

# Fra Fysikkens Verden

NR. 3 – 2020  
82. ÅRGANG

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

## Nikola Tesla – pioner i vekselstrømsteknikk



### Les også om:

- Kavliprisene 2020
- Ultrakald materie

- Superkondensatoren

# Nr. 3 – 2020

## 82. årgang

### Utgiver:

Norsk Fysisk Selskap  
[www.norskfysisk.no](http://www.norskfysisk.no)

### Redaktører:

Professor Øyvind Grøn  
OsloMet – storbyuniversitetet  
E-post: [oyvind.gron.no@gmail.com](mailto:oyvind.gron.no@gmail.com)

Professor Emil J. Samuelsen  
Institutt for fysikk, NTNU  
E-post: [emil.samuelsen@ntnu.no](mailto:emil.samuelsen@ntnu.no)

### Redaksjonssekretær:

Maria Hammerstrøm  
Realfagsbiblioteket, UiO  
E-post: [maria.hammerstrom@astro.uio.no](mailto:maria.hammerstrom@astro.uio.no)

### Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia, Institutt for fysikk, UiT  
Professor Ellen K. Henriksen, Fysisk institutt, UiO  
Professor Per Osland, Inst. for fysikk og teknologi, UiB

### Layout og sats:

Maria Hammerstrøm

### Trykkeri:

Oslo Sats, repro og montasje A/S

### Abonnere:

*Fra Fysikkens Verden* kommer ut fire ganger årlig.  
Abonnement tegnes på følgende postadresse  
eller e-post:

*Fra Fysikkens Verden*  
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo  
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo

E-post: [nfs.styret@gmail.com](mailto:nfs.styret@gmail.com)

Årsabonnement: 200 kr. (studenter 100 kr.)  
Bankgiro: 7878.06.03258

### Retningslinjer for bidragsyttere

*Fra Fysikkens Verden (FFV)* utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler.

**Frist:** Bladet gis ut fire ganger i året: mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er: 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er for tiden 1400.

**Formål:** Formålet med *FFV* er å gi informasjon om aktuelle tema og hendiger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker *FFV* å være til hjelp for elever og lærere i videregående skole og andre undervisningsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på norsk og på en lett forståelig måte. Faguttrykk må defineres. En verbal form er oftest å foretrekke fremfor matematikk. Men det må brukes standard begreper og enheter. Matematikken må være forståelig for fysikkstudenter. Artiklene i *FFV* skal primært gi informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare forstås av en liten faggruppe har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redaksjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

**Filformat:** Manuskripter leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal levers elektronisk som e-post, og i et rent tekstformat (for eksempel Word), slik at redaksjonen kan redigere teksten direkte. Dersom manuskriptet inneholder matematiske ligninger, skal manuskriptet også leveres som PDF.

**Lengde:** Artikler bør ikke være lengre enn 6 sider med trykt tekst og figurer. Større avsnitt i teksten bør markeres med undertitler. Unngå fotnoter. Referanser kreves ikke, men det er ønskelig med en liste over lett tilgjengelig tilleggsstoff.

**Småstykker:** Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møterefater og lignenede mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

**Illustrasjoner:** Legg mye omtanke i figurer, ettersom de er en viktig del av en artikkel. All figurtekst skal være på norsk. Figurene bør være av god oppløsning. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

**Korrektur:** Forfatterne får tilsendt korrektur når layout er satt opp som må returneres snarest. Det må ikke gjøres unødige endringer i korrektur.

# Innhold

Fra redaktørene Øyvind G. Grøn	47
St. Olavs Orden til professor Kristian Johan Fossheim Emil J. Samuelsen	48

## Fysikknytt

Ultrakald materie i Den internasjonale romstasjonen Øyvind G. Grøn	49
--	----

## Artikler

Kavliprisene 2020:

• Astrofysikk Viggo Hansteen	50
• Nanovitenskap Bodil Holst	52
Superkondensatoren Lars Egil Helseth	55
Nikola Tesla – pioner i vekselstrømsteknikk Øyvind G. Grøn	59

## Småstoff

Bokanmeldelse: <i>Ocean Waves and Oscillating Systems</i> Eivind Hiis Hauge	63
---	----

## FRA REDAKTØRENE

Det er en glede for redaksjonen å kunne gratulere Kristian J. Fossheim med utnevnelsen til ridder av 1. klasse av Den Kongelige Norske St. Olavs Orden. Vi gleder oss også over å presentere årets vinnere av Kavliprisene for astrofysikk og nanofysikk som utdeles av Det norske vitenskapsakademi.

Fysikken har en interessant historie med skapende personer som har satt sitt preg på utviklingen både av fysikken og samfunnet. En av dem er Nikola Tesla, en pionér i utviklingen av vekselstrømsteknologi. Han viet sitt liv til innovativt arbeid med å utvikle denne teknologien slik at den kunne komme til nytte for menneskeheten. For eksempel konstruerte han turbiner, transformatorer og utstyr for overføring av elektrisk energi over store avstander som bidro til å 'elektrifisere samfunnet'.

Utviklingen har fortsatt i raskt tempo, og vi lever nå i et samfunn der nesten alt er basert på bruk av elektromagnetisk utstyr. I situasjoner der man trenger en kortvarig stor effekt har det vist seg at nyutviklede superkondensatorer kommer til nytte. Deres fysikk presenteres i dette nummeret av *FFV*.



Øyvind G. Grøn



Emil J. Samuelsen

## St. Olavs Orden til professor Kristian Johan Fossheim

Ved ein høgtideleg seremoni 2. september 2020 i Erkebispegården i Trondheim blei professor Kristian Johan Fossheim utnemnd av fylkesmannen i Trøndelag, Frank Jenssen, til riddar av 1. klasse av Den Kongelige Norske St. Olavs Orden, «for hans samfunnsnyttige innsats».

### Vita

Fossheim er tidlegare professor i fysikk ved NTH/NTNU i Trondheim.

Han er fødd i Jølster 4. desember 1935. Etter vidaregåande skole studerte han fysikk ved Universitetet i Oslo og var Cand. Scient. i 1964 og tok doktorgraden der i 1972. Etter periode som vit. ass. ved universitetet og stipendiat ved NAVF til 1970 blei han tilsett som førsteamanuensis ved NTH 1970–1980, og utnemnd til professor i teknisk fysikk ved NTH 1980, ei stilling han heldt til aldersgrensa 2005.

### Innsats

Fossheims «samfunnsnyttige innsats» er nok til ein viss grad knytt til arbeidet som universitetslærer, med undervisning i materialfysiske emne som faststoffysikk, atom- og kjernefysikk og også generell fysikk i tillegg til doktorgradsfag på høgre nivå i same emnekrets, pluss rettleiing av hovudfagstudentar og doktorandar,. Han kan bokføre rettleiing av så mange som 15 doktorgradsarbeid, som oftast utførde i nær tilknytting til hans eigne forskingsoppgåver. I tilknytting til undervisninga gav han ut læreverk om ultralydteknikk i 1979, om fysikalsk akustikk saman med Rune Holt i 1983, og ei fylldig lærebok om supraleiing i 2004 saman med Asle Sudbø. Fossheim har om lag 120 eigne vitenskaplege publikasjonar, og tel ca. 150 foredrag og plakatpresentasjonar. Og han hadde ei brei internasjonal kontaktflate mot kollegaer og institusjonar i utlandet og var medlem av internasjonale organisasjonar.

Ein stor del av «samfunnsnyttige innsats» av Fossheim gjeld nok hans betydelege bidrag som skribent og forfattar av både fagleg og ikkjefagleg karakter. Han har skrive tre bøker om nobelprisvinnarar, og elles ei rekke kronikkar om ulike emne i aviser som *Adresseavisa*, *Aftenposten*, *Firda* og *Firda Tiend*, og i tillegg fleire foredrag i *NRK P2-akademiet* og *Verdt å vite* og innslag i *Schrödingers katt*.

Men det som kanskje har sett størst spor etter seg er arbeid for Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab DKNVS.



Figur 1. Kristian Johan Fossheim 2. september 2020.

Fossheim har mottatt mange prisar: Fritjof Nansen belønning for yngre forskere (saman med Bjørn Slagsvold) 1977; EB Norsk Kabels Jubileumspris for supraleiingsforskning 1988; Sogn og Fjordane fylkes målpris 1989; Allforskprisen Trondheim kommune 2003; DKNVS Gunneriusmedalje (saman med Steinar Suphellen) for vellukka 250-årsjubileum, 2015.

### DKNVS

I DKNVS-samanheng var Fossheim visepreses i seks år, 2005–2010, og etter det preses i tre år, 2011–2013. I den første perioden vart den valde preses alvorleg sjuk i 2010, og Fossheim var såleis fungerande preses i 2010 då DKNVS feira sitt 250-årsjubileum. Som både formann i jubileumskomiteén og fungerande preses fekk Fossheim hovudansvaret for jubileumsarrangementa, som mellom anna innebar besøk av kong Harald. Jubileet var eigentleg godt førebudd frå 2005 av, med 15 arrangement for Fossheim å opne og administrere. Eg kan nemne høgtidsmøte med middag i Kongsgården, festførestilling i Olavshallen, jubileumsfestgudsteneste i Nidarosdomen, pluss fleire nasjonale og internasjonale jubileumskonfe-

ransar mellom mars og mai 2010. Fossheim skreiv seinare ein fyldig rapport om jubileumfeiringa.

### Gunnerus-prisen

I Oslo deler dei ut Abel-prisen i matematikk sida 2002 og Kavli-prisane i naturfag sida 2008, og i Bergen er det Holberg-prisen i humaniora sida 2003. I 2007 var både Tromsø og Trondheim interesserte i å opne for ein miljø-pris og søkte om stønad frå Regjeringa. Tromsø fall etter kvart ut av bildet, og etter iherdig innsats av DKNVS og Kristian Fossheim blei ein miljøpris med namn 'Gunnerus-prisen i berekraft' instituert av DKNVS av eigne midlar. Prisen blei delt ut første gong i 2012. Men vidare finansiering var vanskeleg å få på plass, og neste utdeling kom først i 2017, etter

oppnådd løyving over statsbudsjettet, og ved at NTNU var blitt partner av prosjektet. Tre prisar er delte ut til no, og den fjerde er lyst ut for 2021.

### Meir

Kristian Fossheim sin innsats var mangfoldig og mangesidig, og som i G.B. Rodes vise om Tordenskjold kan vi tilføye at «All hans manndom og bedrift kan ei stå i dette skrift», men spesielt interesserte kan finne meir i Jubileumsrapporten «Eit langt steg opp og fram»: DKNVS Skrifter 2014. Om 250-års jubileet i Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab i 2010, og på Fossheim si nettside ved NTNU <https://www.ntnu.no/employees/kristian.fossheim> med tilvising til heimeside.

*Emil J. Samuelsen*

## Ultrakald materie i Den internasjonale romstasjonen

**Ved hjelp av seks laserstråler har en gruppe fysikere greid å produsere et Bose-Einstein-kondensat i Den internasjonale romstasjonen (ISS).**

**Øyvind G. Grøn** OsloMet – storbyuniversitetet

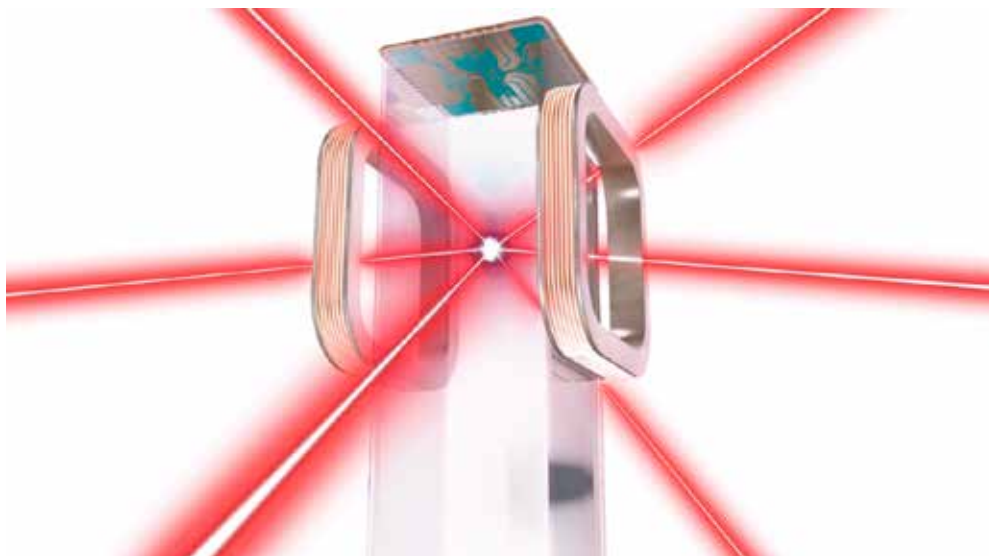
Et Bose-Einstein-kondensat er en tynn gass av atomer med så lav temperatur at deres Compton-bølgelengde er omtrent lik den gjennomsnittlige avstanden mellom atomene. Under slike betingelser vil alle atomene innta den samme kvantetilstanden, og kondensatet vil være superflytende.

På jorda har slike kondensater kort levetid fordi tyngden får dem til å kollidere med bunnen

av apparaturen i løpet av brøkdelen av et sekund, og dermed ødelegges deres egenskaper. Et slikt kondensat er derfor vanskelig å studere på jorda. I det tyngdefrie laboratoriet i ISS har kondensatet lengre levetid.

Produksjonen av et Bose-Einstein-kondensat i et laboratorium på ISS betraktes derfor som et viktig fremskritt i studiet av materiens kvante-egenskaper siden kvante-egenskaper blir makroskopiske på grunn av den kollektive oppførselen av atomer i et slikt kondensat. ■

**Figur 1.** Illustrasjon av at seks lasere brukes i NASAs Cold Atom Lab for å kjøle ned et stoff og produsere et såkalt Bose-Einstein-kondensat. (Illustrasjon: NASA/JPL-Caltech)



# Kavliprisene 2020

Kavliprisen deles ut i Oslo annen hvert år innen fagfeltene astrofysikk, nanovitenskap og nevrovitenskap for å hedre «de største, de minste og de mest komplekse størrelsesskalene». Her omtales to av årets prisvinnere.



## Astrofysikk: Røntgenastronomi

Det norske vitenskapsakademi har besluttet å tildele Kavliprisen i astrofysikk for 2020 til:

- **Andrew Fabian**, University of Cambridge, Storbritannia for hans banebrytende innsats innen røntgenastronomi og forskning omkring svarte hull og deres rolle i universet.



Figur 1. Andrew Fabian.

Spesielt nevnt i begrunnelsen for pristildelingen er hans iherdige arbeid for å løse mysteriet med hvordan svarte hull påvirker sine omgivelser; de omkringliggende galakser i både liten og stor skala. I flere tiår har forskere grublet på mekanismene og de fysiske prosessene som preger galakser. Mange har gjort oppdagelser som peker mot aspekter ved deres indre virkemåte, men ingen andre har hatt Fabians unike utgangspunkt: å anvende en forståelse av prosesser på både små og store astronomiske størrelsesskalaer og systematisk bruke denne for å sette bitene i puslespillet sammen til det store bildet i dette svære systemet av mørk materie, stjerner, gass, magnetfelt og stråling.

I det nåværende kosmologiske paradigmet er universet et komplekst system, der strømmene av gass inn i galakser med svarte hull i sentrum og den påfølgende frigjøringen av energi tilbake til galaksene og deres omgivelser alle spiller vitale roller. Som de mørkeste objektene i universet observeres svarte hull når deres tyngdekraft tiltrekker seg omkringliggende gass, støv og stjerner, som virvles inn i dem i høy hastighet og dermed skaper intens stråling, mye av den i form av energirik røntgenstråling. Empirisk røntgenastronomi åpnet muligheten for å se disse, og andre ekstremt varme og energifylte komponenter i universet, og fremskaffet forbløffende vitnesbyrd om hvordan disse prosessene fungerer.

Fabian, som er professor ved Universitetet i Cambridge, benytter seg av røntgenastronomi for å utforske universets fysikk. Hans samlede arbeider – fra forståelsen av storskala galaktisk utvikling til fysikken i svarte hull i galaksenes sentrum – har satt ham i stand til å trekke forbindelseslinjer mellom lokale forhold rundt supermassive svarte hull på størrelse med et solsystem eller mindre, det vil si med dimensjoner som måles i lystimer, og de store strømmene av gass som flyter inne i og mellom galakser, med dimensjoner opp mot flere millioner lysår. Denne forskningen fremskaffet tegn på at disse små i kosmologisk målestokk, men likevel supermassive svarte hull i hjertet av galakser kan være selve motorene som driver strømmen av varm gass ut av galaksen, omfordeler energi rundt i universet og danner byggesteinene for dannelsen av fremtidige galakser.

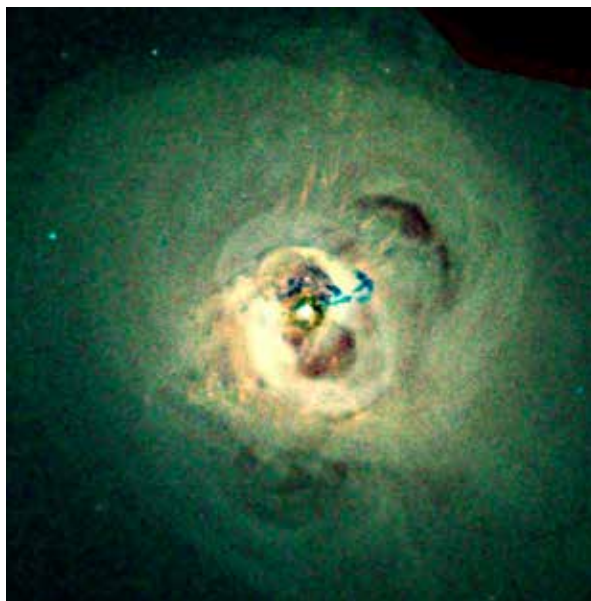
**Figur 2.** Den aktive galaksen NGC 1275 er en kjent radiokilde, kalt Perseus A, og gir fra seg sterke røntgenstråler på grunn av tilstedeværelsen av et svart hull i sentrum av galaksen. (Bilde: Røntgen NASA/CXC/IoA/A.Fabian et al.; Radio: NRAO/VLA/G. Taylor; Optisk: NASA/ESA/Hubble Heritage (STScI/AURA) & Univ. of Cambridge/IoA/A. Fabian).



Årets pris er meget godt fortjent av Fabian og arbeidet rundt avgjørelsen var preget av stor enighet, til slutt, selv om det var mange meget gode kandidater til prisen. Slik er det nok hver gang prisen gis, men det må nevnes at komitearbeidet for årets pris var litt spesiell; opptakten høsten 2019 forløp som normalt, men Covid-19 slo til med full kraft på våren, med stengning av mange samfunn og reisemuligheter akkurat den helgen det avgjørende møte skulle avholdes i Washington DC. Det ble en to-dagers “uendelig” telekonferanse i stedet, med de deltagende komite-medlemmene spredt over 4 tidssoner. Arbeidet endte med enighet om at Fabian er en verdig vinner av Kavliprisen for astrofysikk 2020.

*Viggo Hansteen, Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo, leder for Kavliprisens astrofysikkomité*

**Figur 3.** Et røntgenbilde fra NASAs Chandra-satellitt som viser oppvarmet gass som omgir sentrum av den enorme galaksehopen Perseus. (Bilde: NASA/CXC/IoA/A.Fabian et al).



# Nanovitenskap:

## Atomar afbildning og kemisk analyse med eletronstråler

Det norske vitenskapsakademi har besluttet å tildele Kavliprisen i nanovitenskap for 2020 til:

- **Harald Rose**, Ulm University and Technical University of Darmstadt, Tyskland
- **Maximilian Haider**, CEOS GmbH, Tyskland
- **Knut Urban**, Forschungszentrum Jülich, Tyskland
- **Ondrej L. Krivanek**, Nion Co., USA

«for høopløsnings-avbildning under 1 ångstrøm og for kjemisk analyse med elektronstråler».



**Figur 1.** Fra venstre: Maximilian Haider, Knut Urban, Harald Rose og Ondrej L. Krivanek.

### Mikroskopi

At se, at betrakte, at observere, er en hel fundamental del af vitenskabeligt arbejde. Mikroskopi, kommer fra de to græske ord μικρός (*mikros*) som betyder «liten» og σκοπεῖν (*skopein*) som betyder «at se». Et mikroskop er altså et instrument, som man bruker til at se små ting. De første mikroskoper var lysmikroskoper, hvor man udnytter brytningsindekset i glas for lys, til at opnå forstørrede billeder af det man betrakter. Et af de første lysmikroskoper blev lavet af Robert Hook (1635–1703). I 1665 brugte Hook sit hjemmelagede mikroskop til at se cellerne i et stykke kork for første gang. Takket være ham kalles de for *celler*, fordi de minde ham om munkeceller [1].

Med et vanligt lysmikroskop er det ikke muligt af se detaljer som er mindre end ca. halvdelen af lysets bølgelængde. Dette viste Ernst Abbe allerede i 1873 da han jobbede for Carl Zeiss (Abbe Criterion). Rayleigh nåede frem til et likt resultat gennem sit arbejde med at forstå teleskopbilleder.

Synligt lys har en bølgelængde mellem ca. 380–780 nm. For at se detaljer på nanoskala må vi altså ty til andre midler. Vi kan sige at dette års Kavli pris tager sin begyndelse i de Broglies PhD arbejde fra 1924, hvor han viste at en partikel kan udvise bølgeegenskaber, med en bølgelængde som er omvendt proportional til dens bevægelsesmængde (de Broglie bølgelængden). Allerede i 1927 efterviste Davisson og Germer denne påstand eksperimentelt ved at måle hvordan elektroner sprer sig på en nik-

kelkrystal [2]. Dette var samtidigt det første elektrondiffraktions-eksperiment, en vældig vigtig eksperimentel teknik, som bekendt, men det er en annen historie. I 1931 lykkedes det Ernst Ruska og Max Knoll at bruge de Broglies ide til at bygge det første elektronmikroskop [3]: En stråle af elektroner med veldefineret bevægelsesmængde (bølgelængde) rettes mod en tynd prøve og elektronerne spreder sig fra atomerne i materialet. Ved at bruge elektromagnetiske felter som linser er det muligt at danne et billede af prøven – teknikken kaldes Transmissions Elektron Mikroskopi (TEM). I Ruska og Knolls instrument afbilder elektronstrålen et større område af prøven på en gang, ligesom et lysmikroskop. Derfor kaldes dette design idag CTEM (hvor C står for Conventional, i betydningen vanlig eller standard).

I 1937 opfandt Manfred von Ardenne en ny type transmissionselektronmikroskop, et såkaldt Skanning Transmissions Elektron Mikroskop (STEM) [4]. I stedet for at betrage et større areal på en gang, skannes den fokuserede elektronstråle over prøven, og man danner et billede «pixel for pixel». Det har den store fordel at man kan undersøge den lokale kemiske sammensætning af materialer (EELS – Electron Energy Loss Spectroscopy). Det har også den fordel at man «bare» trænger at fokusere elektroner ned til et punkt. Det betyder at man kun ser på elektroner som befinner sig tæt på den optiske akse. Hvis man vil afbilde et større område (CTEM) så

må linserne fungerer også længere væk fra den optiske akse.

### Linseutvikling

Og netop linserne var det store problem i elektronmikroskopi i mange år. Det blev hurtigt klart at linseavviket for elektromagnetiske linser var mye større en for glaslinser i lysmikroskoper og derfor var opløsningen af et elektronmikroskop mye dårliger end det som skulle være teoretisk muligt: halvdelen af elektronens bølgelængde. Otto Scherzer satte sig for at løse dette problem teoretisk. Allerede i 1936 viste han at i modsætning til hvad der gælder for glaslinser for lys, kan en kombination af simple, rotationssymmetriske linser ikke løse problemet (Scherzers teorem). I 1961 gav han problemet videre til sin PhD student Harald Rose. Ham skal vi høre mere om.

På 80-tallet prøvede man at undvige problemet med de dårlige linser ved at gøre elektronernes bølgelængde endda mindre for at øke opløseligheden. Det krævede højere elektronenergi og man byggede mikroskoper hvor elektronstrålen havde en energi på 1 MeV. Problemet her var bare at elektronerne havde så høj energi at de ødelagde materialet. Som en kollega udtrykte det: «*We learnt a lot about radiation damage from high energy electrons, but not very much about the materials themselves.*»

Og så, pludselig, 60 år efter Ruska og Knoll kom gennembruddet, og som det så ofte sker i vitenskaben, kom gennembrudet flere steder på en gang, som vi skal se.

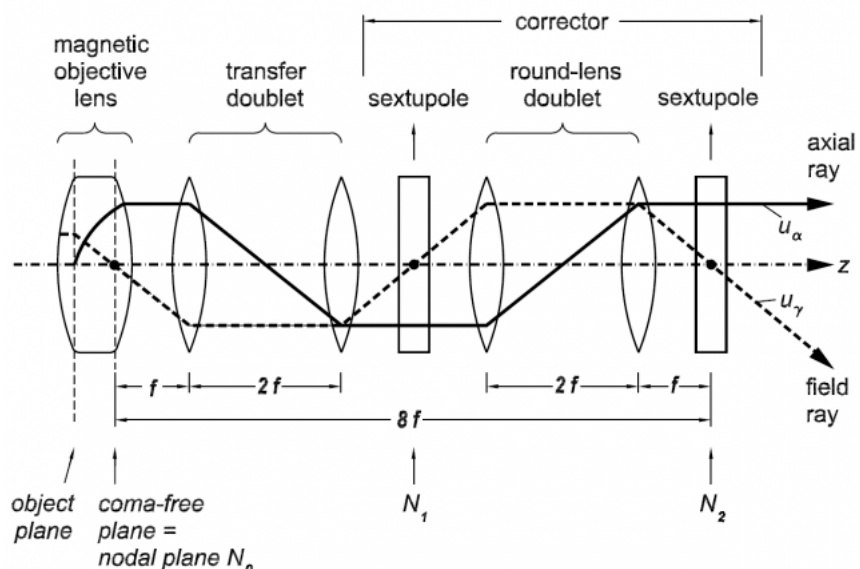
I 1990, ca. 30 år efter at han havde started med at jobbe med problemet, lykkedes det **Harald Rose** at finde frem til en matematisk løsning for elektromagnetiske linser, som muliggjorde afbildning både med skanning og et større billedfelt! [5] Han udtalte i forbindelse med Kavliprisen: «*Min kone*

*siger altid at jeg er meget stædig*». I et andet interview har han udtalt: «*Det tog mig 5 minutter at finde løsningen, men det tog mig tyve år at nå frem til de 5 minutter.*» Roses løsning er afbildet i figur 2.

Men det er ikke nok at have en idé, man må også få den til at fungere i praksis. **Knut Urban**, som ledede et stort senter for Elektronmikroskopi i Jülich fik nys som Roses ide og sammen med **Maximillian Haider** i Heidelberg gik arbejdet igang. Knut Urban har senere fortalt at det var meget vanskeligt at finansiere projektet gennem vanlige kanaler, fordi den generelle holdning var at forskning på elektronmikroskopi tydeligvis ikke førte nogen steder hen. Redningen var Volkswagenstiftung, en uafhængig stiftelse, grundlagt af det kendte, delvis statsejede bilkonsern. Volkswagenstiftung har gennem mange år haft et program som fokuserer på at støtte høj-risiko projekter inden for alle discipliner. Kravet er at ansøgerne må kunne argumentere for at de har en god ide, hvor det er vanskeligt at få penge på anden vis. Jeg opfordrer hermed Equinor til at udvide VISTA med et tilsvarende program! I 1998 var det så vidt og de første CTEM billeder med nye, korrigerede linser blev publiceret [6].

I 1995 begyndte **Ondrej Krivanek** sammen med Mick Brown og Andrew Bleloch i Cambridge med at udvikle et STEM-instrument med korrigerede linser, baseret på et andet linsekorreerings-princip, som bare virker tæt på den optiske akse – men fuldt tilstrækkeligt for et skanning instrument. Her var det også en privat stiftelse, the Royal Society, som trådte til med midler. Efter de første resultater flyttede Krivanek til USA og startede firmaet Nion sammen med Niklas Dellby i 1997. Herfra, i 2002 blev de første sub-ångström billeder publiceret, kemisk afbildning, atom for atom var blevet muligt for første gang [7].

**Figur 2.** Diagram af Harald Roses linseavvik korrigerer. Fra [5].



Krivanek startede firmaet Nion i 1997, Haider havde startet firmaet CEOS sammen med Joachim Zach i 1996. Det er interessant at to af dette års prisvindere bidrog aktivt til udbredelsen af deres forskning ved også at være kommercielle aktører. En anden interessant pointe er at gennembruddet skete, selvsagt på grund af prismodtagernes fremragende indsats, men de fik dra hjælp af udviklingen i elektronik i løbet af 90-tallet. Begge linse-korrigerings-principper kræver ultrapræcise sanntids korrigerende af et stort antal elektriske spændinger. Dette blev først muligt på denne tid.

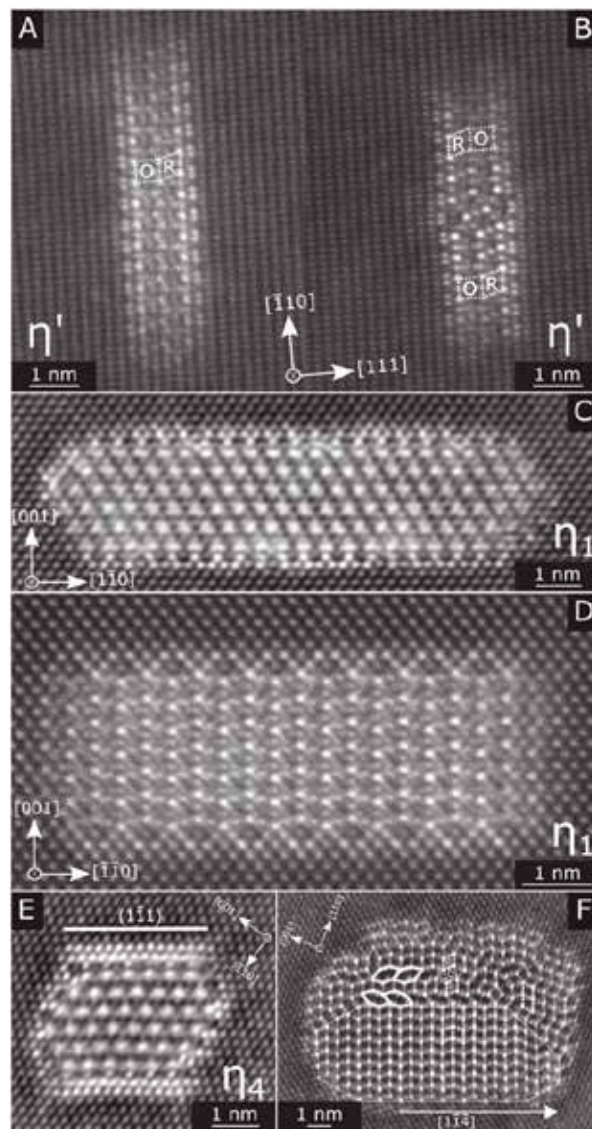
### CTEM og STEM

Både CTEM og STEM (som nu ofte laves med Roses princip) har gået sin sejrsgang over hele verden. Oplosligheden er i dag ca. 0,05 nm og begge instrumenter har ført til gennembrud i en lang række discipliner, både i grundforskning og anvendt forskning. Moderne halvlederindustri ville være utænkelig uden. For eksempel er de kritiske dimensioner i en moderne transistor nedepå 7–10 nm. Gate oxid laget er 1–2 nm tykt, og mobiliteten styres blandt andet af stresset i materialet (strain), som kræver picometer nøjagtighed i position af atomerne. Katalysatorer, materialeforskning, solceller og diverse sensorer er andre områder hvor de linse-avvik-korrigerede instrumenter har haft afgørende betydning.

Norge fik sitt først linse-korrigerede STEM for nogle år siden. Instrumentet er en del af det Norsk senter for Transmission Elektron Mikroskopi (NORTEM), lokaliseret ved NTNU og ved UiO, co-finansieret gennem NFRs infrastruktur satsning ([www.nortem.no](http://www.nortem.no)). Figur 3 viser et eksempel på forskning publisert dette år. ■

### Referanser

1. Hooke, R. *Micrographia: Or Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses, with Observations and Inquiries Thereupon*. (Royal Society, 1665).
2. Davisson, C.J. & Germer, L.H. «Reflection of Electrons by a Crystal of Nickel». *PNAS* 14, s. 317–322 (1928).
3. Knoll, M. & Ruska, E. «Beitrag zur Geometrischen Elektronenoptik». I. *Annalen der Physik* 12, s. 607–640 (1932).
4. von Ardenne, M. «Das Elektronen-Rastermikroskop. Praktische Ausführung». *Zeitschrift für technische Physik* 19, s. 407–416 (1938).
5. Rose, H. «Outline of a spherically corrected semiaplanatic medium-voltage transmission electron



**Figur 3.** STEM bilder av presipitater i en vandkølet, industriell aluminiumlegering etter ekstrudering. Fra [8]. Se også <https://www.sintef.no/siste-nytt/norske-losninger-for-industrigiganter/>.

- microscope». *Optik* 85, s. 19–24 (1990).
6. Haider, M. et al. «Electron microscopy image enhanced». *Nature* 392, s. 768–769 (1998).
7. Batson, P.E., Dellby, N. & Krivanek, O.L. «Sub-ångstrom resolution using aberration corrected electron optics». *Nature* 418, s. 617–620 (2002).
8. Lervik, A. et al. «Precipitation in an extruded AA7003 aluminium alloy: Observations of 6xxx-type hardening phases». *Materials and Design* 186, 108204 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108204>

Bodil Holst,  
 Institutt for Fysikk og Teknologi,  
 Universitetet i Bergen. Leder av  
 Kavli Priskomiteen i Nanovidenskap

# Superkondensatoren

**En superkondensator er i stand til å lagre mye mer ladning enn en vanlig kondensator. I denne artikkelen beskrives noen av fordelene og ulempene ved bruk av superkondensatorer.**

**Lars Egil Helseth** Institutt for fysikk og teknologi, UiB

Kondensatoren og batteriet er to velkjente komponenter i en fysikers verktøykasse. Utviklingen de siste tiårene har ført disse to komponentene nærmere hverandre på flere områder, og bidratt til at større effekt og mer energi kan leveres enn noen gang før. Et viktig bidrag til moderne oppladbar elektronikk og elektrifiseringen av kjøretøy er oppfinnelsen av litium-ion-batteriet, som ble tildelt Nobelprisen i kjemi for 2019. Et annet mindre kjent bidrag er superkondensatoren [1,2], som er til hjelp når man trenger stor elektrisk effekt på kort tid, der litium-ion-batteriet ikke er tilstrekkelig.

## Kondensatoren

En vanlig kondensator består ofte av to metallelektroder separert av et dielektrisk materiale, og har evne til lagre ladning som avhenger av elektrodens areal og innbyrdes avstand. Den såkalte leidnerflasken ble oppfunnet av von Kleist og van Musschenbroek rundt 1745 [1]. Her var elektrodene metallfolier på henholdsvis innsiden og utsiden av en glassflaske. Denne såkalte Leidnerflasken kunne lagre ladning, og ble etter hvert standard utstyr for forskere. Med århundrene har kondensatoren utviklet seg i ulike former, og de

brukes blant annet som standardkomponenter i elektroniske filtre og til lagring av elektrisk energi [3]. I lærebøker finner man ofte kondensatoren fremstilt som parallelle metallplater med plateareal  $A$  som har et dielektrisk materiale med tykkelse  $d$  og relativ permittivitet  $\epsilon_r$ , slik som vist i figur 1. Anta at en spenning  $V$  påtrykkes, slik at det lagres ladning  $+Q$  og  $-Q$  på overflaten av metallplatene. Ladningen er relatert til den påtrykte spenningen som  $Q = CV$ , der  $C$  er kapasitansen til kondensatoren og er gitt som

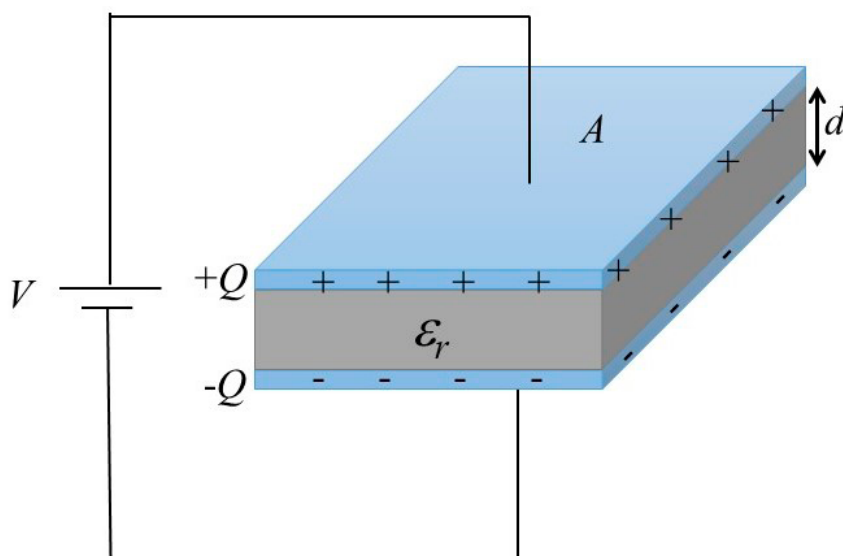
$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d}, \quad (1)$$

der  $\epsilon_0$  er permittiviteten til vakuum.

Fra ligning 1 ser man at kapasitansen, og dermed evnen til å lagre ladning, øker med arealet  $A$ . Dersom man bruker luft mellom platene slik at  $\epsilon_r = 1$ ,  $A = 1 \text{ m}^2$  og  $d = 0,1 \text{ mm}$ , vil man få en kapasitans  $C = 9 \cdot 10^{-8} \text{ F}$ . Et mye benyttet triks for å øke arealet og samtidig gjøre kondensatoren kompakt er å lage en rull av metall og dielektrisk materiale. Et annet triks er å gjøre overflaten ru, for eksempel ved å lage nanostrukturer i den. Dersom man vil lagre mest mulig ladning, og dermed elektrisk energi, er det også lurt å lage avstanden  $d$  så liten som mulig.

## Superkondensatoren

Når det gjelder lagring av energi er superkondensatoren kanskje spesielt interessant. Selv om man finner rapporter av lignende varianter i tidligere litteratur, ble den første moderne utgaven av superkondensatoren patentert av Howard



**Figur 1.** En kondensator med plateareal  $A$ , avstand  $d$  mellom platene, og et dielektrisk materiale med relativ permittivitet  $\epsilon_r$ .



**Figur 2.** Tre superkondensatorer med kapasitanser 5 F, 10 F og 400 F. Diameteren på den mørkeblå 10 F kondensatoren nederst i bildet er omtrent 1 cm.

Becker ved General Electric i 1957, og bestod av karbonpartikler presset mot to metallektroder som befant seg i en elektrolytt. Det var først på slutten av 1970-tallet at superkondensatoren ble tilgjengelig på det kommersielle markedet, og den har de siste 20 årene fått en viktig rolle i både små og store dingser. Ulike moderne typer superkondensatorer er vist i figur 2, med kapasitanser fra 5 F til 400 F.

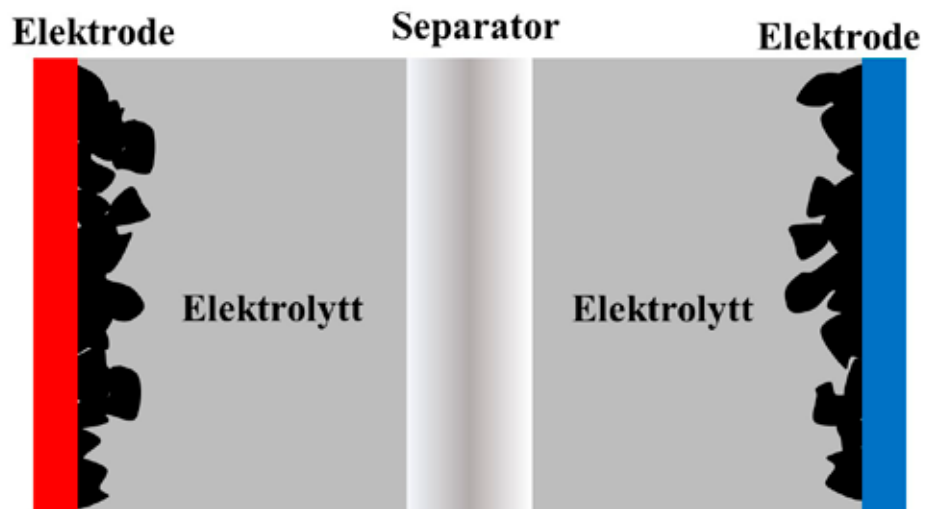
Superkondensatoren benytter seg av en uregelmessig, men elektrisk ledende, karbonoverflate for å lage så stort overflateareal som mulig. Samtidig er disse karbon-partiklene senket ned i en elektrolytt, som danner et elektrisk dobbeltlag av ioner ved overflaten av karbonpartiklene. Tykkelsen på dette dobbeltlaget avhenger av konsentrasjonen av ioner i elektrolytten og tem-

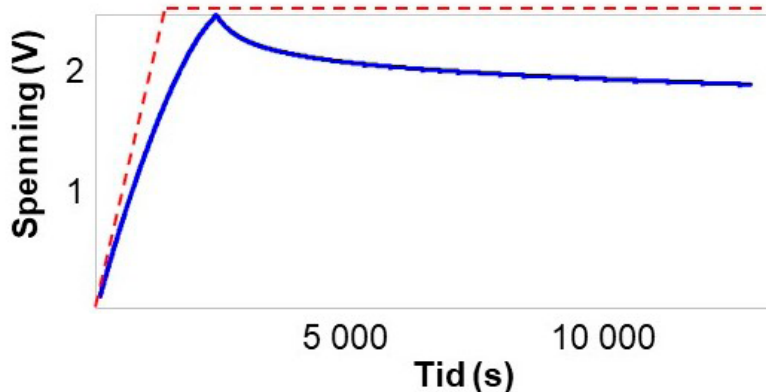
peraturen i væsken, men er ofte i størrelsesorden noen få nanometer. En forenklet skisse av en superkondensator er vist i figur 3.

Merk at i en superkondensator finner ingen reduksjons- eller oksidasjons-reaksjoner sted (kalt 'redoksreaksjoner'), og dette skiller den fra et batteri. Samtidig er den forskjellig fra en vanlig kondensator av typen oftest beskrevet i lærebøkene, siden den elektriske ladningen lagres i det elektriske dobbeltlaget. Siden dette laget er svært tynt, vil kapasitansen være stor. Videre øker kapasitansen med overflatearealet, som er svært stor i en porøs karbonstruktur. Kobler man en ytre spenningskilde til en superkondensator, vil dobbeltlaget lades opp, litt på samme måte som metallektrodene i en vanlig kondensator. Siden ionene må bevege seg gjennom en elektrolytt, tar det litt tid for ionene å bevege seg frem og tilbake fra det elektriske dobbeltlaget. Dermed vil ikke en superkondensator kunne brukes til å like rette for eksempel en 50 Hz vekselspanning like effektivt som en vanlig kondensator. Til gjengjeld kan en superkondensator lagre mye mer ladning, derav navnet.

En viktig begrensing med superkondensatorer er at de bare kan lades opp til spenninger på rundt 2,5 V–3,0 V. Dette er fordi den organiske elektrolytten som brukes i karbonporene ikke tåler høyere spenning før den begynner å dekomponere, med påfølgende varme og gassutvikling. Hadde man brukt en vanlig vannholdig elektrolytt (for eksempel lut, det vil si vann med NaOH), ville man bare kunne bruke spenninger opp til rundt 1 V før dekomponering inntreffer, så en organisk elektrolytt anses derfor bedre for evnen til å lagre ladning selv om den ikke er så veldig miljøvennlig.

**Figur 3.** I en superkondensator er de svarte karbonpartiklene presset mot de to elektrodene og dynket i elektrolytt. De to elektrodene er separert av en separator som skal forhindre at det oppstår direkte kontakt, men som samtidig lar ioner slippe gjennom.





**Figur 4.** Oppladning og selvutladning i en superkondensator.

### Oppladning og selvutladning

Tenk deg nå at du setter en konstant strøm  $I$  på en kondensator med konstant kapasitans  $C$ . Ladningen  $Q$  på kondensatorelektroden øker med tiden  $t$  i henhold til  $Q = It$ . Videre er ladning kapasitans multiplisert med spenning, som vi her kaller  $U$  for å skille den fra den konstante påtrykte spenningen som ble vist i figur 1, slik at  $Q = CU$ . Man forventer derfor at spenningen over kondensatoren øker lineært i henhold til  $U = It/C$ . Dersom man kobler fra strømkilden, vil det ikke komme ny ladning til elektrodene på kondensatoren, og både ladning og spenning vil holde seg konstant. En slik tenkt situasjon er vist i figur 4. Her viser de stiplede røde linjene en kondensator med  $C = 400$  F som lades opp i 1200 s (20 min) med  $I = 0,8$  A. Dette tilsvarer en ladning  $Q = 0,8 \text{ A} \cdot 1200 \text{ s} = 960 \text{ C}$  og en spenning  $V = 960 \text{ C}/400 \text{ F} = 2,4 \text{ V}$ .

Dersom man gjør forsøk på en virkelig superkondensator, vil det imidlertid se ut som de heltrukne blå linjene i figur 4. Ved oppladning vil ikke spenningen øke lineært med tiden, og det tar lenger tid å lade kondensatoren slik at spenningen over den blir 2,4 V. Dersom man kobler fra strømkilden, skulle man kunne forvente at spenningen forble konstant, men dette er heller ikke tilfellet. I stedet observerer man at spenningen gradvis avtar, og det ser ut til at superkondensatoren lades ut av seg selv. Lenge trodde man at dette var bare på grunn av redoks-reaksjoner på elektrode-overflaten, forårsaket av oksygenholdige urenheter i karbonet. Senere forskning har imidlertid vist at selvutladningen av superkondensatorer ofte skyldes at ladningen re-arrangeres inne i den porøse karbonstrukturen dannet av karbon- partikler. Ved oppladning vil ionene lettere sette seg i områder der det er godt med plass, og det vil ta lenger tid å trenge inn i de minste porene [2]. Dersom man lader opp

superkondensatoren nokså raskt, vil de største porene fylles med ioner, og samtidig setter noe av ladningen seg i midlertidige konfigurasjoner. Når man så kobler fra superkondensatoren, vil ladningen som sitter i midlertidige konfigurasjoner enten bevege seg ut i væsken eller til andre deler av karbonoverflaten der den er skjermet og ikke bidrar så mye til spenningen. Dermed avtar spenningen gradvis. Forsøk viser at dersom man lader opp superkondensatoren veldig sakte med veldig liten strøm, vil ladningen nå en mer stabil konfigurasjon, også i de mindre porene, slik at selvutladningen av superkondensatoren forsvinner nesten helt. En slik taktikk er imidlertid ikke praktisk realiserbar, da man i de fleste tilfeller ikke ønsker å vente svært lenge på at superkondensatoren skal lades opp.

Det er interessant å notere seg at fenomenet beskrevet ovenfor er ganske generelt og gjelder også for batterier: Jo større strøm man bruker for å lade opp en superkondensator eller et batteri til en viss tilstand (for eksempel spenning), jo mindre lagret ladning vil man være i stand til å hente ut. Tilsvarende gjelder også ved utladning. Mange har sikkert oppdaget dette ved oppladning eller utladning av batterier. Et batteri lades ikke så fort ut dersom man bruker god tid på å lade det opp. Denne lovmessighet fått navnet 'Peukerts lov' etter den tyske forskeren Wilhelm Peukert som oppdaget den for batterier i 1897. Ny forskning har vist at den også gjelder for superkondensatorer.

### Energi og effekt

Siden superkondensatorer i all hovedsak benyttes til å lagre og fordele elektrisk energi, kan det være nyttig å vite hvor god den er sammenlignet med andre enheter. La oss se på et eksempel med en relativt stor superkondensator med kapasitans

5000 F, som typisk koster 600 kr og har en masse på rundt 0,5 kg. På grunn av begrensinger i den organiske elektrolytten kan en slik superkondensator bare lades til 2,7 V, og vil derfor kunne holde på en ladning  $Q = 5000 \text{ F} \cdot 2,7 \text{ V} = 13\,500 \text{ C}$  og energi  $E = 1/2 CV^2 = 1/2 \cdot 5000 \text{ F} \cdot (2,7\text{V})^2 = 18\,225 \text{ J}$ . Siden  $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$ , så vil denne energien være omtrent 5 Wh. Siden en slik kondensator gjerne har masse 0,5 kg, vil den spesifikke energien være 10 Wh/kg. Videre kan mye av disse 18 225 J frigis i løpet av et sekund, slik at effekten er i størrelsesorden 20 kW, og den spesifikke effekten vil da være 40 kW/kg.

Et moderne Li-ion-batteri kan ha en spesifikk energi på rundt 1000 Wh/kg, og kan derfor lagre opptil hundre ganger mer energi enn en superkondensator. På den andre siden er den spesifikke effekten til et Li-ion-batteri bare rundt 100 W/kg, noe som er mye mindre enn det man finner i superkondensatoren. Det betyr at dersom man vil ha energien ut raskt, vil superkondensatoren kunne være nyttigere enn batteriet. Se også figur 5 for en sammenligning.

Superkondensatoren får stadig flere anvendelser. For eksempel brukes den i kjøretøyer som trenger litt ekstra effekt. En elektrisk buss som trenger å komme opp en bakke får kanskje ikke nok effekt fra Li-ion-batteriet, og vil da kunne få hjelp i noen sekunder av superkondensatorer. Superkondensatorer brukes også til forskjellige oppgaver der man trenger ekstra elektrisk effekt, i alt fra batteridrevne driller til kjempestore hei-

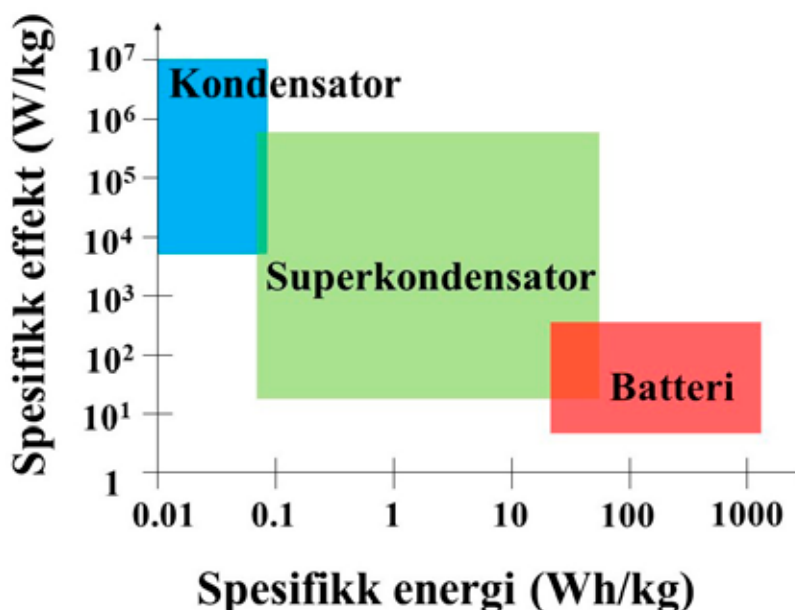
sekraner. Det pågår også mye forskning på å lage elektroder av materialer som kombinerer det beste av batterier og superkondensatorer, og i fremtiden er det mulig at skillet mellom dem vil minke ytterligere.

Mer informasjon om hvordan superkondensatoren oppfører seg under ulike forhold finner man i [2]. ■

## Litteratur

1. E.J. Samuelsen. «Elektrisitet på flaske». *Fra Fysikkens Verden* 80 nr. 4 (2018), s. 101–103.
2. L.E. Helseth. «Modelling supercapacitors using a dynamic equivalent circuit with a distribution of relaxation times». *Journal of Energy Storage* (2019), 25, 100912. Kan lastes ned her: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X19305560>
3. K. Hofstad. «Leidnerflaske». Store norske leksikon. Lenke: <https://snl.no/leidnerflaske>.

**Figur 5.** En sammenligning av spesifikk effekt (effekt per masse) og spesifikk energi (energi per masse) mellom vanlige kondensatorer, superkondensatorer og batterier.



# Nikola Tesla

## – pioner i vekselstrømsteknikk

**Nikola Tesla var en visjonær oppfinner som var toneangivende i elektromagnetismens pionertid i 1890-årene og begynnelsen av det 20. århundret. Han konstruerte de første store og pålitelige vekselstrøms-generatorene og fant opp induksjonsmotorer og trådløst kommunikasjonsutstyr.**

**Øyvind G. Grøn** OsloMet – storbyuniversitetet

*Artikkelen er skrevet med utgangspunkt i artikkelen om Nikola Tesla av Øyvind Grøn i Store Norske leksikon.*

### Skoleårene

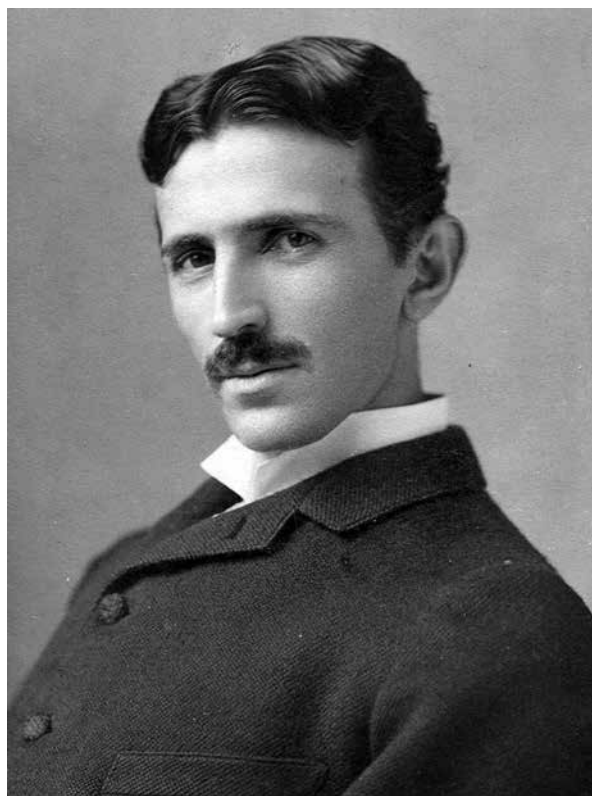
Nikola Tesla var født i Smiljan 10. juli 1856 i nåværende Kroatia i det Østerrikske keiserriket og døde 7. januar 1943 i New York. I 1870 flyttet familien til Karlovac der Tesla gikk på realskole og gymnas. Tesla skrev senere at hans interesse for elektromagnetiske fenomener ble vekket av en lærer på denne skolen som demonstrerte spennende elektromagnetiske fenomener. Tesla viste på denne tiden en matematisk begavelse.

I 1875 begynte Tesla på den polytekniske høyskolen i Graz i Østerrike. Det første skoleåret jobbet Tesla knallhard fra tidlig om morgenen til sent på kvelden syv dager i uken. Det andre skoleåret kom han i konflikt med sin lærer i elektromagnetisme da han kom med forslag til å modifisere en dynamo på en måte som professoren mente var uakseptabel. På slutten av andre skoleår hadde hardkjøret satt sine spor, og Tesla mistet kontrollen. Han sluttet å jobbe med fagene og ble fanget av spillemani. Det endte med at Tesla ikke fullførte skolen.

I desember 1878 forlot Tesla Graz. Samtidig kuttet han all kontakt med sin familie for å skjule at han hadde droppet ut av skolen. De neste årene hadde Tesla en rekke småjobber hvor han ofte arbeidet med anvendelser av elektromagnetiske fenomener, for eksempel med telegraf- og telefon-firmaer i Budapest. I 1882 og 1883 arbeidet han i Frankrike for The Continental Edison Company. I disse jobbene forbedret han eksisterende utstyr og designet også nytt utstyr. Hans kreative evner når det gjaldt tekniske anvendelser av elektromagnetismen begynte nå å bli tydelige.

### Emigrasjon til USA og jobbing for Edison

I juni 1884 emigrerte Tesla til USA, 28 år gammel. Han slo seg ned i New York og ble hyret av Thomas



**Figur 1.** Nikola Tesla i 1890, 34 år gammel. (Bilde: Napoleon Sarony)

Edison til å jobbe i hans Edison Machine Works på Manhattan. Der ble de raskt oppmerksomme på Teslas begavelse, og han fikk etter et års tid i oppgave å konstruere nye versjoner av firmaets likestrømsgeneratorer. Tesla kom med et forslag til hvordan dette kunne gjøres, og ifølge Tesla sa da Edison: «Du får femti tusen dollar hvis du greier dette.» Etter et halvt år med hardt arbeid hadde Tesla fullført jobben og gikk til Edison for å få pengene. Edison svarte at det bare hadde vært en spøk og sa: «Tesla, du forstår ikke vår amerikanske humor.» Edison tilbød i stedet at hans lønn på 18 dollar uken skulle økes til 28 dollar. Tesla ble rasende og sa opp på stedet.

### Tesla arbeider seg opp

I 1886 slo Tesla seg sammen med to forretningsfolk, Robert Lane og Benjamin Vail og dannet et firma med navnet Tesla Electric Light & Manufacturing. Firmaet produserte og installerte elektriske belysningsystemer utviklet av Tesla. Tesla fant også opp en ny type dynamo som han tok patent på. Dette var hans første patent i USA.

Men Lane og Vail var mer interessert i å tjene penger på utstyr som Tesla allerede hadde konstruert, enn å satse på det Tesla ville arbeide med: å utvikle nytt utstyr. De presset Tesla ut av firmaet, og Tesla fikk ikke engang noe for sine patenter, for de hadde han gitt til bedriften.

### Induksjonsmoteren

Vinteren 1886–1887 hadde Tesla småjobber til to dollar dagen. Men i desember 1886 møtte Tesla Alfred S. Brown og Charles F. Peck. I april 1887 dannet de firmaet Tesla Electric Company. Basert på Teslas patenter og idéer skulle de produsere nytt elektrisk utstyr. Det ble bygget et laboratorium der Tesla utviklet *induksjonsmotoren* (figur 2) basert på vekselstrøm som var i ferd med å ta over og bli dominerende når det gjaldt strømfor- syning både i Europa og USA i 1890-årene. Tesla fikk patent på induksjonsmotoren 1. mai 1888. I Italia ble en tilsvarende motor utviklet samtidig av Galileo Ferraris. De regnes begge som oppfinnere av denne motoren.

Firmaet Westinghouse Electric & Manufacturing Company kjøpte i 1888 Teslas patenter for induksjonsmotoren for seksti tusen dollar og hyret Tesla som konsulent for ett år. Dette året arbeidet Tesla i Pittsburgh med å installere elektrisk gatebelysning der basert på vekselstrøm. I 1891 ble han amerikansk statsborger. Tesla ble nå godt etablert i det amerikanske fagmiljøet og var visepresident for Amerikan Institute of Electrical Engineers i årene 1892–1894.

### Konkurransen om belysning: likestrøm eller vekselstrøm?

Det oppsto på denne tiden en konkurranse mellom Edisons firma som satset på belysning ved hjelp av likestrøm, og Westinghouse som satset på Teslas teknologi med vekselstrøm. Siden det etter hvert ble klart at det var fordelaktig å overføre energi fra kraftverk til brukere ved hjelp av vekselstrøm, var det Teslas vekselstrømsteknologi som ble domi-

**Figur 2.** Modell av Teslas første induksjonsmotor utstilt i Tesla-museet i Beograd. (Bilde: Wikipedia Commons/Ctac)



**Figur 3.** Tesla-turbinene ble installert av ingeniører fra Westinghouse i Niagara-kraftverket i 1896.

nerende. I 1893 vant Westinghouse anbudet om å stå for den elektriske belysningen av verdensutstillingen i Chicago. Dette var et gjennombrudd i Amerika for bruken av vekselstrøm til belysning. Westinghouse fikk her demonstrert sikkerheten, påliteligheten og effektiviteten til vekselstrømsbasert belysning.

Det neste store prosjektet i utviklingen av vekselstrømsteknologi i Amerika var konstruksjonen av et kraftverk som utnyttet vannkraft fra Niagarafallene. I 1893 kontaktet E.D. Adams fra Niagara Falls Cataract Construction Company Tesla for å få en oversikt fra ham om fordeler og ulemper ved ulike typer teknologi og hvordan man best kunne utnytte Niagarafallene til å produsere elektrisk strøm. Tesla foreslo en type vekselstrømsgeneratorer (figur 3) utviklet av Westinghouse med utgangspunkt i Teslas patenter. Westinghouse fikk kontrakten på konstruksjonen av kraftverket og General Electric på distribusjonen av elektrisk energi.

### Trådløs overføring av elektriske energi

Tesla forsto tidlig at elektrisk energi kan overføres gjennom tomt rom ved hjelp av induksjon, noe som i dag utnyttes i kontaktfrie ladere som for eksempel brukes til å lade elektriske tannbørster. Tesla konstruerte tidlig i 1890-årene elektriske lamper som kunne lyse uten å være koplet til en strømkilde.

Utgangspunktet for mange eksperimenter Tesla gjorde med trådløs overføring av elektrisk energi eller elektromagnetiske signaler, var en oppfinnelse han gjorde allerede i 1891, den såkalte *Teslaspolen*. Den ble brukt til spenningskilde for mange av de innretningene Tesla fant opp, for eksempel kraftige radiosendere og ledningsfrie lyspærer som ble tilført energi ved induksjon. I 1895 da han var 41 år, sendte Tesla inn sin første søknad om patent på radio, og i 1896 demonstrerte han den første fjernstyrte båten (figur 4) for forsvaret og tok patent på den i 1898. Fjernstyringstekno-

**Figur 4.** En radio-  
styrt båt konstruert  
av Tesla. (Bilde:  
Wikipedia Commons/  
Nikola Tesla)



logien ble ikke umiddelbart tatt i bruk, men fikk stor betydning senere.

### Laboratoriet i Colorado Springs

1899 flyttet Tesla til Colorado Springs, og han bygget i løpet av noen måneder opp et laboratorium der. Han ville undersøke muligheten av trådløs overføring av elektrisk energi i stor skala med høyspenning og høyfrekvent vekselstrøm. Her hadde han kontakter i kraftforsyningen som kunne skaffe ham tilgang på rimelig elektrisk energi – så mye han måtte trenge.

Ekspementene til Tesla ble mer og mer voldsomme. Han laget blant annet kunstig lyn (figur 5) og torden med svære lysbuer som var over 30 m lange, og smell som ble hørt på over 20 km avstand.

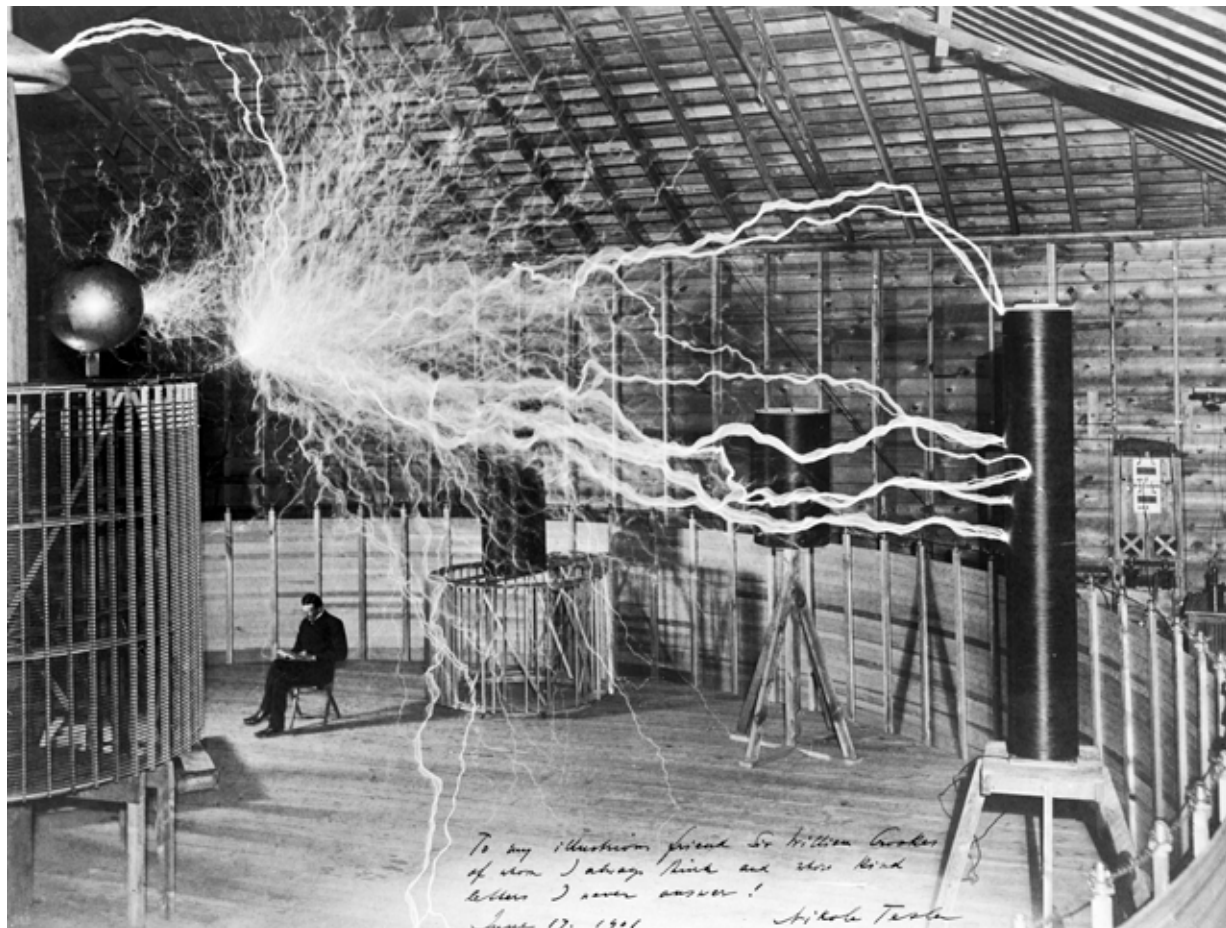
Tesla hadde planer om å bli den første til å demonstrere trådløs telegrafi over Atlanterhavet, men her ble han slått av den italienske fysikeren og ingeniøren G. Marconi som lyktes med dette i desember 1901.

### Wardenclyffe-tårnet

For å etablere transatlantisk trådløs telekommunikasjon ville Tesla bygge en enorm sender ved Atlanterhavskysten 150 km øst for New York (figur 6). Han fikk økonomisk støtte av støtterordenen 5 millioner dollar i dagens pengeverdi.

Etter økonomiske overskridelser og ulike problemer ble tårnet bygget (figur 7), men mange av installasjonene som var nødvendige for å lykkes med overføringene, ble ikke fullført. Senderen ble aldri operativ, og virksomheten ved tårnet tok

**Figur 5.** Tesla sitter i laboratoriet i Colorado Springs ved en sender som kunne generere spenninger på flere millioner volt. De syv meter lange lysbuenene var ikke en del av den normale driften, men ble generert i anledning fotograferingen ved raskt å slå utstyret av og på. (Bilde: Wikipedia Commons/ Dickenson V. Alley)



To my illustrious friend Dr. William Crookes  
of whom I always think and who kind  
letters I never answer!  
June 17, 1901. Nikola Tesla



**Figur 6.** Overskriften til en artikkel i *New York Tribune* publisert 7. august 1901.

slutt i 1906. Prosjektet endte som en fiasko.

På sin 50-årsdag i 1906 demonstrerte Tesla sin nye bladløse turbin som kunne levere elektrisk energi med en effekt på 200 hestekrefter, dvs. omtrent 150 kilowatt. Slike turbiner ble tatt i bruk fra 1910 av blant annet i Waterside kraftverket i New York.

### Myter om Tesla

Teslas elektromekaniske oscillator ble patentert allerede i 1893. Nesten 20 år senere begynte enkelte amerikanere å sette ut myter om Tesla. En av dem var knyttet til et eksperiment med oscillatoren. Den var svært kraftig. Da Tesla eksperimenterte med den i New York, oppsto en resonans med egensvingningene til noen nabohus, og det ble etter hvert en farlig situasjon. Politiet ble tilkalt. Rett før politiet kom så Tesla seg nødt til å avslutte eksperimentet ved hjelp av en slegge. I en artikkel i *World Today* i februar 1912 skrev journalisten A.L. Benson under en tegning av jorda med Teslas oscillator: «Tesla sier at i løpet av noen få uker vil han kunne sette jordskorpen i svingebevegelse slik at den vil heve og senke seg med flere titalls metere. Sivilisasjoner kan bli utslettet. En fortsettelse av denne prosessen, sier Tesla, vil kunne føre til at jorden deler seg i to.»

Men Tesla hadde også selv noen merkelige forslag. I 1912 beskrev han et opplegg for å styrke intelligensen til ungdom ved å produsere «helsebringende og stimulerende elektromagnetisk felt» i klasserom i skoler.

### Teslas oppfatning av fysikken

Tesla etablerte en forståelse av den materielle natur basert på fysikken slik den var utviklet frem til år 1900. Han trodde ikke på atomenes delelighet, og mente for eksempel at det ikke eksisterte elektroner. Videre var han skeptisk både til kvantefysikken og relativitetsteorien. Tesla aksepterte for eksempel teorien om at rommet var fylt av en eter som elektromagnetiske bølger kunne forplante seg i, mens vi i vår tid oppfatter det slik at elektromagnetiske bølger brer seg i romt rom.

Men når det gjaldt elektromagnetiske fenomener hadde Tesla en fenomenal praktisk forståelse av de fleste aspekter av Maxwells elektromagne-



**Figur 7.** Teslas Wardenclyffe tårn ved Shoreham, Long Island fotografert i 1904. (Bilde: Wikipedia Commons/ ukjent)

tiske teori, ikke minst av alle mulige virkninger av elektromagnetisk induksjon. Han var i stand til å se for seg hvordan komplisert elektromagnetisk apparatur virket, og bygget apparaturen uten tegninger. De ble laget først når han søkte patenter for sine oppfinnelser.

### Anerkjennelse

I 1917 fikk Tesla Amerikan Institute of Electrical Engineers høyeste utmerkelse, Edisonmedaljen, og i 1937 var Tesla en av 38 personer som ble nominert til Nobelprisen i fysikk, men han fikk ikke prisen.

Fra 1934 av begynte Westinghouse å betale en pensjon på 135 dollar i måneden i pensjon til Tesla pluss at de dekket alle hans utgifter ved å bo fast på Hotel New Yorker. Tesla døde på rommet sitt 7. januar 1943. Han var da 86 år gammel. ■

Husk å melde adresseendring til  
[nfs.styret@gmail.com](mailto:nfs.styret@gmail.com)

# Bokanmeldelse:

***Ocean Waves and Oscillating Systems***  
**Johannes Falnes og Adi Kurniawan**

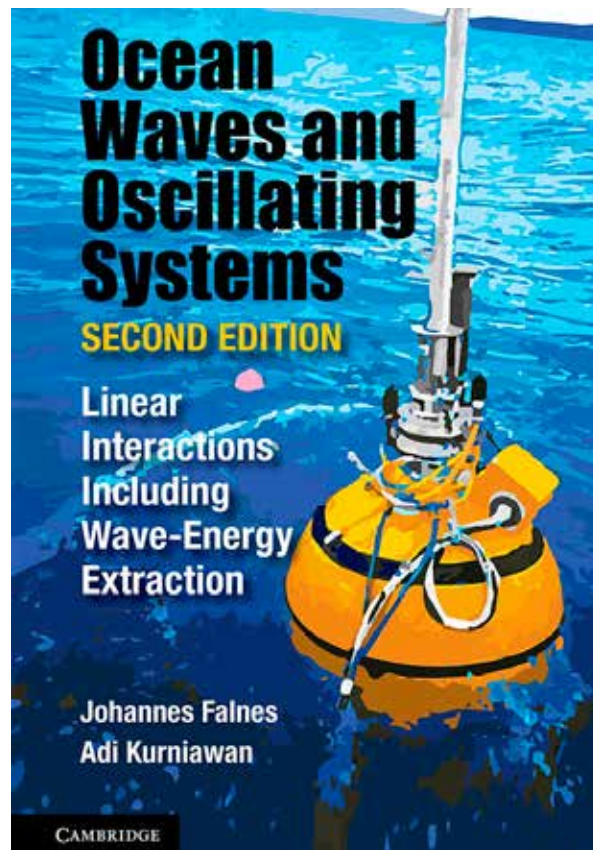
Cambridge University Press, 2020  
307 sider  
Pris: £ 74.99 (ca. 885 kr.)

Johannes Falnes er internasjonalt kjent for sitt arbeid, helt siden 70-tallet, med systemer for innhøsting av energi fra havbølger. Først i tospann med Kjell Budal (1933–1989). Og i alle år har master- og doktorstudenter vært inspirerende samarbeidspartnere. Første utgave av denne boka kom i 2002, mens den forsiktig reviderte andre utgaven er forfattet sammen med Falnes' tidligere PhD-student Kurniawan.

Boka er skrevet for lesere med ambisjoner om å trenge dypt inn i dette spesialiserte feltet, og henvender seg derfor i liten grad til det alminnelig interesserte publikum. Undertegnede anmelder er derfor strengt tatt ikke i målgruppen, og denne meldingen må leses med det som bakgrunn.

Etter et innledende oversiktskapittel følger tre kapitler med lineær teori for oscillerende systemer. For bølger generelt, og for overflatebølger på vann spesielt. Et grunnleggende spørsmål er da om lineær teori i det hele tatt kan anvendes for havbølger: Er ikke det i strid med almene erfaringer? Dette spørsmålet er besvart allerede i bokas innledning: Et kraftverk vil, mesteparten av tiden, påvirkes av bølger med tilstrekkelig små amplituder til at lineær teori er tilstrekkelig. Ikke-lineariteter spiller derfor liten rolle for den årlige energiproduksjonen. Til gjengjeld er påkjenningene på utstyret store i de krevende ikke-lineære periodene, og derved dimensjonerende for konstruksjonene og vesentlige for totaløkonomien. Flere havarier understreker poenget. Men disse sidene av saken er altså ikke tema i denne boka.

Etter de innledende teorikapitlene, tar forfatterne i bokas øvrige kapitler for seg forskjellige konstruksjoner for energi-høsting fra havbølger, og diskuterer dem i stor detalj. Disse kapitlene er bokas verdifulle kjerne. Stoffet er langt fra lett-



lest, men er til gjengjeld desto viktigere å beherske for den fremtidige fagperson på feltet. En viktig støtte i det krevende arbeidet er et utmerket sett med regneøvinger knyttet til hvert kapittel. Denne anmelder må innrømme at han ikke har levd opp til de krav disse spesialiserte kapitlene stiller, men er likevel trygg på at de i alt vesentlig holder det de lover.

De innledende teorikapitlene innbyr likevel til kritiske kommentarer. Her kan det ikke være lett for den uerfarne leser å skille mellom grunnleggende fysikk, nyttig matematisk verktøy, og enkel linjegymnastikk. Færre ligninger og mer perspektivrik diskusjon ville gitt teksten større pedagogisk tyngde. Antakelser som ligger til grunn (ideelle, inkompressible, ikke-viskøse væsker, med tilhørende grensebetingelser), og de begrensninger dette gir, burde vært trukket frem og grundig diskutert. Og når f.eks. Kramers-Kronig relasjonene introduseres, må den uerfarne leser gis hjelp til forståelsen. Når disse relasjonene presenteres, er det ikke tilstrekkelig at alt som sies om dem er korrekt.

Men disse innvendingene bli neppe av stor betydning for den dedikerte student som er motivert for å beherske dette spesielle, men viktige feltet. For denne målgruppen kan boka trygt anbefales.

*Eivind Hiis Hauge*

RETURADRESSE:

FRA FYSIKKENS VERDEN  
FYSISK INSTITUTT, UNIVERSITETET I OSLO  
BOKS 1048 BLINDERN  
0316 OSLO  
NORGE

## Styret i Norsk Fysisk Selskap

### President

Professor Asle Sudbø, Institutt for fysikk, NTNU  
E-post: [asle.sudbo@ntnu.no](mailto:asle.sudbo@ntnu.no)

### Visepresident

Professor Sunniva Siem, Fysisk instiutt, UiO, Kjerne- og energifysikk  
E-post: [sunniva.siem@fys.uio.no](mailto:sunniva.siem@fys.uio.no)

### Styremedlemmer

Forsker Annett Thøgersen, SINTEF Oslo, kondenserte fasers fysikk og atomfysikk  
Førsteamanuensis Magnus Borstad Lilledahl, NTNU, biofysikk  
Postdoktor Audun Theodorsen, UiT, atmosfære-, rom- og plasmafysikk  
Professor Håvard Helstrup, HiB, subatomær fysikk og astrofysikk  
Professor Jon Samseth, OsloMet, industri- og energifysikk  
Professor Astrid Aksnes, NTNU, optikk  
Lektor Kaja Nordby, Kongsbakken vgs., Norsk Fysikklærerforening

### Vara

Førsteamanuensis Arne Auen Grimenes, Fakultet for realfag og teknologi, NMBU

### Adresse

Norsk Fysisk Selskap  
Institutt for fysikk, NTNU  
7491 Trondheim  
Internettadresse: [www.norskfysisk.no](http://www.norskfysisk.no)

Sekretær: Haakon Thømt Simensen  
E-post: [nfs.styret@gmail.com](mailto:nfs.styret@gmail.com)  
Bankgiro: 7878.06.03258  
Org.nr.: 940 340 829

### Bedriftsmedlemmer av NFS

Vi takker for støtten fra våre bedriftsmedlemmer:



UiT / NORGES ARKTISKE  
UNIVERSITET



 NTNU 



UiO : Universitetet i Oslo

ISSN-0015-9247