

I fremtidens VE-samfund er det nødvendigt, at elsektoren sammentænkes med varme-, gas- og transportsektorerne. Elbiler bliver en nøgleteknologi, og brint skal kombineres med kulstof fra biomasse eller atmosfæren, så der kan fremstilles brændstoffer til transportsektoren.



Foto: Torben Skott/BloPress

# Det intelligente energisystem

Af Brian Vad Mathiesen, Henrik Lund, Frede K. Hvelplund, David Connolly, Niclas S. Bentsen, Davide Tonini, Poul Erik Morthorst, Henrik Wenzel, Thomas Astrup, Niels I. Meyer, Marie Münster, Poul Alberg Østergaard, Birgitte Bak-Jensen, Mads Pagh Nielsen, Erik Schaltz, J.R. Pillai, Lorie Hamelin, Claus Felby, Kai Heussen, Peter Karnøe, Jesper Munksgaard, Lise-Lotte Pade og Frits M. Andersen

Det langsigtede mål for Danmarks energiforsyning er klart: I 2050 skal Danmark være helt fri af de fossile brændsler. Det rejser spørgsmålet om, i hvor høj grad vi skal erstatte de fossile brændsler med biobrændsler og bioenergi, og/eller i hvor høj grad vi skal satse på besparelser og anvende andre former for vedvarende energi.

Det store fokus på biomasse i Danmark, kombineret med den store tiltro til at anvende biomasse i Europa, bør vække bekymring blandt især beslutningstagere, virksomheder og forsyningsselskaber. På trods af at vi har formået at holde vores primære energiforbrug konstant, vil vi fremover skulle nedbringe energiforbruget for at kunne få biomasseresurserne til at slå til.

Danmark har haft særdeles stort fokus på at effektivisere i konverteringssektoren og spare i slutforbruget. Det skal vi fortsat gøre, ligesom vi fortsat skal have en decentral struktur. Med hensyn til forsyningssikkerhed

går vi dog ind i en ny fase. Spørgsmålet er, i hvor høj grad vi skal satse på biomasse, og i hvor høj grad vi skal lave besparelser og investeringer i andre former for vedvarende energi som vindmøller?

## CEESA-projektet

I CEESA-projektet, der er støttet af Det Strategiske Forskningsråd, har en stor gruppe forskere igennem flere år arbejdet med scenarier for, hvordan Danmark kan blive 100 procent baseret på vedvarende energi i 2050 (se figur 1). I arbejdet har der især været fokus på spørgsmålet om anvendelse af biomasse og omlægning af transportsektoren.

En af de vigtigste konklusioner i projektet er, at transportsektoren er en nøgleudfordring i forhold til hele denne omstilling. Hertil kommer, at biomasseresourcen er begrænset. Derfor skal der anvendes så meget el som muligt direkte til transport, især fordi arealanvendelsen til elproduktion er væsentlig mindre end produktion af biomasse til biobrændstoffer.

Det intelligente elnet bliver en vigtig del af fremtidens energisystem. Allerede i dag har vi velfungerende markeder, der kan sikre lave produktionspriser, samtidig med at vi har et stabilt elsystem. I fremtiden bliver udfordringerne større, idet vi i 2050 vil have 50 procent vindenergi. Tidligere forskning har vist, at det ikke er ellagre som pumpeværker, batterier og lig-

nende, der kan løse de udfordringer, vindmøllerne giver.

## Det intelligente energisystem

I CEESA har vi arbejdet med konceptet Smart Energy Systems eller det intelligente energisystem. Det er defineret som et energisystem med en stor sektorintegration, flere forskellige typer fleksibelt forbrug og lagringsmuligheder. Analyserne viser, at når elsektoren sammentænkes med varme-, gas- og transportsektorerne kan vi finde de bedste og de billigste løsninger til integration af vind.

I et vedvarende energisystem er brændselseffektivitet vigtig. Derfor skal der gives prioritet til kraftvarme og til så lidt elproduktion som muligt, hvor varmen går til spille.

Når vindandelen øges, er det første vigtige skridt, at varmesektoren integreres. Her er vi langt i Danmark. Vi kan lave kraftvarme, når vinden ikke blæser, og bruge fjernvarme fra billige varmelagre, når det blæser. Alle kraftvarmeværker opererer på et elmarked, der sikrer, at produktion og forbrug hænger sammen time for time. Det kan give mulighed for at integrere op til cirka 20 procent vindenergi, uden at det går ud over brændselseffektiviteten, da kraftvarmefordelen kan bevares.

## Over 40 procent el fra vind

I næste fase er den største udfordring at få kraftværkerne til at mindske eller helt stoppe deres elproduktion,

når vinden blæser. Derfor er det vigtigt, at kraftvarmeverkerne har store varmelagre og varmepumper til rådighed, så de kan dække varmebehovet i de perioder, hvor der er rigeligt med vindkraft. Med det koncept kan vindmøllerne dække over 40 procent af elforbruget.

Parallelt med de store varmepumper i kraftvarmesystemerne bør fjernvarmen fastholdes og udbygges. Hvor fjernvarmen bliver for dyr, bør eksisterende olie- og gasfyr erstattes med individuelle varmepumper. Derved spares der brændsel, og integrationen af vindkraften bedres en smule som følge af en mindre stigning i elforbruget.

Det er dog næppe hensigtsmæssigt at satse stort på at anvende individuelle varmepumper til yderligere integration af vind. Dertil er investeringerne i overkapacitet og individuel varmelagre for store.

## Transportsektoren

Sektorintegrationens næste skridt bør således være transportsektoren, og her er elbilerne en nøgleteknologi, der kan gøre det muligt at erstatte ineffektive forbrændingsmotorer med effektive elmotorer.

Med elbilerne og mere el i den kollektive transport kan man komme op

på 50-60 procent vindenergi. Det betyder store besparelser i forhold til anvendelsen af biomasse. Den store udfordring er de lange, tunge transportere og fly. Her er der sandsynligvis brug for flydende brændsler.

Den åbenlyse løsning er forskellige former for biobrændstoffer. I CEESA projektet har vi arbejdet med forskellige teknologier til fremstilling af flydende brændsler, og det står klart, at de brændsler, der anvendes, bør kunne indeholde energi fra vindmøller. Dette kan nedbringe afhængigheden af biomasse til et bæredygtigt niveau.

## Brint og kulstof

I det omfang, der ikke kan anvendes el direkte eller indirekte via batterier, skaber dette det tredje trin i det intelligente energisystem. Ved hjælp af vindmøllestrøm kan der produceres brint, og ved at kombinere brint med kulstof fra biomasse eller atmosfæren kan der fremstilles gasformige og flydende brændstoffer til transportsektoren. På den måde kan vindandelen hæves yderligere til 70-80 procent.

Når vindandelen kommer op på det niveau skyldes det blandt andet, at elforbruget stiger kraftigt, fordi store mængder fossile brændsler til

den tunge trafik skal erstattes med vedvarende energi.

En sådan systemintegration giver gode muligheder for at lagre den vedvarende energi, da gas kan lagres flere måneder i naturgasnettet, og flydende brændsler kan lagres i tankanlæg.

*Brian Vad Mathiesen, Henrik Lund, Frede K. Hvelplund, David Connolly, Poul Alberg Østergaard, Birgitte Bak-Jensen, Mads Pagh Nielsen, Erik Schaltz, J.R. Pillai, og Peter Karnøe er alle ansat ved Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet.*

*Niclas S. Bentsen og Claus Felby er ansat ved Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet.*

*Poul Erik Morthorst, Thomas Astrup, Davide Tonini, Niels I. Meyer, Marie Münster, Lise-Lotte Pade, Kaj Heussen og Fritz M-Andersen er ansat ved Danmarks Tekniske Universitet.*

*Henrik Wenzel og Lorie Hamelin er ansat ved Det Tekniske Fakultet, Sydansk Universitet.*

*Jesper Munksgaard er i dag ansat ved Københavns Energi.*

Figur 1 CEESA-projektets scenarie for energistrømme i 2050

