



# SMART STYRING AF VARMEREGNINGEN

I fremtiden vil flere og flere af vores boliger bliver opvarmet ved hjælp af varmepumper og elektricitet fra vindmøller. Det vil gøre det interessant at styre sit elforbrug hen mod tidspunkter på døgnet, hvor elprisen er lav – og det kan man opnå ved at udnytte boligens byggematerialer og inventar som “varmebatteri”.



Forfatteren Steffen Petersen er uddannet civilingeniør og har en ph.d. i bygnings indeklima- og energiforhold. Til dagligt er han lektor og leder af forskergruppen Indeklima og Energi på Institut for Ingeniørvidenskab på Aarhus Universitet. [stp@eng.au.dk](mailto:stp@eng.au.dk)

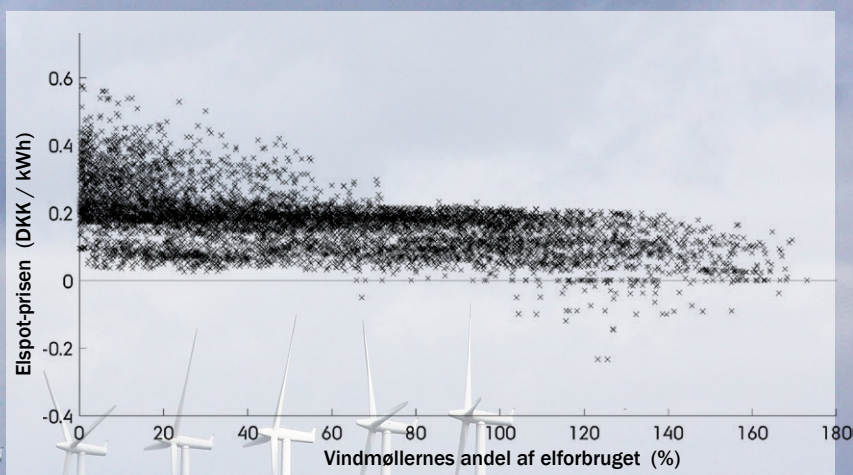
Inden for naturvidenskab er balance ofte en tilstand, man søger. Massebalance er for eksempel et vigtigt begreb i forbindelse med blandt andet kemiske processer; kraftbalance er et vigtigt begreb indenfor for eksempel aerodynamisk analyse af bygninger, vindmøller og andre konstruktioner; og energibalance (eller ligevægt) er et centralt begreb i termodyna-

mik. Denne søgen efter balance er også et vigtigt element i styringen af det danske samfunds energiproduktion. Her handler det at holde balancen især om forsyningsikkerhed. En høj forsyningsikkerhed kræver nemlig, at man er i stand til at holde en meget skarp balance mellem forsyning og efterspørgsel. I el-systemet handler det for eksempel helt konkret om at undgå, at den faktiske spændingsfrekvens (et

mål for elkvalitet) i nettet ikke afviger markant fra den ønskede. For kan man ikke holde balancen, så spændingsfrekvensen enten bliver for høj eller lav, fører det i værste fald til strømafbrydelse, som kan have store konsekvenser – tænk på hospitaler, trafik, og internettet uden strøm.

I Danmark har vi en elforsyningsikkerhed på mere end 99,99 %

Elprisen som funktion af andelen af vindenergi, der indgår i forbruget for Danmark vest for Storebælt (Data fra Nordpool, 2015). Her ses det, at elprisen til tider kan være negativ.



Fotos: Colourbox

svarende til, at du i gennemsnit vil opleve 25 minutter uden strøm om året. Det er værd at bemærke, at den tidlige skala i denne balance-ring opgøres med millisekunders nøjagtighed, og at den danske forsyningssikkerhed på el er meget imponerende i en international kontekst.

### Omstilling af energiproduktion giver nye udfordringer

Traditionelt opnår man balance i energisystemer ved at styre forsyningen, så den matcher efterspørgslen. Det er i høj grad muligt i kraft af fossile brændsler – og for den sags skyld biobrændsler – der i sin grundform er en form for energilager. Dermed kan man blot “smide mere brænde på bålet” efter behov. Faktum er dog, at disse lagre ikke er vedvarende; de fossile brændsler vil løbe tør på et tidspunkt, og biobrændsel bliver en mere knap ressource. Derfor er vi i Danmark ved at omstille vores energiproduktion, så den er baseret på vedvarende energikilder, primært el fra vindproduktion. I dag er el fra vindmøller godt på vej til at dække 50 % af vores samlede elforbrug. Med tiden vil el-produktionen fra vind ikke kun dække vores almindelige

elforbrug, men også overtage store dele af fjernvarmeproduktionen via varmepumper. Vi får derfor i stigende grad varmeenergi som vinden blæser og ikke nødvendigvis, når der er efterspørgsel. Det betyder, at når andelen af vindenergi er lav, er prisen højere, da vi enten skal importere eller producere dyrere el for at opnå balancen. Men nogle gange producerer vi så meget vindenergi, at vi bliver betalt for at bruge den. Denne uforudsigelighed og usikkerhed i el-produktionen gør det alt andet lige sværere at balancere energisystemet gennem styring af forsyningskilder alene. Derfor skal man i stigende grad til at forholde sig til de muligheder, der ligger i at styre efterspørgselssiden af balancen.

### Kan vi styre efterspørgsel på varme?

Styring af efterspørgsel på varme kan ske på forskellige måder, men opdeles ofte i permanente reduktioner af behov (for eksempel øget isolering af huse) og tidsbestemte reduktioner (for eksempel strategisk afbrud af forbrug på kritiske produktionstidspunkter). Hvad der er mest økonomisk effektivt afhænger af mange ting.

Man kan for eksempel reducere efterspørgslen ved at stille krav til isoleringsgraden af nye huse, hvilket man i stigende grad har gjort i Danmark siden energikriserne i 1970'erne. For bygninger er det i vid udstrækning økonomisk effektivt at investere i tiltag, der sparer på varmen, frem for at varme dem op eller køle dem efterfølgende. Når det gælder den ældre del af bygningsmassen, vil der stadig være potentiale for at finde sådanne rentable energibesparelser mange år frem. Til gengæld vil der ikke være så meget mere at hente på den konto i nybyggeri med de skærpede minimumskrav i bygningsreglementet.

I de senere år har det vist sig, at mere proaktiv styring af energi-efterspørgsel, når bygningerne er i drift, kan udgøre et omkostnings-effektivt alternativ til styring af forsyningskilder. Udgangspunktet er ofte, at energiselskaber laver en prognose over deres energiproduktion for eksempel 24 timer frem i tiden. Ud fra denne prognose fastsættes der en pris per energienhed, som kan variere i tid. Denne pris er dermed et udtryk for tilgængeligheden af energi på et givet tidspunkt.

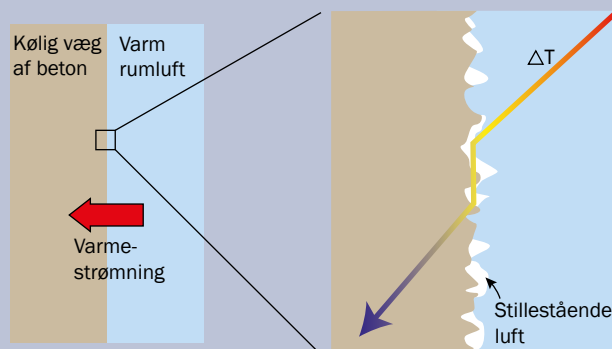
## Princippet i "varmebatteriet"

Varmeakkumuleringsevnen for et materiale afhænger dels af materialets densitet, specifikke varmekapacitet og varmeledningsevne, og dels af lagtykkelse og periodelængden for varmepåvirkningen. Dertil kommer størrelsen på den såkaldte overgangsisolans mellem rumluften og materialet, som udgøres af et meget tyndt lag stillestående luft, som blokerer for varmeoverførelsen fra luften til materialet. I praksis kan varmeakkumulering og varmeoverførelse være påvirket af mange forskellige dynamiske fænomener som lufthastigheder og solindfald. Ser vi bort fra dynamiske påvirkninger, kan princippet, vi ønsker at udnytte til efterspørgsels-respons i bygninger, betragtes som følger:

$$Q = mc(T_{\text{efter}} - T_{\text{før}})$$

hvor  $m$  er massen af et materiale,  $c$  er specifik varmekapacitet,  $T_{\text{efter}}$  er den temperatur i massen, man ønsker,  $T_{\text{før}}$  er den temperatur, massen har i sit udgangspunkt, og  $Q$  er den energi, der skal tilføres for at ændre massens temperatur fra sit udgangspunkt.

Da  $m$ ,  $c$ , og  $T_{\text{før}}$  er konstante, kan man ud fra ligningen se, at man ved at tilføje noget energi ( $Q$ ) vil hæve  $T_{\text{efter}}$ . Det betyder, at hvis man hæver lufttemperaturen i et rum, og materialerne i rummet dermed bliver koldere end rumluften, vil man begynde at opvarme materialerne via luften. Hastigheden af denne opvarmningsproces sænkes af materialets varmeledningsevne og overgangsisolans. Ændrer man rumtemperaturen, så den bliver lavere end materialerne i rummet, vil processen



Ujævnheder i overfladen på et materiale betyder, at der her opstår et lag af stillestående (isolerende) luft, som udgør en lille termisk modstand mellem materialet og den omkringliggende luft. Det ses ved, at temperaturforskellen er nærmest konstant ved overfladen af væggen, inden den falder igen inde i den kølligere væg.

vende sig om: Materialerne i rummet vil opvarme rumluften – igen med en forsinkelse grundet materialernes varmeledningsevne og overgangsisolans.

Tunge materialer såsom mursten og beton kan akkumulere større mængder varmeenergi end for eksempel træ. Der går simpelthen længere tid før mursten og beton opnår rumluftens temperatur, end det gør for træ. Derfor er det som udgangspunkt attraktivt for det omtalte styringskoncept, at rumluften står i fri forbindelse med bygningens tungere bestanddele, da det tillader længere perioder med ladning og afladning af "varmebatteriet".

Et sådant prissignal kan sendes til efterspørgere af energi som incitament til at flytte deres energiforbrug til perioder med større tilgængelighed (lav energipris) frem for perioder med lav tilgængelighed (høj energipris).

Som sådan prøver man at udnytte en simpel markedskraft til at balancere energisystemet ved hjælp fra efterspørgerne – et princip, der mest kendt under det engelske udtryk "Demand Response" – altså "efterspørgsels-respons".

Efterspørgsels-respons er i dag mest noget, man taler om på el-markedet, men samme type prissignal vil også kunne bruges til at anspre efterspørgsels-respons hos fjernvarmekunder – især hvis man antager, at fjernvarmen produceres med el via varmepumper.

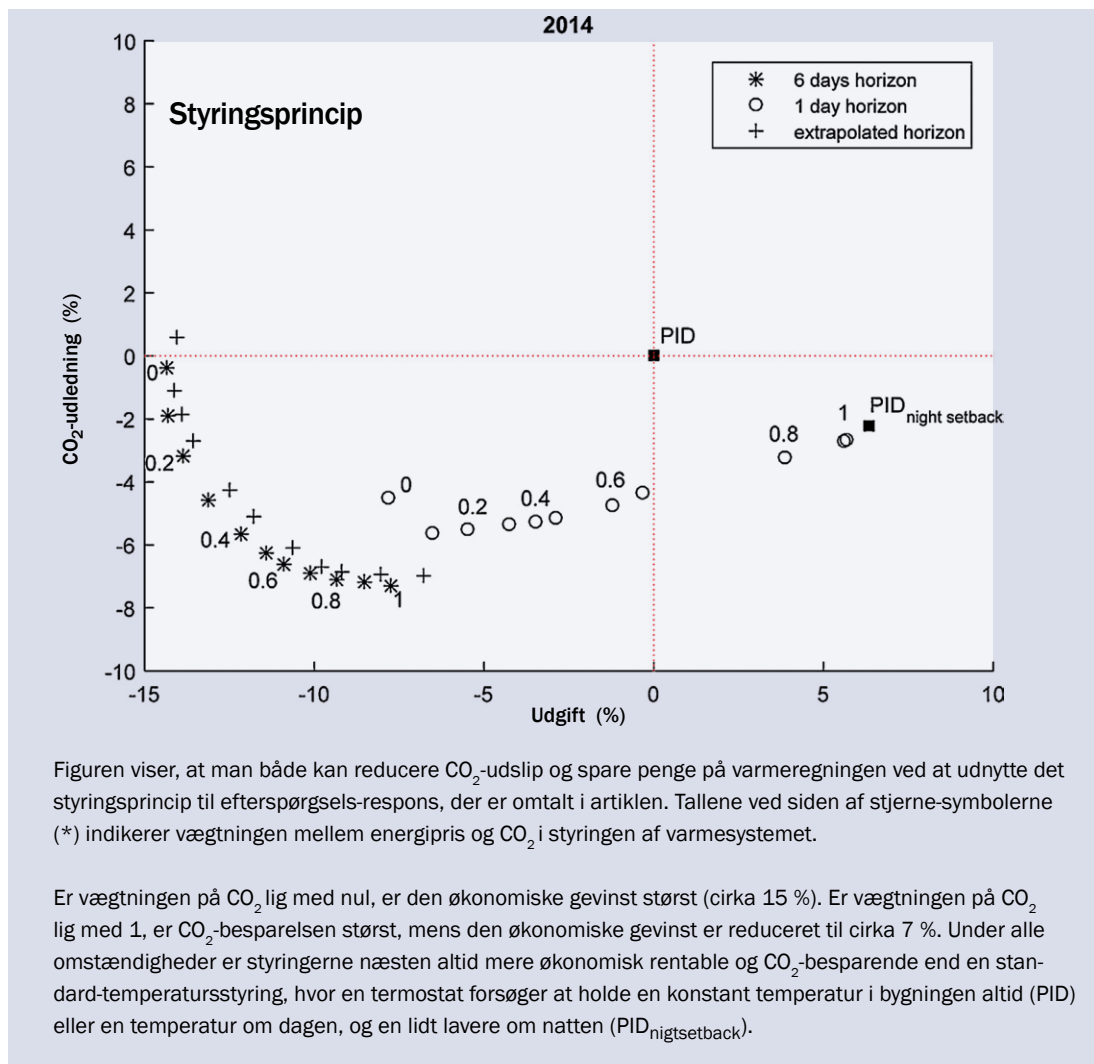
### Bygningsmaterialer som varmebatteri

Set fra den enkelte forbrugers synspunkt vil en væsentlig betingelse for at omlægge sit energiforbrug være, at det ikke koster på komforten. Hvis man for eksempel bare slukker for varmen, når energiprisen er høj, kan det jo blive så koldt, at det ikke er behageligt at opholde sig i bygningen. Det er imidlertid muligt at undgå sådanne gener ved at varme bygningen en smule op med billig energi, før man slukker for varmen, når der er dyr energi. Det skyldes, at bygninger består af materialer, der med deres varmeakkumuleringsevne kan absorbere varme og frigive den igen.

På den måde fungerer bygningsmaterialer og inventar som en form for "varmebatteri", som kan oplades og aflades med en vis tidsforskydning. Det forhold kan udnyttes til at

forberede en bygning på efterspørgsels-respons: Vi kan bruge mere energi på at hæve lufttemperaturen en smule – uden at det bliver ukomfortabelt – når energiprisen er lav, og derigennem oplade vores materialer med varme, hvorefter vi kan lade være med at tilføje energi til rumluften, når energiprisen er høj, og lade den akkumulerede varme i materialerne opvarme rummet i stedet.

Mine kolleger og jeg på Aarhus Universitet har gennem modelberegninger påvist, at denne form for styring af varmen i et hus potentielt kan øge energiforbruget med op til 15 %, men at det samtidig reducerer varmeregningen med op til 15 % i forhold til konventionel styring. Med andre ord: Brug mere energi og spar penge! Sagen er, at man bruger meget (men billig)



energi, når prisen er lav, og kun lidt (men dyr) energi, når prisen er høj. Lige så interessant er det, at man samtidig flytter energiforbruget væk fra de tidspunkter, hvor energiforsyningen har deres spidslaste, det vil sige tidspunkter hvor energiselskaberne normalt har de største problemer med at følge med efterspørgslen. At reducere spidsbelastningen på denne måde kan også have en positiv samfundsøkonomisk effekt, da det betyder, at man ikke behøver investere helt så meget i forsyningsinfrastruktur.

### Giver ikke nødvendigvis mere CO<sub>2</sub>-udslip

Den opmærksomme læser tænker måske: "Skaber man ikke mere CO<sub>2</sub>-udslip med et højere energiforbrug?" Svaret er: ikke nødvendigvis. Det afhænger meget af, hvor stor en andel af energien på

et givet tidspunkt, der kommer fra vedvarende kilder som vind og sol. Faktisk har det vist sig, at man ved hjælp af det styringsprincip, som jeg har forklaret i denne artikel, både kan reducere sit CO<sub>2</sub>-udslip og opnå en besparelse, hvis man vil tage til takke med en lidt mindre økonomisk gevinst. Dermed giver styringsprincippet den enkelte forbruger muligheden for at vælge mellem at maksimere den økonomiske profit eller minimere CO<sub>2</sub>-udslippet og spare lidt færre penge.

### Gevinsterne opnås automatisk

Når udviklingen er færdig, vil hele den styring, jeg omtaler i artiklen, foregå ganske automatisk. Det kræver dog, at man har installeret den rette hardware i sit hus i form af radiator-termostater, styringen kan kommunikere med. Brugeren skal dog give styringen et input om,

hvilken temperatur man normalt finder passende. Nogle foretrækker omkring 20 °C, andre ønsker måske omkring 24 °C. Man skal også vælge, om man vil prioritere at spare penge og/eller CO<sub>2</sub>. Dette skal man principielt kun forholde sig til én gang, så kører systemet (man kan dog altid justere parametrene, hvis man ændrer mening). Styringen vil derefter selv indhente vejrudsigter, energipriser og den data, der ellers skal til for at give brugeren den ønskede komfort med lavest mulige energiregning.

I min forskergruppe arbejder vi netop nu på projekter, der leder hen mod en sådan automation. Derudover udfører vi fysiske eksperimenter, der forhåbentligt vil bekræfte, at det er muligt at realisere de gevinster, som modelberegningerne stiller i udsigt. ■