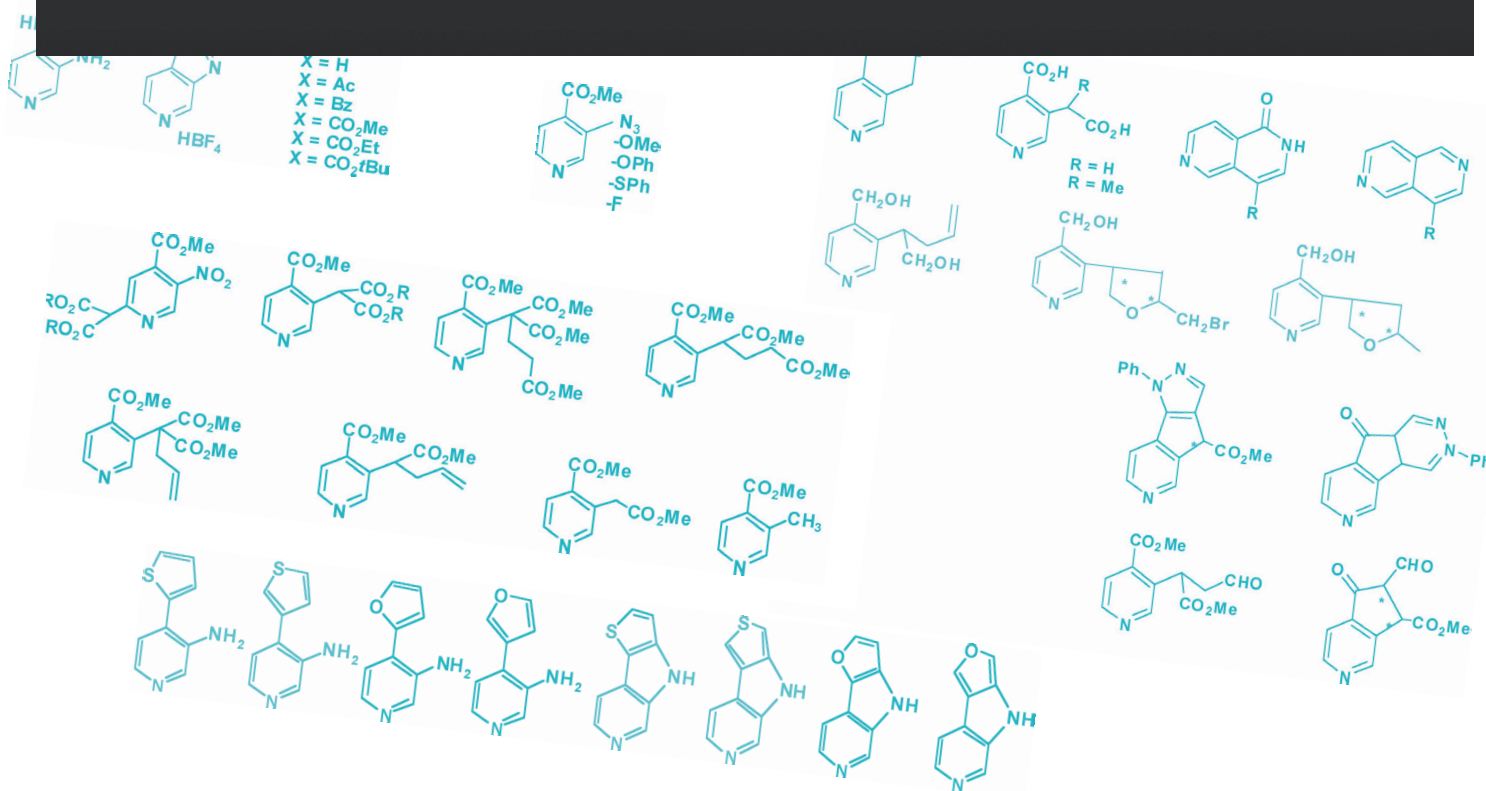


Sluttrapport

Katalyse og organisk syntetisk kjemi (KOSK)

 Norges forskningsråd | Forskningsprogrammer



Innhold

| | |
|---|----|
| Kjemi = Helse, velstand og miljø | 3 |
| Platinakomplekser for mer miljøvennlig naturgass | 5 |
| Humanmedisinen henter våpen fra marine svamper | 6 |
| Ny peptid-klasse dreper bakterier på rekordtid | 7 |
| Miljøvennlig kjemi er sunt og billig | 8 |
| Statistikk gjør kjemien mer verdt | 9 |
| Bedre katalysatorer reduserer utslippene av klimagasser | 10 |
| – Utdanningen er det aller viktigste | 12 |
| Metanoldrevne mikrokraftverk kan erstatte bakterier | 13 |
| Nye byggesteiner for kjemikerne og industrien | 14 |
| Speilbilde-molekylene må skilles fra hverandre | 15 |
| Smart kjemi kan gi nytt liv til svekkede legemidler | 16 |
| Fire atomer bra, tre og fem dårlig | 17 |
| Prosjekter i KOSK | 18 |

2

Programstyret for KOSK

1999 – 2003

Leiv K. Sydnes, Universitetet i Bergen (leder)
 Rolf E. Carlson, Universitetet i Tromsø
 Torbjörn Frejd, Universitetet i Lund
 Lise-Lotte Gundersen, Universitetet i Oslo
 Anne-Mette Hilmen, Shell Technology Norway AS
 Karl Petter Lillerud, Universitetet i Oslo
 Kjell Moljord, Statoil forskningscenter
 Åse Slagtern, SINTEF

2003 - 2007

Leiv K. Sydnes, Universitetet i Bergen (leder) (2003)
 Torbjörn Frejd, Universitetet i Lund (leder 2004-2007)
 Inger Reidun Aukrust, Synthetica AS
 Anne Fiksdahl, NTNU
 Anne-Mette Hilmen, Shell Technology Norway AS
 Sven Järås, KTH, Stockholm
 Kristina Luthman, Universitetet i Gøteborg (2004-2007)
 Kjell Moljord, Statoil forskningscenter
 Unni Olsbye, Universitetet i Oslo (2003-2005)
 Mats Tilset, Universitetet i Oslo (2006-2007)

Fakta om KOSK

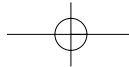
Forskningsprogrammet Katalyse og organisk syntetisk kjemi (KOSK) hadde som hovedmål å gi økt verdiskapning innen norsk kjemisk industri.

Katalyse ble valgt fordi dette er en nøkkelt teknologi for videreforedling av gassressurser til petrokjemiske produkter og drivstoffer.

Organisk syntese er sentralt i alle forhold som har med helse og velstand å gjøre. Utvikling av nye materialer, legemidler, plantevernmidler til landbruket, økt avkastning og verdiskapning fra landbruksproduksjonen, er eksempler på viktige anvendelser.

De strategiske målene var:

- Økt verdiskapning av norske petroleumsressurser med spesiell vekt på utnyttelse av naturgassen
- Etablere slagkraftige forskningsgrupper innen organisk syntese ved universitetene og instituttene
- Øke antallet kandidater innenfor katalyse og organisk syntese, for å tilfredsstille industriens og forskningsinstituttens behov for kvalifisert arbeidskraft, og legge grunnlaget for framtidig ekspansjon og nyetablering innen kjemisk industri
- Oppnå samvirke mellom forskningsgrupper i Norge, og oppnå økt samarbeid med de internasjonale forskningsmiljøene innenfor katalyse og organisk kjemi



Kjemi = helse, velstand og miljø

Den kjemiske grunnforskningen er i dag kommet så langt at kjemikerne kan designe og produsere nye og interessante molekyler med stor presisjon, for bruk til alt fra legemidler eller akebrett til industrigass eller videre forskning. Samtidig er kjemifaget midt inne i et viktig veiskille, der de nye kunnskapene blant annet brukes til å gjøre faget mer ressurs- og miljøvennlig.

Kjemifaget danner grunnlaget for en kjemisk industri med ca 550 bedrifter og 22 000 ansatte i Norge, men er også en grunnleggende naturvitenskap som, på en eller annen måte, inngår i nær sagt alt som finnes av produkter og tjenester i et moderne samfunn. Det var derfor grunn til bekymring da en internasjonal evaluering i 1998 viste at den kjemiske forskningen ved norske universiteter og høyskoler hadde sakkert akterut på en del punkter. KOSK-programmet var delvis et resultat av denne evalueringen, og seks år senere har programmet dokumentert både verdien av evalueringer og verdien av den kjemiske forskningen i Norge. Kjemi var for øvrig det første fagfeltet som ble evaluert i Norge på denne måten.

Evalueringen påpekte blant annet at både antallet aktive forskere og de økonomiske ressursene i Norge var lavere enn i andre land. – Den viste også at mange forskningsgrupper var for små, og at det var behov for å utvikle større enheter med mer samarbeid.

Evalueringen fastslo også at Norge hadde gode muligheter innen blant annet katalyse og organisk syntese, og KOSK ble derfor opprettet for å gi disse



KOSK-ansvarlige: Fra venstre prosjektingeniør Anne-Mette Hilmen, Shell Technology Norway; professor Sven Järås, KTH, Stockholm; professor Kristina Luthman, Göteborgs universitet; professor Torbjörn Frejd, Lunds universitet; professor Mats Tilset, Universitetet i Oslo; programkoordinator Trude Dypvik, Norges forskningsråd; professor Leiv K. Sydnes, Universitetet i Bergen; professor Anne Fiksdahl, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. (Foto: Bjarne Røsjø)

miljøene anledning til å utvikle seg videre, forteller Leiv K. Sydnes, som er professor i organisk kjemi ved Kjemisk Institutt, Universitetet i Bergen. Han er

også en av nestorene i faget, med en hel rekke gjesteprofessorater og tillitsverv i bagasjen. Sydnes var KOSKs programstyrelser fra 2000 til 2003. ►

Ordforklaringer

Sentrale FoU-oppgaver innen katalyse:

- Framstilling og bruk av syntesegass
- Framstilling og videreforedling av olefiner
- Direkte konvertering av metan

Sentrale FoU-oppgaver innen organisk syntese:

- Selektiv syntese
- Metallinduserte reaksjoner
- Syntese av biologisk aktive forbindelser

Katalyse: En prosess basert på bruken av en katalysator, dvs et stoff som øker hastigheten på en kjemisk reaksjon, uten at det selv (permanent) forandres.

Organisk syntese: Den vitenskapelige studien av hvordan man bygger mer eller mindre kompliserte organiske molekyler og strukturer fra mindre og enklere forbindelser. Populært kalt molekylsnekring.

Organiske molekyler er molekyler som inneholder karbon og hydrogen, som er sentrale grunnstoffer i alle levende organismer. Molekylene kan også inneholde grunnstoffer som nitrogen, oksygen, halogener, samt fosfor og svovel.



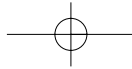


Foto: Stock xchng

4

Viktige resultater

– Evalueringen av kjemifagene innebar på mange måter slutten på en norsk tradisjon som gikk ut på å fordele forskningsbevilgningene jevnt utover, og starten på en mer elitepreget tenkning der det skulle satses mer på de beste forskningsmiljøene. Dette var en viktig og nødvendig omlegging, kommenterer Sydnes.

– For øvrig pekte evalueringen også på at vi hadde altfor få stillinger for postdoktorer i Norge. Programstyret har derfor lagt stor vekt på å finansiere postdoktorer og bidra til at den ordningen er blitt mer vanlig i norsk forskning, forteller Sydnes.

– KOSK har oppnådd mye, bekrefter Torbjørn Frejd, professor i organisk kjemi ved Universitetet i Uppsala. Han var med i programstyret helt fra starten av, og overtok som leder i 2004.

– For det første har vi lagt vekt på å balansere mellom yngre og mer etablerte forskere. Vi har sett at katalyseforskningen fortsatt er veldig fremgangsrik i Norge, med flere sterke forskningsgrupper som det er viktig å satse videre på. Den organiske kjemien står til sammenlikning litt svakere, og trenger fortsatt oppmerksomhet for å realisere potensialet. Men vi har fått fram flere gode prosjekter også på det området, mener Frejd.

Frejd er for øvrig bekymret over at Norge har få kjemiske og farmasøytiske bedrifter, og institusjonene bør derfor passe på at de ikke utdanner for mange kjemikere i den retningen, med risiko for at de kanskje ikke får jobb etterpå.

– Men den organiske kjemien bør likevel styrkes, og det finnes flere dyktige grupper. Det er imidlertid viktig å finne den

rette balansen, kommenterer Frejd.

Professor Frejd tilføyer at programstyret har lagt mye arbeid i å unngå habilitetsproblemer. – Kjemimiljøet i Norge er lite, og det kunne fort oppstått situasjoner der et medlem i programstyret ble inhabilt hvis vi ikke passet nøye på. Derfor har vi mange ganger hentet inn settemedlemmer til styret, men disse trenger som regel ekstra tid til å sette seg inn i sakene. Alt i alt har dette vært et stort arbeid, men også et viktig arbeid, sier Frejd.

Miljøhensyn gir bedre økonomi

KOSK-programmet har bidratt til å skyve det norske kjemifaget i mer miljøvennlig retning, i tråd med en internasjonal trend. – Amerikanerne blir ofte betraktet som bakstreverske i for eksempel klimadebatten, men når det gjelder «grønn kjemi» har de faktisk gått foran. Grønn kjemi er i dag en sterk internasjonal bevegelse, som begynte med at president Bill Clinton utdelte en årlig Green Chemistry Award. Etterfølgeren George W. Bush har fortsatt med dette, og prisen blir hvert år utdelt til forskningsmiljøer og industribedrifter som kommer opp med mer miljøvennlige løsninger, forteller Sydnes.

Grønn kjemi er naturligvis en fordel for miljøet, men gir også som regel bedre økonomi. – Ett eksempel: Den største kostnaden ved produksjonen av farmasøytiske produkter i dag går til å kvitte seg med avfallsstoffer. Flere av elementene i KOSK-programmet, for eksempel at man bruker katalysatorer som utnytter ingrediensene mest mulig, hører til blant grunnpilarene i den grønne kjemien, forteller Sydnes.

Kjemifaget i fremtiden

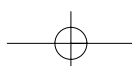
Leiv K. Sydnes er en engasjert talsmann for kjemifaget, og bidrar gjerne til å spre informasjon om kjemiens sentrale plass i samfunnet. – Når jeg underviser lærere som er på etterutdanning, pleier vi ikke å spise lunsj. Jeg sier isteden at «nå tar vi en pause for å etterfylle kjemikalier», forteller han.

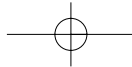
Pausesignalet får enkelte til å sperre opp øynene, men de roer seg når de får helt vanlig mat.

– Det er faktisk helt presist å beskrive måltidene våre på den måten. Vi er kjemiske vesener, vi er omgitt av produkter som er fremstilt i kjemiske prosesser, og vi reagerer på kjemikalier vi er omgitt av. Men almenheten har likevel en grunnleggende mangel på forståelse for kjemi, mener Sydnes.

– Hvis jeg skal gi et godt råd til den norske kjemi-forskningen fremover, vil jeg understreke at katalyse er et viktig område der de norske fagmiljøene allerede er sterke. Norge bør opprettholde og helst styrke den internasjonale stillingen på katalyse, som blant annet er selve nøkkelen til det som kalles grønn kjemi. Dette gjelder for all del også organisk syntese, hvor de fleste prosessene bygger på katalyse, sier Frejd.

Leiv K. Sydnes er enig i den vurderingen. – Jeg ser for meg en økt satsing på katalytiske prosesser, men også en fortsatt utvikling i retning av mer grønn kjemi og økt interesse for bioprospektering. Men hvis vi skal få til dette, må vi først og fremst opprettholde de grunnleggende disiplinene i kjemifaget, understreker han.





Platinakomplekser for mer miljøvennlig naturgass

– Det langsiktige perspektivet er at vi forsøker å finne en alternativ bruk av naturgass, sier professor Mats Tilset. – Hvis vi klarer å omdanne metan til metanol på en enklere måte, kan vi utnytte energien i naturgassen bedre. Det kan i så fall gi både miljøfordeler og en mer konkurransedyktig industri.

Mats Tilset er en blant mange kjemikere som er i ferd med å gi sitt fag et mer miljøvennlig ansikt. Trenden i kjemifaget går klart i retning av å utvikle mer miljøvennlige prosesser og produkter – og Tilsets prosjekt har i så måte store dimensjoner, fordi det handler om å omdanne metan til metanol på en enklere og mer effektiv måte. Metanol er i dag basiskjemikalium for en stor industri og anvendes blant annet som løsningsmiddel og i framstilling av en rekke andre kjemikalier. Årsforbruket i Europa ligger rundt 5,5 millioner tonn, og ca 15 prosent av dette produseres i Statoil-fabrikken på Tjeldbergodden.

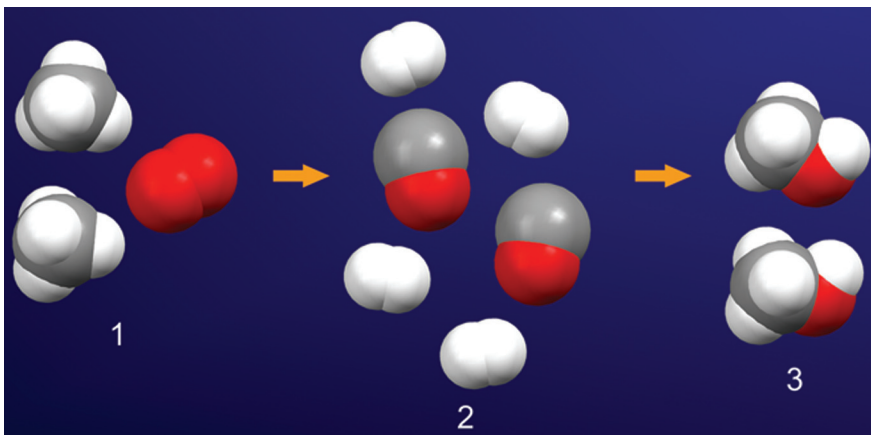
Ett trinn er enklere enn to

Metanolproduksjonen begynner med metan, som utgjør mer enn 80 prosent av naturgassen som hentes opp fra Nordsjøen. Reaksjonen fra metan til metanol foregår i dag i en totrinnsprosess hvor metan først reagerer med oksygen og omdannes til syntesegass, som er en blanding av karbonmonoksid og hydrogen. Syntesegassen kan deretter reagere videre til en lang rekke produkter, blant annet metanol.

– Denne totrinnsprosessen krever store investeringer og bruker mye energi, og derfor ønsker vi å finne en snarvei som omdanner metan til metanol i bare ett trinn. Hvis vi klarer det, kan vi antakelig redusere energien og investeringene som trengs for å produsere metanol, forklarer Tilset.

– Vi er i praksis bundet til å bruke olje og gass som energikilder i mange år fremover, og blant disse er naturgassen det mest miljøvennlige alternativet. Denne prosessen har potensialet til å gjøre naturgassen enda mer miljøvennlig, tilføyer han.

Tilsets prosjekt forener de to KOSK-områdene katalyse og organisk kjemi, og nylig har man begynt å fokusere på såkalte metall-organiske nettverk (MOF). Forskerne forsøker å utnytte en av den



Metan og oksygen (1) omdannes i dag til karbonmonoksid og hydrogen (syntesegass, 2) og videre til metanol (3). Forskerne ved UiO undersøker om det er mulig å gå rett fra (1) til (3) ved hjelp av katalytiske platinakomplekser. (Illustrasjon: M. Tilset, UiO)

kjemiske industriens mest verdifulle hjelpere – metallet platina – på en ny måte.

Ny bruk av platina

Platina i ulike former er mye brukt som katalysatorer pga evnen til å «klippe over» den kjemiske bindingen mellom karbon og hydrogen, slik at molekyler som metan lettere kan reagere med andre stoffer. Tilset bruker ikke rent eller metallisk platina i eksperimentene, men isteden en ny type platinakomplekser i en oppløsning. Kompleksene er mellomstore molekyler hvor en rekke kjemiske grupper (ligander) med karbon, hydrogen og nitrogen er bundet til platina. Forskerne har eksperimentert med mange kombinasjoner av ulike løsemidler og ligander, og har oppnådd interessante resultater. De kompliserte platinakompleksene «snekres» i laboriet på UiO.

– Det har blant annet vært en utfordring å finne et løsemiddel som ikke reagerer med platina, men nå har vi fun-

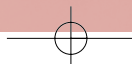
net noe som fungerer veldig bra. Jeg er nokså sikker på at vi skal klare å omdanne metan til metanol ved hjelp av denne katalysemetoden, men spørsmålet er hvor effektiv prosessen kommer til å bli, sier Tilset.

– Hvis vi lykkes, kan forskningen bidra til å gjøre naturgassen mer miljøvennlig. Men prosjektet omfatter også metodeutvikling, og derfor tror vi at arbeidet uansett vil frembringe viten som kan bli verdifull på andre områder. Mer kunnskap om karbon-hydrogenbindinger kan for eksempel bli verdifullt i en fremtidig hydrogenbasert energiteknologi, avslutter han.

Forskningen er finansiert fra KOSK og andre forskningsprogrammer. Prosjektene har hittil ført fram til tre doktorgrader.



Professor Mats Tilset, Universitetet i Oslo



Humanmedisinen henter våpen fra marine svamper

Mange fastsittende organismer, blant annet de marine svampene i slekten *Agelas*, beskytter seg med kjemiske våpen når de blir angrepet. De samme våpnene har også effekt mot flere alvorlige sykdommer hos mennesker, og forskere ved Universitetet i Oslo bruker nå kjemifagets verktøy for å studere stoffene nærmere.



Professor
Lise-Lotte
Gundersen,
UiO

– Svampene sitter jo fast på bunnen og kan ikke løpe sin vei når de blir angrepet; derfor forsvarer de seg med kjemiske stoffer isteden. Vi tror at disse stoffene har potensial også som ingredienser i nye medisiner for mennesker, sier professor Lise-Lotte Gundersen ved Universitetet i Oslo.

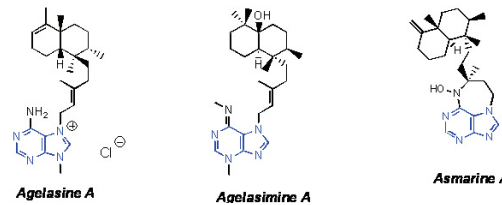
Det er allerede påvist at de kjemiske svamp-stoffene har effekt mot visse typer kreftceller samt tuberkulosebakterien og parasittene som forårsaker de alvorlige tropesykdommene malaria, sovesyke, Chagas sykdom og leishmaniasis. Tropesykdommene forårsakes av enkle encellede organismer, og er til dels både alvorlige og dødelige.

Gundersen og hennes forskergruppe jobber nå både med å fremstille de naturlige stoffene i laboratoriet, og med å lage kunstige varianter som kanskje kan ha enda bedre effekt mot sykdommer. – Men vi vet ennå ikke hvordan stoffene virker på dyr eller mennesker som er syke på grunn av kreft eller infeksjoner, og vi kjenner ikke mekanismen for hvordan de virker på cellekulturer. Derfor er det langt igjen til vi kan snakke om nye medisiner, understreker Gundersen.

– Den grunnforskningsbaserte motivasjonen er isteden at vi ønsker å utvikle nye metoder for å lage komplekse naturstoffer. Totalsynteseprosjekter av denne typen gir dessuten ofte spinoff som kan komme til nytte på andre måter, tilføyer hun.

Bredspektret virkning

Gundersen er spesielt opptatt av syntetisk organisk kjemi, kjemi til medisinsk bruk, og syntese av bioaktive stoffer med naturlig opprinnelse. Arbeidet konsentre-



Agelasin A, agelasimin A og asmarin A er tre varianter av de kjemiske våpnene som marine svamper bruker for å beskytte seg mot angripere.

rer seg om de tre beslektede stoffgruppene agelasiner og agelasiminer fra *Agelas*-svamper og asmariner fra *Raspailia*-svamper, og forskerne har til nå påvist 24 ulike varianter i naturen. Fellesstrekket er at molekylene består av to ulike byggesteiner: En såkalt purinring med et skjelett bestående av karbon og nitrogen, og en sidegren med et karbon-skjelett som tilhører terpenene. Terpenene omfatter blant annet mange smaks- og luktestoffer i plantene. Det er gjort lite arbeid med denne typen stoffer tidligere, og forskerne ved UiO må derfor brøyte ny mark og drive mye metodeutvikling for å syntetisere dem.

– De stoffene som forekommer naturlig i svampene har en bredspektret giftvirkning mot mange typer celler og er lite egnet til medisinsk bruk. Derfor jobber vi blant annet med å finne analoger som har en spesifikk virkning mot sopp, bakterier eller kreftceller, uten at de samtidig skader friske celler. Det er også et mål å utvikle analoger med enklere struktur, for da vil det sannsynligvis også være enklere å fremstille dem syntetisk, forteller Gundersen. En ytterligere motivasjon for å fremstille stoffene i laboratoriet, er at det ikke går an å basere en medisinsk industri på utvinning av de små mengdene som finnes i naturen.

– Dette er spennende blant annet fordi det finnes få medisiner mot tropesykdommene. De fleste medisinene mot malaria er gamle og har store problemer med resistens. De andre tropesykdommene har enda færre alternativer når det gjelder legemidler, forteller Gundersen.

UiOs forskningsprosjekter om *Purine-Containing Marine Natural Products* har vært støttet i to omganger fra Norges forskningsråd. Det er utdannet én doktorgradstudent og to postdoktorer.

Rørsvamper i slektene *Agelas* (bildet) og *Raspailia* inneholder stoffer som brukes til kjemisk forsvar, og som kanskje kan gi opphav til nye medisiner. (Foto: Thomas R. Cuba, Delta Seven Inc)



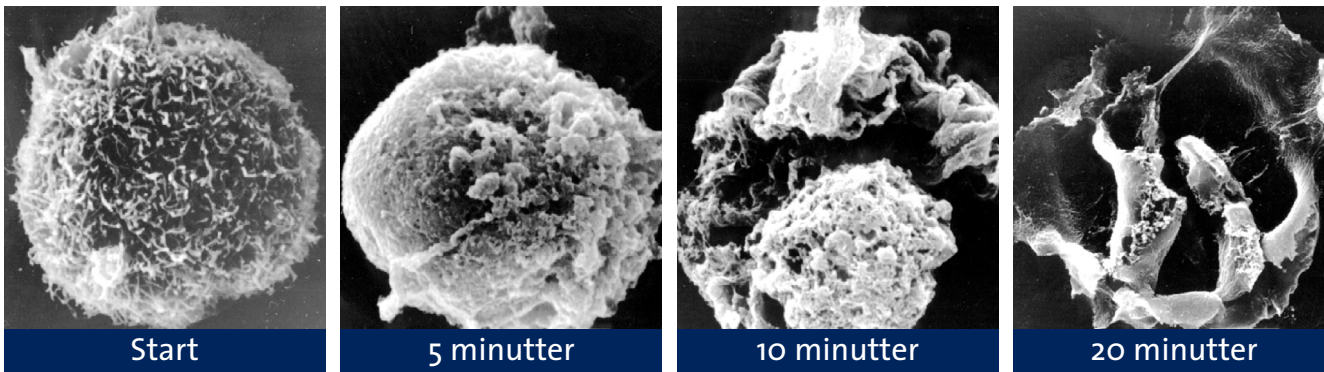


Foto: Øystein Rekdal, UiT

Denne kreftcellen klarte seg dårlig da den ble angrepet av L-peptider. Det er bare 20 minutter mellom det første og det siste bildet.

Ny peptid-klasse dreper bakterier på rekordtid

Bakterier har en utrolig evne til å forsvare seg mot antibiotika, men ingen ting nytter mot de små dreper-peptidene John Sigurd Svendsen, Øystein Rekdal og kollegene har utviklet. Bakteriene sprekker isteden og dør før de merker hva som traff dem. De såkalte L-peptidene virker også mot sopp og kreftceller, mens menneskelige celler forblir upåvirket. Ganske lovende, for å si det mildt.

Professor John Sigurd Svendsens forskergruppe ved Universitetet i Tromsø har videreutviklet det som kanskje er dyrerikets eldste forsvarsværk mot bakterier, nemlig en stoffgruppe som kalles L-peptider. – Disse stoffene utgjør dyrerikets ur-immunforsvar og finnes i kroppen hos mennesker og andre dyrearter helt fra fødselen av. Systemet er også evolusjonsmessig veldig gammelt, forteller Svendsen.

Proteiner og peptider er beslektede stoffgrupper, men peptidene er mye mindre og inneholder bare et fåtall aminosyrer. Denne historien begynner med det svære proteinet laktoferrin, som består av mer enn 700 aminosyrer. Laktoferrinet har en svakt bakteriedrepende virkning, men japanske forskere påviste på 1990-tallet at en bitteliten del med bare 25 aminosyrer dreper bakterier fire ganger så effektivt. Dette var

startpunktet for Svendsens og Rekdals forskergrupper.

Fra lastebil til Ferrari

Svendsen og kollegene forstod fort at laktoferrin-delen med 25 aminosyrer måtte videreutvikles til noe mye mindre, hvis det skulle bli snakk om å lage nye legemidler. – Dermed satte vi i gang med å kartlegge hvor den bakteriedrepende effekten egentlig lå, og til slutt fant vi ut at det var bare to aminosyrer som ikke kunne byttes ut. Begge to var tryptofan, forteller Svendsen.

Den opprinnelige laktoferrin-delen kan nå sammenliknes med en tung og treg lastebil, som putret sakte rundt og drepte bakterier i rolig tempo. Nå har forskerne isteden utviklet lynraske Ferrari-peptider som freser rundt og slakter både bakterier, kreftceller og sopp i høyt tempo. De nye «Ferrari-peptidene» inneholder bare to-tre store syntetiske aminosyrer, men er til gjengjeld opptil 100 ganger mer effektive enn de opprinnelige peptidene. Forskerne i Tromsø har faktisk lagd de minste L-peptidene i verden.

– L-en står for øvrig for det latinske ordet lysis, som signaliserer at peptidene er i stand til å oppløse celleder. Det som skjer likner på at du bruker en nål til å stikke hull på en såpeboble: L-peptidene stikker hull på bakterienes celleder og dreper dem på den måten. Dette skjer så fort at bakteriene ennå ikke har rukket å utvikle immunitet, sier Svendsen.

Det kjemiske verkstedet

Når Svendsen forteller om forskningen,

høres det litt ut som om han jobber på et bilverksted. – Det finnes 20 aminosyrer i naturen, i tillegg til en mengde kunstige aminosyrer. Disse aminosyrene kan skrues sammen til mange veldig ulike «biler». Forskningen vår viste blant annet at vi kunne «trimme motoren» i bakteriedreperne ved å bruke kunstige tryptofan-varianter, forteller Svendsen.

Universitetet i Tromsø etablerte i 2003 bedriften Lytix Biopharma for å kommersialisere teknologien, og de første testene på mennesker er planlagt i 2008. Samtidig fortsetter grunnforskningen ved universitetet.

– Det fantastiske med disse stoffene er at de løser opp celleder hos «fiendene» våre, mens menneskekroppens membraner får være i fred. L-peptidene er spesielt interessante i kampen mot multiresistente bakterier, fordi resistens er et stort og voksende problem i helsevesenet. Jeg sier ikke at vi har nøkkelen til å omgå resistensproblemet, men vi sitter i alle fall med en helt ny stoffklasse med muligheter for å utvikle nye antibiotika, konkluderer Svendsen.



Professor
John Sigurd Svendsen,
Universitetet i Tromsø

Miljøvennlig kjemi er sunt og billig

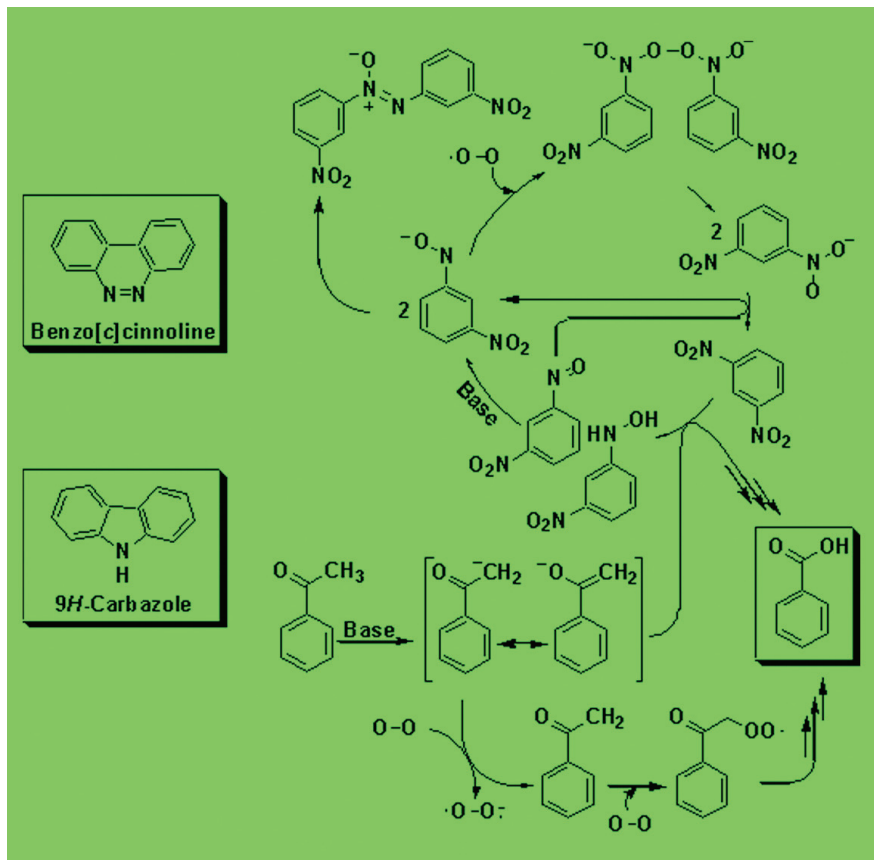
Professor Hans-René Bjørsvik er en av dem som vil gi kjemifaget og -industrien et mer miljøvennlig ansikt. Han har allerede utviklet en «grønn» reaktor som kan erstatte eldre teknologi, samt et helt knippe kjemiske prosesser med miljøvennlig profil. Prosessene har mulige anvendelser innen både farmasi, landbruk, fiskefôr og fiskemat.



Professor
Hans-René
Bjørsvik, UiB

Hans-René Bjørsvik er opptatt av syntetisk organisk kjemi og hadde hodet fullt av ideer da han kom til Universitetet i Bergen i 1999, etter 12 år i farmasøytisk og finkjemisk industri. – Jeg var bl.a. nysgjerrig på å undersøke om nitrobenzen kunne brukes til å oksidere lignin, som er råmateriale for produksjonen av vanillin, acetovanilon, vanillinsyre og veratrylsyre. Alt dette er verdifulle kjemiske produkter, særlig den siste er anvendelig i farmasøytisk industri, forteller Bjørsvik.

Bjørsvik fant fort ut at nitrobenzen ikke egnet seg direkte, men det beslektede stoffet dinitrobenzen virket godt ved normale trykk og temperaturer. Resultatet ble at forskerne utviklet en støkiometrisk (mengdebasert) metode for oksidasjon av aromatiske forbindelser til de korresponderende aromatiske karboksylsyrer. Denne metoden ble videreutviklet til to forskjellige katalytiske metoder (i) med oksygen som oksidant og nitrobenzen-varianter som katalysator og (ii) med perborater eller perkarbonater som oksidanter, altså billige faste stoffer og lettere å bruke i industriell sammenheng. – Dermed hadde vi utviklet to forskjellige katalytiske «grønne» prosesser som kan erstatte eldre



Professor Bjørsviks kjemiske reaksjoner er miljøvennlige ved at de blant annet unngår dyre løsemidler, trenger færre reaksjonstrinn, og reduserer behovet for å kvitte seg med farlig avfall. (Illustrasjon: H.R. Bjørsvik)

miljøfiendtlige produksjonsmetoder i industrien, mener Bjørsvik.

Bedre miljø er billigere

Bjørsvik er interessert i grønn kjemi ikke bare fordi det er bedre for miljøet. – Miljøvennlige prosesser er ofte også billigere og prosess teknisk bedre. Det er f.eks.

lønnsomt hvis man slipper å kjøpe dyre løsemidler eller bruke penger på å kvitte seg med farlig avfall. Det er også miljøvennlig å finne kjemiske prosesser som trenger færre reaksjonstrinn, sier han. Forskingen har vakt oppsikt internasjonalt, blant annet har American Chemical Society vurdert en av Bjørsvik-miljøets vitenskapelige artikler til en av de mest interessante blant hele 700 artikler om grønn kjemi i 2006. Den grønne prosessen for produksjon av karboksylsyrer var for øvrig bare begynnelsen. I tillegg har Bjørsvik og medarbeiderne oppnådd:

- Den nye oksidasjonsprosessen førte, under spesielle betingelser, til at det ble produsert interessante biprodukter. Doktorgradsstipendiat Raquel Rodríguez

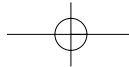
González arbeidet med å videreutvikle dette til en ny prosess for produksjon av benzo[c]cinnolin, som har biologisk virkning mot både kreftceller, virus og sopp. Verdens største produsent av landbrukskjemikalier, Bayer Crop Science, kontaktet Bjørsvik med ønske om å teste videre

- Bjørsvik og medarbeidere har også utviklet en serie nye prosesser som kan benyttes til å lage carbazomyciner og syntetiske varianter av disse.

Carbazomyciner er en gruppe antibiotiske stoffer som finnes i marine organismer. Bjørsvik leter nå etter samarbeidspartnere (medisinere) som kan utvikle og teste nye varianter.

- En grønn ett-trinns metode for å hydroksylere direkte på en benzenring.

- En oksidasjonsprosess som kan brukes til å lage koenzym Q₁₀, et viktig mellomtrinn i produksjonen av antioksidanten Q₁₀. Bjørsviks forskningsgruppe jobber nå videre med prosessen, med tanke på å finne antioksidanter som kan brukes til å konservere fiskefôr og fiskemat for menneskelig konsum.



Statistikk gjør kjemien mer verdt

Professor Rolf Carlson har spart både kjemiske bedrifter og andre forskere for mye tid og penger. Han kan for eksempel fortelle hvordan 35 eksperimenter kan være like bra som 600, og hvordan molekylegenskaper kan beregnes med pc istedenfor superdatamaskin. En svensk bedrift sparte 20 millioner kroner etter å ha hørt på Carlson i 20 minutter.

– Tenk deg at du skal gjøre et eksperiment som aldri tidligere er blitt gjort, og så skal du velge mellom ti løsningsmidler, ti katalysatorer og ti potensielle substrater. Da finnes det i prinsippet 1000 ulike måter å gjøre eksperimentet på, forteller Carlson.

De færreste kjemikere trives så godt på laboratoriet at de vil teste 1000 kombinasjoner for å finne den beste utformingen av eksperimentet. Derfor har Carlson, som jobber med eksperimentell kjemi og organisk syntese, utviklet en metode som gjør det mulig å redusere antallet kraftig. Metoden har også et miljøvennlig perspektiv, fordi den gjør det mulig å finne prosesser som gir mindre energiforbruk og reduserte utslipp.

– Dette handler om å få orden på hvordan man skal tenke når man skal gjøre et kjemisk eksperiment, forteller han.



35 like godt som 296

Professor Carlson og kollegene ved Institutt for kjemi ved Universitetet i Tromsø har blant annet brukt metoden til å analysere et eksperiment der valget stod mellom mellom 12 katalysatorer, ti løsningsmidler og fem testsubstrater, altså 600 mulige kombinasjoner. – Først gjorde vi 296 eksperimenter, og da viste det seg at 162 av dem fungerte. Deretter brukte vi metoden vår, som er basert på projeksjoner og en diskriminantanalyse, og da viste det seg at 35 forsøk var nok til å finne det beste eksperimentet. Med andre ord: Med 35 forsøk kan du spenne opp hele den variasjonsbredden som finnes i de 600 mulighetene, forteller Carlson.

Metoden bygger på det som kalles kjemometri og multivariate matematiske og statistiske metoder, og handler om å utforme eksperimentene slik at de blir så forskjellige som mulig. Professor Carlson er en pioner på dette området og har blant annet fått Swedish Chemical Societys hedersmedalje i gull i 2003. Hans lærebok «Design and Optimization in Organic Synthesis» kom for 14 år siden og er blitt en bestselger

på området. I 2004 utga Carlson en oppdatert utgave i samarbeid med eldste sønnen, som er dosent i matematisk og statistisk analyse av ultralydssignaler.

Fra underskudd til overskudd

Professor Carlson og en stipendiat har senere utviklet en metode som gjør det mulig å beregne molekylegenskaper på pc istedenfor på superdatamaskin, basert på semi-empiriske metoder. – Du trenger som regel ikke seks desimalers nøyaktighet når du skal regne ut en elektronfordeling, forklarer han.

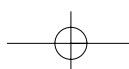
Carlson ble interessert i å kombinere statistikk og kjemi for mer enn 30 år siden, men slet lenge med å få penger til forskningen. Vendepunktet kom da han holdt et 20 minutter langt foredrag for en kriserammet svensk bedrift, som produserte fuktighetsbevarende kjemikalier til bruk i mørtel og tapetlim og slikt. Etter Carlsons innlegg besluttet sjefen å bruke kjemometriske metoder for å analysere prosessen, og resultatet ble en ny prosess som både var billigere, ga bedre resultater, og i tillegg gjorde det mulig å skreddersy nisjeprodukter. Bedriften gikk fra et underskudd på 7 mill.kr. det ene året til et overskudd på 20 mill.kr. neste

år, og deretter begynte Carlson å få bevilgninger til forskningen.

– Min rolle er å drive med metodeutvikling og gi råd til andre eksperimentelle kjemikere, slik at de ikke kaster bort tid og penger på unyttige forsøk, oppsummerer Carlson.



Professor Rolf Carlson, Universitetet i Tromsø



Bedre katalysatorer reduserer utslippene av klimagasser

Oljeselskaper over hele verden produserer daglig store mengder naturgass som kunne vært brukt til for eksempel kraftproduksjon, men som isteden brennes «for kråka» og blir til karbondioksid. En gruppe kjemikere ved Universitetet i Oslo jobber med å utvikle katalysatorer som isteden kan bidra til å omdanne naturgassen til verdifulle råvarer.

Ved mange fjerntliggende petroleumsfelter verden over er det først og fremst oljen som er lønnsom, mens naturgassen er et mindre lønnsomt biprodukt. Derfor blir gassen rett og slett brent i fakler, for å unngå de enorme investeringene som trengs for å bygge rørledninger som kunne fraktet gassen til markedene. Gassfaklingen har ifølge enkelte kilder så stort omfang at den tilsvarer 1,7 millioner fat olje per dag, eller nok til å dekke hele verdens forbruk av naturgass i 20 dager, og mesteparten foregår i Afrika, Russland, Asia og Midtøsten. – Dette er snakk om så store flammer at de kan ses fra satellitt, forklarer professor Karl Petter Lillerud ved Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo.

Løsningen på problemet er å skape bedre økonomi i utnyttningen av naturgassen, og der kan forskningsgruppen for heterogen katalyse ved UiO bidra. I tillegg til Lillerud består gruppen av professor Unni Olsbye og et titalls post-doc'er og stipendiater.

Naturgass består hovedsakelig av metan, som industrien i dag kan omdanne til metanol ved å gå veien om syntesegass. Metanol brukes deretter som råstoff for produksjon av en hel rekke stoffer, deriblant de såkalte olefinene eten, propen og buten. Men syntesegassteknologien er både kostbar og energikrevende, og det er derfor stor

interesse for å finne andre løsninger. Flere forskermiljøer jobber med en forbedring av syntesegassteknologien, og det jobbes også med å finne alternative «snarveier» fra metan til metanol. En tredje mulighet er å utvikle nye og mer kostnadseffektive metoder for videreforedling av metanol.

Forstår mekanismene

UiO-forskernes innfallsvinkel er å bruke en spesiell type kjemiske stoffer – mikroporøse zeolitter – som katalysatorer i foredlingen av metanol. I tidligere prosjekter har forskerne blant annet funnet ut at det er «hulrommene» i zeolittene som bestemmer produktene, mens det er reaksjonsoverflaten som avgjør hvor lenge de er aktive.

– Det som virkelig er nytt nå, er at vi begynner å forstå mekanismene i det som foregår inne i katalysatorene. Den kunnskapen kan vi bruke til å designe en ny generasjon katalysatorer som er enda bedre enn de vi kjenner i dag, forteller Lillerud og Olsbye.

Forskerne har hatt hovedfokus på MTO-teknologien (Metanol to Olefins), som ble utviklet av Hydro og det amerikanske teknologiselskapet UOP. I tillegg har forskerne arbeidet med prosessene MTH (Metanol to Hydrocarbons) og MTG (Metanol to Gasoline).

– Fordelen med disse prosessene er at de gjør det mulig å omdanne naturgass, som har forholdsvis lav verdi, til foredledte produkter med høy verdi. Dette har hittil vært gjort i svært liten grad, fordi det har vært billigere å bruke olje istedenfor naturgass som råstoff, forteller Lillerud.

Høy oljepris øker interessen

Petroleumsbransjens interesse for naturgass som råstoff svinger generelt i

takt med prisen på olje, og de siste årenes høye priser har ført til ny interesse. – Det kjøres nå prosjekter for mulige kommersielle foredlingsanlegg for naturgass, basert på katalysatorteknologi med zeolitter, både i Midtøsten, Vest-Afrika, Asia og Kina (kull). Med dagens oljepriser er dette attraktivt når det gjelder utnyttning av gass i fjerntliggende strøk. En av grunnene til at slike anlegg ikke er bygd tidligere, er at det alltid ligger en risiko i å ta i bruk ny teknologi som samtidig er basert på et nytt råstoff, kommenterer forskningssjef Steinar Kvisle i Hydro ASA.

Men de økonomiske driverne synes nå å være til stede. Kvisle vil gjerne fremheve at forskningsmiljøet i Oslo definitivt er blant de aller fremste i verden på denne type zeolitt-katalyse; det er nemlig UiO-forskerne som har utviklet den grunnleggende forståelsen av hvordan katalysatoren i de kommende zeolitt-anleggene virker.

De mikroporøse zeolittene kan også ha anvendelser utenfor petroleumsindustrien. Lillerud er blant annet opphavsmann til materialet *Oslo-Santa*

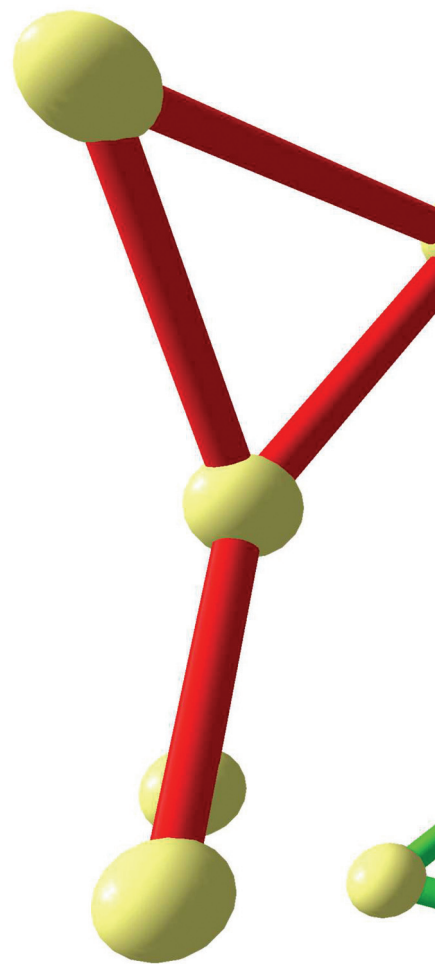
10

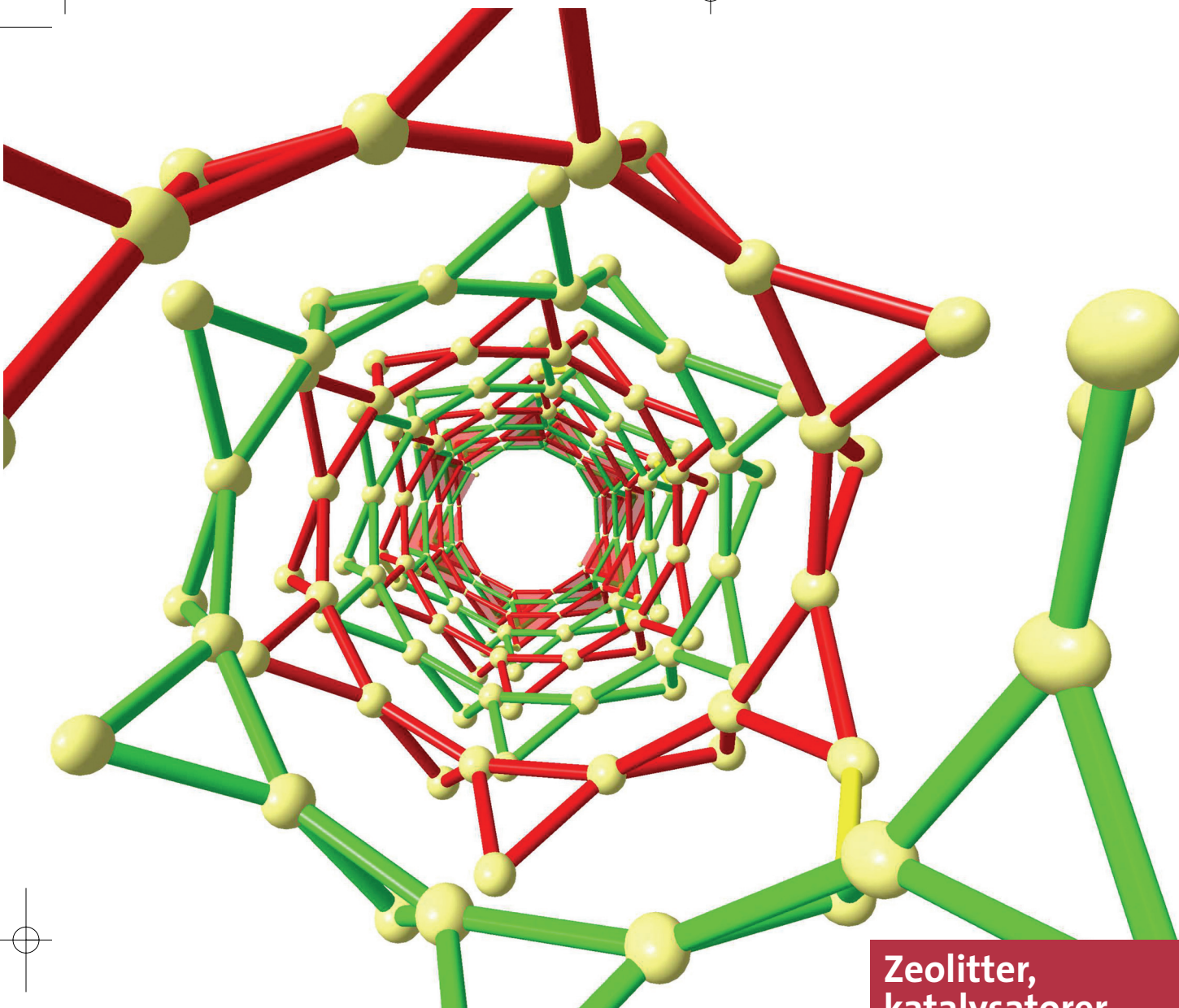


Professor Karl Petter Lillerud, UiO



Professor Unni Olsbye, UiO





En zeolitt-katalysator er en spesiell struktur av aluminiumsilikater med åpne kanaler og porer. Forskerne ved UiO begynner nå å forstå mekanismene inne i katalysatorene. (Illustrasjon: UiO)

Barbara-1, som har en struktur verden aldri tidligere har sett. Navnet skyldes at Lillerud hadde forskningstermin ved University of Santa Barbara i California da han utviklet materialet, som muligens kan brukes som en slags mikro-sil for å separere forbindelser som er enantiomerer. At to forbindelser er enantiomerer betyr at de er helt like, bortsett fra at de er speilvendte i forhold til hverandre. Det er i dag svært vanskelig å separere slike forbindelser, men behovet er stort blant annet fordi molekyler som brukes i legemidler ofte har speilbilder som er giftige.

Senter for forskningsdrevet innovasjon

Da Norges forskningsråd i 2006 utpekte 14 Sentre for forskningsdrevet innovasjon (SFI), ble ett av dem lagt til Forskningsgruppen for katalyse ved Kjemisk institutt. Professor Unni Olsbye leder senteret Innovative Natural Gas Processes and Products (INGAP).

– INGAP har som mål å designe nye katalysatorer som kan omdanne naturgass til produkter på mest mulig energi-effektiv måte, helst uten å lage biprodukter. Bakgrunnen er blant annet at petroleum vil være vår viktigste energikilde i overskuelig fremtid, og naturgass er den mest miljøvennlige komponenten, forteller Olsbye.

Denne forskningen byr på store muligheter for ny verdiskaping og nye arbeidsplasser i Norge. I dag sendes 99 prosent av den norske naturgassen i rør ut av landet, men dette kan endre seg i fremtiden. – Det finnes analyser som viser at Norge kan tjene atskillige milliarder dersom man foredler 10 prosent av naturgassen istedenfor én, som i dag, sier spesialrådgiver Erling Rytter i Statoil til Bladet Forskning. Både Statoil, Hydro og Borealis er med i INGAP som bedriftspartnere, mens NTNU og Sintef har slått følge på forskningssiden.

Zeolitter, katalysatorer, olefiner

- En zeolitt er en tredimensjonal struktur av aluminiumsilikater, med åpne kanaler og porer gjennom strukturen. Zeolitter er mye brukt som katalysatorer, men finnes også blant annet i vaskemidler. All bensin som produseres i verden i dag har gått gjennom en zeolitt.
- Zeolittene i naturen er mineraler med til dels spesielle egenskaper.
- Det finnes til sammen 170 syntetiske zeolitter, og fem av disse er utviklet ved Universitetet i Oslo.
- En katalysator bidrar til at en kjemisk reaksjon skjer, uten å bli forbrukt. Katalysatorer kan likevel bli deaktivert med tiden.
- Olefiner er kjemiske forbindelser med minst én dobbeltbinding mellom karbonatomer. De enkleste er eten (C_2H_4) og propen (C_3H_6), som er viktige basisprodukter i den petrokjemiske industrien.

– Utdanningen er det aller viktigste

– Det viktigste vi gjør, er at vi utdanner fagfolk til den norske petroleumsbransjen, sier professor Anders Holmen. I tillegg har Holmen og forskergruppen ved NTNU og SINTEF en mengde prosjekter og ideer som har én ting felles: Bedre utnyttelse av norske petroleumsressurser, og i den senere tid også bruk av fornybare energikilder.

Anders Holmen er leder for KinCat-gruppen (Strong Point Centre Kinetics and Catalysis), som ble etablert av NTNU og SINTEF i Trondheim i 1998 for å støtte grunnforskningen innen det som kalles heterogen katalyse, det vil si reaksjoner som skjer på overflaten av faste stoffer som metaller, metalloksider og zeolitter. KinCat-gruppen har ca 35 medlemmer – professorer, fast ansatte forskere, doktorggradsstudenter og postdoktorer – fra Faggruppe for katalyse og petrokjemi ved NTNUs Institutt for kjemisk prosess-teknologi og Faggruppe for katalyse og kinetikk ved SINTEF Materialer og kjemi. Holmen selv er tilknyttet NTNU-instituttet, som har kapasitet til å utdanne ca 70 sivilingeniører i året innenfor et område som dekker kjemifaget helt fra

laboratorieskala til industriell produksjon; fra studiet av molekylære prosesser på nanonivå til bygging og drift av store prosessanlegg.

Aktive katalysatorer

En av KinCat-gruppens overordnede målsettinger er å utvikle bedre måter å bruke naturgassen på. Naturgass kan gjerne forbrennes i varmekraftverk, men den er også et utmerket råstoff til å fremstille verdifulle kjemikalier eller ulike drivstoff, som diesel og hydrogen.

KinCat-gruppen konsentrerer seg om å studere katalytiske prosesser for omdanning av naturgass til kjemikalier, drivstoff eller hydrogen. Hovedfokuset ligger på metalliske katalysatorer.

– Fordelen med metallkatalysatorer er at

de er aktive og selektive. Både platina, rhodium, kobolt og nikkel er interessante metaller som brukes i stor utstrekning i industrien, forteller Holmen.

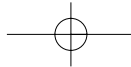
I KOSK-programmet har faggruppen jobbet med flere underprosjekter: Utvikling av katalytiske systemer for selektiv forbrenning av hydrogen i nærvær av hydrokarboner; utvikling av et nytt reaktorkonsept for hydrogenproduksjon; studiet av koboltbaserte katalysatorers oppførsel ved bruk i Fischer-Tropsch-prosessen (hvor naturgass konverteres til flytende hydrokarboner som diesel og nafta); utvikling av et mikrosystem for produksjon av hydrogen fra metanol; samt direkte konvertering av metan. Gruppen har blant annet et viktig samarbeid med Statoil, som har et



meter



KinCat-medlemmer våren 2006: Professor Anders Holmen er nr to i annen rad, mens førsteamanuensis Hilde Venvik er nr tre i første rad. (Foto: Paal Skjetne, NTNU)



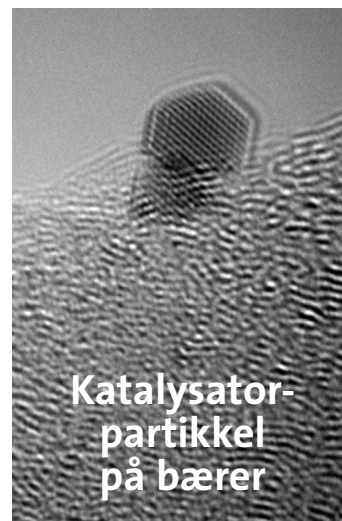
Katalysatorpellets

centimeter



Mikroreaktor

millimeter



Katalysatorpartikkel på bærer

nanometer

Katalysatorpartikkel på en bærer, en mikroreaktor, ulike katalysatorpellets, og et prosessanlegg: NTNUs Institutt for kjemisk prosess-teknologi dekker kjemifaget helt fra studiet av molekytlære prosesser på nanonivå til bygging og drift av store prosessanlegg. (Illustrasjon: NTNU)

stort demonstrasjonsanlegg for Fischer-Tropsch-syntese i Sør-Afrika med tilgang til syntesegass.

Bidrar til vekst

KinCat-forskerne har også jobbet med alternative metoder for å fremstille olefiner som eten, propen og buten. – Disse stoffene fremstilles i dag i store og kostbare anlegg, men vi har studert alternative prosesser som kan være interessante for mindre anlegg. Undersøkelsene er foretatt i laboratorieanlegg med høyt utbytte og høy selektivitet. Det har foreløpig ikke vært aktuelt å bygge demon-

strasjonsanlegg, men jeg tror dette kan bli en interessant teknologi i

fremtiden, sier Holmen. – Men det aller viktigste vi driver med, er altså å utdanne kandidater til den norske petroleumsindustrien, tilføyer han.

Statoil kunngjorde tidligere i år at selskapet har hatt et gjennombrudd når det gjelder å lage flytende drivstoff fra gass (GTL – Gas to Liquids) basert på Fisher-Tropsch-prosessen. Holmen er stolt av at svært mange av de som jobber med GTL i Statoil kommer fra NTNU,

Norsk petroleumsbransje blir hvert år arbeidsplass for mange av de ca. 70 sivilingeniørene som uteksamineres i Trondheim.

som derved har bevist, enda en gang, at forskning også kan være lønns-

somt for næringslivet og storsamfunnet.

– Næringslivets interesse for miljøet vårt svinger med oljeprisen, men de siste årene har det vært enorm etterspørsmål etter kandidater. Jeg tror den tendensen kommer til å holde seg fremover, og jeg er ikke i tvil om hvilken studieretning ungdom med litt sans for matematikk bør velge i dag, sier Holmen.

Metanoldrevne mikro-kraftverk kan erstatte batterier

Batteriene i moderne pc-er, håndholdte verktøy, mobiltelefoner osv blir ofte tomme når du trenger dem mest, og det tar tid å lade dem igjen. Hilde J. Venvik har et alternativ: Kraftverk så små at du kan ha dem i lomma.

Et «småkraftverk» i dagligtalen produserer mellom 1 og 10 megawatt, men de kraftverkene førsteamanuensis Hilde J. Venvik ved Institutt for kjemisk prosess-teknologi snakker om er mye mindre. En gang i fremtiden kan de kanskje erstatte batteriet i mors nye oppladbare drill,

fars nye bærbare pc, og kanskje til og med søsters kule mobiltelefon. Miniaturkraftverket kan i så fall bestå av to integrerte deler: Et katalysatorbasert system som produserer hydrogen fra metanol, og en brenselcelle som forbrenner hydrogenet og produserer elektrisk strøm.

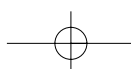
– Et slikt system vil ha en rekke fordeler framfor batteriet. Du kan for eksempel oppnå «instant» lading ved å etterfylle metanol. Systemet vil også gi høyere effekt enn batterier, og du vil omsider få muligheten til å skrive på en bærbar pc i mer enn et par

timer. Men det er også noen ulemper: Det er for eksempel ikke sikkert at flyselskapene vil sette pris på at passasjerer har med seg en halvliter metanol for å skrive på den bærbare pc-en mens de flyr over Atlanteren, forteller Venvik.

I samarbeid med forskere ved Mikro- og nanolaboratoriet (MiNaLab) i Oslo har Venvik utviklet flere ideer om hvordan det miniaturiserte systemet kan utformes. De kom også opp med en ide om hvordan systemet kan fordampe vann og metanol, noe som er nødvendig for å starte

en prosess som må skje i temperaturer over vannets kokepunkt. Nå jobber hun videre med å produsere hydrogen fra metanol i nærvær av en membran av palladium.

– Jeg tror de miniaturiserte kraftverkene vil bli i stand til å konkurrere både på pris og energitetthet, men det gjenstår fortsatt en rekke problemer som må løses. Det er vel heller ikke meningen å erstatte oppladbare batterier fullstendig, men heller snakk om å utvikle et godt alternativ til spesielle anvendelser, kommenterer hun.



Nye byggesteiner for kjemikerne og industrien

Forskere ved NTNU har tidligere utviklet en prosess som gjorde nitropyridin tilgjengelig for syntetisk og kommersiell bruk. Dette åpnet helt nye muligheter, som professor Anne Fiksdahl nå har brukt til å produsere en rekke nye pyridinforbindelser. Perspektivet er at pyridin er en viktig byggestein i både naturstoffer, legemidler og landbrukskjemikalier.



Professor Anne Fiksdahl, NTNU

Forskere ved NTNU har tidligere utviklet en prosess som gjorde nitropyridin tilgjengelig for syntetisk og kommersiell bruk. Dette åpnet helt nye muligheter, som professor Anne Fiksdahl nå har brukt til å produsere en rekke nye pyridinforbindelser. Perspektivet er at pyridin er en viktig byggestein i både naturstoffer, legemidler og landbrukskjemikalier.

Det forholdsvis enkle pyridin-molekylet går igjen både i en mengde naturstoffer med biologisk aktivitet, samt i verdifulle produkter både innen den farmasøytiske bransjen og landbruket. Faggruppen for organisk kjemi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim har vært en viktig internasjonal bidragsyter innen forskning på pyridiner helt siden ca. 1990, da professor Jan Bakke utviklet en helt ny prosess for nitrering av pyridin. Dette hadde tidligere bare latt seg gjøre med lavt utbytte under ekstreme betingelser. Prosjektet var støttet av Norsk Hydro, som på den tiden hadde en stor aktivitet knyttet til finkjemikalier.

Et batteri av nye stoffer

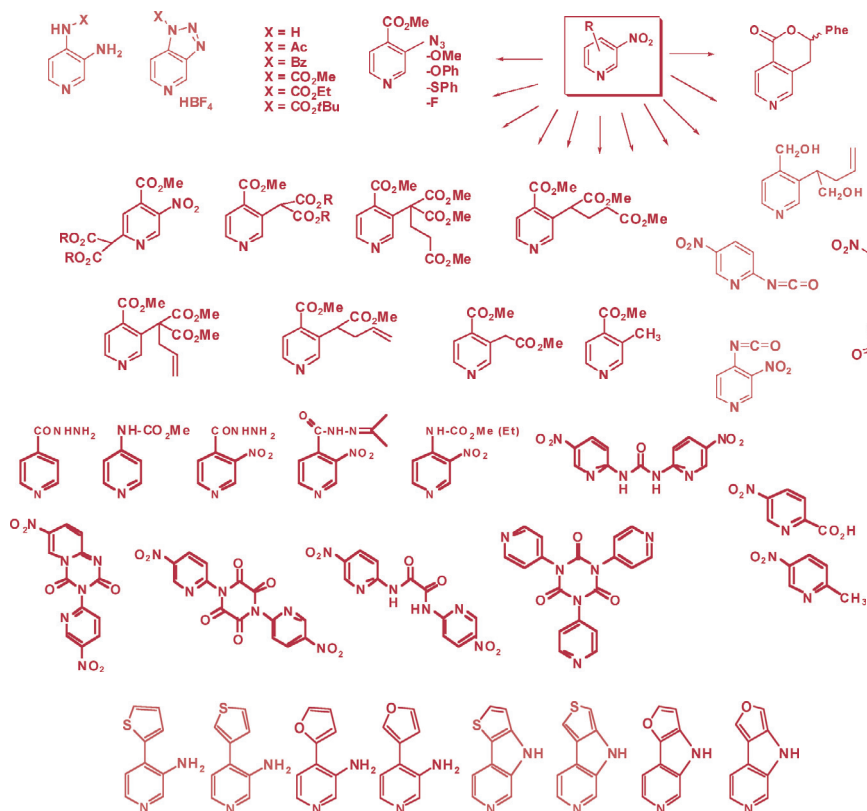
Bakkes oppdagelse gjorde plutselig nitropyridin-forbindelser tilgjengelige for både syntetisk og kommersiell bruk, og nå har professor Anne Fiksdahl bygget videre på Bakkes prosess og fremstilt et helt batteri av såkalte heterosykliske stoffer. – De fleste av disse stoffene har aldri blitt lagd tidligere, men listen inneholder også noen stoffer som nå kan produseres på en mye mer effektiv måte, forteller Fiksdahl.

Fiksdahls liste teller ca 40 nye forbindelser, og neste skritt blir å plukke ut noen av dem for å teste om de har virkning mot for eksempel sopp, virus, bakterier eller kreftceller. – I dette prosjektet har vi fulgt opp en hel masse ideer, og nå er tiden moden til å gå videre og se på egenskapene til disse stoffene, forklarer hun.

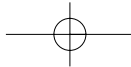
Spennende stoffgruppe

Professor Bakkes prosess førte altså til at en hel stoffgruppe med såkalte nitropyridiner ble tilgjengelige. Det var blant annet helt umulig å lage såkalte heterosykliske isocyanater tidligere, fordi dette var ustabile stoffer. Men Fiksdahl oppdaget at introduksjon av en nitrogruppe førte til at isocyanatene ble stabile, og dermed fikk «syntetikerne» en helt ny stoffgruppe å utforske. – Dette er viktig grunnforskning, fordi vi på en måte er med på å utvide antallet byggeklosser som kan brukes til å lage helt nye stoffer. Isocyanater er for øvrig en spennende stoffgruppe som er mye brukt i industrien, blant annet som utgangspunkt for polyuretaner, forteller Fiksdahl.

KOSK finansierte en doktorgradsstudent, og Fiksdahl understreker at støtten har hatt positive ringvirkninger både for forskningsgruppen og for hele instituttet. – Hvis man ikke kan drive skikkelig grunnforskning innenfor organisk kjemi, kan man heller ikke drive allsidig kjemiundervisning eller utvikle kjemisk-industrielle anvendelser, understreker hun. KOSK II støtter nå nitropyridin-prosjektet videre, og et samarbeid med kjemikere ved universitetene i Tromsø og Hamburg er etablert.



Professor Anne Fiksdahls arbeid har gitt opphav til ca 40 nye stoffer som stort sett aldri har eksistert tidligere (Illustrasjon: NTNU)



Luktestoffene i appelsin og sitron er kjemisk sett helt like, den eneste forskjellen er at de er speilbilder av hverandre.

Speilbilde-molekylene må skilles fra hverandre

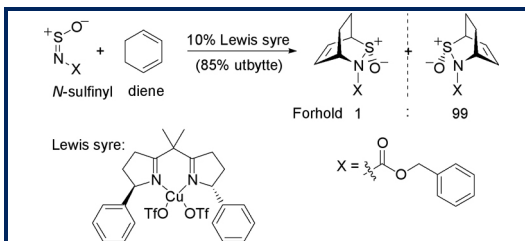
Thalidomid-skandalen omkring 1960 er det mest kjente eksemplet på at molekyler som er speilbilder av hverandre kan ha svært ulik virkning: Det ene molekylet lindret morgenkvalme og andre symptomer hos gravide kvinner, mens speilbildet førte til alvorlige fødselsskader. Odd R. Gautun utvikler nye metoder for å fremstille adskilte speilbilde-molekyler.

– Mange organiske molekyler finnes i to varianter som har nøyaktig lik kjemisk sammensetning. Den eneste forskjellen er at de er speilbilder av hverandre, akkurat som den venstre hånden er et speilbilde av den høyre. Hvis du kjører en organisk syntese uten å tenke på speilbilder får du som regel like mange «høyrehender» som «venstrehender», forteller førsteamanuensis Odd R. Gautun ved NTNUs Institutt for kjemi.

Problematikken er viktig blant annet innen den farmasøytiske industrien, hvor åtte av verdens ti mestselgende legemidler har ikke-identiske speilbilder eller såkalte enantiomerer. De to speilbilde-molekylene kan ha helt ulik virkning i menneskekroppen. I verste fall kan den ene forbindelsen være et legemiddel, mens speilbildet er giftig eller skadelig. Et mer harmløst eksempel kommer fra sitrusfruktens verden: Luktestoffene i appelsin og sitron er kirale enantiomerer.

Kiral produksjon istedenfor sortering

Legemiddelprodusentene er naturligvis mest interessert i den enantiomeren som har helbredende virkning. Det er vanskelig å skille enantiomerer fra hverandre etter at de er produsert, og Gautun satser derfor isteden på å utvikle metoder eller prosesser som bare produserer ett av dem. I en av disse metodene



Eksemplet viser at en Lewis-syre katalyserer reaksjonen mellom en sulfinylforbindelse og et dien. Resultatet blir en blanding som inneholder 99 prosent av det ene speilbilde-molekylet.

brukes blant annet en katalysator som selv er enantiomert ren.

– Vi har forsøkt å utvikle en ny syntetisk metode som gir romlig kontroll ved innføring av nitrogen i organiske molekyler. Dette gir muligheten til å lage mange nye og interessante molekyler, som for eksempel aminosyrer og penicillinlignende forbindelser. Målet er å utvikle en prosess som bare krever en svært liten mengde katalysator, forteller Gautun.

Knusktørre systemer

Metoden gjør bruk av metallatomer omgitt av organiske molekyler til å styre reaksjonsforløpet. Gautun og forskerkollegerne, blant annet doktorgradsstipendiatene Molla M. Endeshaw og Annette Bayer, har oppnådd veldig gode resultater for enkelte reagenser. – Men for

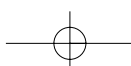
andre systemer har resultatene vært dårligere. På sikt håper vi å utvikle katalysatorsystemer som er veldig robuste og som kan fungere i vann. Foreløpig har vi bare reaksjoner som må kjøres i knusktørre systemer. Mange av katalysatorene vi bruker er kjent fra før, men vi har jobbet mye med nye kombinasjoner av reaktanter og tilsetningsstoffer for å øke katalysatorens effekt og levetid. Vi ser

også på mekanismene i reaksjonene og prøver å riste ut hemmelighetene for å optimalisere dem, forklarer Gautun.

– Thalidomid-skandalen er for øvrig et dårlig eksempel. Der var det nemlig slik at det «sunne» molekylet ble omdannet til det giftige når det kom inn i kroppen, tilføyer han.



Førsteamanuensis
Odd R. Gautun,
NTNU



Smart kjemi kan gi nytt liv til svekkede legemidler

Resistensproblemet, dvs at bakterier utvikler motstandskraft mot legemidler, har utviklet seg til en evig krig mellom den farmasøytiske industrien og bakteriene. Professor Leiv K. Sydnes og studentene hans har utviklet et helt arsenal av nye «kjemiske våpen» som de håper kan brukes i krigen mot bakteriene.

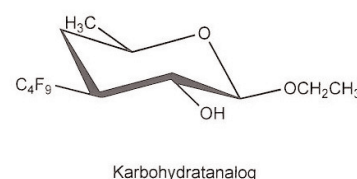
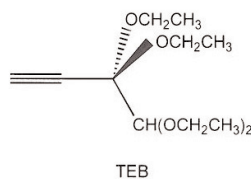


Professor
Leiv K. Sydnes,
Universitetet
i Bergen

16



Svekkede legemidler kan gjenopplives ved hjelp av «kamouflasje» på molekylens overflate, foreslår professor Leiv K. Sydnes. (Foto: Scanpix)



Strukturformlene av utgangsstoffet (TEB) og en karbohydratanalog.

Leiv K. Sydnes bruker gjerne legemidlet erythromycin som eksempel for å illustrere perspektivene rundt sin forskning. Erythromycin er et antibiotikum som hindrer bakterier i å vokse ved å hemme proteinsyntesen deres, og kan blant annet brukes av mennesker som er allergiske mot penicillin. Dessverre er bakterier i ferd med å utvikle resistens mot erythromycin A, men professor Sydnes ser en mulig løsning.

– Erythromycin-molekylet består av en stor kjerne med mange atomer, og på overflaten sitter det festet to mindre karbohydrat-strukturer. De resistente bakteriene må kjenne igjen overflaten på erythromycin før de kan uskadeliggjøre molekylet, men hvis vi forandrer overflaten ved å sette på noen andre strukturer, kan det hende at bakteriene blir lurt og ikke gjenkjenner erythromycin likevel. Dermed kan det «kamouflerte» erythromycinet plutselig bli et virksomt legemiddel igjen, sier Sydnes. Teknikken rommer muligheten til å gjenopplive også andre legemidler som er i ferd med å bli svekket på grunn av resistens.

Det er ofte bare små endringer på en legemiddel-overflate som skal til for at bakteriene ikke skal kjenne det igjen.

Teorien er enkel, men den underliggende forskningen er både komplisert og lang-siktig. Det handler blant annet om å lage mindre molekyler som kan festes på overflaten av erythromycin og andre store molekyler, og kjemikerne i Bergen bruker molekylet 3,3,4,4-tetraethoxy-1-butyn (TEB) som utgangspunkt i dette arbeidet. – Dette molekylet er ladet med reaktive sentre, og det kan brukes som utgangspunkt for å lage mange forskjellige stoffer av en type som kalles karbohydratanaloger. Dette er stoffer som ikke finnes i naturen, men som likner på naturlige karbohydrater og ofte har en biologisk virkning, forteller Sydnes.

Før KOSK-programmet startet hadde Sydnes og hans studenter utviklet en rimelig, enkel, sikker og miljøvennlig metode for syntese av TEB. Deretter begynte arbeidet med å utforske hvordan andre kjemiske strukturer kan koples til utgangsstoffet. Dette er nå blitt til et lite arsenal av mulige nye våpen til bruk i krigen mot bakteriene.

Kjemikere lager medisiner

En undersøkelse for noen år siden viste at 80 prosent av den norske befolkningen trodde at det er legene som lager

medisinene. Forskningen i Bergen viser at det er en misforståelse, for bak ethvert vellykket legemiddel står i virkeligheten en hel kø av kjemikere.

– Dette er grunnleggende forskning som vi har drevet uten tanke på anvendelser. Men nå er tiden inne til å se på den biologiske virkningen av de stoffene vi har utviklet. Overflatestrukturene på et legemiddel har ikke bare betydning for resistens, men også for den medisinske virkningen. Derfor trenger vi et helt spektrum av forbindelser som må testes ut før vi kan finne frem til de som gir den beste virkningen, forteller Sydnes.

Kandidatene fra det organiske kjemistudiet ved Universitetet i Bergen er svært etterspurte i industrien, og Sydnes forteller at støtten fra KOSK har hatt stor betydning. – Organisk kjemi er et studium som har et stort innslag av praktisk håndverk, blant annet fordi studentene må lære seg å håndtere skjørt glassutstyr og reaktive kjemikalier i laboratoriet. Dette gir en helt unik kompetanse, og det finnes dem som mener at organisk kjemi er en form for kunst. Jeg tilhører opplagt den gruppen, forteller Sydnes, som gjerne leser en elegant publikasjon i organisk kjemi når han virkelig skal fryde seg.

Fire atomer er bra, tre og fem dårlig



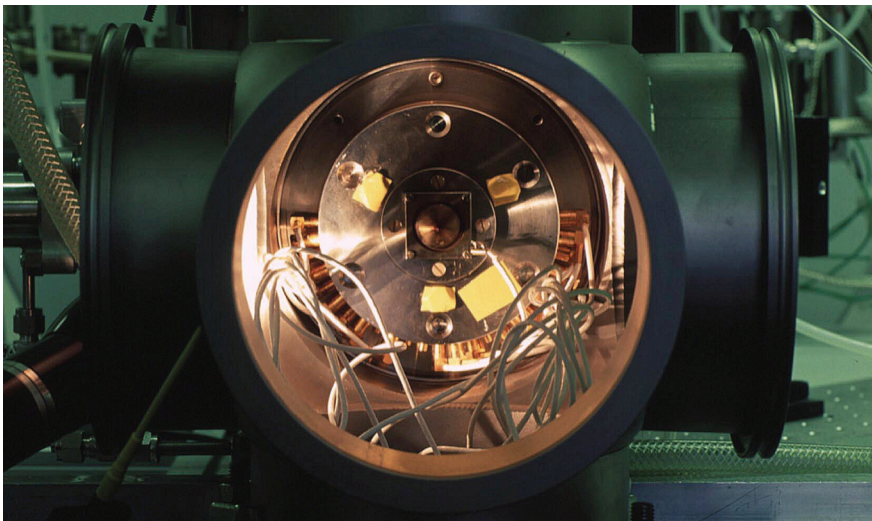
Professor Einar Uggerud går grundig til verks, helt ned på atomnivået, når han studerer metallers katalytiske egenskaper. Han har for noen metallers vedkommende, som jern og kobolt, konstatert at ørsmå klynger med fire metallatomer er gode katalysatorer, mens klynger med tre eller fem atomer er dårlige. Forskjellen virker nesten magisk, men forklaringen er helt sikkert rasjonell.

– Kjemi er mye mer spennende enn mange tror! sier Einar Uggerud. Han synes feks det er veldig spennende å skyte med laser mot skiver av platina eller ruthenium, slik at noen få metallatomer av gangen fordampes og ledes ut i en passerende strøm av heliumgass. Heliumgassen med metallatomer presses deretter med supersonisk hastighet gjennom en trang hylse, hvor den såkalte Joule-Thomson-effekten fører til at gassen brått blir nedkjølt til ca. 10 grader Kelvin ($\div 263$ °C). Dermed «fryser» metallatomene sammen i små klynger (cluster), og prosessen kan finstilles slik at klyngene består av alt fra to til ca 30 atomer. Deretter kan de ulike klyngestørrelsene undersøkes i massespektrometer og analyseres for katalytiske egenskaper.

– Vi kan ikke si at denne forskningen har gitt opphav til et patent som er tatt i bruk i industrien, eller at den har gitt opphav til så og så mange arbeidsplasser og mange millioner i overskudd. Men resultatene har virkelig utfordret den eksisterende forståelsen av katalysatorer og lagt et godt grunnlag for videre forskning. Forresten: Det at man alltid skal tallfeste resultater, er etter min mening noe man gjør når man egentlig ikke skjønner hva man driver på med! sier Uggerud.

Fire er et «magisk» tall

Uggerud har blant annet vist at klynger med fire atomer ofte er gode katalysatorer, mens klynger med tre eller fem atomer er skrale sådanne. – Vi har sett



Clusterkilden brukes til å laserfordampe metaller inn i en gasstrøm (over). De små atomklyngene kan bestå av opptil 30 atomer (øverst). (Foto og Ill.: Kjell Ove Fossan og UiO)

denne effekten blant annet i reaksjonene mellom jern og ammoniakk, og mellom kobolt og metanol. I reaksjoner mellom platinaklynger og metan var det litt annerledes, for der kunne klynger med tolv atomer gi 100 prosent katalysatoreffekt mens tretten atomer var helt dødt. Men generelt ser det ut til at fire er et «magisk» tall når det gjelder de såkalte innskuddsmetallenes katalytiske egenskaper. For øvrig flater egenskapene ut etter hvert som klyngene blir større, forteller Uggerud, som til daglig er leder for Massespektrometrisk laboratorium ved Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo. I 2006-2007 har han forskningstermin ved Philipps-Universität Marburg, som ble grunnlagt i 1527 og fikk verdens første læresetet i kjemi allerede i 1609.

Fra empiri til modellering

Da det kjemiske læresetet ved Universitetet i Oslo skulle feire sitt 150-årsjubileum i 2002, tok Uggerud med glede på seg vervet som leder for jubileumskomiteen. Nå er han med på etableringen av den nye forskningsenheten Centre of Theoretical and Computational Chemistry, som i desember 2006 ble utpekt av Norges forskningsråd som et nytt Senter for fremragende forskning (SFF). – Jeg har en ambisjon om å arbeide videre med disse tingene i SFF-regi. Hvis vi virkelig klarer å beskrive og forstå de prosessene som foregår i katalysatorene, står vi overfor et gjennombrudd som vil få stor betydning både forskningsmessig og industrielt, understreker han.

– Vi gleder oss til å ta fatt på denne oppgaven, men det var synd at NFR ikke kunne innvilge en søknad om å bygge et apparat for å bestemme molekylstrukturen til metallklynger. Det ville representert et forskningsmessig gjennombrudd på fagområdet, tilføyer han.

– Vi studerer disse reaksjonene for å forstå bedre hvilke elementære forhold som styrer dem. Denne typen kunnskapsdannelsen er både nyttig og viktig for den videre utviklingen av katalysatorer, som tradisjonelt er blitt utviklet med prøving og feiling. Du kan si at vi nå snur opp/ ned på metoden i den forstand at vi lager modeller og forsøker å tegne et kart som «skuta» kan navigeres etter. Tidligere var det mer slik at man navigerte etter kjølvannet, sier Uggerud.



Professor
Einar Uggerud,
Universitetet i Oslo

Prosjekter i KOSK

I tillegg til prosjektene på listen, har KOSK-programmet gitt støtte til nasjonale fagmøter og enkelte internasjonale konferanser.

Katalytisk omsetning av metan

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
Prosjektleder: Professor Anders Holmen
1.4.2000-31.12.2001

Stereoselektive reaksjoner i organisk syntese ved bruk av transisjonsmetall katalyse

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Professor Kjell Undheim
1.9.2000-31.12.2001

Syntese og testing av epothilone-analoger

Institutt for kjemi, NTNU
Prosjektleder: Postdoktorstipendiat Trond Ulven
1.3.2000-31.12.2001

Hydrotalcite-like compounds as catalytic materials for the conversion of natural gas components (light alkanes) to synthesis gas

SINTEF Materialer og kjemi
Prosjektleder: Forsker Anja Olafsen
1.8.2000-31.12.2006

Synthesis of agelasines and evaluation of their antimycobacterial activity

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Professor Lise-Lotte Gundersen
1.1.2002-16.3.2007

Novel Radical Reactions for Selective Organic Synthesis

Kjemisk institutt, Universitetet i Bergen
Prosjektleder: Professor Hans-René Bjørsvik
1.9.2003-31.8.2006

Gas Conversion to Fuels and Chemicals

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
Prosjektleder: Professor Anders Holmen
1.8.2003-31.7.2007

Development of organocatalysis

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Førsteamanuensis Tore Hansen
1.7.2004-30.6.2007

New catalysts for activation and functionalization of alkanes, catalytic testing

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Professor Unni Olsbye
1.7.2004-30.6.2007

Theory-assisted design of catalysts for olefin metathesis

Kjemisk institutt, Universitetet i Bergen
Prosjektleder: Professor Vidar Remi Jensen
1.1.2004-31.12.2006

Chemoenzymatic synthesis of enantiopure biologically acrylic compounds. Study of enzyme mechanism

Institutt for kjemi, NTNU
Prosjektleder: Professor Thorleif Anthonsen
1.1.2004-31.8.2007

Gas conversion to fuels and chemicals including hydrogen

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
Prosjektleder: Professor Anders Holmen
1.1.2004-31.7.2007

Asymmetric ene-reactions of aza analogues of sulfur dioxide

Institutt for kjemi, NTNU
Prosjektleder: Førsteamanuensis Odd Reidar Gautun
1.1.2004-31.12.2006

Syntese med dihydroxyacetone

Institutt for kjemi, NTNU
Prosjektleder: Professor Per Henning Carlsen
1.1.2004-31.3.2008

Transition metal corrole chemistry: self-assembly, transition metal chemistry, and catalysis

Institutt for kjemi, Universitetet i Tromsø
Prosjektleder: Professor Abhik Ghosh
1.7.2005-31.12.2007

Synthesis of Agelasines and Analogs, and Evaluation of Their Bioactivities

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Professor Lise-Lotte Gundersen
1.3.2005-28.2.2006

Gas Conversion to Fuels and Chemicals Including Hydrogen

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
Prosjektleder: Professor Anders Holmen
1.1.2005-31.7.2007

Conceptually New Phosphinine-Containing Ligands for Asymmetric Catalysis

Institutt for kjemi, Universitetet i Tromsø
Prosjektleder: Førsteamanuensis Annette Bayer
1.7.2005-31.8.2007

Carbocation mediated hydrocarbon reactions over acidic zeolite-type catalysts

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Professor Unni Olsbye
1.1.2005-31.12.2006

A New Generation of Catalysts for Activation and Functionalization of Alkanes: Homogeneous Catalytic Testing

SINTEF Materialer og kjemi
Prosjektleder: Forsker Richard H. Heyn
1.1.2006-31.5.2007

Reaction mechanism elucidations in carbocation mediated hydrocarbon reactions over acidic zeolite type catalysts

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Professor Karl Petter Lillerud
1.1.2004-31.12.2005

Modified carbohydrates from 3,3,4,4-tetraethoxy-1-butene

Kjemisk institutt, Universitetet i Bergen
Prosjektleder: Professor Leiv Kristen Sydnes
15.2.2005-14.5.2005

Coordination polymers as heterogeneous catalysts

SINTEF Materialer og kjemi
Prosjektleder: Seniorforsker Richard Blom
1.1.2005-31.12.2005

Towards a «green» process for asymmetric dihydroxylation and aminohydroxylation of alkenes

Institutt for kjemi, Universitetet i Tromsø
Prosjektleder: Førsteamanuensis Annette Bayer
1.7.2004-30.6.2006

Metal Clusters and Industrial Catalysis. Reactions of Hydrocarbons with Platinum and Ruthenium Clusters

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Professor Einar Uggerud
1.9.2003-15.9.2005

Catalytic Coupling of Carbon Dioxide and Alkenes

SINTEF Materialer og kjemi
Prosjektleder: Forsker Richard H. Heyn
1.1.2003-30.4.2004

Design and synthesis of short Class L-peptides with high activity against multiresistant bacteria

Institutt for kjemi, Universitetet i Tromsø
Prosjektleder: Professor John Sigurd Svendsen
1.1.2003-31.12.2004

Design and Optimization in Organic Synthesis

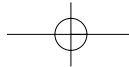
Institutt for kjemi, Universitetet i Tromsø
Prosjektleder: Professor Rolf E. Carlson
1.9.2000-31.10.2005

Modelling and synthesis of zeo-type materials

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
Prosjektleder: Professor Karl Petter Lillerud
1.9.2000-31.7.2004

Hydrogenation of CO with different CO/H₂ ratios and in the presence of olefins

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
Prosjektleder: Professor Anders Holmen
1.7.2002-30.6.2006



Nitropyridyl isocyanate

Institutt for kjemi, NTNU
 Prosjektleder: Førsteamanuensis Anne Fiksdahl
 1.7.2002-30.6.2006

Development of Novel Stereoselective Ru(II)-Catalyst Systems

Prosjektleder: Dr. Jon Efskind
 1.1.2002-31.3.2005

Development of new, highly efficient catalysts for asymmetric transfer hydrogenations

Institutt for kjemi, Universitetet i Tromsø
 Prosjektleder: Førsteamanuensis Annette Bayer
 1.8.2002-31.3.2004

Metal Complex Catalysis in Conversion of Natural Gas to Value-Added Products

SINTEF Materialer og kjemi
 Prosjektleder: Forsker Richard H. Heyn
 1.7.2002-18.8.2004

Synthesis of Plant Hormones with Growth Stimulating Effects

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
 Prosjektleder: Professor Lise-Lotte Gundersen
 1.10.2000-9.1.2005

Metal Complex Catalysis in Conversion of Natural Gas to Value-Added Products

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
 Prosjektleder: Professor Mats Tilset
 15.3.2001-14.3.2005

Radical ion induced and transition metal catalysed radical reaction for green and selective oxidative reactions in organic synthesis

Kjemisk institutt, Universitetet i Bergen
 Prosjektleder: Professor Hans-René Bjørsvik
 1.1.2001-31.12.2003

Nitropyridines in organic synthesis

Fakultet for naturvitenskap og teknologi, NTNU
 Prosjektleder: Professor Jan Magnus Bakke
 1.9.2000-30.4.2005

Isomerization of light alkanes catalyzed by sulfated zirconia and conventional catalysts

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
 Prosjektleder: Professor Edd A. Blekkan
 1.10.2000-7.1.2005

Kinetics of high temperature catalytic reactions

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
 Prosjektleder: Professor Anders Holmen
 15.12.2000-23.2.2005

A fundamental approach to the understanding of Fischer-Tropsch synthesis catalysts

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
 Prosjektleder: Professor Anders Holmen
 1.10.2000-11.8.2005

New Synthetic Antimalarial Drugs

Farmasøytisk institutt, Universitetet i Oslo
 Prosjektleder: Professor Arne Jørgen Aasen
 15.8.2001-31.7.2003

Synthesis Gas Production by Partial

Oxidation of Methane from a Cyclic Gas-Solid Reaction

Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU
 Prosjektleder: Professor Anders Holmen
 1.1.2001-31.12.2001

Studier av N-sulfinyldienofiler i Diels-Alder reaksjoner katalysert av kirale overgangsmetall-komplekser

Institutt for kjemi, NTNU
 Prosjektleder: Førsteamanuensis Odd Reidar Gautun
 1.1.2001-2.9.2005

Microchannel catalyst/reactor systems for production of synthesis gas and hydrogen from lower alkanes

SINTEF Materialer og kjemi, Prosesssteknologi
 Prosjektleder: Førsteamanuensis Hilde Johnsen Venvik
 1.1.2001-31.12.2002

Metal Complex Catalysis in Conversion of Natural Gas to Value-Added Products

SINTEF Petroleumsforskning AS, Solutions olje og gass
 Prosjektleder: Forsker Olav Ryan
 1.1.2001-31.12.2001

Applied biocatalysis 1980-2020: The future impact of modelling proteins and thermodynamics

Institutt for kjemi, NTNU
 Prosjektleder: Professor Thorleif Anthonen
 1.6.2001-31.7.2001

A theoretical study of the catalytic properties of chromia and supported chromia with respect to dehydrogenation of ethane

Kjemisk institutt, Universitetet i Bergen
 Prosjektleder: Professor Knut J. Børve
 1.1.2001-30.6.2005

On the Mechanism of the Chirality Transfer in the Asymmetric Dihydroxylation Process

Institutt for kjemi, Universitetet i Tromsø
 Prosjektleder: Professor John Sigurd Svendsen
 1.6.2001-31.5.2004

Palladium Catalyzed Oxidation Reactions of Allenes

Prosjektleder: Postdoktorstipendiat Lars Gunnar Johansson
 15.1.2001-14.1.2002

Sykliske disulfonimider. Fremstilling og reaktivitet av aminbaserte utgående grupper

Institutt for kjemi, NTNU
 Prosjektleder: Professor Per Henning Carlsen
 1.1.2001-30.6.2005

ROMPGEL and Related Supports in Combinatorial Chemistry

Prosjektleder: Dr. Erik Årstad
 1.10.2001-30.9.2002

Synthesis of short Class L-peptides with increased selectivity against tumor cells

Institutt for kjemi, Universitetet i Tromsø
 Prosjektleder: Professor John Sigurd Svendsen
 1.7.2001-31.3.2002

Metallocene catalysts for production of block polymers

SINTEF Materialer og kjemi
 Prosjektleder: Seniorforsker Richard Blom
 1.8.2001-31.7.2004

Synthesis of enantiopure fine chemicals and drugs by biocatalysis

Institutt for kjemi, NTNU
 Prosjektleder: Professor Thorleif Anthonen
 1.1.2001-31.12.2001

Metanol til hydrokarboner -

Reaksjonsmekanisme og deaktivering

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
 Prosjektleder: Professor Stein Kolboe
 1.1.2000-31.12.2003

Syntese av feromoner

Farmasøytisk institutt, Universitetet i Oslo
 Prosjektleder: Professor Arne Jørgen Aasen
 1.1.2000-31.12.2002

3,3,4,4-Tetraethoxy-1-butyne and analogues as synthons in organic synthesis

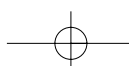
Kjemisk institutt, Universitetet i Bergen
 Prosjektleder: Professor Leiv Kristen Sydnes
 1.9.2000-31.3.2005

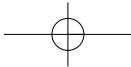
Carbocation mediated hydrocarbon reactions over acidic zeolite type catalysts

SINTEF Petroleumsforskning AS, olutions olje og gass
 Prosjektleder: Professor Michael Stöcker
 19.2.2001-31.12.2002

Carbocation mediated hydrocarbon reactions over acidic zeolite type catalysts

Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo
 Prosjektleder: Professor Karl Petter Lillerud
 1.1.2003-30.6.2004





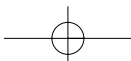
© Norges forskningsråd 2007
Postboks 2700 St. Hanshaugen
N-0131 OSLO
Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01
post@forskningsradet.no
www.forskningsradet.no/

Publikasjonen kan bestilles via internett:
www.forskningsradet.no/publikasjoner

eller grønt nummer telefaks: 800 83 001

Tekst og layout: Faktotum Informasjon AS
Foto/ill. omslagsside: Karl-Petter Lillerud, UiO
Trykk: Gan grafisk AS
Opplag: 750

Oslo, desember 2006
ISBN 978-82-12-02406-9 (trykksak)
ISBN 978-82-12-02407-6 (pdf)



H
N