



Norske markedsmuligheter i de globale, fornybare verdikjedene



Hovedforfatter



Martin Kirkengen
Avdelingsleder
Energisystemer
Fagansvarlig for Batterier
martin.kirkengen@ife.no
932 47 836

Bidragstere



Øystein Ulleberg
Senterleder FME MoZEES,
fagansvarlig for Hydrogen
oystein.ulleberg@ife.no
995 86 453



Erik Marstein
Senterleder FME Center
for Sustainable Solar
Energy Technology
erik.marstein@ife.no
901 17 762



Dag Mortensen
Avdelingsleder
materialprosessering
dag.Mortensen@ife.no
900 50 039



Kari Aamodt Espegren
Seniorforsker
fagansvarlig for
Energisystemanalyse
kari.aamodt.espegren@ife.no
997 43 379



Josefine Selj
fagansvarlig for
Forsker
PV-systemer
josefine.selj@ife.no
416 77 459



Trygve Mongstad
Forsker
fagansvarlig for
Silisiumproduksjon
trygve.mongstad@ife.no
992 28 200



Roy Stenbro
Seniorforsker
fagansvarlig for Vind
roy.stenbro@ife.no
920 30 992



Sean Erik Foss
Avdelingsleder Solenergi
sean.erik.foss@ife.no
975 87 842



Nils Morten Huseby
Administrerende direktør,
nils.huseby@ife.no
905 44 545

Forord

I oktober 2016 utgav regjeringens ekspertutvalg for 'Grønn konkurransekraft' sin beskrivelse av hvordan Norge kan bidra i et grønt skifte. Rapporten er basert på en grundig gjennomgang av Norges utslipp, og muligheten for å redusere disse, basert på konkrete anbefalinger i hver enkelt sektor.

Denne rapporten er et forsøk på å gjøre noe helt annet. Vi setter fokus på fire fornybare energiteknologier som akkurat nå er i ferd med å føre til fundamentale endringer i det globale energimarkedet. Ved hjelp av energiproduksjon fra solceller og vindturbiner, og energilagring i litium-ion-batterier og hydrogen, endres markedsdynamikken fra å være drevet av tilgang til begrensede fossile ressurser, til å høste av ubegrensede fornybare ressurser. Flere andre teknologier kan bidra i nisjer, men disse fire teknologiene har noen kjennetegn som gjør at de skiller seg ut; de er tilgjengelige over hele verden, de er allerede konkurransedyktige uten subsidier i utvalgte markeder, og de blir billigere jo mer vi bruker dem. Det nye energimarkedet vil ikke være basert på forvaltning av begrensede naturressurser, som vannkraft, jordbruksareal eller olje, men i stedet være preget av masseproduksjon av teknologikomponenter i et enormt globalt nettverk av spesialiserte industribedrifter.

Disse muliggjørende fornybare energiteknologiene vil gi arbeidsplasser til millioner av mennesker innen en rekke forskjellige områder som spenner fra mineralutvinning og foredling, via komponentproduksjon og systemintegrasjon, til avansert sluttbruk og tjenestelevering. Norge har en unik mulighet til både å drive frem, og å sikre seg markedsandeler i denne fremvoksende fornybarøkonomien. Vannkraft og bioenergi er teknologier som er mye omtalt andre steder, og står derfor ikke i fokus for denne rapporten. Selv om disse er viktige fornybare energiressurser for Norge, medfører ikke disse teknologiene den samme disruptive dynamikken, og har heller ikke det tilnærmet ubegrensede ressursgrunnlaget på verdensbasis som sol og vind representerer.

IFE ble i mai 2016 tildelt vertsrollen for to Forskningscentre for Miljøvennlig Energi (FME) fra Norges Forskningsråd. Både FME Research Center for Sustainable Solar Cell Technology og FME Mobility Zero Emission Energy Systems (MoZEEES) representerer 'forskningslandslag' som dekker hele verdikjeden innen solceller, batterier og hydrogen. IFE har også en omfattende forskning på offshore vind. Samtidig har IFE et nasjonalt ansvar for modellering av energisystemet som helhet, og bidrar til internasjonale grupper som IEA og IPCC.

I alle disse feltene arbeider IFE tett med norske industribedrifter som har tatt roller i de fremvoksende verdikjedene rundt de nye energiteknologiene. I denne rapporten vil vi synliggjøre en del av de sentrale aktørene som allerede nå har oppnådd betydelige internasjonale markedsandeler. Vi vil også synliggjøre nisjer der det er rom for nye initiativer basert på eksisterende norsk kompetanse. Gjennom hele rapporten vil vi vise hvordan samspillet mellom forskere, industri, myndigheter og forbrukere kan gi muligheten til å redusere klimautslipp langt utover Norges grenser, samtidig som vi skaffer nye ben å stå på for fremtidens industri. Vi håper at lesere av denne rapporten vil la seg inspirere til å finne ut hvordan de kan anvende sin egen kompetanse, kapital eller beslutningsmyndighet til å bidra i den 'Mission Innovation' som Parisavtalen legger opp til - vi hjelper dere gjerne!

Nils Morten Huseby

adm. dir., Institutt for energiteknikk



Vi setter fokus på fire teknologier som akkurat nå endrer det globale energimarkedet fullstending; energiproduksjon fra solceller og vindturbiner, og energilagring i litium-ion-batterier og hydrogen



Forskningsinstituttets rolle - Å utfordre samfunnsdebatten

Forskeren har friheten til å fremme objektive fakta uavhengig av lønnsomhet eller politisk korrekthet. Forskningen gir en frihet til å trekke i tvil vedtatte sannheter, og se om de overlever kritisk granskning. Vitenskapelig diskusjon er en forutsetning for utvikling av ny kunnskap, og har vært en av driverne bak vårt moderne samfunn.

Ved aktivt å bygge industri for å gjøre sol, vind, batterier og hydrogen billigere, vil Norge kunne utløse globale klimagassreduksjoner langt ut over vårt nasjonale kuttspotensiale. Om vi starter nå, kan vi fremdeles erobre 'pole position' i racet for å spille en nøkkelrolle i fremtidens energimarked.

Sammendrag

Energimarkedet i verden opplever en dramatisk endring. Innen kraftproduksjon utgjør fornybar nå et større marked enn fossile energikilder. Særlig vind og sol opplever sterk vekst, sol er nå billigste energialternativ i mange markeder, og prisen faller fremdeles. Samtidig er levetiden til litium-ion-batterier nå så god at lagring av elektrisk energi med batterier kan være forsvarlig i stadig flere segmenter. Tilbakebetalingstiden for batterihybridisering kan være på 2-5 år i ulike maritime applikasjoner¹. For lange lagringscykler, eller transport over lange avstander, er hydrogen i ferd med å bli et alternativ, og velges på rent kommersielt grunnlag i noen nisjer allerede, og hydrogenbilene kommer nå. De nye energiteknologiene skaper et helt nytt aktørbilde. Sol og vind er tilgjengelig for alle, konkurransen ligger i hvem som kan tilby de mest kostnadseffektive måtene å omdanne energien, ikke i hvem som har den største nasjonale ressursen. Vi ser i dag fremveksten av globale, komplekse verdikjeder med kompetansekrevede prosesser og komponenter. Selv om solcellefabrikker eller batterifabrikker opplever svært sterk konkurranse, er det fremdeles segmenter i verdikjeden der norsk spisskompetanse kan ta lukrative markedsposisjoner med gode marginer.

Sol, vind, batteri og hydrogen opplever alle vekst i form av S-kurver, og er stort sett tidlig i kurven. I enkelte markeder er S-kurven i ferd med å flate ut, men globalt er det fremdeles muligheter for dramatisk vekst. Veksten gir igjen prisfall, som utløser nye S-kurver. Hydrogen og offshore vind er helt i starten av sin kurve, batteri er kommet noe lenger, sol enda lengre igjen, mens on-shore vind er mest moden. Ved å ta markedsandeler tidlig, kan Norge følge markedsveksten. Verden bruker i dag nær 10%² av globalt BNP på energi – store deler av dette vil kunne bli innen fornybar i løpet av få tiår.

Innen solceller, har norske selskaper tatt ledende posisjoner innen silisiumforedling, og i installasjon av store solparker i andre land. Det er fremdeles mulig å ta posisjoner inn mot cellefabrikasjon, om man har en tilstrekkelig god teknologi med høy robotisering, eller som underleverandør av spesialiserte komponenter. Salg av patentbeskyttet produksjonsutstyr kan være et alternativ til å drifte konkurransedyktige fabrikker. I bedriftsmarkedet er solceller i ferd med å bli konkurransedyktig også i Norge. Innen offshore vind, har Norge en teknologisk lederrolle på flytende vindparker. Det er imidlertid en utfordring å utnytte denne lederrollen til også å bli ledende som komponentleverandør. For batterier er Norge ledende innen maritime anvendelser, og har muligheten til å levere avanserte råvarer med lavt CO₂-avtrykk. Innen hydrogen er markedet fremdeles umodent, men flere norske aktører har verdensledende kompetanse i sine nisjer, inkludert elektrolyser og hydrogentanker. Igjen representerer maritim sektor et åpent marked, der særlig kompetanse fra LNG kan ha stor overføringsverdi. Selv om Norge fremdeles vil kunne leve godt av å eksportere olje i mange år fremover, bør vi allerede nå se etter muligheter for å ta posisjoner i de fremvoksende verdikjedene for masseproduksjon av energiteknologi. Norges kapitalreserver gir også muligheten til å strategisk kjøpe seg opp i grunnleggende teknologispør. Men vinduet lukker seg, det vil bli stadig dyrere å gå inn ettersom markedene vokser. Ved aktivt å bygge industri for å gjøre sol, vind, batterier og hydrogen billigere, vil Norge kunne utløse globale klimagassreduksjoner langt ut over vårt nasjonale kuttspotensiale. Om vi starter nå, kan vi fremdeles erobre 'pole position' i racet for å spille en nøkkelrolle i fremtidens energimarkeder. Dette vil kreve aktiv deltakelse og samspill mellom industrilokomotiver, gründere, politikere, kapitalforvaltere, media og samfunnsborgere. I alle faser vil forskningsinstitutter som IFE kunne bidra med kompetanse, laboratorier, analyseverktøy, nettverk og alternative perspektiver.

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
Del I Energirevolusjonen.....	6
Energirevolusjonen.....	7
S-kurver og læringskurver i globale verdikjeder.....	12
Markedets rolle.....	13
Politikkens rolle.....	17
Motkreftene.....	20
Forskningens rolle.....	21
Del II Dypdykk i verdikjedene.....	26
Sol.....	27
Vind.....	33
Batterier.....	41
Hydrogen.....	52
Etterord.....	61

Rapporten er delt i to hoveddeler.

I **del 1** av rapporten, beskrives den fornybare energirevolusjonen. Vi starter med en beskrivelse av markedsutviklingen, prøver å avlive noen myter, og beskriver hvilke muligheter markedsaktører, politikere og forskere har til å fremskynde utviklingen.

I **del 2** av rapporten, tar vi et dypdykk i verdikjedene for sol, vind, batterier og hydrogen. Vi beskriver eksisterende norske aktører og deres rolle i verdiskapningen, med eksempler på leverandører av råvarer, foredlede råvarer, komponenter, systemer og tjenester.



Forskningsinstituttets rolle - Å tilgjengeliggjøre en kompleks virkelighet

Samspillet mellom hva som er fysisk mulig, hva vi har teknologi til, hva som er økonomisk forsvarlig, hva som er sosialt akseptabelt og hva som faktisk skjer, er umulig å beskrive innen bare ett fagfelt. De færreste har tilgang til oppdatert informasjon til å beskrive hele bildet, eller mulighet til å fordøye kompleksiteten og komme til konklusjoner som vil tåle å måles mot fremtidige hendelser. I en situasjon hvor verdens energiproduksjon gjennomgår en transformasjon fra en fossilt til et fornybart paradigme, er vi avhengige av at veivalgene våre tar med seg mest mulig kunnskap om alle disse perspektivene. Forskernes rolle er å systematisere kunnskap fra sitt fagfelt slik at den kan settes i sammenheng med, og nyttiggjøres av, andre fagfelt.

Del I

Energirevolusjonen

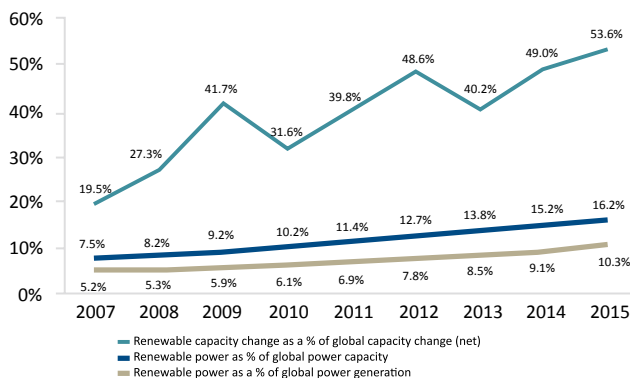
I den første delen av rapporten gjør vi rede for; de enorme endringene som preger energimarkedet. Innovasjonstempoet har mange fellestrekk med utviklingen av mobiltelefoner og datamaskiner, men fordi produktene som leveres, energi til elektrisitet og mobilitet, allerede finnes i markedet, blir markedsdynamikken likevel svært annerledes. Vi gjør rede for hvordan svært ulike aktører – industri, politikere og forskere - alle har sine spesifikke roller og handlingsrom i prosessen med å forme et nullutslipps energisystem.



Energirevolusjonen

Gjennom mange årtier har omfattende forskning gitt en bredt forankret konsensus om at menneskeskapte klimaendringer er en realitet. En global befolknings- og velstandsvekst belaster økosystemer, og gjør oss slik mer sårbare, samtidig som enda en milliard mennesker skal løftes ut av fattigdom.

Renewable power generation and capacity as a share of global power, 2007-2015



Utfordringen med å basere velstandsutviklingen på et fossil-basert energisystem, der vi forbruker på bekostning av fremtidige generasjoner eller svakerestilte samfunn i vår egen samtid blir stadig større. Samtidig har utvikling av ny teknologi gitt et håp om at det er mulig å tilby nok energi til hele verdens befolkning basert på fornybare ressurser. I samspill med energieffektivisering og gjenvinning av materialer i en sirkulær økonomi, vil dette muliggjøre et bærekraftig samfunn.

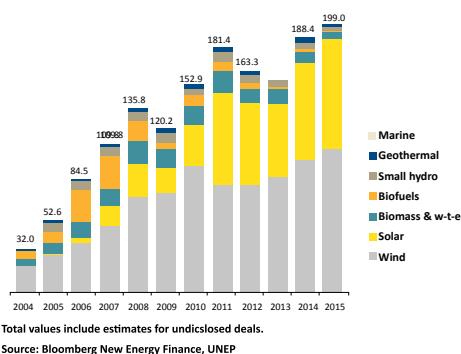
Det var denne fornybarerevolusjonen som gjorde Parisavtalen mulig – ikke omvendt. Vi trenger ikke vente på enighet. Lønnsomhet er tilstrekkelig.

Mens solceller og vindturbiner i lang tid ble betraktet som en kuriositet i energimarkedene³, er det nå ikke lenger noen tvil om at dette er fullverdige teknologier med enormt markedspotensial. Investeringene i energiproduksjon fra sol og vind har økt kraftig de siste årene og er nå langt høyere enn innen fossilbasert strømproduksjon. Som resultat har strømprisene falt til rekordlave priser. Tyskland har opplevd timer der mer enn halve landets elektrisitetsproduksjon har vært drevet kun av sol. Danmark eksporterer komponenter til vindenergi for 50 mrd DKK i året. Det globale markedet for solcellepaneler⁴ var >1000 mrd NOK i 2015. Tesla og Panasonic konkurrerer mot LG om å lage den første batterifabrikken med produksjonskapasitet på over 1GWh i året. I mange markeder har solenergi nå blitt billigste energiform på dagtid, og flere steder er til og med solenergi i kombinasjon med batteri å anse som konkurransedyktig selv nattetid. Coca Cola og Walmart bruker hydrogengaffeltrucker i sine lagerhaller. Hyundai, Toyota og Honda har alle fullverdige hydrogenbiler for salg, Daimler og Audi følger like etter.

Selv uten en global CO₂-pris, er det nå så god lønnsomhet i fornybar energi, at politikere og næringsliv verden over har begynt å agere. Det er blitt både politisk krevende og økonomisk risikabelt å henge etter i en utvikling som vil endre hele vårt energisystem. I andre land representerer denne utviklingen en mulighet for tilgang på energi som man aldri tidligere har hatt. Etter en langsom og gradvis vekst gjennom mange tiår, er gjennombruddet nå i ferd med å skje, teknologiutviklingen er blitt en markedsrevolusjon.

Det var denne fornybarerevolusjonen som gjorde Parisavtalen mulig – ikke omvendt. Vi trenger ikke vente på enighet. Det er tilstrekkelig med lønnsomhet.

Assets finance investment in renewable energy by sector, 2004-2015 \$BN



Figurene er hentet fra en statusrapport fra UN Environment Programme i samarbeid med Bloomberg New Energy Finance

Forskningsinstituttets rolle

- Å følge med på globale trender som endrer verden

I tillegg til å lese internasjonal faglitteratur og delta på konferanser, deltar forskere i dedikerte arbeidsgrupper for å koordinere forskningsinnsats i samspill med industri og med hverandre.

Dermed blir de tidlig gjort oppmerksom på nye muligheter, og har ofte tilgang til historiene bak overskriftene⁷. Dermed blir det mulig å skille trend fra hype, nåtilstand fra fremtidsbilde, pris fra verdi.



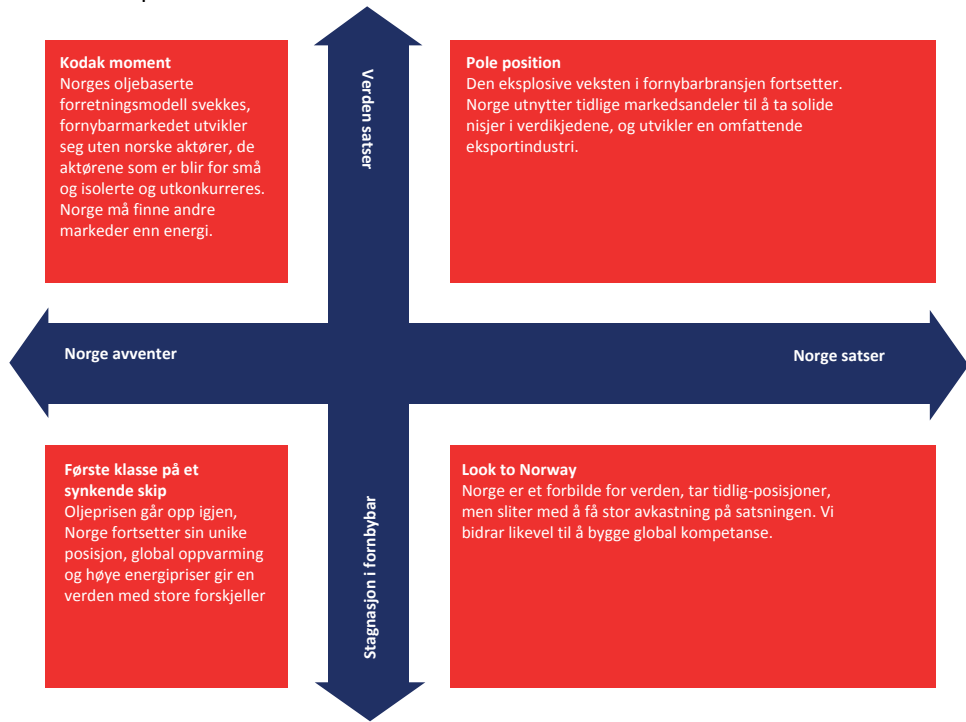
Norges veivalg

Vi vet ikke med sikkerhet hvor raskt utviklingen i fornybar energi vil gå, om det blir stagnasjon eller fortsatt vekst. Men vi kan se for oss noen scenarier, basert på hva Norge gjør, og hva verden gjør. Med Norge mener vi her alle beslutningstakere i Norge som forvalter kapital, kunnskap eller arbeidsplasser som kan påvirke vår felles vei videre.

Norge kan gjøre løsningene billigere og mer tilgjengelige i hele verden, og tjene penger på det.



- Olje- og gassutvinning
- Industri og bergverk
- Energiforsyning
- Oppvarming i andre næringer og husholdninger
- Veitrafikk
- Luftfart, sjøfart, fiske, motorredskaper m.m.
- Jordbruk
- Andre kilder



I et slikt perspektiv er det tydelig at det er lite å tape på en helhjertet teknologisatsning, der vi ikke begrenser oss til å redusere nasjonale utslipp, men der vi fokuserer knallhardt på å ta markedsandeler ved å forbedre utvalgte nisjer i de globale verdikjedene. Norge kan gjøre løsningene billigere og mer tilgjengelige i hele verden, og tjene penger på det.

De største nasjonale utslippsreduksjonene vil måtte tas i transportsektoren⁸. Hvis vi velger løsninger på de norske problemene som lett kan overføres til andre land, vil Norge som tidligmarked både kunne bidra til global risikoreduksjon og markedsbygging, og dermed akselerere den globale utviklingen av ny teknologi. I tillegg vil vi bli tidlig eksponert for utfordringene i teknologien, med muligheter for utvikling og eksport av nye produkter og tjenester. Norge kan velge å fokusere på utslipp i maritim sektor, på anleggsplasser, i jordbruk eller i luftfart. Ved å være tidlig ute i disse markedene, kan vi starte en utvikling som kan inspirere til å muliggjøre kutt i hele verden.

Ved å introdusere industriprosesser med lavt CO₂-avtrykk, og anvende dem i produksjon av solceller, batterier, hydrogensystemer eller vindturbiner, kan vi utnytte kvotemarkedets muligheter til å redusere utslipp globalt selv med øket industriaktivitet i Norge.

Forskningsinstituttets rolle

- Å synliggjøre potensialet for utslippsreduksjoner

IFE jobber tett sammen med NVE for å vurdere fremtidig energibehov i Norge, og inkluderer utslipp i sine analyser. IFE bidro for eksempel med å beregne effekten av ulike utslippsreducerende tiltak da Oslo Kommune utformet sin energistrategi⁹.



Utdaterte sannheter som holder oss igjen

Det finnes en rekke myter og kunstige konflikter knyttet til fornybar energi. Vi vil her forsøke å avlive noen av de seigeste.

Er det plass til alle solcellepanelene?

Hvis vi antar at verdens vil trenge ca 100.000.000.000.000 kWh pr år, vil dette kreve 250.000 km² areal. Til sammenlikning dekker Sahara ca 9.000.000 km². Når solceller plasseres på uttørket land med mye sol, vil ofte vekstvilkårene bli bedre – skyggen bevarer vannet og gir grunnlag for liv¹⁰.

Er solenergi dyrt?

Solcellestrøm i Chile eller Dubai selges i dag på langsiktige kontrakter til ca 26 øre/kWh¹¹, uten subsidier. Det er ingen grunn til at vi ikke vil få se ytterligere 50% prisreduksjon. Otovo tilbyr allerede i dag solstrømpriser ned mot 60 øre/kWh i Norge, inkludert Enova-støtte. Det tilsier en utbyggingskostnad under 80 øre/kWh uten støtte. De ser for seg 40 øre/kWh innen 5 år i Norge¹².

Brukes det mye energi på å lage panelene?

Allerede i 2011 annonserte REC Solar at produksjonsprosessen for solcellepaneler krevde mindre energi enn panelene kunne produsere i løpet av sitt første år i drift¹³.

Er vindenergi dyrt?

U.S. Energy Information Administration anslår at for ny kapasitet, er vind konkurransedyktig med gasskraft uten subsidier, i et marked med overskudd av gass fra ukonvensjonelle kilder. De beste lokasjonene kan gi under 43 USD/MWh (34 øre/kWh) for vind, mot 51 USD/MWh for gass¹⁴.

Hva med natten?

Solenergi kan lagres i et batteri. Med dagens batteripriser er det allerede billigere enn dieselaggregat for bønder i Afrika, og billigere enn nettleie og elavgift for tyske privatforbrukere. Om batterier med 10 års levetid til 100\$/kWh (GM roadmap¹⁵) blir tilgjengelige, kan lagringskostnaden bli under 30 øre/kWh for løsninger som brukes hver dag.

Hva med vinteren?

Sol og vind følger omvendt syklus. Det er mest sol om sommeren, mest vind om vinteren. Ved riktig blanding av de to, og med gode strømnnett, blir sesongproblemet mindre. For løsninger som brukes i mange timer av gangen, men sjeldnere enn daglig, kan hydrogen være et godt alternativ. Løsninger som produserer både strøm og varme fra en brenselcelle kan gi energieffektiv kraftforsyning og oppvarming, og med solstrøm til ned mot 20 øre/kWh er ikke energieffektivitet et stort problem. Flytende hydrogen kan transporteres i skip, akkurat som LNG fraktes i dag. Hydrogenlager er langt billigere enn batterier for langvarig lagring¹⁶. I verste fall kan en reservekapasitet basert på biogass eller biobrensel gi et fossilfritt alternativ. De fleste menneskene i verden lever i solfylte strøk, mens mindre solrike områder, som Canada, Sibir og Norge, har mye biomasse og vannkraft.

Solcellestrøm i Chile eller Dubai selges i dag på langsiktige kontrakter til ca 26 øre/kWh, uten subsidier. Den er ingen grunn til at vi ikke vil få se ytterligere 50% prisreduksjon.



Forskningsinstituttets rolle - Å oppdatere 'sannheter' og avlive myter

I en verden i rask endring, kan det være lett å bomme, dersom man tror at det som var sant i fjor, fremdeles gjelder. Mennesker avfeier lett informasjon som ikke stemmer med det vi vet fra før, både nettdebatter og politiske vedtak preges ofte av at informasjon er utdatert eller unyansert. Forskerne kan bidra med oppdaterte, kvalitetssikrede tall, og varsle når 'sannheten' ikke lenger gjelder.

Blir det nok litium/kobolt/nikkel til batteriene?

US Geological Survey 2016 angir at verden har utvinnbare litiumreserver på ca 14.000.000 tonn¹⁷, og kartlagte ressurser på 34.000.000 tonn. Dette kan tillate flere milliarder el-biler. Litium utgjør om lag 2% av batterivekten, og ca like mye av prisen av et batteri¹⁸, så en mangedobling av litiumprisen representerer heller ikke et stort problem. Muligheten for å utvinne litium fra havvann eller fra resirkulering av batterier eksisterer også, og kan bli lønnsomt i fremtiden. Kobolt og nikkel er en større utfordring, men i mange applikasjoner er LiFePO, som hverken krever nikkel eller kobolt, et alternativ.

Hvor gode kan batteriene bli?

Gode kan bety lette, holdbare, eller billige. Prisen av batteriene synker på grunn av masseproduksjon, og dette er hovedgrunnen til at bilrekkevidden øker - bilprodusenten tar seg råd til større batteri. Mobiltelefonbatterier skal vare i to år, bilbatterier i 10 år, nettbatterier i 30 år. Den største teknologiutviklingen de siste årene har vært i levetid, og har tillatt at mobiltelefonteknologien har funnet veien inn i bilmarkedet. Det finnes noen muligheter for å gjøre Li-ion-batterier inntil en faktor 4 lettere enn de er i dag. Da vil de fremdeles veie minst tre ganger så mye som 700 bar hydrogentanker. Om en slik løsning overhodet kommer, vil den være langt frem i tid. Litt lettere batterier kommer, mye lettere er ikke sannsynlig¹⁹.

Hvor ineffektivt er hydrogen?

Ved å omdanne energi fra elektrisitet til hydrogen og tilbake til elektrisk energi, beholder man 30-35% av energien. Om man går via flytende hydrogen, er man nede i 25%²⁰. Dersom restvarmen utnyttes, som i biler i kø om vinteren, kan effektiviteten komme opp i over 50%. Med strømpriser under 20 øre/kWh vil ineffektiviteten utgjøre et tap på 20-60 øre per kWh strøm i bilen eller skipet. Til gjengjeld kan hydrogenet lages når som helst, og trenger derfor ikke belaste nettet - elektrolyseren kan slås av ved behov. Hurtiglading av batterier kan gi ekstra belastning på nettet, og om hurtigladeren brukes sjelden eller krever mye nettförsterkning, kan det også gi en høy kostnad per kWh levert.

Er brenselceller dyre?

Foreløpig er svaret ja. Brenselcellene er helt i starten av S-kurven, og lages fremdeles for hånd. Men med masseproduksjon basert på dagens teknologi er det allerede mulig å lage brenselceller for under 60USD/kW, om man bare lager ca 100.000 biler i året²¹. Dette er den komponenten hvor vi kan forvente det sterkeste prisfallet de neste årene.

Kan vi ikke bare bruke biodrivstoff?

Det er anslått at Norge kan produsere 1TWh biogass i året²². Transportsektoren i Norge bruker i dag ca 70TWh i året²³. Vi trenger dessuten bioressursen som karbonkilde også, karbonet har større verdi som råstoff enn som drivstoff. Det tilgjengelige biodrivstoffet bør primært brukes der det ikke finnes alternativer, i fly eller langdistanseskip.

Vi trenger dessuten bioressursen som karbonkilde også, karbonet har større verdi som råstoff enn som drivstoff. Det tilgjengelige biodrivstoffet bør primært brukes der det ikke finnes alternativer, i fly eller langdistanseskip.



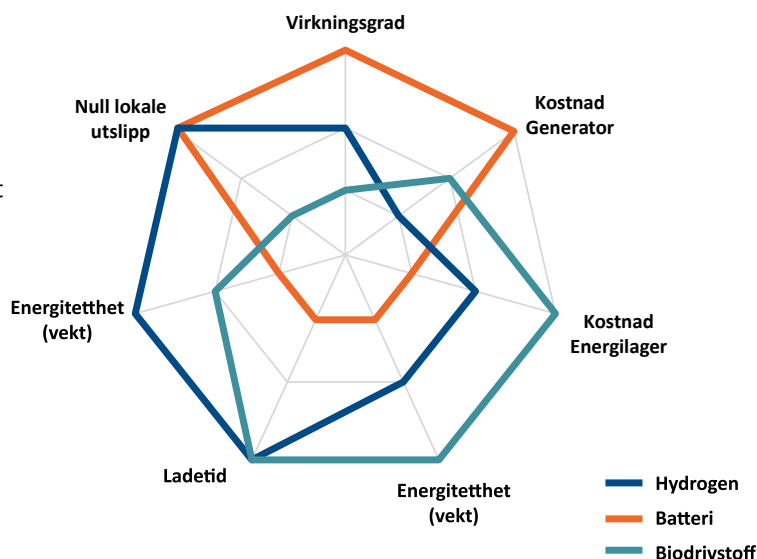
Forskningsinstituttets rolle - Å kvalitetssikre at drømmen er realistisk
Mange ideer har vært lansert for å bidra til å redde verden. Noen av disse ideene er bærekraftige, andre har begrensninger som skyldes at forslaget ikke er regnet helt hjem. Forskingen har som oppgave å avdekke mulige løsninger, og svakhetene ved løsningen.

Batterier, hydrogen, bio – komplementære teknologier

Transportsektoren er en av de største kildene til utslipp av klimagasser, både i Norge og internasjonalt. Det er derfor viktig å utvikle løsninger for nullutslipp også i transport. Grovt sett kan vi dele løsningene i tre – batterier, hydrogen i brenselceller, og biodrivstoff i tradisjonell forbrenningsmotor. Figuren viser ulike styrker og svakheter ved de tre løsningene.

Biodrivstoff er kompatibel med eksisterende bilpark og fyllinfrastruktur, og er svært kompakt å lagre. Det er derfor lett å ta i bruk raskt. Ulempene ved biodrivstoff er lokale utslipp (særlig NOx) og manglende bioressurs til tilstrekkelig lav kostnad. Vi risikerer å ikke ha tilstrekkelig med billig og bærekraftig biodrivstoff til alle som trenger det. Selv i en langsiktig løsning bør vi likevel planlegge med en viss andel biodrivstoff. For fly og interkontinental skipstrafikk kan plassargumentet vise seg å være avgjørende, at batterier og hydrogen ikke kan tilby en konkurransedyktig løsning. Da må disse sektorene ha førsterett til bioressursen, mens personbiler, busser, lastebiler og kysttrafikk bør velge andre alternativer.

Batterier er uovertrufne på effektivitet. De er eneste løsning for å lagre bremseenergi ved nedoverkjøring for gjenbruk i neste oppoverbakke. Men det koster mye energi å lage batterier, så for at de skal være miljøvennlige må hele batterikapasiteten utnyttes oftest mulig, 1000 ganger kan være et nyttig tall å bruke som tommelfingerregel for å tenke både miljø og økonomi. Distansen man kjører daglig bør derfor tas med batteri, mens hyttekjøring er mer lønnsomt å ta med hybridisering. Pløying om våren vil aldri bli en batteriapplikasjon. I følge Siemens vil fergeoverfarer under 30 min være godt egnet for batteri – lengre strekk blir verre²⁴. Ladeinfrastruktur i veien kan øke antall ladinger, men må også brukes svært ofte for å bli lønnsomt. Dette kan fungere på ringveien i Oslo, men ikke i Finnmark. Hydrogentanker er langt lettere enn batterier. Brenselceller koster fortsatt mer enn batterier per kW effekt, men hydrogentanker er billigere enn batterier per kWh energi. Hydrogen blir derfor den beste nullutslippsløsningen for systemer som enten ikke brukes så ofte, eller som brukes mange timer av gangen. Etter hvert som brenselcellene blir billigere, vil antall timer som kreves før hydrogen er konkurransedyktig bli mindre, og antall ladesykler i løpet av batteriets nedbetalingstid blir det avgjørende. Hva som lønner seg kommer dermed an på bruksmønsteret. En plug-in-hybrid der man bruker batteri til det man kan lade hjemme hver dag og hydrogen til ekstra rekkevidde for hyttekjøring, vil ofte bli optimalt.



Batterier og hydrogen fremstilles ofte som konkurrerende løsninger. Ved å utnytte begge styrker i hybride løsninger kan man få et bedre resultat enn de tillater enkeltvis.

Forskningsinstituttets rolle - Å tenke på tvers av siloene

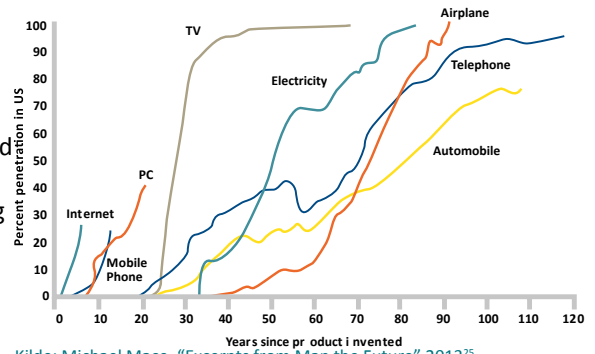
Det er krevende å holde seg oppdatert på rask utvikling innen kompliserte teknologier, og mange aktører kjenner derfor kun sin egen favorittløsning – bio, batteri eller hydrogen. Men fordi ulike nisjer har ulike behov, er svaret ofte at en kombinasjon er det beste. Batterier og hydrogen fremstilles ofte som konkurrerende løsninger. Ved å utnytte begge styrker i hybride løsninger kan man få et bedre resultat enn de tillater enkeltvis.



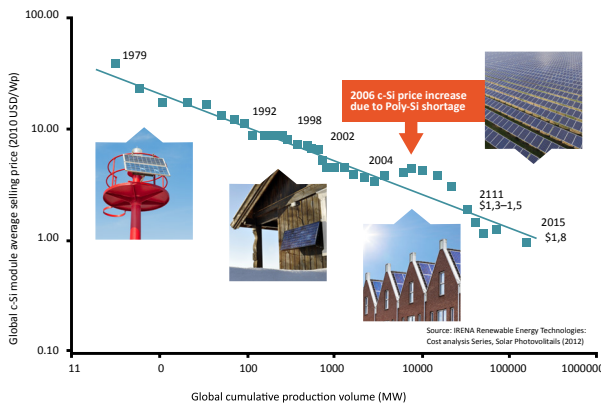
Forståelsen av hvilke markedsnisjer som danner en naturlig stige mot større markeder, blir dermed essensiell for å tilpasse virkemidler og vekststrategier.

S-kurver og læringskurver i globale verdikjeder

Introduksjonen av et nytt produkt i et marked følger ofte en S-kurve. Først kommer en fase med eksponentiell vekst, men ut fra et veldig lavt utgangspunkt. Hvis man for eksempel starter med produksjon av 3MW solceller i 1979, og opprettholder en markedsvekst på 36% i året i 40 år, er man fremdeles bare på 200 GW i 2015. Det er i snitt hva som faktisk har skjedd, og det er så vidt det synes mot et globalt effektbehov på over 10TW. Men om den samme vekstraten fortsetter i bare 12 år til, er man allerede på 10TW, og har tatt hele verdensmarkedet. Dette vil selvsagt ikke skje. Veksten avtar, og går over i en lineær fase, før markedet mettes og veksten stopper – S-kurven er fullført.

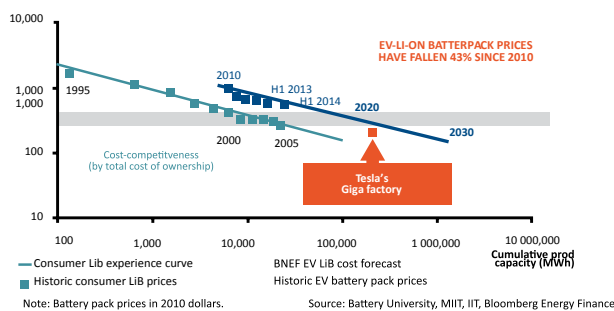


Kilde: Michael Mace, "Excerpts from Map the Future" 2013²⁵



IRENA: RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES²⁶

LITHIUM-ION BATTERY EXPERIENCE CURVE (\$/KWH)



Nykvist et al viser hvordan læringskurven blir ulik om man tar for seg markedslederne eller alle aktørene.²⁷

Med markedsveksten følger et prisfall. Forbedringer i produktkvalitet og produksjonsmetoder, økende konkurranse, standardisering, mer spesialisering i verdikjedene, lavere risiko og billigere kapital – alt bidrar til å redusere kostnader. For sol har vi sett 5 prishalveringer siden 1979 – forbedringen av solcellen gjennom forskning utgjør bare én av disse halveringene. Resten er markedsdrevet.

Sammenhengen mellom markedsvekst og pris kalles læringskurven. Om vi antar at solcellemarkedet kan tidobles en gang til, kan vi regne med at kostnadene igjen vil falle med omtrent 50% fra dagens prisenivå. Den samme utviklingen ser vi for batterier, men der må vi skille mellom batterier for mobiltelefoner, og batterier for biler – som har helt andre levetids- og sikkerhetskrav. Markedet for sol, batterier, vind og hydrogen følger ikke bare en enkelt S-kurve. Det er en rekke nisjemarkeder, som starter og fylles ett etter ett. For solceller kom først fyrtårn, så hytter, så tyske, subsidierte hustak, så solcelleparker uten subsidier i Chile. Først kom mobiltelefoner og laptop, så elbiler, så skip, og så batterier i nettet. Forståelsen av hvilke markedsnisjer som danner en naturlig stige mot større markeder, blir dermed essensiell for å tilpasse virkemidler og vekststrategier.

Hvorfor tror vi mer på at denne utviklingen vil fortsette, enn på at det kommer en ny, stor gjennombruddsteknologi? Innen verdikjedene finnes det hundrevis av forbedringsmuligheter, og alle vil alene gi et forbedret produkt. For nye verdikjeder, må vi få på plass hundrevis av detaljer til å lykkes – om en kritisk faktor feiler, er produktet dødt.



Forskningsinstituttets rolle - Å indentifisere flaskehalsene i markedet
Rundt 2010 flatet solcelleprisene ut på grunn av høye silisiumpriser – det tar flere år å bygge nye silisiumfabrikker. Først da ny kapasitet for dedikert solcellesilisium kom i gang, kunne prisfallet fortsette. I dag kan det samme komme til å skje med karbonfiber for hydrogentanker. Det forutsettes ofte at hydrogentankprisen vil bli bestemt av prisen på karbonfiber. Samtidig hevdes det at det ikke vil være nok karbonfiber om prognosene for hydrogenutrudding holder. Da vil vi igjen se at karbonfibermarkedet øker, at karbonfiberprisen faller, og vi kan få nye prisfall for hydrogentanker.

Markedets rolle

Markedets som evolusjonsarena

Evolusjonsteorien gir et svært nyttig begrepsapparat for å forstå moderne økonomi. De kompliserte verdikjedene av underleverandører og kunder, flettet sammen i nett av felles kompetansebehov, med synergier i produksjon, utdanning og regelverk, har mye felles med økosystemer av arter. For den biologiske evolusjonens høydepunkter, som øyet, vinger eller språk, kan det være vanskelig å se for seg hvordan tilfeldige, små variasjoner har tillatt utviklingen av helt nye funksjonaliteter. Nøkkelen er å se hvordan hvert enkelt trinn har gitt en liten fordel. Richard Dawkins bruker betegnelsen 'Mount Improbable' om denne toppen av utvikling³⁰. Sett fra vårt ståsted, er spranget fra 'ikke øye' til 'øye' umulig å forstå, som et stup vi ikke kan klare å klatre opp. Men om man følger evolusjonshistorien, og alle artene med 'nesten øye', ser man at 'Mount Improbable' også har en bakside – en slakk og vennlig sti, der hvert lille skritt bringer deg litt høyere – selv i blinde finner man veien mot toppen. Mange av dagens markeder har oppstått på liknende vis. Internett, med Google, Alibaba og Uber, ble ikke planlagt fra starten. Verdikjeden bak en Iphone, med design, batteri, skjerm og software, ble heller ikke planlagt. De mest komplekse markedene har utviklet seg som en rekke naturlige små trinn, der hver endring representerte en forbedring for de involverte partene.

I motsetning til internett, er det grønne skiftet et fjell vi allerede kan se for oss, et fjell som verdens politikere gjennom Parisavtalen har sagt at vi skal klatre opp. Sett fra der vi står har ikke fjellet et stort og uovervinnelig stup. Det er mange mulige stier, som i hvertfall stort sett vil lede riktig vei. Men vi ser også at landskapet har ujevnheter. Det er noen små stup som vil kreve litt klatreutstyr og sikring. Men om vi går riktig vei, med riktig utstyr, kan vi være ganske trygge på å nå toppen. Om vi i stedet tar den blinde veien, og alltid tar det letteste skrittet, kommer vi ikke til fjellet. Da ender vi på de små knausene ved fjellets fot, der dype revner skiller oss fra toppen, og dyre broer vil bli nødvendige. For å være sikre på å komme opp, bør vi kanskje sende speidere langs mer enn en vei. Det kan være overraskelser. Men hovedgruppen må gå på den mest lovende veien, og få mest proviant og utstyr.

I et slikt bilde, kan vi se for oss markedsutviklingen som en evolusjonsprosess der hovedvekten av utviklingen overlates til private selskaper som tjener penger i kortsiktig lønnsomme markeder. Stadig mer priskrevende markeder stiller stadig nye krav til effektive løsninger. Men der gapene blir for store mellom lønnsomhet i dagens marked, og det neste naturlige markedet, må byer, regioner eller stater bidra med endrede rammevilkår, slik at de kommersielle aktørene kan tjene penger i vekstfasen, til prisfallet igjen tillater lønnsomhet uten subsidier eller markedshjelp. Tilbake til evolusjonsteorien - vi må ikke glemme at flesteparten av dyrene vi har rundt oss er husdyr. De er utviklet av et samspill mellom naturlig evolusjon og bondens kunstige rammevilkår. Vi kan gjøre det samme i et marked.

Men der gapene blir for store mellom lønnsomhet i dagens marked, og det neste naturlige markedet, må byer, regioner eller stater bidra med endrede rammevilkår, slik at de kommersielle aktørene kan tjene penger i vekstfasen, til prisfallet igjen tillater lønnsomhet uten subsidier eller markedshjelp.



Forskningsinstituttets rolle - Å være en veiviser for 'Mount Improbable' Ved å kartlegge mulige nisjer, deres lønnsomhet og markedspotensialer, kan forskere hjelpe politikere med å velge markedsgrep som gir tidlig lønnsomhet for bedrifter med stort potensiale. IFE har for eksempel bistått Statens vegvesen i arbeidet med den første hydrogenfergen, fordi vi anser denne som et fremragende eksempel på et slikt kunstig tidligmarked med enorm slagkraft. Den første fergen gjør at det utvikles standarder og regler, som bringer risikoen ned til akseptabelt nivå også i andre markeder.

Industrielle lokomotiver med langsiktig forskning

Industrikonsern med egne forskningsavdelinger har en forskningsmessig slagkraft som ofte undervurderes av akademikere. Det maner til ydmykhet når man ser på hvordan samspillet mellom industri og forskning har endret seg de siste hundre årene.

Industri i verdensklasse gir spørsmål i verdensklasse, og dermed forskning i verdensklasse.

I begynnelsen av den industrielle revolusjon var veien fra ny fysikk til nytt produkt kort. Hooke kunne både lage linser og mikroskoper i sitt eget laboratorium. Alessandro Volta jobbet ved et universitet da han oppfant det første batteriet. Boyle og Cavendish oppdaget hydrogen og dets egenskaper i sine laboratorier. Men det var Sony som laget det første fungerende Li-ion-batteriet. Det er Toyota, Honda og Hyundai som lager de mest avanserte brenselcellene. Vi vet ikke engang navnet på oppfinnerne, og det finnes heller ikke bare *en* oppfinner. Samspillet av utallige forskere i hemmelige laboratorier har i noen tilfeller gitt innsikt som overgår de beste akademiske forskningsmiljøene.

Industriforskerne har en rekke fordeler. For det første har de tilgang til alt akademia publiserer. Industrien publiserer bare når de må, patenter kan like gjerne være for å villedde som for å veilede. Industrien har også en langsiktighet og forutsigbarhet som mange forskere mangler. Så lenge bedriften går godt, kan slike forskningsavdelinger leve i årevis. Forskerne i bedriftene får også tilgang til enorme informasjonsmengder. For hver lille endring i produksjonsprosessen kan man logge konsekvensen for produktet. Fordi antallene er så enorme, blir det mulig å avdekke svært små forbedringer. Mens en forskningslab vil slite med å finne på en ny, signifikant 1% forbedring, vil bedriften i mellomtiden finne 10-talls 0,1%-forbedringer.

Selskaper som Hydro, Elkem, Yara og Borregaard er eksempler på denne industrikulturen i Norge. Derfor er det verdt å merke seg hvordan for eksempel Hydro beskriver sitt samspill med akademia. Langsiktige relasjoner mellom forskere i Hydros egne forskningsavdelinger jobber sammen med spesialister på modellering og karakterisering i akademia, og skaper slik et samspill med større kraft enn aktørene ville klart alene³¹.

Kompetanse i å løse utfordringer er ikke nok – vi kan bare gi gode svar om vi har tilgang til de mest interessante og avgjørende spørsmålene. Industri i verdensklasse gir spørsmål i verdensklasse, og dermed forskning i verdensklasse.



Forskningsinstituttets rolle

- Tillitsbasert utveksling av tanker om problemer og løsninger

Langsiktig relasjonsbygging er viktig for at forskerne skal forstå industriens utfordringer og at industrien skal forstå forskernes muligheter og begrensninger. Når tilliten blir tilstrekkelig, kan industrien fortelle om sine egentlige problemer, uten å risikere at kunnskapen lekker ukontrollert til konkurrenter, eller at forskningspartneren benytter anledningen til å skrive egne patenter i konkurranse med kunden. Tilsvarende kan forskeren stole på at det å dele gode ideer blir til nye prosjekter med samme institusjon, ikke bare en tapt anledning til nye prosjektsøknader.

Gründere og spin-off-bedrifter

I store industrikonsern kan beslutningslinjene bli lange. Det kan også oppstå konflikter mellom behov i ulike deler av bedriften, og det kan bli vanskelig å få fokus om en ny idé som ikke ligger midt i konsernets kjerneområde. Ofte kan derfor klynger av små bedrifter i fleksible allianser være vel så slagkraftig som store konsern. Den norske maritime klyngen er et av de fremste eksemplene på dette, men også den norske prosessindustrien har mange fellestrekk med en klynge, med en rekke småbedrifter som trives i støttefunksjoner rundt de store. For forskningsmiljøene representerer klyngene både en fordel og en utfordring. Fordelen ligger i bedriftene stort sett ikke har råd til egne forskningsavdelinger, og er avhengige av forskningsinstituttens infrastruktur. Beslutninger kan tas raskt, det er ikke like mange jurister på andre siden av bordet, og kravene til eierskap av IP er ofte mer realistiske. Ulempen er at det er en høy overhead ved å betjene og markedsføre seg mot mange små kunder. Småbedrifter har lite egen forskning som kan brukes som in-kind for å utløse forskning, og lite cash som kan betale deltakelse i kompetanseprosjekter.

Når innovasjonen er å sette sammen kjente komponenter i nye systemer, har klynger av små bedrifter en enorm slagkraft. Når det skal dras i gang helt nye idéer mangler de ofte kapital og slagkraft, så mye krefter går med til markedsføring lenge før idéen er ferdig utviklet. Mangelen på aktive kapitalforvaltere som har tilstrekkelig langsiktig horisont kan være en vesentlig hemsko, flere har påpekt at det er stor forskjell på kapitalforvaltere i Silicon Valley og i Norge i så måte. Da må vi samtidig være ærlige på at det sannsynligvis også er flere gode idéer å velge mellom i Silicon Valley, og at forskerne ikke alltid vet hvordan de skal presentere sine idéer på en måte som kan friste til bedriftsdannelser.

Selv om mye forskning og innovasjon springer ut av eksisterende produkter, hender det fortsatt at den gamle, lineære utviklingsmodellen med gradvis modning av et produkt, fra idé til marked, har noe for seg. IFE har spunnet ut en rekke små bedrifter som har fått prøve seg i markedet, og noen av disse har vokst seg større enn miljøene de sprang ut av.

Ofte kan derfor klynger av små bedrifter i fleksible allianser være vel så slagkraftig som store konsern.



Forskningsinstituttets rolle - Å tenke utenfor boksen – mer eller mindre planlagt...

Andre ganger kan uhell i labben gi inspirasjon til nye produkter. I arbeidet med å teste hvorvidt metallhydrider kunne brukes til å forbedre solceller oppdaget en IFE-forsker svarte flekker på prøvene sine etter å ha undersøkt dem i mikroskop. Etter nøyere undersøkelser viste det seg at han hadde oppdaget et nytt fotokromisk materiale, som blir mørkere av seg selv når det blir belyst. I dag arbeider IFE med å starte en ny bedrift for smarte vinduer, som blir mørkere når det blir for lyst, og dermed reduserer behovet for kjøling.

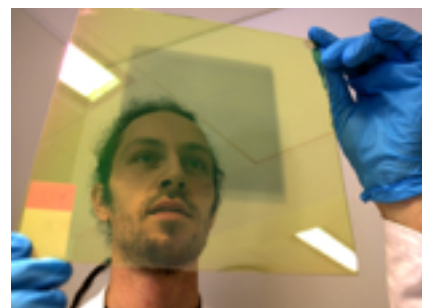
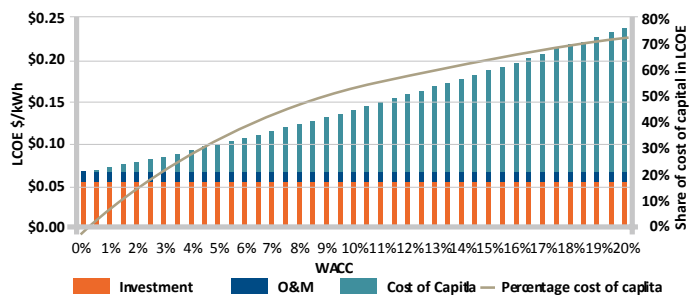


Foto: Arnfinn Christensen, forskning.no



Kapitalmarkedet

For en investering som skal ha en varighet på over 25 år, som en solcellepark eller en annen kraftinfrastruktur, vil rentesatsen som legges til grunn for avkastningskravet være avgjørende. Et regneeksempel fra IEA viser hvordan en rente på 9% er tilstrekkelig til å doble kostnaden på et solcelleanlegg i en nåverdibetraktning³².

Hva som er riktig rente for et gitt prosjekt er avhengig av risikooppfatning. Dersom en utbygger av en solcellepark i Rwanda skal hente kapital til sitt prosjekt, vil investorene stå overfor usikkerhet i prosjektering, holdbarhet av moduler, hvor mye de faktisk kan produsere, valutasingninger, om prosjektet får politisk godkjenning etc. Resultatet kan bli en rentesats langt over 10%. Når Scatec, med full kompetanse solcelleteknologi, samt om prosjektering og drift av solcelleparken i Afrika, går sammen med Norfund, som har tillit til Scatecs vurderinger basert på tidligere samarbeid, kan mye av denne risikoen elimineres. Norske ambassadører med kompetanse om bistand og olje kan også bidra til å redusere politisk risiko. Dermed kan Scatec og Norfund i samarbeid kanskje operere med halve rentesatsen av det en investor uten slik kompetanse eller risikoreduksjon ville lagt til grunn. Om rentesatsen halveres, vil også produksjonsprisen på strøm fra solcelleanlegget reduseres til nesten halvparten, bare basert på risikooppfatning.

En annen interessant løsning er utviklet av Differ. De selger mikrofinansbaserte løsninger for private hjem i fattige områder. Basert på anbefalinger fra naboer får man kjøpt et solcellepanel, et batteri, en mobiltelefon, en LED-lampe og kanskje en LED-TV. Med nedbetaling over mobiltelefon kan månedsavgiften bli mindre enn det familien ellers ville brukt på parafin til lamper og lading av telefon i nærmeste butikk. Nedbetalingstiden er ca to år, deretter er det gratis energi. I tillegg kommer bedret innemiljø, leselys som tillater utdanning, og bedret tilgang til kommunikasjon.

Kompetent kapital med gode tillitsrelasjoner kan slik redusere kostnadene ved fornybar energi. I IEAs fremskrivninger av utrullingshastigheter for sol, har det være vanlig å anta en rentesats på rundt 7%. Enova krever 5% rente ved beregning av norske anlegg³³. I en verden hvor styringsrenten er nær null, og folk flest sliter med å oppnå 2% rente i banken, kan en energiinvestering som gir 4% rente være en god investering. Pensjonsfond kan kanskje få bedre avkastning ved å investere i fornybar energi enn i aksjemarkedet, om rammevilkårene som tilbys er tilstrekkelig stabile.

Pensjonsfond kan kanskje få bedre avkastning ved å investere i fornybar energi enn i aksjemarkedet, om rammevilkårene som tilbys er tilstrekkelig stabile.

Forskningsinstituttets rolle

- Å bidra til riktig risikooppfatning

Utvikling av tester for å måle degradering er en viktig del av verdikjeden. Et eksempel er hvordan IFE har vært involvert i å måle støvansamling på solcellepaneler. Usikkerhet i hvor mye støv som samler seg, og hvor mye det påvirker solcellene, slår rett inn på bunntinjen i form av usikre inntekter. En ny overflate-ets for glass som gir bedre optikk, kan plutselig vise seg å være perfekt grobunn for alger, og dermed virke mot sin hensikt. Bedre forståelse og testing bedrer risikooppfatningen, og gir dermed lavere rente.



Politikkens rolle

Energirevolusjonen vi skal gjennom er en ønsket utvikling. Dagens petroleumsbaserte energisystem gir store inntekter til Norge. Likevel har det norske demokratiet valgt å ta et globalt ansvar for å redusere menneskeskapt oppvarming, og med det redusere de ustabilitetene og menneskelige lidelsene som følger med raske økologiske endringer. For et lite land som Norge har det større verdi å bevare visjonen om et skjebnefellesskap for alle mennesker, heller enn å dyrke snevre nasjonale mål. I mange sammenhenger har vi klart å ta internasjonalt ansvar, for eksempel i bevaring av regnskog.

En rask akselerering av markedsutviklingen for sol, vind, batterier og hydrogen er dermed i Norges erklærte interesse, bekreftet gjennom Paris-avtalen og Mission Innovation. Akkurat som med regnskogen trenger vi ikke å begrense oss til et nasjonalt fokus. Om norsk eksport gjør alle verdens solceller 1% billigere, og 50 andre land gjør det samme, vil det kunne utløse utslippskutt som vil sette alle norske utslipp i skyggen. Dette betyr ikke at vi ikke også skal kutte egne utslipp, men effekten av teknologiekspport på internasjonale utslipp er sterkt underkommunisert i dagens politiske debatt.

Utfordringen for politikerne er å finne en ressurseffektiv måte å hjelpe riktige teknologier, og helst på en måte som også gir norske arbeidsplasser. I et ekstremt kompetitivt verdensmarked, underlagt strenge konkurranseregler, må vi ofte ha både naturlige konkurransefortrinn og stordriftsfordeler for å sikre en rolle for norske aktører. Norges høye lønnsnivå er en utfordring, men gjør også at Norge allerede har kommet langt i automatisering og robotisering. I noen nisjer har vi allerede verdensledende industri som kan hekte seg på veksttrendene og bygge markedsandel i et voksende marked.

De samme virkemidlene som ble brukt da Norge ikke bare ble en oljenasjon, men en oljekompetansenasjon, er tilgjengelige i dag. Norge var ikke først ute. Men ved en målrettet satsning fra et bredt sett samfunnsaktører, ble det lagt grunnlag for et fremtidig eventyr. Det nye energimarkedet vil ikke være basert på forvaltning av begrensede naturressurser, som vannkraft, jordbruksareal eller olje, men i stedet være preget av masseproduksjon av teknologikomponenter i et enormt globalt nettverk av spesialiserte industribedrifter. Dette krever andre kompetanser også hos de som skal utforme rammevilkårene for energimarkedet. Når aktørene skal ut i markedet, er norske ambassader verden over en enorm ressurs for eksport av fornybar energi. Gjennom bistand og olje har Norge bygget opp nettverk i nesten alle land. Scatec fremhever dette som et av sine konkurransefortrinn i dag. Selskapets troverdighet kan garanteres av en ambassade som kjenner alle. Innovasjon Norge i Tokyo har hjulpet mange, inkludert IFE, i å starte opp dialog med utenlandske selskaper, og vært tolk når kulturforskjellene ble store. En slik bistand er uvurderlig.

Det nye energimarkedet vil ikke være basert på forvaltning av begrensede naturressurser, som vannkraft, jordbruksareal eller olje, men i stedet være preget av masseproduksjon av teknologikomponenter i et enormt globalt nettverk av spesialiserte industribedrifter



Forskningsinstituttets rolle - Å tenke på tvers av departementsgrensene

Det norske (Olje- og) energidepartementet fokuserer på ressursforvaltning, forsyningsikkerhet, og i de senere år, nasjonale utslipp. Teknologiekspertiser sorterer primært under Nærings- og fiskeridepartementet, som også forvalter statlig eierskap. Utslipp i transport ligger under Samferdselsdepartementet, eller i departementer for fiske eller jordbruk. Den som til slutt avgjør prioriteringene, er Finansdepartementet. Holdninger og prioriteringer varierer sterkt mellom departementene. Forskning kan bidra til å synliggjøre holdningsforskjeller og se synergier.

Norge som tidligkunde

En av de viktigste og mest slagkraftige offentlige rollene er som innkjøper av varer og tjenester. Ved å tilby en forutsigbar etterspørsel, skapes et tidligmarked for kreative bedrifter med globale ambisjoner. Norge har nok penger på bok til å ikke alltid velge billigste løsning. Investeringsnivået i offentlig sektor er høyt, men det er ikke alle steder bevisstheten rundt miljøvennlige løsninger holder gjennom hele budsjettprosessen. Her er Enova et flott hjelpemiddel, som reduserer barrieren mot å velge klimavennlige løsninger.

Avfallsbehandling av biomasse i Akershus ga en startgrop for Cambi. I dag eksporterer Cambi blant annet til USA, der 'to cambi' er blitt et verb, og beskriver denne typen avfallshåndtering. Energigjenvinningsetaten i Oslo var tidlig ute med å etterspørre effektiv varmepumpe for å utnytte restvarme fra kloakk. Selskapet Hybrid Energi fikk dermed en tidlig kunde for sin teknologi, og muligheten til å arbeide videre. Krav om innblanding av biodiesel gir grunnlag for selskaper som Eco-1. Posten har gitt grunnlag for opprettelsen av Paxter. Det norske deregulerte kraftmarkedet, med kraftbørsen Nordpool, har gitt et kompetansegrunnlag for Statkrafts satsning på virtuelle kraftverk i Tyskland.

Oslo kommune stiller nå krav til den første null-utslipps byggeplassen³⁴. Dette er en enorm utfordring til utstyrsimportører og entrepenørselskaper. Om norske entrepenører nå lærer seg hvordan de drifter en null-utslipps byggeplass, kan de ta med kompetansen og vinne anbud i Tyskland når tilsvarende krav dukker opp der. Når Statens vegvesen kjøper den første hydrogenfergen³⁵, forhåpentlig fra et norsk konsortium, gir det læring som vil gi et internasjonalt konkurransefortrinn. Løsninger utviklet for kaianlegg og fylling kan bli eksportvare. Da Oslo kommune planla sin søknad om vinter-OL, ble det lagt inn en rekke miljøtiltak som kunne gitt norske markedsaktører fortrinn. Det er neppe siste gang Norge vurderer å være vert for et internasjonalt mesterskap.

Om norske kommuner inngår spleiselag om å bygge markeder for hydrogen, gjennom rettede kjøp av busstjenester (som Ruter allerede har gjort) eller ved å kreve hydrogen i enkelte kommunale biler, vil det kunne legge markedsgrunnlag for de første fyllestasjonene. Kanskje Uno-X kan bruke erfaringer fra Norge, med høyautomatiserte fyllestasjoner, til å skape en internasjonal suksess, dersom de får nok kunder de første årene til å våge å satse?

Kobling av bistandsmidler til fornybar teknologiekspert kan være en god måte å sikre klimagevinster og samtidig bygge markedsandeler. Tilgjengeliggjøring av kapital fra Statens Pensjonsfond, Utland, til lønnsomme energiprojekter i land der kapital er mangelvare, kan kombinere avkastning med miljøgevinst. Statlig eierskap kan utløse at store bedrifter aktivt ser etter muligheter for å skape seg markeder, fremfor å forsterke satsninger på fossile verdikjeder. Et Fornybar A/S vil kunne gjøre strategiske oppkjøp av kompetanse fra andre land. Slik Japan og Kina i sin tid overtok vestlig teknologi, kan vi i dag kjøpe teknologien tilbake. De markedsledende aktørene er fortsatt ikke så store. Total har kjøpt SunPower for solceller og SAFT for batterier. Burde A/S Norge gjøre noe liknende?

En av de viktigste og mest slagkraftige offentlige rollene er som innkjøper av varer og tjenester.

Forskningsinstituttets rolle

- Beslutningsstøtte i storskalainnkjøp i offentlig sektor

Både Statens vegvesen og Jernbaneverket er med i FME MoZEES. Dermed skaffer de seg tilgang til ledende kompetanse på løsninger som de ikke har omfattende erfaringer med.



Lover og reguleringer

I mange sammenhenger er lover og reguleringer nyttige virkemidler for å få igjennom ønskede endringer. Her har politikerne noen av sine kraftigste verktøy. Samtidig er lover treg materie, og gir lite rom for lokal handlekraft. Diskusjonen mellom Oslo kommune og Samferdselsdepartementet om hvorvidt det er lov å opprette lokale miljøsoner, med strengere krav enn det som er nasjonalt regulert, er ett eksempel. Motsatsen er hvordan lokale myndigheter er gitt muligheten til å gi el-biler tilgang i kollektivfeltet, et vellykket trekk som unngår unødige konflikter, men skaper ønsket dynamikk.

El-bil-politikken i Norge har vært en enorm suksess, og har bidratt til at elbiler kom på banen internasjonalt. Her har fordelene med at Norge aldri har hatt store bilprodusenter vært enorm – derimot hadde vi en liten el-bil-produsent. Reglene ble utformet for å skape marked, ikke for å være rettferdige. Det er ikke lett å anslå i hvilken grad det norske markedet utløste eller aksellererte den internasjonale utviklingen, men Norge er blitt et fullskala laboratorium for elbilmarkedet hvor både myndigheter og bilprodusenter fra hele verden kommer for å lære. Derfor er det ikke utenkelig at verden ligger et år foran i utviklingen med å elektrifisere transportsektoren takket være Norges bidrag. Dersom norsk elbilpolitikk har ført til at verden er så lite som ett år nærmere målet om nullutslipp i personbilmarkedet, vil det i så fall utgjøre en utslippsreduksjon langt større enn Norges totale utslipp i mange år fremover.

Kraftmarkedets organisering er et annet eksempel på hvordan reguleringer kan få stor betydning for markedsutviklingen. I Norge har vi et klart skille mellom kraftprodusenter og kraftkonsumenter. Med plusskundeordningen har vi fått en mellomkategori, som både kan kjøpe og selge, så lenge det er i tilstrekkelig liten skala³⁶. For borettslag var de første forslagene til regulering imidlertid til liten nytte. Borettslagets beboere kjøper strøm direkte fra strømlleverandører, men det var ingen klare regler for hvordan et anlegg på taket for å betjene alle beboerne skal håndteres.

Hvis vi skal vurdere batteripakker i strømnettet som alternativ til nettforsterkning, får vi et tilsvarende problem. Nettet skal flytte strøm i rom, ikke i tid. Dermed er det lett å sette batterier hos sluttkunden, så lenge de kun bruker sin egen strøm. Om en kunde ønsker å avlaste naboens effekttopper, må vedkommende betale dobbel elavgift. Et samfunnsøkonomisk fornuftig grep blir bedriftsøkonomisk ulønnsomt. Når man overlater innkjøp av store batteripakker til privatpersoner uten batterikompetanse, vil antakelig noen av dem gå for billigløsninger. Løsninger disponert av kraftselskapene kan være billigere i innkjøp og drift, betjene flere kunder med samme batteri, og gi lavere risiko for at hus brenner ned på grunn av lavkvalitetsbatteripakker. Dessverre er det ikke sikkert at det er lov for nettselskapene å installere dem. Når solceller reduserer antall kjøpte kWh, blir nettselskapenes lønnsomhet dårligere. Da er det viktig at verken kunder eller nettselskaper suboptimaliserer ved å tvinge frem batterier kun for øket egenforbruk av solstrøm – for å få redusert nettleie på kilowattimene.

Men det er ikke utenkelig at verden ligger et år tidligere i utviklingen på grunn av Norges bidrag – ett år kortere til målet om nullutslipp i personbilmarkedet er nådd. Det vil i så fall utgjøre en utslippsreduksjon langt større enn Norges totale utslipp i mange år fremover.



Forskningsinstituttets rolle

- Å synliggjøre mulige konsekvenser av reguleringer og lover

Når nettselskaper, privatpersoner, kraftprodusenter og teknologileverandører alle hevder sitt syn på hva som er optimale reguleringer, kan konsekvensen bli at den mest kompetente parten vinner frem. Forskerne skal presentere en balansert fremstilling, og kan dermed ivareta den svakeste parten i samspillet. Det er ikke gitt at dette alltid er forbrukeren, men ofte vil det være slik.

Ved slike dramatiske omveltninger står det store verdier og mange arbeidsplasser på spill. Dette kan bidra til at politiske beslutningsprosesser påvirkes slik at omstillingen vil gå saktere enn den ellers ville gjort

Motkreftene

Energiewende, den tyske satsningen på omstilling fra fossil til fornybar energi, er en av de største økonomiske endringene som noen gang har vært forsøkt. Selskaper som har vært vinnere i et energimarked hvor tilgangen til begrensede ressurser er avgjørende, må omstille seg kraftig for å møte et energimarked hvor energien er en ubegrenset fornybar ressurs. Den tyske kraftgiganten RWE gikk med sitt første underskudd på over 60 år i 2013, knyttet til drift av kullkraftverk som hadde blitt ulønnsomme i konkurranse med sol og vindenergi. Dette har blitt fulgt av nye rekordstore tap i 2014 og 2015, med det resultat at aksjekursen til RWE har blitt redusert med over 70% på under ti år. Ved slike dramatiske omveltninger står det store verdier og mange arbeidsplasser på spill. Dette kan bidra til at politiske beslutningsprosesser påvirkes slik at omstillingen vil gå saktere enn den ellers ville gjort. For Norge vil Energiewende kunne redusere verdien av olje og gassreserver. Det blir dermed et politisk dilemma å håndtere avveiningen mellom eksport av olje, og ønsket om reduserte globale utslipp.

Utfordringens størrelse gjør at tidsskalaen fra oppfinnelse til markedsdominans og inntjening kan bli lang. Det er ofte lite sannsynlig at den som tar den innledende risikoen også ender med gevinsten – patenter får ikke den motiverende effekten de burde når de nesten er utløpt før markedet når full størrelse. Likevel kan de blokkere utvikling om det er uenighet mellom oppfinner og investor om hvor mye en idé er verdt, eller om patentet eies av en som har interessekonflikter og ikke ønsker at markedet vokser.

Et politisk ønske om teknologinøytralitet kan lett bli til passivitet i en ujevn konkurranse mellom teknologier av ulik modenhet. Batteribilen og hydrogenbilen har fått svært ulik drahjelp av tilgrensende markeder. Mobiltelefoner har vært sterkere hjelp for batteribilen enn nødstrøm har vært for hydrogenbilen. Batteriene har kommet lengre langs læringskurven, mens hydrogen har et langt større potensiale for markedsdoblinger. Det kreves svært høy kompetanse for å balansere ut slike ujevnheter, og den politisk mulige løsningen blir ofte å ikke gjøre noe.

Ordninger som petroleumsskatteordningen og nettselskapenes muligheter til å bruke en andel av sitt overskudd på forskning, kobler enorme pengestrømmer til enkelte forskningsfelt. Til sammenlikning kan det være svært krevende for oppstartsselskaper i lovende nisjer å stille med nok penger eller egeninnsats til å skaffe støtte og finansiering fra statlige og private aktører. Når et selskap mangler kapital, eller en idé viser seg å være et blindspor, kan det bli mye stopp-start i forskningen. Kvaliteten og lønnsomheten blir dårligere og det blir vanskelig å beholde gode kandidater. Selv innenfor forskningsmidlene som skal brukes på å utvikle ny, fornybarbasert teknologi, vil det dermed kunne bli en dreining i retning av modne teknologier, på bekostning av langsiktige satsninger innen batterier, hydrogen eller sol.

Slike tendenser kan igjen forsterkes når strategier som Energi21 forfattes – mange vil jobbe hardt for at deres kjernevirksomhet skal inkluderes som nasjonal satsning, selv om dette ikke nødvendigvis er begrunnet i hvilket potensiale for utvikling som ligger i et fagfelt eller markedsområde.

Forskningsinstituttets rolle

- Å sikre at fakta vinner over interessekamp

Ved ryddig, faktabasert kommunikasjon, er det mulig å rokke ved vedtatte sannheter og maktkonstellasjoner. Når budskapene blir tilstrekkelig presise og nyanserte, uten å drukne i fagterminologi, vil politikere få bedre beslutningsgrunnlag. Forskernes ansvar er å sikre at fakta kommer frem, og styre unna halvsannheter og dårlig funderte resonnementer. Dette krever at forskerne tar ansvar for å utforme felles budskap.



Forskningens rolle

Utdanning

En av de største utfordringene ved å gjennomføre et paradigmeskifte som det grønne skiftet, er å få tilgang til kvalifisert arbeidskraft. Det er i utgangspunktet universitetene som har ansvar for både master og doktorgradsutdanningen, men særlig i doktorgradsutdanningen ligger et dilemma. For at en doktorgrad skal godkjennes, må kandidaten ha en viss mengde publikasjoner. Det er lettere å finne publiseringsverdige kunnskaper i systemer med svært lav modenhet, og bruke kjent metodikk på nye materialer og systemer. Det gir en motivasjon for universitetene til å fokusere på systemer som har lav industriell relevans i dag. For industrien, vil det kunne ha en større verdi om forskerne kan bruke innovative metoder for å studere kjente systemer. Utfordringen da er at risikoen er høyere for at man ikke oppdager noe nytt, eller for at noen andre angriper samme problemstilling i et annet land omtrent samtidig, så publikasjonsmuligheten reduseres. Her har forskningsinstituttene en rolle i å lete frem problemstillinger som kan kombinere forskningshøyde med industrirelevans. Det krever en kontinuitet og industrieksponering som gjør at man til en hver tid vet hva som er bransjens problemer og muligheter, og ligger noen år, men ikke for mange, før industriens behov. Man lykkes ikke alltid i relevansvurderingen, men kandidaten vil ha god kjennskap til et svært aktuelt system, og kan ta med seg kunnskapen til arbeidsgivere som ikke har egen kompetanse i feltet ennå. Dette er lettere å få til i masterutdanningen, hvor publiseringskravet er mindre. Da er det også lettere å finne et relevant problem.

Forskerne skal ikke bare utdanne nye kandidater, men også beslutningstakere, media og velger. Selv om det sjelden gis midler direkte til popularisering, er det et krav i de fleste forskningsrådsprosjekter at resultatene gjøres forståelige for ikke-spesialister som er interesserte i feltet. Mange forskere har sine beste øyeblikk når de opplever at beslutningstakere virkelig er interesserte og lytter. Det å skrive denne rapporten, er et eksempel. Det er ikke ofte man får anledning til å fremsette en såpass kompleks argumentasjon i ro og fred for dem som kan velge å gjøre noe med saken. Ofte oppleves det som at forskningsresultater er så nyanserte og kompliserte at det er enklere å bare se bort fra dem. Forskingen bidrar på sin egen måte til forvirringen. Alle forskere fremmer sine egne idéer om hva som er den beste teknologien, og enkelte overdriver for å sikre seg finansiering for videre forskning. Denne manglende disiplinen svekker forskernes troverdighet. Lukkede fagfellesskap som evaluerer hverandre opprettholder illusjoner om fremtidig relevans, selv på områder industrien har evaluert og forlatt. Likevel vil kombinasjonen av levende, faktabasert debatt, og kravet om reproducerbare eksperimenter, til slutt gjøre at forskningen konvergerer mot en delvis enighet. Denne delvis-enigheten er et bedre anslag for sannhet, enn om man forkaster hele forskermiljøet som irrelevant fordi de ikke alltid er enige.

En av de største utfordringene i et paradigmeskifte som det grønne skiftet, er å få tilgang til kvalifisert arbeidskraft.



Forskningsinstituttets rolle - Å skrive vinnende søknader

Forskere sier ofte, delvis på spøk, at det er lettere å få penger til å forske på noe man ikke kan noe om. Da er det nemlig lettere å love «gull og grønne skoger». I felt man kjenner, er man mer nøktern på hva som kan oppnås, og får dermed dårligere score på 'impact'. Om vi kunne regnet 'impact' som 'sannsynlighet ganger konsekvens', i stedet for bare 'konsekvens', ville det hjulpet kraftig.

Prekompetitiv kompetansebygging

Samspillet i de fremvoksende verdikjedene er så komplisert at ingen enkeltperson eller bedrift kan ha oversikt alene. På mange områder er det dessuten slik at minst én nøkkelaktør mangler i Norge, så det blir vanskelig å få tak i nødvendig kompetanse for å skjønne sin egen rolle. Eksempler på dette er mangelen på fabrikker for batterier, brenselceller, solceller eller vindturbiner i Norge. Som denne rapporten viser, er det likevel både aktører og markedsmuligheter i verdikjedene i Norge. Da blir det forskningsinstitusjonen som blir substituttet for batterifabrikken eller solcellefabrikken og deres kjernekompetanse. IFE har tatt denne rollen gjennom klynger, sentere og kompetanseprosjekter. Det er forskere som kan noe om alle komponenter og trinn i produksjonsprosessen, og som kan gi råd om mulige komponenter eller om riktig bruk. Gjennom Solklyngen, organisert av IFEs samarbeidspartnere i Kunnskapsbyen Lillestrøm, arbeider IFE for å gjøre det lettere å ta i bruk solcellesystemer i Norge. Gjennom FME Center for Sustainable Solar Cell Technology er også aktørene som jobber med å tilby billigere solceller til hele verden samlet, med hele spennet fra silisium og waferprodusenter, til installatører av store systemer.

Brukerpartnerne i kompetanseprosjekter jobber sammen med forskerne for å forstå temaer som er avgjørende for deres suksess, men som de ikke regner som kjernekompetanse eller konkurransevridende. Alle aktører i bransjen har en felles interesse av at sikkerhet og kunnskap om riktig bruk av batterier spres, slik at etterspørselen etter slike løsninger øker, og man reduserer risikoen for en omdømmekatastrofe på grunn av ulykker eller tidlig degradering av kundens produkter.

I andre prosjekter jobber forskerne med å forstå grunnleggende fysikk, for eksempel i samspillet mellom vind, bølge og havbunn, og å inkludere forståelsen i IFEs simuleringsprogramvare. Kompetansen blir slik tilgjengelig for hele bransjen. IFEs satsning på silisiumanoder forsøker å forstå den grunnleggende elektrokjemien i elektrodene. Elkem og Dynatec kan komme til å bli konkurrenter i dette feltet. Men fordi de har så ulike tilnærminger, og ingen vet hvem av dem som til slutt vil ha en konkurransefordel, er de begge tjent med å dele regningen for å utvikle den grunnleggende forståelsen. Tilsvarende lager både Borregaard og FMC biopolymerer som kan brukes i batterier, det er likevel ikke problematisk å ha begge som kunde for utvikling av metoder for å evaluere hvem av dem som har en langsiktig konkurransefordel.

Med FME MoZEEs vil IFE samle alle ulike kompetanser som trengs for å se null-utslipps transport i sammenheng, fra markedsmuligheter for materialprodusenter, via utvikling av kjøretøy og skip, til hvilke konsekvenser dette kan få for Norge som nasjon. Selv om senteret ikke kan løse alle problemer, kan det sikre et konsistent verdensbilde, der fakta og forståelse kan sammenliknes mellom ulike fagtradisjoner og næringer.

Som denne rapporten viser, er det likevel både aktører og markedsmuligheter i verdikjedene i Norge. Da blir det forskningsinstitusjonen som blir substituttet for batterifabrikken eller solcellefabrikken og deres kjernekompetanse.

Forskningsinstituttets rolle

- Å finne aktører med felles kompetansebehov

Det å samle bransjeaktørene er lettere i modne bransjer med mye omsetning hos stabile aktører.

Det er en langt større utfordring i en oppstartsbransje der aktørene har begrenset med kapital og mennesker, og ikke vet om de fortsatt er i bransjen neste år. I noen felt kan forskerne sitte og vente på telefonen fra kundene. I sol, batterier og hydrogen, må vi finne dem selv.



Spesialiserte laboratorier

Når Dynatec utvikler sin reaktorteknologi, er de avhengige av å få testet den i en infrastruktur med silangass tilgjengelig. Silan selvantenner i luft, og kan eksplodere i feil blandingsforhold. IFE hadde allerede en slik infrastruktur, så



Foto: Dynatec

terskelen for å teste Dynatecs utstyr ble lavere ved å gjøre det med IFE som partner. IFE disponerer også en fullskala lab for produksjon av solceller. Da REC ønsket å utvikle et radikalt nytt solcellekonsept, kunne IFE tilby dopegasser i PECVD, pådamping av metall, sputtering av metalloksydtynnfiler, screen-printing av metallkontakter, solcellestester, og mikroskopi. IFEs oppsett for passivering og karakterisering med fotoluminesens gir muligheten til å avdekke variasjoner i waferkvalitet og rollen til ulike urenheter. Uansett hvilket prosessrinn i solcellefabrikken man ønsker å utfordre, har IFE muligheten til å teste innovasjonen i praksis.

IFEs batterilab tillater både å lage batterier for teste nye materialer, og å teste kommersielle batterier med tanke på hvordan de vil prestere i faktiske

applikasjoner. Mens de fleste universiteter bare har noen få kanaler for å teste om et materiale lar seg sykle, er IFEs lab rigget for kontinuerlig forbedring. Gjennom stadig bedre prosesskontroll og hundretalls småskalakanaler for testing, kan man avdekke forskjellen på bra og bedre. Jo mindre forbedringer som kan gjenkjennes, jo raskere kan utviklingen bli. Med over hundre høypresisjons testkanaler for fullskala battericeller, har man muligheten til å teste et stort spenn av driftstemperaturer og lademønstre i parallell. Få måneders testing kan gi indikasjoner og forutsigelser for mange års bruk. IFE har også bygget opp hydrogenlabben på HyNor Lillestrøm, som tillater testing av hydrogenkomponenter i systemer i kommersielt relevant skala. Forskningslabben ligger inntil en hydrogenfylllestasjon, og er designet så en hvilken som helst komponent i produksjonen skal kunne erstattes. Her testes hydrogenkompressoren fra Hystorsys og reformeringsteknologien til ZEG. IFEs atomreaktor gir også unike muligheter innen materialkarakterisering. Nøytronkilden er unikt godt egnet for å observere hydrogen i ulike systemer. I tillegg kan nøytrontomografi ta høyoppløste 3D-bilder av gjenstander røntgenstråler ikke kan trenge gjennom.

Forskningsinstituttene bidrar slik til at bedrifter som ønsker å teste en ny idé eller optimalisere en prosess har tilgang til nødvendig infrastruktur og kompetanse, og at kostnaden for dette kan fordeles på mange ulike brukere.

Forskningsinstituttene bidrar slik til at bedrifter som ønsker å teste en ny idé eller optimalisere en prosess har tilgang til nødvendig infrastruktur og kompetanse, og at kostnaden for dette kan fordeles på mange ulike brukere.



Forskningsinstituttets rolle

- Å vedlikeholde dyr infrastruktur mellom prosjekter

Utstyr som ikke brukes, degraderes likevel. Kompetanse er ofte knyttet opp til PhD eller post. doc. studenter som forsvinner med prosjektene. Det at Forskningsrådet åpner for støtte til drift av eksisterende infrastruktur er derfor avgjørende for å opprettholde kompetanse gjennom konjunktursvingninger.

Inspirasjon og konseptutvikling

En av de viktigste bremseklossene mot utviklingen av et fornybart samfunn, er manglende fantasi til å tro at det er mulig. Forskningen skal bidra til å utvikle scenarier og visjoner som viser at handlingsrommet til politikere og markedsaktører kan være større enn de selv er klar over. Gjennom energisystemanalyse av hele samfunnets energiforbruk er det mulig å tallfeste hvor mye de ulike løsningene kan bidra med, hva slags krav som stilles om utviklingen skal følge visse spor, hvor raskt utviklingen må skje. Ved å synliggjøre hva som er problemområdene, kan man anstrenge seg ekstra for å finne løsninger på de store problemene, selv om ingen markedsaktører i dag har tatt eierskap til utfordringen. Sterkt fragmenterte bransjer som den maritime klyngen eller transportsektoren, har ekstra store utfordringer i å omstille seg. Mange små aktører har ingen mulighet til å tenke langt utenfor boksen, på løsninger som bare blir lønnsomme om mange aktører går samme vei.

Forskningens rolle blir dermed å regne hjem forretningsidéen og skissere konseptet, slik at alle aktørene gjenkjenner det som relevant og lovende.

For å få en hydrogenferge, kreves det en kunde, en reder, en skipsbygger, en energisystemleverandør, en batterileverandør, en brenselcelleleverandør, en hydrogentankleverandør, et regelverk for hydrogen i skip, en sertifiseringsordning, en havneinfrastruktur for hydrogenproduksjon, en elektrolyseleverandør, en kraftleverandør, et regelverk for elavgifter for hydrogenproduksjon – i tillegg til noen nye tekniske løsninger for hurtig fylling av store hydrogenmengder. Forskningens rolle blir dermed å regne hjem forretningsidéen og skissere konseptet, slik at alle aktørene gjenkjenner det som relevant og lovende. Idéer er billige – de aller færreste forskningsmiljøer har mangel på dem. Utfordringen er å vurdere risikoen i løsningen, og å redusere den største risikoen først. Om idéen kommer fra forskeren eller en ekstern partner er ikke alltid så viktig, men den tidlige fasen med risikoreduksjon, hvor idéen kvalitetssikres og regnes hjem både fysisk og økonomisk, krever ofte langvarig arbeid med alliansebygging og analyser.

Internasjonalt har mange forskningsmiljøer laget små testbåter som demonstrerer at hydrogen i skip er mulig. Prosjektene har bestått av at man har kjøpt en båt, tatt ut motoren, og satt inn en hydrogenløsning. Det har ikke ført til kommersiell aktivitet. I Norge har forskningen i stedet fokusert på hvorvidt hydrogen i skip kan være lønnsomt, og konkludert positivt. Så har man, nesten som en miljøorganisasjon, presentert konklusjonene i alle tenkelige og utenkelige fora. Dermed har Statsministeren begynt å snakke om hydrogen i skip, Stortinget har våget å vedta krav om nullutslipp, mens bransjeaktører som Fiskarstrand går ut offentlig med ønsket om å ta en rolle. Fremdeles har det manglet utløsende markedsaktører – de som kan selge brenselceller godkjent for skip. IFE har tatt initiativ til å opprette selskapet Bluecraft for å fylle denne nisjen. Selskapet skal på sikt være helt uavhengig av IFE, men det var markedsanalysene og forskningen IFE utførte som avdekket behovet for et slikt selskap mellom brenselcelleleverandører og energisystemutviklere, som skal gjøre det enklere for redere å bestille et skip basert på hydrogen.

Forskningsinstituttets rolle

- Å få tilgang til markedets kompetanse

Når en hydrogenforsker skal vurdere om hydrogen er egnet for skip, er det store deler av faktagrunnlaget som ikke er lett tilgjengelig. Driftsprofiler for skip, betydningen av vekt for energiforbruk, maritime regelverk – alt er like nytt for hydrogenforskeren som hydrogen er for skipsbyggerne. IFE har jobbet i flere år for å forstå om og hvordan hydrogen bør brukes i skip.



Veien videre

Mange aktører i Norge har tatt aktive valg for å satse på fornybar energi, i tråd med anbefalingene i denne rapporten. Men mange har ikke ennå tatt stilling til energirevolusjonen. På bakgrunn av de foregående kapitlene vil vi derfor anbefale:

Industrien/kapitalforvaltere

- Evaluer konsekvensene for din bedrift av at fornybar energi og energilagring på sikt vil bli billigere enn fossile løsninger.
- Vurder å skille aktiviteter som er avhengige av at olje/gass lykkes, fra aktiviteter som ønsker å utkonkurrere olje og gass, så ikke bedriften blir sin egen motstander, eller at dårlige resultater i fossile aktiviteter hindrer ekspansjon på det fornybare. EON og DONG er gode eksempler.
- Delta i, og be om støtte fra, CO2-fondet som nå skal opprettes.
- Studér ASKOs drivstoffhierarki. Lag gjerne deres eget. Inngå spleiselag med nabobedrifter for infrastruktur for hydrogen.
- Kartlegg mulighetene for din bedrift til å ta del i fornybar-verdikjedene. Fokusér mot forbedrede tjenester, eller produksjonsprosesser for komponenter, som kan inngå i verdikjedene for sol, vind, hydrogen eller batterier.
- Oppsøk klynger for fornybar energi for å lære om mulighetene.
- Opprett et idémarked der alle som ønsker et produkt eller en løsning på sitt problem kan melde sitt behov, så kapital og forskning kan komme i arbeid med å lage løsningene.

Politikerne

- Departementene for energi, samferdsel, miljø, landbruk, kunnskap, utenriks, kommune og finans bør utvikle en felles strategi for hvordan Norge kan akselerere utrulling og kostnadsreduksjonen innen sol, vind, hydrogen og batterier. Oslo kommunes Energistrategiprosess og Akershus fylkeskommunes hydrogenstrategi kan være gode forbilder.
- Håp gjerne på at det kommer enda bedre teknologier, men ikke vent på dem. Forvent prisrevolusjon, men bare dersom markedet får vokse.
- Bruk utbyttepolitikk og offentlig eierskap for å styre arbeidende kapital inn mot å lete etter løsninger innen fornybar energi.
- Stat og kommuner bør være krevende kunder, og etterspørre løsninger før de er konkurransedyktige. Den offentlige ressursbruken må styres slik at den kan redusere barrierer for private aktører med behov for samme løsning.

Forskningsrådet

- Rammevilkårene for forskning innen sol, vind, batterier og hydrogen må tilpasses at industrien i disse feltene ikke har like stabile inntekter som modne markedsaktører. Tempoet i Asia er så høyt, at et års forsinkelse på grunn av en markedsvingning kan være kritisk.

Kartlegg mulighetene for din bedrift til å ta del i fornybar-verdikjedene. Fokusér mot forbedrede tjenester, eller produksjonsprosesser for komponenter, som kan inngå i verdikjedene for sol, vind, hydrogen eller batterier.

Del II

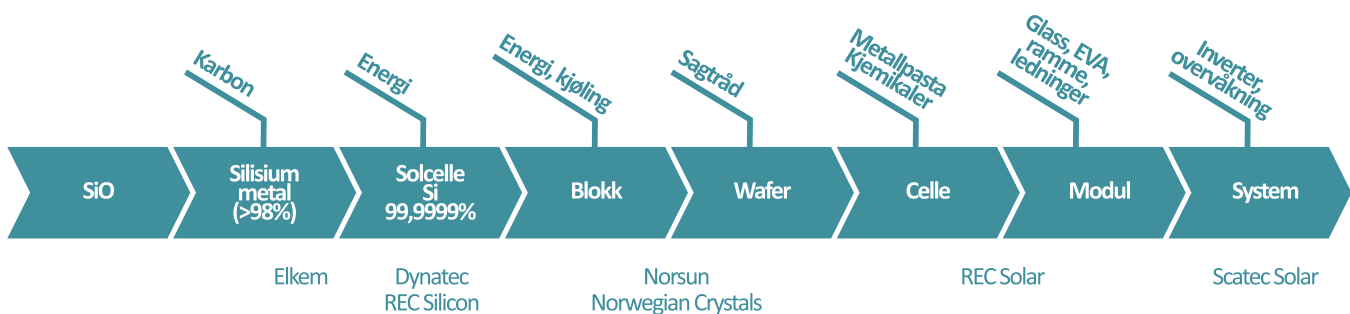
Verdikjeder og norsk verdiskapning

For å se etter Norges muligheter i de nye verdikjedene, må vi nå gå mer i detalj. For hver av de fire hovedsporene, vil vi synliggjøre både kompleksiteten i verdikjeden, og de norske aktørene som allerede har definert tydelige posisjoner i disse markedene. Eksemplene kan være en inspirasjon til å tenke på andre relevante kompetanser og roller som fortsatt kan finne en plass. Vi gir også vår egen teknologiske spådom, og ser på hva vi antar at vil endre seg i løpet av de neste årene.



Sol

Når vi i denne rapporten omtaler solenergi, snakker vi om fotovoltaiske solceller, hvor sollys omdannes direkte til elektrisk energi. Det finnes også teknologier for solvarme og for anlegg der sollys konsentreres, og varmer opp væske som driver en dampturbin, de er ikke omtalt her. Blant de fotovoltaiske solcelleteknologiene finnes det billige tynnfilmceller og svært effektive tandemceller, som heller ikke omtales her. Disse teknologiene har sine nisjer, men den store utviklingen skjer i dag i de silisiumbaserte solcellene. Det er bare disse som har klart å kombinere ressurstilgang, produksjonsprosesser, verdikjeder, levetid, fleksibilitet, effektivitet og kostnad til en helhet som har klart å ta av. Verdikjeden for silisiumbaserte solceller ser omtrent slik ut:



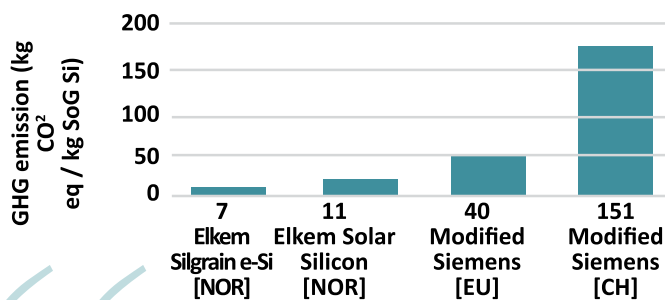
Norge har aktører i mange av leddene i denne verdikjeden. De har alle en 'pole position' i sine markeder, og kan skape vekst rundt seg ved å ha dyp kunnskap om hva som kan forbedres. Elkem lager metallurgisk silisium, som kan videreføres langs flere veier, enten i Elkems egne renseprosesser, eller ved å lage silangass. REC Silicon, notert på Oslo Børs, men med fabrikker i USA, er verdens største produsent av silangass, og produserer selv solcellesilisium. Dynatec har utviklet en ny silisiumproduksjonsreaktor som kan konkurrere mot det siste prosessstrinnet i REC Silicons fabrikker. I blokk-trinnet skiller vi mellom støpeprosesser for multikrystallinsk silisium, som Elkems nye fabrikk på Herøya, og trekke-prosesser for monokrystallinsk silisium, hos Norsun og Norwegian Crystals, som også sager egne wafere. Elkem har kjøpt REC Solars fabrikker i Singapore, med wafersaging, celleproduksjon og modulproduksjon. I slike fabrikker brukes det komponenter som Hydros aluminiumsprofiler, og det er her Mosaic vil selge elektrisk ledende lim. I systemssegmentet er Fusen og Otovo eksempler på norske aktører, mens Scatec installerer solcelleparker over hele verden, med komponenter fra Eltek og Prediktor. Markedsnisjene til noen sentrale selskaper presenteres over de neste sidene, før vi avslutter med noen idéer om hvor Norge kan ta nye posisjoner.

Norge har aktører i mange av leddene i denne verdikjeden. De har alle en 'pole position' i sine markeder, og kan skape vekst rundt seg ved å ha dyp kunnskap om hva som kan forbedres



Forskningsinstituttets rolle - Å forklare hva som skjer i komponentene

Ved å gå detaljert inn i strukturen i en gitt teknologi, kan forskerne finne ut hvilke mekanismer for energitap som finnes, og dermed anslå hva man kan vinne ved å redusere disse tapene. Det diskuteres ofte spørsmål som 'hvor bra kan solcellen bli'. Selv om det er vanskelig å si med sikkerhet hvilke oppfinnelser som kan dukke opp, er det visse fundamentale begrensninger som vi uansett må forholde oss til. Ved å kartlegge tapsmekanismer kan man også lokke frem løsninger.



Elkem har en svært energieffektiv prosess, og tilgangen til ren norsk energi gir i tillegg enda lavere CO₂-utslipp enn sammenliknbare prosesser hos konkurrentene.

Elkem Solar - spesialisert silisiumproduksjon

Fra Sam Eyde tok initiativ til 'Det Norske Aktieselskap for Elektrokemisk Industri' (siden kjent som Elkem) i 1904 har kombinasjonen av vannkraft og metallurgisk kompetanse gitt grunnlag for omfattende norsk eksport. Elkem omdanner kvarts til silisium, men foredler også silisiumet til en rekke ulike produkter. Elkem eksporterer i dag solcellesilisium for 730 mil. NOK per år⁴⁰.

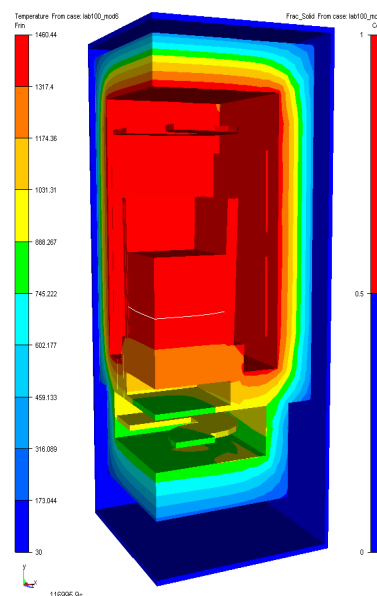
Elkems har utviklet sin egen spesielle størkningsprosess, som fjerner urenheter nesten like effektivt som silanbaserte prosesser. Størkningsprosessen dessuten svært lik blokkstøpingstrinnet som pleier å følge som en separat prosess. Dette har gjort det mulig for Elkem å introdusere sin 'forenklete verdikjede', der solcellesilisiumet kan selges i blokker klare for saging. Silisiumfabrikken har dermed overtatt første trinn i det som tidligere ble gjort i waferfabrikken. Blokkstøpingen krever mye både energi og kjøling, men lite arbeidskraft. Den er dermed godt egnet for norske forhold, og har lagt grunnlaget for at Elkem nå gjenåpner produksjon på Herøya i RECs tidligere lokaler.

Elkem har en svært energieffektiv prosess, og tilgangen til ren norsk energi gir i tillegg enda lavere CO₂-utslipp enn sammenliknbare prosesser hos konkurrentene, som illustrert i figuren. Elkem Solar Silicon® har likevel noe mer urenheter enn standardkvaliteten i solcelleindustrien. De spesielle urenheterne i Elkems moduler slår ulikt ut under standard celledtesting i fabrikken og ute i felt. Spesielt ved høy temperatur eller svært sterk solinnstråling, gjør Elkem materialet det bedre i felt enn under test³⁷. Det å forstå disse detaljene, og ikke minst å kunne dokumentere dem, har selvsagt stor betydning for verdien av panelet som kan selges til sluttbrukeren. Elkems unike produksjonsprosess har derfor gitt utfordringer i markedet. Dette er godt illustrert gjennom at Elkem valgte å kjøpe REC Solars solcellefabrikk for å sikre en stabil kunde, mens Elkem Solar Silicon® beviser sin verdi.

Forskningsinstituttets rolle - Prosesssimulering

IFE og SINTEF har i samarbeid utviklet prosesssimulatoren SiSim, som tillater å simulere størkningsprosesser på mange lengdeskalaer. Simulatoren tillater fabrikkene å teste ideer for prosessoptimalisering teoretisk før de bruker millioner på et storskala støp. Tilsvarende software brukes for optimalisering av Hydros aluminiumsproduksjon.

IFE bistår også silisiumprodusentene med å forstå hvordan ulike urenheter eller korngrenser i silisium påvirker virkningsgraden til den ferdige solcellen. Dette kan igjen hjelpe til i avveininger om produksjon – hvor mye ressurser er det verdt å bruke for å fjerne en viss urenheter?



Dynatec - silan til silisium

Tradisjonelt omdannes silisiumet til silan-gass, så renses silangassen, før den igjen omdannes til superrent silisium. Det siste trinnet utføres i en såkalt Siemens-reaktor, mens REC Silicon benytter en egen teknologi kalt Fluidized Bed Reactor. I begge tilfellene tilføres varme for å omdanne silangass til hydrogen og rent silisium.

Dynatec as ble tildelt Forskningsrådets innovasjonspris for 2016, for en roterende reaktor med muligheten for å kutte energiforbruket i denne prosessen dramatisk. Det roterende reaksjonskammeret virker som en kunstig høy gravitasjon. Fordi hydrogen er lettere enn silan, gjør det at hydrogenet raskt drives vekk fra reaksjonsflaten. Dermed går reaksjonen langt raskere, og ved lavere temperatur. I tillegg blir utnyttelsen av silangassen nær 100%. Prosessen vil kunne utgjøre en radikal endring i sin markedsnisje, en endring som kan være stor nok til å oppveie for kostnaden ved å erstatte eksisterende produksjonslinjer. Samtidig vil teknologien være kompatibel med hele resten av verdikjeden, og dermed kunne ta markedsandeler svært raskt. Løsningene som ligger til grunn for reaktoren, med ekstreme materialkrav, temperaturvariasjoner og gasser med sikkerhetsutfordringer gjør reaktoren krevende å kopiere.



Foto: Dynatec

Norsun og Norwegian Crystals - høykvalitets wafere

Etter en tøff omstrukturering i 2013, er Norsun igjen blitt en suksesshistorie. Norsun eksporterte i 2015 silisiumwafere for 770 MNOK³⁸, og leverer til de aller mest krevende solcellekundene i verden. Norsuns fortrinn er basert på kombinasjonen av billig kraft, billig kjøling, og høy kompetanse i en prosess som ikke er lett å kartlegge, samtidig som den krever relativt få ansatte. Norwegian Crystals er en annen aktør i samme marked, men kan foreløpig ikke matche omsetningen til Norsun.

Den spesielle størkningsprosessen som brukes av disse selskapene tillater at hele silisiumblokken som støpes blir en enkelt krystall. Når sollys rister løs elektroner i solcellen, vil de helst ha hjelp av en defekt eller urenheter for å klare å slå seg til ro igjen, en såkalt rekombinasjon. En monokrystallinsk wafer vil tilby få slike defekter, og tar derfor vare på flere av de aktiverte elektronene. Rekombinasjon kan skje i waferen, men også ved kontakter, overflater eller i p-n-overgangen. Etter hvert som solcellefabrikkene lager bedre kontakter og overflater, eller skifter til p-n-overganger basert på amorft silisium (HiT-celler), blir dermed rekombinasjon i selve waferen viktigere, og Norsun og Norwegian Crystals' posisjon i verdikjeden blir enda mer verdifull.

Prosessen vil kunne utgjøre en radikal endring i sin markedsnisje, en endring som kan være stor nok til å oppveie for kostnaden ved å erstatte eksisterende produksjonslinjer. Samtidig vil teknologien være kompatibel med hele resten av verdikjeden, og dermed kunne ta markedsandeler svært raskt.



Forskningsinstituttets rolle - Å fasilitere pilottesting

Utviklingen av Dynatec-reaktoren er et godt eksempel på samspill mellom industri og forskning. En av oppfinnerne av reaktoren har bakgrunn fra å ha jobbet med silan-basert silisiumproduksjon ved IFE. Dynatec utviklet så selve reaktoren, basert på sin kompetanse innen roterende maskineri med ekstreme presisjonskrav. IFE har en godt utbygd infrastruktur for silangass, i tillegg til kompetanse om sikker bruk av gassen. Dermed ble det naturlig å teste reaktoren på IFE. Andre generasjon reaktor er nå under uttesting i samme hall. Kjemien i silanprosessen i Dynatec-reaktoren har mye felles med RECs FBR-prosess, og IFEs egen Free-Space-Reactor (FSR). Ved å bruke FSR-reaktoren for modellstudier i sol-FME-senteret, utvikles dermed kompetanse som Dynatec nyter godt av i utviklingen av sitt produkt.

Norges største eksportør av fornybar teknologi selger ikke vannkraft, de selger solcelleparker.

Scatec Solar

Norges største eksportør av fornybar teknologi selger ikke vannkraft, de selger solcelleparker. Alf Bjørseth liker å gjøre oppmerksom på at en enkelt installasjon i Sør-Afrika har like mange paneler som det som var verdensmarkedet for solceller den gang REC ble grunnlagt. Parken på bildet dekker alene 8% av Rwandas strømforsyning³⁹.



Foto: Scatec Solar

Scatec har benyttet Norges tradisjonelle nettverk av ambassader, kombinert dem med oljeindustriens prosjektkompetanse, og den tidlige norske solcellekompetansen. Med tilgang til sol-kompetent risikokapital gjennom aktører som Norfund - og dem som er villige til å bruke Norfund som kvalitetskontroll – har dette tillatt Scatec å hevde seg i konkurransen om store anbud på nye energiinstallasjoner over hele verden. I 2016 ga dette en omsetning på 1,1 Mrd NOK⁴⁰. Ved å strømlinjeforme prosjektorganisasjonen kan igjen vesentlige kostnader spares i prosjektering, samtidig som prosjekthistorikk og detaljkunnskap om ytelse, degradering og vedlikehold gir redusert risiko, og dermed rentekostnad.

Prediktor og Eltek – komponenter til solparkene

Gigantanlegg som dette, og når man i tillegg har svært mange av dem, stiller igjen helt nye krav til løsninger for overvåking og vedlikehold. Prediktor har spesialisert seg i denne nisjen, ved å tilby software og hardware for drift av store solcelleinstallasjoner.

Drammensselskapet Eltek har også funnet sin plass i parkene. De selger vekselrettere, som omgjør den variable likestrømmen fra solcellene til en fast vekselspanning. Eltek har også utviklet løsninger som kombinerer vekselretteren med et batteri, og dermed tillater at strøm produsert mens forbruket var lavt kan brukes etter at solen har gått ned. Slike løsninger kan allerede være lønnsomme på steder uten nett, eller der avgiftene er høye, og med fallende batteripriser kan de bli konkurransedyktige også i strømnnett med store prisfluktasjoner.

Forskningsinstituttets rolle

- Å finregne på nye mekanismer for energitap

IFE har de siste årene bistått Scatec i å kartlegge betydningen av støvansamlinger på solcellepanelene. Særlig i ørkenområder i Afrika, kan det være naturlig å være bekymret for hvorvidt støv som samler seg kan redusere strømproduksjonen. Vasking av millioner av paneler er kostbart, og vann er ofte vanskelig tilgjengelig. Gode prognoser for støvtap har betydning for usikkerhet og dermed renten som kreves for å finansiere prosjektet.



Fusen, Otovo, og mange andre – det norske hjemmemarkedet

I tillegg til selve solcellemodulen, kreves det både produkter og tjenester før man har strøm fra taket. Selskaper som Fusen og Otovo har funnet ulike forretningsmodeller for å hjelpe sluttbrukere med å få på plass en totalløsning. Tjenestene inkluderer vurdering av lokale forhold for produksjon, og valget av modul, inverter, monteringsløsning. Det er viktig å huske at kjøpere av solceller ikke bare kjøper energi. Solcellene kan være et statussymbol, en mulighet til å tilfredsstille krav om pluss hus med tilhørende husleieøkning, de kan være erstatning for takmaterialer eller fasadematerialer. Kunder er villige til å betale ekstra for pene eller diskrete moduler.



De grønne fasadeplatene på Solsmaragden er solcellepaneler. Foto: Union Eiendom, Monique Anne Marchand

Solsmaragden i Drammen er et eksempel på at solceller ikke bare skal være energieffektive. Her ville arkitekten ha grønn fasade, og solcelleinstallasjonsselskapet Fusen fant en løsning. Disse solcellemodulene har et tynt lag med et reflekterende belegg på deler av overflaten. Strømproduksjonen synker litt, men arkitektene får det de vil ha. Problemet kan også løses på cellenivå, med mindre tap, men det krever et større marked.



Foto: Asko

Plusskundeordningen gjør at strøm fra solceller på bygg konkurrerer mot summen av nettleie, elavgift og strømkostnad⁴¹. Da kan solceller være konkurransedyktig allerede i dag. For store anlegg kan også grønne sertifikater gi økt lønnsomhet. Asko Vestby har hittil rekorden i størrelse i Norge – de har et strømforbruk som også er høyt på solrike dager, noe som gir dem høy utnyttelsesgrad av egenprodusert strøm.

Bedrifter der strømforbruket i stor grad er knyttet til aircondition vil selvsagt ha ekstra fordeler av solceller. For store deler av offentlig sektor, eller i private selskaper

med begrenset kapital, kan det være et problem at det finnes et strømbudsjett, men ikke et investeringsbudsjett for solceller. Selskapet Otovo har derfor fulgt modellen fra SunEdison og Solar City, og tilbyr en løsning der de selger strøm, ikke paneler. Otovo bidrar med å skaffe kapital og evt vedlikehold, i tillegg til installasjon. Gjennom standardisering og automatisering av deler av salgsapparatet, kan de allerede i dag tilby kontrakter på 60 øre/kWh, det er billigere enn å kjøpe strøm fra nettet.

Det er viktig å huske at kjøpere av solceller ikke bare kjøper energi. Solcellene kan være et statussymbol, en mulighet til å tilfredsstille krav om pluss hus med tilhørende husleieøkning, de kan være erstatning for takmaterialer eller fasadematerialer.

Forskningsinstituttets rolle

- Bringe inn løsninger fra andre land og teste dem under norske forhold. Selv om solceller har blitt modne i Tyskland, er det utfordringer ved overføring til Norge. Norske byggestandarder, snølast, takkonstruksjoner, strømtariffer og importregler kan gjøre at løsninger ikke er direkte overførbare. Det har vært krevende å få gode anslag for potensiell produksjon, blant annet grunnet manglende detaljering i samspillet værkart/topografisk kart.



Veien videre, nye nisjer for Norge

Det er potensiale for prisreduksjon i alle deler av kjeden, men de største gevinstene kan man få om solcellens effektivitet kan økes fra dagens ca 20%. Her er det særlig celleproduksjon som gir nye muligheter, og tilgangen til høykvalitetswaferer fra Norsun og Norwegian Crystals, uten politisk risiko, kan være et konkurransefortrinn.

Det er potensiale for prisreduksjon i alle deler av kjeden, men de største gevinstene kan man få om solcellens effektivitet kan økes fra dagens ca 20%

Det finnes noen demonstrerte hovedretninger for hvordan dagens standardcelle kan bli bedre, uten at vi må starte en helt ny verdikjede. Sunpower har en solcelle der alle kontaktene er på baksiden. De kan dermed utnytte mer av lyset og få mer strøm (23%⁴²). Panasonic har forbedret spenningen i kontaktene med en amorf silisium tynnfilm i den såkalte HIT-cellen, kan spenningen økes litt (23%⁴³). Det er også mulig å gjøre begge disse på en gang, til det som kalles baksidekontaktert HIT, som inntil oktober 2016 hadde verdensrekorden for silisiumbaserte celler (26%⁴⁴). Her har ingen hittil demonstrert masseproduksjon, men det er beskrevet produksjonsmetoder med svært lave kostnadsmål. I tillegg kan man lage en 'dobbel' solcelle, der en tynnfilm solcelle av f.eks GaAs legges oppå solcellen. Dette har vært demonstrert på lab i en 30% celle⁴⁵, men det er ikke gitt at det kan masseproduseres billig nok. Om Norge skulle startet ny celleproduksjon i dag, vil det antakelig måtte være basert på en av disse teknologiene. Med ekstreme kvalitetskrav og høy automatisering, kan man se for seg fabrikker med få ansatte, men høy verdiskapning. 2-4%p effektivitetsgevinst kan være verdt kostnaden ved å måtte bygge ny cellefabrikk. De vil det også åpne seg muligheter for norske utstysprodusenter. Tronrud Engineering var en viktig leverandør da REC bygget sine fabrikker i Norge, og beholdt en rolle da RECs fabrikk i Singapore ble bygget. Det er lett å glemme at i perioden da kinesisk solindustri utkonkurrerte de tyske fabrikkene, var det samtidig svært gode tider for tyske utstysleverandører, som solgte den ene fabrikklinjen etter den andre. Ofte er det utstysleverandørene som utvikler de nye prosessene, mens cellefabrikkene konkurrerer på prosesskompetanse og pris på en åpen plattform. Kun få selskaper, som Panasonic og Sunpower, har unike prosesser som gir varige konkurransefortrinn.

Generelt er det mulig å foreslå mange forbedringer av standardprosessen, men i dagens økonomiske situasjon med overkapasitet er det ønskelig at forbedringene lar seg inkludere i eksisterende fabrikklinjer. Loddeprosessen i modulfabrikken kan lett skade cellene. Mosaic, et lite norsk oppstartsselskap, har derfor sett på muligheten for å erstatte loddeprosessen med bruk av et ledende lim. Dette er et eksempel på en radikal endring av et enkelt produksjonstrinn som er mulig innenfor en eksisterende verdikjede. En like radikal mulighet ville være om noen kan utvikle en aluminiumspasta som tillater lodding. I dag må deler av solcellen kontaktes med sølvpasta for å sikre god nok lodding. På forsiden vil en vellykket prosess for å erstatte sølvkontaktene med kobberkontakter også kunne gi store reduksjoner i materialkostnader. For moduler er det et press mot rammeløse eller bygningsintegreerte moduler, og enklere installasjonsløsninger. Intelligent integrasjon av solceller med batterier og hydrogen kan også gi tilleggsprodukter.

En stor visjon for Norge:

- Sett sammen en gruppe investorer med et felles mål om en full-robotisert solcelleprosess med minst 25% solcelleeffektivitet basert på ett av de to alternativene over. Bruk all tilgjengelig norsk sol-industri-kompetanse til å evaluere alternativene.
- Kjøp nødvendig kompetanse internasjonalt, for eksempel solcellefabrikkene til Panasonic, eller utstysleverandørene deres.
- Lag en pilotlinje i Norge som kan produsere til et krevende nisjemarked, så man tjener penger i optimaliseringsprosessen. Gjerne nær Gardermoen, så Osaka, San Fransisco og Beijing ikke er for langt unna.
- Bygg megafabrikk når produktet er modent.

En litt mindre visjon:

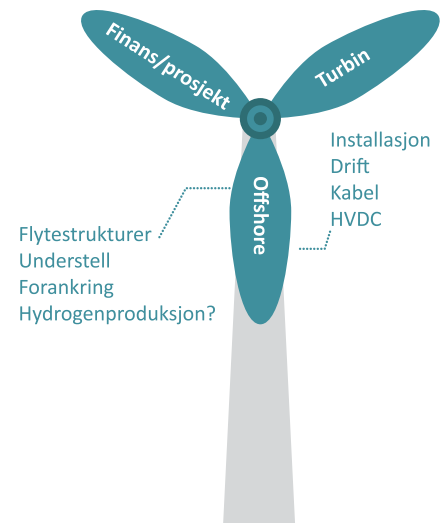
- At alle som eksporterer solcelleprodukter fra Norge, får en rettighetsbasert prosentvis forskningspott (1% av netto eksport?) som de kan bruke til å kjøpe forskningstjenester fra prekvalifiserte institusjoner i Norge.

Vind

De fleste vindturbiner som settes opp i dag har tilnærmet lik design. En stor, trebladet rotor er festet til en nacelle med plass til generatoren. Nacellen kan dreie seg fritt på toppen av et høyt tårn. Vind har lenge vært betraktet som den suverent billigste fornybare kraftressursen i de fleste markeder. Sammenliknet med sol, vil vind ofte ha flere driftstimer per år, og dermed flere kWh per kW. Vindturbiner utgjør allerede i dag en av Danmarks største eksportnæringer. Likevel er det få norske underleverandører i denne bransjen. For landbasert vindkraft fremstår markedet som modent, og vanskelig å bryte inn i. Det kan likevel finnes nisjer, og noen muligheter er illustrert under. Turbinbladene lages i dag av glassfiber, med noe tre, stål og karbonfiber. Avansert kompetanse om karbonfiber, som kan gi fleksible vinger med lang levetid, vil kunne gi markeds-muligheter i samarbeid med riktig turbinprodusent, om prisen blir lav nok. Ellers kan det kanskje være mer å hente på riktig drift av parker, der el-marked, IKT og organisasjon blir viktig kompetanse. For Norge kan det likevel være riktig å se mot offshore vind som det mest lovende vekstmarkedet.

Generelt gjelder det at det er langt dyrere å bygge offshore enn onshore. Det er likevel gode grunner til at offshore vind er i rask vekst i mange markeder. Det er nok plass, ute av syne, og med få negative miljøkonsekvenser, og vinden blåser sterkere og oftere over hav enn over land. Landtransport kan begrense størrelsen på strukturer, offshore er det ingen broer eller strømledninger å ta hensyn til. De fleste offshore vindturbiner er laget omtrent som de som står på land. Tilleggs kostnadene inkluderer installasjon, fundamentering, nett-tilknytning, og risikovurdering.

Statoil har satset tungt på offshore vind, og er et av verdens ledende selskaper innen flytende teknologier. Statkraft var lenge store, men har trukket seg ut av markedet. ABB og Nexans selger kraftelektronikk og kabler til parkene. Fred Olsen-gruppens Windcarrier lager spesialskip for installasjon av turbiner. Engineeringselskaper som Dr. techn. Olav Olsen selger både tjenester og utvikler nye flyterkonsepter. Fugro OCEANOR selger værovervåkning, mens Kongsberggruppen utvikler tjenester for overvåkning av hele parker, mens Kjeller Vindteknikk måler og modellerer vindressurser. Maling, betong, stål, servicetjenester – det er mye felles mellom offshore olje og offshore vind. Men prispresset er sterkere, og mange har latt anledninger gå fra seg til å ta roller i vind, mens tidene var gode i olje.



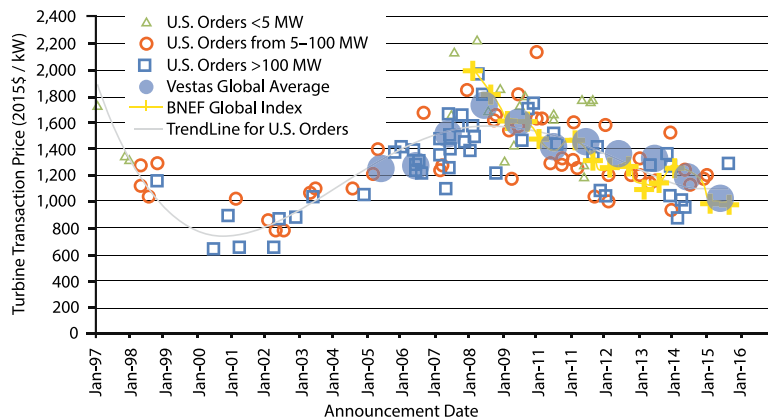
For Norge kan det likevel være riktig å se mot offshore vind som det mest lovende vekstmarkedet.

Forskningsinstituttets rolle

- Å bringe inn basiskompetanse på tvers av sektorgrenser

Aerodynamikk er aerodynamikk, uavhengig av fagfelt. IFEs fremste vindforsker har bakgrunn fra å simulere helikopterrotorer for NASA i USA. Ettersom helikopter-industrien har hatt langt strengere krav til ytelse og mer penger enn tidlige vindturbininstallasjoner, tillater dette nå en gratis læring, der vindindustrien kan ta i bruk teorier utviklet i et mer krevende marked. Software utviklet av IFE for vindturbiner har så videre blitt brukt i design av broer. Optimaliseringsstrategier og beregningsmetodikk utviklet for å dimensjonere vindturbiner kan dermed potensielt gi milliardbesparelser i broprosjekter.





Kilde: Berkley Lab

De siste auksjonene for offshore vind har også gitt overraskende lave strømpriser, og Vattenfall satte nylig prisrekord med å gå under 5€c/kWh, under 50 øre pr kWh.

Markedsutvikling

Vindturbinprisene har ikke falt like raskt som solcelleprisene. Spesielt i årene rundt 2008, var det større etterspørsel enn tilbud. Samtidig var stålprisene uvanlig høye. Selv om Kina også har investert massivt i produksjonskapasitet for vindturbiner, har USA og Europa klart å opprettholde markedsandeler. En stor utfordring for vindindustrien er hvordan strukturene skalerer. Fordi vindforholdene er bedre høyere oppe, har vindturbiner vokst seg svært store. Dette har gitt stadig nye utfordringer

i materialer og elektronikk. Hastigheten på rotorbladene må begrenses fordi kollisjoner med regndråper gir kraftig erosjon, og vektstangprinsippet gir enorme belastninger på akslinger og blader. Enkelte aktører promoterer alternative design for vindturbiner, men fordelene har hittil ikke vært store nok til å gi en endring i markedet.

Etter en periode med ubalanse i markedet og høye marginer, har prisen på vindkraft på land sunket ned mot 20 øre/kWh i USA⁴⁶. De siste auksjonene for offshore vind har også gitt overraskende lave strømpriser, og Vattenfall satte nylig prisrekord med å gå under 5€c/kWh, under 50 øre pr kWh. I dette tilfellet har kontraktsutforming hatt mye å si, særlig det at utbygger slipper enkelte typer regulatorisk risiko, at lokasjonene har vært svært gunstige, og at tilknytningskostnader har vært holdt utenfor.

Kapitalkostnader påvirkes sterkt av alle typer risiko, så når myndighetene kan bidra med effektiv risikoreduksjon, knyttet til bølgemålinger, geoteknikk, dyreliv eller konsesjonsvilkår, gir det umiddelbar reduksjon av energikostnad. Likevel illustrerer dette hvordan politikken har klart å fremtvinge en betydelig marginreduksjon på kort tid, og at markedet nå er stort nok til å tillate effektiv konkurranse. Det viser samtidig at offshore vind kan ha en fremtid også etter subsidiene.



Forskningsinstituttets rolle

- Å tenke helt nytt, og å sikre at de som tenker nytt tas på alvor
Det har ofte vært hevdet at dersom det bare fantes ingeniører, ikke forskere, ville vi hatt en utrolig god parafinlampe, men ingen glødelampe. I dag er parallellen like gjerne at vi ville hatt en god glødelampe, men ingen LED-lampe. Samtidig får forskere på IFE stadig forespørsler om vi kan evaluere en ny evighetsmaskin, eller noe som viser seg å være en. Vi tar oss likevel tiden til å evaluere skikkelig hver gang, i håp om å finne den geniale idéen. Filtringen av revolusjonerende muligheter innenfor fysikkens lover, fra rent oppspinn uten virkelighetskontakt, sikrer at idéer overlever og kan bringes videre til investorer med redusert risiko. Samtidig kan samfunnet bruke færre midler på ting som er fundamentalt umulige. Forskere med basisfinansiering kan drive frem idéer selv om modningstiden er lengre enn de fleste bedrifters investeringshorisont.

Fred Olsen Windcarrier og Siem Offshore - installasjonsskip

Norge har omfattende kompetanse i offshore, og Fred Olsen-gruppen, med Windcarrier, er blant aktørene som har omstilt seg fra å installere oljeplattformer til å installere vindturbiner. Windcarrier konstruerer skip som er spesialdesignet for montering av vindturbiner, og kan dermed være mer kostnadseffektive enn kraner som normalt brukes til montering av plattformer. Siem Offshore har nylig vunnet nye kontrakter for å legge kabler til offshore-vind-installasjoner. Begge disse selskapene omsatte for over 1 mrd NOK i vindmarkedet i 2015⁴⁷.



Foto: Fred Olsen Windcarrier

ABB – HVDC, Nexans – kabler

Norge er godt posisjonert for offshore-kvalifiserte komponenter til nettinfrastruktur i vindparkene. Nexans er allerede i god posisjon til å selge kabler til offshore vindparker. ABBs teknologi for HVDC kan like gjerne brukes mellom vindparker og land, som mellom Norge og Tyskland. Kraftledningene er både dyre og skjøre. For flytende vindturbiner kan det være overføringskabelen som stiller de strengeste kravene til avdrift. Dette fører igjen til dyrere forankringsløsninger. Mens Hywind Skottland har ca 2000 tonn stål i understellet, kan bare ankerkjettingen til en gruntvannsflyter komme opp i 1000 tonn. En mer robust strømkabel vil dermed kunne gi en vesentlig bedre pris⁴⁸.



Foto: Nexans Norway

Forskningsinstituttets rolle

- Å finne sin nisje i samspill med internasjonale partnere

Multinasjonale selskaper som Nexans og ABB illustrerer en utfordring for norske forskningsmiljøer. For at forskning utført i Norge skal ha god klangbunn i bedriftene, er det ofte nødvendig å ha direkte kontakt med forskningsavdelingen i bedriften. Men selv når fabrikker ligger i Norge, kan det være at corporate research i selskapet har hovedkontor i et annet land.

Hvis vi sammenlikner Norge med Tyskland, kan vi si at det er 20 ganger så mange mennesker. Da er det kanskje også 20 ganger så mange bedrifter, og 20 ganger antall forskere. Antall kombinasjoner av forsker/bedrift blir dermed 400 ganger større i Tyskland. Kreves det tre partnere er vi på 1/8000. For etablerte klynger er dette ikke et problem, fordi koblingene har oppstått systematisk over tid, ikke tilfeldig. Men for å skape en ny klynge som ikke har eksistert før, der gamle kompetanser settes i ny kontekst, kreves det kanskje 10 topp partnere. Da holder det ikke å tenke nasjonale allianser. EU-systemet gir nye muligheter, men det er ofte vanskelig å ta med seg de nasjonale partnere. Det skal helst være bare en fra vært land, og det er mye politikk og gamle relasjoner involvert i å sette opp konsortier. Forskningsfinansieringen må ta hensyn til dette dilemmaet, ellers vil vi ende opp med å kun støtte eksisterende klynger, og gi for liten vekst på nye områder.



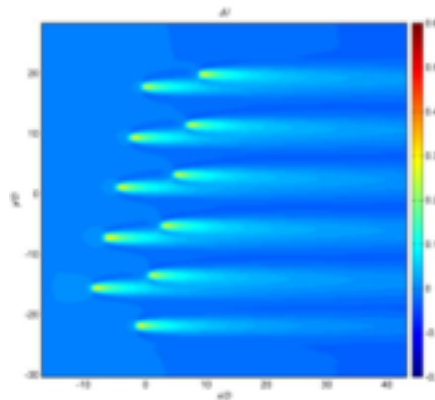
Turbiner på ulike posisjoner i parken opplever ulik slitasje, men designes og driftes ofte likt. Tilpasning på turbinnivå kan forlenge levetid på hele parken.

Kongsberg, Kjeller Vindteknikk, Fugro

– styring av Vindparker

En vindturbin skal leve i minst 20 år. I løpet av den tiden vil vinden ha dreid mange ganger, stormer, frost, støv, salt, hagl, erosjon, alger og skadedyr har gjort sitt beste for å stoppe driften. Den turbulente vaken bak en vindturbin, er ikke lenger så godt egnet for neste turbin. Under visse vindforhold kan vaken gi øket belastning på enkelte turbiner. Da kan det være lønnsomt for parkeieren å avlaste en turbin i en kortere periode for å øke levetiden.

Vindenergien handles på en kraftbørs med kvarters oppløsning. Når vinden øker over Nordsjøen, kan en god værmelding tillate parkeieren å selge strøm med god forutsigbarhet. Men om vinden plutselig går fra god til litt for god, og parken må stenge ned, kan konsekvensen bli et dyrt bortfall av allerede solgt kraft. Evnen til å foreta korrekte avveininger av risiko for skade mot økonomisk tap ved utkobling blir dermed en viktig faktor for parkens lønnsomhet. Turbiner på ulike posisjoner i parken opplever ulik slitasje, men designes og driftes ofte likt. Tilpasning på turbinnivå kan forlenge levetid på hele parken. Spesielt offshore vindparker vil ha krevende forhold for vedlikehold. Planlegging av vedlikeholdsoperasjoner i henhold til driftsvilkår og nåtilstand blir dermed en ny, viktig kompetanse, med krav om egne planleggingsverktøy.



Kongsberg og Kjeller Vindteknikk er blant selskapene som nå ser på kontrollrom for overvåking av vindparker som et nytt marked. Fugro selger vindmålere som tillater mer presis tilstandsovervåking. I samspill kan de spare operatører for store beløp, og øke verdien av investeringene som allerede er gjort.



Forskningsinstituttets rolle

- Å utvikle strategier og verktøy for optimal drift

IFE har en egen avdeling for kontrollromsutvikling, der teknologer og industripsykologer jobber sammen for å avsløre hvordan menneskene i kontrollrommet faktisk benytter det, og hvordan data skal fremstilles slik at de blir mulige å tolke og utløser riktige reaksjoner. Med bakgrunn i kontrollrom for kjernekraft, og arbeidet med å unngå menneskelige feil her, har kompetansen blitt tatt i bruk i offshore og i flyovervåking. Kontrollrommet skal bringe virkeligheten til beslutningstakerne. Det kan være like viktig å bringe beslutningsgrunnlag til operatører i felten. Gjennom 'virtual' eller 'augmented reality' kan sanser og tankekraft utvides til å omfatte målere, beregninger, og selskapets komplette driftshistorikk.



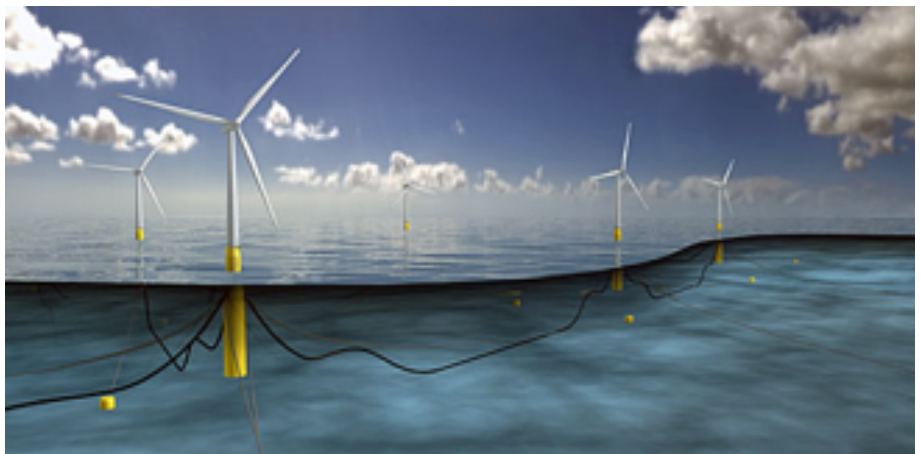
Foto: IFE

Statoil - Hywind

Statoils Hywind-konsept er et fremragende eksempel på hvordan tung kompetanse, teknologisk langsiktighet, tilgjengelig kapital og et forutsigbart marked kan spille sammen for å revolusjonere vår energiforsyning. Statoil har i sin satsning på fornybar energi lagt stor vekt på at de skal ha overførbar kompetanse fra andre aktiviteter. Offshore Vind har dermed vært et naturlig valg i lang tid. Allerede i 2009 installerte Statoil sin første demonstrator for Hywind-konseptet, en flyterkonstruksjon for store havdyp. Lange vektstenger og et design som gir lite direkte eksponering mot bølger gir en relativt kostnadseffektiv konstruksjon. Flyteren kan legges vannrett under transport fra grunne havner, og så senkes til vertikal posisjon på lokasjonen. Prototypen for Hywind overlevde orkaner der konkurrenter slet seg og sank, og prosjektet er nå i gang med å bygge sin første park, fem turbiner skal settes opp nær kysten av Skottland. Her er havdypene for store for bunnfast-teknologien som brukes i Nordsjøen, men vindforholdene er gode, og Statoil er nesten uten konkurranse. Hywind Skottland betegnes som verdens første kommersielle havvindpark basert på flytende turbiner. Risikoen i prosjektet har selvsagt vært stor, og tidsskalaen lang. En mindre aktør ville antakelig ikke klart å bære et slikt løft. Det å finne tilgjengelig risikokapital i Norge ville vært tilnærmet umulig med en slik risikoprofil. Men Statoil ville, og nå finnes teknologien. Og neste park blir større...

Statoils Hywind-konsept er et fremragende eksempel på hvordan tung kompetanse, teknologisk langsiktighet, tilgjengelig kapital og et forutsigbart marked kan spille sammen for å revolusjonere vår energiforsyning.

Men hvorfor havnet prosjektet i Skottland, og har det egentlig noe å si for Norge at dette Statoil-prosjektet ikke ble et norsk prosjekt? For Statoil var svaret opplagt. Det skotske parlamentet ønsket at Skottland skulle bli ledende på offshore vind, og garanterte priser for utbygginger. Skatteregimer og teknologi-utviklingsstøtte er tilpasset for å tiltrekke seg de tidlige teknologiaktørene. Sammen med høy strømpris på land og gode vindforhold blir valget enkelt. Men når prosjektet finansieres og gjennomføres i Skottland, går mange underleveranser også dit. Skotske selskaper står nærmest når en prosjektleder trenger å få løst et problem. Skotske driftsorganisasjoner blir eksponert for utfordringene, de ser kravene og løsningene først. Skotske universiteter får prosjekter knyttet opp mot installasjonen, som batteri-prosjektet Batwind. Norge kunne lett valgt å ta denne rollen.



Illustrasjon: Statoil

Forskningsinstituttets rolle - Å forstå grunnleggende fysikk

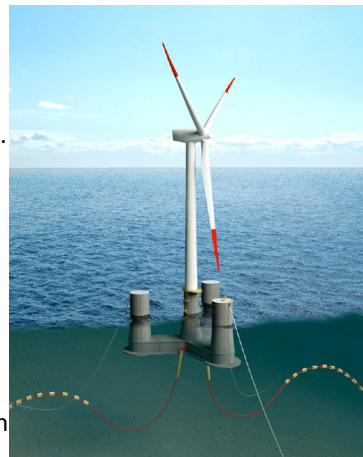
I møtet mellom kostnadspress, nye lokasjoner og mer bevegelige, men fast forankrede strukturer, dukker det opp nye utfordringer. Bølgeoppførsel på grunt og halvdyp vann er ikke tilstrekkelig forstått. Erosjon rundt pæler, turbulens over bølgetopper i vaken av forrige turbin, belastning på ankerkjettinger under kombinasjonen av vind og strøm – mye må modelleres for første gang.



Dersom alle kranløft kan foretas i dokk, med masseproduksjon på en gitt lokasjon, og så taues ut i havet for forankring, kan store deler av installasjonskostnadene elimineres, og fundamentering erstattes av ankerkjetting.

Dr techn. Olav Olsen – nye flyterkonsepter

Det store kostnadsreduksjonspotensialet for offshore vind kan vise seg å bli flytende turbiner. Dersom alle kranløft kan foretas i dokk, med masseproduksjon på en gitt lokasjon, og så taues ut i havet for forankring, kan store deler av installasjonskostnadene elimineres, og fundamentering erstattes av ankerkjetting. Olav Olsens StarFloat er et slikt konsept. Her brukes engineeringkompetanse fra vei- og oljesektorene til kostnadseffektive design tilpasset medium havdyp. Betongkonstruksjonen kan ha lavere kostnader enn flytere bygget av stål. I utviklingen av slike nye konsepter er engineeringsselskapenes kompetanse om dimensjonering og bølgebelastninger avgjørende, og de er avhengige av gode simuleringsverktøy. Akselerert testing i fullskala er tilnærmet umulig, fordi stormer kommer med uregelmessige mellomrom, og de mest ekstreme belastningene er dimensjonerende.

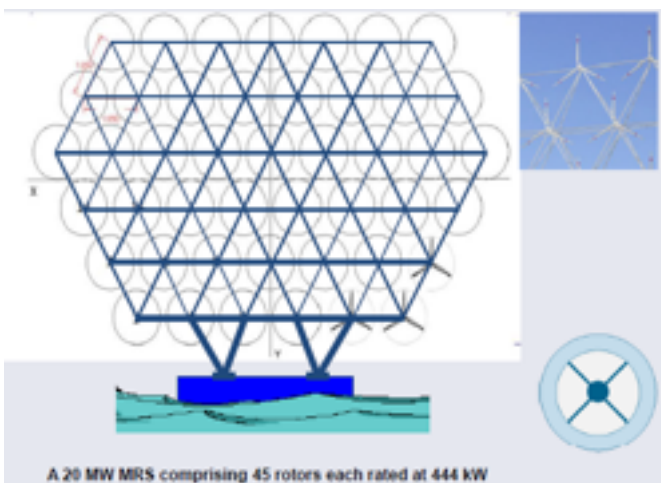


Ill: Dr. techn. O. Olsen. OO-Star Offshore Wind Floater (patent).

Fremtiden for offshore vind?

Det er mulig å tenke langt mer radikalt enn Hywind eller Starfloat. Hovedlærdommen fra solcelle-utviklingen er at masseproduksjon gir kostnadsreduksjoner. I offshore vind har driverne hittil vært i favør av større turbiner. Høyere opp, færre punkter å forankre og koble til nett, færre installasjoner å vedlikeholde. University of Strathclyde⁴⁹ er blant dem som har foreslått et radikalt brudd med trenden om at større er bedre. De har foreslått en multiturbin-design som kombinerer ønsket om store, sentrale flytere, med masseproduksjon av de prisdrivende komponentene. På land vil mange små turbiner inntil hverandre bli problematisk når vindretningen snur. Gevinstene på vedlikehold og kabling er små. Til sjøs kan hele installasjonen snus samtidig, og turbinenes relative posisjon blir uforandret. Bortfall av en turbin er heller ikke kritisk.

En slik konstruksjon vil umiddelbart 20-doble antall generatorer, den tilhørende markedsvæksten vil gi et godt byks på lærekurvene.



A 20 MW MRS comprising 45 rotors each rated at 444 kW

Illustrasjon: Jamieson, Large scale offshore wind energy systems the multi-rotor solution, EWEA Offshore 2015

Forskningsinstituttets rolle

- Å utvikle verktøy for konseptutvikling

IFE har utviklet verktøyet 3DFloat for å simulere offshore vindturbiner. Her simuleres samspillet mellom alle komponenter, vind og bølger realistisk i tidsplanet. Ved design av kommersielle vindparker, simuleres ofte ulike aspekter enkeltvis, før konklusjonene fra analysene samkjøres til slutt. En felles simulering reduserer usikkerhet, og dermed kostnader. Verktøyet kan brukes til å dimensjonere basert på lokale belastninger, eller drifte turbinen optimalt med hensyn aldring eller posisjon i vindparken. Det kan også simulere hendelser som kan forekomme under installasjon eller drift.



Kraftselskapene - det norske hjemmemarkedet

Norge er et land med lang kyst og mye vær. Vi har lenge utnyttet dette til å lage vannkraft, mens vindkraftressursen lenge var dårlig utnyttet. Norge har svært mange gode vindressurser, og match mellom vind og kraftbehov er ofte god. I Norden har vi et svært integrert energimarked. Det kan derfor virke underlig at DONG i Danmark og Vattenfall i Sverige går tungt inn i både on-shore og offshore vind, mens Norge holder igjen.



Foto: Adobe Stocks

I 2016 annonserte Statkraft, TrønderEnergi og Nordic Wind Power DA et samarbeid for å bygge nye vindparker på Fosenhalvøya, Hitra og i Snillfjord. De nye anleggene vil være mer enn Norges samlede vindkapasitet i dag⁵⁰. Når prosjektet nå settes i gang, må det sees i sammenheng med regulatoriske endringer i sertifikatmarked og avskrivningsregler, som tidligere gjorde det mer attraktivt å bygge kraft i Sverige enn i Norge. Vindsatsninger er ekstremt kapitalkrevende. Dette ene prosjektet er varslet å omfatte investeringer på omtrent 11 mrd NOK. Det er i stor grad eksisterende norske kraftselskaper som eier vindprosjektene, som med Statkraft og Trønderenergi, mens teknologien leveres fra utlandet. Næringsvirksomheten og teknologiutviklingen i byggefasen blir dermed begrenset. Vindparkutbygginger til gode vindlokasjoner i Norge er ofte begrenset av lokal overføringskapasitet og høye tilknytningskostnader. Det har vært lansert idéer rundt bygging av vindparker i Norge for eksport av flytende hydrogen. I så fall er det viktig å huske at prisnivået for hydrogenet kan være bestemt av andre aktører. Vind i Norge må ha lavere pris enn sol i Spania eller Australia, for at hydrogenet skal kunne få en kunde. Om hydrogenproduksjonen i tillegg sees i sammenheng med lokal forsyningsikkerhet eller produksjon av drivstoff til skip, kan prisbildet igjen bli annerledes. DNV har regnet på kombinasjonen av offshore vind og hydrogenproduksjon på plattform til havs, for å slippe strømkabel⁵¹.

Norge har svært mange gode vindressurser, og match mellom vind og kraftbehov er ofte god.



Forskningsinstituttets rolle - Å utvikle konsulenttenester før de er blitt rutine, og spinne ut selskaper når oppgaven blir rutine.

Da IFE startet forskning på vindkraft for over 30 år siden, var vindmålinger for norske vindparker en av tjenestene vi tilbød. Forskere dro rundt med målemaster og gjorde anslag for hvor mye en gitt lokasjon burde kunne gi av vind, og hvordan turbinene burde plasseres. Etter hvert som etterspørselen ble større, ble selskapet Kjeller Vindteknikk opprettet for å overta disse, nå mer rutinepregede, oppgavene. Kjeller Vindteknikk har i dag ca 25 ansatte.

Utfordringen for disse tradisjonelle underleverandørene er å klare å gjennomføre omstillingen sammen med Statoil, og konkurrere effektivt mot underleverandører i landene hvor parkbyggingen foregår.

Veien videre, nye nisjer for Norge

Den opplagte 'pole-position'-muligheten for Norge ligger i spesialisering mot offshore vind, noe som også er bekreftet med Statoils fornybar-strategi. Statoil satser helhjertet på offshore vind. For dem er det ikke viktig om utbyggingen skjer i Norge, i Nordsjøen eller utenfor New York. Statoils største prosjekt er ikke et olje- eller gass-prosjekt, men vindkraftutbyggingen på Doggerbank. Selv om mye av denne investeringen foretas utenfor Norge, og representerer gjennomstrømningsmidler i form av både turbiner og tjenester, vil en betydelig del av omsetningen og overskuddet ende i Norge. Tradisjonelt har Statoil kjøpt tjenester fra en underskog av norske spesialistfirmaer. De står nå i en gunstig posisjon for videre samarbeid, fordi de både kjenner Statoils bedriftskultur, beslutningstakere og dokumentasjonskrav. Utfordringen for disse tradisjonelle underleverandørene er å klare å gjennomføre omstillingen sammen med Statoil, og konkurrere effektivt mot underleverandører i landene hvor parkbyggingen foregår.



Foto: Statkraft

Av nisjeprodukter og tjenester med en mulig fremtid kan man fremheve fleksible rotorblader som kan tåle høyere vindstyrker, nye materialer til turbinakslingen som skal tåle enorme krefter i mange år, eller mer fleksible strømkabler som gir større toleranse for posisjonsforandringer, i tillegg til billige flyterkonsepter og effektiv parkdrift.

En stor visjon for Norge:

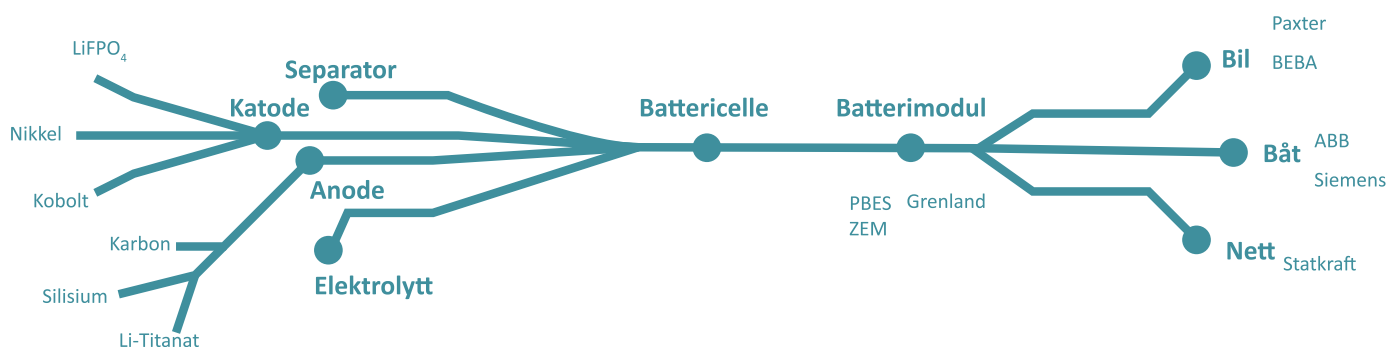
- Når det neste flyterkonseptet skal testes, bør ikke bare piloten testes i Norge, som det skjedde for Statoils Hywind. Norge bør gi konsesjoner for storskalatester av flytende offshore vind, for å øke sannsynligheten for at norske underleverandører rekker å utvikle kompetanse før de må konkurrere i utlandet. Konsesjonene bør gis målrettet for å bidra til teknologiutvikling, og innovasjonsgrad og langsiktig kostnadsprognose bør være tildelingskriterier. Bruk av flytende vindturbiner for å forsyne oljeinstallasjoner med strøm gir kanskje mer teknologiutvikling, og dermed langsiktig verdiskaping, enn strøm fra land.

En litt mindre visjon:

- Offshore-aktører bør få minst like gode incentiver for å forske på løsninger for offshore vind som for forskning på oljeutvinning.

Batterier

Batterier er ikke noe nytt i vårt samfunn. En rekke ulike batterikjemier har utviklet seg gjennom tidene, og mange har funnet en nisje de fortsatt trives i, men hvor vekstpotensialet er begrenset. I denne rapporten fokuserer vi primært på Li-ion-batterier, selv om for eksempel Kawasakis bruk av metallhydridbatterier for å ta vare på bremseenergien i tog også er svært spennende. Li-ion-batteriene er de letteste batteriene, og har svært god levetid. En mulig verdikjede kan se slik ut:



Norge er i liten grad aktive i sentrum av denne verdikjeden, men har muligheten til å ta markedsandeler fra begge ender. Innledningen til dette kapittelet blir derfor preget av mer muligheter enn eksisterende aktører. Norge har et verdensledende miljø for mineralutvinning og prosessering. Elkem og Dynatec har begge siktet seg inn mot å levere silisium for neste generasjon batterier. Borregaard leverer allerede biopolymerer til blybatterier, og ser på litium-ion som en mulig ny nisje. Jo mer foredlet og unit produkt de kan levere fra seg, jo større margin kan de kreve. Den store norske omsetningen kommer foreløpig på sluttbruk. Norge har verdensledende miljøer for å designe energisystemer i skip, med for eksempel ABB, Wärtsilä, Siemens og Rolls Royce. Når batterier skal integreres i skip, med nye sikkerhetskrav og dimensjoner, er DNV og Lloyds viktige aktører i arbeidet med standarder og klasseregler. Det er et eget nisjemarked for å sette sammen standardiserte celler til spesialiserte batteripakker. Her konkurrerer nå fire små selskaper, ZEM, Grenland, PBES og Corvus, om å lage de beste batteripakkene spesialtilpasset for skip. Samtidig har BEBA og Paxter funnet nisjer for nye kategorier rullende kjøretøy, muliggjort av batteriteknologien. Rett over grensen har svenskene både Volvo og Scania, om vi er åpne for nordisk samarbeid. Det finnes planer om å plassere en batterimegafabrikk i Sverige. Hvorfor ikke hos oss?

Norge er i liten grad aktive i sentrum av denne verdikjeden, men har muligheten til å ta markedsandeler fra begge ender.



Forskningsinstituttets rolle

- Å legge kompetansegrunnlag for fremtidig vekst

Få norske bedrifter har i dag mye batterikompetanse. Forskningsmiljøene bidrar med å utdanne både nye kandidater og videreutdanne teknologer som begynner å ta i bruk, eller utvikle produkter for, batterier. Forskningsmiljøene kan fylle kompetanseshull både for materialprodusenter som vil vite hvordan batteriene ønsker at materialene deres burde være, og for sluttbrukere som har krav til batteriets ytelse, og helst bør behandle det riktig.

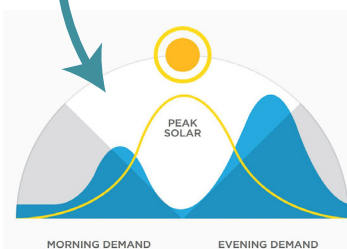
Opprinnelig ble mange batteriteknologier utviklet innen rammen av store elektronikk-konsern, som Sony, Panasonic, Toshiba eller LG. Med fremveksten av el-bil-markedet, restruktureres verdikjeden, med spesialisering og konkurranseutsetting i alle ledd.



Foto: Wikimedia



Foto: Nissan



Ill: Tesla/extremetech.com

Markedsutvikling

Når vi i dag snakker om en revolusjon i batterimarkedet, er det primært utviklingen av litium-ion-batterier vi snakker om. Det selges fremdeles flest blybatterier, men markedet vokser ikke nevneverdig. Akkurat som tidligere batteriteknologier utløste store markeder, som igjen utløste optimering av batteriene, har litium-ion-batterienes fremvekst vært koblet til noen store, nye markeder. Dette skyldes først og fremst deres uovertrufne egenskaper som batteri i mobiltelefoner og bærbare PC-er. I slike applikasjoner utgjør batteriet bare noen få prosent av produktets verdi, så det har vært rom for store investeringer for å sikre små gevinster i energitetthet, samtidig som levetidskravene har vært begrenset av mobiltelefonens raske omløpstad.

Kvalitets- og kostandsrevolusjonen fra mobiltelefonmarkedet gjorde det til slutt forsvarlig å sette en viss mengde batterier inn i en el-bil. Tesla valgte i sine første modeller å kamuflere batteriprisen i en dyr luksusopplevelse. Ved å lage et stilig design og tilby de beste kjøreegenskapene siktet de mot en nisje der pris betyr lite, og batteriets overpris betyr lite sammenliknet med alle de andre luksuselementene som inngår. En Think beviser ingenting. En Tesla sparker opp døren, så ingenting ser umulig ut. Men selv Tesla tjener ikke penger på batteribilene - ennå.

Teslas erklærte mål er derfor å dra markedsveksten videre inn i nett-balansering. Ved å tilby batterier også til å lagre energi fra hustaket hjemme, kan batterifabrikkerne bli større, kostnadene enda lavere. Slik håper de å drive ned kostnaden for bilbatteriet til elbilen ikke lenger er dyrere enn bensinbilen. Masseproduksjonsfordelen blir mulig bare dersom batteriene som inngår i begge produktene er tilstrekkelig like. Volkswagen har også veikart for megafabrikker, mens Kina hele tiden vil være garantist for at det finnes et lavpristilbud.

Siden Sony i 1990 lanserte det første oppladbare litiumbatteriet som ikke eksploderte alt for ofte, har batterikjemien endret seg relativt lite. Det har vært et utrolig prisfall, en kontinuerlig forbedring av levetid og sikkerhet, men den grunnleggende kjemien, og dermed energitettheten, er bare marginalt endret. Verdikjeden for batteriproduksjonen er derimot i dramatisk endring. Opprinnelig ble mange batteriteknologier utviklet innen rammen av store elektronikk-konsern, som Sony, Panasonic, Toshiba eller LG. Med fremveksten av el-bil-markedet, restruktureres verdikjeden for batteriene, med spesialisering og konkurranseutsetting i alle ledd.

Forskningsinstituttets rolle

- Å utvikle verktøy for konseptutvikling

Alle de små stegene som har gitt batteriene større kapasitet, lengre levetid eller lavere pris har vært basert på fundamental forskning om elektrokjemi, materialer og produksjonsprosesser. Summen av mange små forbedringer har gitt en revolusjon i hva batterier kan brukes til. Dagens batterier består av omtrent samme materialer som i 1980, men de overlever 10 år, i stedet for ett.



Mulige nisjer – råvarer til batterier

Anodematerialer

Grafitt brukes som anodemateriale for de fleste litium-ion-batterier som produseres i dag. Grafitt gir neste samme spenning som en litium-metall-anode, men er langt sikrere. Sikkerheten veier opp for lav materialtetthet – det trengs 6 karbonatomer per Li-ion som skal holdes på plass. Grafitt for batterier bør ha riktig form og overflate, ellers få urenheter. Grafitt kan enten utvinnes som naturlig grafitt, eller produseres fra fossilt brensel. Biografitt ville vært et mulig nullutslippsprodukt med markedsføringsverdi i et miljø-fokusert batterimarked. Litium-Titan-Oksid(LTO) er et svært trygt og robust batterimateriale. Det gir batterier med lavere spenning enn grafitt, og dermed lavere energitetthet, men kan syklus titusenvis av ganger og har svært lav risiko for litium-dendritter, en av de mest krevende brannrisikoene i de første litium-ion-batteriene.

Silisium har et teoretisk potensiale til å holde 4 litiumatomer per Si-atom, og kan slik tillate langt mer energitette batterier enn grafitt. Utfordringen som må løses er at silisiumet ekspanderer voldsomt når batteriet lades, og at det gir en ustabil flate mellom silisium og elektrolytt, med tilhørende degradering. Tesla bruker små mengder SiO i sine grafittanoder for å få lengre rekkevidde. Både Elkem og Dynatek forsker intensivt for å utvikle løsninger for å få mest mulig silisium i anoden, og få det til å bli like stabilt som grafitt.

Katodematerialer

Nickel-mangan-cobolt-oksyd(NMC) og deres nære slektning Nickel-Cobolt-Aluminium(NCA), er katodemateriale i mange batterier med høy energitetthet, deriblant de fleste bilbatterier. De har en god blanding av høy spenning og dermed høy energitetthet, og tolerabel sikkerhet. Om man er bekymret for mengden cobolt i verden, er Litium-jern-fosfat et utmerket batterialternativ. De har litt lavere spenning enn NMC-familien, men er svært syklingsstabile og trygge. Ved å blande noe mangan inn i LiFePO4 kan spenningen økes noe, uten å ødelegge sikkerheten. Om spenningen blir for høy, kan det igjen gå utenfor stabilitetsvinduet til vanlige elektrolytter, men her er det interessante muligheter i nær fremtid.

Separatorer, bindemidler og elektrolytt

De porøse membranene som holder katode fra anode representerer et enormt markedspotensielt. Separatorer utgjør en vesentlig kostnad, og har stor betydning for sikkerhet. De lages normalt av polymerer, men også glassfiber har vært brukt. De aktive materialene i batteriet holdes på plass av bindemidler. Vannløselige bindemidler vil kunne ha et konkurransefortrinn, her testes nå biopolymerer fra både alger og trær fra norske industripartnere. Katodematerialer og enkelte anodematerialer er elektrisk isolerende og er avhengige av ledende additiver, vanligvis små karbonpartikler, for ledningsevne. Bruk av grafen eller andre plass- og kostnadseffektive ledere vil gi nye muligheter. I elektrolytten kreves både løsemiddel og salter, i tillegg til en lang rekke additiver for sikkerhet og levetidsforlengelse. Til slutt kreves det kobber til anodekontakten og aluminium til katodekontakten (eller LTO-anoden), samt litt plast til innpakning.

Både Elkem og Dynatek forsker intensivt for å utvikle løsninger for å få mest mulig silisium i anoden, og få det til å bli like stabilt som grafitt.

Forskningsinstituttets rolle

- Å avklare produktspesifikasjoner og åpne døren til markedet.

IFE's hovedsatsning på batteriområdet er å finne en måte å gi litium-ion-batterier med silisium i anoden øket levetid. Vi jobber sammen med selskaper som Elkem og Dynatec for å finne ut hvilke av materialegenskapene i silisiumet deres som har verdi i et batteri. Testing hos oss kan igjen åpne døren hos kommersielle batteriprodusenter, som ellers har mer enn nok tilbud om nye materialer å teste...



BEBA og Paxter - batterikjøretøyer

Selv om privatbiler står for svært mye av transporten i Norge, er det en rekke andre nisjer som også trenger null-utslippsløsninger. Mange av disse er langt bedre egnet for batteri enn privatbilen. Først og fremst brukes mange kjøretøyer mye mer enn en gjennomsnittlig bil. Det gir større slitasje på motoren, og langt høyere drivstofforbruk per kW motor. Dermed blir CO₂-gevinsten per investering ofte langt bedre. Allerede en mild hybridisering kan gi en stor gevinst. Dieselmotorer er svært ineffektive ved lave turtall. En gravemaskin som kan ta maksimal kraft fra et batteri, kan tillate seg en langt mindre motor, som kan drives jevnt på optimalt turtall. Men det finnes også enda mer spennende konsepter.



Lithium Storage GmbH

Bellonas batteriselskap BEBA har lansert en enorm dumper for gruvedrift. Elmotorens evne til å gi full kraft allerede fra null hastighet er svært viktig i denne nisjen. Men dersom utvinningen er plassert riktig sammenliknet med logistikk-sentralen, det vil si høyere enn, kan en fullstet dumper kjøre

nedoverbakke til havna/toget, og kjøre tom opp igjen. Fordi bremseeffekten kan brukes til å lade batteriet, kan dumperen ende med å bli en netto strømprodusent. Deponi i gruver under bakken kan få samme effekt – fulle vogner går ned i gruva, tomme kommer opp. Kanskje de må koble seg på nett for å bli kvitt overskuddsenergien! I gruver har batteriene en ekstra fordel – de har ingen lokale utslipp som må ventileres ut.

Postens lille Paxter er en annen nisjebil. Her har det startet produksjon på Sørumsand. Fordi elmotorer og batterier er hyllevare i langt større grad enn bensinmotorer, blir det også lettere å komme inn i slike nisjer. Her har en offentlig kunde definert et behov før løsningen fantes. Det har gjort det mulig for en norsk bedrift å skape en nisje med betydelig eksportpotensiale etter hvert som byer verden over krever nullutslipp i sin postdistribusjon.



foto SMK

Her har en offentlig kunde definert et behov før løsningen fantes. Det har gjort det mulig for en norsk bedrift å skape en nisje med betydelig eksportpotensiale .

Forskningsinstituttets rolle

- Å indentifisere nisjer der batterier kan være lønnsomme tidlig

I FME-senteret MoZEES er det en egen arbeidspakke dedikert til å indentifisere bruksmønsteret for ulike transportbehov, for så å bruke dataene til å foreslå optimale løsninger for ren batteridrift eller hybridisering med batteri og hydrogen. En opplagt kandidat for det norske markedet er en lett traktor, for småoppgaver på gård.



Den maritime klyngen – hybridisering

De mest unike batteriprojektene i Norge er likevel de som kobler batterier med vår verdensledende maritime kompetanse. To av de første store prosjektene som virkelig viser mulighetene i en batteriløsning er Eidesviks supplybåt Viking Lady og Østensjøes Edda Ferd.

Hybridisering av supplybåter har en rekke konkrete fordeler. Dieselmotorer for skip har optimale driftsvilkår mens skipet er i overfart. De er derfor overdimensjonert for mange driftsoperasjoner, særlig i havn. Et batteri tillater dieselmotoren å enten kjøre på optimal effekt, eller å slås helt av. Selv under normal overfart blir det regelmessige fluktusjoner i energibehovet ettersom skipet klatrer på bølger eller synker ned mot bølgedalen. Batteriet kan igjen jevne ut kraftbehovet. Erfaringer så langt tilsier at hybridiseringen betaler seg gjennom redusert drivstofforbruk allerede etter fem år.

Ved ankeroperasjoner og andre effektkrevende perioder kan batterier gi langt billigere makseffekt enn dieselmotorer. Batterier koster mye per kWh, men kan koste lite per kW. Hybridiseringsbatterier er ofte laget for å kunne lades helt opp eller ut på 5 minutter, men da med en enorm effekt tilgjengelig i de minuttene. Av sikkerhetshensyn må en supplybåt nær en oljeplattform ha full redundans. Dersom en motor feiler må en annen stå klar til å overta. Batteriet er allerede en reservekraft i seg selv, og kravet om en ekstra motor blir dermed mindre aktuelt. Ved å fordele batteripakken rundt i skipet, kan sikkerheten økes ytterligere. Grieg rederiet bruker batterier til kranoperasjoner i havn. Det er alltid landstrøm er tilgjengelig eller økonomisk forsvarlig. En batteripakke for drift av kraner kan redusere behovet for å la motoren gå mens skipet ligger til kai, og dermed redusere NOx og SOx-utslipp. Energien som brukes for å løfte last opp, gjenvinnes når lasten senkes ned i skipet. Drivstoffinnsparingen kan betale for batteripakken i løpet av få år⁵².



Foto: Eidesvik

Energien som brukes for å løfte last opp, gjenvinnes når lasten senkes ned i skipet. Drivstoffinnsparingen kan betale for batteripakken i løpet av få år.



Foto: Grieg Star

Forskningsinstituttets rolle

- Å forstå og forutsi degradering

IFE har nå etablert en lab som gjennom høypresisjonstesting kan kvalitetssikre batterier i løpet av langt kortere tid enn normal sykling. Neste trinn for oss er å se på metoder for å avdekke batteriers helsetilstand, både for effektiv og skånsom drift, for å få tidlig varsel om degradering, og for å vurdere verdien batteriet kan ha i et nytt liv i en mindre krevende applikasjon.





foto: Norled

Nullutslippsbåter

Batterienes flaggskip er likevel batterifergen Ampère. Ampère er en fullelektrisk ferge som driver ordinær rutetrafikk mellom Lavik og Oppedal. Fergen illustrerer en rekke gode poenger både teknologisk og regulatorisk. Ampère er et villet produkt. Statens Vegvesen lyste ut en kontrakt hvor miljø skulle vektes svært tungt. De var villige til å betale en overpris for både utvikling og skip, mot at vi fikk testet grensene for hva som var mulig. Uten et offentlig innkjøp, og en velvillig og konstruktiv regulator i Sjøfartsdirektoratet, ville fergen aldri blitt en realitet. Som alle fergeanbud, krevde også dette at mange aktører trakk lasset sammen. Norled var villige til å ta sjansen på en fullelektrisk løsning, og Siemens stod for systemintegrasjonen.

Behovet for å spare energi, så overfarten skulle bli mulig, stilte krav til skipets vekt. Dermed ble et aluminiumsskrog løsningen. For å spare energi ved kai, ble det utviklet en sugekoppløsning for å holde skipet på plass, i stedet for å bruke motorkraft. Problemet var at fergen var lettere enn vanlig, sugekoppen hadde for hard gummi, og fergen ble dermed bare dyttet rett ut på sjøen. Slike problemer, som ikke har noe direkte med batteriene å gjøre, utgjør likevel prosjektrisiko. Det er viktig at sluttkunden da gir rom for noe oppstartsproblemer uten at det regnes som kontraktsbrudd. Et mer fundamentalt problem lå i ladeløsningen. På grunn av redundanskrav ble det laget to ulike løsninger, begge var ny teknologi. Batterikravet utløste slik en rekke andre innovasjoner. Kraftforsyningen på land var et større problem, og ble til slutt løst ved å sette batteripakker på kaia, heller enn å forsterke nettet for å kunne levere full kapasitet. Dette prinsippet, at batterier kan være billigere enn nettforsterkning, kan være nyttig lærdom for nettselskaper i fremtiden. På bakgrunn av erfaringene med Ampère er det beregnet at nesten halvparten av riksveifergene i Norge har potensiale for batteridrift.

Media har vært relativt snille med Ampère, men dekningen har ofte hengt seg opp i avvikene, ikke suksessen eller innovasjonen. Før siste batteripakke på land kom på plass, klarte ikke fergen å holde rutetabellen. For å spare energi foreslo noen å ofre svelebakingen. Senere ble svelene spørsmål i alle intervjuer. Dermed fikk mange inntrykk av at Ampère ikke var helt vellykket. Hovedlærdommen, som også gjelder for Ruters hydrogenbusser i Oslo, er at kundeopplevelsen aldri kan bli dårligere når ny teknologi kommer på banen. Svele er viktigere enn utslipp. Men forbedringen er svært reell. Båten er nesten lydløs. Som arbeidsplass er den langt bedre enn et dieseldrevet skip. Økonomien er utmerket. Drivstoffet er billig, og driftskostnaden er langt lavere enn for de andre fergene på ruten. Det er Ampère som tar natt-turene, når det ikke er behov for alle fergene.

Uten et offentlig innkjøp, og en velvillig og konstruktiv regulator i Sjøfartsdirektoratet, ville fergen aldri blitt en realitet.

Forskningsinstituttets rolle

- Å bistå med idéer og løsninger når et nytt problem skal løses

Når det dukker opp problemer som ingen i et konsortium er spesialist på, skal forskningsinstituttene være en mulig redning. De har en omfattende infrastruktur og allsidig kompetanse, og kan ofte hjelpe til med å finne et nytt materiale, en ny leverandør eller en egnet karakteriseringsmetode for å komme videre.





Foto: Brødrene Aa/Emil Rasmussen

Turistbåten Vision of the Fiords kan bli et svært godt stykke miljøvennlig norgesreklame. I et samarbeid mellom Brødrene Aa og ABB, har man kunnet utnytte fleksibiliteten batteriene og elmotorene tilbyr til å lage helt ny skrogutforming, denne gangen i karbonfiber. Turistene opplever et støyfritt reisetilbud. Batteribåten gir en bedre turistopplevelse i tillegg til en bedre økonomi. Karbonfiberskroget demonstrerer samtidig to andre poenger.

For det første har fossilt drivstoff langt høyere verdi som byggemateriale enn som drivstoff. For det andre dukker det stadig opp nye bruksområder for karbonfiber, et poeng som blir viktig i diskusjonen av trykktanker for hydrogen.

For Selfas batteridrevne fiskebåt har lydløsheten en tilleggsverdi. 'Båten har fiskelykke' hevder eieren. Det vil ikke være overraskende om støyfrihet er en fordel i fiske – fisk som flykter fra lyden av fiskebåter har en stor evolusjonsfordel. For fiskeoppdrett kan støyfriheten kanskje redusere stresset for fiskene, i tillegg til at miljøstempleet kan brukes i markedsføring.



Foto: Selfa Arctic



Foto: North Sailing/Lithium Storage GmbH

Bellona har laget sin plussbåt akkurat som de har laget plussdumper⁵³. Hvalsafaribåten Opal lader batteriene mens den seiler, ved å la en propell i vannet bremse farten litt. Så kan den bruke batteriet til fremdrift når den observerer hvalene. Igjen blir opplevelsen bedre både for den som observerer og den som observeres.

Også for raske luksusbåter kan batteriene tilby en støyfri opplevelse. Men her blir rekkevidden begrenset. Goldfish tilbyr båter som klarer 47 knop, og tilater en halvtime med vannski før lading. Men det er fortsatt for langt fra Oslo til Drøbak.



foto: Goldfish Boat



Forskningsinstituttets rolle

- Å henge med på hva næringslivet finner på

Enkelte ganger utvikler verden seg så fort at forskningsinstitusjoner vil slite med å henge med.

Forskernes rytme med søknader, avslag, nye søknader og tilslutt prosjektgjennomføring er dårlig egnet for raske markedsomveltninger. Nye aktører dukker opp, nye relasjoner må bygges. Gjennom formelle og uformelle nettverk, som klynger og innovasjonsarenaer, senkes terskelen for samarbeid. FME-sentere bidrar også til langsiktig, delvis fleksibel, finansiering. På denne måten kan det være mulig å omdisponere midler til nye spørsmål raskt nok, når verden ikke lenger ser ut som før.

Styringssystemet som sørger for at alle batteriene enkeltvis driftes trygt kalles et Battery Management System (BMS), og er et høyverdiprodukt tilpasset den bestemte batteritypen. BMS for skip må tilfredsstillende langt høyere dimensjoner av både strøm og spenning, men samtidig også helt andre sikkerhetskrav enn i biler.

ZEM, Grenland Energi, PBES – batterimoduler for skip

Det lille Canadiske oppstartselskapet Corvus må få mye av æren for at Norge i dag er ledende i batteribruk i skip. Det var de som første begynte å tilby batteripakker av de dimensjonene som trengs for å drifte slepebåter på Panamakanalen. Men Corvus har fått god konkurranse av norske selskaper som tilbyr løsninger basert på andre batterikjemier, eller enda mer skreddersøm.

Batterimodulprodusenten ZEM ble grunnlagt av nøkkelpersoner fra Think. ZEM kjøper battericeller fra aktører som Toshiba og LG, og pakker dem i henhold til de sikkerhetskrav og dokumentasjonskrav som stilles fra norske og internasjonale sjøfartsmyndigheter. ZEM vant anbudet for Viking Lady's søsterskip Viking Queen⁵⁴. Griegs batteriløsning er levert av Grenland Energi, en avlegger fra et tidligere batteriselskap som også har historikk fra bilbransjen⁵⁵. Deres forretningsmodell er svært lik ZEMs, men de bruker litt annen filosofi for kjøling, sikkerhet og sourcing. Siste tilskudd i denne nisjen er PBES, grunnlagt av personer med historikk fra Corvus, i samarbeid med skipsbyggeren SELFA. PBES bygger fabrikk i Trondheim, og har blitt leverandør når ABB skal lage batteriløsning for Helsingør-Helsingborg-fergen⁵⁶. ABB, Siemens, Rolls Royce og Wärtsilä, nyter derfor godt av en reell konkurransesituasjon med flere løsningstyper som står mot hverandre og sikrer pris og kvalitet.

Batterimodulen har flere oppgaver. Den skal styre battericellene slik at de ikke ødelegges, men hele tiden gir eller tar imot den ønskede energien. Hver celle gir om lag 3 V. For å komme opp i driftsspenningen på en båt, kreves det at hundrevis av batterier seriekobles. For den ønskede strømstyrken må mange slike serier kobles i parallell. Alle battericeller er litt ulike, om ikke annet så på grunn av posisjonen i rekka. Det gjør at de lades og lades ut litt ulikt. Dette kan igjen gi store utfordringer hvis noen batterier ender med å ta mer av belastningen enn de andre. Styringssystemet som sørger for at alle batteriene enkeltvis driftes trygt kalles et Battery Management System (BMS), og er et høyverdiprodukt tilpasset den bestemte batteritypen. BMS for skip må tilfredsstillende langt høyere dimensjoner av både strøm og spenning, men samtidig også helt andre sikkerhetskrav enn i biler. Enkelte batterityper kan faktisk eksplodere, og selv om det ikke kommer til eksplosjoner, kan kombinasjonen av egenoppvarming (batterier er fulle av energi) og en liten gnist (gjerne fra batteriet selv) føre til brann eller gassseksplosjoner. Da blir systemer for slukking viktig.

I store batteripakker er det også en utfordring å lede bort varme. Særlig batterier som brukes til hybridisering vil kunne ha svært høye strømtettheter og tilhørende varmeutvikling. Effektiv kjøling vil både bedre batterienes levetid, og hindre batterienes mareritt 'thermal runaway', en prosess der varmen i batteriet utløser sidereaksjoner som genererer ytterligere varme helt til batteriet destrueres, helst på kontrollert vis. Batterier trives generelt i omtrent samme temperaturer som mennesker. Blir det for varmt, som ved 50 grader i ørkenen i Arizona, eller i maskinrommet på en båt, degraderes de svært raskt. Blir det for kaldt, som når FMC tester batterier i Arktis, kan de slite med litiumpletering under lading, med raskt kapasitetstap som resultat.

Forskningsinstituttets rolle

- Å forstå sikkerhetsutfordringene og bidra til retningslinjer for sikker bruk. Gjennom SafeLiLife-prosjektet har IFE, FFI, NTNU, ABB, Rolls Royce, DNV, ZEM og FMC Subsea delt kunnskaper og erfaring om både degraderingsmekanismer og sikkerhetsutfordringer i batterier. Grunnleggende kunnskap om batterier er ikke kjernekompetanse for noen av brukerpartnerne, men alle har interesse av å sikre at man unngår ulykker som setter hele bransjen tilbake. En felles forståelse av hvilke batterikjemier som har hvilke grunnleggende egenskaper, og hvilke problemer som underkommuniseres fra batteriselgere, kan også være viktig kunnskap for bransjen.



Batterier i nettet

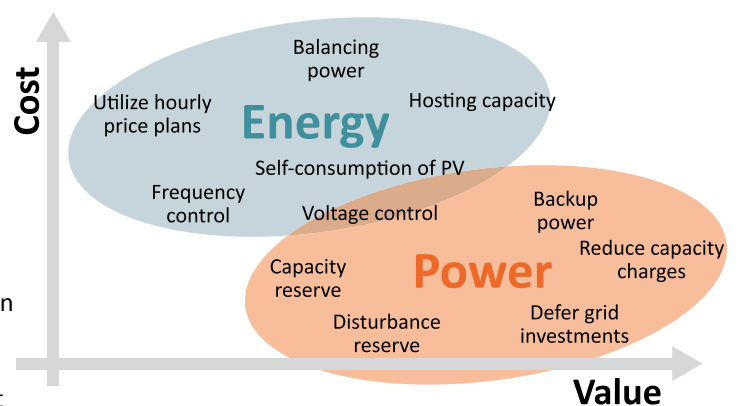
Gjennom prisfallet har batterier blitt en aktuell løsning for strømmettet også. Her er det tre trender som trekker i samme retning. For det første sørger stadig mer fornybar energi for et større behov for lagring, til tider hvor vinden ikke blåser, og solen ikke skinner. Dette er potensielt den største markedsnisjen i antall kWh, men ikke nødvendigvis den beste nisjen for batterier. Selv i de mest optimistiske scenariene vil det ta tid før batteriprisen faller under 100\$/kWh. Selv om et slikt batteri brukes tusen ganger, vil det fremdeles koste 10\$c, nesten en krone, per kWh levert til sluttkunden. Det er dermed bare ladesykluser som skjer minst 1000 ganger i batteriets levetid som vil bli økonomisk bærekraftige. Fra et miljøperspektiv skal mineral og energibruk i batteriproduksjonen også forsvares – det stiller igjen krav til bruk. Sesonglagring vil dermed aldri bli en batteriløsning. Selv et batteri som brukes en gang i uken, for å kompensere for værvariasjoner, vil trenge 20 år før det kan være lønnsomt. Men solens døgnsyklus kan snart være innen rekkevidde.

Den neste trenden er hvordan energiforbruket avtar med bedre isolerte boliger, LED-lys og varmepumper, mens effektbehovet øker. Varmepumpen gir liten gevinst de kaldeste dagene i året. Vannkokere, induksjonsovner og mikrobølgeovner gir kortvarige topper med høy effekt. Lønnsomheten i nettet avtar dermed, mens kostnaden øker. I mange situasjoner, særlig i lokale, svake nett, kan det å utsette forbruk i tid være et godt alternativ til å kunne flytte mer over lange avstander. Til slutt gir reduksjonen i roterende maskineri færre frekvensstabiliserende elementer i nettet. Batterier (og solcelleinvertere) kan bidra til stabilisering av både spenning og frekvens.



foto: Statkraft

Statkraft eksperimenterer allerede med bruk av et batteri for å drifte sine virtuelle og reelle kraftverk i det tyske strømmettet⁵⁸. Statoil har startet et prosjekt med en stor batteripakke i tilknytning til en av sine vindparker i Skottland⁵⁹. Norske nettselskaper begynner så vidt å evaluere bruk av batterier.



Ulike funksjoner for et batteri i strømmettet.⁵⁷

Sesonglagring vil dermed aldri bli en batteriløsning. Selv et batteri som brukes en gang i uken, for å kompensere for værvariasjoner, vil trenge 20 år før det kan være lønnsomt. Men solens døgnsyklus kan snart være innen rekkevidde.

Forskningsinstituttets rolle

- Å være nøytral tredjepart mellom ulike bransjer

Regulatorisk er det enklere for enkeltpersoner å sette en batteripakke i kjelleren enn for nettselskapet å sette en i trafostasjonen. Privatkunden kan utnytte batteriet til å øke egenforbruk av strøm fra egne solceller, og sparer da både nettleie og el-avgift. Samfunnsøkonomisk kan det være bedre at ett batteri betjener flere hus. Det kan brukes oftere, og sikkerheten blir bedre, særlig brannsikkerhet. Men nettselskapene har ikke lov til å kjøpe og selge strøm – de bare distribuerer. Hvem bør da eie batteriet?



En faktor 10 i pris kan derimot fremdeles skje. Den første prishalvingen ligger allerede i veikart. Den neste er sannsynlig med de markedsvekstene vi ser i dag. Om det kommer en til, vil avhenge av hvilke markeder som erobres, og hvilke grunnstoffer som til slutt inngår.

Forbedringspotensialer

Som forsker har man lært å være svært forsiktig med å antyde at ting ikke er mulige. Det er likevel verdt å roe ned batterioptimismen noe. Vi har vennet oss til at regnekraften i datamaskiner har fulgt Moores lov i flere tiår. Hvert annet år har datakraften i chipene blitt doblet, eller størrelsen halvert om man foretrekker det. Da er det viktig å huske at en bit i en datamaskin fremdeles kontrolleres av flere tusen atomer. Først de siste årene har dimensjonene blitt så små at kvantefysikken gir nye lover, at dimensjonene påvirker fysikken i systemet. For batterier er vi mye nærmere denne grensen. Allerede i dagens batterier bruker vi bare 6 karbonatomer på anoden og 2 oksygen- og ett metallatom på anoden per li-ion som sendes frem og tilbake. Det er litt dødvekt i form av separatorer, elektrolytt og kontakter, men også her har mye unødig blitt kuttet. Perodesystemet har ingen opplagte kandidatmaterialer som kan forbedre systemene vi i dag bruker, selv om det finnes tre hovedspor som kan være verdt å forfølge⁶⁰.

Det mest sannsynlige sporet er en endring av elektrolytt for å tillate høyere spenning i batteriene. Energi er strøm ganger spenning. Ved å la hvert Li-ion ta med litt mer energi i form av litt høyere batterispenning, blir energitettheten høyere uten at vi må bære med mer litium. Vi kan sannsynligvis øke spenningen med 10%, kanskje med 25%, men vi bør ikke stole på at det skjer med det første.

Som nevnt, vil silisium tillate å bruke færre atomer til å holde litium på anodesiden. Selv om silisium er noe tyngre, vil det bli en reell fordel. Men det virker svært krevende å bruke rent silisium, fordi det ekspanderer så kraftig. Men det å redusere fra 6 karbon per litium til kanskje 1 litium per Si, vil være en stor gevinst. For batteriet som helhet vil det likevel bare spare ca 20%, fordi anoden uansett utgjør mindre enn halve batteriet. Dermed blir det krevende å få noe særlig mer enn en dobling av batterikapasiteten fra dagens nivå, og selv det bør vi ikke basere oss på at er mulig. En ren litiumanode vil være en enorm risiko, selv om man skulle klare å undertrykke dendrittvekst under vanlige omstendigheter. Selv om bare en av en milliard skulle feile, kan det være for mange. Litium luft og litium svovel har høye teoretiske potensialer, men med de kjente praktiske begrensningene virker det urealistisk at de kan gi det de lenge har lovet, i hvertfall ikke de første ti årene. Likevel – det kan alltid komme et gjennombrudd som gir oss batterier som er vesentlig bedre eller billigere enn i dag. Litium svovel ser ut til å være det mest realistiske på kort sikt, selv om de sliter med levetid og er langt unna kravene for en el-bil. Men en faktor 10 i energitetthet er uansett umulig. En faktor 10 i pris kan derimot fremdeles skje. Den første prishalvingen ligger allerede i veikart. Den neste er sannsynlig med de markedsvekstene vi ser i dag. Om det kommer en til, vil avhenge av hvilke markeder som erobres, og hvilke grunnstoffer som til slutt inngår.

Forskningsinstituttets rolle

- Å gi realistiske veikart

Selv om innovasjon kan fremstå revolusjonerende, er den ofte ikke så overraskende for dem som er i bransjen. Spesielt om et produkt er avhengig av en komplisert verdikjede vil det kunne ta lang tid å bygge opp kapasitet og redusere risiko. IT-bransjens virkelighet, der kopier er gratis og feilkorrigerende oppdateringer kan ettersendes, er ikke overførbart til masseproduksjon av produkter med 30 års levetid. De fleste produkter som opplever rask markedsvekst har vært gjennom en lang og kronglete oppstart, med skuffelser og nedturer. Det å sette seg ned og vente på at batteriene blir så gode at vi ikke trenger noe annet, gir en falsk trygghet. Så lenge ikke forbedringen ligger i et veikart basert på fysiske lover, kan vi ikke stole på at den skjer, og vi må ha en annen plan A.



Veien videre – nye norske nisjer

Utrulling av batterier i maritime anvendelser er i full gang, her er det viktigste å gi stabile rammevilkår, så redere kan ta sjansen på nybygg, og sørge for at det utdannes nok kompetent personell til å utvikle og bruke løsningene.

Fordi batterier kan ha en så stor betydning for nasjonale utslipp fra transport, bør det rettes en særskilt innsats for å finne nullutslippsløsninger i så mange transportsegmenter som mulig. Norge bør ha konkrete veikart for hvordan vi skal rulle ut nullutslippsløsninger for alle nisjekjøretøyer, og bruke offentlig innkjøpsmakt til å kreve nye kjøretøytyper til flest mulig funksjoner. Paxter og BEBA demonstrerer at det er mulig for norske aktører å ta posisjoner i spesialkjøretøy, når de norske tidligkundene gir et lokalt fortrinn. Små produksjonsserier for smale nisjer, og høy automatisering, kan tillate Norge å bli konkurransedyktig.

Innen materialproduksjon er Elkems og Dynatecs silisiumsatsninger svært spennende – om de lykkes kan de overføre sine konkurransefortrinn fra solcellesilisium til batterisilisium, og dermed bli verdensledende. Her er det viktig å holde tempoet oppe – det kommer nye patenter fra Kina og Korea hele tiden. Det store spørsmålet er i hvilken grad Norge bør produsere egne batterier, som igjen bunner i hvorvidt topp kompetanse og tilstrekkelige fortrinn vil være tilgjengelig. Her vil vi ikke gi noen entydig anbefaling – det er gode argumenter i alle retninger. Et slikt valg vil kreve en langsiktig satsning, kombinert med strategiske oppkjøp av teknologikompetanse.

En stor visjon for Norge:

- Norsk kapital kjøper seg opp i et stort batteriselskap, for eksempel Toshiba eller Panasonic, og starter lisensproduksjon i Norge for å få tilgang til kompetanse om hva disse verdensledende selskapene opplever som de virkelige utfordringene. Kunnskapen benyttes til systematisk å identifisere produksjonsmetoder med høye utslipp eller kostnader, og finne nye prosesser for disse materialene, fortrinnsvis basert på norske råvarer.

En litt mindre visjon:

- At det blir krav til nullutslipp i kjøretøysparken på alle statlige byggeplasser. Kravene bør innføres i en forutsigbar rytme, så bransjen rekker å utvikle kunnskapen som trengs for å tilfredsstille kravene.

Norge bør ha konkrete veikart for hvordan vi skal rulle ut nullutslippsløsninger for alle nisjekjøretøyer, og bruke offentlig innkjøpsmakt til å kreve nye kjøretøytyper til flest mulig funksjoner.

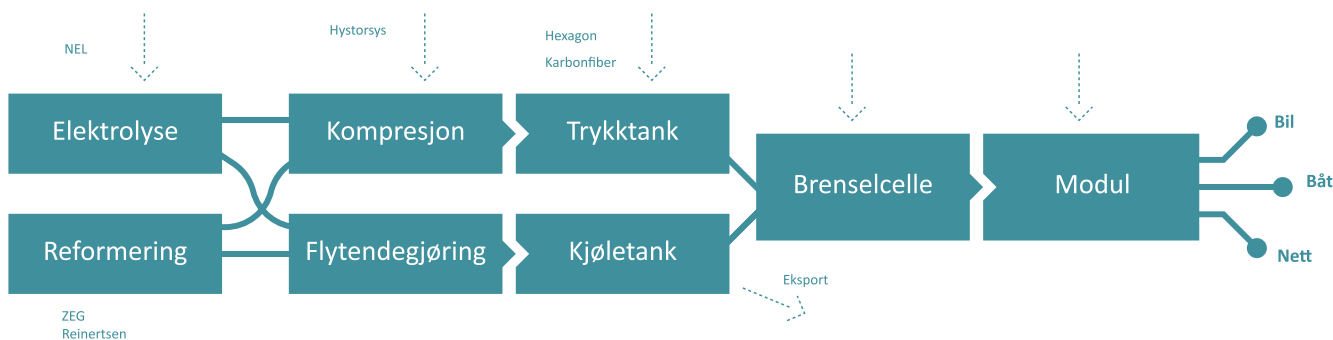
Hydrogen

I vekt per kWh er hydrogen i utgangspunktet uslåelig, selv med tunge trykketanker slår det dagens batteriteknologi med mer enn ti til en.

Hydrogen er det letteste grunnstoffet vi har. Når det reagerer med oksygen fra lufta, frigjøres energi, og det slippes ut vann. Vannet forlater systemet som vanndamp. I vekt per kWh er hydrogen i utgangspunktet uslåelig, selv med tunge trykketanker slår det dagens batteriteknologi med mer enn ti til en. Men fordi hydrogenet er i gassform, tar det mye plass.

Hydrogen kan også produseres fra fossile kilder eller biologisk avfall i en overgangsperiode, men en nullutslipps fremtidsvisjon vil forutsette at hydrogenet skal komme fra elektrolyse av vann. Det krever selvsagt energi å skille hydrogen fra oksygen, det er denne energien vi senere henter ut igjen.

Første fase av utrulling av hydrogenøkonomien baserer seg på kombinasjonen med alkalisk elektrolyse, kompresjon til inntil 700 bar i komposittanker, og Proton Exchange Membrane (PEM)-brenselcelle. For bruk i maritim sektor, særlig for perioder på over ett døgn, eller for utskipping av hydrogen, vil antakelig flytendegjort hydrogen være eneste realistiske alternativ. Disse teknologiene er i utgangspunktet tilstrekkelige for hydrogenøkonomien. Andre løsninger, som Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)-brenselceller, metallhydridlagring eller PEM-elektrolyse kan gi fordeler på sikt, men er lenger unna det kommersielle gjennombruddet.



For hydrogen kan vi snakke om både en verdikjede for produksjon, distribusjon og sluttbruk, og separate verdikjeder for de sentrale komponentene – elektrolyse, kompressor eller anlegg for flytendegjøring, tanker, fyllinfrastruktur, brenselceller og energisystemer der brenselcellen inngår.

Mens utviklingen av brenselceller, og produksjonsmetoder for disse, har vært dominert av bilfabrikantene, i tillegg til selskaper som Canadiske Ballard og Japanske Hydrogenics, har Norge en overraskende sterk posisjon i andre deler av verdikjeden. Nel Hydrogen (Nel) har vært den mest omtalte aktøren, med alkaliske elektrolyseanlegg som hovedprodukt, men med en stadig bredere portefølje. Hexagon er en av verdens ledende produsenter av trykketanker. HyOp og Uno-X drifter hydrogenstasjoner. Den norske vannkraften skaper dessuten unike forutsetninger for lønnsom produksjon av elektrolytisk hydrogen, hvor også Småkraftforeningen har engasjert seg. Hydrogen som drivstoff eller energilager er helt i starten av sin kommersielle fase. I dette kapittelet velger vi derfor å bruke litt ekstra plass på å forklare hvorfor vi har stor tro på at hydrogen vil utvikle seg svært raskt de kommende årene, og hvilke forutsetninger som må på plass for at utviklingen skal kunne skje.

Forskningsinstituttets rolle

- Å regne hjem et business-case før noen tar eierskap til det

IFE har de siste årene jobbet mye med å forstå hvordan hydrogen kan gi lønnsom økonomi så tidlig som mulig. Vi har sett på bruk i ferge og i bil, med produksjon i storskala og i småskala. Det har latt oss finne konkrete case der hydrogen kan bli direkte konkurransedyktig med dagens teknologi. Deretter har vi prøvd å påvirke beslutningstakere i politikk og næringsliv til å ta eierskap til ideene og legge forhold og regler til rette for at hydrogenøkonomien skal kunne komme i gang.



Markedsutvikling PEM brenselceller

Det har lenge blitt hevdet at 'hydrogen er fremtidens drivstoff, og vil alltid være det'. Er det noe som er annerledes nå enn for 20 år siden? Det mest talende svaret er kanskje dette bildet, som viser Daimlers hydrogenbil fra 1994, Necar 1, der hele lasterommet var fylt av en 50kW brenselcelle og gasshåndtering som gav en rekkevidde på 130 km. Nå har Hyundai, Toyota og Honda masseproduserbare personbiler med mer enn 50 mil rekkevidde. De er klare for å gå til markedet.



Foto: Daimler

Tyskland har bestilt sine første femti hydrogenvog. I USA har hydrogengaffeltrucker blitt en foretrukken løsning både for Coca Cola og Walmart. Sammenliknet⁶¹ med batteriløsninger, gir hydrogen lang driftstid mellom pauser og rask fylling. Dette veier opp for ulempen av høy brenselcellekostnad. Nødstrøm er et annet attraktivt tidligmarked. Brudd i strømtilførselen skjer ikke ofte, men når det først skjer, kan det vare i timer eller døgn. Da blir billige hydrogentanker bedre enn dyre batterier, selv om energieffektiviteten er dårligere. I områder der avstanden til sentralnettet er lang, samtidig som det er forhøyet strømforbruk bare en kort del av året, som hyttefelt i daler eller på øyer, kan hydrogen bli et alternativ til nettforsterkning. Brenselcellens restvarme kan utnyttes til oppvarming, og gi et ganske godt totalt energiregnskap.

I dag lages brenselcellene fortsatt manuelt. Plater legges på hverandre for hånd, en arbeider klarer to om dagen, og prisen blir >500\$/kW. Når omsetningen kan forsvare robotisering av produksjonen, optimale fabrikklinjer og en profesjonisert innkjøpsavdeling, vil prisen falle. Allerede i dag kunne vi hatt brenselceller til 60\$/kW, gitt at markedet hadde vært stort nok til å ta unna noen hundre tusen av dem⁶².

Med press fra to kanter i form av el-biler og utslippskrav, har bilselskapene gitt opp strategien om at hver fabrikk skal ha sin celleteknologi, slik de har vært vant til fra bensinmotoren. I stedet ser vi nå en massiv restrukturering der flere bilfabrikanter deler teknologi. Den naturlige fortsettelsen vil være som med Panasonic-Tesla, eller GM-LG-samarbeidet, at brenselcellen ikke lages kun for en bilprodusent, men at kostnaden kan deles med alle som trenger brenselceller. Vi kan regne med å se en øket standardisering, der det blir mulig å gå inn i vilkårlige ledd i verdikjeden om man kan levere et uvanlig godt produkt. Gjennombruddet mot masseproduksjon er svært nært forestående.

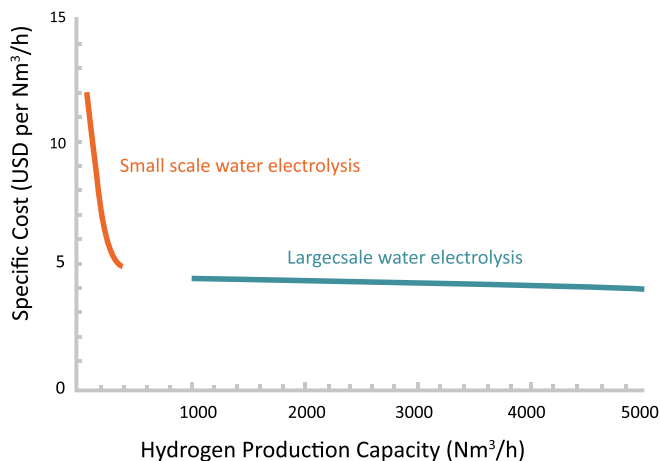
Nå har Hyundai, Toyota og Honda masseproduserbare personbiler med mer enn 50 mil rekkevidde. De er klare for å gå til markedet.

Tyskland har bestilt sine første femti hydrogenvog.



Forskningsinstituttets rolle - Avdekke hvordan markedet forskjellsbehandler på grunn av ulik modenhet

De fleste er enige om at vi trenger et juniorlandslag i fotball. Selv om mange tror Martin Ødegaard skal bli verdens beste fotballspiller, får han foreløpig matchtrening i spansk tredjedivisjon. I verdensmarkedet finnes det kun en divisjon, og alle møter alle. Forskere kan hjelpe til med å skjønne hvilke deler av kostnaden som kan endre seg, hvor mye som kun skyldes manglende masseproduksjon eller manglende konkurranse.



Hydrogenkostnad

Det er to hovedkostnader i hydrogen-produksjon: elektrolyser og energi. Elektrolyserkostnaden er en direkte funksjon av størrelse. For småskalasytemer, der PEM er eneste tilgjengelige teknologi i dag, er kostnadene høye. Kommer man først opp i et tonn om dagen, med alkaliske elektrolyser, har ikke lenger størrelse så mye å si. En bil fyller 5kg på hver fylling, så først ved 200 personbilfyllinger om dagen bunner elektrolyserkostnaden ut. Kjøretøyflåter som taxier, gaffeltrucker eller distribusjonsbiler kan gi nok forbruk til å forsvare en elektrolyser. Når fyllestasjonen først er på plass, kan også private tidligkunder få fyllemuligheter.

Kjøretøyflåter som taxier, gaffeltrucker eller distribusjonsbiler kan gi nok forbruk til å forsvare en elektrolyser. Når fyllestasjonen først er på plass, kan også private tidligkunder få fyllemuligheter.

En ferge kan bruke like mye alene. Derfor er initiativet fra Statens Vegvesen om den første hydrogenfergen så sentralt. Kunden er stor nok til at den som skal selge hydrogen kan tjene penger. For flytendegjøring kreves det større volumer for å få optimal effektivitet. Men forbruket til 5 supplyskip er tilstrekkelig til at et kostnaden for et anlegg for flytendegjøring ikke lenger synes mot støyen i energiprisen.

Dessverre er det varmetap i hele hydrogenprosessen – ikke all energien kan gjenvinnes effektivt. Om vi bruker komprimert hydrogen, vil omtrent 30% av energien kunne gjenvinnes som elektrisk energi, ved flytendegjøring kanskje 25%. Hvis vi kan utnytte termisk energi, kan det i stedet bli henholdsvis 60% og 50%. Om en reder med ett skip skulle bygget eget anlegg for flytende hydrogen med full nettleie og elavgift, vil hydrogenet kunne koste nesten 3 NOK per kWh elektrisk energi levert i båten. Men ved å gå til 5 skip, med samme el-avgift som elektrolyse av metaller, og med en nettleie som tar hensyn til at elektrolyseren kan slås av ved behov, kan det koste ca 1 NOK/kWh og dermed være fullt konkurransedyktig med LNG. Den største forskjellen ligger i elavgiften. Men hvorfor skal skip betale mer avgift for å bruke hydrogen enn for fossilt drivstoff? Mye av hydrogenet som produseres i dag kommer fra fossile kilder. Ved hjelp av dampreforming, kan metan omdanne til hydrogen, men avgassene inneholder CO₂. IFE har sammen med andre aktører etablert selskapet ZEG Power som har utviklet en nyvinnende teknologi for hydrogenreforming med CO₂-fangst. Reinertsen har også utviklet en slik teknologi. Hydrogen fra gass kan være billig mange steder, og kan dermed være med på å starte en hydrogenøkonomi. I Japan regnes verdikjeden gass-hydrogen-bil som mer energieffektiv og miljøvennlig enn gass-el-batteri. Reformering av hydrogen kan også kombineres med biogass for å få et produkt med mer homogen kvalitet.

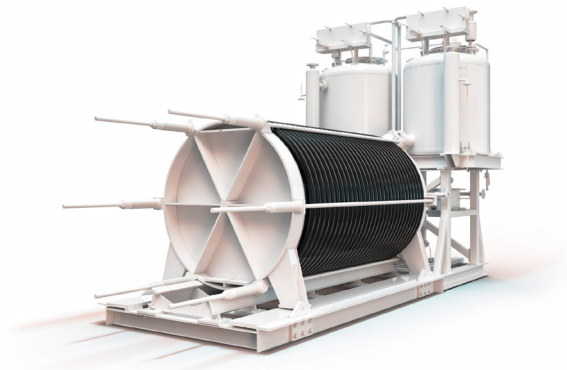
Forskningsinstituttets rolle - Å gi råd om skatter og avgifter

I Norge er det ingen elavgift for industriell elektrolyse. Det er elavgift for lading av bil. Hva er riktig avgift for hydrogen? Hva er riktig nettleie for en elektrolyser som kan slå av når det trengs? IFE var med på å starte debatten om dette, etter at vi så hvor kraftig det dominerte prisbildet. Flere markedsaktører tok det bare for gitt at avgiften må betales, mens IFE bare så etter det optimale.



Nel – elektrolysører, fyllestasjoner og systemer

Norsk Hydro startet utvikling av elektrolysører i 1927. Elektrolysørene dekket først eget forbruk, men fra 1970-tallet ble de et selvstendig, kommersielt produkt, beregnet på industrianlegg der hydrogen inngår i produksjonsprosessene. Da Hydro ble slått sammen med Statoil, ble elektrolysørene med, før elektrolysevirkomheten ble skilt ut som et nytt selskap, Nel.



Illustrasjon: Nel

I forbindelse med utbyggingen av solcelleindustrien i Kina, med stadig nye silanfabrikker, forberedte Nel seg på rask ekspansjon. Finanskrisen gjorde at timingen ble feil, og selskapet slet innledningsvis. Etter restrukturering og nedskalering har Nel i dag positive driftsresultater, og satser hardt på å ta del i det fremvoksende markedet. De har også kjøpt en dansk produsent av fyllestasjoner, H2Logic, for å kunne tilby komplette løsninger.

Nel-elektrolysøren er fremdeles blant de billigste i markedet, og kan vise til driftssikkerhet over mange tiår. Det gjør den til et naturlig valg for prosjekter der det er nok plass til elektrolysøren, og hvor den skal driftes jevnt. Nels elektrolyseopererer normalt ved trykk nær atmosfærisk. Bobledannelse på elektrolyseplaten og den tilhørende reguleringen av hvor mye lut elektrolyse trenger, gjør at slike elektrolysører trenger noen minutter på å slås av og på. Dette brukes ofte som et argument for PEM-elektrolysører. Sannsynligvis er det heller et argument for hybridisering med batterier, som man i mange tilfeller vil ønske uansett. Nel utvikler også nye generasjoner med trykksatte elektrolysører, der bobleproblemet er langt mindre.

Basert på den samme kjernekompetansen som Nel, startet oppstartselskapet Rotoboost utviklingen av sin Rotolyzer. I denne elektrolyse skaper rotasjonen en kunstig høy tygdekraft, som gjør at bobler raskere forlater elektroden. Nel overtok nylig også Rotolyzer-teknologien, og fortsetter videreutviklingen av denne. Rotolyzeren kan tillate en langt mer kompakt enhet, som kan være egnet også i mindre systemer.

Nylig har Nel også opprettet selskapet Nel Hydrogen Solutions, som skal designe fullstendige løsninger for produksjon og distribusjon av hydrogen. Nel har inngått et partnerskap med Uno-X om bygging av 20 hydrogenstasjoner i Norge.

Nel-elektrolysøren er fremdeles blant de billigste i markedet, og kan vise til driftssikkerhet over mange tiår. Det gjør den til et naturlig valg for prosjekter der det er nok plass til elektrolyseøren, og hvor den skal driftes jevnt.



Forskningsinstituttets rolle - Å løfte frem alternative verdier

Historikken rundt Nel og Statoil kan være en påminnelse om betydningen av eierskapets fokus og strategivalg. Den enorme kapitalen forvaltet av Statoil var ikke tilstrekkelig til å ivareta en satsning på en nesten 100-årig norsk industritradisjon, i et fagfelt som det var politisk svært ønskelig at skulle lykkes. Statlig eierskap var heller ikke nok til å sikre at det nystartede selskapet hadde tilstrekkelig kapital til å komme over kneika. I dette tilfellet var det først da selskapet ble skilt ut at det var mulig å løfte idéen videre.



Foto: Hexagon

Hexagon – tanker for komprimert hydrogen

Det finnes flere standarder for trykktanker og fyllprosedyrer. For bil ser det ut til at 700 bar i komposittanker blir løsningen. For effektiv fylling av en 700-bar tank, kreves det at hydrogenet kommer fra en tank på 900 bar, og er forhåndskjølt for å kompensere for oppvarmingen. For mellomlagring på fyllstasjoner kan man tenke seg andre løsninger, det samme kan bli tilfellet på skip eller i tog.

Hydrogen er et lite molekyl. Det sniker seg ut gjennom åpninger som lett ville holdt nitrogen eller metan inne. Kvalitetskravene til pakninger, ledninger og tanker er derfor svært høye. Når trykket i tillegg skal opp mot 900 bar, er sikkerhet og kvalitetskontroll essensielt. Hexagon Composites er en ledende aktør i dette trykktankmarkedet. I tillegg til å levere trykktanker til bilindustrien, har Hexagon utviklet en løsning der inntil 1 tonn hydrogen kan transporteres på en standard lastebil. Begrensningen er i dag primært regulatorisk, reglene for veitransport av komprimert gass ble utformet før utviklingen av komposittanker, og har derfor grenser som i dag oppleves som begrensende på introduksjon av ny teknologi.

IEA har anslått at prisreduksjonen vi kan forvente for komposittanker vil bli begrenset av prisen på høykvalitets karbonfiber, og har derfor pessimistiske anslag for hvor lavt prisen kan falle. Samtidig har Hexagon anslått at dersom veikartene for utrulling av hydrogenbiler slår til, vil det bli mangel på høykvalitets karbonfiber i dagens marked. Men dersom hydrogenmarkedet vil etterspørre mer karbonfiber, og dette markedet dermed øker, vil antakelig prisen på lang sikt gå noe ned, ikke opp. Flere idéer har vært lansert for å benytte biologiske karbonfibrerkilder. En god prosess for å lage karbonfiber av trevirke vil gi et langt mer høyverdig produkt enn å benytte tømmeret til biodiesel.

Selve kompresjonen er også krevende, og kompressoren er ofte blant de dyreste og mest vedlikeholdskrevende komponentene. Kompresjonsarbeidet i en mekanisk kompressor vil være større for først kompresjonstrinn (fra 1 til 200 bar) enn for andre trinn (200-1000 bar), mens trykknivået skaper utfordringer og kostnader for andre trinnet. Utvikling av nye kompressortyper for hydrogen har derfor et stort potensiale. Hystorsys har utviklet en kompressor med få bevegelige deler som bruker restvarme fremfor elektrisk energi for å komprimere. En prototype som komprimerer hydrogen fra 7-200 bar har blitt utviklet, testet og validert ved testsenteret Hynor Lillestrøm. En annen lovende idé er å bruke membranbasert elektrokjemisk kompresjon. Men selv en lavkost, driftssikker, mekanisk kompresjon vil kunne ha et stort marked.

Dersom hydrogenmarkedet vil etterspørre mer karbonfiber, og dette markedet dermed øker, vil antakelig prisen på lang sikt gå ned, ikke opp.



Forskningsinstituttets rolle - Å se det øyet ikke kan se

Når man vil studere vanninnhold og dråpedannelser i brenselceller, kan nøytroner være det eneste tilgjengelige hjelpemiddelet. IFE har nylig fått midler til å oppgradere anlegget for nøytronradiografi ved reaktoren på Kjeller. Nøytroner går igjennom metaller omtrent som røntgenstråler går gjennom kroppen. Ved å se på avskygningen kan man se hva som foregår på innsiden. Slik kan en atomreaktor bidra til å gi mer fornybar energi. Få bedrifter har råd til en egen nøytronkilde!

Hydrogenlagring – flytende (LH2)

Etter Fukushima har Japanske myndigheter anstrengt seg til det ytterste for å finne alternative, ikke-fossile energikilder for Japan. Import av hydrogen er ett alternativ. Når tusenvis av tonn med hydrogen skal transporteres tusenvis av kilometer, er flytende hydrogen eneste alternativ. Kawasaki har annonsert at det første pilotprosjektet med skiping av LH2 skal være i gang i 2020. Japanske myndigheter er derfor allerede i gang med å utforme regelverk for transport av flytende hydrogen, og norske sjøfartsmyndigheter er med i dialogen, blant annet gjennom den internasjonale maritime organisasjonen IMO. Tankteknologien som skal brukes kommer opprinnelig fra Moss, og ble utviklet for LNG.



Foto: Kawasaki



Foto: Boeing

Flytende hydrogen er svært lett. Boeing har demonstrert en drone som holder seg flyvende i 24 timer, kun med hydrogen som drivstoff⁶³. På grunn av kuldetapet kan hydrogenet ikke lagres i vingene, og må ligge i flykroppen. Dette er en ulempe ved interkontinental flytrafikk, når flykroppens luftmotstand blir viktigere enn den lave vekten ved start⁶⁴. For Widerøe's korte ruter vil hydrogen kunne bli en utmerket mulighet.

For skip med seilingsruter på over et døgn, kan flytende hydrogen bli det eneste realistiske nullutslippsalternativet.

Dersom flytende hydrogen skal kunne bli lønnsomt, vil det måtte bygges et fåtall store anlegg langs norskekysten, med muligheter for aktører innen både kraft- og logistikkbransjen til å ta markedsandeler. Teknologien for produksjonsanleggene er verifisert, men det vil være mye innovasjon i byggingen av de første storskala kommersielle anleggene. Teknologit utvikling for det tilhørende logistikkmarkedet vil umiddelbart være verdensledende.

Flytende hydrogen kan også bli et eksportprodukt, og det har vært foreslått hydrogentransport fra Finnmark til Japan via Nordøst-passasjen, som stadig oftere er isfri⁶⁵. Dette kan være optimistisk, da det forutsetter at hydrogen fra norsk vind vil være billigere enn hydrogen fra australsk sol. Men dersom skip som seiler nordøstpassasjen får krav om nullutslipp, særlig av sotpartikler som legger seg på havisen og bidrar til smelting, eller forbud mot olje som kan gi katastrofale utslipp langs iskanten, kan Finnmark eller Svalbard tilby bunkringshavner for LH2.

Når tusenvis av tonn med hydrogen skal transporteres tusenvis av kilometer, er flytende hydrogen eneste alternativ.



Forskningsinstituttets rolle - Å tenke stort nok

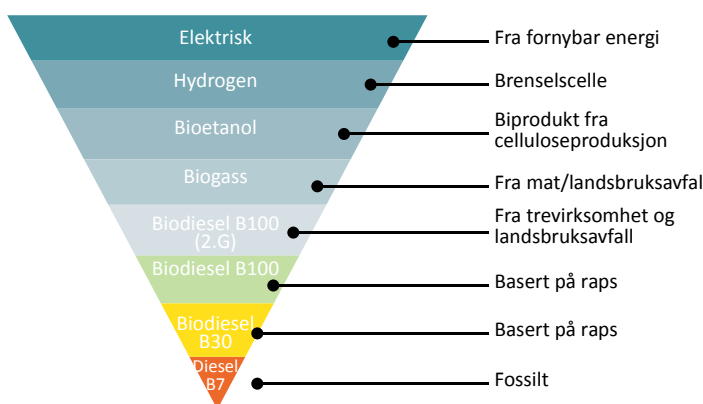
Flytende hydrogen er et eksempel på et forretningsområde med ekstremt høy inngangsterskel. Fordi flytendegjøring ikke er konkurransedyktig før man har et kundegrunnlag tilsvarende et antall supplybåter, er det vanskelig å starte opp markedet gjennom småskalaprojekter. Samtidig er det betydelig regulatorisk risiko, fordi det ikke eksisterer regelverk for transport av flytende hydrogen i skip, for ikke å snakke om bruk. Det er heller ikke opplagt hvem som skal ta ansvar for å regne hjem idéen om et LH2-distribusjonssystem. Redere, teknologileverandører, myndigheter, kunder og støtteapparat må alle ta tid fra tette timeplaner for å gå i detalj i noe som kan fremstå som en science-fiction-idé. Om forskerne tar første iterasjon, synker risikoen, og det blir lettere å samle aktørene som trengs for å virkeliggjøre visjonen.

Ruters innkjøp er en god måte å kollektivisere risikoen ved innføring av en ny teknologi. Ved at en offentlig aktør tar rollen som tidligkunde fordeles kostnaden på mange skattebetalere.

Ruter , Asko, Statens vegvesen

- de innovasjonsdrivende hydrogenkundene

Ruter, kollektivselskapet for Oslo og Akershus, har vært blant de første i Europa til å ta i bruk hydrogenbussene. Ruters innkjøp er en god måte å kollektivisere risikoen ved innføring av en ny teknologi. Ved at en offentlig aktør tar rollen som tidligkunde fordeles kostnaden på mange skattebetalere. Brenselceller har vært en stor suksess. Dessverre har bussene hatt dårlig driftssikkerhet, primært på grunn av dører eller kontrollpaneler som ikke har virket som de skal, en risiko som alltid er tilstede i et helt nytt produkt. Samtidig har det vært en forventning til at hydrogenbussene skulle kunne driftes som en normal buss, så mange problemer har skapt stress for kunder. Hydrogenprosjektet har slik fått både ekstrakostnader og negativ PR. Det er svært viktig at Ruter og andre transportselskaper gis handlingsrommet de trenger for å fortsette å ta risikoen ved å skyve grenser på vegne av oss alle.



Distribusjonsselskapet Asko har gjort det Norge ikke har våget. De har rangert drivstofftyper etter hvor miljøvennlige de kan regnes å være. Selskapet vil søke å bruke den mest miljøvennlige tilgjengelige løsningen i hvert segment. Et tilsvarende utsagn på nasjonalt nivå, gjerne fra Enova, ville kunnet gi en forutsigbarhet og retning som ville hjulpet alle markedsaktører å gjøre gode valg.

Asko har allerede tatt i bruk sin første elektriske lastebil. De har i tillegg bestilt sin første hydrogenlastebil, som skal leveres i 2017. Askos bestilling utløser at lastebilprodusentene tør å agere, slik at de igjen stiller krav til brenselcelleleverandørene sine. Dermed utvikles

det teknologi som i neste runde kan bli tatt i bruk i andre nisjer.

Statens vegvesen har mange roller i Norge. I miljøsammenheng har de særlig utmerket seg ved å stille krav i forbindelse med innkjøp av fergetjenester. Batterifergen Ampère var resultat av et miljørettet fergeanbud. Nå har Vegvesenet fått budsjett over statsbudsjettet for den første hydrogenfergen. Anbudet blir et utviklingsprosjekt der det vil bli gitt noe forprosjektfinansiering til flere aktører, før en av disse velges til den avgjørende runden. Når den første hydrogenfergen er på vannet, vil regulatoriske og praktiske hensyn ha måttet finne en løsning. Døren vil være åpen for alle andre som vil prøve noe liknende, og risikoen ved nye prosjekter er blitt vesentlig lavere.



Foto: Asko

Forskningsinstituttets rolle

Å gi beslutningsgrunnlag til myndighetsaktører

I prosessen med å utvikle hydrogenfergeanbudet, har forskningsmiljøet bidratt med informasjon og råd. Ved å tilgjengeliggjøre fakta om tekniske utfordringer, priser og trender, har forskerne lagt til rette for dristige beslutninger både fra Stortinget som bevilger, og Vegvesenet som innkjøper.



Hydrogen i industri

De første anvendelsene av elektrolytisk produsert hydrogen i Norge var innen industri. For eksempel var den første amoniakkproduksjonen basert på hydrogen. Over tid har hydrogenet blitt utkonkurrert av gass i denne nisjen, men trenden kan komme til å snu, om elektrolytisk hydrogen blir tilstrekkelig billig. I 2015 annonserte Yara bygging av en ny amoniakkfabrikk i Texas med hydrogen som utgangspunkt. I det tilfellet var hydrogenet tilgjengelig som billig overskuddsprodukt fra annen produksjon, men selve fabrikkanlegget ble 40% billigere enn en fabrikk med utgangspunkt i naturgass. Med høy CO₂-pris, dårlig tilgjengelighet av naturgass eller svært billig fornybar energi, kan forskjellen i kompleksitet i fabrikk bli en avgjørende fordel.

Hydrogenet kan også brukes til å redusere oksider, som i produksjon av jern, nikkel eller kobber. Her er det kull som er konkurrenten. Hydrogenet kan da gi reduserte lokale utslipp, men også høyere produktkvalitet. Industri står for en vesentlig del av Norges samlede utslipp, og for mange store punktutslipp vil en overgang til hydrogen nesten kunne eliminere utslippet. Jernproduksjonen hos Tizir i Tyssedal kan bli en av de første som skifter ut kullet med hydrogen. De har konkrete planer for å kutte CO₂-utslippene sine med 90%, med en fullskala pilot innen 2019. Når det først finnes en lokal industrikunde, vil terskelen for utrulling av hydrogenkjøretøy igjen bli langt lavere.

Hydrogen i nettet – elnett og gassnett

Akkurat som med el-bilen, lager hydrogenet en forbindelse mellom strømmettet og mobilitet. Utfordringen med hydrogenøkonomien ligger i utnyttelsen av de første fyllestasjoner. Overføring til storskala skal i prinsippet ikke gi så store utfordringer. For el-bil er det motsatt. Utrulling av de første hurtigladerne er ingen stor belastning. Men når alle skal bruke dem, kan belastningen på nettet bli stor enkelte steder. El-bilen gir stor fleksibilitet i rom. Alle har en stikkontakt. Hydrogenet gir mer fleksibilitet i tid. Elektrolysøren kan ta strøm jevnt fra nettet, selv om hydrogenkundene fyller i konsentrerte bolker. Hydrogenproduksjon på lokale fyllestasjoner vil dermed kunne tilby en tilleggstjeneste i form av at de kan koble ut når nettet er tungt belastet. Forbruket vil være svært jevnt, med mange tusen timer i året, men aldri når nettselskapet trenger kapasiteten til et annet formål. Dette bør gi gode muligheter for å forhandle om nettleien. I Tyskland og Skottland gir overskudd av vindenergi til tider negative energipriser. Hydrogeninstallasjoner kan gi muligheten til verdiskapning med dette energioverskuddet, ved å ta vare på energien i kjemisk form.

I Japan er det allerede solgt en mengde mikro-CHP-anlegg for gass. Små installasjoner hos sluttbrukeren generer både strøm og varme, og avlaster dermed nettet kraftig om vinteren. Tilsvarende teknologi er også tilgjengelig for hydrogen. Særlig i hyttemarkedet eller på gårder bør dette gi store muligheter, om nettet i området er svakt. I Tyskland diskuteres det seriøst hvorvidt hydrogen kan brukes til å lage strøm også i sentralnettet. I Norge vil dette antakelig aldri bli aktuelt, på grunn av at vannkraften allerede fyller rollen på en billigere måte. Det diskuteres også hvorvidt hydrogen kan lagres i de enorme gassrørledningene i Europa, foreløpig innblandet i naturgass. Her er lønnsomheten foreløpig uklar, rent hydrogen har høyere verdi enn naturgassen den blandes med. Det kan likevel være et mindre krevende marked enn sentralnettet.

Elektrolysøren kan ta strøm jevnt fra nettet, selv om hydrogenkundene fyller i konsentrerte bolker. Hydrogenproduksjon på lokale fyllestasjoner vil dermed kunne tilby en tilleggstjeneste i form av at de kan koble ut når nettet er tungt belastet



Forskningsinstituttets rolle

- Å utvikle nye, miljøvennlige prosesser som kan vurderes av industrien.

Som for batterier, ligger det en enorm markedsmulighet for Norge i å bli de første til å ta i bruk hydrogen som kommersielt drivstoff i skip. Til sjøs er hydrogenets fordel enda større enn på land.

Veien videre – mulige norske nisjer

Fyllestasjoner for hydrogen er mer komplekse enn hurtigladere. Det er derfor større sannsynlighet at en utrulling av fyllestasjoner i Norge vil utløse produktutvikling, enn tilfellet var for ladere. Særlig Nels rolle som teknologileverandør er viktig i en slik avveining. Enova har brukt tid på å internalisere tankegangen fra Transnova inn i Enova, men det er nå bevilget støtte til de første nye hydrogenstasjonene.

Som for batterier, ligger det en enorm markedsmulighet for Norge i å bli de første til å ta i bruk hydrogen som kommersielt drivstoff i skip. Til sjøs er hydrogenets fordel enda større enn på land. Det finnes ingen mulighet til hurtiglading fra veibanen eller kjøreledning, og tiden mellom anløp kan være lang. Samtidig er kysten godt egnet for lokal hydrogenproduksjon eller distribusjon. Norge har allerede mange initiativer med batterier i skip, enten fullelektriske eller hybridiserte løsninger. Det gjør at energisystemet i skipene svært lett kan tilpasses en brenselcelle. Norge var også først ute med introduksjon av LNG. Det gir oss fordeler i utviklingen av LH2-teknologi og har gitt kompetanse i hvordan regelverk for et nytt drivstoff utvikles.

I tillegg til videreutvikling av produktene til Nel og Hexagon, er det store muligheter for å ta en tidlig rolle innen masseproduksjon av brenselceller basert på automatiserte produksjonslinjer. Men selv om Norge ikke skulle lykkes med å lage egne brenselceller, vil det være rom for mange underleverandører av komponenter. I en PEM brenselcelle legges vekselvis lag av metallkontakter, kjent som 'bipolare plater', og protonledende membraner. Mellom lagene går det kanaler for luft og hydrogen.

Tre materialer utpeker seg for de bipolare platene: karbon, stål og titan. Karbon er tyngst, men også svært robust. Stål er lett å bearbeide, kan lages ganske tynt, men kan korrodere, og er avhengig av beskyttende overflatelag. Titan er kanskje fremtidens materiale – det er svært lett og sterkt, og kan tillate svært tynne celler. Membranen selges i dag ofte som en MEA, en 'membrane electrode assembly'. Den omfatter selve membranen, katalytten (normalt platinum) og gassdiffusjonslaget som fordeler hydrogenet jevnt over hele overflaten. Gassdiffusjonslagets egenskaper for å lede bort fuktighet er svært viktige – vannansamlinger kan ødelegge for driften. Hydrogengass og luft skal ha riktig trykk, og tilføres i riktig mengde. Dette krever kompressorer eller vifter, avhengig av celledesign. En varierende likespenning skal omdannes til nettspenning, og alt skal overvåkes og styres. Her finnes mange nisjer for el- og gasskompetanse.

En stor visjon for Norge:

Etter en første, vellykket demonstrasjon av en hydrogenferge, bygger Norge et distribusjonsnett for flytende hydrogen langs hele kysten. Alle skip som kun anløper norske havner pålegges å bruke nullutslippsløsninger, eller velger det fordi det er billigst.

En litt mindre visjon:

En visjonær kapitalforvalter med ønske om å bidra til miljøet, bestiller den første luksusbåten hvor du kan kjøre full fart fra Oslo til Tjøme, lydløst.

Til ettertanke

Fra trevirke til vannkraft, fra hvalolje til fossil olje – Norge har lenge vært en nasjon med unik tilgang på energi, noe som har gitt oss et nasjonalt konkurransefortrinn. Det er ikke sikkert at det vil fortsette å være slik i fremtiden. Når solenergi nærmer seg 10 øre/kW vil selv sol+batteri eller sol+hydrogen kunne konkurrere med norsk vannkraft. Marokko, Mexico og India vil ha like gode og forutsigbare energiresurser som oss – selv om vi fremdeles vil ha fordelene av gratis kjølevann.

Fra den industrielle revolusjon og helt frem til nyere tid har Vestens industriproduksjon gitt et konkurransefortrinn slik at også nye ideer oftere har dukket opp i de samme industrielle samfunnene. I de siste tiårene har velutdannede japanere, koreanere og kinesere med tilgang til patentporteføljer fra multinasjonale selskaper utfordret denne virkeligheten brutalt. Tilgang på smarte hoder innen naturfag, stilt sammen i nettverk av komplementære kompetanser, er i ferd med å bli Asias fremste konkurransefortrinn, ikke vårt. Men ved å satse på å bli del av den globale verdikjeden, som Elkem, Norsun, Scatec, Eltek, Nel, Hexagon, ZEM, ABB, Siemens og en rekke andre selskaper har gjort, kan vi få lokale konkurransefortrinn i raskt voksende nisjer – fortrinn som kan føre til at fremtidig innovasjon vil fortsette å skje i Norge, ikke i andre land.

I Norge snakkes det mye om hva vi skal gjøre etter oljen. Selv om energirevolusjonen vil føre til store utfordringer og et betydelig omstillingsbehov for et oljeavhengig Norge, er det verdt å minne om noen av fordelene også vi vil nyte godt av i en slik verden. Den demokratiserende effekten av energirevolusjonen vil være betydelig. Med nok energi til alle vil verdensøkonomien slippe en av sine fremste bremseklosser – trusselen om for høy oljepris. På samme måte som internett har gjort informasjon tilgjengelig for alle og redusert pressens og nyhetsmedienes makt, vil lokale makthavere med olje, men uten demokratisk kontroll, også miste makt. Land der solen er eneste ressurs vil kunne bli rikere, og forskjellene mellom land mindre. En viktig kilde til konflikt, tilgangen til oljeresurser, vil reduseres.

Ubegrenset energitilgang kan igjen true med overutnyttelse av andre ressurser, men billig energi kan også gjøre en sirkulær økonomi mer sannsynlig. Hvis ressursene er dyre og energien billig, vil resirkulering, effektiv ressursutnyttelse og valg av miljøvennlige materialer kunne bli enklere. Bruk av karbonfangst for produksjon av plast eller karbonfiber vil kunne erstatte fossile materialer. Glass eller plast til drivhus og avsaltet havvann kan gjøre ørken fruktbar. For hver lille forbedring av verdikjeden som Norge bidrar til, kommer denne fremtiden et lite hakk nærmere. Og ved å styre utviklingen kan vi se markedene før de kommer, og ta del i verdiskapningen.

Ved å satse på å bli del av den globale verdikjeden, som Elkem, Norsun, Scatec, Eltek, Nel, Hexagon, ZEM, ABB, Siemens og en rekke andre har gjort, kan vi få lokale konkurransefortrinn i raskt voksende nisjer – fortrinn som kan føre til at fremtidig innovasjon skjer i Norge, ikke i andre land.



Forskningsinstituttets rolle - Å ta ansvar for kommende generasjoner

Etikk i forskning er et krevende tema. En hver ny kunnskap vil kunne ha utilsiktede konsekvenser, eller kunne brukes av aktører med andre hensikter enn forskeren. Vi må likevel prøve å rette kreftene inn mot områder der vi oppriktig tror at konsekvensene vil bli positive, for Norge som stat, og for menneskeheten. Det grønne skiftet gir en uvanlig sterk kombinasjon av demokratisering, miljø-gevinst og økonomisk mulighet. Selv om den økonomiske gevinsten ikke nødvendigvis kan måle seg med oljens historiske marginer, er det få markeder som har like stort vekstpotensiale i de kommende tiårene. 'Sol lucet omnibus' heter det på latin – solen skinner på alle. Med fornybarøkonomien skaper vi en energitilgang som ikke kan monopoliseres, og som ikke belaster verdens svakeste samfunn på urimelige vis. Selv for fagsentrettede forskere er det en tilfredsstillelse i å kunne fortelle sine barn med overbevisning: Jeg jobber for å gjøre din verden bedre enn den jeg selv får oppleve!

Referanser

1. DNV GL, The future is hybrid
<https://www.dnvgl.com/maritime/advisory/download-the-future-is-hybrid.html>
2. IEA, Key world energy statistics 2016
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>
World Development Indicators database, World Bank, 16 December 2016
<http://databank.worldbank.org/data/download/GDP.pdf>
3. Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2016. Global Trends in Renewable Energy Investment 2016
http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf
4. Branchestatistik for Vindmølleindustrien, DAMVAD, maj 2016
http://www.damvad.com/wp-content/uploads/2016/06/Branchestatistik_2016pdf.pdf
<http://www.dkvind.dk/fakta/o2.pdf>
5. Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2016. Global Trends in Renewable Energy Investment 2016
http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf
6. <https://www.navigantresearch.com/blog/the-first-american-gigafactory-probably-wont-be-from-tesla>
7. http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/2015/09/EWG_WEO-Study_2015.pdf
8. SSB Statistikkbanken - www.ssb.no
9. <https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/Innhold/Politikk%20og%20administrasjon/Etater%20og%20foretak/Klimaetaten/Dokumenter%20og%20rapporter/Klima-%20og%20energistrategi%20for%20Oslo%20NO.pdf>
10. 20% effektive celler, 2000 h/y, 1kW/m² innstrålt effekt
11. PV-TECH, PPS under three cents per kWh signed for 800 MW Dubai project Nov 29, 2016
<http://www.pv-tech.org/news/ppa-under-three-cents-per-kwh-signed-for-800mw-dubai-project>
12. Muntlig kommunikasjon
13. REC Solar News Archive, http://portals.recgroup.com/ja/media/jpn_news_archive/REC-produces-first-PV-modules-with-one-year-energy-payback-time-and-leading-low-carbon-footprint/
14. Energy Information Agency, Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016, http://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
15. InsideEVS, GM: Chevrolet Bolt Arrives In 2016, \$145/kWh Cell Cost, Volt Margin Improves \$3,500
<http://insideevs.com/gm-chevrolet-bolt-for-2016-145kwh-cell-cost-volt-margin-improves-3500/>
16. James, 2015 DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Review Hydrogen Storage Cost Analysis
https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review15/st100_james_2015_o.pdf
17. US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2016
<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/mcs-2016-lithi.pdf>
18. Ciez et al. "The cost of lithium is unlikely to upend the price of Li-ion storage systems", Journal of Power Sources, Vol 320, p310-313 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775316304360>
19. Nitta et al. Li-ion battery materials: present and future, Materialstoday, Vol 18, June 2015, p 252-264
Thackeray et al, Electrical energy storage for transportation—approaching the limits of, and going beyond, lithium-ion batteries, Energy & Environmental Science, 2012, DOI: 10.1039/c2ee21892e
20. Ulleberg et al, Distributed Hydrogen Production for Marine Applications, Hypothesis International Symposium 2015, Toledo, Spain 6 – 9 September 2015
21. US DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record 2015, https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/15015_fuel_cell_system_cost_2015.pdf

22. Rambøll: MARKEDSRAPPORT BIOGASS I OSLOFJORDREGIONEN <https://www.biogas2020.se/wp-content/uploads/2016/05/markedssrapport-biogass-oslofjordregionen-ramboll-endelig-003.pdf>
23. NVE, Utvikling I transportsektoren <https://www.nve.no/energibruk-og-effektivisering/energibruk-i-norge/utvikling-i-transportsektoren/>
24. Siemens&Bellona, Syv av ti ferger er lønnsomme med – en mulighetsstudie <http://network.bellona.org/content/uploads/sites/2/2015/08/Batteriferger.pdf>
25. Michael Mace, “Excerpts from Map the Future” 2013 <http://mapthefuture.mikemace.com/2013/02/excerpts-from-map-future.html>
26. Data fra:
IRENA: RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-SOLAR_PV.pdf
27. Nykvist, Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles, Nature Climate Change 2015, doi:10.1038/nclimate2564 <http://www.nature.com/articles/nclimate2564.epdf>
28. IRENA: THE POWER TO CHANGE: SOLAR AND WIND COST REDUCTION POTENTIAL TO 2025 http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf
29. Nykvist, Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles, Nature Climate Change 2015, doi:10.1038/nclimate2564 <http://www.nature.com/articles/nclimate2564.epdf>
30. Dawkins, “Climbing Mount Improbable”, Norton 1996 0-393-03930-7
31. Brandzæg, Technoport 2012 <https://www.youtube.com/watch?v=3TNT7ZLDN3s>
32. Garcia-Gusano et al: The role of discount rates in energy systems optimisation models Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews vol. 59 p. 56–72 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.359>
33. Kostnadsstudie, Solkraft i Norge 2013 https://www.enova.no/upload_images/9EF9602A2B454C008F472DF2A98F6737.pdf
34. <http://leverandorutvikling.no/arkiv/utslippsreduksjon-paa-byggeplasser-article1249-740.html>
35. <https://www.sjofartsdir.no/aktuelt/nyheter/satser-pa-hydrogen-i-statsbudsjettet/>
36. VNE: Plusskundeordningen <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/>
37. Sjøiland et al. SOLAR SILICON FROM A METALLURGICAL ROUTE BY ELKEM SOLAR - A VIABLE ALTERNATIVE TO VIRGIN POLYSILICON <https://www.elkem.com/documents/solar/research-papers/solar-silicon-from-a-metallurgical-route-by-elkem-solar-a-viable-alternative.pdf>
38. Slengesol, Eksportløft for fornybar energi <https://www.eksportkreditt.no/no/OM-EK/Aktuelt/2016/Eksportokning-innen-fornybar-energi/>
39. Scatec: ASYV, Rwanda, 8.5 MW <http://www.scatecsolar.com/Portfolio/Rwanda/ASYV-Rwanda-8.5-MW>
40. Eksportkreditt, Norske leverandører til fornybar energi 2015 https://www.eksportkreditt.no/Documents/WEB_dok/WEB%20Eksterne%20nyheter/2015%20Eksportkreditt_analyse_av_norsk_fornybar_energi.pdf?epslanguage=no
41. Multiconsult, Trippel volumvekst for solceller I Norge. <http://www.multiconsult.no/trippel-volumvekst-for-solceller-i-norge/>
42. Sunpower: Facts about Solar Technology from Sunpower, <https://us.sunpower.com/solar-panels-technology/facts/>
43. Panasonic: Heterojunction Technology <http://panasonic.net/ecosolutions/solar/hit/>
44. Panasonic: Panasonic HIT® Solar Cell Achieves World’s Highest Energy Conversion Efficiency*1 of 25.6%*2 at Research Level <http://news.panasonic.com/global/press/data/2014/04/en140410-4/en140410-4.html>

45. Fraunhofer Press Release, 23/16, Nov 2016, 30.2 Percent Efficiency – New Record for Silicon-based Multi-junction Solar Cell <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-and-media/press-releases/press-releases-2016/30-2-percent-efficiency-new-record-for-silicon-based-multi-junction-solar-cell>
46. Energy Information Agency, Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016, http://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
47. Eksportkreditt, 2016 (se annen note) https://www.eksportkreditt.no/Documents/WEB_dok/WEB%20Eksterne%20nyheter/2015%20Eksportkreditt_analyse_av_norsk_fornybar_energi.pdf?epslanguage=no
48. Myhr et al, “Levelised cost of energy for offshore floating wind turbines in a life cycle perspective”, Renewable Energy Volume 66, June 2014, Pages 714–728 <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.01.017>
49. Jamieson, Large scale offshore wind energy systems the multi-rotor solution, EWEA Offshore 2015 https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEWja6lDNyYvRAhUeN1AKHblyCwsQFghBMAM&url=http%3A%2F%2Fwww.ewe.org%2Foffshore2015%2Fconference%2Fallposters%2FFPO097.pdf&usq=AFQjCNGnBH6s5bEBjk_z_IGuRrAbqDXOzw&bvm=bv.142059868,d.ZWM&cad=rja
50. Statkraft, pressemelding 23/2-2016 <http://statkraft.no/IR/Stock-Exchange-Notices/2016/bygger-europas-storste-vindkraftprosjekt--i-midt-norge--/>
51. DNV GL: Summer project 2015, Offshore production of renewable hydrogen <http://production.presstogo.com/fileroot7/gallery/DNVGL/files/original/9af5ee9d44454df49592fddbe5c959b3.pdf>
52. DNV GL, The future is hybrid <https://www.dnvgl.com/maritime/advisory/download-the-future-is-hybrid.html>
53. Bellona: <http://bellona.no/nyheter/skipsfart/2015-07-pa-vei-til-gronland-med-el-skute>
54. ZEM, <http://www.zemenergy.com/News/ZEM-to-install-battery-energy-solution-on-the-Eidesvik-Viking-Queen>
55. Grenland Energi <http://grenlandenergy.com/?p=11186>
56. PBES: <http://www.pb.es.com/2016/10/03/pbes-lithium-energy-storage-selected-new-hh-ferries-contract/>
57. Ferroamp www.gridplusstorage.eu%2Fsystem%2Fresources%2FW1siZiIsIjIwMTYvMDMvMDcvMTZfMzIlfNTIfMjVfMy5fU21hcnRfS%2FW5OZWdyYXRlZlF9FbmVzZlFfU3RvcnFnZV9CaI9ybI9KZXJuc3RyX21fQ0VpX0ZlcnJvYW1wLnBkZiIjdXQ%2F3.%2520Smart%2520Integrated%2520Energy%2520Storage-Bj%25C3%25B6rn%2520Jernstr%25C3%25B6m%2C%2520CEO%2C%2520Ferroamp.pdf
58. Statkraft nyhetsmelding feb 2016, <http://www.statkraft.no/media/Nyheter/2016/statkraft-lanserer-batterilagringssystem/>
59. Statoil, Batwind, nyhetsmelding 2016 <http://www.statoil.com/no/NewsAndMedia/News/2016/Pages/21mar-batwind.aspx>
60. Nitta et al. Li-ion battery materials: present and future, Materialstoday, Vol 18, June 2015, p 252-264
Thackeray et al, Electrical energy storage for transportation—approaching the limits of, and going beyond, lithium-ion batteries, Energy & Environmental Science, 2012, DOI: 10.1039/c2ee21892e
61. H2andYou, overview of case studies http://www.h2andyou.org/caseStudies_forlifts2.asp
62. US DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record 2015, https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/15015_fuel_cell_system_cost_2015.pdf
63. Boeing Phantom Eye, <http://www.boeing.com/defense/phantom-eye/>
64. Wikipedia: Hydrogen powered Aircraft, https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen-powered_aircraft
65. Nekså et al., Sites and concepts for possible hydrogen production and export from Norway JP-NO Energy Science Week, Tokyo, 2015-05-27 <http://in-japan.no/arctic2016-day1/files/2015/06/ESW-Neks%3%A5-Hydrogen-day-1.pdf>

Kjeller

Postboks 40, 2027 Kjeller

Besøksadresse

Instituttveien 18, Kjeller

Tlf.: +47 63 80 60 00

Halden

Postboks 173, 1751 Halden

Besøksadresse

Os allé 5, Halden

Besøksadresse reaktoranlegget:

Tistedalsgata 20, Halden

Tlf.: +47 69 21 22 00