



# NTNU

Norwegian University of  
Science and Technology

## Utfordringer for energisystemet ved energiproduksjon fra nullenergibbygg (ZEB)

CenSES årskonferanse 2013

Oslo, 9.desember 2013

Karen Byskov Lindberg

PhD stipendiat, NTNU, FME-sentrene ZEB og CenSES  
Overingeniør, NVE

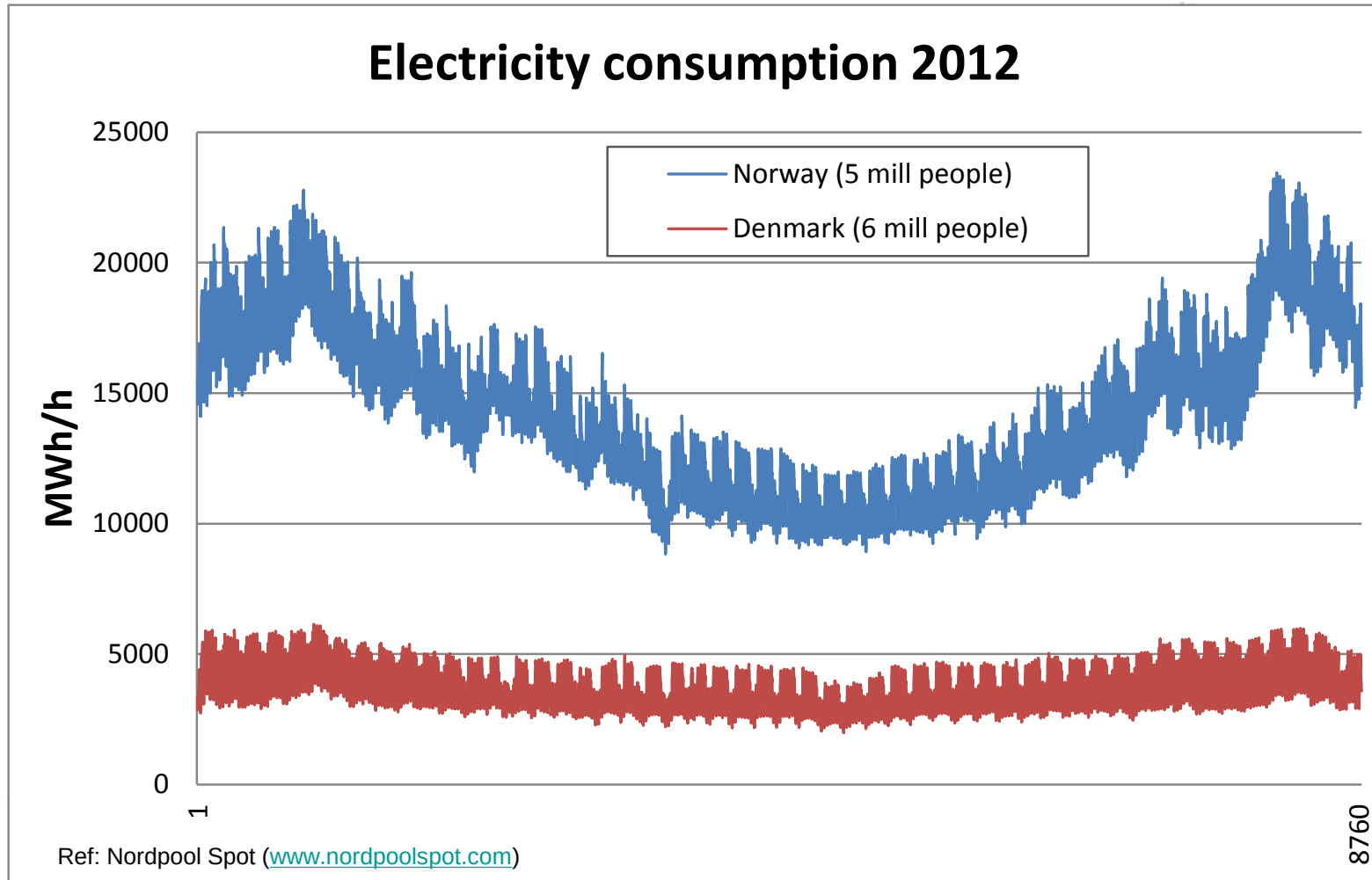
Prof. Gerard Doorman

Institutt for Elkraftteknikk  
Norges Teknisk Naturvitenskapelig Universitet (NTNU)

# Innhold

- Motivasjon og bakgrunn
- Energibruk i Nullenergibbygg
- Metodikk og modell
  - Lastprofiler for varmebehov og el-behov
- Utfordringer
  - Nettet
  - Kraftmarkedet

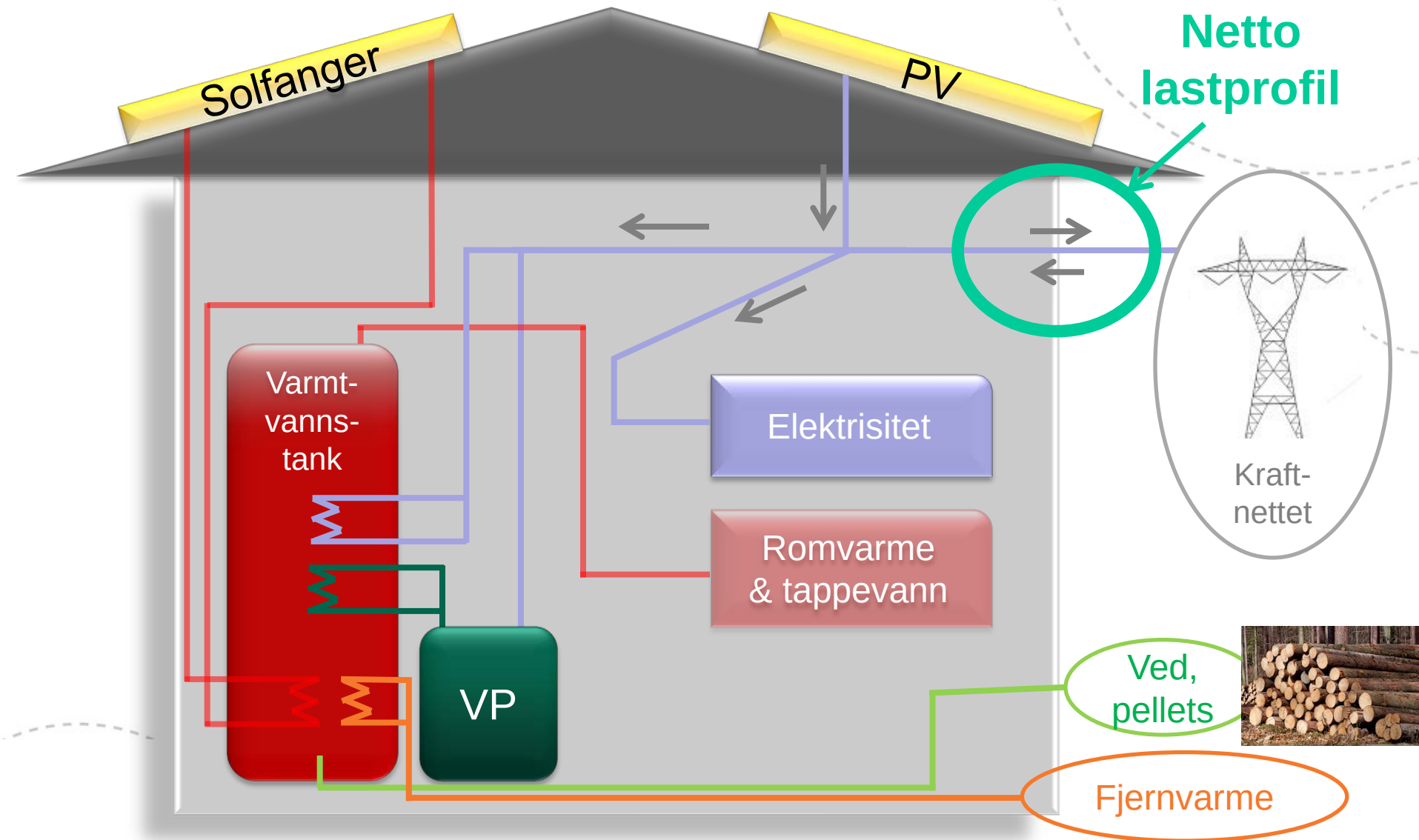
# Lastprofil

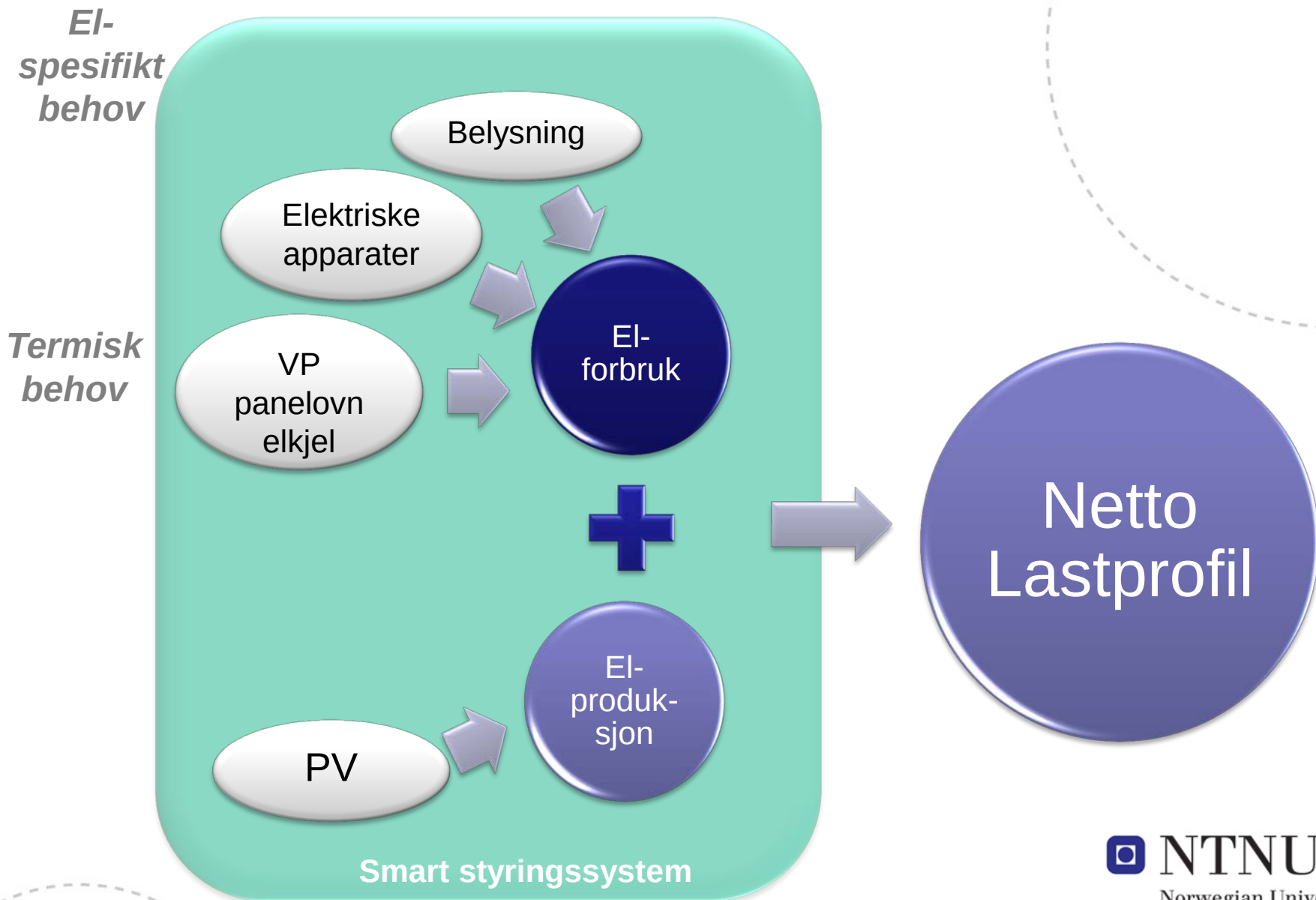


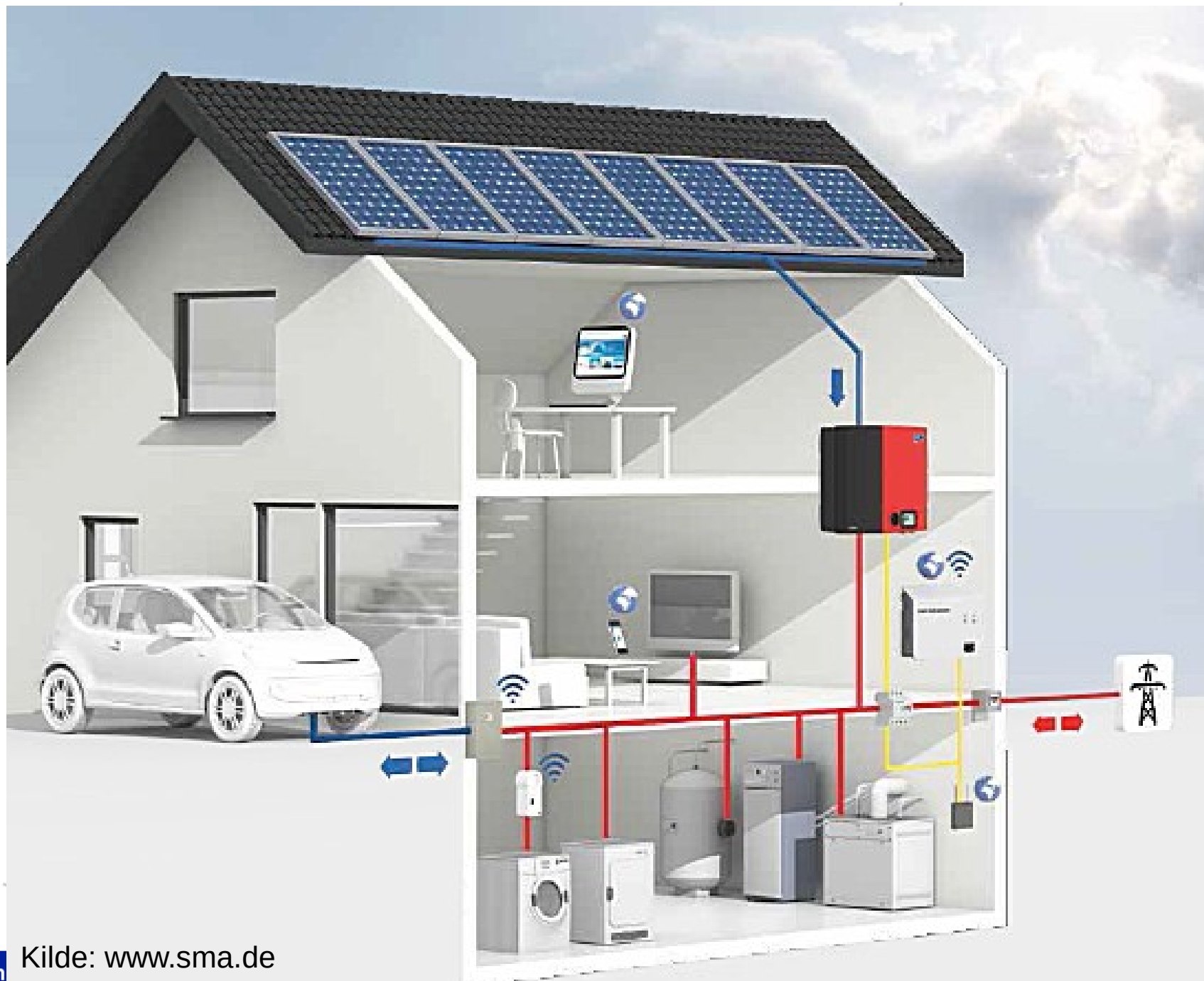
# Motivasjon og problemstilling

- Hvordan vil lastprofilen for Norge utvikles?
  - Med storskala introduksjon av Nullenergibygg (ZEBs)?
- Virkninger for energisystemet?
  - Hvordan påvirkes topplasten?
  - Hvordan påvirkes prisdannelsen i kraftmarkedet?
  - Hvordan vil Norges mulighet for å handle med kapasitet påvirkes?

# Elforbruk i nullenergibygg (ZEB)

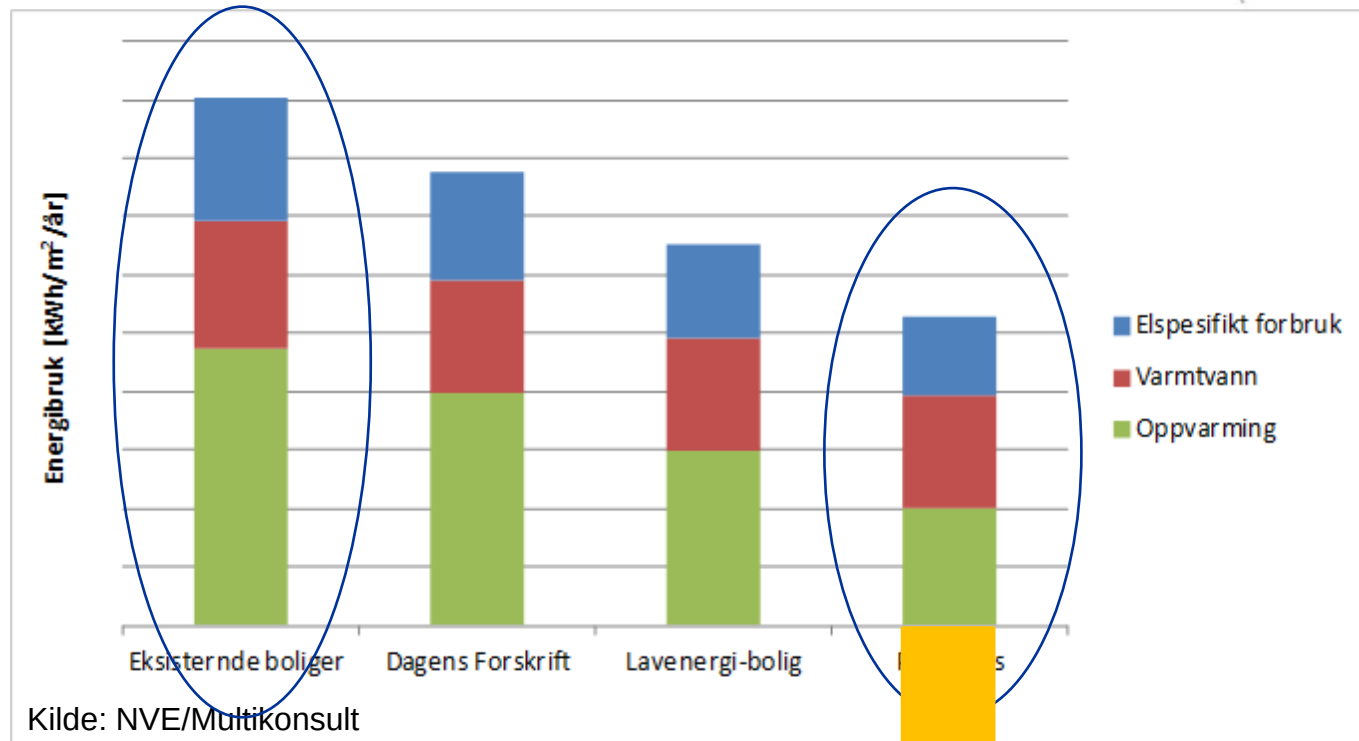






Kilde: [www.sma.de](http://www.sma.de)

# Energibruk i Nullenergibbygg



- Årlig energietterspørsel => Hva skjer på timesnivå?
- Energibehov: Sammenlikner eksisterende bygg med passivbygg



# Regresjon – lastprofiler

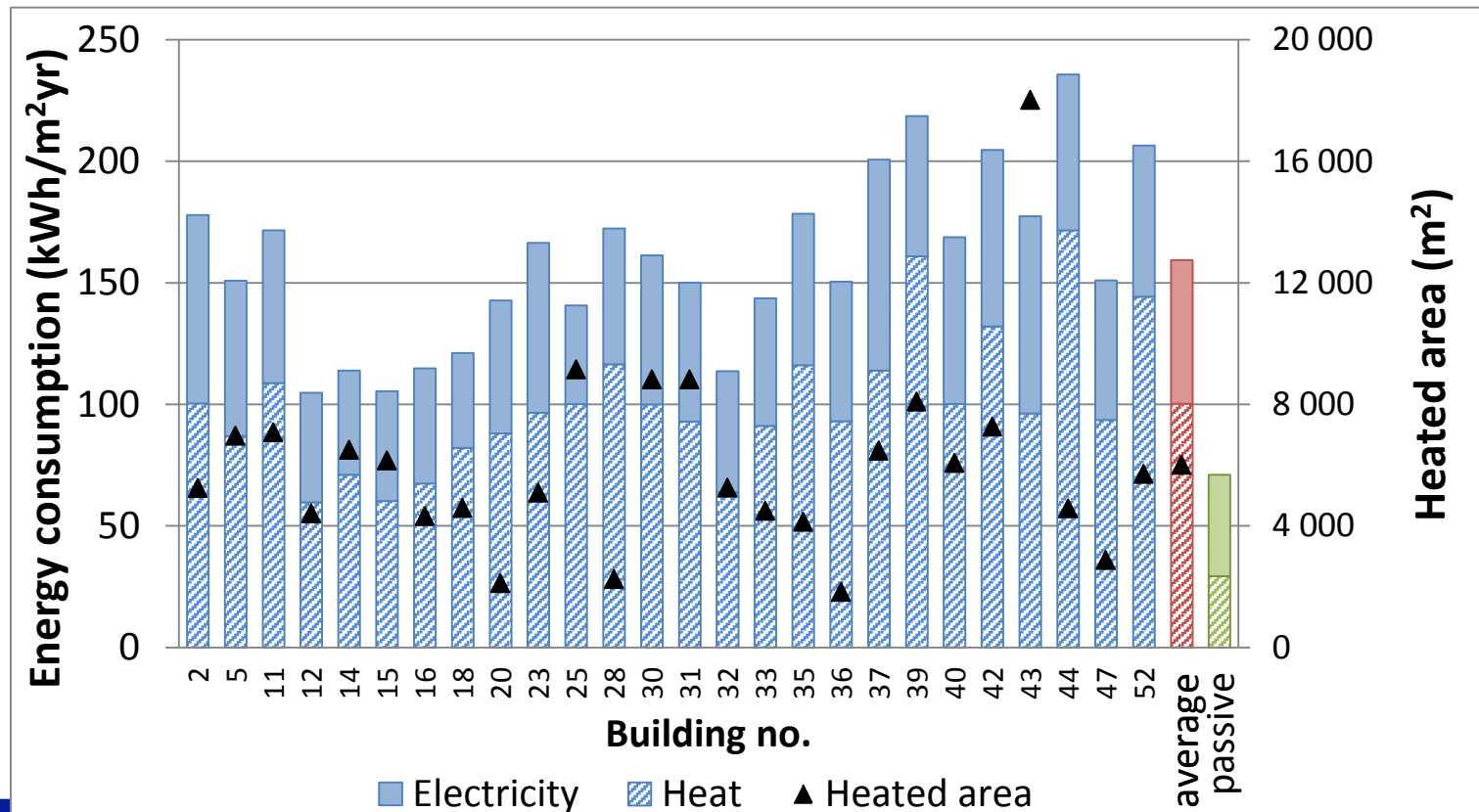
- Data

- Målt varmeforbruk

- Time (over 3 år)
    - Fjernvarme og elkjeler

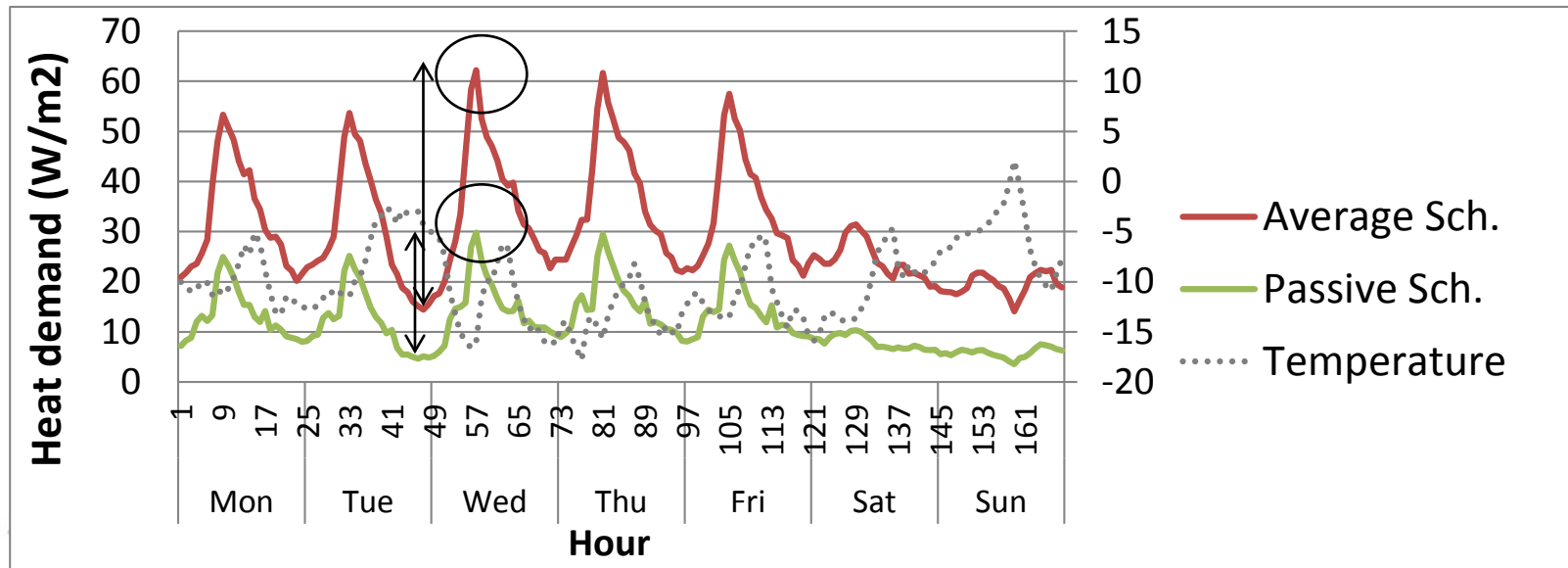
- Skolebygg

- 26 eksisterende skoler
    - 1 passivskole



# Predikert varmelast

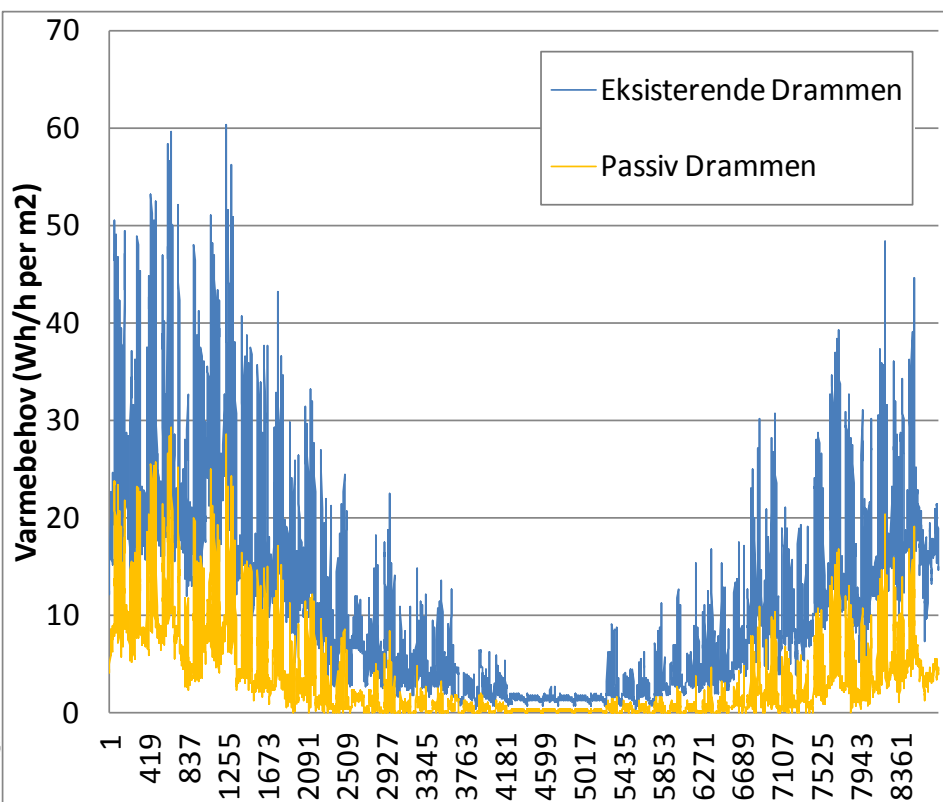
- Regresjonsanalyse
- Gjennomsnittlig eksisterende skole vs. passiv-skole
- Vinteruke:



# Varmebehov

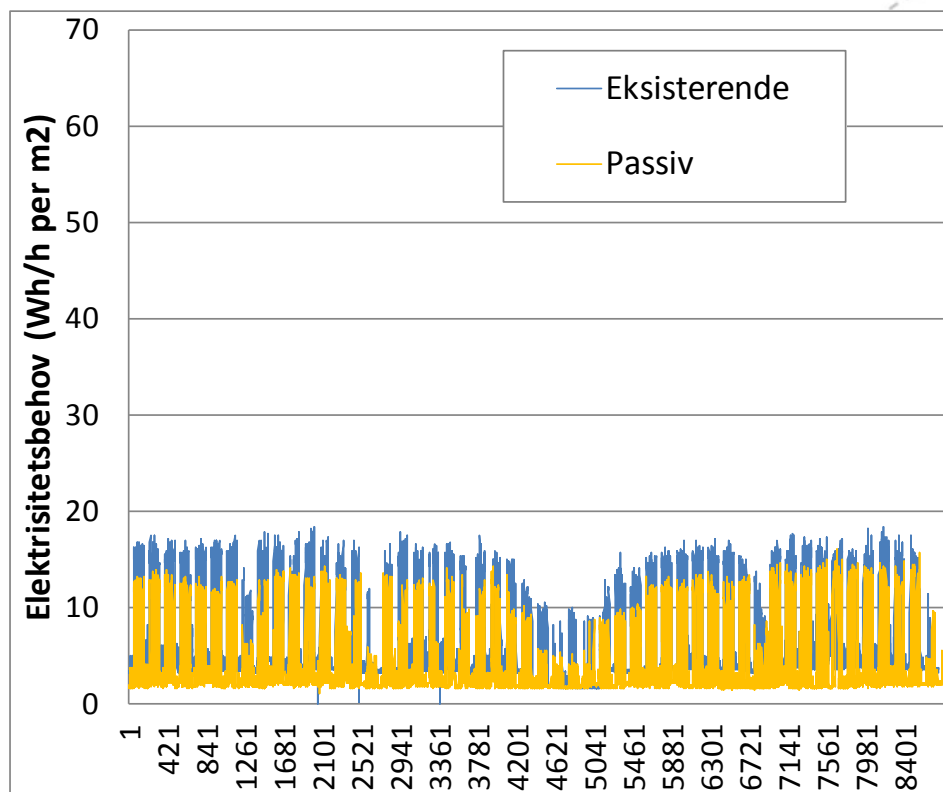
(for skolebygg)

- Predikert vha regresjonsmodellen



# Elektrisitetsbehov

- Basert på måledata

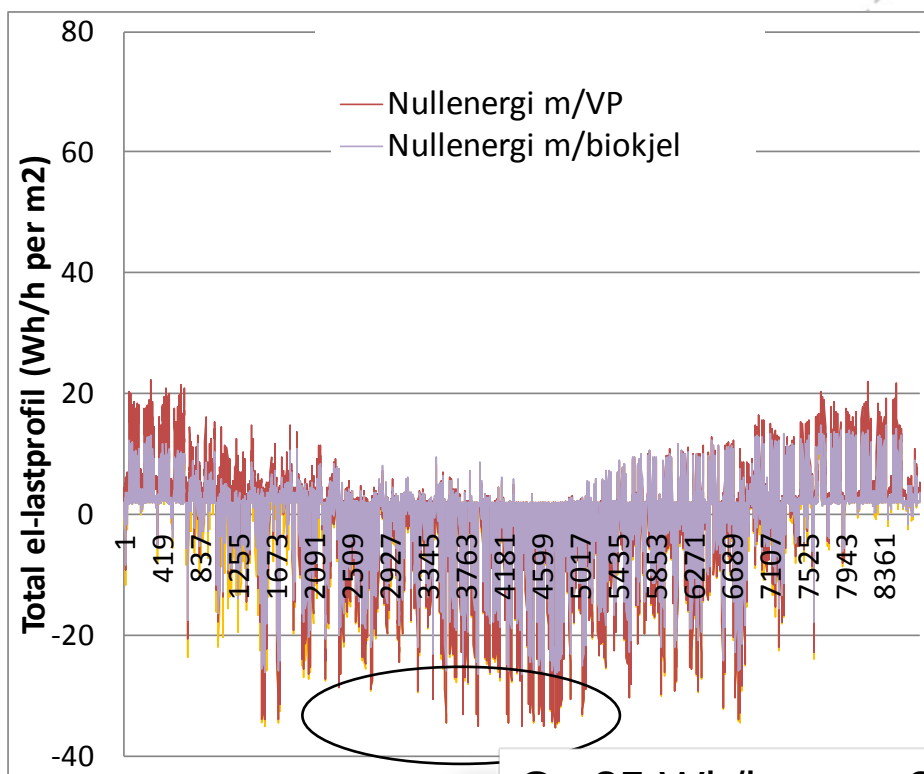
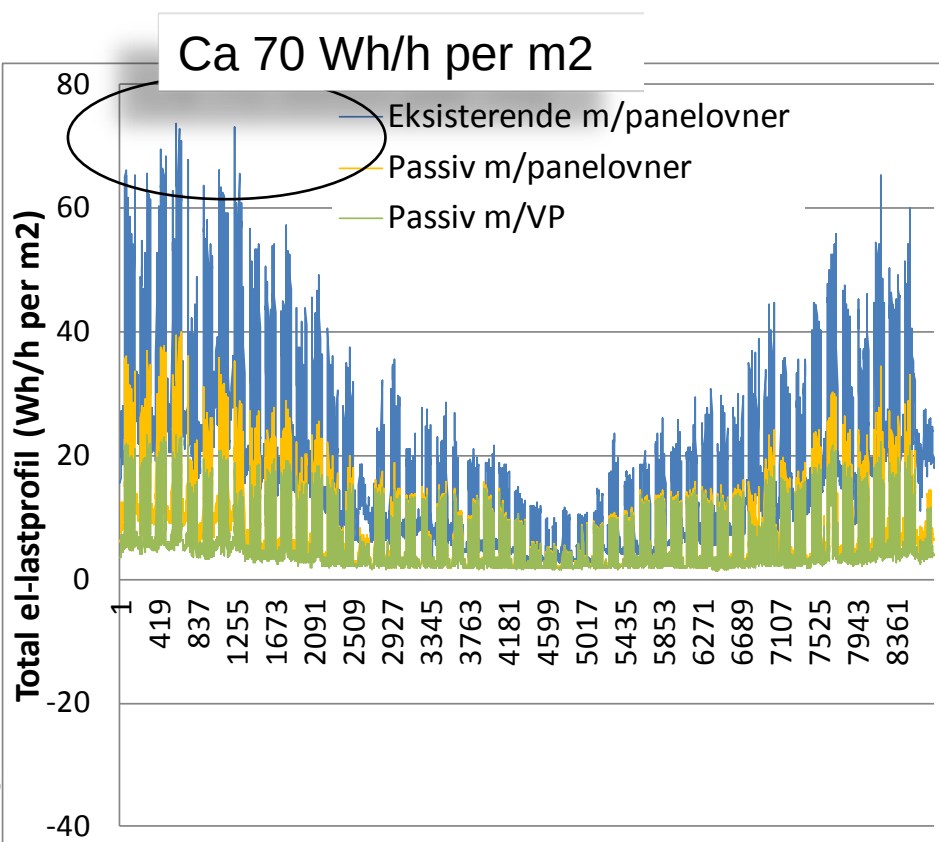


# Total lastprofil

(for skolebygg)

# Netto lastprofil

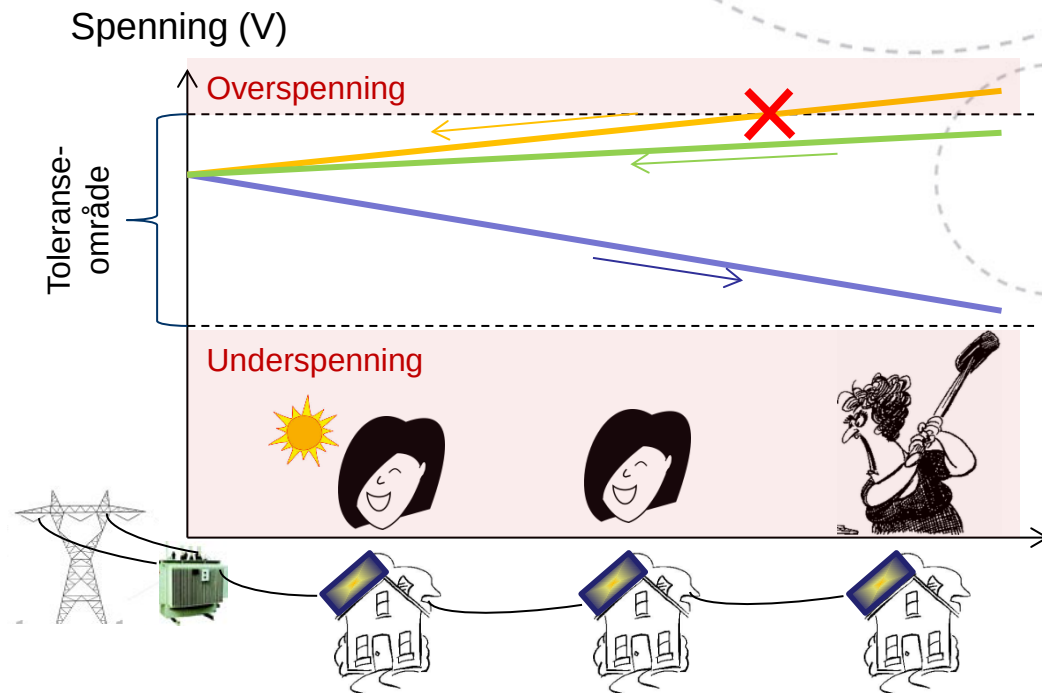
- NB! Uten styring av last



Ca 35 Wh/h per m2

# Virkninger for nettet

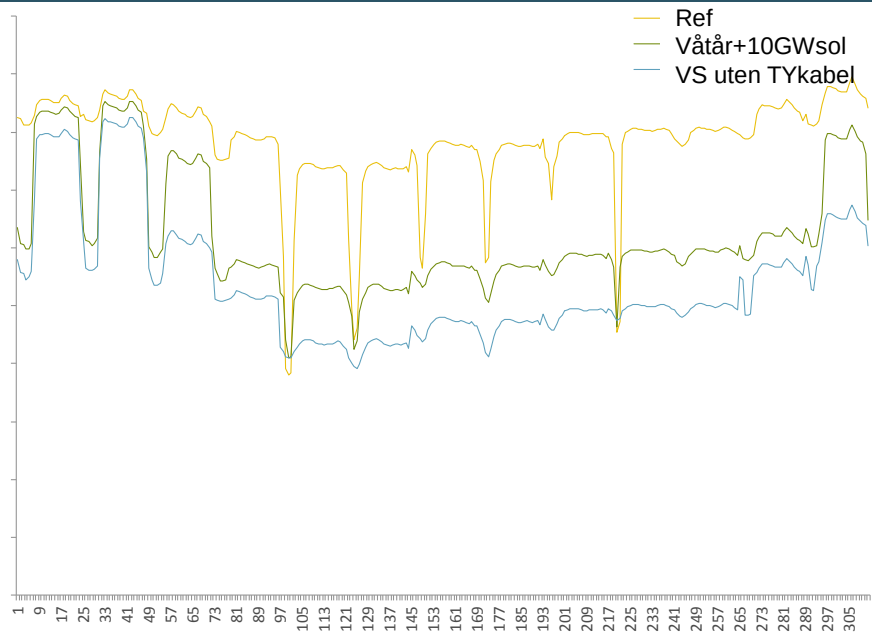
- Energimessig små utfordringer
  - Topplast høyere enn maks innmatning
  - NB! Analysen gjort på energi per time
- Spenningsforhold og flimmerproblemer er ikke analysert
  - Sol på flere bygg i samme nabolag kan gi overspenninger
  - Tidsoppløsning på minutt eller sekund kan gi andre resultat



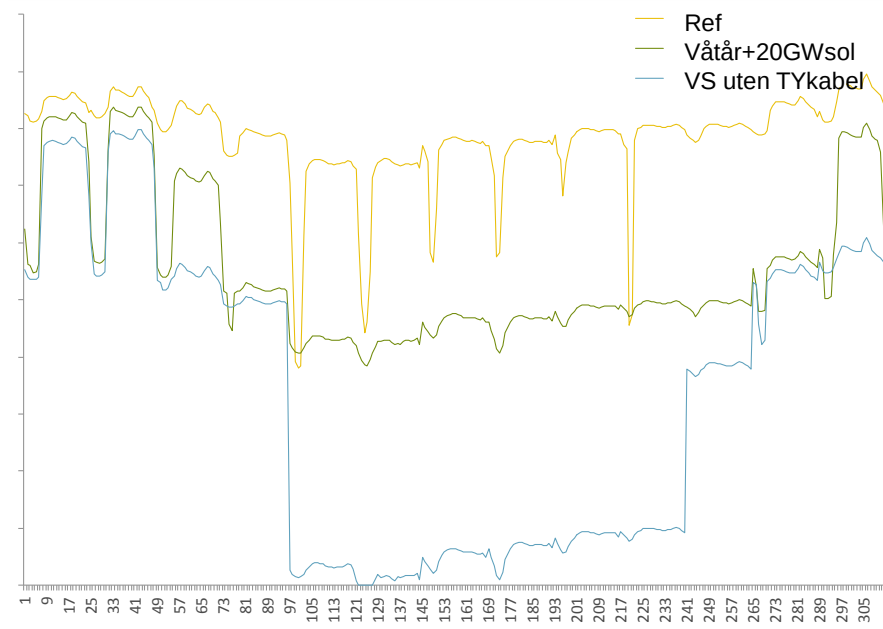
# Virkninger for markedet

- Foreløpig analyse med sol i Norge
  - Installasjon av solkraft (PV): 1 GW, 5 GW, 10 GW og 20 GW
  - Kraftsystemet i **2020** med THEMA-modellen
- Resultat
  - Avhengig av Tysklands kabel eller ikke

10 GW



20 GW



# Oppsummering

- Varmelastprofil for skolebygg
  - Årlig varmebehov redusert med 67 %, mens topplast og amplitude for varmebehov halvert.
- Virkning for nettet med nullenergibygg
  - Foreløpig analyse av skolebygg viser
    - Energimessig små utfordringer (dvs. regional- og sentralnett), men kan gi utfordringer som spenningsforstyrrelser og flimmer i distribusjonsnettet.
- Virkning for kraftmarkedet
  - Energimessig plass til solproduksjon i det norske kraftsystemet
- Videre/pågående arbeid
  - Regresjon av el-profiler og varmeprofiler (kontorbygg, barnehager, forretningsbygg og sykehjem)
  - Netto el-lastprofiler med smart styring (optimering)
  - Effekt av endrede netto lastprofiler på energisystemet
- Takk til



Norges vassdrags-  
og energidirektorat



The Research Centre on  
Zero Emission Buildings



Centre for Sustainable Energy Studies

Takk for oppmerksomheten

[karen.lindberg@ntnu.no](mailto:karen.lindberg@ntnu.no)



...extras

# Lastprediksjon vha. regresjon

- Modellformulering

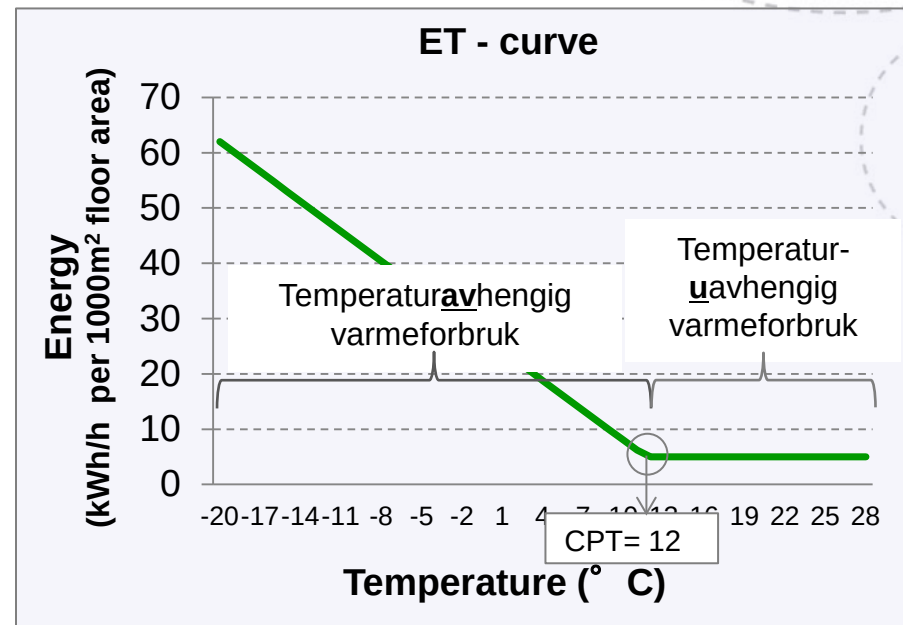
- To tilnærminger ble undersøkt [1],[2]

- Forklaringsvariable

- $T$ ,  $T^2$ , TMA (24hr moving average temp), solminutt per time, vind, WMA (24hr moving average wind)
- Signifikante forklaringsvariabler:  $T$  og TMA

- Energi-Temperatur kurve

- Nyttig for å evaluere modellen
- «Changing point temperature (CPT)» viktig for modellutforming



[1] L. Pedersen. "Load Modelling of Buildings in Mixed Energy Distribution Systems," Ph.D. dissertation, Dept. Process Engineering, The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, 2007

[2] Stokke, G. Doorman, T. Ericson. "An analysis of demand charge electricity grid tariff in the residential sector". Energy Efficiency, vol. 3, pp. 267-282, Jan. 2010.

# Regresjonsmodel for lastprediksjon

- En likning for hver time i døgnet (1-24):

If  $T < \text{CPT}$ :

$$y_{it} = \alpha_i^* + \alpha_t + \beta_t^T T_{it} + \beta_t^{TMA} TMA_{it} + \varepsilon_{it}$$

Heat demand

Building specific constant term

Time specific constant term

Temperature dependency

Outdoor temperature at building's site

Error term

For each building  $i$ ,  
at each hour  $t$ .

# Regressionsmodell for lastprediksjon

- En likning for hver time i døgnet (1-24):

Temp.avhengig område ( $T < CPT$ ):  $y_{it} = \alpha_i^* + \alpha_t + \beta_t^T T_{it} + \beta_t^{TMA} TMA_{it} + \varepsilon_{it}$

Temp. uavhengig område ( $T > CPT$ ):  $y_{it} = \alpha_i^* + \gamma_t + \varepsilon_{it}$

- Total likning

$$y_{it} = \alpha_i^* + \underbrace{\sum_{wdh=1}^{24} \alpha_{wdh} D_{wdh}^{WD} + \sum_{wdh=1}^{24} \beta_{wdh}^T D_{wdh}^{WD} T_t + \sum_{wdh=1}^{24} \beta_{wdh}^{TMA} D_{wdh}^{WD} TMA_t + \sum_{wdh=1}^{24} \gamma_{wdh} D_{wdh}^{CPT,WD}}_{\text{ukedager}} + \underbrace{\sum_{weh=1}^{24} \alpha_{weh} D_{weh}^{WE} + \sum_{weh=1}^{24} \beta_{weh}^T D_{weh}^{WE} T_t + \sum_{weh=1}^{24} \beta_{weh}^{TMA} D_{weh}^{WE} TMA_t + \sum_{weh=1}^{24} \gamma_{weh} D_{weh}^{CPT,WE}}_{\text{helgedager}} + \varepsilon_{it}$$

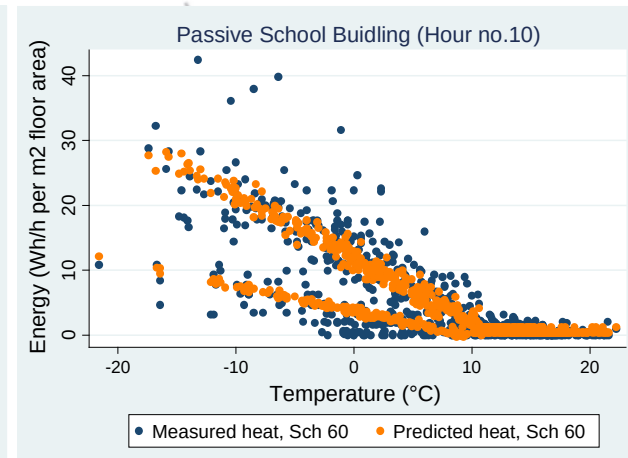
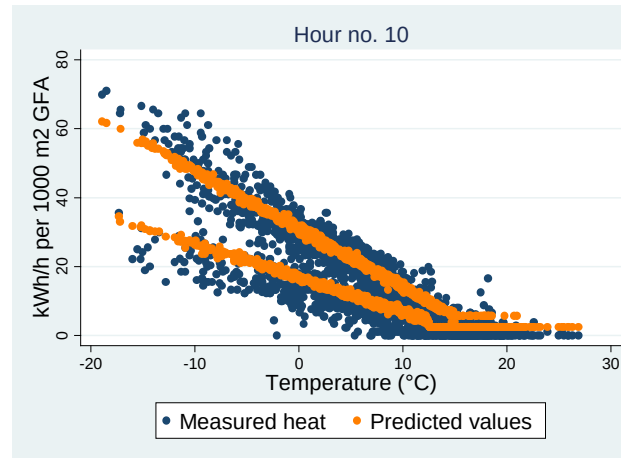
- «Goodness of fit»

- Gjennomsnittsskole:  $R^2 = 68 \%$
- Passivskole:  $R^2 = 69 \%$

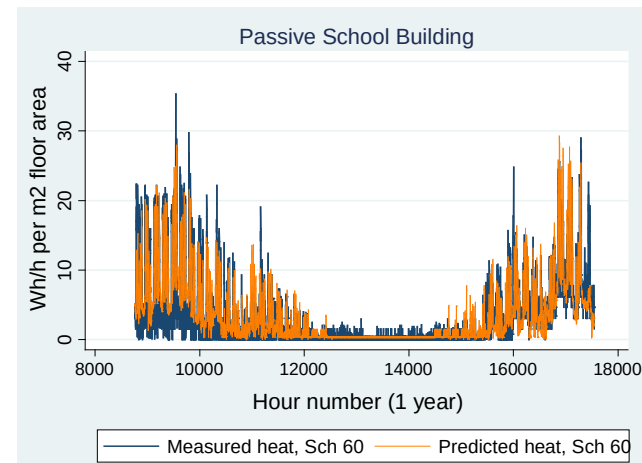
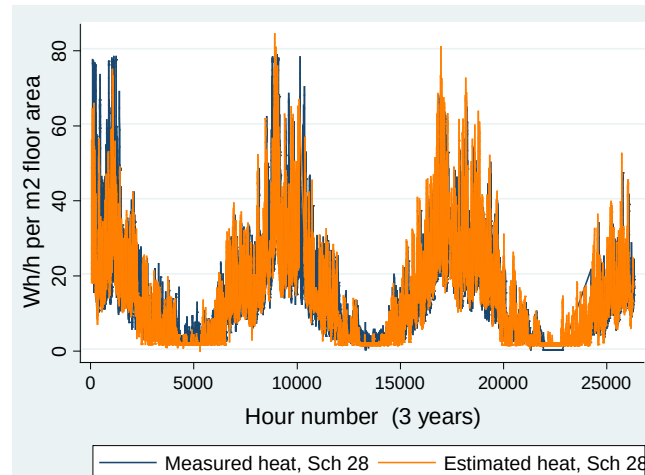
Validering av modellen:

# Målt forbruk vs. predikert forbruk

- Energi–Temperaturkurve for hver time



- Årlig prediksjon (ett bygg)



# Predikert varmelast

- Vinteruke
- Høstuke
- Sommerferie-uke

