

# CINELDI

Centre for intelligent electricity distribution  
- to empower the future Smart Grid



Norwegian Centre for  
Environment-friendly  
Energy Research

## Estimering av forbrukerbaseline ved fleksibel aktivering; Analyse av eksplisitt fleksibilitetsaktivering ved forskjellige kundegrupper

CINELDI-Webinar, @Trondheim, 9.10.2024

Kasper E. Thorvaldsen



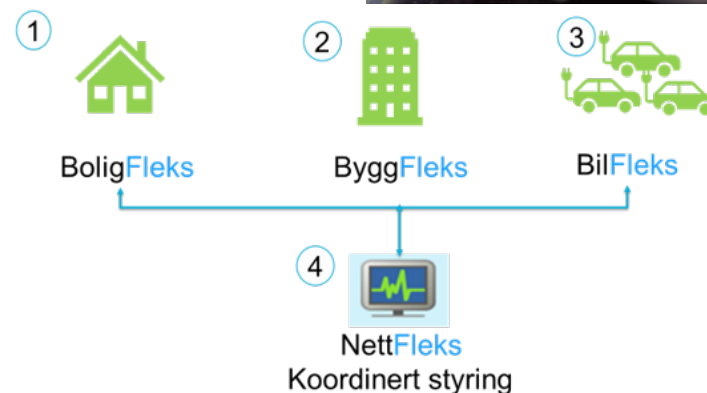
# Agenda

- Bakgrunn og motivasjon
- Baseline – Hva er baseline og hvordan estimere det?
- Resultater fra Strømfleks-prosjektet – Aktivisering av kundegrupper og baseline-estimering
- Oppsummering og videre anbefalinger



# Bakgrunn og motivasjon

- Flexibilitetsbehov i nettet øker for sikker drift
- Flexible ressurser hos kunder kan være en viktig nøkkel i fremtiden
- Enova-prosjektet Strømfleks (Lede AS) har sett på muliggjøring av fleksible ressurser
- “Storskala demonstrasjon av fremtidens energisystem”
- **Målsetning:** Demonstrere hvordan fleksible ressurser kan realiseres som ressurs for kraftnettet



## Utkoblingsplan hverdager:

	Dag	Tidspunkt Formiddag	Tidspunkt Ettermiddag
Uke 39/43/47/51/3/7/11	Mandag	07:00-08:00	16:00-17:00
	Tirsdag	08:00-09:00	17:00-18:00
	Onsdag	09:00-10:00	18:00-19:00
	Torsdag	10:00-11:00	19:00-20:00
	Fredag	07:00-08:00	Ingen testutkobling
Uke 40/44/48/52/4/8/12	Mandag	08:00-09:00	17:00-18:00
	Tirsdag	09:00-10:00	18:00-19:00
	Onsdag	10:00-11:00	19:00-20:00
	Torsdag	07:00-08:00	16:00-17:00
	Fredag	08:00-09:00	Ingen testutkobling
Uke 41/45/49/1/5/9/13	Mandag	09:00-10:00	18:00-19:00
	Tirsdag	10:00-11:00	19:00-20:00
	Onsdag	07:00-08:00	16:00-17:00
	Torsdag	08:00-09:00	17:00-18:00
	Fredag	09:00-10:00	Ingen testutkobling
Uke 42/46/50/2/6/10/14	Mandag	10:00-11:00	19:00-20:00
	Tirsdag	07:00-08:00	16:00-17:00
	Onsdag	08:00-09:00	17:00-18:00
	Torsdag	09:00-10:00	18:00-19:00
	Fredag	10:00-11:00	Ingen testutkobling

Klikk for større visning plan for utkobling

# Eksplisitt aktivering i Strømfleks

## • BoligFleks:

- 128 aggregerte husholdninger
- Utkoblinger: 169 hendelser (Okt 22 – Apr 23), mellom 7-11/16-20 i hverdager

## • ByggFleks:

- 3 skoler og 1 gymsal; **sett på individuelt**
- Utkoblinger: 132 hendelser (Juni 22 – Apr 23), mellom 8-12 i hverdager

## • BilFleks:

- 1 kontorbygg med ladepark
- Utkoblinger: 53 aktiveringer (Juni 22 – Mars 23)
- «Utkobling»: Redusere ladekapasitet til 20 kW
- Ladepark strupes ved høyt forbruk (effektjusteres)

Bygg	Installert effekt (kW)
Skole 1	341,5
Gymsalen	263,5
VGS1	80
VGS2	405
Husholdningskunder (150)	695,34
Parkeringsanlegg	165
Total	1950,34

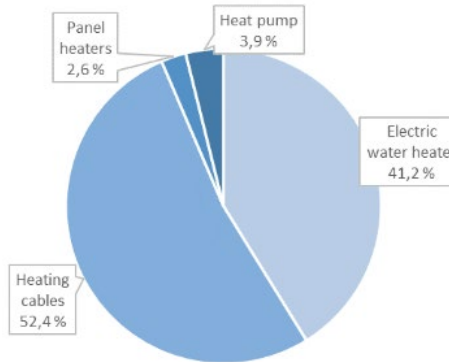
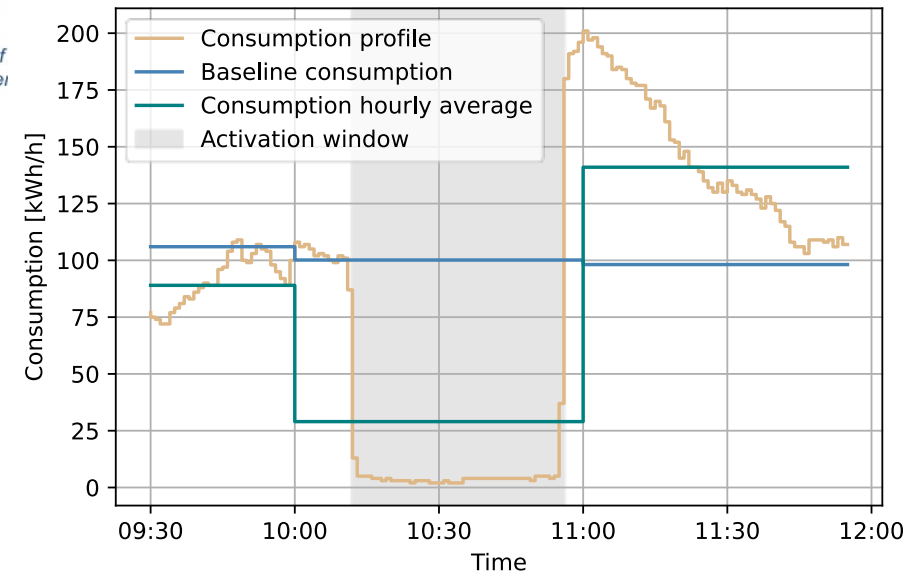
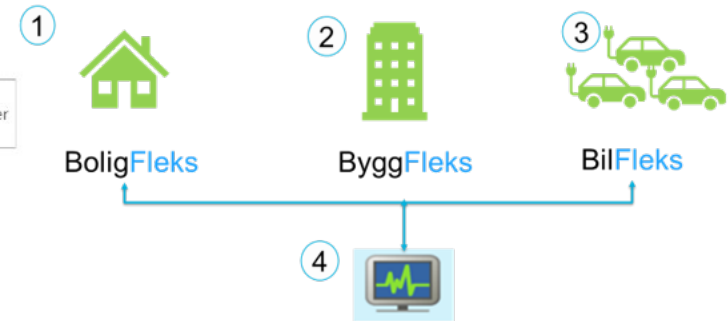
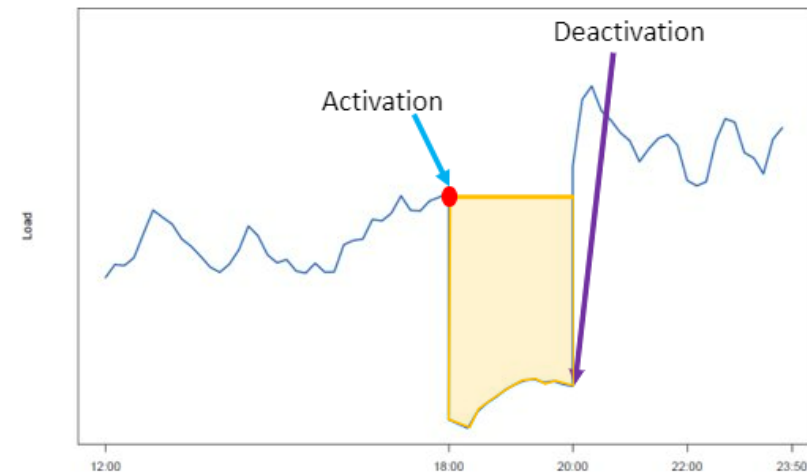
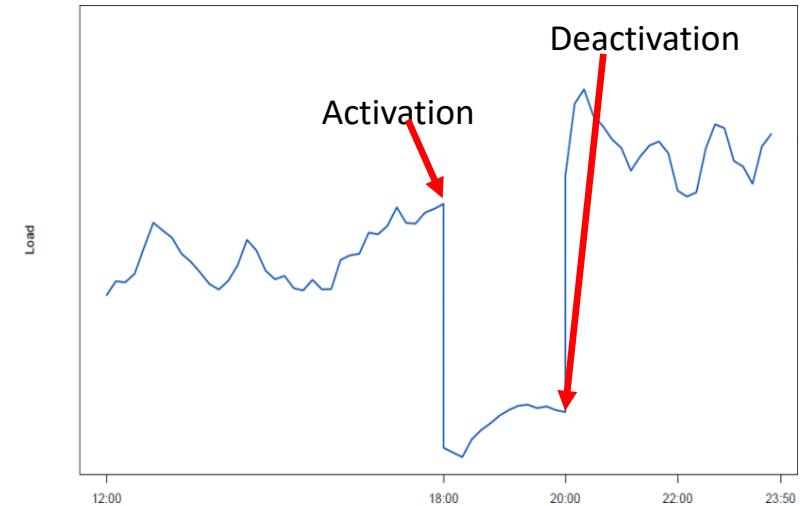


Figure 5 Installed capacity of customer



# Baseline – Hvordan finne fleksibelt bidrag?

- Når en kunde aktiverer fleksibilitet, hva har vi faktisk fjernet av energi i denne perioden?
- **Baseline:** et estimat av energiforbruket som ville funnet sted uten bruk av forbrukerfleksibilitet
- **Fleksibelt bidrag:** differansen mellom baseline og målt forbruk
- Baseline er et viktig verktøy for å finne ut hvor mye fleksibelt bidrag som har forekommet
- Men hvordan regne ut baseline?
- Det er ingen perfekt løsning på dette

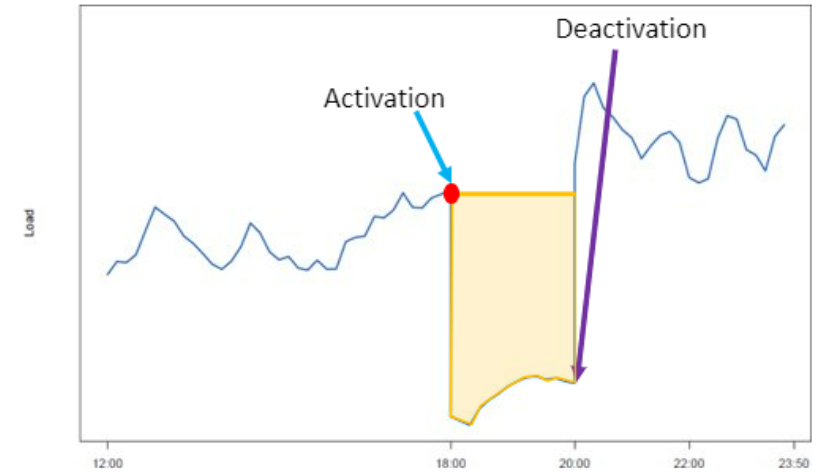


L. Hatton, P. Charpentier and E. Matzner-Løber, "Statistical Estimation of the Residential Baseline," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 31, no. 3, pp. 1752-1759, May 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2453889>.



# Hvordan beregne ut Baseline?

- Det finnes flere måter å regne ut baseline
- Metodevalg begrenser hvor pålitelig beregningene er
- Dette arbeidet har sett på mer “enkle” metoder



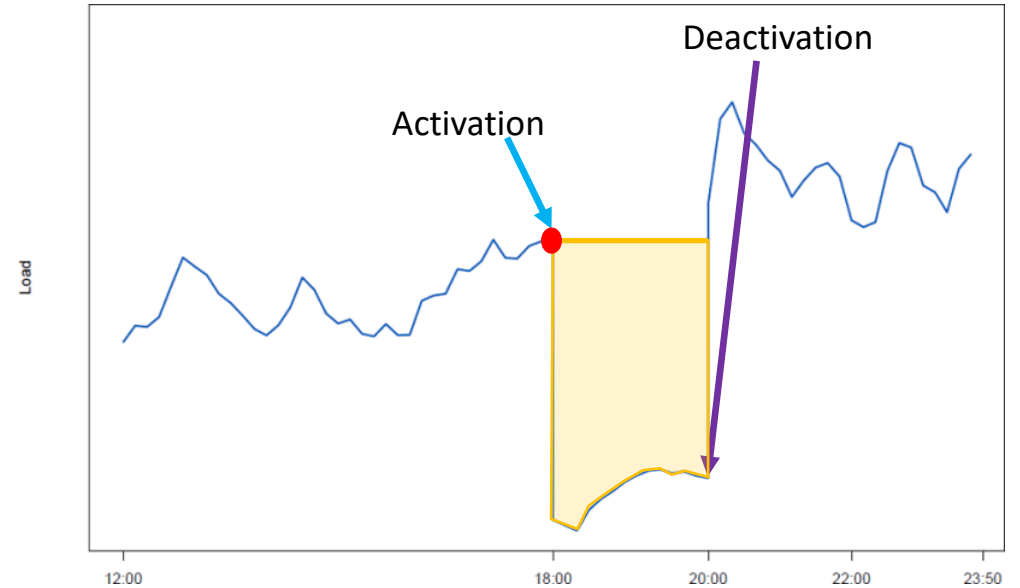
## Summary

	Transparency and simplicity	Inclusive use of available flexibility	Immune to manipulation	Compatibility with continuous control
<u>Window before</u>	✓	✓	✗	✗
<u>Window before and after</u>	✓	✓	✗	✗
Historical or averaging	✓	✓	✗	✗
Interpolation	✓	✓	✗	✗
Regression	✗	✓	✗	✗
Machine learning	✗	✓	✓	✗
Control group	✗	✗	✓	✗
Prognosis	✗	✗	✗	✓



# «Enkle» metoder

- Window before
- Window before and after
- Historical or Averaging (also called XofY)



Window before

Transparency and simplicity



Inclusive use of available flexibility



Immune to manipulation

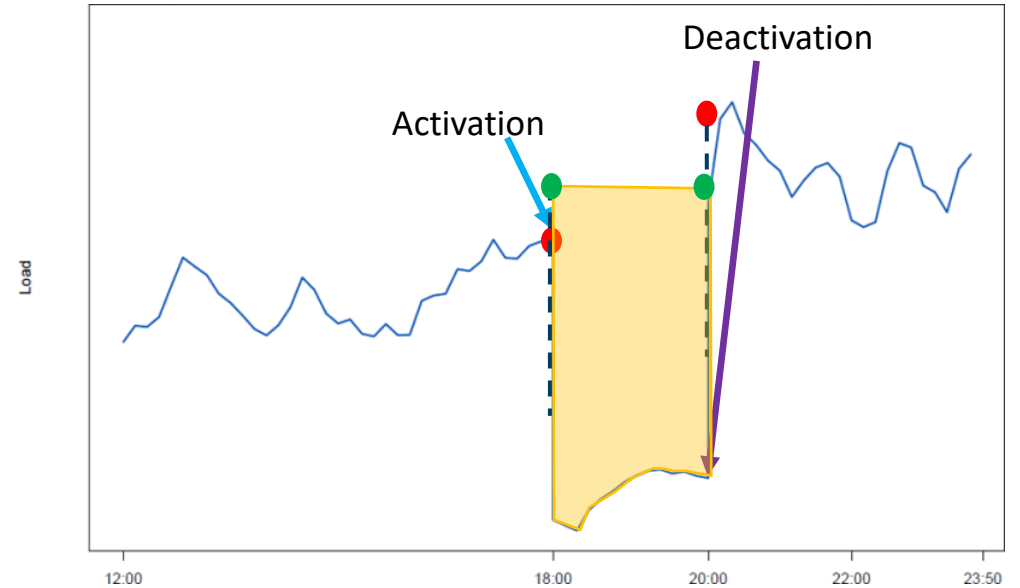


Compatibility with continuous control



# «Enkle» metoder

- Window before
- **Window before and after**
- Historical or Averaging (also called XofY)



Window before  
and after

Transparency  
and simplicity



Inclusive use of  
available flexibility



Immune to  
manipulation



Compatibility with  
continuous control





# «Enkle» metoder

- Window before
- Window before and after
- Historical or Averaging (also called XofY)

Historical or averaging

Transparency and simplicity



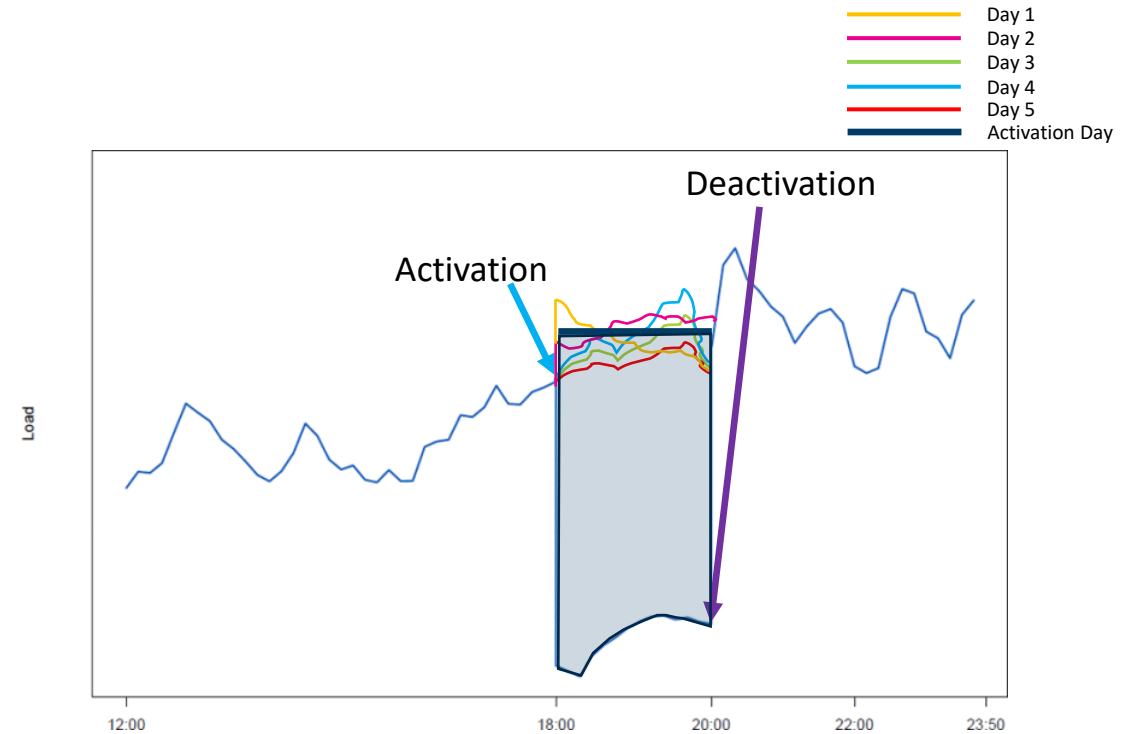
Inclusive use of available flexibility



Immune to manipulation

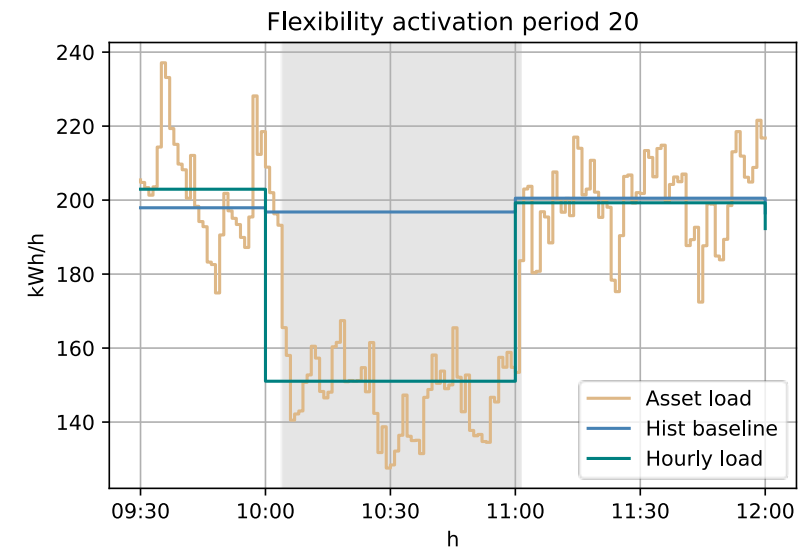
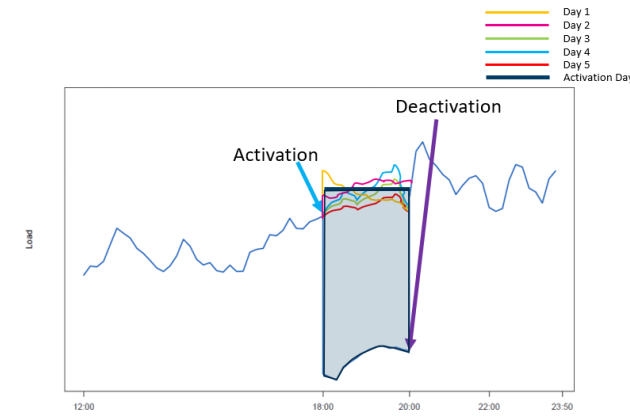
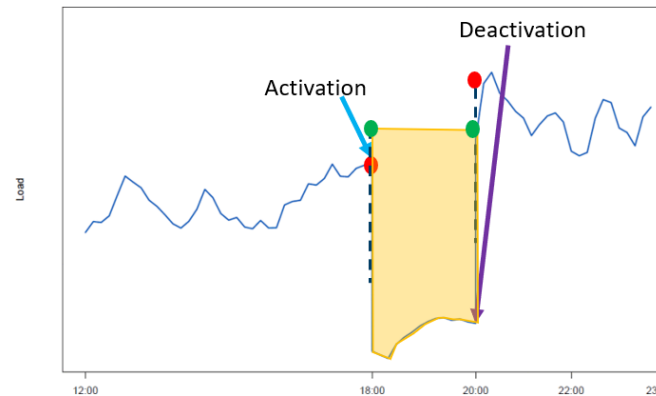


Compatibility with continuous control



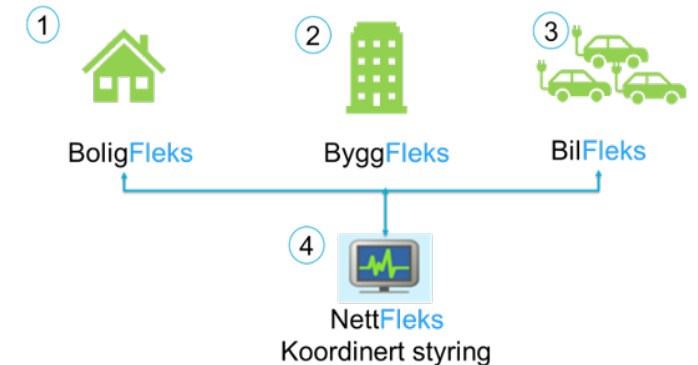
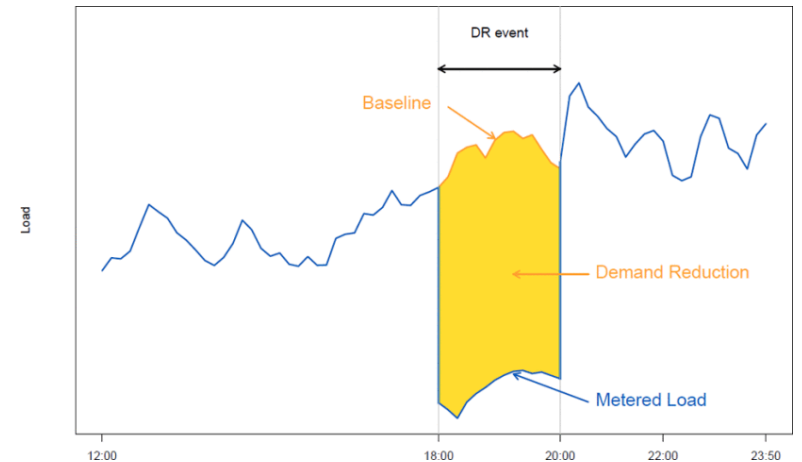
# Valg av baseline

- 2 metoder ble tatt i bruk
  - **Windows before/after**
    - Strømforbruket før/etter aktivering
  - **Historisk databruk:**
    - Finne 7 historiske målepunkter i hverdager ( $X=Y=7$ ), samme time
    - Ignorerer historiske timer hvor **aktivering har skjedd**, samt timen **etter aktivering**
- **Historisk databruk ble brukt videre som default**
  - Hva har vært viktig å tenke over:
    - Hvordan endrer forbruksprofilene seg time-for-time?
    - Vil en aktivering innebære en gjeninnkoblingseffekt etterpå (rebound)?
    - Hvordan forsikre at tidligere aktiveringer ikke blir tatt med i vurderingen?



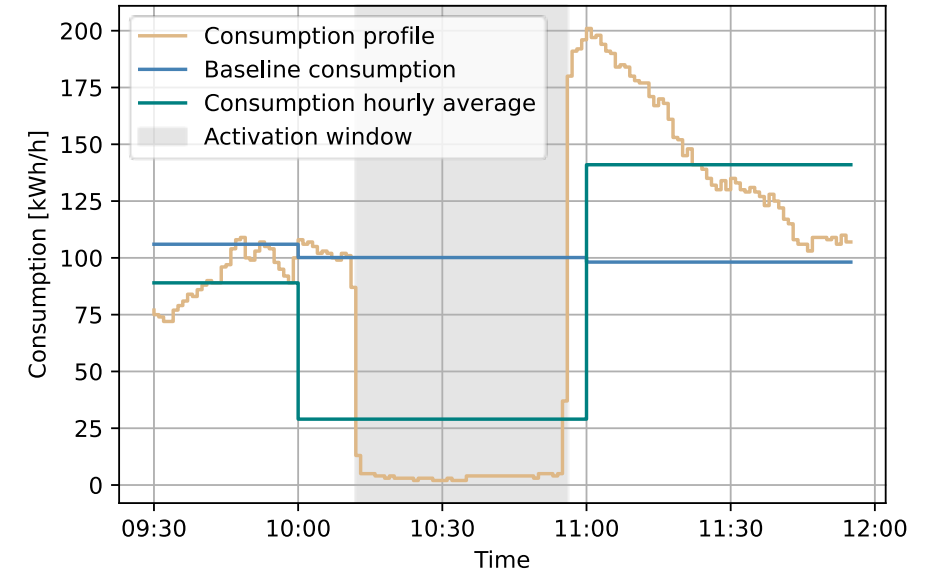
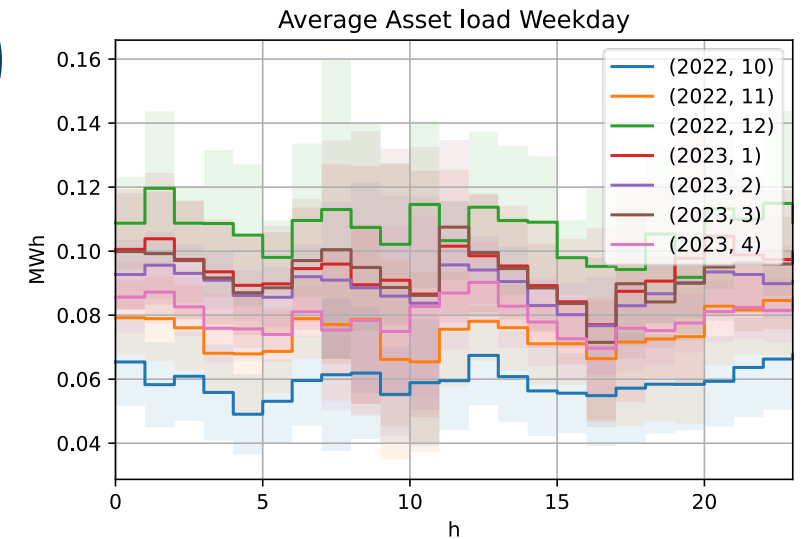
# Case studie – Kundegruppene I Strømfleks

- Hva har blitt analysert med kundegruppene I Strømfleks:
  - Hvor mye fleksibilitet ble aktivert under utkoblingene, og hva var trenden?
  - Ble det observert noe uventet under/etter utkoblingene, eksempelvis gjeninnkoblingseffekt (rebound)?
  - Hvordan varierer fleksibilitetsaktiveringene mellom kundegruppene?



# Resultater – BoligFleks (1/2)

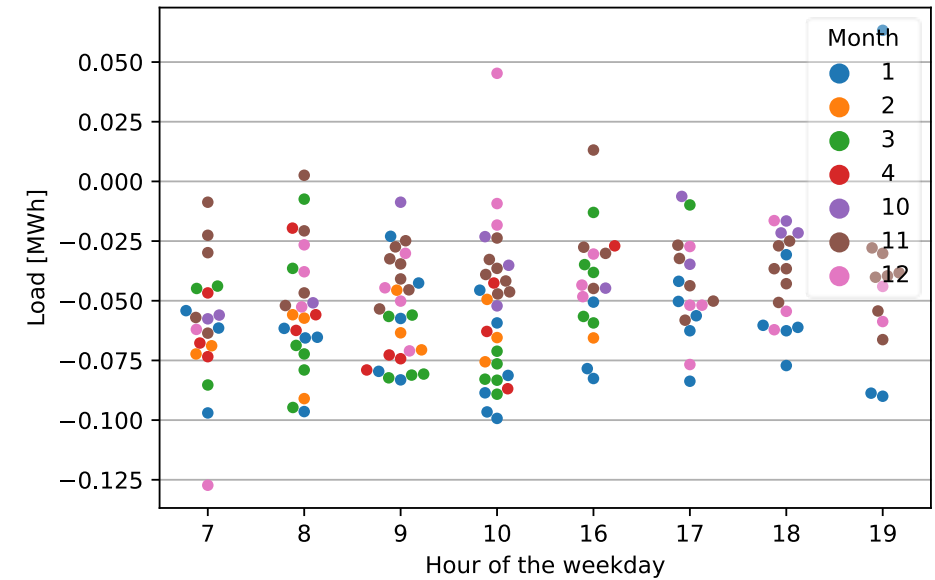
- Alle ressurser er ikke på samtidig
  - Mye av ressursene er termiske produkter (varmtvannsbereder, radiator etc)
- Utkobling ga tydelig forbruksreduksjon i perioden (Eksempelet: 100 kWh/h)
  - Kun fleksible ressurser som er studert her
- Tydelig, men kortvarig, gjeninnkoblingseffekt etter utkobling (Eksempelet: 200 kWh/h)
  - Ikke tydelig fra timesgjennomsnittsverdier
- Tydelig at gjeninnkobling kan påvirke nøyaktighet på baselineestimering



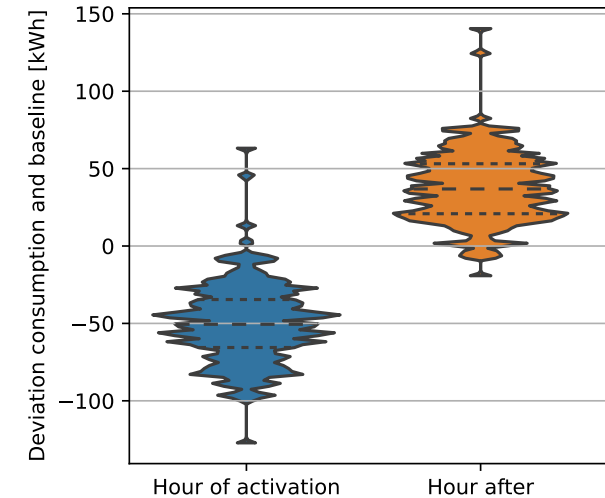
# Resultater – BoligFleks (2/2)

- Analyse av fleksibelt potensial varierer mellom baseline-metodene
- Gjeninnkoblingseffekt påvirker nøyaktighet med «Windows»
  - Både økt bidrag, og økt gjeninnkoblingseffekt
- Resultater utkobling (historisk):
  - Forventet fleksibelt bidrag: 49.9 +/- 26.2 kWh
  - Mye variasjon i lastreduksjon, henger sammen med:
    - Varighet på aktivering
    - Måned, døgn
    - Estimator fra baseline

Load removed from flexibility activation compared to baseline

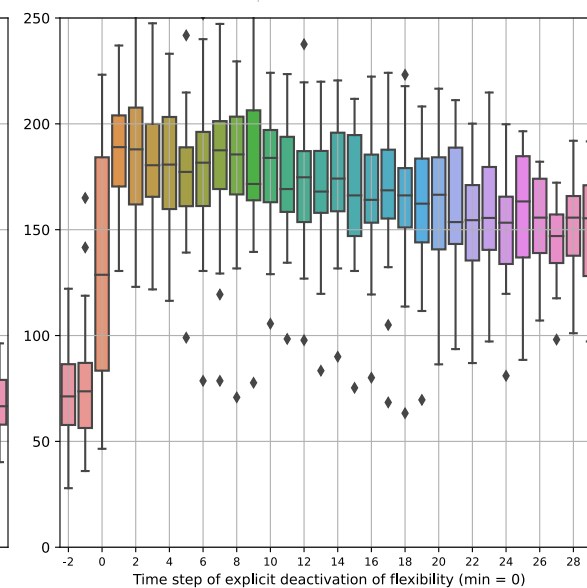
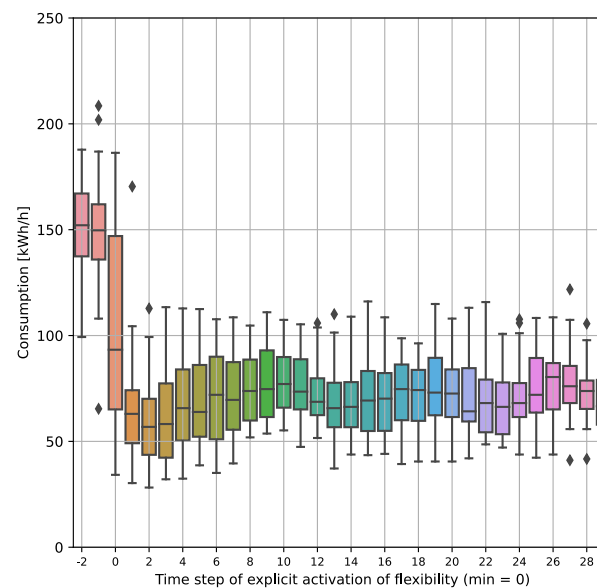
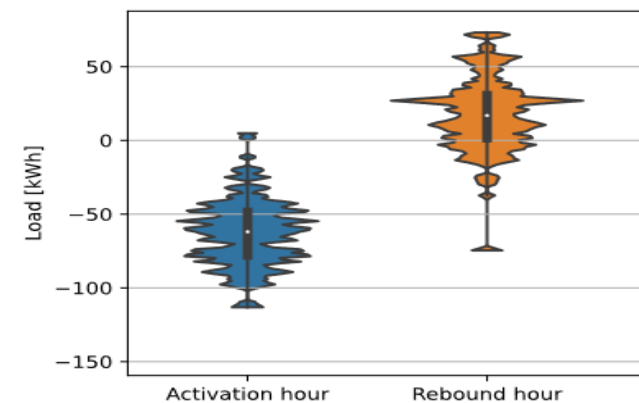


Historisk Baseline

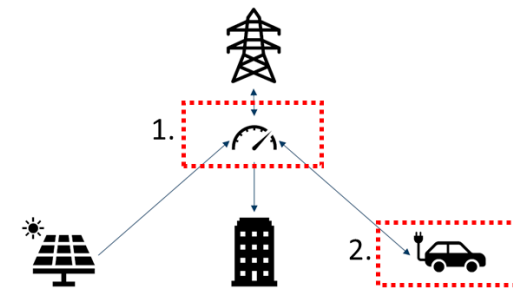


# Byggfleks – Resultater fra 1 skole

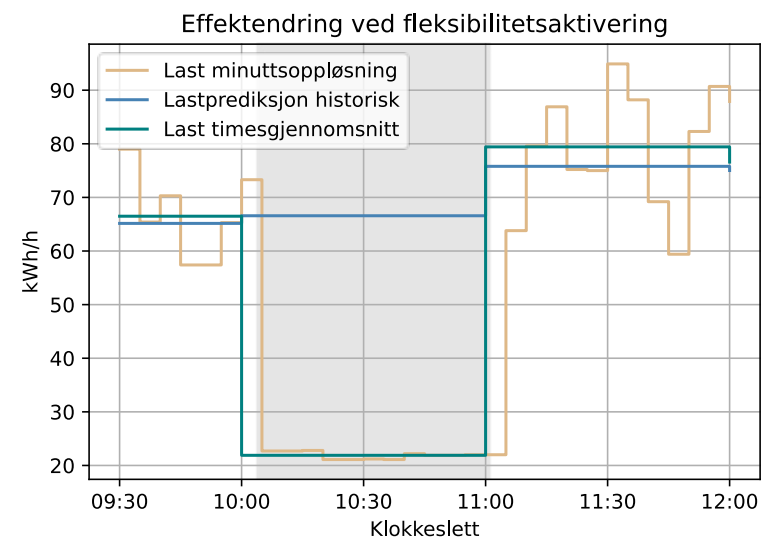
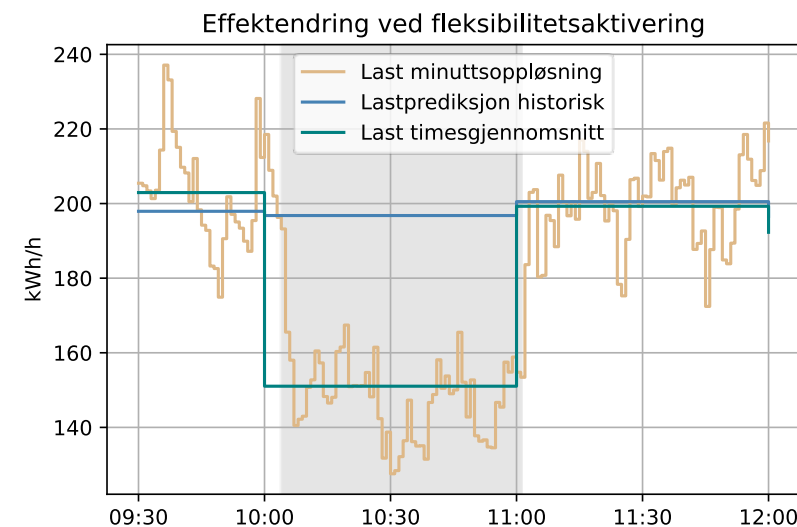
- Større bygninger med store fleksible ressurser
- Utkobling gir tydelig reduksjon i totalforbruket (fra 150 kWh/h til 60 kWh/h)
- Etter utkobling er det noe begrenset gjeninnkoblingseffekt
  - Interne mekanismer begrenser stor gjeninnkobling
- Potensialet fra denne skolen tilsvarer nesten hele BoligFleks
  - Fleksibelt bidrag på 62.6 +/- 22.3 kWh



# Bilfleks – Resultater og analyser (1/2)

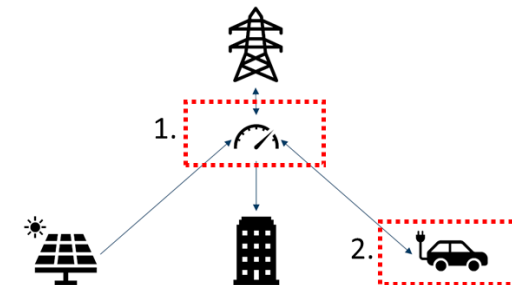
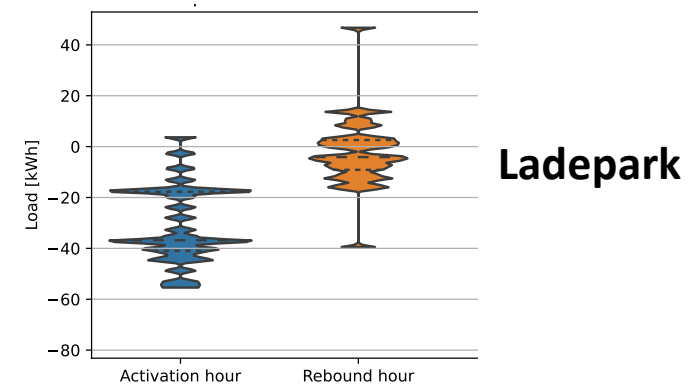
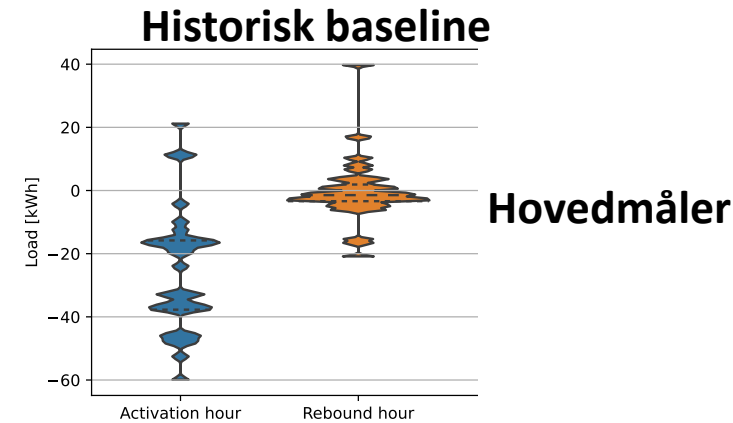
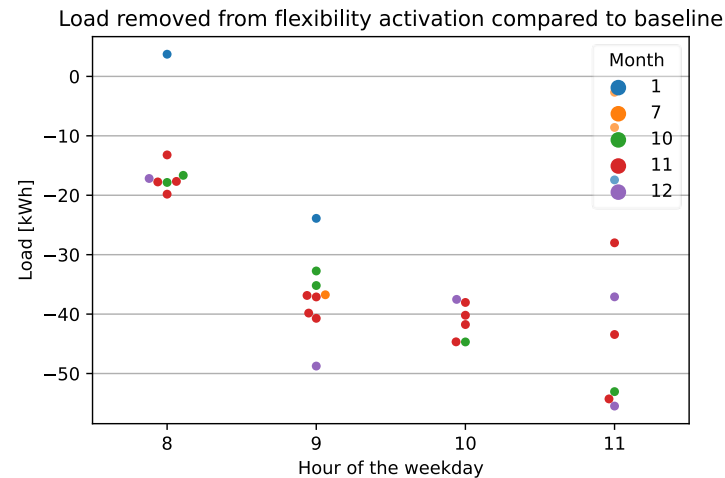


- Elbilladeparken har egne interne mekanismer, påvirker nøyaktighet:
  - Ladekapasitet begrenses basert på topplast fra hovedmåler
  - Ladekapasitet er stegvis begrenset i morgentimer
  - Utkobling er en reduksjon av ladekapasitet til 20 kWh/h
- Ved utkobling ser en merkbart fleksibelt bidrag på begge målepunkt, og begrenset gjeninnkoblingseffekt
  - Det fleksible bidraget er påvirket av timing
  - Effektjustering på hovedmåler begrenser gjeninnkoblingseffekt rett etterpå; forskyves til lengre ut på dagen



# Bilfleks – Resultater og analyser (2/2)

- Baseline er påvirket av målepunkt, samt tid på døgnet for aktivering
- Analysen her viser påvirkning fra interne justering av ladepark:
  - Sesongbasert forbruk endrer forventet lademengde
  - Skaper vanskeligheter med å beregne nøyaktighet i alle timer på ladeparkens målepunkt
  - Manglende gjeninnkobling motiverer for “Windows”
- **Fleksibelt bidrag:**
  - Bygning: 25.88 +/- 19.3 kWh
  - Elbilpark: 31.1 +/- 15.3 kWh





# Oppsummering og videre anbefalinger

- Arbeidet har fremhevet at det skjer utkoblinger hos samtlige grupper under prosjektet
- Lav tidsforsinkelse hos teknologien åpner muligheter til anvendelse av fleksibilitet i ulike driftssituasjoner
- Bruk av baselinemetoder er viktig for å fange opp det fleksible bidrag og kunne gi kompensering til fleksible bidragsytere
  - Interne/eksterne mekanismer må belyses for å estimere mest nøyaktig
  - Gjeninnkoblingseffekt må tas hensyn til, og tenkes over ved gjeninnkobling av kundegrupper
  - Målepunkt for estimering av baseline vil påvirke nøyaktighet
  - Kundegrupper med begrenset øyeblikkelig gjeninnkoblingseffekt



27<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution

Rome, 12-15 June 2023

Paper n° 840

<https://doi.org/10.1049/icp.2023.1211>

FLEXIBLE ACTIVATION FOR GRID PURPOSES – EXPERIENCES FROM A NORWEGIAN PILOT

Hanne SÆLE  
SINTEF Energy Research – Norway  
hanne.saele@sintef.no

Mariona ZHURI  
Lede (DSO) – Norway  
mariona.zhuri@lede.no

Andrei MORCH  
SINTEF Energy Research – Norway  
Andrei.Morch@sintef.no

Ivan SCHYTTE  
Lede (DSO) – Norway  
ivan.schytte@lede.no



ORIGINAL RESEARCH PAPER

**Flexible activation for grid purposes: experiences from a Norwegian Pilot**

Andrei Morch<sup>1</sup> | Kasper Emil Thorvaldsen<sup>1</sup> | Hanne Sæle<sup>1</sup> | Mariona Zhuri<sup>2</sup> | Ivan Schytte<sup>2</sup>

Artikkel under  
review

# Vitenskapelig smakebit om estimering av baseline

## Analysis of Accuracy of Flexibility Baseline Prediction Methods for Office Building at Different Measuring Points

Kasper Emil Thorvaldsen  
*Dept. of Energy Systems*  
*SINTEF Energy Research*  
Trondheim, Norway  
kasper.thorvaldsen@sintef.no

Venkatachalam Lakshmanan  
*Dept. of Energy Systems*  
*SINTEF Energy Research*  
Trondheim, Norway  
venkat@sintef.no

Hanne Sæle  
*Dept. of Energy Systems*  
*SINTEF Energy Research*  
Trondheim, Norway  
Hanne.Saele@sintef.no

257550

- Thorvaldsen, Kasper Emil, Venkatachalam Lakshmanan, and Hanne Sæle. "Analysis of Accuracy of Flexibility Baseline Prediction Methods for Office Building at Different Measuring Points." *2023 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*. IEEE, 2023. <https://doi.org/10.1109/SEST57387.2023.10257550>



# Ekstra vitenskapelig smakebit; Drift av elbilladepark med eksplisitt fleksibelt bidrag

- Analysert et optimeringsproblem for å styre elbillading gjennom 1 måned
- Optimeringsproblem hensyntar:
  - Månedlig effekttariff
  - Spotpriskostnader
  - Flexibelt bidrag med utkobling, med varierende ledetid
- Arbeidet har vist hvordan ledetid på fleksibelt bidrag har mye å si for flytting av ladebehov
  - Kort ledetid begrenser fleksible justeringer før utkobling; kan resultere i ikke-levert energi til elbilene

<https://doi.org/10.1109/EEM60825.2024.10608927>

Operation of an EV parking lot subject to capacity-based grid tariffs offering demand response

Jonas Henrik Pinderud<sup>a</sup>, Andreas Fosse Hansen<sup>a,\*</sup>, Kasper Emil Thorvaldsen<sup>b,a,\*</sup>  
<sup>a</sup>Department of Electric Energy, Norwegian University of Science and Technology - Trondheim, Norway

<sup>b</sup>Energy Systems, SINTEF Energy Research - Trondheim, Norway  
Email: jonashpi@stud.ntnu.no, andreas.f.hansen@ntnu.no, kasper.thorvaldsen@sintef.no



Master's thesis

NTNU  
Norwegian University of Science and Technology  
Faculty of Information Technology and Electrical Engineering  
Department of Electric Energy

Andreas Fosse Hansen and Jonas Henrik Pinderud

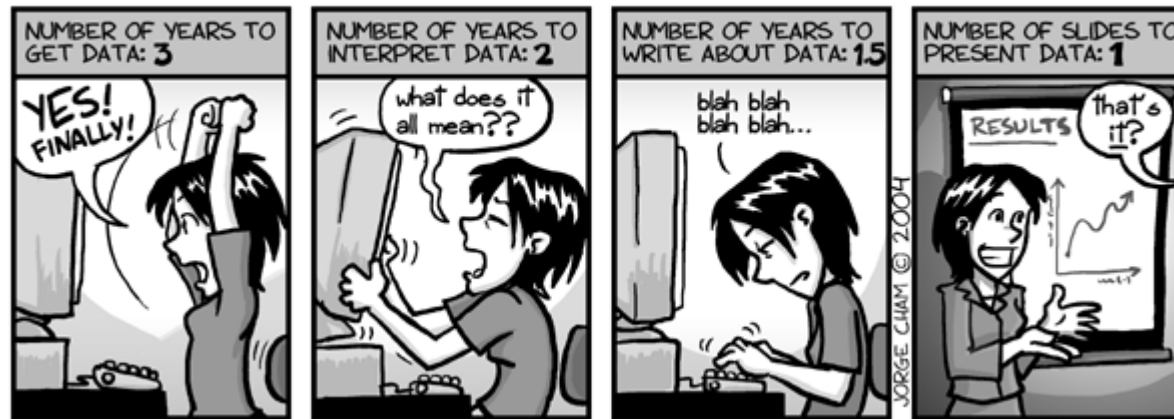
Operation of an EV parking lot subject to capacity-based grid tariffs offering grid services through demand response

Master's thesis in Energy and Environmental Engineering  
Supervisor: Kasper Emil Thorvaldsen  
June 2024

# Takk for meg 😊

- Spørsmål?

## DATA: BY THE NUMBERS



Source: <https://phdcomics.com/comics/archive.php?comid=462>

