



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Termisk lagerkapacitet i bygningsmassen kan udnyttes til bygning-til-net service

Johra, Hicham; Goupy, Maxime; Wittchen, Kim B.

*Published in:*

HVAC magasinet : magasin for klima- & energiteknik, miljø, bygningsinstallationer & -netværk

*Publication date:*

2024

*Document Version*

Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Johra, H., Goupy, M., & Wittchen, K. B. (2024). Termisk lagerkapacitet i bygningsmassen kan udnyttes til bygning-til-net service. *HVAC magasinet : magasin for klima- & energiteknik, miljø, bygningsinstallationer & -netværk*, 60(6 - May 2024), 40-43. <https://ipaper.ipapercms.dk/TechMedia/HVACMagasinet/2024/?page=40>

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# HVAC

6

Maj 2024  
Årgang 60

*Magasinet*

## Anvendelse af økonomiske teorier kan optimere vores indeklima

Det rigtige armatur på det rigtige sted gør en verden til forskel

▶ Se s. 13



Lindab®

# Indhold

Leder	6
Aktuelt	8
Pilotprojekt skal øge genbrug af armaturer	14
Elbilen som både forbruger og leverandør	16
Ny koalition vil have grønne og sunde offentlige bygninger	20
Højtemperaturvarmepumper har fundet sine first movers	24
Er vvs-ingeniøren en uddøende race?	28
HVAC-memory: År 1974	31
Anvendelse af økonomiske teorier kan optimere vores indeklima	32
Selektiv nedrivning allerede fra sommer	38
Termisk lagerkapacitet i bygningsmassen kan udnyttes til bygning-til-netservice	40
Når der mangler tryk på vandet	44
Sådan sikrer du en god beholderinstallation	46
Navne	48
Produktnyt	50
Danvak	52
Kurser	58

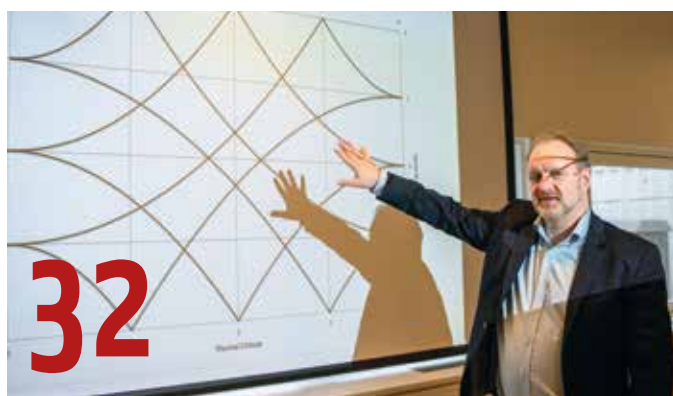
**Forside:** Pareto-optimering og Edgeworth Box hører til inden for økonomisk teori, men nu har en lektor på KEA, Københavns Erhvervsakademi, fundet på at forbinde dem med de fire indeklimadomæner. Resultatet kan ændre vores tilgang til indeklima. Foto: Michael Barrett Boesen.

# 20



## Ny koalition vil have grønne og sunde offentlige bygninger

13 organisationer og fagforeninger vil have mere gang i energireoveringerne - blandt andet ved et grønt anlægsloft.



## Anvendelse af økonomiske teorier kan optimere vores indeklima

En lektor fra KEA har forbundet to økonomiske teorier med de fire indeklimadomæner - en vision, som dramatisk kan ændre vores tilgang til indeklima.



## Termisk lagerkapacitet i bygningsmassen kan udnyttes til bygning-til-netservice

Bygningerne rummer et stort potentiale inden for termisk lagerkapacitet, som vi let kan udnytte.

# Termisk lagerkapacitet i bygningsmassen kan udnyttes til bygning-til-net service

Bygninger har et stort uudnyttet potentiale til at optage energi fra nettet takket være deres energifleksibilitet. Ligeledes rummer den termiske lagerkapacitet i bygningernes konstruktioner også en stor kapacitet, som nemt kan udnyttes med påvirkning af setpunkterne for opvarmning og køling

Af Hicham Johra, Maxime Goupy og Kim B. Wittchen, Aalborg Universitet, Build - Institut for Byggeri, By og Miljø

Bygningers evne til at levere en hurtig respons på skiftende belastninger i elnettet er nøglen til reduktion af CO<sub>2</sub>-udledningen, optimere udnyttelsen af elnettet og dermed bane vejen for yderligere udnyttelse af fluktuerende, vedvarende energikilder. Bygninger har et stort uudnyttet potentiale til at optage energi fra nettet efter behov i nettet (efterspørgselsrespons) takket være deres energifleksibilitet. Udnyttelsen af dette potentiale er hovedsageligt afhængig af forskellige former for energilagring (for eksempel elektriske batterier, vandtanke) samt den energiforsyning, der kan bruges i bygningen. Men den termiske lagerkapacitet i bygningernes konstruktioner rummer også en stor kapacitet, som nemt kan udnyttes med påvirkning af setpunkterne for opvarmning og køling. Denne tilgang har vist sig teoretisk lovende for opbygning af efterspørgselsrespons, men der mangler incitamenter. Denne artikel giver et skøn over kapaciteten for energilagring i bygningskonstruktionerne for hele bygningsmassen i Danmark. Denne kapacitet kan sammenlignes med alle kombinerede batterier i store flåder af elbiler eller lagertanke i industriel størrelse i fjernvarmeværker. Konstruktionerne i bygningsmassen er en let tilgængelig termisk lagertank, der venter på at blive brugt til at hjælpe elnettet med minimale omkostninger.

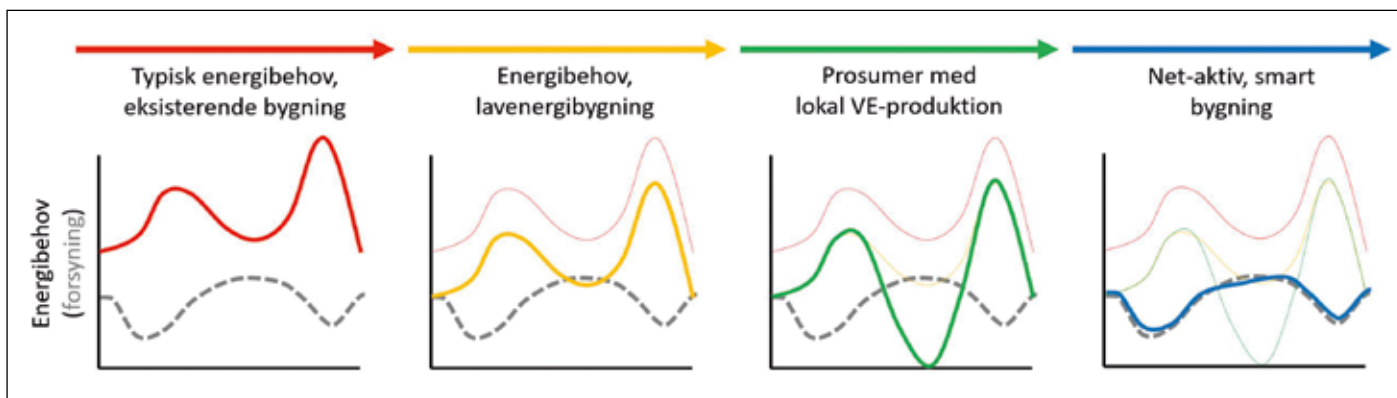
## Baggrund

I den nuværende energi- og miljøkon tekst udfordret af klimaændringer med deraf følgende behov for at reducere CO<sub>2</sub>-udledningen og øge elektrificeringen i de



Foto: freemk.com





Figur 1. Paradigmeskift: Smarte bygninger leverer fleksibilitet til et forsyningsnet, der er domineret af fluktuerende VE-produktion [1].

forskellige energinet (el, fjernvarme og -køling). Dette skal ske med en overgang fra fossile brændstoffer til fluktuerende, vedvarende energikilder (VE) og en fokus på bæredygtighed i samfundet generelt.

Driften af energiinfrastrukturer ændrer sig drastisk, idet CO<sub>2</sub>-intensiv spidslast energiproduktion skal udfases, samtidig med at netstabiliteten bevares ved hjælp af en stor andel af afbrydeligt forbrug og decentraliseret VE-produktion. Det er påvist, at styring på efterspørgselsiden (dvs. moduleringen af energifterspørgs-

len) kan afhjælpe de førnævnte udfordringer. Efterspørgselsrespons og central aktivering af energifleksibilitet er kortsigtede styringsstrategier på efterspørgselsiden. De kan for eksempel hjælpe med at stabilisere spænding og frekvens i elnettet, eliminere behov for begrænsning af spidslast og lokale flaskehalse i energinetværk, reducere brugen af CO<sub>2</sub>-intensiv energiproduktion i spidslastperioder (gas eller oliekedler som kan sættes ind med kort varsel), sænke behov for forstærkning og udvidelse af energiinfrastrukturer og forhindre problemer i

vandbårne netværk forårsaget af en ustabil drift.

Bygninger er de største energislutbrugere. I lang tid blev de betragtet som faste belastninger. I virkeligheden kan bygningsmassen ændre og tilpasse sit energibehov i tid. Bygninger er også en kobling mellem forskellige energinet og transport. Bygninger bliver mere energieffektive og decentraliserede enheder, som både forbruger og producerer/leverer energi (prosumere), opstår overalt. Fremtiden for det byggede miljø peger mod net-interaktive, smarte bygninger, ▶

## ENERGIBESPARELSER

VED HJÆLP AF EVAPORATIV KØLING

**Vil du reducere energiforbruget i din produktion?**

**Vi er dine eksperter i:**

- Evaporativ køling
- Befugtning og affugtning
- Styring af luftfugtighed
- Forbedring af indeklima

**Kontakt os**  
 Telefon 8788 2100  
[www.condair.dk](http://www.condair.dk)

Ventilation med mekanisk køling er en stor driftsomkostning for mange produktioner. Brug din overskudsvarme til at reducere denne udgift.

**Befugtning skaber evaporativ køling, hvilket giver dig vigtige fordele:**

- Mindsker omkostninger til køling og ventilation
- Kort tilbagebetalingstid
- Minimalt vedligehold
- Grønt supplement til traditionel ventilation
- Forbedrer indeklima for produktionsudstyr

Ring og hør  
hvordan vi kan  
hjælpe dig

## ► Fortsat

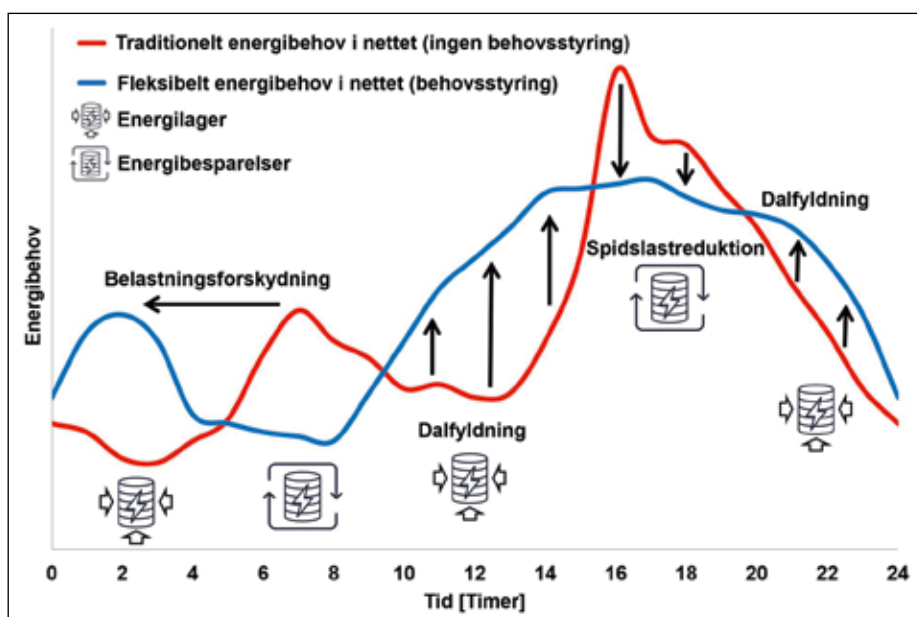
der leverer efterspørgselsrespons som en tjeneste til nettene og matcher efterspørgsel og energiforsyning fra fluktuerende VE-produktion (figur 1 på side 41).

### Respons på signaler og energifleksibilitet for bygning-til-net service

Bygningsenergifleksibilitet er en bygnings evne til at tilpasse eller justere dens kortsigtede (et par timer eller et par dage) energibehov og energiproduktionsprofil i henhold til klimaforhold, brugerbehov og krav (behov) i energinetnet uden at udfordre de tekniske installationer eller brugernes termiske komfort [2]. Etablering af energifleksibilitet eller efterspørgselsrespons muliggør således styring af bygningens belastning på energinetnet, som giver mulighed for at levere bygning-til-net (B2N) tjenester og understøtte, at energiefterspørgselsprofilen matches med energiforsyningsprofilen i intelligente energinetnet domineret af fluktuerende VE-produktion.

Potentialet for bygninger til at levere B2N-tjenester er kolossalt. I Australien anslås det, at 50 procent af den disponible kapacitet på elnettet vil komme fra bygningmassen [3]. I USA forventes B2N-tjenester at reducere CO<sub>2</sub>-emissionerne fra elnettene med 6 procent og generere omkostningsbesparelser på 100-200 milliarder USD i 2030 [4]. Den globale kapacitet for efterspørgselsrespons fra bygningernes lagre er i øjeblikket kun 1 procent af den samlede elforsyning. Der er dog potentiale til at nå op på 10 procent allerede i 2030 [5].

Som illustreret i figur 2 kan bygning-energifleksibilitet eller efterspørgselsrespons-handlinger bestå af for eksempel reduktion af behovet for effektspidser, belastningsforskydning (fremskynde eller forsinke energiforbruget over en kort pe-



Figur 2. Eksempler på hvordan en bygning kan reagere på behovene i energinetnet [6].

riode) eller dalfyldning (øge energiforbruget, når energibehovet ellers er lavere end produktionen).

Mange af disse reaktioner i bygningen er afhængige af forskellige former for energilagring hos slutbrugeren (bygningen) af energi, såsom elektriske batterier (inklusive batterier i elektriske køretøjer forbundet til en bygning), vandtanke, faseændrende materialer eller jord (boringer). Reaktionerne kan også opnås ved at begrænse forsyningen af vedvarende energi på stedet (for eksempel solceller) eller flytte driften af visse apparater i tid (for eksempel vaskemaskine eller opvaskemaskine).

En anden betydelig energilagring kapacitet i det byggede miljø ligger i den termiske masse af bygningernes konstruktioner. Denne lagerkapacitet kan nemt aktiveres ved hjælp af ændret opvarmning eller køling af bygningen, uden at kompromittere det termiske indeklima. Denne tilgang har vist sig som en lovende mulighed for at opbygge efterspørgselsrespons i

bygninger [7,8]. Der er dog en tilsyneladende mangel på et estimat af den termiske lagerkapacitet for hele bygningsmassen.

### Termisk lagerkapacitet i den danske bygningssmasse

For at bidrage til ovenstående kan den effektive termiske lagring kapacitet for forskellige bygningstypologier estimeres. Disse typologier eller arketyper er repræsentative for et stort antal sammenlignelige bygninger. Kombineret med statistiske oplysninger om det samlede antal af hver arketype i hele bygningsmassen kan der laves et landsdækkende estimat over lagerkapaciteten, hvis der sker en generel udbredelse for efterspørgslen på baggrund af forsyningsnettets behov. I nærværende undersøgelse blev allerede eksisterende typologier for den danske bygningssmasse [9] udvidet til at beregne den effektive termiske lagerkapacitet for hver bygningssarketype. Antallet af bygninger inden for hver arketype i Danmark

# PURUS AFLØB I FARVER

## Fuldend dit eksklusive look

Har du indrettet dit badeværelse i eksklusive materialer og farver?

Så kan du fuldende looket med Purus Line PVD-riste i messing, kobber og sort.

Fås i str. 15 x 15 cm og i længderne 800, 900 og 1000 mm. Eller vores helt nye hjørneafløb.

Se mere på [www.purus.dk](http://www.purus.dk) eller hør mere på telefon **4616 1919**



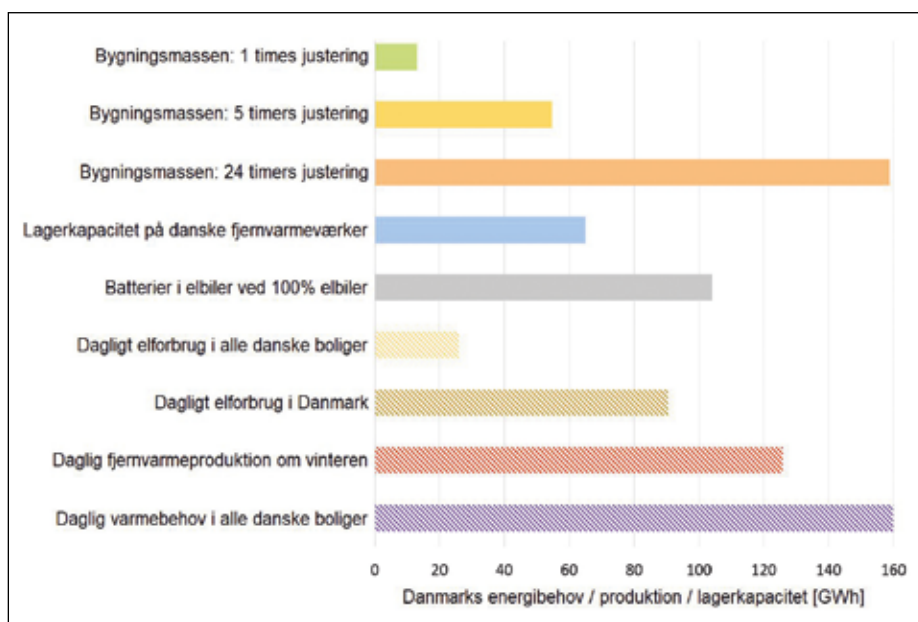
er udtrykt fra BBR-registret. Ved at koble den beregnede lagerkapacitet for hver arketype og antallet af bygninger inden for den enkelte arketype kan den termiske lagerkapacitet i den danske bygningsmasses konstruktioner estimeres. Aktivering af lagerkapaciteten kan ske ved en simpel regulering af setpunkterne for indetemperaturen.

I toppen af figur 3 ses resultaterne af estimatet på det termiske lagringspotentiale i danske bygninger ved en variation af indetemperaturen på  $\pm 2^\circ\text{C}$  over hhv. 1, 5 og 24 timer. Der er en meget betydelig lagerkapacitet i den danske bygningsmasse, svarende til samlet kapacitet i alle lagerstanke i de danske fjernvarmeværker eller i alle batterier i en fuldt elektrificeret bilflåde. Denne kortsigtede energilagringsskapacitet i bygningerne er også sammenlignelig med det daglige elforbrug og den daglige varmeproduktion om vinteren (figur 3).

Selv om der er tale om et estimat, viser resultaterne klart, at der er et stort potentiale for flytning af efterspørgslen efter energi til bygninger, hvis blot den eksisterende termiske lagringskapacitet i konstruktionerne udnyttes. I øjeblikket er denne mulighed for energilagring stort set uudnyttet, men den kan nemt aktiveres ved hjælp af smart home-teknologier som smarte termostater, der for eksempel reagerer på dynamiske prissignaler for energi. Termisk lagring i konstruktionerne kan aktiveres ved justering af setpunkterne for indetemperaturen og er således en omkostningseffektiv løsning, som kan kombineres med andre kilder til energifleksibilitet og som sætter bygninger i stand til at hjælpe med til at udligne den fluktuerende VE-produktion.

#### Referencer

1. H. Johra (2023). What is building energy flexibility – demand response? DCE Lecture Notes No. 81, Department of the Built



Figur 3. Termisk lagerkapacitet i bygningskonstruktionerne i den samlede danske bygningsmasse, sammenlignet med energibehovet og -produktionen.

- Environment, Aalborg University. <https://doi.org/10.54337/aau518320296>.
2. S.Ø. Jensen, A. Marszal-Pomianowska, R. Lollini, W. Pasut, A. Knotzer, P. Engelmann, A. Stafford, G. Reynders (2017). IEA EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings. *Energy and Buildings* 155, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.044>.
3. Australian Energy Market Operator: AEMO (2022). Australian Integrated System Plan.
4. A. Satchwell, M.A. Piette, A. Khandekar, J. Granderson, N.M. Frick, R. Hledik, A. Faruqui, L. Lam, S. Ross, J. Cohen, K. Wang (2021). A national roadmap for grid-interactive efficient buildings. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Berkeley, CA, USA.
5. International Energy Agency (2022). IEA Tracking report - Demand Response, September 2022.
6. K. Johansen, H. Johra (2022). A niche technique overlooked in the Danish district heating sector? Exploring socio-technical perspectives of short-term thermal

- energy storage for building energy flexibility. *Energy* 256, 124075. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124075>.
7. J. Le Dréau, P. Heiselberg (2016). Energy flexibility of residential buildings using short term heat storage in the thermal mass. *Energy* 111, 991-1002. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.076>.
8. H. Johra, P. Heiselberg, J. Le Dréau (2019). Influence of envelope, structural thermal mass and indoor content on the building heating energy flexibility. *Energy and Buildings* 183, 325-339. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.012>.
9. K.B. Wittchen, J. Kragh (2012). Danish building typologies: Participation in the TABULA project. SBI 2012:1. Danish Building Research Institute (SBI). [https://episcopus.eu/fileadmin/tabula/public/docs/scientific/DK\\_TABULA\\_ScientificReport\\_SBI.pdf](https://episcopus.eu/fileadmin/tabula/public/docs/scientific/DK_TABULA_ScientificReport_SBI.pdf).



# PURUS

[www.purus.dk](http://www.purus.dk)