



CITIES

Centre for IT Intelligent Energy Systems



Perspektiver for anvendelse af data i fjernvarmesystemer

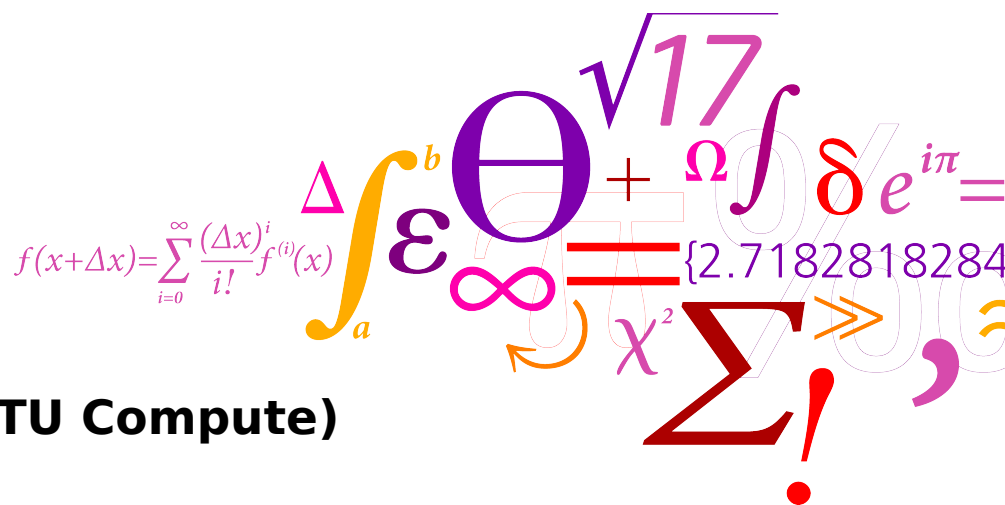
Temamøde:

**DTU (CITIES) og Dansk Fjernvarme/Grøn Energi,
September 2014**

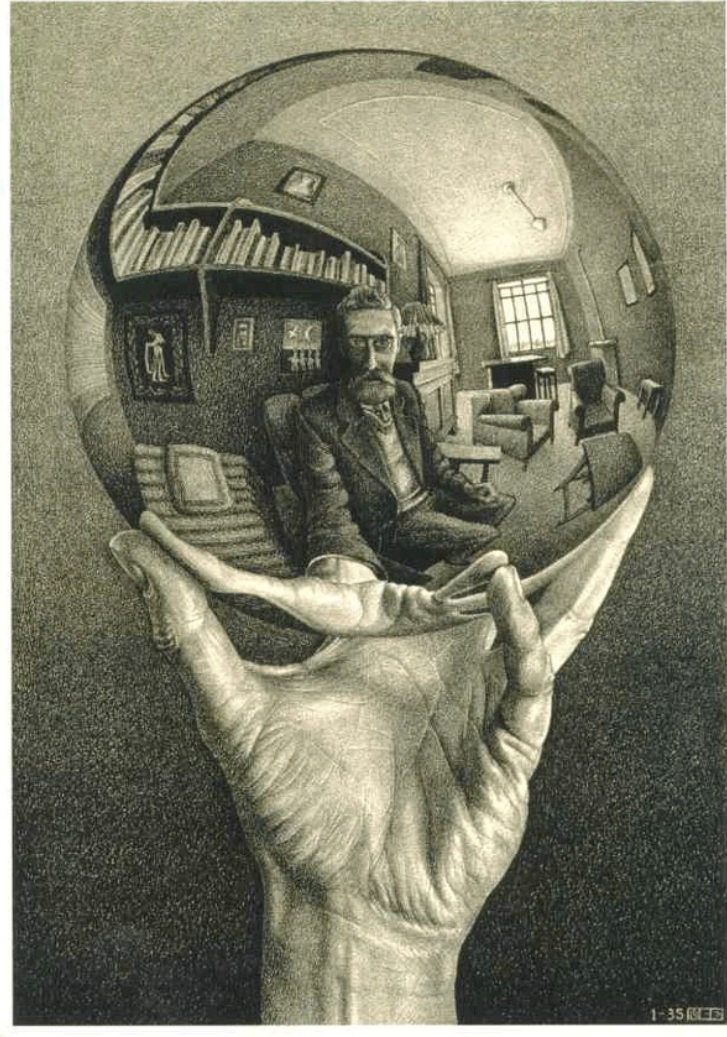
Henrik Madsen, Peder Bacher (DTU Compute)

www.henrikmadsen.org

www.smart-cities-centre.org



Oversigt:



- Opsplitning af forbrugsdata
- Energimærkning
- Bygningers termiske performance
- Anvisninger på energibesparelser
- Prognoser af energiforbrug
- Temperaturstyring
- CITIES



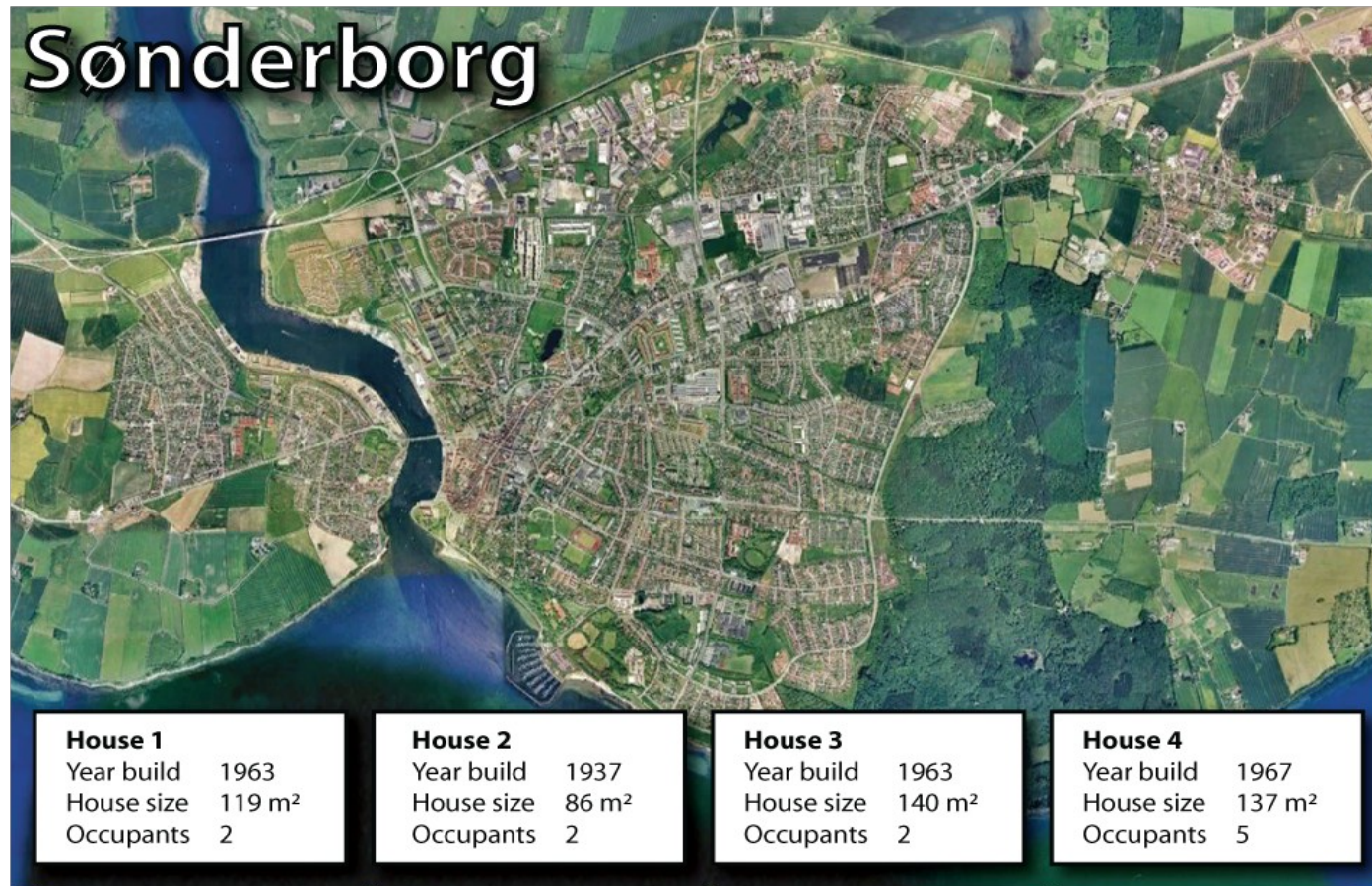
Eksempel No. 1

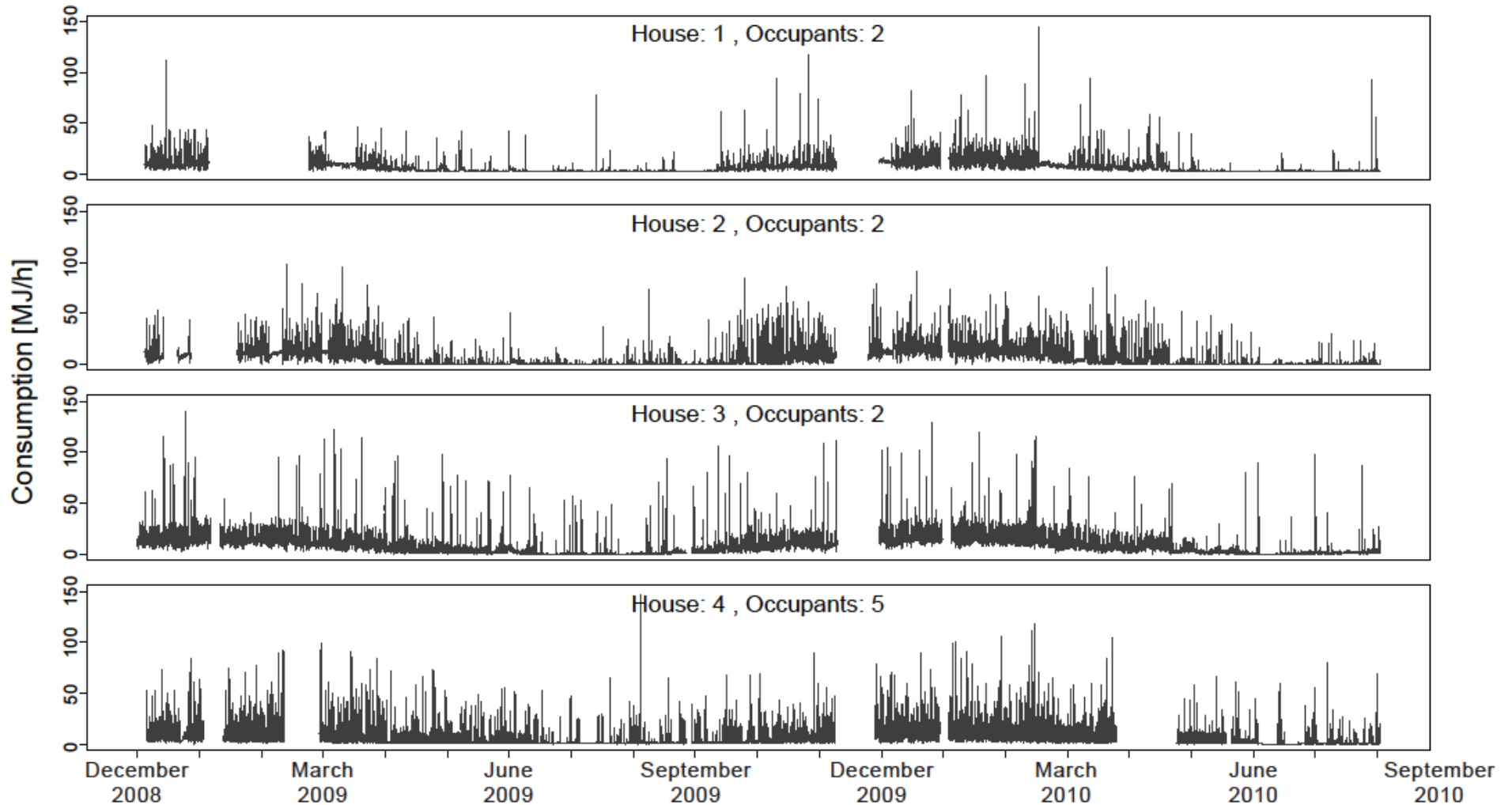
Opsplitning af forbrugsdata



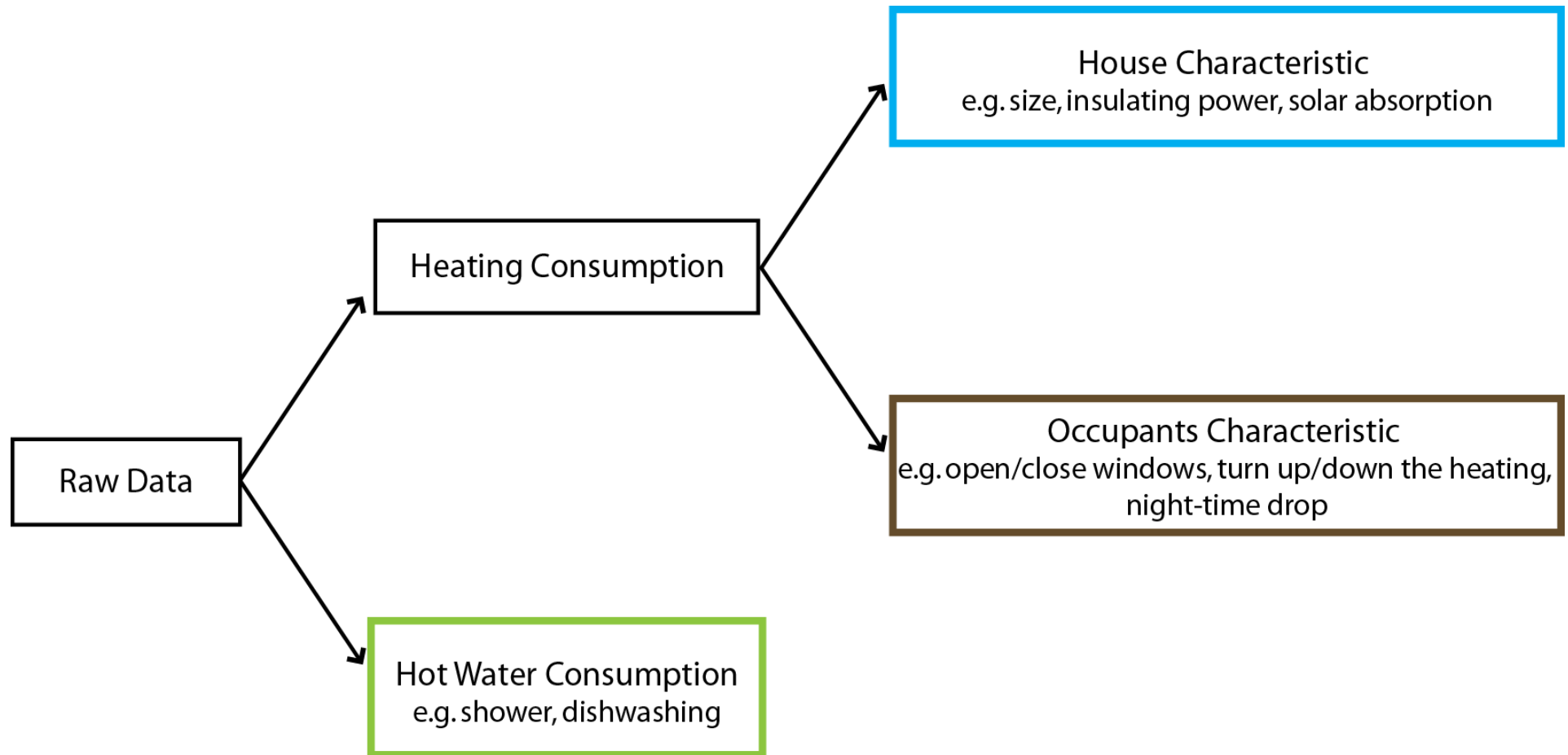
Data

- 10 min gennemsnit fra ca. 56 huse

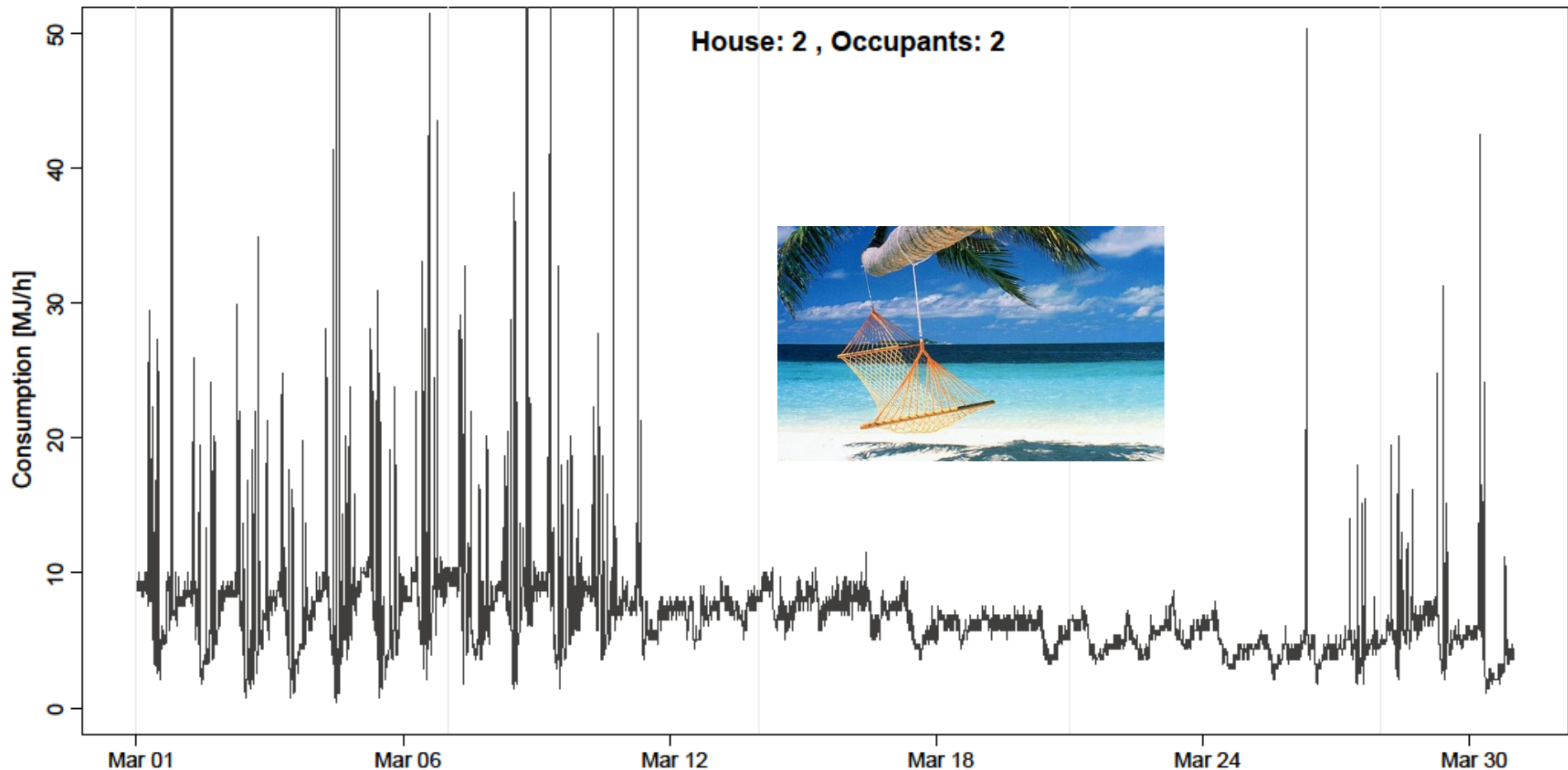




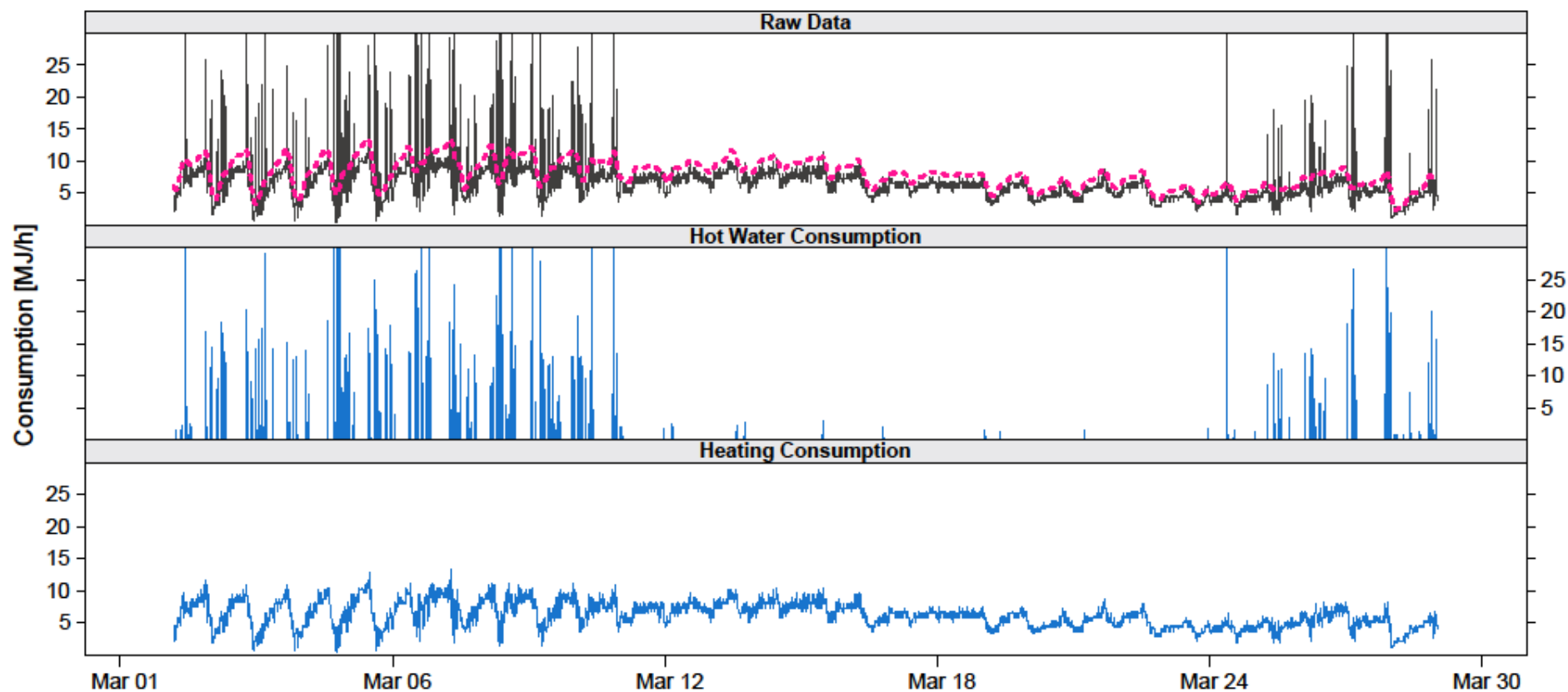
Princip for data separation



Ferie periode



Robust Polynomial Kernel



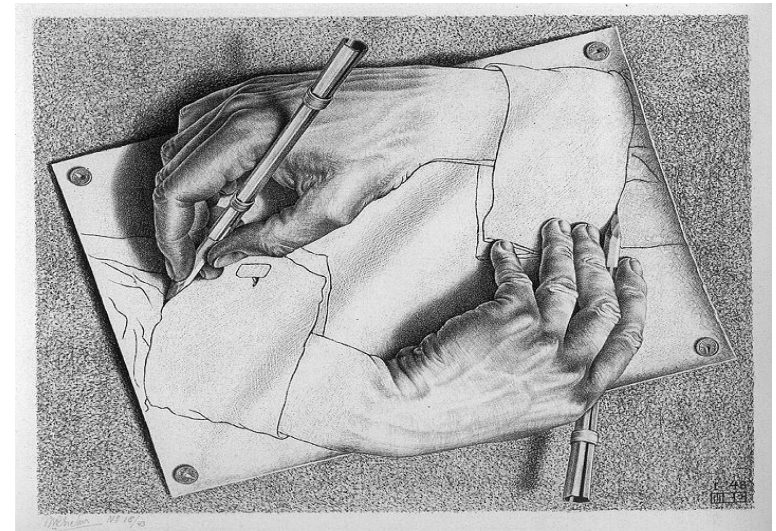
Eksempel No. 2

Energimærkning og Energisignatur

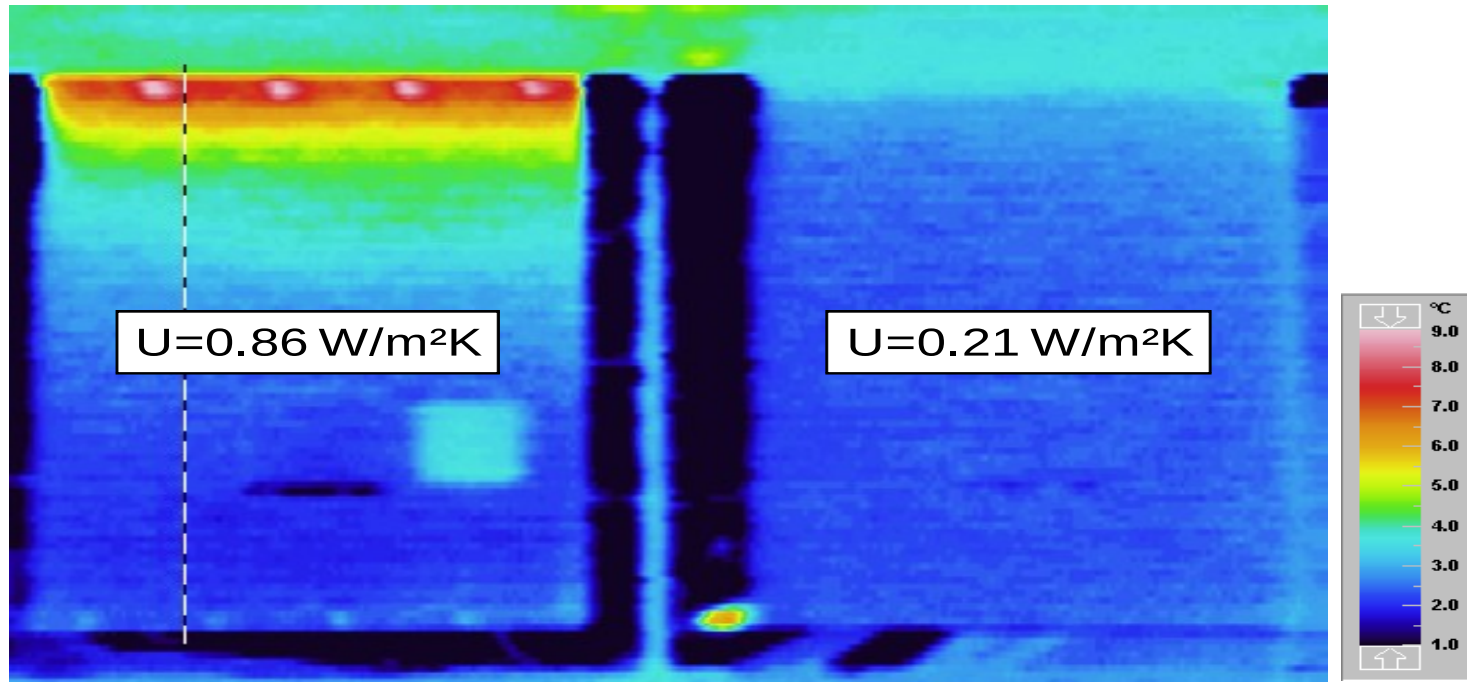


Nuværende energimærkning

- Den nuværende procedure for energimærkning består i at energikonsulenter vurderer huset, tegninger og forbrug.
- Dette leder til et skøn over forbrug samt en energimærkning
- MEN, det det er dyrt, og det er velkendt at to uafhængige konsulenter kan komme frem til ganske forskellige resultater!

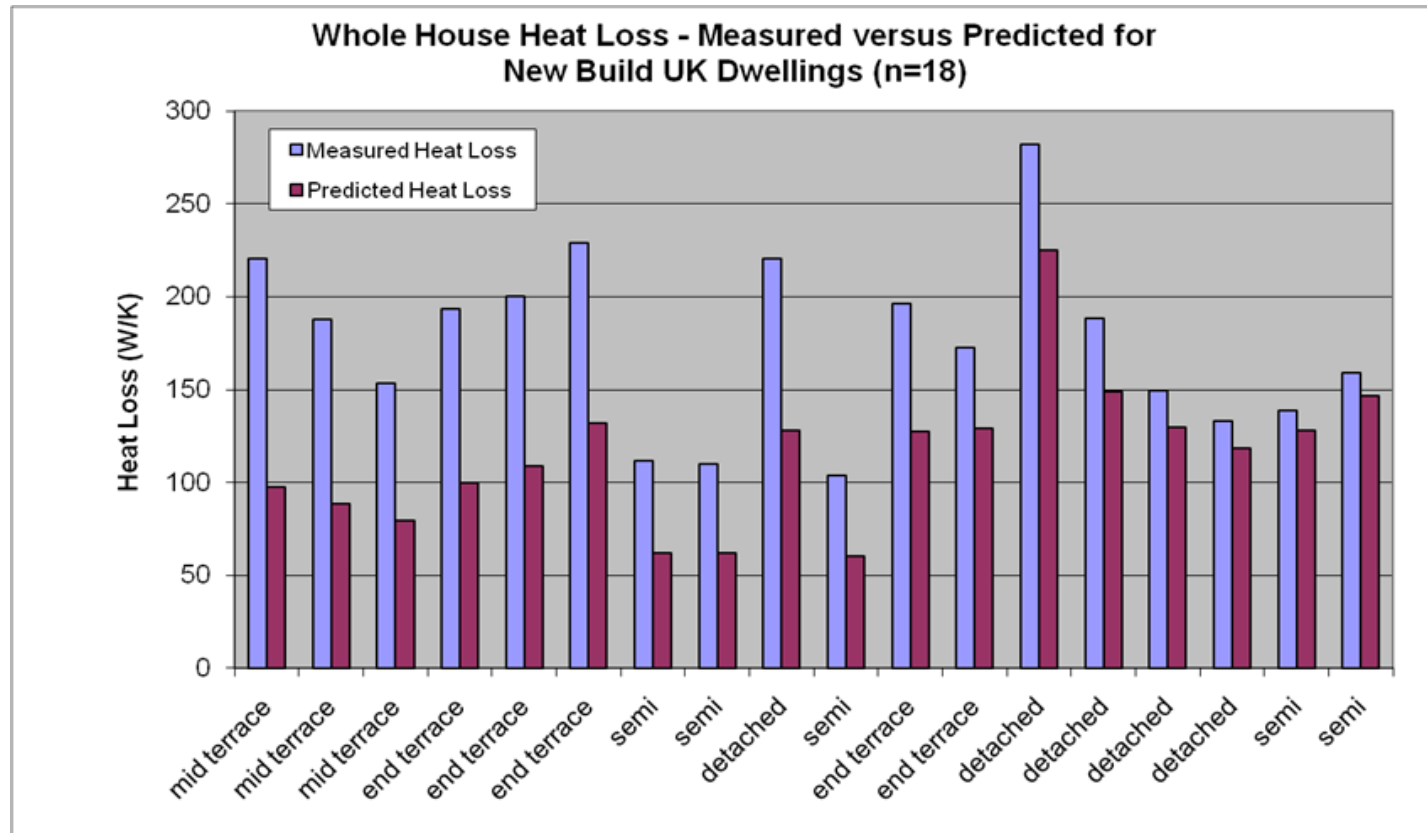


Eksempel



Godt og dårligt udført håndværk (teoretisk værdi $U=0.16\text{W/m}^2\text{K}$)

Beregnet og faktisk forbrug



Generelt dårlig overensstemmelse mellem beregnet og faktisk forbrug.
Derfor bør man bruge målinger (og ikke tegninger....)

Energimærkning

- Energikonsulenten kan ikke foretage destruktive indgreb
- Der er brug for en ny objektiv metode, som yderligere kan 'se' de skjulte dele af bygningen.
- En ny energimærkning kan etableres helt automatisk pga måleraflæsningsdata!
- Metoden korrigerer automatisk for forskelle i forbrugsmønstre uden at kræve målinger af indetemperaturen (t.ex.)



Bygningers termiske karakteristika

Karakteristiske respons-værdier:

- **UA-værdi**: Respons ved udetemperatur (W/grad C)
- **gA-værdi**: Respons ved solstråling (W/lux)
- **wA-værdi**: Respons ved vindhastighed (W/(m/s))

Effekten af vindhastigheden afhænger af vindretningen

UA og wA siger noget om isolering og tæthed

gA siger noget om boligens evne til at opfange og udnytte solindfald

Bygningers termiske karakteristika

Dynamisk respons:

- Tidskonstanter (t.ex. 20 min, 12 timer og 44 timer) for bygningen
- Fordelingen mellem tidskonstanter

Giver et godt grundlag for en **forbedret regulering** af varmetilførslen

Giver viden om **optimal kompensation** for variationer i udetemperaturen

Giver viden om potentialet for **Smart Grid fleksibiliteten**

Forbrugsdata

- Forbrugsmålinger fra Sønderborg
 - ➔ 56 husstande (med fjernvarme) i Sønderborg
 - ➔ Periode: September 2008 til primo december 2009
 - ➔ Måling hvert 10. minut
 - ➔ 40 husstande udvalgt for metodeudviklingen.
Både el- og varmemeforbrug hos 26 husstande
 - ➔ For analysen: 4 timers og 24 timers gennemsnit

Vejrdata

- Vejrdato fra et målepunkt i Sønderborg
 - Udetemperatur (grad. C)
 - Solstråling (klux)
 - Vindhastighed og -retning (m/s og grader)
 - Periode: 6/10-2008 til 18/11-2009
 - Måling hvert 10. minut
 - For analysen: 4 timers og 24 timers gennemsnit

En statistisk model

- Betragt nu følgende model:

$$Q_t = b_0 - UA \cdot T_{a,t} - gA \cdot R_{0,t} + b_1 w_t + e_t$$

Denne model giver mulighed for estimation af UA, gA og effekten af vindhastigheden.

Resultater

	UA W/°C	σ_{UA}	$gA^{\max}$ W	$wA_E^{\max}$ W/°C	$wA_S^{\max}$ W/°C	$wA_W^{\max}$ W/°C	T_i °C	σ_{T_i}
4218598	211.8	10.4	597.0	11.0	3.3	8.9	23.6	1.1
4381449	228.2	12.6	1012.3	29.8	42.8	39.7	19.4	1.0
4711160	155.4	6.3	518.8	14.5	4.4	9.1	22.5	0.9
4836681	155.3	8.1	591.0	39.5	28.0	21.4	23.5	1.1
4836722	236.0	17.7	1578.3	4.3	3.3	18.9	23.5	1.6
4986050	159.6	10.7	715.7	10.2	7.5	7.2	20.8	1.4
5069878	144.8	10.4	87.6	3.7	1.6	17.3	21.8	1.5
5069913	207.8	9.0	962.5	3.7	8.6	10.6	22.6	0.9
5107720	189.4	15.4	657.7	41.4	29.4	16.5	21.0	1.6
.	.	.	.	.	.	.	.	.

Baseret på målinger fra fyringssæsonen **2009/2010** er den typiske indetemperatur beregnet til **24 °C**. Hvis dette ikke er korrekt kan den ændres her °C.

Såfremt huset har stået tomt i længere perioder med en delvis reduceret varmforsyning har du muligheden for at specificere disse perioder i denne .

Ifølge BBR er grundarealet for huset **155 m²** og opførelsesåret er **1971**.

Baseret på information fra BBR antages det at **der ikke anvendes anden form for opvarmning**. Hvis dette ikke er korrekt kan typen og brugshyppigheden specificeres her:

- Brændeovn bruges gange om ugen i kolde perioder.
- Solvarme , ca. størrelse af solpanel × meter.

Baseret på indetemperaturen **24 °C**, anvendelse af brændeovn **0** gange om ugen og **ingen** installeret solvarme, er husets respons på klimaet beregnet som:

- Responset på udetemperaturen er beregnet til **200 W/°C**, hvilket givet grundareal og byggeår er forventeligt^a.
- På en blæsende dag stiger ovennævnte værdi med **60 W/°C** når vinden blæser fra østlige retninger. Denne respons på vind er relativt høj og indikere et problem relateret til husets tæthed på den østlige side.
- På en solrig dag i fyringssæsonen er det beregnet at huset modtager **800 W** som et gennemsnit over 24 timer. Denne værdi er forventelig.

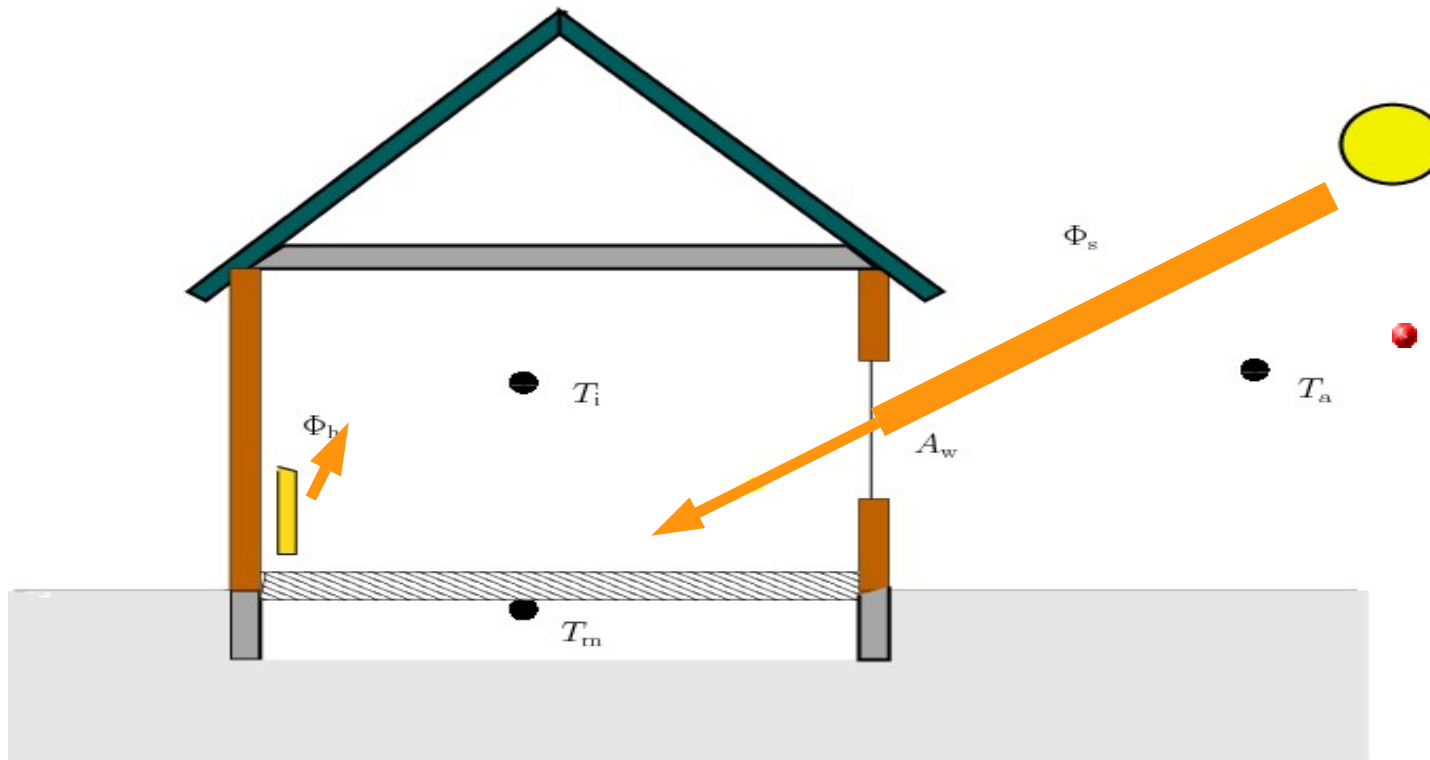
^aMange typer af anbefalinger kan gives her.

Eksempel No. 3

Dynamiske karakteristika

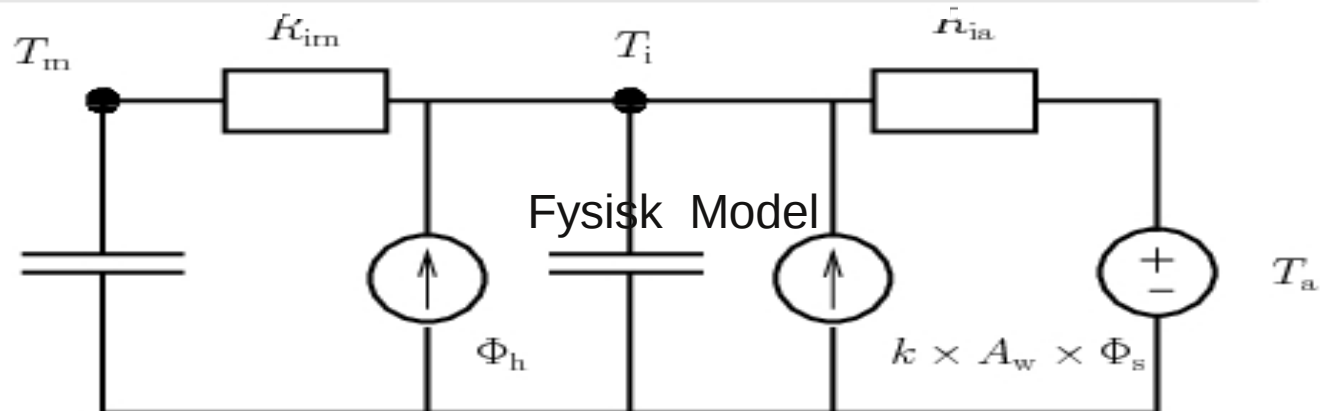


Dynamisk Model



● Målinger:

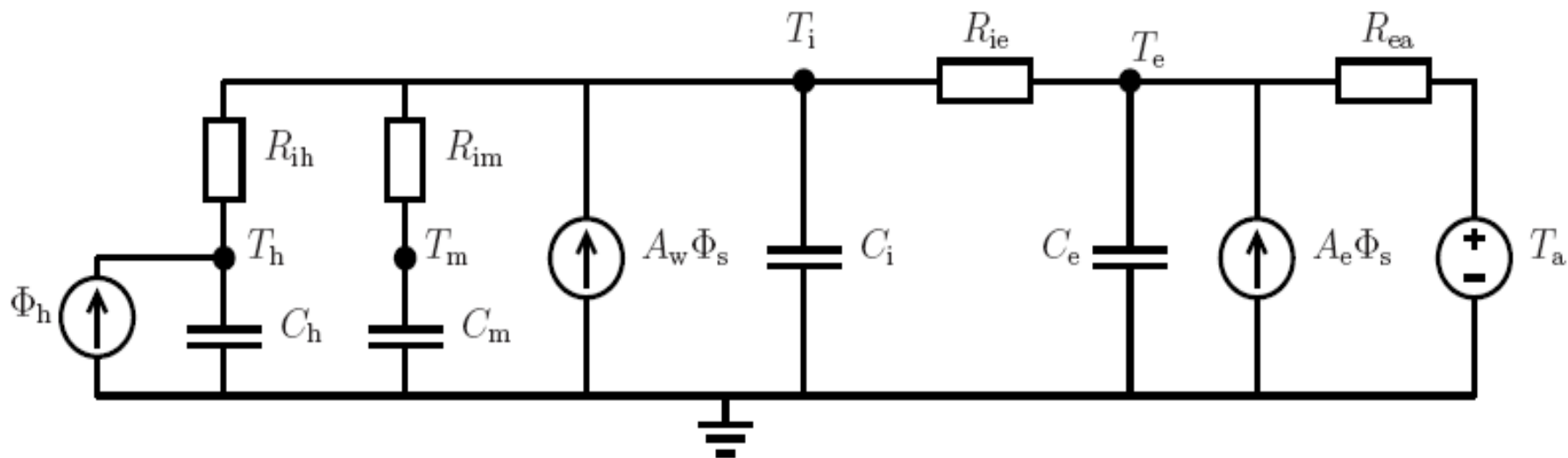
- (Indetemperatur)
- Varmeforbrug
- Udetemperatur
- Solstråling

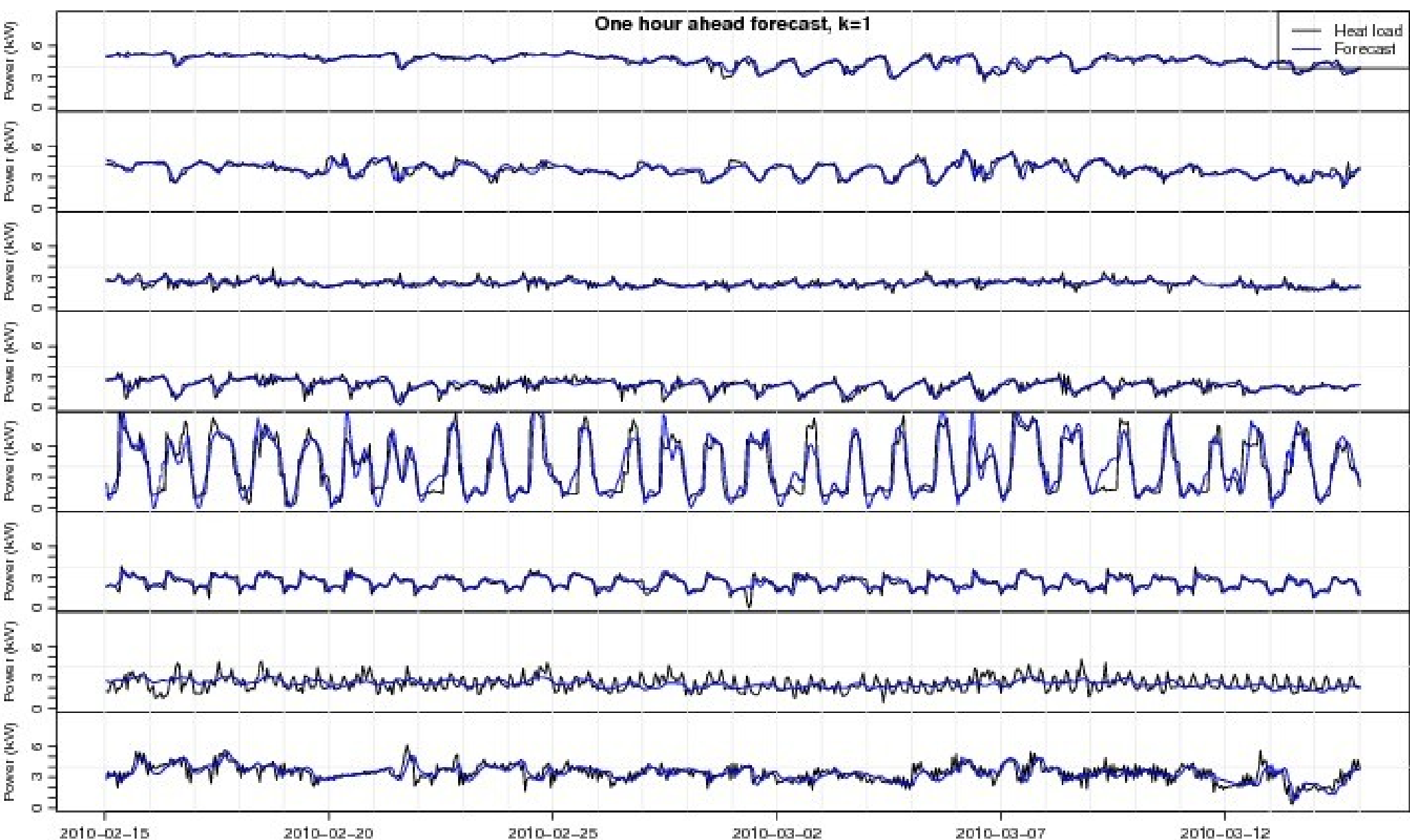


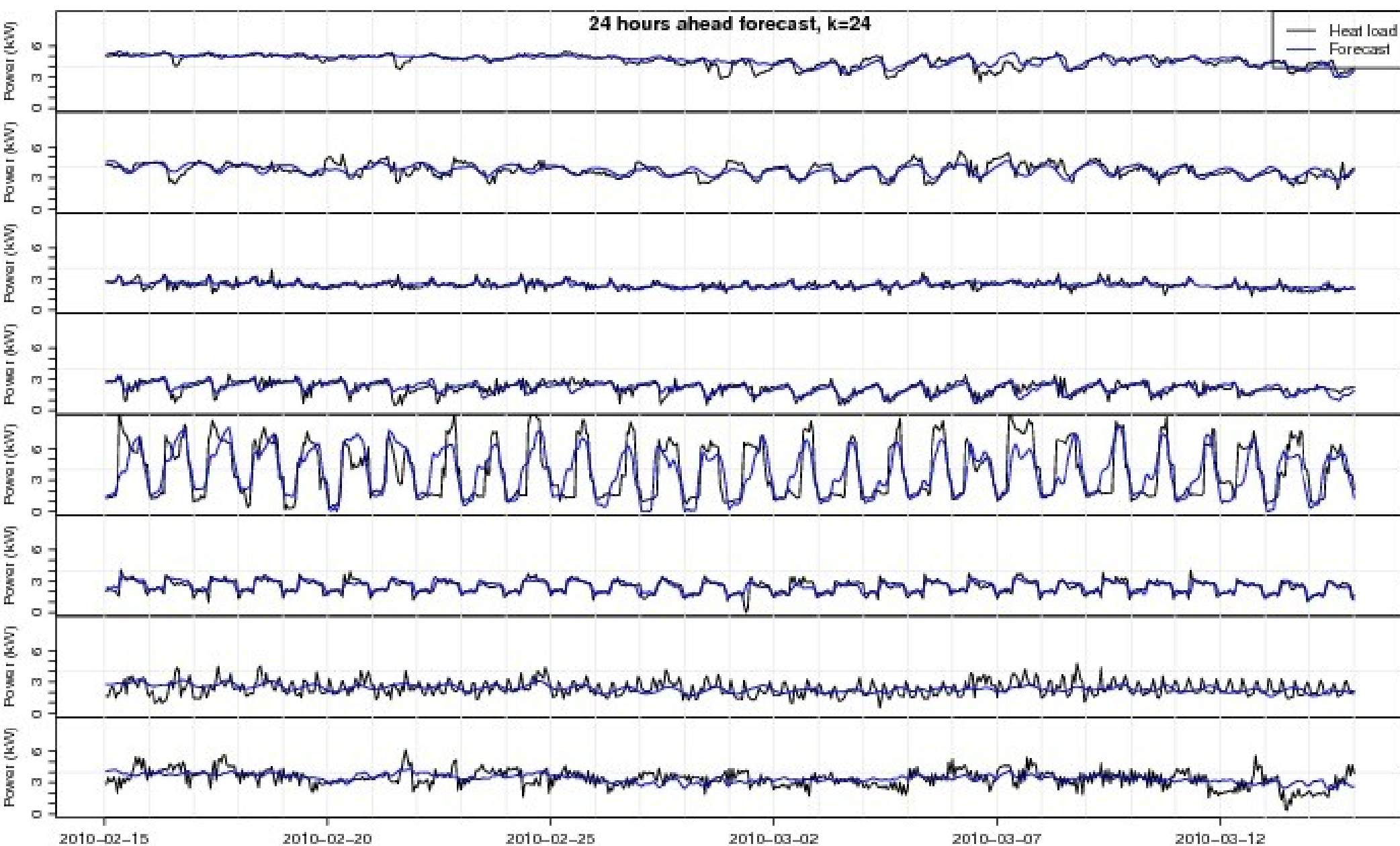


Endelig Dynamisk Model

- Følgende model er fundet v.h.j.a statistiske metoder:
- Kan nu bruges til prognoser – og dermed styring







Economic Model Predictive Control for Building Climate Control in a Smart Grid

Rasmus Halvgaard, Niels Kjølstad Poulsen, Henrik Madsen and John Bagterp Jørgensen

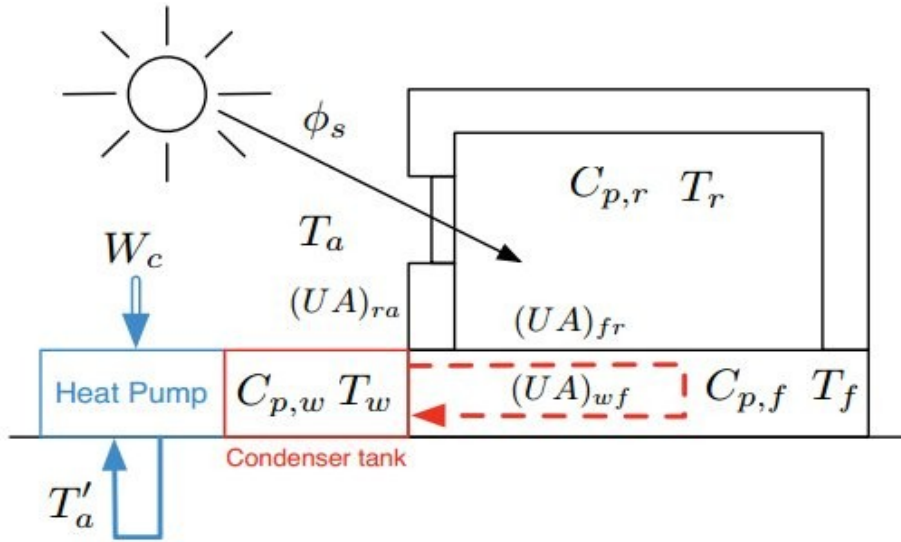


Fig. 1. House and heat pump floor heating system and its thermal properties. The dashed line represents the floor heating pipes.

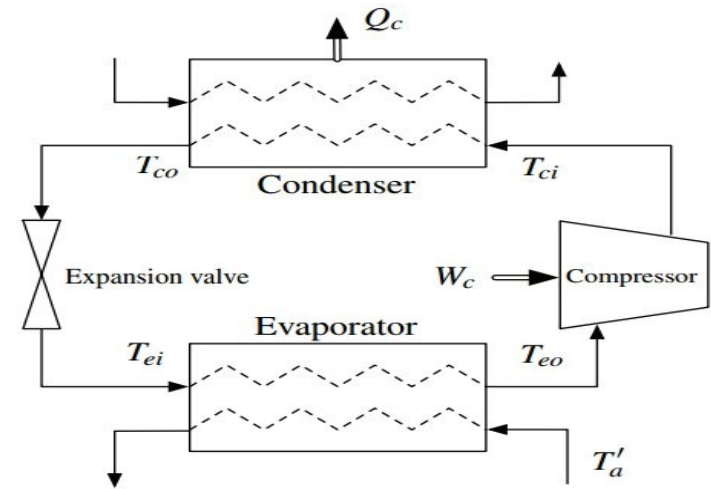
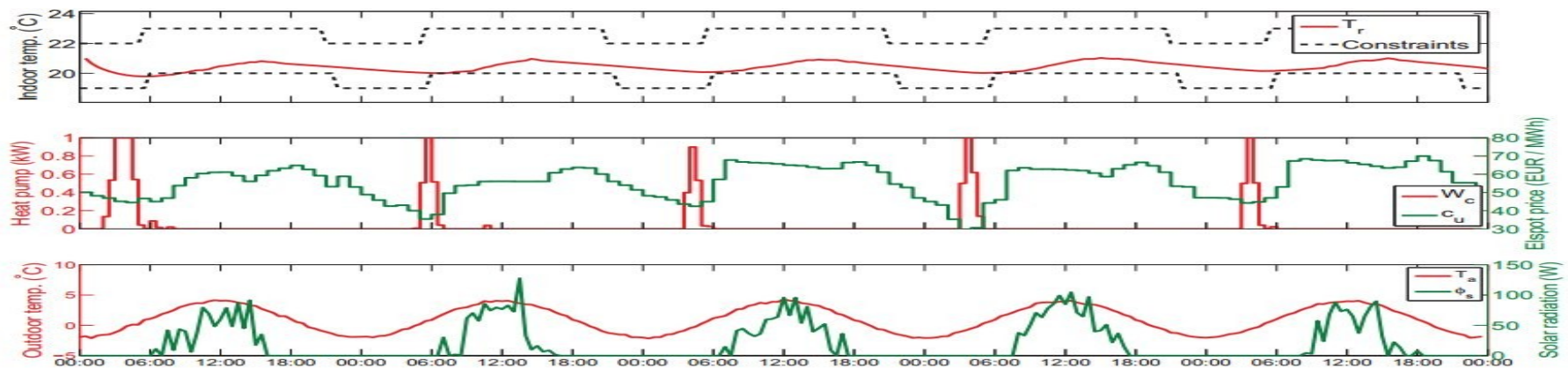


Fig. 2. Heat pump vapor compression refrigeration cycle. The temperatures are denoted T with subscript c or e for condenser or evaporator, respectively, while i or o denotes input or output.

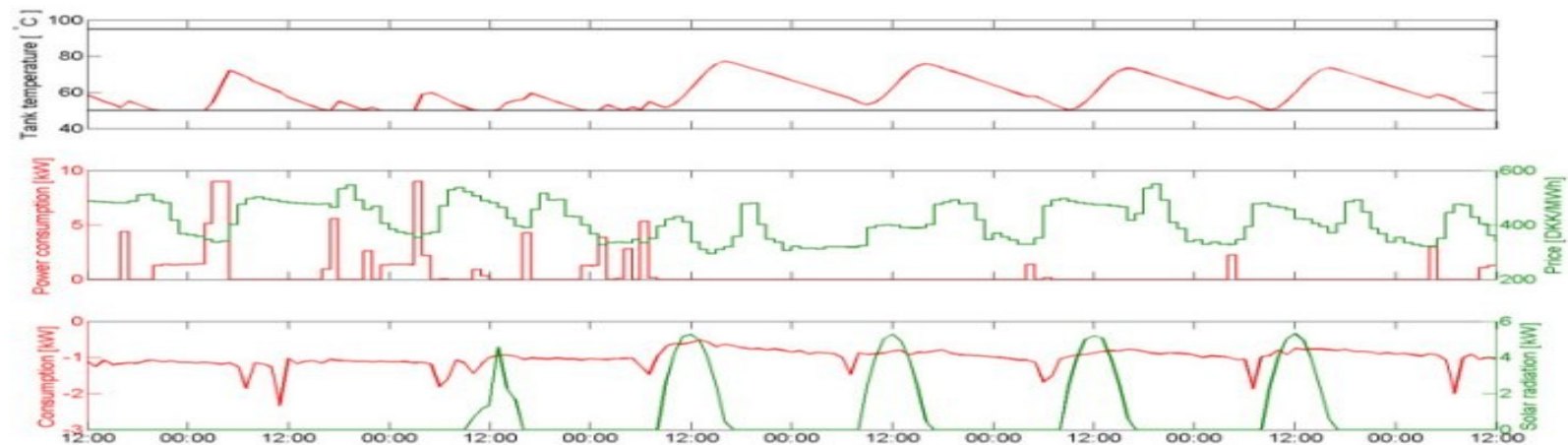
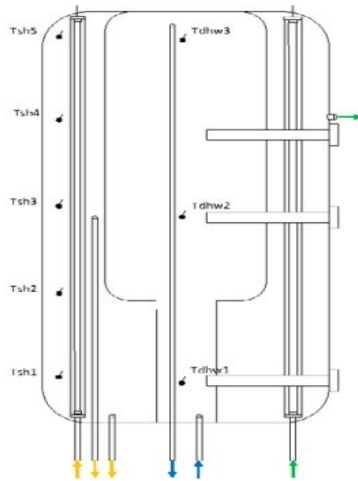


Model predictive control for a smart solar tank based on weather and consumption forecasts

Rasmus Halvgaard^{a*}, Peder Bacher^a, Bengt Perers^b, Elsa Andersen^b,
Simon Furbo^b, John B. Jørgensen^a, Niels K. Poulsen^a, Henrik Madsen^a

^aTechnical University of Denmark, Department of Informatics, Richard Petersens Plads, Kgs. Lyngby 2800, Denmark

^bTechnical University of Denmark, Department of Civil Engineering, Brovej, Kgs. Lyngby 2800, Denmark



Eksempel No. 4

Temperaturoptimering (og lavtemperatur fjernvarme)



Fjernvarmenet

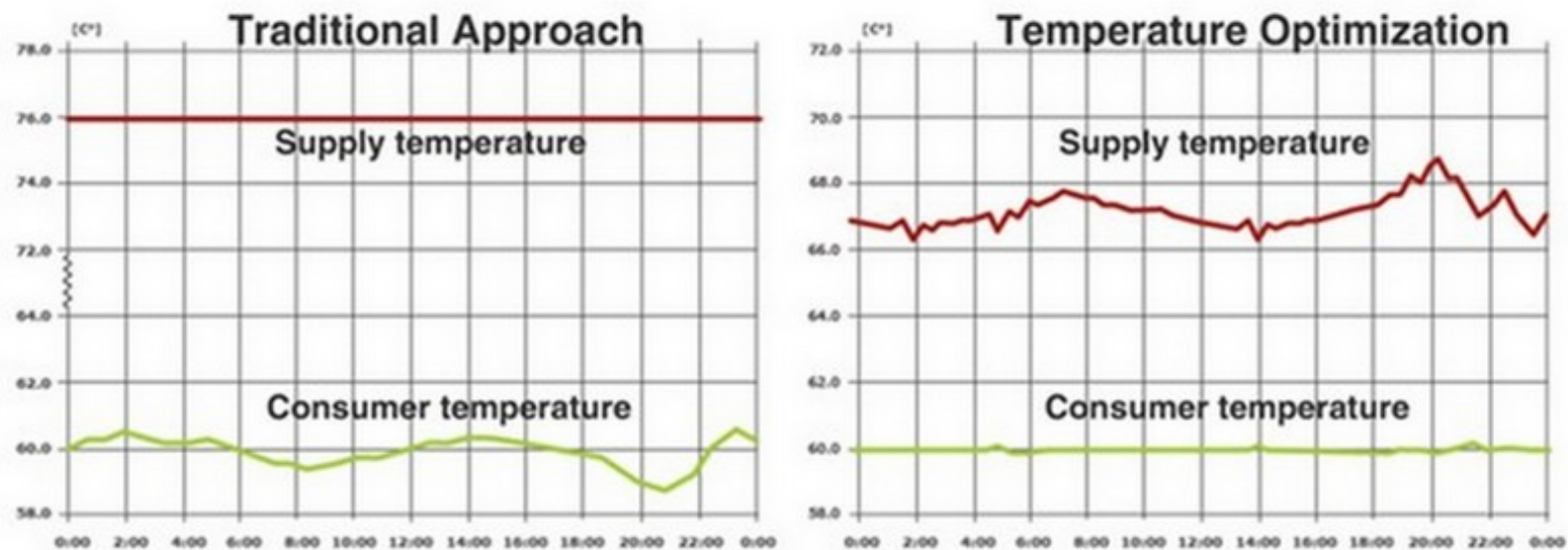
- Samme problematik som ved bygninger:
 - Udførelsen er ikke altid nøjagtig som på tegningerne
 - Isoleringsevnen kan afvige en del fra det teoretiske (eksempelvis grundet våd isolering)
 - Hydrodynamikken kan være vanskelig at udregne præcist
- Vi har udviklet løsninger til temperaturstyring (simulation – TERMIS TO; prognose - PRESS)

Temperatur-optimering Termis TO (Simulation)

Link to [Termis Temperature Optimization SAVINGS calculator](#)

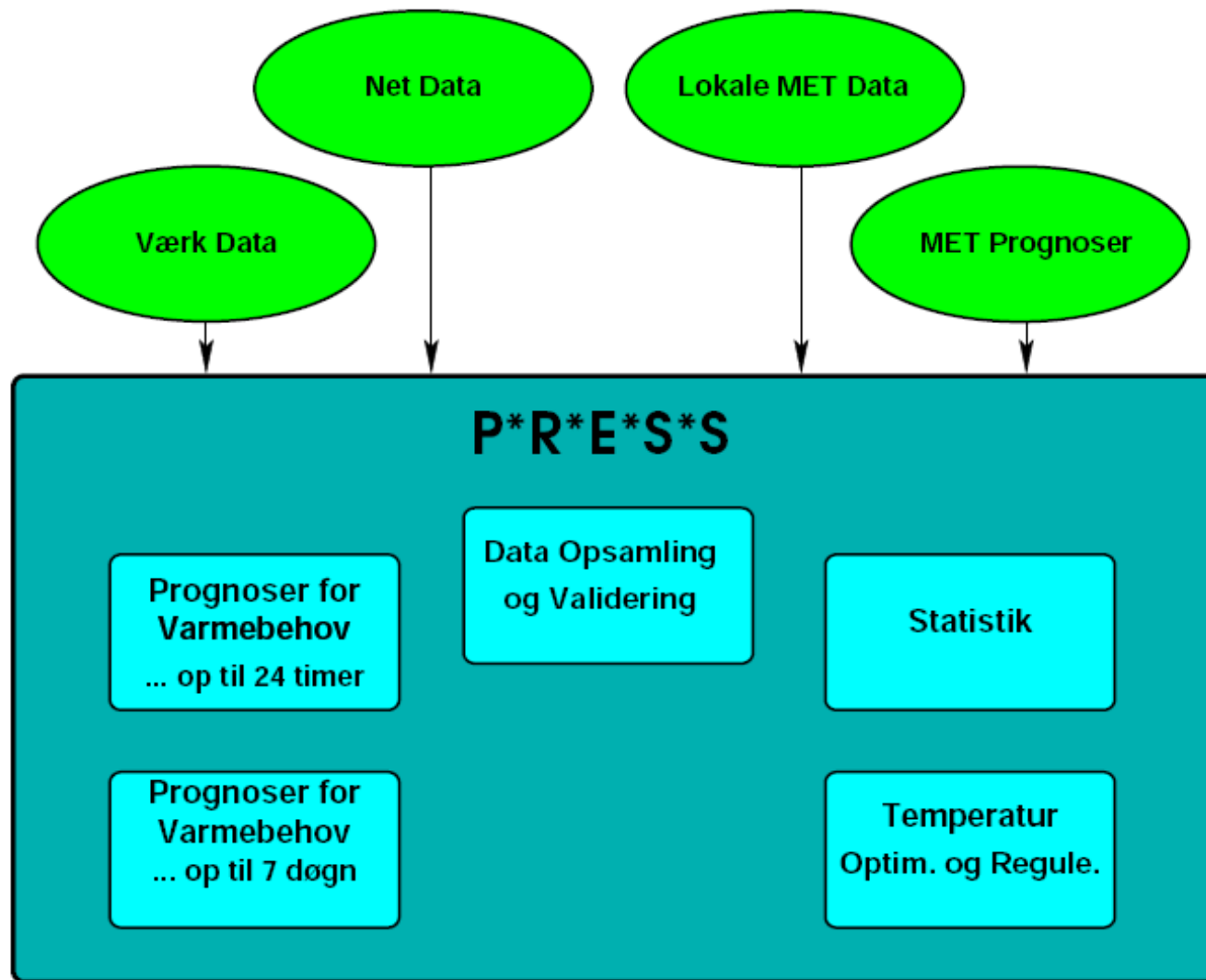
See [Solution Brief for Temperature Optimization](#) document

The Temperature Optimization module automatically minimizes heat loss in district heating networks, typically reducing it by 10%. This leads to significant savings of up to 2% of the heat cost while reducing the CO2 emission.



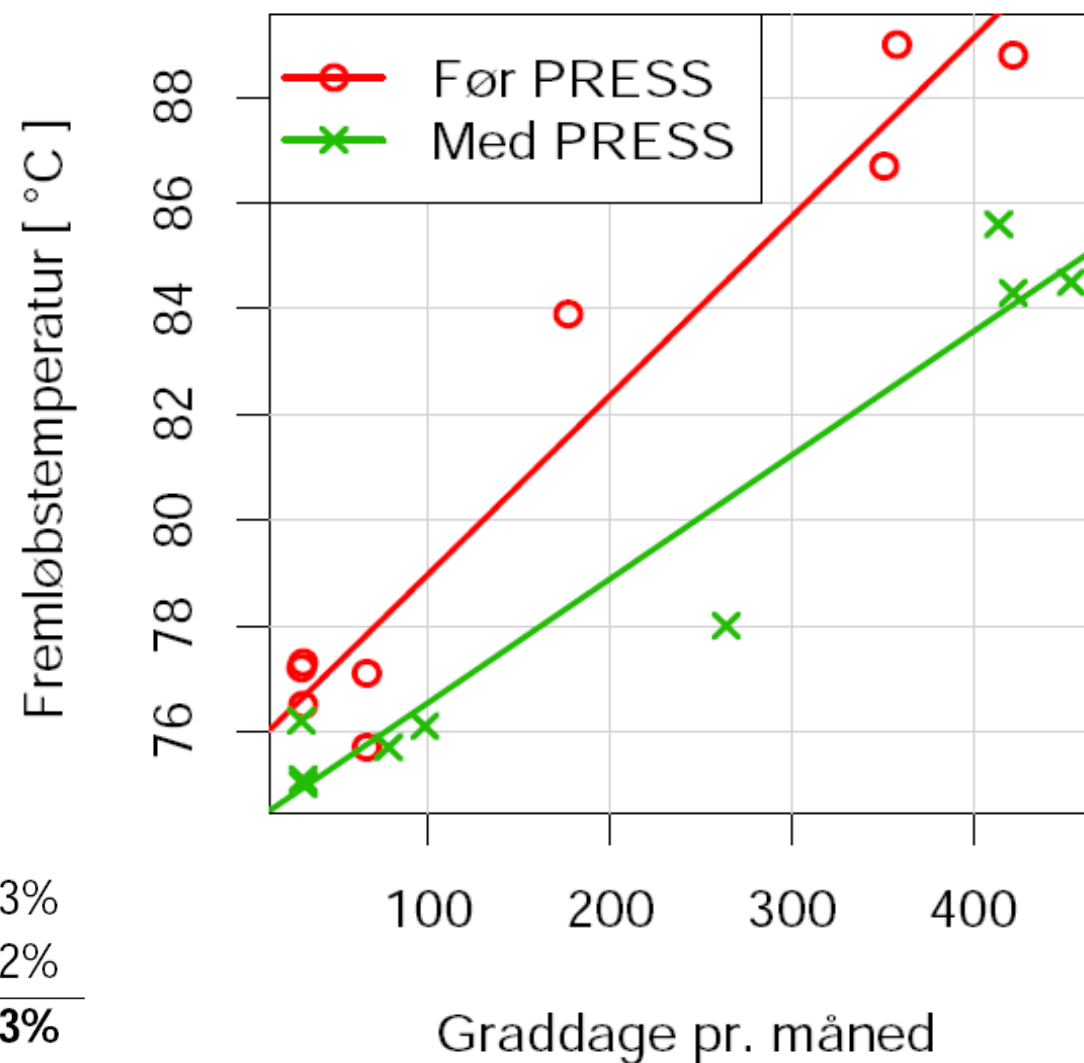
The inlet temperature is adjusted to be as low as possible, taking into account the amount of heat to be supplied to the consumers in the network. The Temperature Optimization module takes into account the accumulated energy in the network, and the changes that will occur as a result of weather forecasts of outdoor temperature and wind conditions.

Temperatur-optimering PRESS (Data og Prognoser)



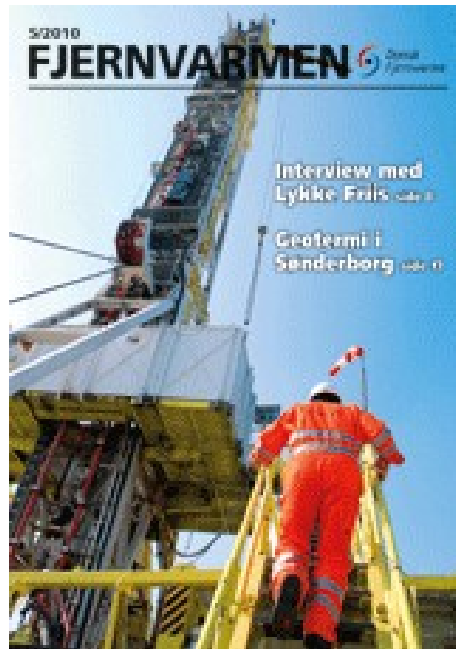
Temperature optimering

Fremløbstemperatur mod graddage



Før PRESS: 22,3%
Med PRESS: 18,2%
Nettabsreduktion: **18,3%**

Besparelser ved Temperatur Regulering



Temp. Styring med og uden brug af data:

- **Simulationsbaseret styring** af vandtemperatur giver op til **10 pct** reduktion i varmetabet
- **Data- og prognosebaseret styring** af vandtemperaturen giver op til **20 pct** reduktion i varmetabet.

FJERNVARMEN | 5 2010

**Styring af temperatur rummer
kæmpe sparepotentiale**

Eksempel No. 5

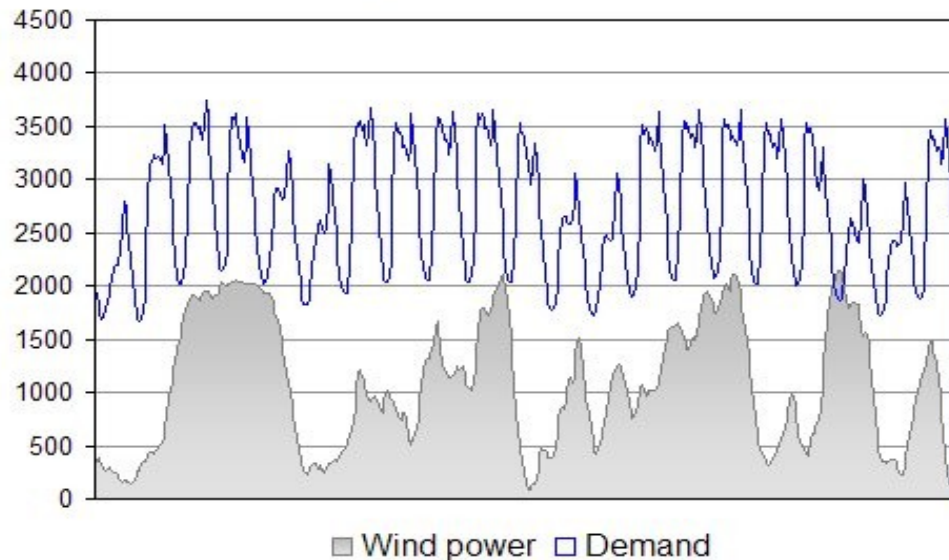
Bygninger og Energilagring (Smart grid mulighed)



Vindenergi og forbrug

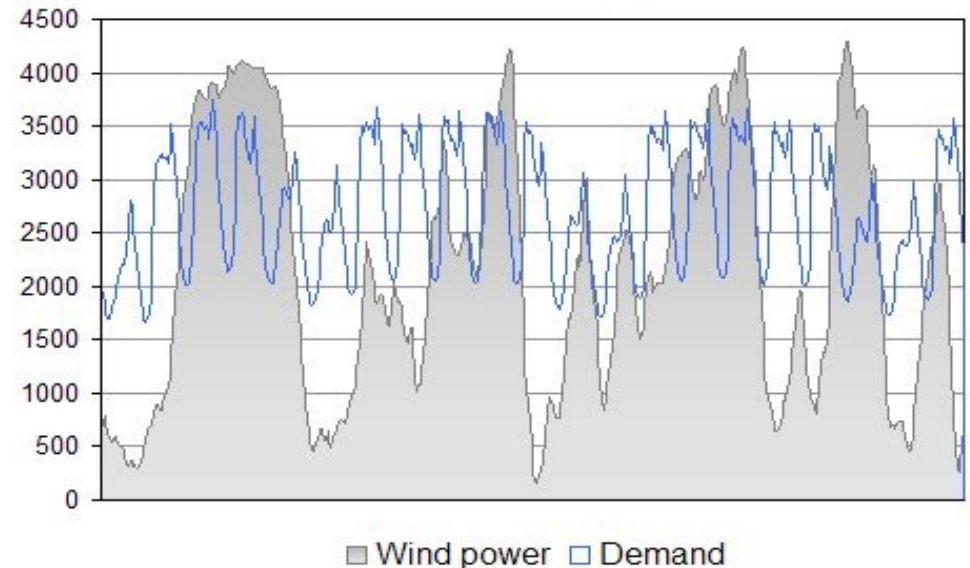
.... balancering i elsystemet

25 % wind energy (West Denmark January 2008)



Wind power covers the entire demand of electricity
in 200 hours (West DK)

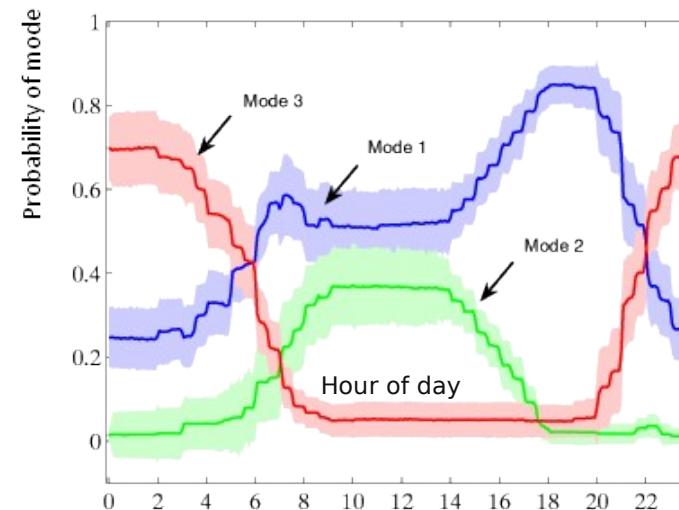
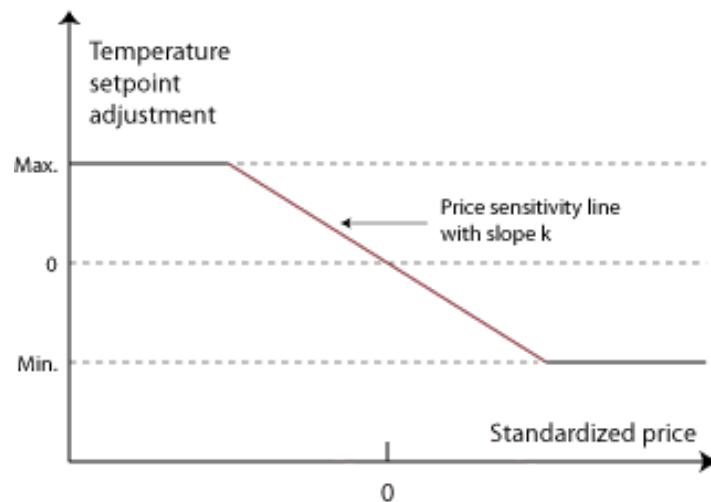
50 % wind energy



In the future wind power will exceed demand
in more than 1,000 hours

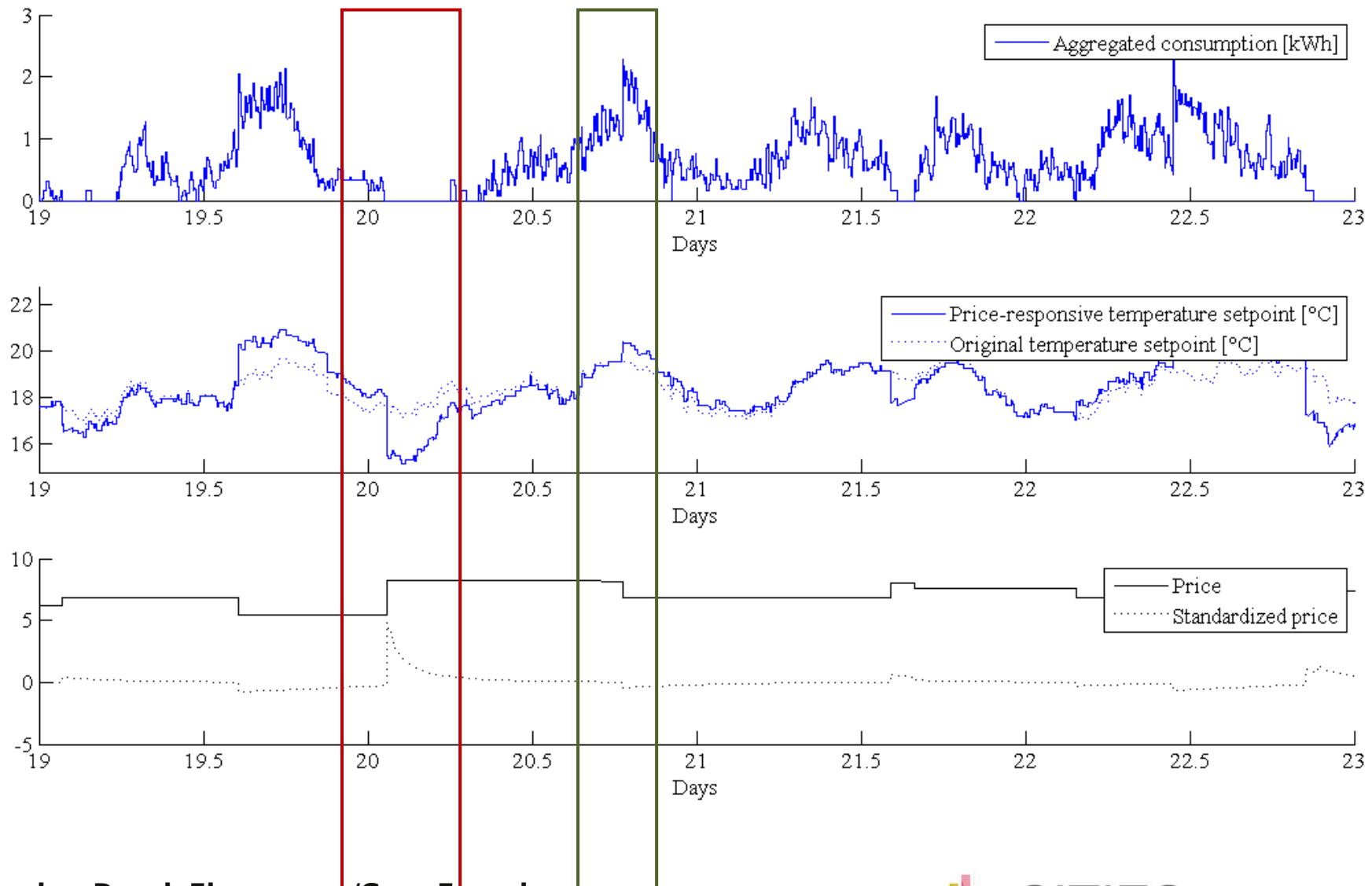
Prisbaseret styring af varmeforbrug

Fleksibilitet opnås ved at justere temperatur referencen (setpoint)



- **Standardized price** is the % of change from a price reference, computed as a mean of past prices with exponentially decaying weights.
- **Occupancy mode** contains a price sensitivity with its related comfort boundaries. 3 different modes of the household are identified (work, home, night).

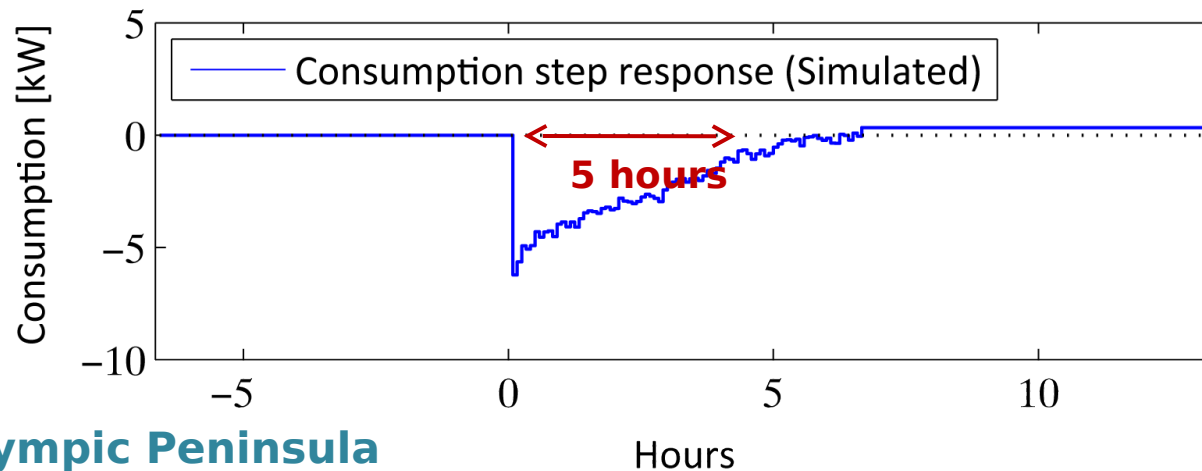
Aggregering (over 20 huse)



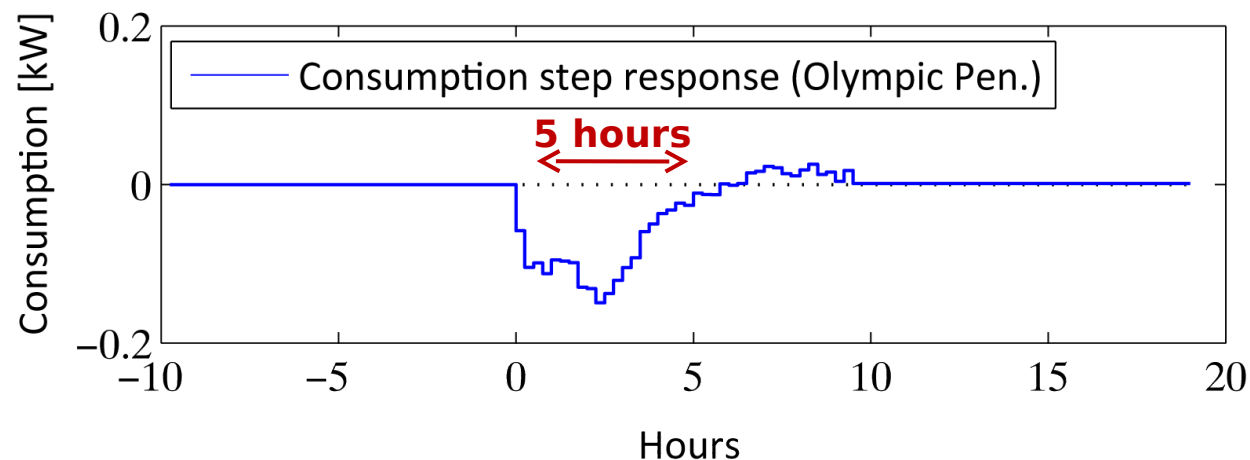
Respons ved prisændring

Simuleret og estimeret (USA data)

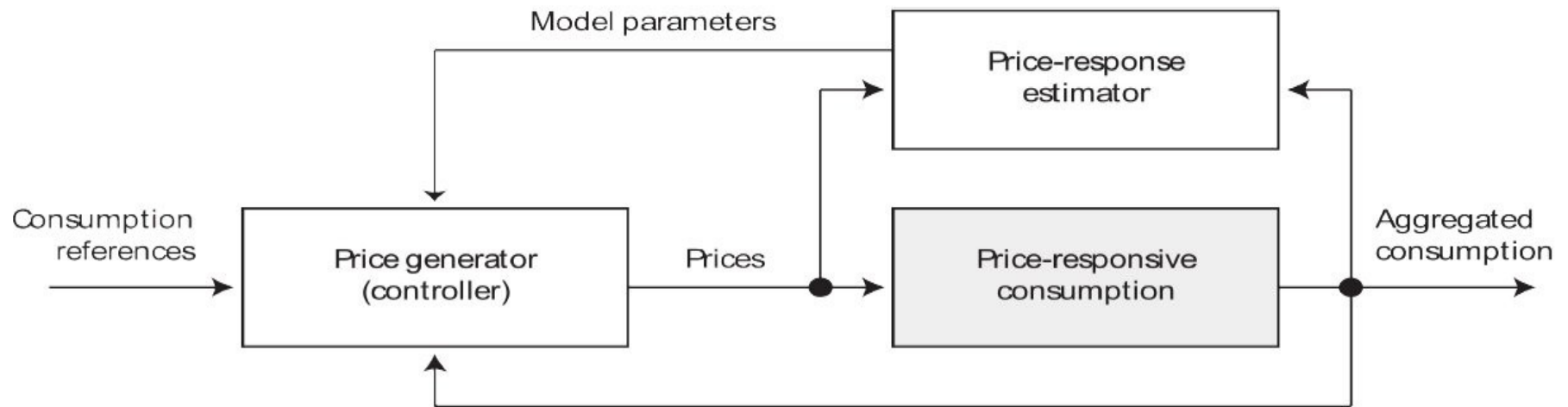
Simulated



Olympic Peninsula

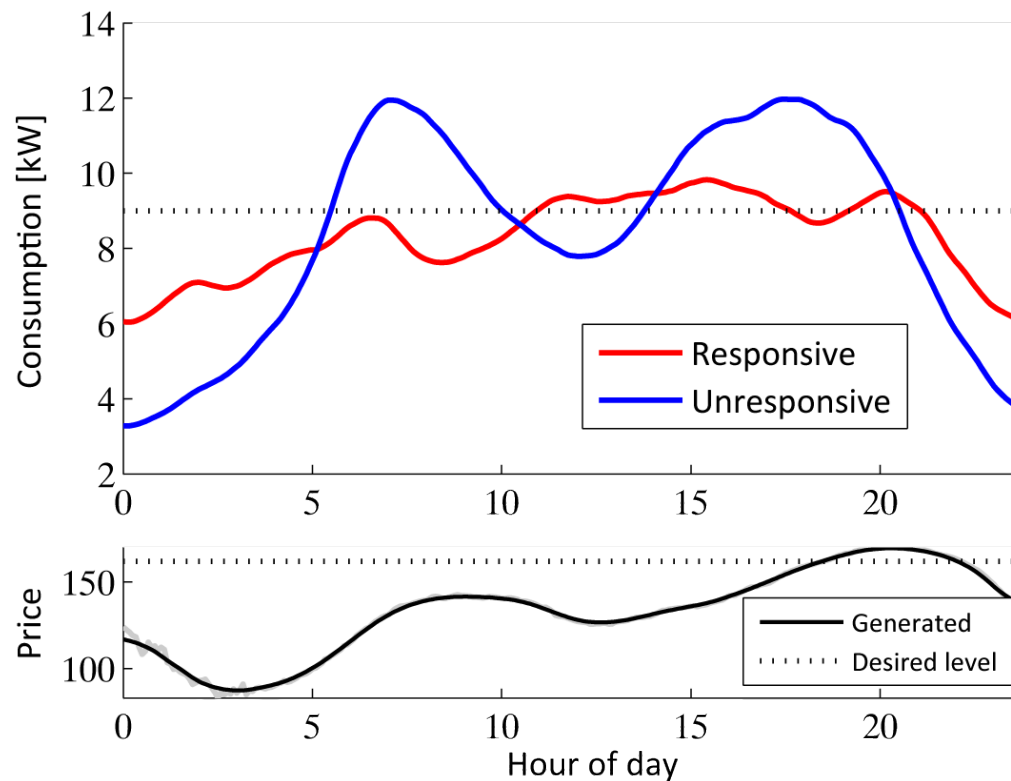


Control of Energy Consumption



Control performance

- Betydelig reduktion i max. forbrug



Nogle perspektiver ved brug af data

- Objektiv og mere nøjagtig energimærkning.
- Forslag til energibesparelser:
 - Bør vinduerne skiftes?
 - Bør loftet efterisoleres?
 - Er huset for utæt mod vest?
 -
- Prognoser:
 - Bedre temperatur regulering
 - Smart Grid Fleksibilitet
 - Demand Side Management
- Bedre styring af frem- og returtemperatur



CITIES

Centre for IT Based Intelligent Energy
Systems in Cities

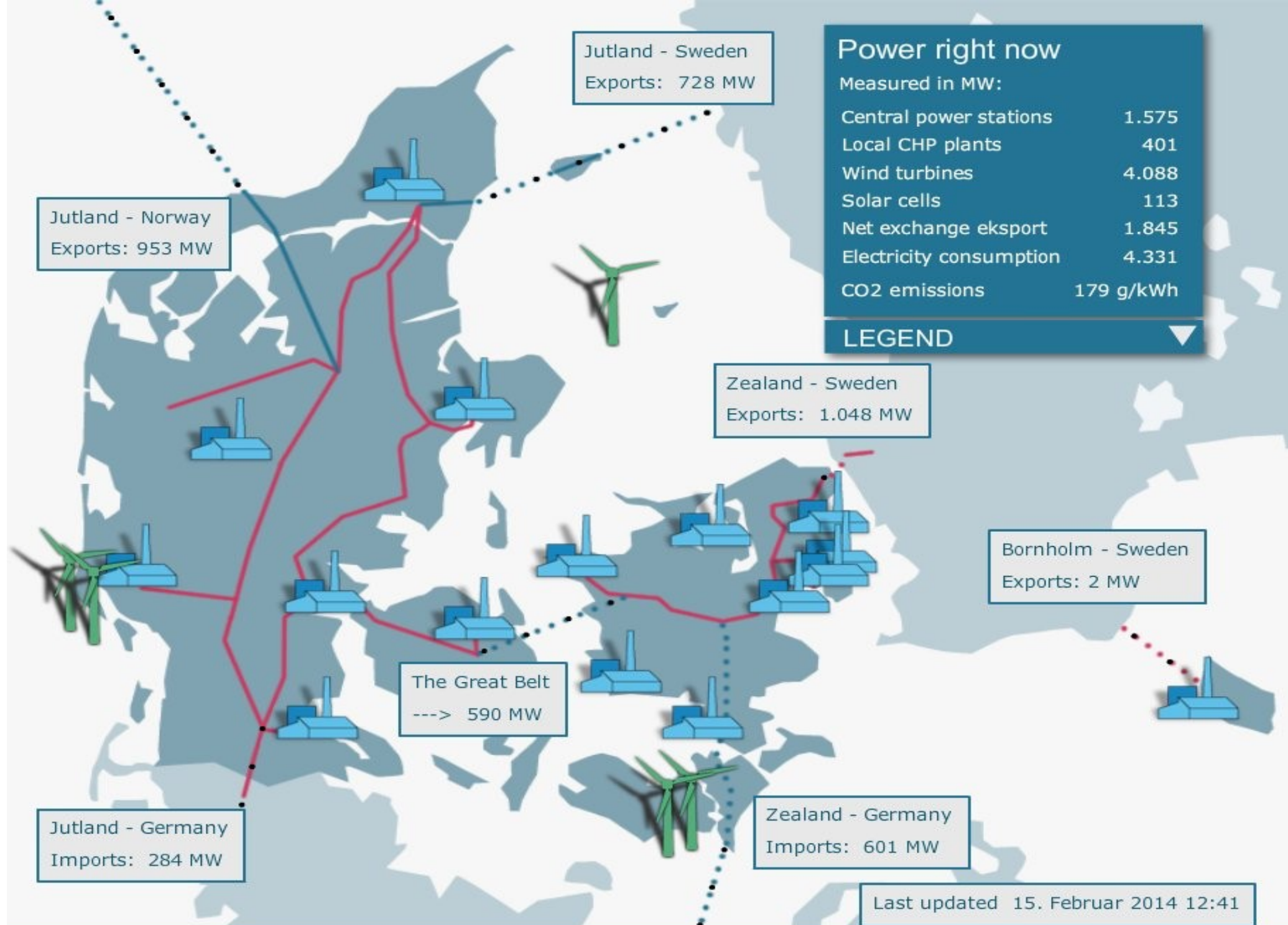


Vindenergi i Danmark

- Bemærk – kun vindenergi:

Key figures for wind power*

	2013	2012
Wind power generation	11.1 billion kWh	10.3 billion kWh
Electricity consumption (including loss in the electricity grid)	33.5 billion kWh	34.1 billion kWh
Wind power share of electricity consumption the entire year	33.2%	30.1%
Wind power share of electricity consumption in December	54.8%	33.5%
Wind power capacity at the end of the year	4,792 MW	4,166 MW
Energy content of the wind	Approx. 93% of a standard year	Approx. 102% of a standard year

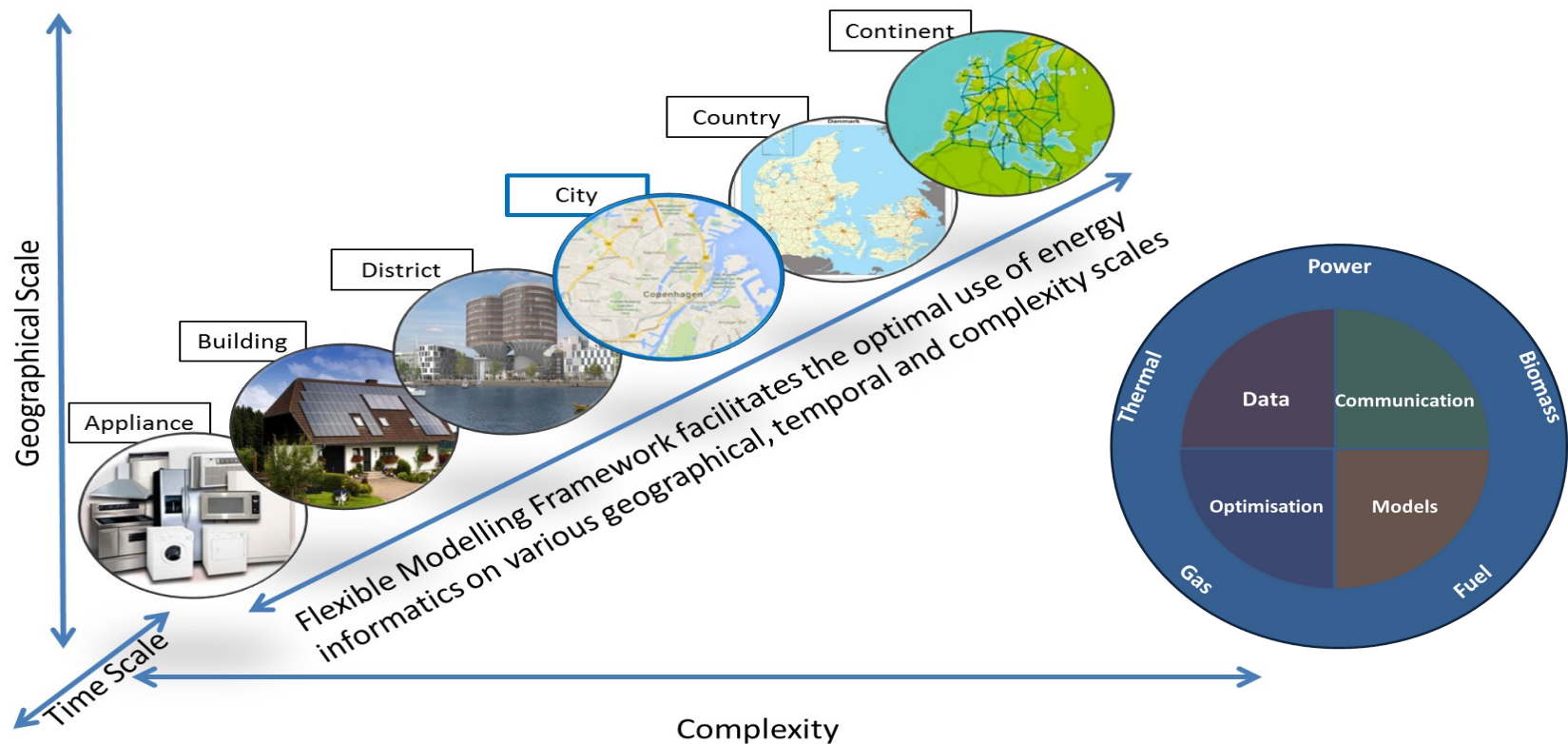


● Power right now

● Natural gas right now

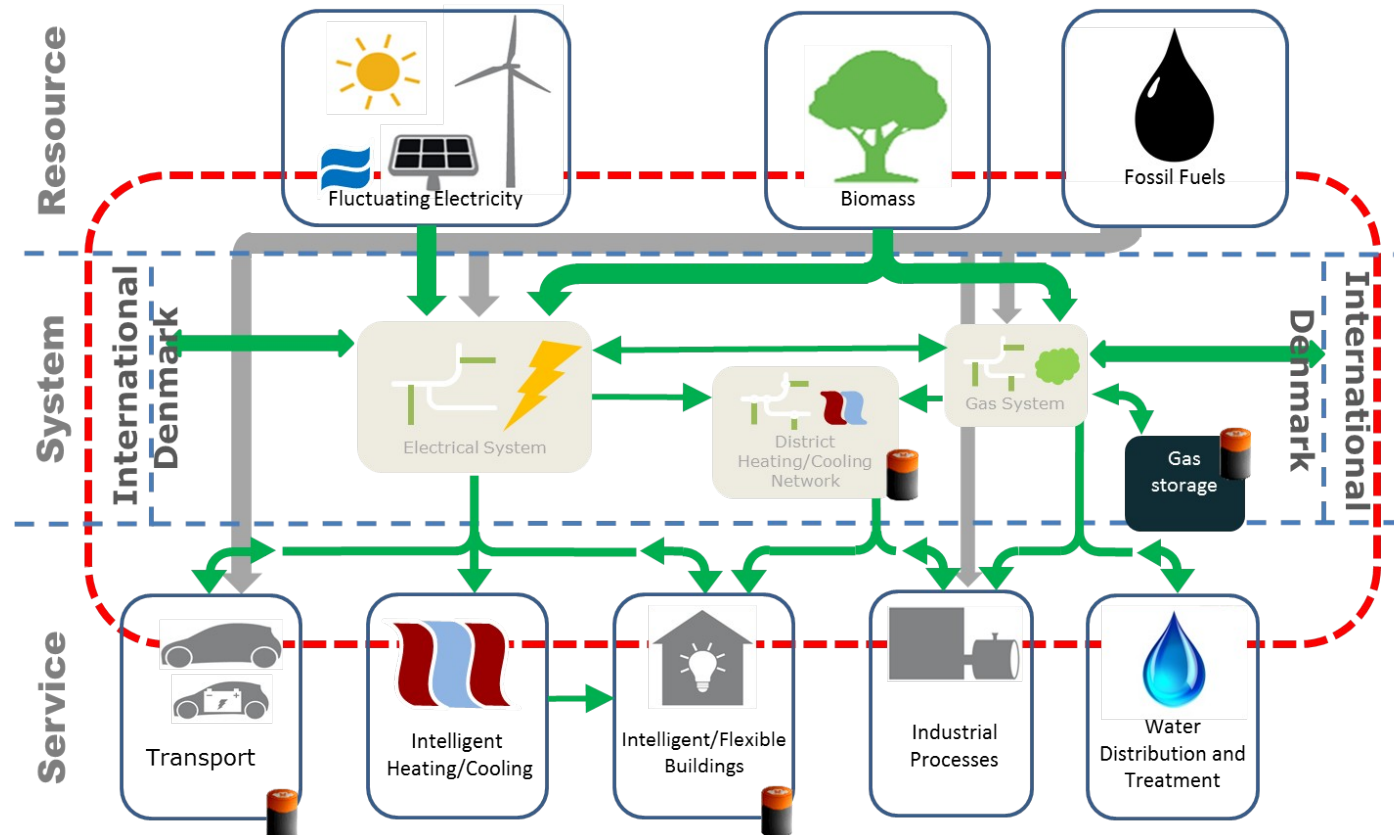
● Locations

Nyt **nationalt center (CITIES** – budget 75 mill.kr.) med det formål at etablere **intelligente løsninger for design og styring af integrerede energisystemer** (el, fjernvarme, gas, biomasse).

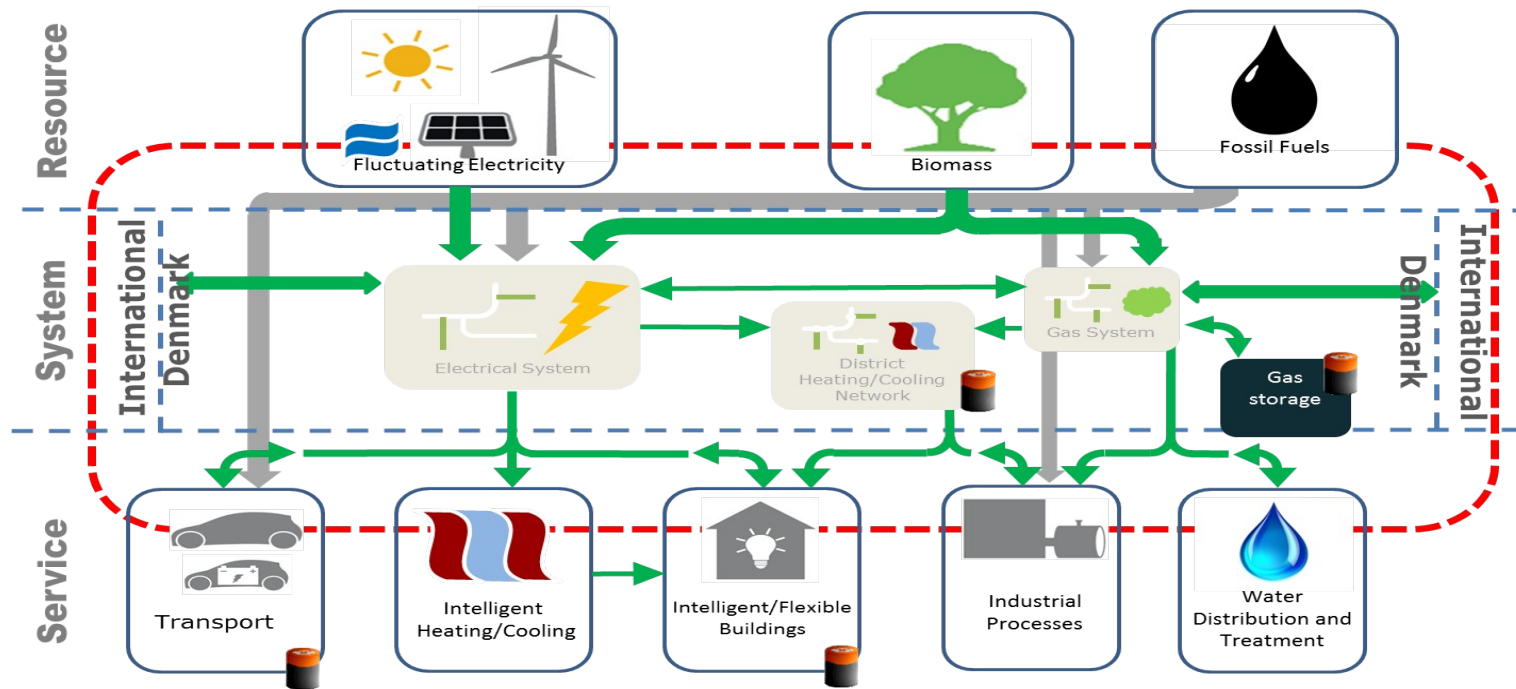


CITIES Konceptet:

Intelligent og prognosebaseret energistyring – også på tværs af energisystemerne (el, fj.varme, gas, biomasse)



Control and Storage by Energy Systems Integration



- Operational (simplified) models for optimization and control
- (Virtual) storage principles:
 - Buildings provide storage up to, say, 10 hours ahead
 - District heating systems lead provide storage up to 2-3 days ahead
 - Gas systems provide seasonal storage

Konklusion

- **Data og modeller** giver mulighed for:
 - Objektiv og automatisk **energimærkning**
 - En række **termiske karakteristika** for boligen
 - **Anvisning på energibesparelser**
 - **Intelligent styring med besparelser** – både i k og i fjernvarmesyst.
- **Vigtigt:** Indfør **databasebaseret intelligent styring** såvel i boliger som i fjernvarmesystemet:
 - Et sæt standardværdier når der anvendes **regel- eller simulationsbaseret styring**.
 - Et andet sæt standardværdier når der anvendes **data- og prognosebaseret styring**.
 - Visning af forbruget giver ikke i sig selv besparelser



Yderligere information ...

● ... send email til:

- Henrik Madsen (DTU Compute)
hmad@dtu.dk
- Søren Østergaard Jensen (Teknologisk Inst.)
sdj@teknologisk.dk
- Peder Bacher (DTU Compute)
pbac@dtu.dk

Tak for opmærksomheden ...

og tak til

Kim Wittchen, Carsten Rode,
Elsparefonden, DSF (CITIES),
DFF-EDB, Sønderborg Fjernvarme

