

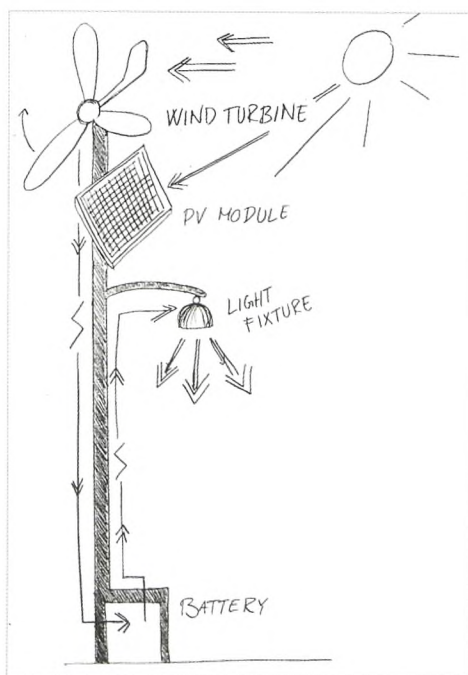
Den selvforsynende gadelampe – når gadelamperne producerer deres egen energi

Af Peter Behrendorff Poulsen, DTU Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet

Omkring 1-2 % af den samlede elektriske energiforsyning i Danmark bruges til belysning af vores veje. Størstedelen af vejbelystningen udmærker sig ved at være udgjort af master, der bryder såvel indstrømmende vind som solindfald og dermed er omgivet af energi, men på nuværende tidspunkt kun formår at forbruge energi. Masternes geometri især i højden er forskelligartede, men energiforbruget i armaturet skalerer ofte med højden – hvormed den øverste del af masten får et stort relativt frigjort areal, hvilket gør dem ideelle til opsamling af vindenergi og solenergi.

Potentiale for selvforsynende lysmaster

Langs de danske veje står et ganske stort antal gadelamper, som tilsammen udgør 1-2 % af det samlede elektriske energiforbrug i Danmark. Mange af gadelamperne er i en forfatning, så de er ved at være modne til udskiftning. For at spare energi går trenden mod udskiftning til LED baserede armaturer, som ofte nedbringer energiforbruget markant i forhold til ældre lyskilder i lamperne. Når selve lysarmaturet bliver mere energibesparende fx ved anvendelse af LED teknologi, åbner det også mulighed for, at man kan drive hele belysningen ved at integrere fx vindturbine på og solpaneler i masten. Hermed bliver masten og dermed belysningen selvforsynende med grøn energi og uafhængig af det kablede energisystem, se figur 1.



Figur 1. Konceptuel opbygning af hybridlysmast drevet af vind- og solenergi.

Især sidstnævnte er attraktivt, da kabellægning i storbyerne kan være meget omkostningstungt og koste op til 5000 kr/m i København og 15.000 kr/m i Berlin, mens det i almindelighed i Danmark beløber sig til ca. 1000 kr/m. Så hvis meromkostningerne ved at gøre masten selvforsynende allerede kan dækkes af

besparelserne på især kablingen, så begynder der også at være et økonomisk incitament for investering heri, hvis energiforsyningen i den selvforsynende form ellers kan sikres at være stabil i forhold til anvendelsen.

Da priserne på solceller og små vindturbiner er nedadgående, så bliver det en med tiden mere økonomisk attraktiv model, ligesom der generelt vil kræves mindre areal til solceller og vindturbine efterhånden som LED'erne bliver mere effektive og lamperne kræver mindre energi for at give det samme lys.

For nuværende går trenden endvidere mod, at man kan udvikle meget intelligente sensorer, der kan sikre, at der kun lyses på gader og stræder, når der er nogen at lyse for (i hvert fald ved fuld lysstyrke), og hermed kan energiforbruget sænkes yderligere således, at de meromkostninger vindturbiner og solceller udgør i forhold til en almindelig gadelampe er en forsvindende lille del af produktets pris. Så tiden arbejder i høj grad for produktet, især da omkostningerne til kabellægning primært er lønomsparinger, som næppe vil reduceres i samme grad som materiale- og komponentpriserne. Yderligere besparelser i forhold til en kablet løsning er så på energien, der inkl. afgifter for nuværende koster kommunerne omkring 2 kr/kWh.

Selvforsynende kabelfri lyssystemer drevet af vind og sol er langt fra en løsning, der bør placeres alle steder. Hvis der i forvejen er fungerende kabler i jorden, vil det for det meste være mest attraktivt at benytte disse og producere den grønne strøm fx via almindelige vindmøller og solpaneler, der leverer energi til det store energinet. Kabler holder dog ikke evigt, så også det eksisterende kabelnet skal renoveres efter et halvt århundrede.

Markedet for hybridbelysningsprodukter er i øjeblikket aldeles umodent. Der er ikke nogle store spillere på markedet, som primært udgøres af små aktører, der producerer små vindturbiner. Disse sættes sammen på forskellig vis med lysarmatur, solpaneler, noget elektronik og et batteri og så haves et belysningsprodukt. I skrivende stund er produkterne på hybridbelysningsmarkedet generelt af en meget ringe kvalitet og designmæssigt langt fra, hvad vi normalt ser langs gader og stræder i det danske vejlandsskab.

Et bredt konsortium¹ har siden 2011 undersøgt markedet i forhold til anvendelse under danske himmelstrøg.

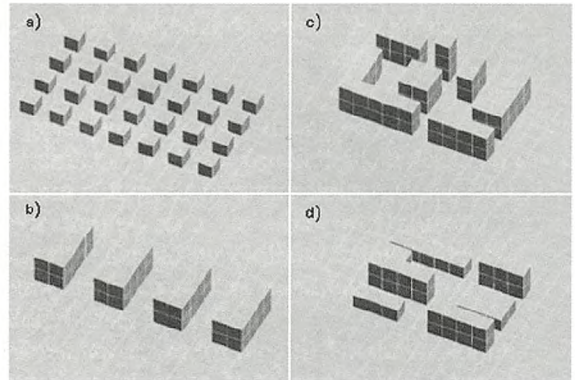
¹Konsortiet består af: Gate 21, DTU Fotonik, DTU Vind, ark-unika, Philips Lighting, Faktor-3, Alfred Priess, Henning Larsens Tegnestue, Dong Energy, Københavns Kommune, Albertslund Kommune og Egedal Kommune.



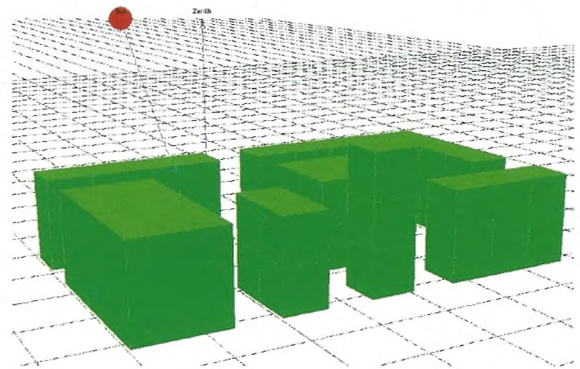
Figur 2. En række kommercielle hybridmaster testet på DTU RISØ.

Konsortiet fandt omkring 21 leverandører på verdensmarkedet i 2012 og indkøbte 4 belysningsprodukter til test (se figur 2), der umiddelbart energimæssigt så ud til at være kompatible med nogle af de danske vejklasser, hvor belysningskravene er mindst. Det var generelt en meget svær øvelse at få specifikationer for de enkelte komponenter, som ville gøre det muligt på forhånd at beregne, om systemerne ville kunne være selvforsynende på en standardiseret dansk vej af en given vejklasse. Veje kan nogenlunde kategoriseres ud fra bygningsmassens tæthed og højde [1] og baseret herpå, er det muligt ud fra lokale vind- og soldata at simulere og estimere energihøsten hen over året for at sikre, at energiniveaue på batteriet kan opretholdes tilstrække-

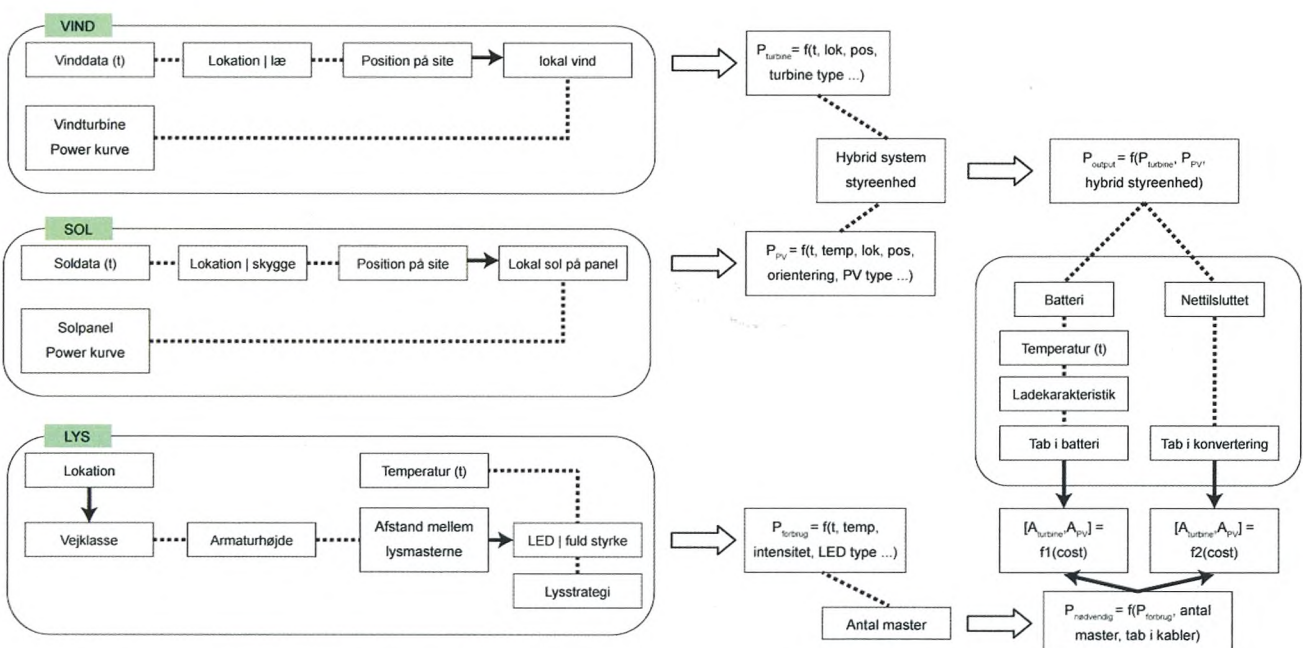
ligt til drift af lyset. Denne øvelse besværliggøres af, at der er brug for rigtig mange data fra de forskellige komponenter (LED, batteri, solceller, vindturbiner og elektronik) for at få et retvisende billede af den energi hybridlysmasterne på et normalår kan stille til rådighed til lys i en given placering i byrummet.



Figur 3. Bygningsmassen kan kategoriseres efter højde og tæthed, og der kan frembringes parametre baseret herpå, der gør det muligt at simulere solenergi og vindenergi.



Figur 4. Simulering af solindfald på solpaneler på produkter placeret mellem bygninger. Den røde kugle er Solen og den lodrette pil peger mod zenit.



Figur 5. Matematisk modelsystem til simulering af energisystemet i en hybridlampe med input af vejrparametre og byrumsparemetre for, hvor lampen skal stå.

Da solpaneler og vindturbiner er dynamiske størrelser, der reagerer meget forskelligt på henholdsvis forskellige lys- og vindniveauer, så kan man ikke ud fra middeldata sige noget fornuftigt om energihøsten af disse dele. Da der ikke findes noget simuleringsværktøj, der kan håndtere sådanne beregninger, var projektgruppen nødt til at udvikle sit eget. Værktøjet tager i sin frembragte form tidsopløste minutværdier for vind- og soldata nedjusteret med skyggerne og læ fra byrummet. Energien lagres så på et batteri i modellen indtil det er fyldt op. Overskydende energi mistes, hvis denne tilstand nås. Mellem solnedgang og solopgang er LED'erne tændt og afhængig af ønsker omkring natsenkning og anden dæmpning i de mørke timer, kan energiforbruget estimeres, og hvorvidt dette kan dækkes blotlægges med en rimelig sandsynlighed.

De kommercielle hybridlamper blev anvendt til at simulere, om de kunne dække energiforbruget på en relativt standardiseret E2-vej (lokalvej) i København. Mange af de nødvendige data for at simulere de kommercielle master var ikke tilgængelige fra producenterne og måtte estimeres eller måles af projektgruppen. Nogle af de parametre, der til gengæld var oplyst, var markant bedre end, når disse blev målt. Modelsystemet er en klar styrke, når man skal vurdere systemerne i forhold til hinanden i en reel anvendelse. Der var meget stor forskel på performance af systemerne, der alle havde meget svært ved at dække energiforbruget, særligt i vintermånederne, hvor nogle ikke var i nærheden af at kunne dække det. Teknisk set har den dårlige performance selvfølgelig noget at gøre med, at vindturbinerne ofte ikke er lavet til at høste ret effektivt, med mindre de placeres uden nogen vindmæssige forhindringer fx på en åben mark eller på en båd på havet. Der er meget at hente ved at optimere både vindmølle, generatoren og ikke mindst elektronikken til at sikre optimal og effektiv ladning på batteriet ved lidt lavere vindhastigheder, hvilket vil gøre det muligt at anvende hybridsystemer også i det mindre tætte byrum, hvor bygningerne ikke er så høje og dermed giver mere vind til turbinerne.

Ved analyse af energisystemerne i de kommercielle master er det helt tydeligt, at det er meget umodne produkter, der kan optimeres ganske meget. Design- og kvalitetsmæssigt var kommunerne i projektet endvidere meget lidt tilfredse med de master, der blev testet i projektet, der må betragtes som værende "state-of-the-art i 2012". Projektgruppen arbejdede derfor sideløbende med at frembringe et hybridsystemkoncept i samråd med nogle danske kommuner og førende nationale forskere og teknologivirksomheder inden for de forskellige fagområder, der udgør komponenterne i hybridmasten. Simuleringsværktøjet blev anvendt til at arbejde med de forskellige dele af systemet og optimere dem i forhold til hinanden og de givne rammebetingelser, som blev valgt til en nogenlunde standardiseret E2-vejklasse i København. Der blev gennem en række design- og teknologiworkshops frembragt en serie forslag, der i en teknologisk modnet form burde kunne bringes til at klare lyskravene på en lokalvej. Systemet kan skaleres til større forhold, hvis der skal imødekommes andre lyskrav. Kommunerne var meget involverede i design-

processen, da krav til minimal refleksion, høj sikkerhed, støj endvidere blev taget ind i betragtningerne, for det endelige konceptforslag.

Det frembragte konceptforslag fik arbejdstitlen, "CopenHybrid", og kan ses på koncepttegningen i figur 6. To prototyper ses på figur 7.

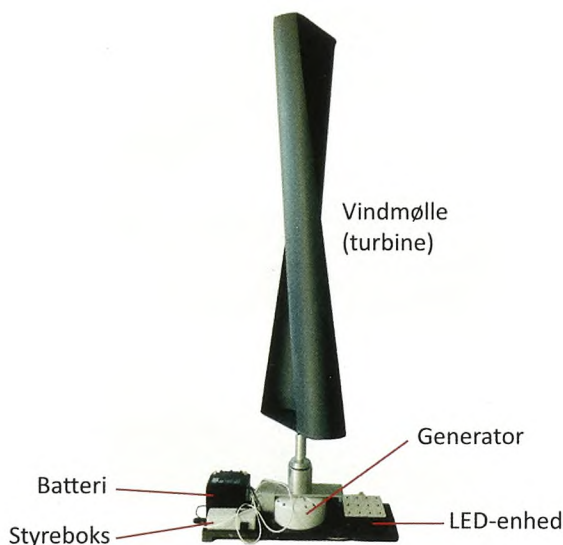


Figur 6. "CopenHybrid" er en sol- og vinddrevet LED-gadelampe, der konceptuelt er udviklet til, at kunne levere nok lys hele året, når den er anvendt på en dansk E2-vejklasse. Gadelampen er omkring 7,5 m høj.



Figur 7. Der er to prototyper af konceptet opstillet i "Danish Outdoor Lighting Lab" i Albertslund (DOLL visitor center, Naverland 2, 2600 Glostrup). Prototyperne er langt fra af et udseende i stil med dem, der er realiseret grafisk i 1. halvdel af projektet, men de illustrerer det system, der skal til for at oplyse lokalgader i København, og vi var nødt til at bruge en masse standardkomponenter.

Projektgruppen arbejder videre med at udvikle selve det tekniske system (se figur 8). Da nogle væsentlige dele af systemet ikke kan leveres som standardkomponenter, arbejdes der på at realisere systemet i en teknisk optimeret form, der vil gøre det lettere at producere og sikre meget bedre performance heraf.



Figur 8. De tekniske komponenter i hybridmasten samlet.

Især når det angår små vindturbiner til integration i lysmaster, er der meget at gøre i forbedringen af ydelsen, især ved lidt lavere vindhastigheder, hvilket er særligt interessant for disse systemer, da de fleste lysmaster er placeret i nærheden af bebyggelse og ikke i åbne landskaber. Projektgruppens mission er at realisere et teknisk overlegent, dansk produkt, der med de indgående komponenter er særdeles effektive, tilpasset hinanden og med rettigheder på nøgleteknologier på

danske hænder [2], [3] og [4].

Projektet er finansieret af Dansk Energi under EL-FORSK's PSO program og har projekt nr. PSO 343-021 og 339-050.

Litteratur

- [1] Beller Ch. (2011), Urban Wind Energy, Risø-PhD-89 (EN), Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy.
- [2] Poulsen, P.B. (2013), Den selvforsynende gadelampe, *Aktuel Naturvidenskab*, bind 2, side 12-13.
- [3] Marianne Vang Ryde (2013), Den selvforsynende gadelampe er på vej, *Dynamo* #33, side 28-31, www.dtu.dk/Om-DTU/Nyheder-og-presse/Dynamo/.
- [4] Poulsen, P.B. et al. (2013), Udvikling af CO₂ neutralt byrumsarmatur, slutrapport, EL-FORSK projekt 343-021, www.elforsk.dk.



Peter Behrensdrøff Poulsen er projektleder ved DTU Fotonik og leder af instituttets aktiviteter indenfor selvforsynende belysning med vind- og/eller solenergi.

Kvantemekanikken i filosofisk belysning

Af Jan Faye, Institut for Medier, Erkendelse og Formidling, Københavns Universitet

Denne artikel fortæller om, hvordan Bohrs fortolkning af kvantemekanikken bygger på en pragmatisk tilgang til kvantemekanikken. Fortolkningen var i sin tid affødt af opdagelsen af virkningskvantet, Heisenbergs usikkerhedsrelationer, og Bohrs forståelse af de klassiske begrebers uundværlighed for enhver beskrivelse af de fysiske erfaringer. Siden har Bohrs fortolkning ofte været forbundet med en manglende forklaring på måleproblemet i forbindelse med bølgefunktions "kollaps". Imidlertid var det slet ikke Bohrs egen opfattelse. I stedet afviste Bohr, at en fysisk teori som kvantemekanikken kan forstås som en repræsentation af den fysiske virkelighed uafhængigt af den eksperimentelle opstilling og den aktuelle måling af et kvantesystem.

Moderne fysik består af en række teorier, hvoraf kvantemekanikken ofte omtales som den mest succesrige teori af dem alle. Det er således endnu ikke lykkedes at udpege noget relevant fysisk fænomen, som den ikke kan beskrive eller forudsige iagttagelsen af. Den kan bruges på store ting som ganske små ting. Siden fremsættelsen er kvantemekanikken udvidet flere gange for at kunne beskrive de forskellige grundlæggende kræfter i verden. Dog mangler man stadig at lave en tilfredsstillende kvantemekanisk beskrivelse af tyngdekraften. Men uanset kvantemekanikkens store succes kommer man ikke uden om, at det er en underlig teori, fordi den tilsyneladende fortæller os, at verden er meget anderledes, end vi går rundt og tror. Eksempelvis forudsiger teorien, at to partikler kan befinde sig i en tilstand af sammenfiltring (entanglement), således at måling på den ene partikel får umiddelbar indflydelse

på målingen af den anden partikel. Det gælder, uanset at de to partikler i princippet kan være adskilt, så den ene partikel befinder sig på Jorden, mens den anden befinder sig i Alfa Centauri. Sådanne forhold har ført til en lang række fortolkninger, som hver især søger at klarlægge, hvad vi skal forstå ved teorien. Lige så frugtbar som teorien har været med hensyn til at beregne praktiske fysiske problemer, lige så vanskeligt har det været at opnå enighed om, hvordan vi skal opfatte teorien.

Realisme versus instrumentalisme

Overordnet set kan man anlægge to meget forskellige synspunkter på en videnskabelig teori. Det ene synspunkt, også kaldet realisme, går ud på, at videnskabelige teorier skal forstås helt bogstaveligt. En videnskabe-