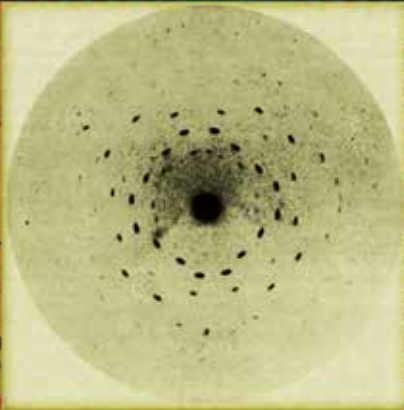
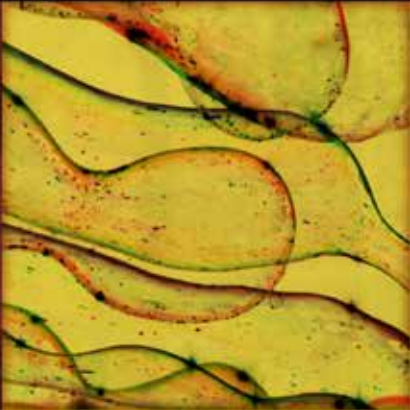
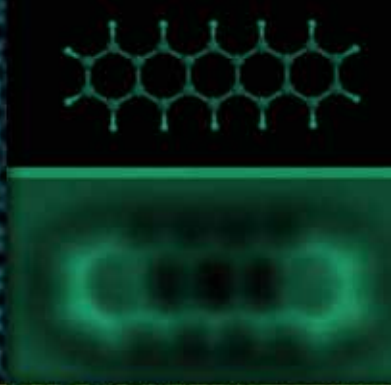
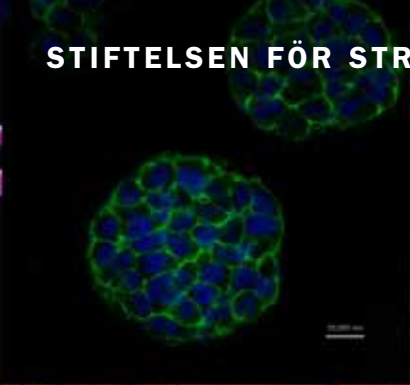
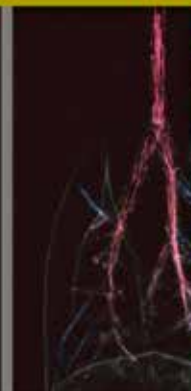
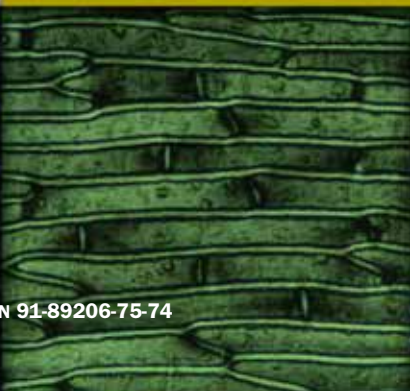


STIFTELSEN FÖR STRATEGISK FORSKNING



# *Smidigare, Smartare, Snällare*

Nya och förbättrade material förändrar och formar



Redaktör: Eva Regårdh

Grafisk produktion: Förnuft & Känsla Marknadskommunikation AB

Illustration: Hedda Gumpert

Tryck: Trydells Tryckeri, 2019

ISBN 91-89206-75-74

Förord .....	<b>5</b>
Skogen – miljövänligt skafferi och förnybar råvaruresurs, <i>Eva Regårdh</i> .....	<b>6</b>
Batterirevolutionen, <i>Daniell Brandell och Kristina Edström</i> .....	<b>14</b>
Superstarkt, supertunt och superlätt, <i>Mia Malmstedt</i> .....	<b>20</b>
Från C <sub>2</sub> O till H <sub>2</sub> O med fossilfritt stål, <i>Albert Regnell och Jesper Kansbod</i> .....	<b>24</b>
Organisk bioelektronik kopplar upp kroppen, <i>Ben Libberton</i> .....	<b>30</b>
Framtiden ser ljus ut, <i>Ben Libberton</i> .....	<b>36</b>

*Varje kapitel kan läsas fristående.*



# Förord

**Stenålder, bronsålder, järnålder** – vilka material vi människor utvinner och bearbetar är så viktigt att de får ge namn åt hela epoker. Vad kommer vår tid att kallas? Kanske kiselåldern, stålåldern eller plaståldern?

Industrialismen har tyvärr inneburit stora uttag av råmaterial; graden av återvinning och förfinade, miljömässigt uthålliga metoder är inte nog. Samtidigt är vi fler och fler som gör anspråk på, och har möjligheter att leva, ett bekvämt och materiellt tryggt liv. Vi behöver tänka om och säkra mer resurssnåla lösningar. Att återgå till ett gammeldags samhälle är knappast heller önskvärt för de flesta av oss. Så vad ska vi göra? Stiftelsen SSF är övertygad om att en stor del av lösningen ligger i nya smarta, smidiga och miljömässigt snälla material. Det händer mycket inom forskningen, men får ganska lite uppmärksamhet, eftersom mycket är av typen successiva förbättringar och många genombrott kommuniceras inte till allmänheten.

I sex korta kapitel ger fristående skribenter och experter tips och förslag på nya material som visar vägen till ett smartare samhälle med hållbar utveckling. Skogens polymerer ersätter miljöbelastande plaster, infektionssjukdomar minskar med bakteriedödande material, mänskliga reservdelar blir smidigare, stål framställs fossilfritt, batterierna blir ekologiska och utan konfliktmetaller, flygplanen blir lättare och drivs med gröna bränslen. Vid de stora europeiska forskningsanläggningarna MAX IV och ESS som är placerade i Sverige ökar hela tiden kunskapen om materiens innersta i våra celler, i metallerna, i växterna. Följ med på en spännande resa!



Lars Hultman, vd SSF



Eva Regårdh, kommunikationschef SSF

# Skogen – miljövänligt skafferi och förnybar råvaruresurs

*Eva Regårdh, civilingenjör och kommunikationschef på SSF*

*För miljöns skull måste vi minska koldioxidutsläppen och använda mer förnyelsebara material. I Sverige riktas blickarna främst mot skogen. Trä binder koldioxid, (det är först vid förbränning som koldioxiden avges), och trä är som alla biologiska råvaror nedbrytbart.*

**H**ela 70 procent av Sveriges landareal består av skog, främst barrskog. Årligen avverkas cirka 90 miljoner skogskubikmeter och tillväxten är 120 miljoner, det betyder alltså att mängden skog i Sverige ökar för varje år (källa Svenskt Trä), en viktig grund för ett hållbart brukande. Av den skog som avverkas i Sverige går ungefär 45 procent till sågverken, 45 procent till massaindustrin och 10 procent till annat, som brännved. Men skogsråvara finns dessutom i en mängd produkter som man vanligtvis inte förknippar med trä, som kläder, bränsle, medicin och nya produkter tillkommer hela tiden. Skogen ger också Sverige betydande exportintäkter, enligt Ekonomifakta exporterade vi år 2018 papper, pappersmassa, trävaror och förpackningar av cellulosa för omkring 144 miljarder kronor. Det räcker för att finansiera rättsväsendet (polis, domstolar, fängelser etc), hela svenska försvaret och hela biståndsbudgeten!

- Att helt ersätta all plast med träfibrer har en del tekniska problem; däremot har det visat sig att tvåkompositmaterial, som cellulosa och plast, fungerar mycket bra. Många engångsförpackningar, framförallt de som innehåller vätska,

består idag av biokompositer där även ingående plastpolymerer är biologiskt nedbrytbara, berättar Mikael Hannus, forsknings- och utvecklingschef på Stora Enso, en svensk-finsk skogsindustrikoncern.

Om man jämför dagens mjölk, juce- och filförpackningar med de vi hade på 70-talet, så är de betydligt stabilare – ändå består de av mindre än hälften så mycket material. Det har varit en successiv utvecklingsprocess. Många snabbmatsprodukter, som kaffe och hamburgare, fås ofta i så kallade non-spillförpackningar. De är vanligtvis gjorda i pressad brun pappersmassa och ersätter alltmer olika plastmaterial. Det samma gäller tallrikar, bestick, muggar, brickor, skålar och andra behållare. Men cellulosa kan användas till mycket annat än olika sorters papper, förpackningar och hygienprodukter, och det är ett hett forskningsområde idag. Stora Enso har ett innovationslab i Sickla, strax utanför Stockholm, ett annat exempel är Wallenberg Wood Science Center, WWSC. Det är Sveriges största satsning på forskning inom området nya material av träråvara och finansieras av Knut och Alice Wallenbergs stiftelse med 700 miljoner kronor under en tioårs-



period. Föreståndare är professor Lars Berglund vid institutionen för polymer och fiberteknologi på KTH i Stockholm. Chalmers, Linköpings universitet och flera skogsindustrieföretag deltar också i projektet.

- Trä är ett fantastiskt material säger Lars Berglund, vi kommer kunna göra så mycket mer i takt med att vi lär oss mer. Forskningen vid Wallenberg Wood Center syftar till att förstå de grundläggande mekanismerna i träet bättre, på molekylnivå. Vi fokuserar enbart på nya material från trä; inte bränsle, kemikalier, papper eller kartong. Utan helt nya grejer, det kan handla om allt från karossmaterial till medicinska implantat.

En idé är att 3D-printa medicinska implantat; då skulle patienten kunna få ett implantat som är precis rätt utformat. Idag kan forskarna också styra över parametrar som gör att implantatet dessutom löses upp av sig själv efter en viss tid inne i kroppen, till exempel efter att ett benbrott läkt, eller att det aldrig löses upp, som ett rekonstruerat bröst i samband med cancerbehandling.

Vid forskningsacceleratorn MAX IV i Lund studerar man också cellulosa på nanofibernivå. Nanocellulosa i olika former kan ge nya och förbättrade egenskaper åt en rad olika material. Ett syfte är att hitta ett enklare sätt att tillverka kläder av cellulosa, som en sort viskos. Från industrin deltar företag som Ikea, HM och andra företag som är stora inom textil. I norra Karelen, i Finland, bygger Stora Enso om en anläggning för att kunna lösa upp pappersmassa som råmaterial för viskostillverkning. Då kan man få miljövänliga tyger som kan ersätta bomull och fossilbaserade tyger som polyester. Men nanocellulosa kommer också att kunna göras hårt, och kan då användas för att göra sådant som cykelhjälm, bildelar och kappseglingsegel. Vid Umeå universitet utvecklar och skalar man upp en metod för att tillverka bakteriell

nanocellulosa. Det görs i en bioreaktor, som namnet anger är det bakterier som producerar nanocellulosan. Nanocellulosa framställd med hjälp av bakterier skiljer sig från annan nanocellulosa genom att den är renare, är mer kristallin och tunnare. Den kan bland annat användas som styrkehjärtare i kartong och textilier.

Även för batteritillverkning kan cellulosa vara utgångsmaterial. Ligninet i träet består av kolbindningar som kan användas för anoden i ett batteri. Professor Maria Strømme vid Uppsala universitet har utvecklat pappersbaserade batterier som kan driva exempelvis konsumentprodukter, trådlösa sensorer och bärbara verktyg. Femtio meter av sådana batterier har nu producerats, i ett enda steg, i en industriell förpackningsutrustning med en svensk industripartner. Den första industriella prototypen av en trådlös temperatursensor som drivs av batterierna presenterades vid "Challenge 2018-The summit for a sustainable Future" i New York City. Forskningen finansieras bland annat av SSF.

### Från nano till flerfamiljsfastigheter

Flerfamiljshus byggs vanligen av stål och betong, men trenden att bygga i trä är tydlig. Som konstruktionsmaterial har trä något som konkurrerande material saknar; trä är förnyelsebart, det växer hela tiden i skogen, och absorberar dessutom koldioxid CO<sub>2</sub>. När trädet sågas ner stannar koldioxiden i träet och finns bundet där hela brukstiden. När byggnaden ska rivas, kan träet återvinnas utan att belasta miljön med växthusgaser. Det är först om det bränns eller komposteras som CO<sub>2</sub> frigörs. Men då har redan nya träd som absorberar motsvarande koldioxid växt upp. Tillverkning av trävirke släpper dessutom ut mycket mindre växthusgaser jämfört med produktionen av stål eller betong.





Flerfamiljshus byggs vanligen av stål och betong, men trenden att bygga i trä är tydlig. Trä är förnyelsebart, det är en resurs vi har gott om i Sverige och träden absorberar koldioxid när de växer.

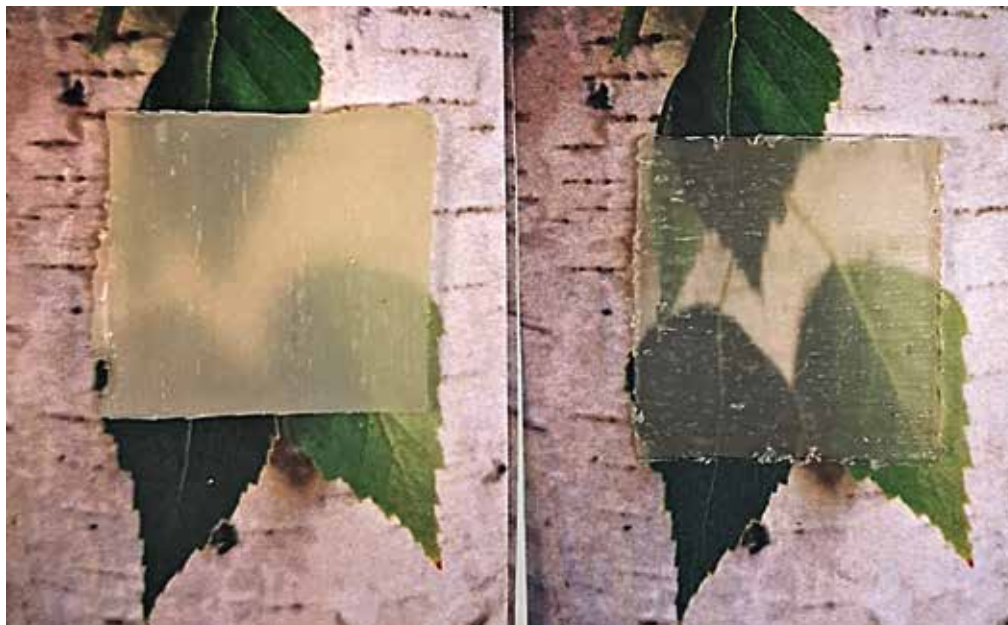


FOTO: Ema Peter

Forskare vid KTH har tagit fram genomskinligt trä. Det kan användas som fasadmaterial på huskroppar och där fungera som ett kemiskt värmebatteri genom sin förmåga att ta upp respektive avge värme.

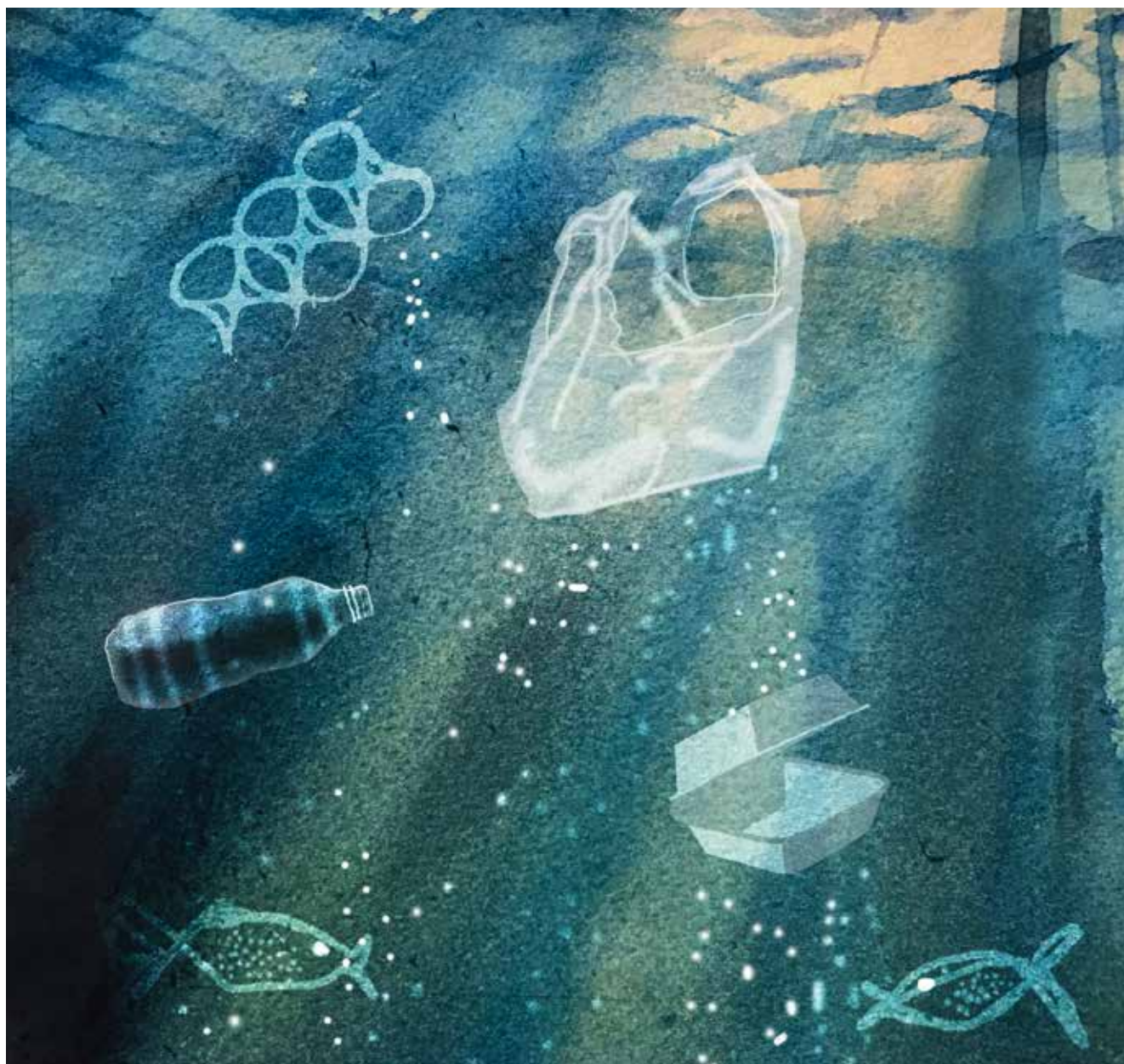
Holmens, ett annat stort pappers- och cellulosaföretag, uppför en pilotanläggning för så kallad kristallin nanocellulosa i Örnsköldsvik. Anläggningen blir den första i sitt slag i Europa. Materialet har många intressanta egenskaper och kan användas som barriärmaterial, byggmaterial, biokompositer och för tryckt elektronik.

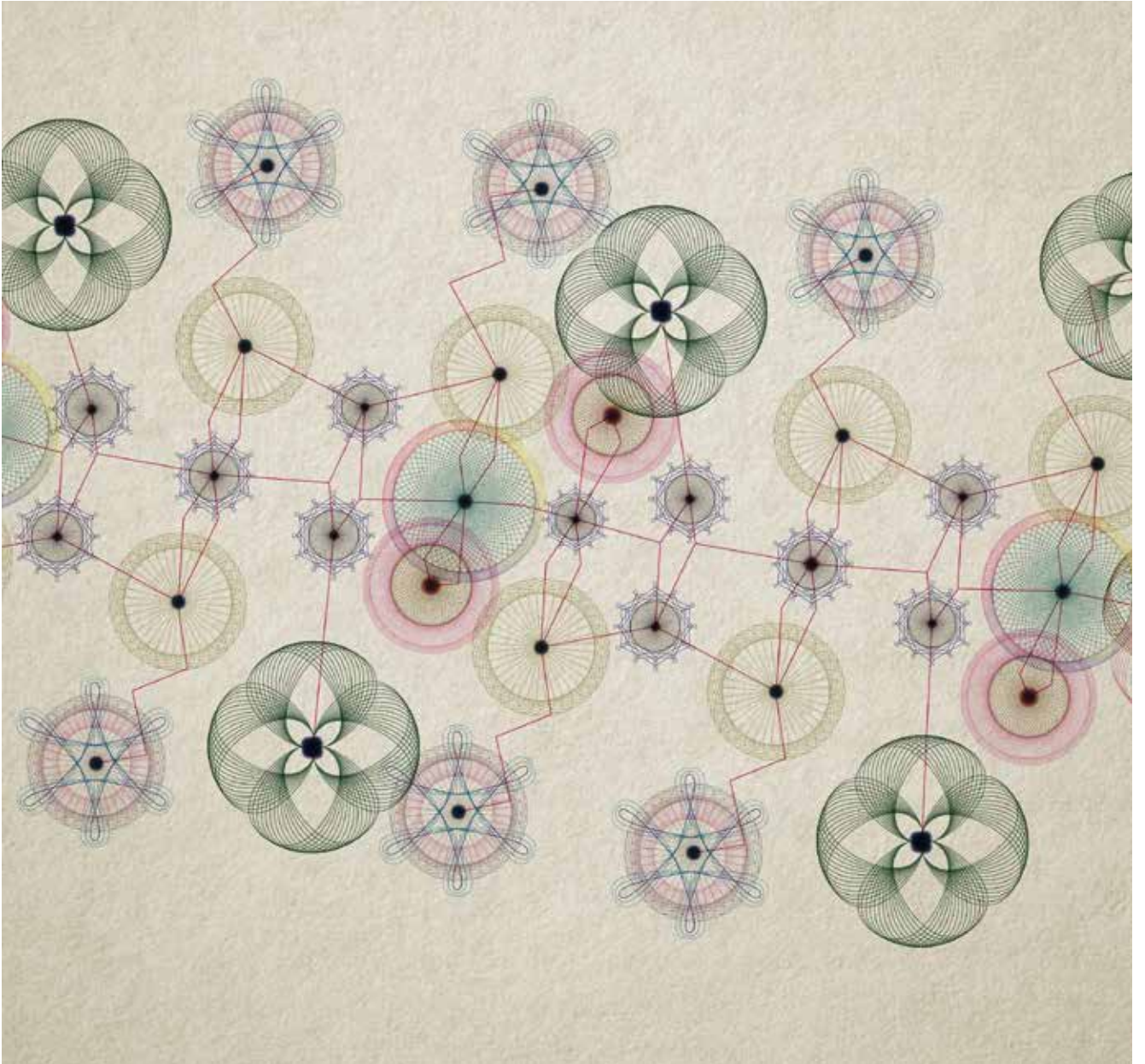
Och för att husen ska ha bra värmeekonomi har forskare på KTH utvecklat transparent trä, som på egen hand reglerar värmen. Det skulle kunna användas som fasadmaterial. När det är varmt blir ämnet (det transparenta träet) flytande, och när det är kallt stelnar det till kristallin form, och i den processen avges värme, som ett värmebatteri skulle man kunna säga.

### Problemet med plast

Plast är ett relativt nytt material i mänsklighetens historia, det har inte mycket mer än 60 - 70 år på nacken. Bakelit, en hårdplast, fanns redan på 20-talet främst för militär användning, men det var inte förrän efter andra världskriget som plast blev mer allmänt förekommande i konsumentprodukter. Plast är ett mycket flexibelt material och fick snabbt många användningsområden. Produktionen ökade i rask takt, i snitt och globalt med 9 procent om året, år efter år.

Forskarna räknar med att till och med 2015 har ungefär 8300 miljoner ton plast producerats runt om i världen. Av dem har ungefär 6300 miljoner ton kasserats idag, huvudde-





len återfinns i sopberg eller som landutfyllnad, men mycket finns också i haven där de ställt till stora problem för fiskar och annat marint liv. En tiondel drygt har bränts upp och en knapp tiondel har återanvänts. Med samma ökningstakt av produktionen av plast som hittills kommer i grova slängar 12 000 miljoner ton plast finnas i vår miljö år 2050 och eftersom plast inte bryts ned naturligt måste allt tas om hand.

Olika förpackningar är det största användningsområdet för plast, speciellt som allt mer blir engångsförpackningar. Behållare av olika slag, muggar, tallrikar, bestick, hygienprodukter, livsmedel etc förpackas i plast och används bara en gång och sopbergen växer. Positivt är dock att återanvändningen av plast sakta ökar, en utveckling som Europa leder; nu återvinner vi 30 procent. Kina 25 procent. USA halkar efter och ligger stadigt på en återvinningsgrad om knappt 10 procent. Ett exempel på materialåtervinning är polyetylenreflatflaskor (PET-flaskor). Eftersom de insamlade flaskorna är gjorda av samma material är de relativt lätt att återvinna. Plasten mals ner och genomgår därefter samma process som vid ordinarie tillverkning.

### Vad är en polymer?

En polymer är en kemisk förening som består av mycket långa molekyler av kol- och vätejoner. Polymerer är utgångspunkt för många olika material och produkter. Plast är en polymer gjord av olja eller naturgas. Det stora problemet med plast är att det blir kvar i naturen; det bryts ned snudd på oändligt långsamt. Biologiska polymerer kommer från växtriket, från träd, alger eller grödor. Allt biomaterial är nedbrytbart, men det kan trots detta vara svårt att återvinna, framförallt om det processat på olika sätt, som infärgade bomullsfiber eller returpapper med trycksvärta.

Det finns en del tekniska hinder för att ersätta oljebaserad plast med trädito. Ved innehåller cellulosa (det vi gör kar-

tonger och förpackningsmaterial av), lignin och hemicellulosa. Polymererna sitter hårt fast i veden; det är inte alltid så lätt att få ut dem " snyggt" och på det sätt man önskar. En annan viktig aspekt är att få till bättre processer som inte belastar miljön; idag går det åt en del vatten och energi för att separera och rena beståndsdelarna i träet.

Syntetiska polymerer är helt skapade i laboratoriet, oftast "slöjdade" för ett visst ändamål, som biologiska implantat. Med syntetiska skapade polymerer kan man kontrollera processen bättre, in i minsta detalj, och därför föredrar man det när det gäller material som ska införas i kroppen.

Nanocellulosa cellulosa, också kallat mikrofibrillär cellulosa, är ett material som består av cellulosafibriller i nanostorlek. Typiska dimensioner är 5-20 nanometer i bredd och upp till 2 000 nanometer i längd. I vatten blir nanocellulosan en gel med hög viskositet. Det finns en mängd olika potentiella tillämpningar för nanocellulosa, det kan användas som förstärkande medel i papper, som förtjockningsmedel, i kosmetiska / farmaceutiska produkter och som del av ytbeläggning i livsmedelsförpackningar.



Källor: Svenskt Trä, Ekonomifakta, Svenska Skogen, Science Advances, Geyer et al, 2017, Wikipedia

# Batterirevolutionen

*Daniel Brandell, professor i materialkemi, Ångströmlaboratoriet, Uppsala universitet*

*Kristina Edström, professor i oorganisk kemi, Ångströmlaboratoriet, Uppsala universitet*

*Att lagra mycket energi i en liten volym, och sedan reglera hur den används, ställer stora krav på att kemiskt stabilisera materialen för att undvika farliga sidoreaktioner. Allt kraftfullare batterier för framtidens elfordon kommer därför att kräva en omvälvande materialutveckling.*

Batterier har funnits i vår vardag ända sedan 1800-talet. Ändå är det först nu som dessa på allvar börjar spela en allt viktigare roll för oss och för vår omvärld, bland annat som en del i klimatomställningen. Idag pågår en revolution inom området, med allt fler, och allt fler sorters, batterier. Prognoser visar att till år 2025 kommer produktionen av batterier att mer än fördubblas. Det som kommer att växa mest är litium-jon batterier (Li-jonbatterier), som kommer att fyrdubblas inom samma period, och då utgöra hälften av den producerade lagringskapaciteten – och en ännu större del av marknadsvärdet.

Lider du av "laddningsångest", och är orolig för att energin i ditt batteri inte skall räcka? Du är inte ensam! De som har elbilar vill ha batterierna fulladdade för att vara säkra på att komma fram. Mobiltelefoner och datorer har blivit mer energikrävande, vilket gör att batteriet utgör en allt större del av vikten i telefonen eller datorn, men samtidigt behöver laddas allt oftare. Därför behövs batterier som levererar el längre tid, och mycket el på en gång, som går att ladda snabbt och som håller länge. Delvis handlar detta om hur batterierna används, men framför allt om själva materialen inne i batterierna.

## Vad är batterier?

Det finns många sätt att lagra energi – pumpa vatten till högre höjd, komprimera luft till högre tryck, skapa energirika kemiska föreningar, med mera. Batterier har dock en rad fördelar: energiförlusterna är små, man får ut nästan lika mycket energi som man stoppar in. De går att göra både mycket stora (så att man kan lagra el från en hel vindkraftspark) eller mycket små (så att de kan användas för mobiltelefoner och bärbar elektronik, eller för medicinska implantat inuti i kroppen).

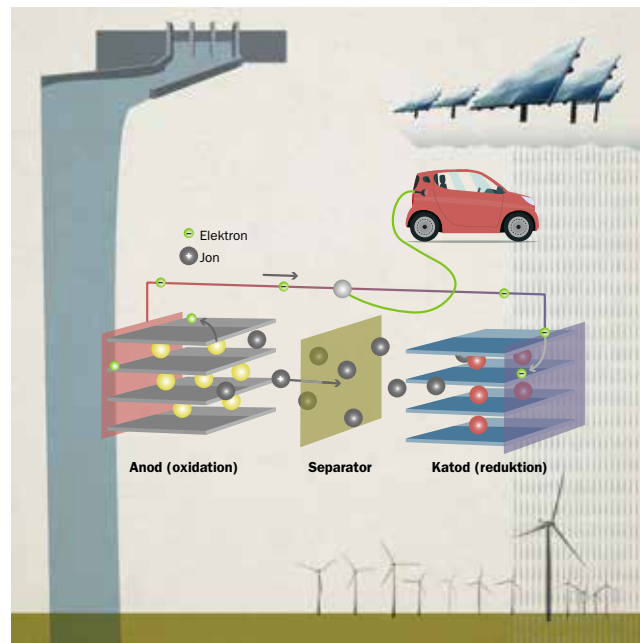
Batterier utgör alltså ett av flera sätt att lagra energi. Ibland finns ett överskott på energi, och då är det nyttigt att spara till tillfällen med underskott. Inte minst gäller det flera av de förnybara energikällorna, som sol- och vindenergi. Där behöver energi lagras till de tillfällen solen inte skiner, eller vinden inte blåser. Batterier behövs också för transporter, där fordon måste ha energin med sig i lagrad form. Fortfarande sker detta främst i form av fossila bränslen som bensin och diesel, men elbilar ökar snabbt i antal. I Sverige används två tredjedelar av de fossila bränslena till just transporter, så här finns stora miljövinster att göra genom en utbyggd användning av laddningsbara batterier.



Vid en första anblick kanske ett batteri inte ser ut att vara någon avancerad produkt. Det är en liten burk eller låda som vi kan ta ut en elektrisk ström från. Men skenet bedrar. Batterier rymmer ett mycket spännande kemiskt samspel mellan olika material. Att lagra mycket energi i en liten volym är en utmaning, och batteriet måste skräddarsys för att inte spontana reaktioner skall skapa olyckor. Ett kommersiellt Lijonbatteri rymmer ofta ett 50-tal olika material och kemiska föreningar – både flytande och fasta – vilka i sin tur utgörs av uppemot ett tjugotal olika grundämnen. För att batteriet skall kunna leverera ström måste dessa material delta i kemiska reaktioner som sker parallellt och exakt samtidigt i olika delar.

### Parallella reaktioner

I en kemisk reaktion så reagerar två ämnen genom att elektroner hoppar från ett ämne till ett annat. Då frigörs kemiskt lagrad energi, vilket avges som värme. Ett batteri fungerar genom att den kemiska reaktionen delas upp i två halvkor som tar plats i batteriets två olika elektroder: vid anoden (minus) avges elektronerna i den kemiska reaktionen, och vid katoden (plus) tas elektronerna upp. De två delreaktionerna separeras alltså fysiskt från varandra, vilket gör att elektronerna tvingas gå genom en yttre krets – och alltså kan energin tillgodogöras som elektrisk ström istället för att omvandlas till värme. Denna elektriska ström kan sedan driva en elmotor i ett fordon, eller förse elektroniska komponenter med energi. Mellan de två elektroderna inne i batteriet finns också en elektrolyt, vars roll främst är att se till att laddningsbalansen upprätthålls. I samma utsträckning som negativa elektroner går mellan minus och plus i den yttre kretsen, så går positiva joner i samma riktning inne i batteriet. I ett återuppladdningsbart batteri måste dessutom dessa processer vara fullständigt reversibla,



De grundläggande principiella reaktionerna i ett batteri. Oxidation är avgivande av elektroner, medan reduktion är upptagande av elektroner.

och därmed fungera lika bra åt båda hållen. På så sätt återgår materialen till sitt ursprungliga tillstånd efter uppladdning, när man tillfört energi igen. Eftersom det är dyrt att tillverka batterier kommer de återuppladdningsbara varianterna att vara de som revolutionerar energisystemet. Dessutom är det betydligt mer miljövänligt och praktiskt.

### Juvelen i kronan

Kravet på att reaktionerna skall kunna gå åt båda hållen begränsar antalet typer av batterier som kan tas i bruk, och de som finns tillgängliga idag utgörs av ett fåtal grupper av materialkombinationer. Bly-syra-batteriet har funnits sedan 1800-talet, men används fortfarande i stor utsträckning, och



utgör mer än 50 procent av det totala försäljningsvärdet av batterier. Nickel-kadmiumbatteriet har med tanke på innehållet av giftiga tungmetaller i princip fasats ut i stora delar av världen, men storskalig tillverkning för speciella tillämpningar pågår fortfarande. Det något liknande, men mer miljövänliga, nickel-metallhydridbatteriet innehåller kostsamma ämnen, men har trots det ett stort användningsområde för både elektronik och hybridfordon. Själva juvelen i batterikronan är dock Li-jonbatteriet. Li-jonbatteriet såg dagens ljus under tidigt 1990-tal, och har sedan dess tagit allt större marknadsandelar och dominerar även forskning och utveckling.

Hur användbara de olika batterierna är beror framför allt på energitäthet: hur mycket energi som kan lagras per vikt och volym. Energiinnehållet beror dels på batteriets spänning (som mäts i volt) och batteriet lagringskapacitet (som mäts i amperetimmar):

$$\text{Energin} = \text{Spänningen} \times \text{Kapaciteten}$$

Spänningen är ett mått på hur mycket energi man får ut av varje elektron som går mellan minus och plus, medan kapaciteten motsvarar hur många elektroner som batteriet kan leverera. Genom att kombinera ett material som mycket gärna vill ge bort elektroner, det vill säga ett bra anodmaterial, med ett som mycket gärna vill ta emot elektroner, ett katodmaterial, så får vi ett batteri med hög spänning. Kan reaktionerna ske många gånger, så har vi också hög kapacitet. Batterimaterial med litium har överlägset högst energidensitet; det finns litiumbaserade material med exceptionell förmåga att både avge och ta upp elektroner. Samtidigt är Li-jonen så liten (Li är grundämne nummer tre i periodiska systemet) att det är förhållandevis lätt att utveckla material där litium reversibelt kan hoppa in och ut, alltså åka fram och tillbaka så att batteriet laddas upp och ur. Det gör att Li-jonbatterier dominerar i elbilar.

### **Anoder, katoder, elektrolyter – allt handlar om material**

Trots att Li-jonbatteriet har nästan 30 år på nacken sker en betydande materialutveckling inom området. Ett normalt Li-jonbatteri består av grafit som anod, en elektrolyt med flytande lösningsmedel och litiumsalt, samt en katod bestående av metaller och syreatomer (oxider). Den här materialkombinationen innebär dock en rad problem; anoden degraderas under användning, salt och lösningsmedel bryts ned i sidoreaktioner, materialen är dyra och svårersättningsbara på katodsidan. Att spontana sidoreaktioner uppstår är inte underligt med tanke på att både anod och katod är extremt benägna att genomgå kemiska reaktioner – det är ju så energin lagras – och elektrolyten befinner sig därför utanför det egentliga stabilitetsområdet. Detta skapar säkerhetsrisker. När olyckor sker i batterier kan de leda till mycket allvarliga explosioner och bränder, och kemister måste lägga ned mycket arbete och tankekraft på att stabilisera systemen. Samtidigt vill vi lagra allt mer energi på ett allt mindre utrymme, vilket gör problemen än svårare att lösa.

Forskningen på materialutveckling rör både anoder, katoder och elektrolyter. På anodsidan undersöks idag material som kan absorbera litium i legeringar (som kisel och tenn), eller genomgår omvandlingsreaktioner där små metalliska nanopartiklar bildas och löses upp under reaktionen med litium. Även Li-metall, som är mycket reaktiv och lätt förstörs under upp- och urladdning, undersöks. Gemensamt för dessa material är att kapaciteten är högre än den är för grafit, samt att man undviker de processer där grafitsskikten lossnar från varandra och anoden spricker upp. På katodsidan finns kanske än mer att göra – kapaciteten är lägre, materialen är dyrare och använder mer sällsynta metaller som kobolt. Järnbaserade material skulle kunna utgöra kostnads- och resurseffektiva alternativ; det finns mycket järn, och det är förhållandevis



Behovet av elektrisk energi kommer fortsätta vara stort, och elnätet kommer att användas alltmer för att ladda batterier i bilar, smarta telefoner och uppkopplade prylar.

billigt. Samtidigt pressar fordonsindustrins önskan om batterier med högre energiinnehåll fram katoder med nickel och mangan, vilket ökar spänningen än mer. Svårhanterliga men billiga material som svavel, eller till och med syre från luft, undersöks också på grund av deras enormt höga kapaciteter.

De nya elektrodmaterialen ställer också andra krav på elektrolyten. Inte minst pågår arbete med att ta fram elektrolyter som spontant stabiliserar de reaktiva ytorna på elektroderna, eller elektrolyter i fast fas istället för flytande, vilka är avsevärt mindre brandfarliga.

### Hållbara batterier

Tyvär kräver Li-batterier mycket energi vid framtagande av de ingående komponenterna liksom vid återvinning, vilket ger upphov till stora utsläpp av växthusgaser. Materialen tillverkas också i kemiska processer där starka syror eller giftiga kemikalier används. Dessa hållbarhetsproblem är kopplade till att materialen i dagens batterier tas ur oorganiska mineraler som bryts i gruvor. Vid återvinning tillvaratas främst kobolt, nickel och koppar, men inte litium. Nu är Li förvisso inte ett av de mest sällsynta grundämnena, men det hindrar inte att det finns risk för att brist skall uppstå; under den senaste tioårsperioden har priset nästan tredubblats. Det är ett fåtal länder i framför allt Sydamerika som välsignats med stora litiumtillgångar. De har därmed en oligopolliknande ställning, vilket medför stor risk för kraftiga prissvängningar, och att länder som behöver mer litium-jonbatterier i sitt energisystem hamnar i beroendeställning. Kobolt, i sin tur, är ett konfliktmineral där framställningen är kopplad till mycket mänskligt lidande i centrala Afrika, samtidigt som det står klart att tillgången på kobolt är för liten för en storskalig expansion av Li-jonbatterier bestående av dagens material.

Miljöpåverkan och resursförbrukning vid tillverkning och återvinning av litium-jonbatterier skulle avsevärt kunna förbättras om man använde organiska elektrodmaterial. Organiska material kan dessutom tillverkas av kemikalier som utvinns ur biologiska källor, alltså förnybara material. Återvinning av dessa kan ske vid lägre temperaturer, med mindre farliga kemikalier, samt med tillvarataget litium. Bättre resurshushållning skulle också uppstå genom att ersätta litium med natrium, som är ett betydligt mer vanligt förekommande grundämne. Energiinnehållet blir då lite lägre, men fortfarande acceptabelt för väldigt många tillämpningar.

### Inga superbatterier

Materialutvecklingen för batterier kräver alltså dels att sällsynta, farliga och giftiga material byts ut (substitueras), att energiinnehållet ökar så att batterier bättre kan ersätta fossila bränslen, samtidigt som de stabiliseras kemiskt så att de inte åldras snabbt eller orsakar olyckor. Det är en utmaning, och förmodligen kommer inget "superbatteri" att klara allt detta. Dock behövs batterier för en rad olika funktioner i samhället, och de flesta batterier behöver inte ha högsta prestanda på alla punkter. Med rätt utveckling kommer därmed en storskalig användning av batterier att kunna bli verklighet i vårt

#### Hur skall jag ladda min telefon?

Batteriet i en mobiltelefon är nästan alltid ett Li-jonbatteri. När batteriet är fulladdat innehåller det som mest energi, och kan då genomgå olika sidoreaktioner. När det är helt upp- eller urladdat så är antingen anoden eller katoden fullproppad med Li-joner, vilket skapar en påfrestning på materialen, och de åldras. Batteriet mår därför som bäst när det ligger på en laddningsnivå mellan ca 20 och 80 procent. Att ladda fullt över natten gör därför att batteriet åldras snabbare.

# Superstarkt, supertunt och superlätt

*Mia Malmstedt, frilansskribent och kommunikatör vid Chalmers tekniska högskola*

*Grafen är ett fantastiskt material helt enkelt. Så beskrivs grafen, som kan användas i allt från flygplan till böjbar och tryckkänslig elektronik, ytbeläggningar, energilagring, läkemedel – eller till och med som små knivar för att skära sönder bakterier.*

Låt oss börja från början: med kol. Det kemiska grundämnet med beteckningen C är grunden till allt liv och universums fjärde vanligaste atomslag. Kol finns i flera former, så kallade allotroper, som grafit, diaman, fullerener och amorft kol. År 2004 upptäcktes en ny form, grafen.

Grafen är världens tunnaste material. Det består av ett enda atomlager, vilket innebär att det är världens första 2D-material och bara 0,3 nanometer – miljarddels meter – tjockt. Det är också världens lättaste material; ett kvadratmeterstort flak väger 0,77 milligram. Trots det är grafen hela 200 gånger starkare än stål och hårdare än diaman.

Atomerna i grafen är ordnade i ett hönsnätsmönster, och det ger materialet unika egenskaper. Grafen är nästan genomskinligt och så böjligt och tånjbart att det kan anta vilken form som helst. Det leder också värme och elektricitet bättre än något annat material. Med alla dessa fantastiska egenskaper har grafen snabbt blivit intressant för tillverkning inom många olika områden: Flyg- och bilindustrin, elektronik, energilagring, sensorer, kommunikation, ytbeläggningar, mediceknik och läkemedel är bara några exempel.

Med tanke på vilket supermaterial grafen faktiskt är, är det nästan lustigt att tänka på hur det upptäcktes. Två forskare i Manchester använde vanlig tejp för att göra rent en grafitsten – och hittade flagor av grafen som fastnat på tejp. Året var 2004 och för sin upptäckt fick forskarna Andre Geim och Konstantin Novoselov Nobelpriset i fysik 2010.

Trots att det bara gått 15 år sedan grafen upptäcktes har intresset för materialet växt snabbt och spridit sig över världen. Idag arbetar hundratals laboratorier med att studera och utveckla möjliga användningar av grafen. År 2013 sjösattes Graphene Flagship, Europas största forskningsinitiativ hittills, som samlar forskare från 29 europeiska länder såväl som industripartners. Flaggskeppet koordineras från Chalmers i Göteborg.

Tack vare forskningen har grafen också gett upphov till en hel familj nya kristaller, som alla är varianter av grafen och lika tunna. De nya kristallerna kan paras ihop på olika sätt för att framställa olika typer av material. Dessutom går det att tillsätta små mängder grafen i vanliga material för att ändra deras egenskaper. Ett exempel: En halv promille

grafen i plast gör den upp till 30 grader mer värmetålig, och bara 0,1 promille grafen gör plasten ungefär tre gånger så styv. En procent grafen i plast gör dessutom att den kan leda elektricitet.

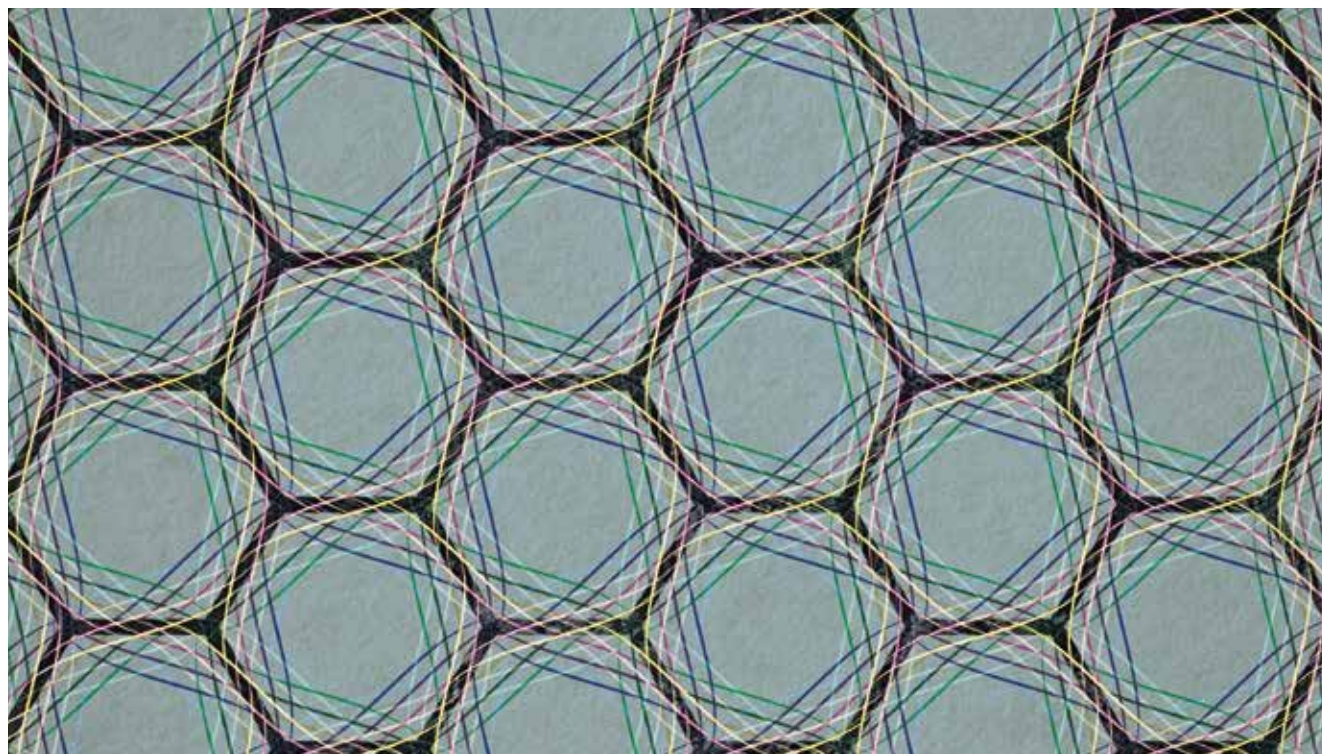
Samtidigt som forskning pågår, har olika företag börjat tillverka produkter. Redan idag finns sportartiklar med materialet ute i affärerna, och grafen i ultrasnabb och böjbar elektronik, tryckkänsliga skärmar och elektroniska papper verkar inte vara långt borta.

Grafen har också snabbt blivit ett intressant material när det gäller behandling av sjukdomar. Ett exempel är grafenbaserade elektroder som stimulerar nervceller i hjärnan. Elek-

troderna förs in i hjärnan för att på plats påverka nerverna, och kan användas för behandling av Parkinsons sjukdom när inget annat läkemedel fungerar.

Forskare vill också skapa en konstgjord näthinna av grafen och på så sätt ge blinda patienter synen tillbaka – en förutsättning är dock att synnerven fungerar, så att den nya näthinnan kan kopplas upp mot den. Eftersom grafen är böjligt, genomskinligt och elektriskt ledande kan det vara det perfekta materialet för ändamålet.

Andra forskargrupper undersöker materialet grafen-oxid, en variant av grafen som består av kol och syreatomer. Hypotesen är att grafen-oxid kan användas för målstyrd läke-





Att använda grafenflagor som minimala knivar och skära sönder inkräktande bakterier är ett okonventionellt sätt att döda dem.

medelsleverans i kroppen. Det innebär att medicinen fästs vid materialet, som sedan injiceras i blodbanan. Väl inne i kroppen letar sig grafen-oxiden fram till det sjuka organet och läkemedlet avsöndras på rätt plats. På så sätt minskas risken för biverkningar.

Vissa typer av grafen har visat sig vara antibakteriella, vilket självklart går att utnyttja i sjukvården. Men det finns också ett annat, mer okonventionellt sätt att döda bakterier: att använda grafenflagor som minimala knivar och skära sönder de inkräktande bakterierna. Den här tekniken skulle passa särskilt väl när man sätter in implantat. Implantatkirurgi blir allt vanligare – vi får nya tänder, höfter eller knän – men bakterieangrepp runt implantatet är vanligt. I värsta fall leder angreppet till att implantatet inte kan fästa i skelettet som det ska, utan måste plockas ut igen. Nu har svenska forskare kommit på att grafen kan sättas vertikalt, som en spikmatta i miniformat, på implantaten. När bakterierna, som färdas runt i blodet och letar efter någonstans att landa, försöker sätta sig på implantatet skärs de sönder och dör. Däremot skadas inte vanliga celler. De är nämligen mycket större. Det som blir dödligt våld mot bakterien blir därför bara ett nålstick på en cell.

Men om vi ska föra in grafen i kroppen, via injektioner eller på implantat och näthinnor, så måste vi veta att det är säkert. Hur reagerar kroppen på det främmande materialet? Kommer det att brytas ner eller finnas kvar? Kan det bli farligt? Om det är bakteriedödande, kommer det då att döda även våra goda bakterier? Om det bryts ner, bryts det då ner för fort för att hinna leverera läkemedel? Och hur kompatibelt är grafen med nervceller eller celler i blodbanan?

Eftersom grafen består av kol, eller som grafen-oxid av kol och syre, så är kanske det naturliga svaret att det borde vara riskfritt. Men riktigt så enkelt är det inte. Det vet forskarna

som just nu tittar närmare på just frågor om toxicitet – giftighet – och grafens påverkan på människa och natur.

Även om grafen generellt sett verkar vara mindre giftigt än andra material, så finns det några aspekter att hålla i minnet. Det första är att grafen inte är ett enda material, utan en familj av material. Dessa material kan bestå av en högre andel kol, eller en högre andel syre; deras kemiska sammansättning varierar. Materialen kan också bestå av ett enda lager eller av flera. Dessutom är de olika stora även i sidled; flaken av grafen kan variera från tio nanometer eller tio mikrometer eller ännu mer, och storleken gör att egenskaperna förändras. Små flagor av grafen beter sig helt enkelt annorlunda än stora.

De tre faktorerna – kemisk sammansättning, antal lager och storlek – gör att det inte går att säga att alla typer av grafen är ofarliga, bara för att en typ visats vara det.

För det andra: vi måste veta att det material vi undersöker verkligen är grafen. Det här kan ju verka självklart. Grafen är väl grafen? Men riktigt så enkelt är det inte. Nyligen gjordes en studie där forskarna tog prover från ett stort antal grafentillverkande företag. Därefter karakteriserade man alla dessa prover. Det visade sig att vissa av proverna inte ens var grafen, utan ett grafitliknande material. Företagen har helt enkelt inte haft tillräckliga kvalitetskontroller.

För det tredje: det är stor skillnad på att framställa grafen i liten skala i en forskningsstudie och att tillverka den mängd grafen som behövs för att bygga exempelvis en flygplansvinge. Idag vet vi inte ens om materialet går att framställa i så stora mängder. Det är alltså en utmaning att ta grafen från forskning till tillverkning och kommersialisering, och samtidigt behålla dess unika egenskaper.

Man kan också fråga sig vad som händer om grafen kommer ut i vår natur? En handfull studier har visat att grafen bryts ner av bakterier och svampar, vilket kan tyda på att

grafen som hamnar i naturen tas om hand av mikroorganismer, bryts ner och försvinner. Men studierna har bara gjorts i kontrollerade laboratoriemiljöer och i relativt liten omfattning. Vad som skulle hända om en stor mängd grafen släpps ut i naturen är det ännu ingen som vet. Ingen vet heller hur mycket grafen vi kan tänkas exponeras för, eller i vilken omfattning exponering behöver ske för att det möjligen skulle kunna finnas risker.

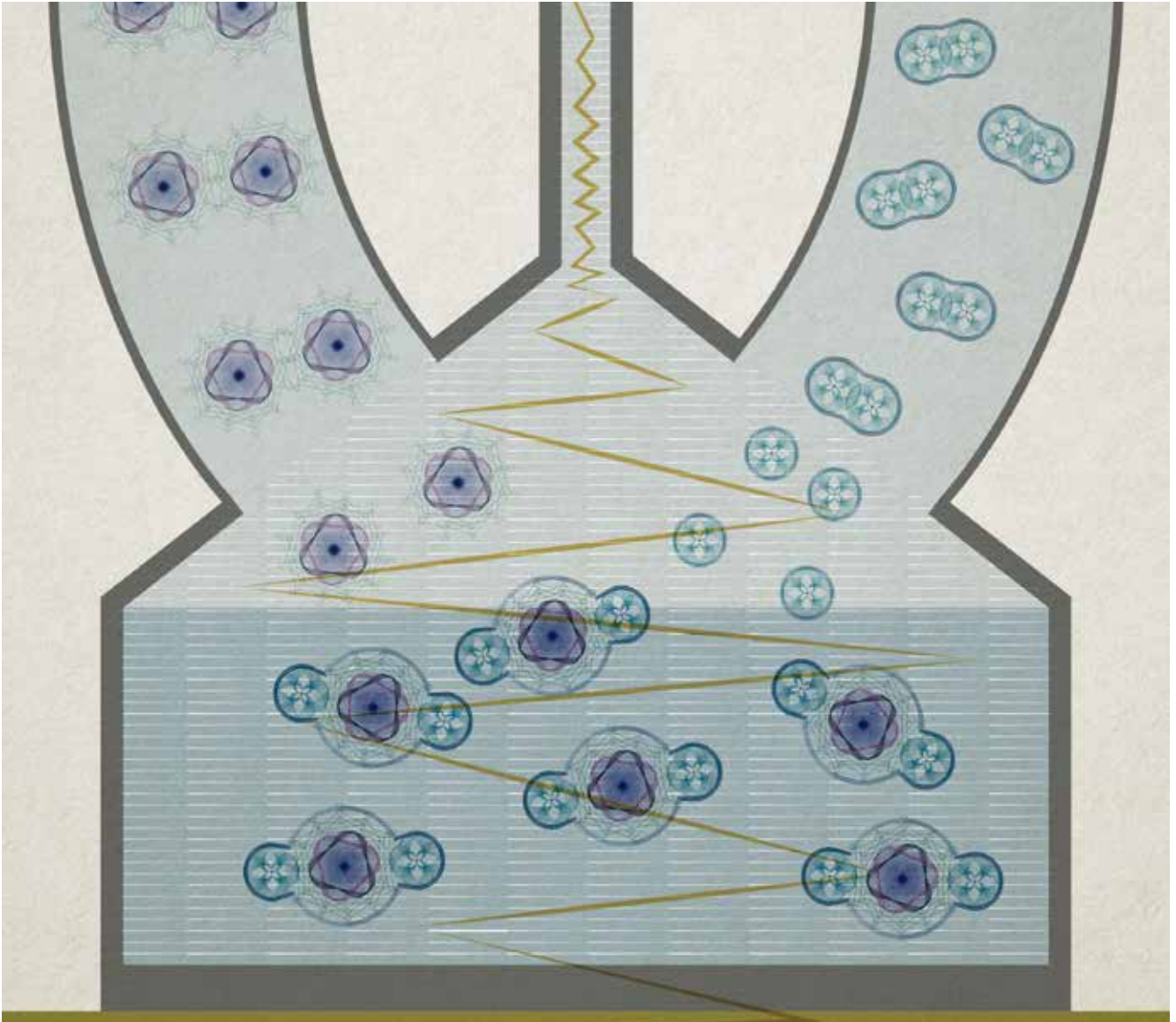
Sammanfattningsvis kan vi konstatera att det mesta tyder på att grafen är ett ofarligt material, och att det har en mängd fantastiska egenskaper är uppenbart. Men ännu finns för lite forskning för att kunna vara helt säkra på hur grafen påverkar oss och vår miljö. Forskarna jobbar för att få fram säkerställda data om detta. Samtidigt utvecklas allt fler produkter som vi kan förvänta oss att stöta på inom en snar framtid.

### Så tillverkas grafen

Grafen tillverkades från början enligt den så kallade "tejp-metoden", namngiven efter upptäckten 2004, eller mikromekanisk klyvning som är ett mer korrekt namn.

Idag finns flera olika sätt att tillverka grafen. I en process som kallas CVD, chemical vapour deposition, skapas en tunn ytbeläggning på ett prov som sedan placeras i en vacuumkammare. Där värms det upp till höga temperaturer och utsätts för tre gaser, vanligen väte, argon och metan. Värmen gör att gasmolekylerna reagerar med varandra, och ett tunt lager kolatomer skapas.

För att tillverka vertikalt grafen används metoden PECVD, eller plasmaassisterad ångavsättning. Vid PECVD tillsätts ett elektriskt fält över provet, vilket gör att gasen närmast ytan joniseras. Detta får grafen att växa vertikalt, istället för horisontellt. Små grafenflagor kan också skapas från naturligt grafit som placeras i lösning. Dessutom kan små grafenstrukturer framställas genom kemisk syntes.



Vätgas framställs genom elektrolys av vatten, en idag välbeprövad teknik. Förenklat så skickar man elektricitet genom vatten vilket separerar H<sub>2</sub>O-molekylen så att syrgas (O<sub>2</sub>) och vätegas (H<sub>2</sub>) bildas. För att minimera koldioxidutsläppen så används fossilfri el.



# Från CO<sub>2</sub> till H<sub>2</sub>O med fossilfritt stål

*Albert Regnell, student och Jesper Kansbod, ansvarig för samhällskontakter, Hybrit Development AB*

*Halten av koldioxid i atmosfären är på rekordnivå och jorden är en grad varmare än före den industriella revolutionen. De globala klimatutsläppen måste minska drastiskt om världen ska nå Parisavtalets mål att undvika en temperaturhöjning på 2 grader över förindustriell nivå, och helst under 1,5 grader.*

**E**n rapport från IPCC visar att konsekvenserna av en temperaturhöjning på 2 grader kan få värre konsekvenser än vad man tidigare trott. Rapporten uppmanar samhället att hålla sig under en uppvärmning på 1,5 grader. För att klara detta kommer det att krävas en stor insats av hela samhället och ett ökat samarbete mellan stat, näringsliv och forskarsamhället.

Industrin är en stor källa till klimatutsläpp i Sverige och står för ungefär en tredjedel av Sveriges totala territoriella utsläpp. Sveriges järn- och stålindustri står i sin tur för cirka 10 procent av de totala svenska utsläppen. Globalt står järn- och stålindustrin för cirka 7 procent av världens utsläpp. För att uppvärmningen ska hålla sig under 1,5 grader krävs en minskning på 75-90 procent av industrins utsläpp innan år 2050.

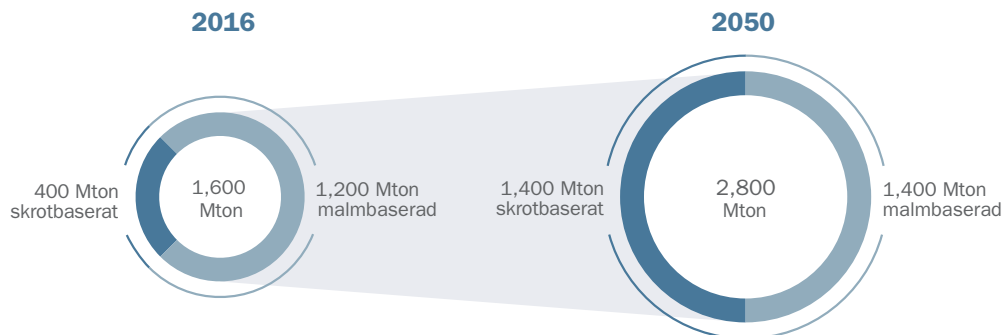
Det bör påpekas att den svenska energi-, gruv- och stålindustrin är bland den mest klimateffektiva i världen och redan har reducerat sina utsläpp betydligt. Det krävs banbrytande teknik för att de kvarvarande utsläppen från malmbaserad järn- och ståltillverkning ska kunna möta de klimatpolitiska målen. Sveriges riksdag har till exempel beslutat att Sverige ska ha nettonollutsläpp år 2045.

## **Stål**

Stål är en viktig komponent för att bygga det moderna samhället, för industrin, innovationer och infrastruktur. Stålindustrin sysselsätter omkring 26 000 personer i Sverige innefattande anställda i stålföretag och leverantörer. Stålindustrin genererar stora export- och skatteintäkter vilket bidrar till Sveriges BNP och finansierar indirekt satsningar på välfärden.

Hybrit – en förkortning för Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology – är ett initiativ från SSAB, LKAB och Vattenfall som startades 2016. Det är en banbrytande satsning från tre företag som vill vara med och bygga ett hållbart samhälle med visionen om att bli fossilfria till år 2045. Målsättningen med Hybrit-initiativet är att fasa ut användningen av fossilt kol i järn- och ståltillverkningen och ersätta det med fossilfri el och vätgas - och därmed i princip eliminera koldioxidutsläppen i den malmbaserade stålvärdekedjan.

## Stålbehov – 2016 samt prognos för 2050



Stål är hållbart, starkt och är ett av världens mest mångsidiga och återvinningsbara material. Det finns i många olika produkter, som fordon, byggnader, konsumentelektronik, medicinsk teknik, bara för att nämna några.

Enligt prognoser så kommer behovet av stål att öka. 2016 användes 1 600 miljoner ton stål globalt och år 2050 förväntas behovet ligga på 2 800 miljoner ton stål. Frågan är därför inte om vi ska sluta använda stål, utan hur vi ska göra produktionen av stål klimatvänligt. Det är där Hybrit-initiativet kommer in i bilden. Vi behöver ta bort koldioxidutsläppen vid järn- och ståltillverkning från järnmalm, annars kommer utsläppen istället att öka, vilket försvårar att nå de globala klimatmålen.

### Hybrit-konceptet - så här går det till

Det finns idag två huvudsakliga sätt att göra stål – skrotbaserat och malmbaserat. I skrotbaserad ståltillverkning så smälter man skrot (återvunnet stål) med hjälp av elektricitet i en ljusbågsugn. Om man använder fossilfri elektricitet kan man alltså göra denna process i princip fossilfri. Men denna typ av stålframställning räcker inte för att möta framtidens stålbehov – även malmbaserad ståltillverkning behövs i fram-

gent, även om en del produkter som idag innehåller stål kan komma att göras av andra material, eller material med mindre mängder stål, som olika kompositmaterial.

I. Masugnteknik: Den malmbaserade värdekedjan för stålframställning börjar med brytning av järnmalm i gruvan. Efter brytningen bearbetas järnmalmen och pellets framställs vilka sintras (pelletsen värms upp till cirka 1 250 grader så att järnmalmsspartiklarna delvis smälter ihop) för att bli starka. Idag sker sintringen med fossila bränslen, och denna process genererar merparten av LKAB:s totala CO<sub>2</sub>-utsläpp.

Järnmalm innehåller syre vilket måste reduceras, alltså avlägsnas, för att det ska bli rent järn. Denna reduktionsprocess sker med koks (som är en typ av kol) som bränsle och reduktionsmedel i en masugn vid höga temperaturer. Vid uppvärmningen reagerar syret i järnmalmen med kolen och bildar koldioxid. Kvar finns flytande järn. Masugnsprocessen står för cirka 85-90 procent av stålframställningens totala koldioxidutsläpp. Det flytande järnet förs vidare till stålverket för fortsatt behandling innan en stålprodukt kan gjutas eller valsas. Den totala kemiska energin som går åt för att producera ett ton råstål är cirka 5 – 5,5 MWh. Det motsvarar ungefär



20 procent av energiförbrukningen för en normalvilla med direktverkande el i ett år.

2. Hybrit-teknik: I Hybrit-konceptet är målet att de fossila bränslena ska ersättas med fossilfria bränslen. Hela värdekedjan, från brytning av järnmalm till stål, kommer att vara fossilfri. Det kommer fortfarande krävas stora mängder energi, men den kommer då i huvudsak att utgöras av elektrisk energi. Den största minskningen av utsläpp sker i reduktionsprocessen där koks ska ersättas med vätgas som reduktionsmedel. Vätgasen kommer att reagera med syret i järnmalmen, men istället för att bilda koldioxid kommer det att bildas  $H_2O$ , alltså vanligt vatten. Produkten blir, istället för flytande råjärn, en fast porös järnprodukt som kallas järnsvamp. Denna reduktionsprocess kallas direktreduktion (DR).

Vätgas framställs genom elektrolys av vatten, en idag välbeprövad teknik. Förenklat så skickar man elektricitet genom vatten vilket separerar  $H_2O$ -molekylen så att syrgas ( $O_2$ ) och vätgas ( $H_2$ ) bildas. För att minimera koldioxidutsläppen så används fossilfri el.

Järnsvampen smälts sedan i en ljusbågsugn där den legeras (blandas med) och raffineras (renas från) olika ämnen för att

få önskade egenskaper hos det färdiga stålet. Elektriciteten som används här ska också komma från fossilfria energikällor.

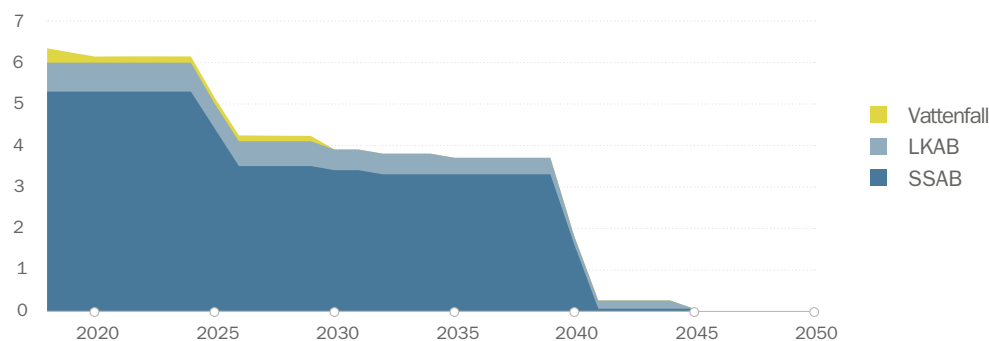
### Energiförbrukning och vätgaslagring

Att ersätta kol med vätgas i stålframställningen kan minska Sveriges koldioxidutsläpp med 10 procent. Det kommer att kräva stora mängder fossilfri el för att göra denna omställning, ungefär 15 TWh per år vilket motsvarar ungefär en tiondel av Sveriges årliga elproduktion (159 TWh 2017).

Att tillverka stål på det här nya sättet underlättar dessutom övergången till ett förnybart energisystem vilket kommer att vara beroende av energikällor som fluktuerar, som sol och vind (till exempel producerar vind bara el när det blåser). Därför behövs energiförbrukare som kan balansera elnätet, eftersom elsystemet är uppbyggt så att det hela tiden måste produceras lika mycket el som det konsumeras. Hybrids vätgaslager kan bli en sådan balanskraft till elsystemet och därmed underlätta övergången till förnybara energikällor. Tanken är att vätgasen ska lagras i ett underjordiskt trycksatt gaslager.

### Bidrag till regionalt koldioxidavtryck i Sverige

(Megaton/år)



## Tidplan

Initiativet startades 2016 och under 2018 påbörjades byggandet av en pilotanläggning i Luleå för att göra försök med direktreduktion av järnmalm med vätgas. Under 2020 till 2024 planeras försök i flera pilotanläggningar och mellan 2025 till 2035 ska initiativet skalas upp till en demonstrationsanläggning. Målsättningen är att ha en anläggning för industriell drift omkring 2035.

## Andra initiativ

Flera europeiska stålbolag har presenterat projekt och initiativ för miljövänlig ståltillverkning. Det finns flera olika koncept för att minska koldioxidutsläppen. Olika inriktningar beror delvis på vilka grundförutsättningar som finns i olika länder.

En inriktning kallas för CCU (Carbon Capture and Utilisation). Man fångar då en del av utsläppen för att sedan förädla dem till olika kemikalier som kan användas inom exempelvis industrin.

En annan inriktning är att helt eller delvis ersätta kolet och undvika koldioxidutsläpp. Det finns fler initiativ som likt Hybrit utforskar användning av vätgas i den framtida ståltill-

verkningen. I Tyskland finns till exempel projektet SALCOS och i Österrike projektet H2Steel som båda arbetar med vätgas på olika sätt för att sänka koldioxidutsläppen.

## Fördel Sverige

Få länder i Europa har samma förutsättningar som Sverige att leda utvecklingen mot fossilfri stålframställning då Sverige har Europas största järnmalmgruva, god tillgång till fossilfri el och en specialiserad stålindustri.

Sammantaget innebär det att Sverige har en unik möjlighet att ta ansvar för att minska processutsläppen i den malm-baserade värdekedjan, och på sikt uppnå en helt fossilfri produktion. För att lyckas med det krävs att Sverige fortsätter att möjliggöra god tillgång på fossilfri el, en välfungerande infrastruktur för elproduktion och distribution, satsning på forskning och utveckling och att vi fortsätter samarbetet mellan näringslivet, staten och forskningsinstituten.

En möjlighet i framtiden är att utvecklingsländer, vars behov av stål ofta växer väldigt snabbt, skulle kunna hoppa över stålframställning baserad på kol helt och hållet och direkt använda fossilfri energi och vätgas. Vätgas har även stor potential att användas i andra sektorer, som transportsektorn.

## REFERENSER

Energirådgivaren. (september 2011). energiradgivaren.se. Hämtat från Elförbrukning i en genomsnittlig villa respektive lägenhet: <http://www.energiradgivaren.se/2011/09/elforbrukning-i-en-genomsnittlig-villa-respektive-lagenhet/>

Holmström, C. (den 12 11 2018). ekonomifakta.se. Hämtat från Elproduktion: <https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elproduktion/>

Hybrit Development AB. (2017). Genomförbarhetsstudie. Hybrit. Hämtat från HYBRIT - towards fossil-free steel: [file:///C:/Users/AlbertRegnell/Downloads/Hybrit\\_brochure%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/AlbertRegnell/Downloads/Hybrit_brochure%20(3).pdf)

Intergovernmental Panel on Climate Change. (10 2018). ipcc.ch. Hämtat från Global Warming of 1.5 C: [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sr15/sr15\\_spm\\_final.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sr15/sr15_spm_final.pdf)

Jernkontoret. (den 12 05 2015). jernkontoret.se. Hämtat från Stålindustrins betydelse: <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/stalindustrins-betydelse/>

Naturvårdsverket. (2016). Naturvårdsverket.se. Hämtat från Utsläpp av växthusgaser från industrin: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/> 2018

United Nations. (den 22 10 2018). unfccc.int. Hämtat från The Paris Agreement: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>

# Organisk bioelektronik kopplar upp kroppen

*Ben Libberton, doktor i mikrobiologi och kommunikatör*

*En ögonblicksbild av en vårdavdelning på ett sjukhus idag jämfört med för 50 år sedan påvisar enorma skillnader. Det finns idag mer teknik på sjukhusen än någonsin tidigare. Fler skärmar, fler ledningar, fler apparater – och det är bara det som syns.*

Om man kunde lägga all sjukhusteknik under ett mikroskop skulle man se att den har utformats på molekylär nivå för att hjälpa patienterna på bättringsvägen. Ör proteser är framstegen inom medicinsk teknik uppenbara. Förre fick en person som förlorade ett ben ett stelt träben. Med tiden blev proteserna allt mer realistiska. Dagens proteser är så bra att vi nu diskuterar om de rent av innebär en fördel för vissa idrottstävlingar. Detsamma gäller handproteser. Krokar ersattes först av plasthänder och sedan av så kallade bioniska, det vill säga sådana som kan ta emot signaler från nervsystemet och röra sig med nästan samma precision som en mänsklig hand. Trenden är att modifieringarna sker på en allt finare nivå tills vi påverkar enskilda molekyler. Den dag då en enskild molekyl i människokroppen kan påverka en enskild molekyl eller elektron i en storskalig maskin har tekniken verkligen integrerats!

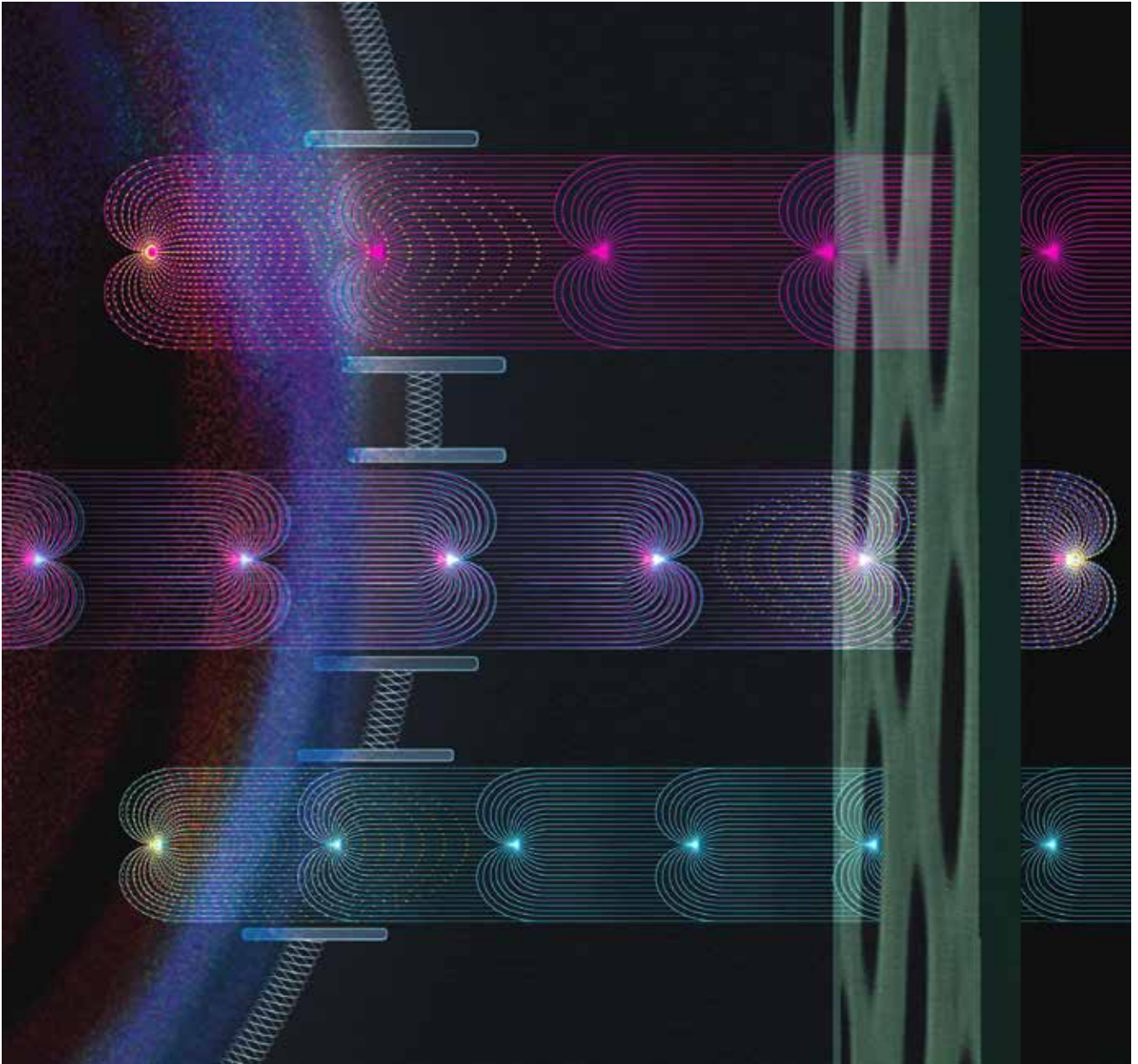
## **Mikrober ställer till det**

Enligt mikrobiologerna finns det dock ett problem. De har sedan länge känt till att när man sätter ett material på eller

i människokroppen så börjar mikroorganismer att försöka växa på det. När tekniken går framåt och fler material ansluts till kroppen ges mikroberna ökade möjligheter att växa och orsaka infektioner. Ur ett mikrobiologiskt perspektiv kommer den teknologiska revolutionen på sjukhusen att öka utvecklingen och spridningen av infektioner. Det, i kombination med den ökade resistensen mot antibiotika på sjukhusen, gör att framtiden ser mörk ut, trots tillgång till mer avancerad teknik.

För att sjukvårdens teknologiska revolution ska lyckas måste därför förmågan att förhindra infektioner utvecklas i samma takt som andra tekniker, om inte ännu snabbare. Vi behöver smarta och högteknologiska lösningar för att övervaka och eliminera potentiella infektioner på sjukhusen. För att lösningarna ska vara effektiva måste de integrera sömlöst biologiskt sett. Det är det som forskningscentret Swedish Medical Nanoscience Center, grundat av professor Agneta Richter-Dahlfors vid Karolinska Institutet, är inriktat på. Forskare i hennes grupp använder teknik för en holistisk syn på mikrobiologi och infektionsbiologi. Forskningen har lagt





På Richter-Dahlfors lab använder man elektriskt ledande och speciella polymerer som utsänder ljus, vilket är viktigt för medicinsk bildgivning och många diagnostiska prov.



grunden för vävnadsbaserad mikrobiologi (tissue microbiology) vilket innebär att mikrober studeras i de vävnader och organ där de orsakar infektion. Det kan tyckas uppenbart att man bör studera mikrober i de vävnader där infektionen uppstår om man vill ta reda på hur de uppför sig vid en infektion. Men så har det inte varit inom mikrobiologin. Mikrobiologer har istället förlitat sig på bakterieodlingar i labbmiljön. Detta eftersom det finns en rad tekniska hinder för studier av bakterier i vävnad. Men nu börjar det komma olika metoder för att lösa det här problemet.

### **Inte bara elektroner**

Organisk bioelektronik är ett av de första verktyg som används för infektionsstudier. Det är ett område som skapar ny elektronik som kopplas in i biologiska material, i allt från celler till vävnad och organ. Organiska bioelektronikkretsar kan tillverkas av en rad olika transparenta material, ofta gjorda i polymerer (se sid 13), som är böjliga, vilket gör att de lätt kan formas och integreras i vävnader av oregelbunden form. En annan fördel med organisk bioelektronik är att istället för att överföra endast elektroner kan de även överföra joner. Det är viktigt för biologisk integrering. Vi vet att vissa delar av nervsystemet överför information med hjälp av elektriska impulser, men för det mesta fungerar inte biologin på det viset. Flertalet biologiska system kommunicerar istället genom överföring av joner. De olika sätt som biologiska system utnyttjar för att kommunicera kan betraktas som språk. För att förstå denna kommunikation, eller för att påverka den, behöver den organiska bioelektroniken samverka med biologin på dess egna språk. Agneta Richter-Dahlfors grupp fokuserar på två olika modeller för att göra detta - bakterier och slemhinneceller.

### **Bakterier på gott och ont**

Att förstå hur bakterier fäster vid ytor är en av vår tids stora utmaningar. Samtidigt som vi vill förhindra sådan vidhäftning på sjukhus och i livsmedelsindustrins tillverkningslinjer, vill vi kunna främja vidhäftning och bakterietillväxt för exempelvis rening av avloppsvatten. Bakteriell vidhäftning har varit en långsiktig inriktning på Richter-Dahlfors labb. Arbetet inleddes med att studera hur bakterier orsakar infektioner i urinvägarna. När forskarna utvecklade tekniker för att studera infektionsprocessen i levande vävnad, utvecklade de samtidigt metoder som gör att man kan efterlikna levande vävnad, som exempelvis slemhinneytor, med hjälp av organisk bioelektronik. Forskarna lyckades få de organiska bioelektroniksystemen att specifikt kommunicera med slemhinneceller i urinvägarna och dirigera deras tillväxt. Hos många djur utnyttjas slemhinneceller för att samverka med omgivningen. Cellerna måste fungera som täta barriärer, men samtidigt tillåta viktiga molekylära signaler och näringsämnen att passera. För forskning inom allt från infektionsbiologi till cancer är det viktigt att kunna påverka cellagret i en slemhinna. Forskargruppen utnyttjar ledande polymer för att producera en elektriskt ledande "stege" som kan antingen stimulera eller förhindra tillväxten av mänskliga slemhinneceller. Att på det viset manipulera celler och inducera specifika tillväxtförhållanden kan hjälpa till att efterlikna den verkliga miljön inne i en människa eller ett djur, vilket också skulle kunna minska behovet av djurförsök.

Gruppen upptäckte snabbt att ytor av polymerer även kan användas för att påverka bakterier som orsakar infektion, vilket kan vara ett sätt att begränsa spridningen av bakterier på sjukhus baserat på deras förmåga att vidhäfta sjukhusutrustningen. En bra strategi är att utveckla smarta ytor som kan fås att främja eller motverka vidhäftningen med hjälp

av en förbestämd "startsignal". Forskargruppen använder en ledande plastpolymer som agerar "rygggrad" för nya sensorer som kan innehålla ett system av olika molekyler som påverkar polymerens elektriska egenskaper, liksom strukturen hos den yta som bakterierna ska samverka med. Bakterier som exempelvis salmonella visade sig fästa olika mycket till polymerytor som var elektriskt positivt eller negativt kopplade. Det blev som en enkel switch för kontroll av bakteriemängden på en yta.

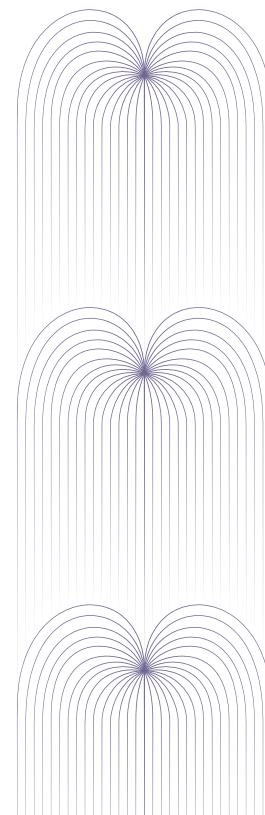
### Lysande bra

På Richter-Dahlfors labb har man anpassat sättet att använda elektriskt ledande polymerer genom att utnyttja speciella polymerer, så kallade oligomerer, av definierad längd som en testprob. De ledande egenskaperna hos dessa oligomerer gör att de utsänder ljus, vilket är väldigt viktigt för medicinsk bildgivning och många diagnostiska prov. Gruppen utnyttjade, i samarbete med Linköpings universitet, ett bibliotek av olika luminescenta prober för olika komponenter inom biologiska system. Ursprungligen började gruppen med bakterier och utvecklade metoder för detektering av mikrobiell cellulosa, som produceras när vissa arter av bakterier orsakar en infektion. Det är en viktig molekyl som människor inte producerar, vilket gör den lätt att upptäcka när något är på tok. Användningen av sådana prober för detektering av bakterier i labbet öppnar för möjligheten att använda dem i sjukhusmiljöer för diagnostik, till exempel för att snabbt diagnostisera urinvägsinfektion. Patienten kan direkt få reda på om det finns bakterier och man slipper odla. Det kan också ingå som en del i integrerade sensorer för övervakning av patienter i realtid.

Under arbetet med bakterier undersökte gruppen många olika kolhydrater, men framför allt cellulosa, som är en viktig

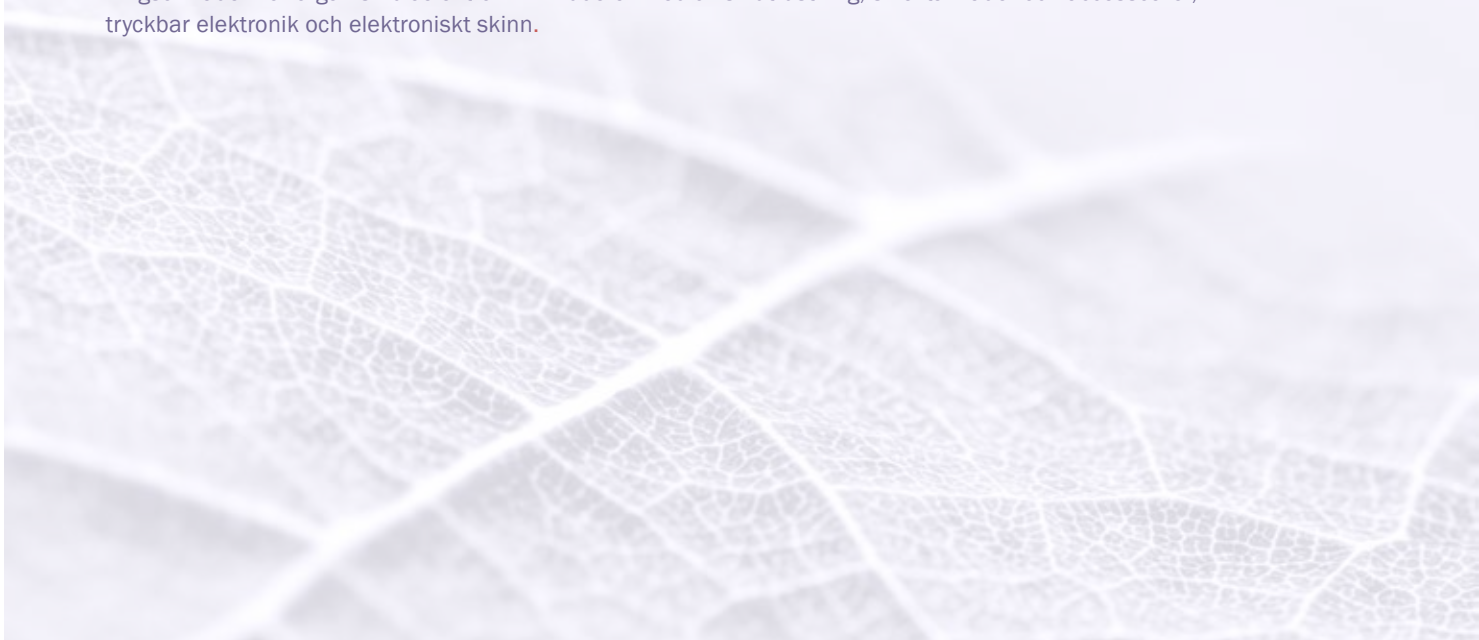
polymer i växternas cellväggar. Det har lett till den till synes oväntade men fullständigt naturliga kopplingen till växtforskning. Biblioteket av kemiska prober kan användas för att mäta ansamlingen av olika kolhydrater i växter. Detta är inte bara ett användbart forskningsverktyg utan kan även användas av exempelvis skogsindustrin för att förstå och förbättra processer.

- Ökad kunskap kring sambanden biologi-teknik kommer att ge sjukvården nya sätt att behandla och diagnosticera sjukdomar, säger Agneta Richter-Dahlfors som även tilldelats ett innovationspris från Stiftelsen för strategisk forskning. När skiljelinjen mellan elektronik och biologi suddas ut ger det upphov till nya spännande forskningsfält som kan förändra världen vi lever i.



### **Organisk bioelektronik från mobiler till celler**

Organisk bioelektronik är ett relativt nytt forskningsområde. Som namnet anger är det en kombination av organisk biologi och elektronik. Inom organisk bioelektronik används ofta en polymer liknande de som utgör beläggning på skärmar i mobiltelefoner och datorplattor. De egenskaper som gör dessa polymerer användbara för pekskärmar är desamma som gör dem användbara inom biologi. Deras användning representerar ett steg bort från traditionella elektronisksystem gjorda av oorganiska metaller och halvledare till organiska material som är bättre lämpade för integrering med biologiska system. Elektroder av metall är styva och stela, vilket ofta kan leda till vävnadsskador, framför allt på sikt. Organiska elektroder gjorda av polymerer kan böjas och lätt anta komplicerade former som perfekt passar ihop med organ och vävnader. Traditionella elektronisksystem överför bara elektroner som har begränsad användning för samverkan med organ och vävnad. Organiska bioelektronisksystem kan överföra elektroner liksom en rad olika joner som kan användas för att påverka organ och vävnad. Organiska bioelektronikmaterial är dessutom billiga att framställa och har låg elförbrukning, vilket innebär att de kan få en bredare användning än metaller, framför allt i de fall där kostnaden är viktig. Framtida användningsområden för organisk bioelektronik inkluderar medicinsk utrustning, smarta kläder och accessoarer, tryckbar elektronik och elektroniskt skinn.



# Framtiden ser ljus ut

*Ben Libberton, doktor i mikrobiologi och kommunikatör*

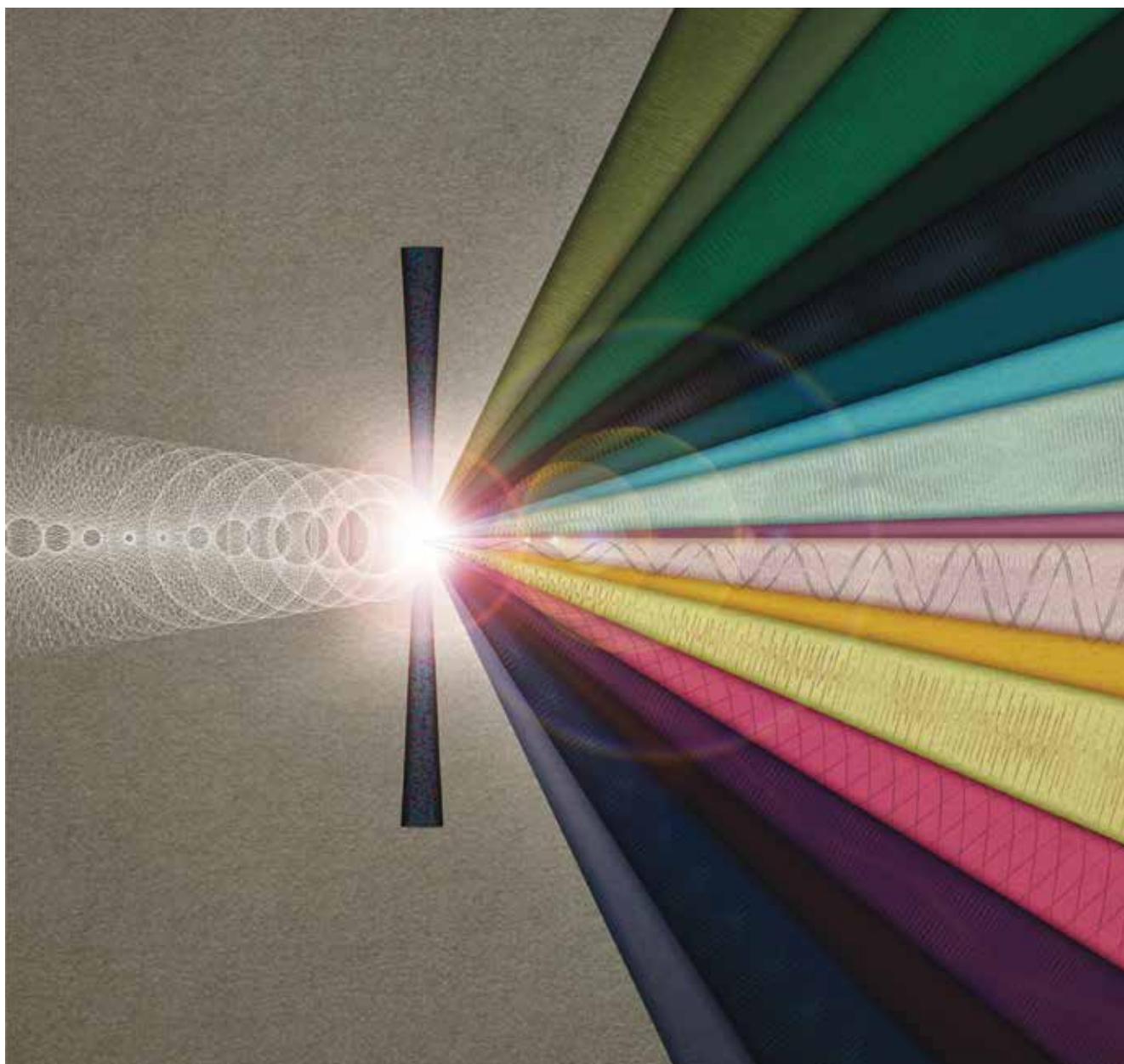
*Juni 2016 satte punkt för ett byggprojekt som lett till att Sverige nu har världens ljusstarkaste synkrotronljusanläggning. Sedan dess vallfärdar forskare till MAX IV utanför Lund för att använda ljuset till studier på atom- och molekylnivå i många olika material i allt från vindkraftverk till proteiner.*

Forskningen görs med hjälp av synkrotronstrålning som genereras på ett speciellt sätt genom att elektroner ges tillräckligt mycket energi för att nästan nå ljusets hastighet. Elektronerna förs sedan genom ett magnetfält, där de bromsas upp och då avger strålning i form av ljus. Det är det ljuset som forskarna utnyttjar i MAX IV. Det är inte synligt ljus som avges, åtminstone inte vanligtvis. Den vanligaste formen av synkrotronljus är röntgenstrålning, så en synkrotron är i princip en jättestor röntgenapparat. Men till skillnad från de apparater man har på sjukhus, har röntgenstrålningen i MAX IV ett mycket bredare energiområde. Dessutom kan forskarna välja vilken energinivå de vill använda. Det ger en rad fördelar och möjligheter till många intressanta experiment. Man kan till exempel bestämma vad ett prov består av genom att ändra energin hos den röntgenstrålning som belyser det. Det är som att få en färgbild av ett ben, där olika färger motsvarar olika vävnad och komponenter i benet, istället för den skuggbild man får vid en vanlig sjukhusröntgen.

Det är antalet fotoner som ger upphov till ljusstyrkan och MAX IV synkrotrona röntgenstrålning är betydligt ljusstarkare än vanlig röntgen, just nu ljusstarkast i världen. En ljuskälla som utsänder en foton per sekund är för svag för att

uppfattas av våra ögon. Ju fler fotoner som en ljuskälla utsänder under en viss tidsperiod, desto ljusstarkare blir den. Vissa forskargrupper är exempelvis intresserade av att ta reda på hur röntgenfotonerna samverkar med specifika elektroner i ett material. Om elektronerna är för få kommer det synkrona ljuset inte att träffa elektronerna i tillräcklig omfattning för att få bra mätresultat. Men med ett stort antal fotoner är det mycket mera troligt att elektroner träffas, vilket ger högupplösta bilder av olika material. Det i sin tur ökar kunskapen om hur kompositmaterial uppför sig, hur giftiga ämnen växer till på en planta, hur stål eller molekyler uppför sig under olika förhållanden.

Forskare från akademi och industri kommer till MAX IV för att ta fram nya material och för att förbättra existerande. Ett bra exempel är inom förnyelsebar energi. Forskarna försöker ta fram olika energimaterial som ger minsta möjliga miljöpåverkan. Vid två av MAX IV-labbets strålrör, NanoMAX och HIPPIE, studerar man allt från utveckling av nya batterier till framtagning av solceller och effektivare katalysatorer som minskar bilavgaserna. Forskarna gör det genom att dels analysera de kemiska reaktioner som sker i såväl solceller som batterier, och dels studera den kemiska sammansättningen





hos ingående material. Små orenheter i sammansättningen kan påverka på slutresultatets kvalitet, och bara med hjälp av en röntgenkälla som MAX IV kan man få den detaljerade information som behövs. Med MAX IV-labbets strålrör kan också forskarna studera processer som sker inne i materialet, men som vanligtvis händer för snabbt för att detekteras. Med hjälp av flera olika metoder försöker man också hitta nya sätt att producera bränsle från förnybara och mer hållbara källor, exempelvis från ligninet i träd, istället för olja och gas.

### **Bättre diagnos med högre upplösning**

Materialforskare på MAX IV har också tagit sig an medicinska problem. En forskargrupp från Estland, som hjälper till att färdigställa det finsk-estniska strålröret FinEstBeAMS, studerar hur man kan göra nya och bättre material för sjukvårdens magnetkameror (MRI-apparater). Dagens magnetkameror har en noggrannhet ned till ett par centimeter, vilket inte är tillräckligt för att läkare ska kunna se de många tusentals små blodkärl som finns i kroppen. Magnetkameror med högre upplösning skulle kunna ge väsentligt bättre diagnostik och i förlängning behandling, men dagens material klarar inte det. FinEstBeAMS-forskarna vill göra material som kan omvandla osynlig strålning till detekterbara signaler; sådana material kallas scintillatorer. Problemet med dagens moderna magnetkameror är att de är för långsamma, vilket begränsar utrustningens upplösning. Om ett snabbare scintillationsmaterial kan utvecklas skulle magnetkamerornas upplösning förbättras från några få centimeter till några få millimeter - en stor skillnad.

### **Inga förluster med grafen**

Forskarna utnyttjar också MAX IV för att ta fram nästa generations elektriska komponenter. Dagens elektronik består

Ett strålrör är den funktionella delen av synkrotronen. Ljuset som kommer från synkrotronen är formad och fokuserad, ungefär som i ett mikroskop. Hur ljuset behandlas beror på vilka experiment som forskarna vill göra. Så här används de olika strålrören som förekommer i texten.

NanoMAX är det längsta strålröret vid MAX IV och används för att bygga upp mikroskopiska bilder av prover som kan vara nanotrådar, frön, ingående metaller eller något annat.

HIPPIE står här för högt tryck. I vanliga fall utförs synkrotronexperiment i vakuum så att molekyler i atmosfären inte interagerar med fotoner. Med HIPPIE kan forskarna utföra experiment vid högre tryck när det är motiverat.

FinEstBeAMS är ett speciellt strålrör för samarbete mellan forskare i Finland och Estland. Det handlar om att konvertera osynlig strålning till synligt ljus, för vilket man använder scintillatorer.

MAXPEEM använder röntgenljus för att slå ut elektroner från materialets ytskikt. Elektronerna analyseras sedan för att lära sig mer om olika materials sammansättning och egenskaper.

DanMAX är ännu inte färdig, men byggs speciellt för dansk materialforskning, men kommer att vara tillgänglig för andra forskare.

ForMAX kommer snart att börja byggas och avsikten är att kombinera många olika tekniker för att undersöka och öka kunskapen på detaljnivå om produkter från trä- och pappersindustrin.



av miljontals transistorer, så kallade halvledare, som vanligtvis är gjorda av kisel. Kisels unika egenskaper gör att det kan användas för att skapa både vägar och hinder för elektroner i komplicerade kretsar. Men genom studier i MAX IV-labbets strålrör har forskarna funnit att kisels egenskaper inte är så unika som man tidigare trott och att det faktiskt finns många andra material som kan vara bra halvledare. Det innebär att kisel i framtiden skulle kunna ersättas av material som kan fylla samma funktion i ett mindre utrymme och/eller med mindre energi. Forskningen spänner över hela området från idén kring ett nytt material till testning av möjligheter för kommersialisering och storskalig tillverkning. Nyligen kunde ett forskarlag på strålröret MAXPEEM påvisa ett fenomen som kallas "ballistisk transport" av elektroner, vilket innebär att elektronerna rör sig fullständigt fritt i ett litet prov av grafen, alltså ett mycket tunt lager kolatomer. Dessutom visade de hur processen skulle kunna skalas upp och leda till tillverkning av elektronikkomponenter som nästan inte avger någon värme alls.

Slutligen använder forskarna MAX IV för att studera metaller som används inom industrin. Sådana studier har traditionellt utförts antingen vid låg upplösning eller vid hög upplösning - ingetdera förhållanden som liknar den realistiska miljön där materialet ska fungera. MAX IV-labbets experimentstationer är utformade att hantera många olika prover, så att materialforskarna kan testa verkliga prover under realistiska förhållanden. Ett bra exempel studier av oxideringen av stål- och aluminiumlegeringar som används inom svensk industri. Målsättningen är att förstå hur dessa material rostar sönder, korroderar, med sikte på att utveckla mer beständiga legeringar.

Framtiden ser ljus ut för MAX IV där nya strålrör bidrar till utvecklandet av nya tekniker. Strålröret DanMAX kommer exempelvis att användas för att titta på dynamiska processer i industrimaterial i allt från batterier till vindkraftverkens rotorblad. Ytterligare ett annat framtida strålrör, ForMAX, siktar till att hjälpa oss att omvandla avfall från skogsindustrin till användbara material och biobränsle.



### Ljuset i Lund

MAX IV-labbet utanför Lund är världens starkaste anläggning för synkrotront ljus. Den invigdes 2016 av Sveriges Kung Carl XVI Gustaf. Som namnet MAX IV antyder har dock synkrotronljuset funnits i Lund en längre tid - vad hände med MAX I, II och III?

Långt innan MAX fanns LUSY. 1962 började Lund University Sychrotron, eller LUSY, accelerera elektroner. Denna lilla synkrotron fungerade under nästan 10 år innan den lades ned på grund av bristande finansiering. Det lämnade ett hål inom den svenska fysikforskningen och forskarna tvingades fatta svåra beslut - antingen försöka fortsätta forska i landet eller flytta utomlands. De beslutade att försöka förbättra forskningen i landet, vilket ledde till MAX-projektet. Ett förslag lades fram som inkluderade en stor utbyggnad av LUSY, men finansieringen gick trögt. Forskarna gav dock inte upp så lätt, de plockade fram sin kreativitet och byggde en högeffektiv partikelaccelerator med en minimal budget. Resultatet var MAX I-ringen i laboratoriet på Lunds tekniska högskola, även kallad MAX-lab. MAX I invigdes den 30 januari 1987.

Mindre än tio år senare tillkom MAX II, som användes av många forskare från hela världen och lade grunden för MAX IV. Mellan MAX II och MAX IV fanns en mycket viktig, men kortlivad, prototyp kallad MAX III. Den synkrotronen kom att utgöra konceptet för ett nytt sätt att bygga accelerators, som producerar ljusstarkare ljus av högre kvalitet. Prototypen fungerade och gjorde att forskarna och finansierarna kände sig trygga med att starta konstruktionen av MAX IV. Eftersom denna var mycket större fick den inte plats i MAX-labbet utan fick placeras utanför Lunds universitetsområde. Idag inspireras synkrotronforskare från hela världen av MAX IV när man uppgraderar sina egna accelerators med hjälp av samma konstruktion som den i Lund.

# Material-projekt som SSF finansierar

SSF finansierar bland annat följande forskningsprojekt kring materialvetenskap med totalt 600 miljoner kronor:

**Design av 3D-skrivna och stickade nedbrytbara ställningar**

Anna Finne Wistrand, SSF Materialvetenskap, Kungliga Tekniska Högskolan

**Tidsupplöst lågtemperatur CVD för III-nitrid**

Henrik Pedersen, SSF Materialvetenskap, Linköpings Universitet

**Nya tvådimensionella system från tillväxt till tillämpningar**

Sergey Kubatkin, SSF Materialvetenskap, Chalmers Tekniska Högskolan

**Styrning av gradienter i tunnfilmsolceller**

Charlotte Platzer-Björkman, SSF Materialvetenskap, Uppsala Universitet

**CVD 2.0 - En ny generation av hårda beläggningar**

Mats Boman, SSF Materialvetenskap, Uppsala Universitet

**Plastic Plasmonics**

Christoph Langhammer, SSF Materialvetenskap, Chalmers Tekniska Högskolan

**Sintring av inhomogena strukturer för förbättra prestanda**

John Ågen, SSF Materialvetenskap, Kungliga Tekniska Högskolan

**Syntes och processning av aktiva kalciumfosfatcement**

Håkan Engqvist, SSF Materialvetenskap, Uppsala Universitet

**Tillverkningsmetoder för stabila perovskit solceller**

Gerrit Boschloo, SSF Materialvetenskap, Uppsala Universitet

**Laserbaserade 3D printning och processning**

Fredrik Laurell, SSF Materialvetenskap, Kungliga Tekniska Högskolan

**Energisparande elektrokromiska platta hybridmaterial**

Andreas Dahlin, SSF Material för energitillämpningar, Chalmers Tekniska Högskolan

**Nya tvådimensionella material för energilagring**

Johanna Rosen, SSF Material för energitillämpningar, Linköpings Universitet

**Elektrolys för vätgas som energibärare**

Ann Cornell, SSF Material för energitillämpningar, Kungliga Tekniska Högskolan

**Minskad friktion genom jonteknologi - REFIT**

Sergei Glavatskih, SSF Material för energitillämpningar, Kungliga Tekniska Högskolan

**III-nitrid med låg defekttätet för grön kraftelektronik**

Vanya Darakchieva, SSF Material för energitillämpningar, Linköpings Universitet

**Utveckling av olyckstolerant kärnbränsle**

Mattias Thuvander, SSF Material för energitillämpningar, Chalmers Tekniska Högskolan

**Magnetiska material för grön energiteknologi**

Olle Eriksson, SSF Material för energitillämpningar, Uppsala Universitet

**Material för effektiva och konkurrenskraftiga bränsleceller**

Carina Lagergren, SSF Material för energitillämpningar, Kungliga Tekniska Högskolan

**Järnbaserade material för solenergiomvandlingsprocesser**

Kenneth Wärnmark, SSF Material för energitillämpningar, Lunds Universitet

**Stiftelsen för strategisk forskning, SSF, är en oberoende forskningsfinansiär med uppdrag att finansiera högklassig forskning som stärker Sveriges konkurrenskraft. Våra huvudområden är teknik, medicin och naturvetenskap.**

## STIFTELSEN FÖR STRATEGISK FORSKNING

- Stöder forskning och forskarutbildning inom naturvetenskap, teknik och medicin i syfte att stärka Sveriges framtida konkurrenskraft.
- Finansierar ett stort antal forskningsprojekt vid universitet och högskolor – många av dem i samverkan med näringslivet.
- Delar ut bidrag till särskilt framstående forskare, med tonvikt på de yngre.
- Stöder viktiga områden som livsvetenskap, bioteknik, materialutveckling, informationsteknik och beräkningsvetenskap.
- Har en utbetalningsvolym på cirka 800 miljoner kronor per år.
- Har som bas för verksamheten ett kapital på knappt 11 miljarder kronor.



STIFTELSEN *för*  
STRATEGISK FORSKNING