

CINELDI

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



Norwegian Centre for
Environment-friendly
Energy Research

Et langsiktig strategirammeverk for fleksible energistyringssystem for bolighus

CINELDI-Webinar, Trondheim, 25.01.23

Kasper E. Thorvaldsen

Dette er en del av min PhD



- <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3030494>



Doctoral theses at NTNU, 2022:251

Kasper Emil Thorvaldsen

A Long-term Strategy
Framework for Flexible Energy
Operation of Residential
Buildings

Doctoral thesis

NTNU
Norwegian University of Science and Technology
Thesis for the Degree of
Philosophiae Doctor
Faculty of Information Technology and Electrical
Engineering
Department of Electric Power Engineering

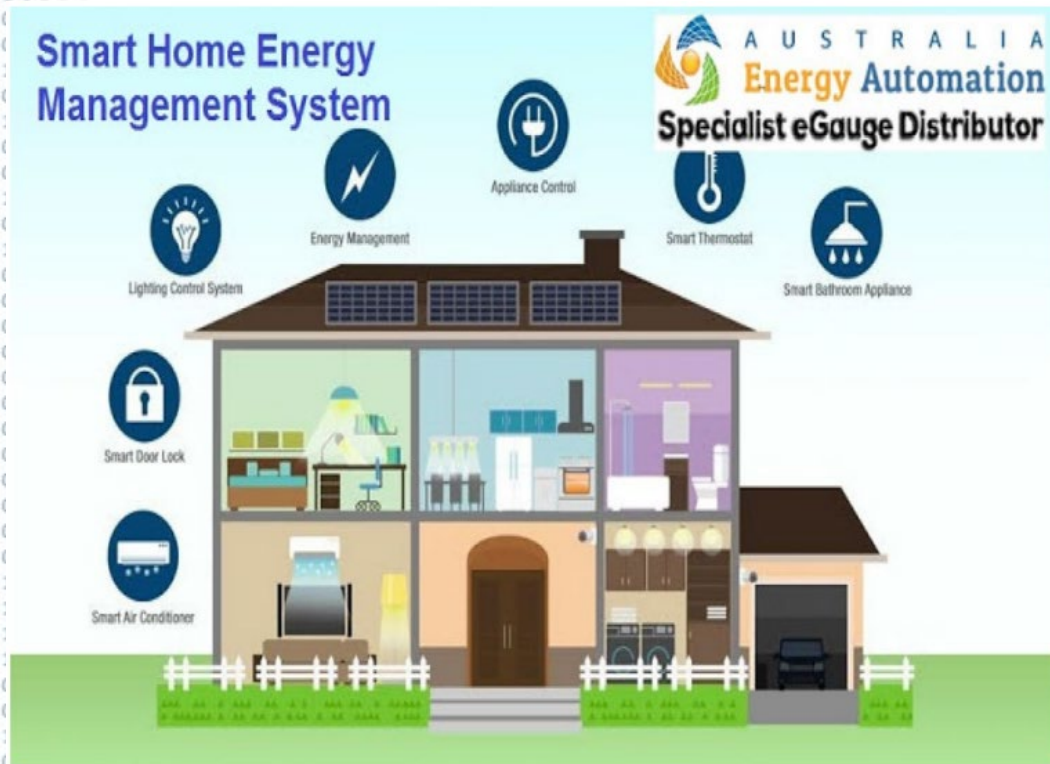
NTNU
Norwegian University of
Science and Technology

Agenda

- Bakgrunn og motivasjon
- Metode – Hvordan regne ut langsiktig verdi av fleksibilitet
- Hovedresultater – mine bidrag fra doktorgraden
- Konklusjon



Drift av bygninger – bruk av fleksibilitet



Source:

Mahapatra, Bandana, and Anand Nayyar. "Home energy management system (HEMS): Concept, architecture, infrastructure, challenges and energy management schemes." *Energy Systems* 13.3 (2022): 643-669.

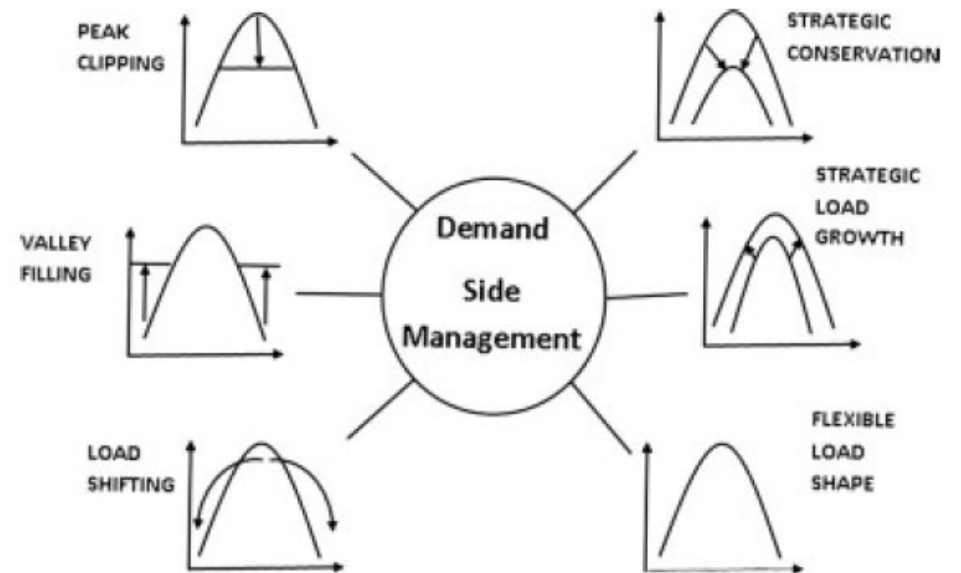


Figure 2.1: Different demand side management categories [11].

[11] C. W. Gellings and J. H. Chamberlin, "Demand-side management: Concepts and methods," 1 1987. [Online]. Available: <https://www.osti.gov/biblio/5275778>

Drift av bygninger – bruk av fleksibilitet

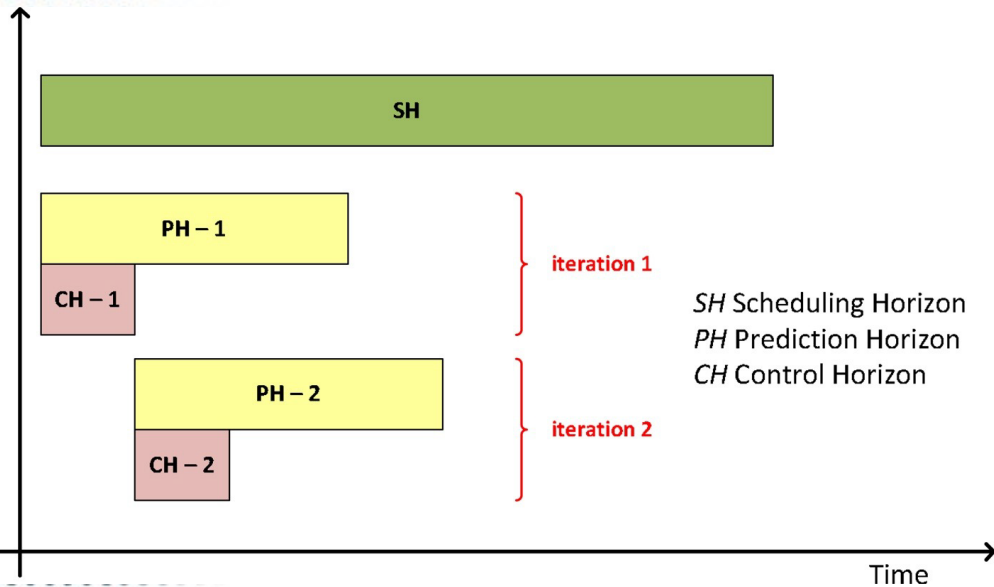


Figure: Silvente, J., Kopanos, G.M., Dua, V. and Papageorgiou, L.G., 2018. A rolling horizon approach for optimal management of microgrids under stochastic uncertainty. Chemical Engineering Research and Design, 131, pp.293-317.

Table 16
Number of time steps in HEMS scheduling problems in the literature.

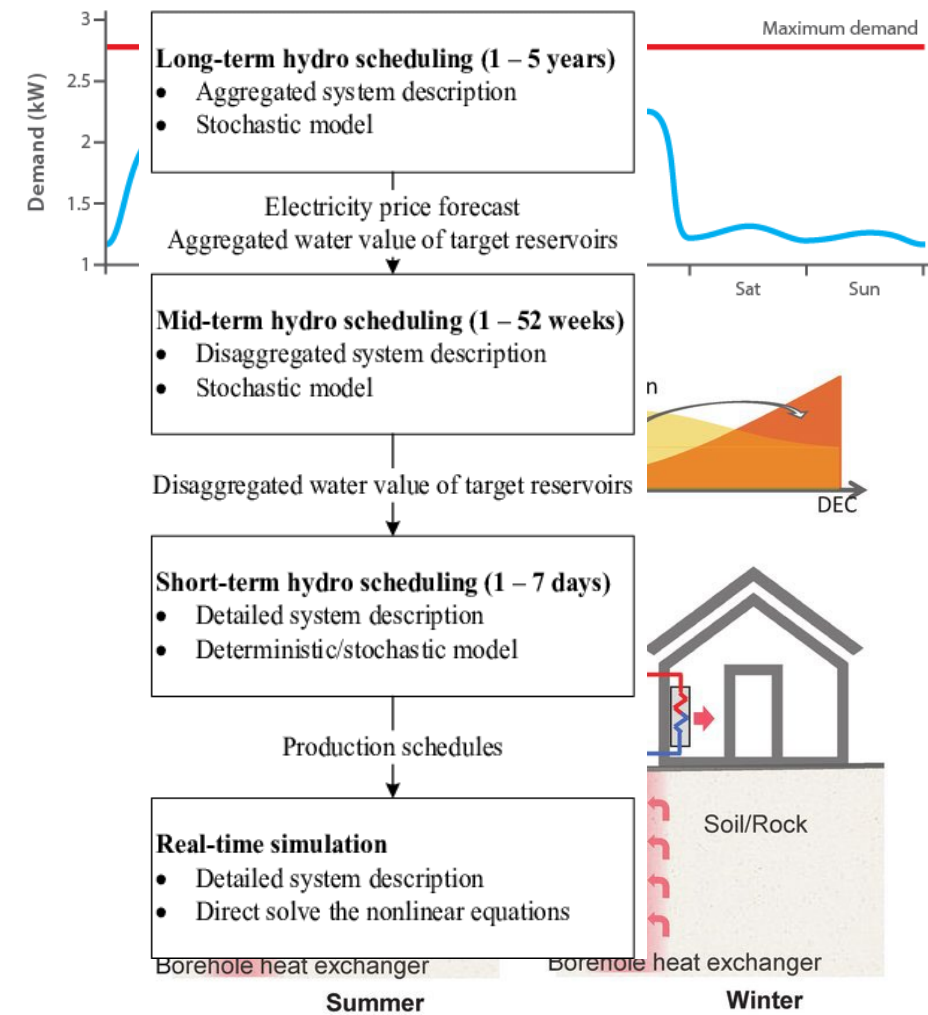
Resolution	Scheduling horizon	Number of time steps in scheduling problem	References
-	-	1	[47-49,68,72,73,94,96]
7.5 m	7.5 m to 1 h	1-8	[95]
20 m	6 h 40 m	20	[53]
6 m	2 h	20	[26]
1 h	24 h	24	[9,12,15,17,20,23-26,28,29,31,34,39,40,42,43,52,57-59,61-63,67,69-71,90,92,93,97,99,120,145]
30 m	1 h to 24 h	3-40	[13]
30 m	24 h	48	[44]
1 h	48 h	48	[23]
1 m	1 h	60	[39,40]
5 m	6 h	72	[66]
15 m	24 h	96	[16,22,32,60,73-75,91,104]
-	-	100	[21]
12 m	24 h	120	[33]
6 m	24 h	240	[18,19,98,100]
5 m	24 h	288	[65]
3 m-10 m	24 h	144-480	[106]
1 h	8760 h	8760	[35]

Table: Beaudin, Marc, and Hamidreza Zareipour. "Home energy management systems: A review of modelling and complexity." Renewable and sustainable energy reviews 45 (2015): 318-335.



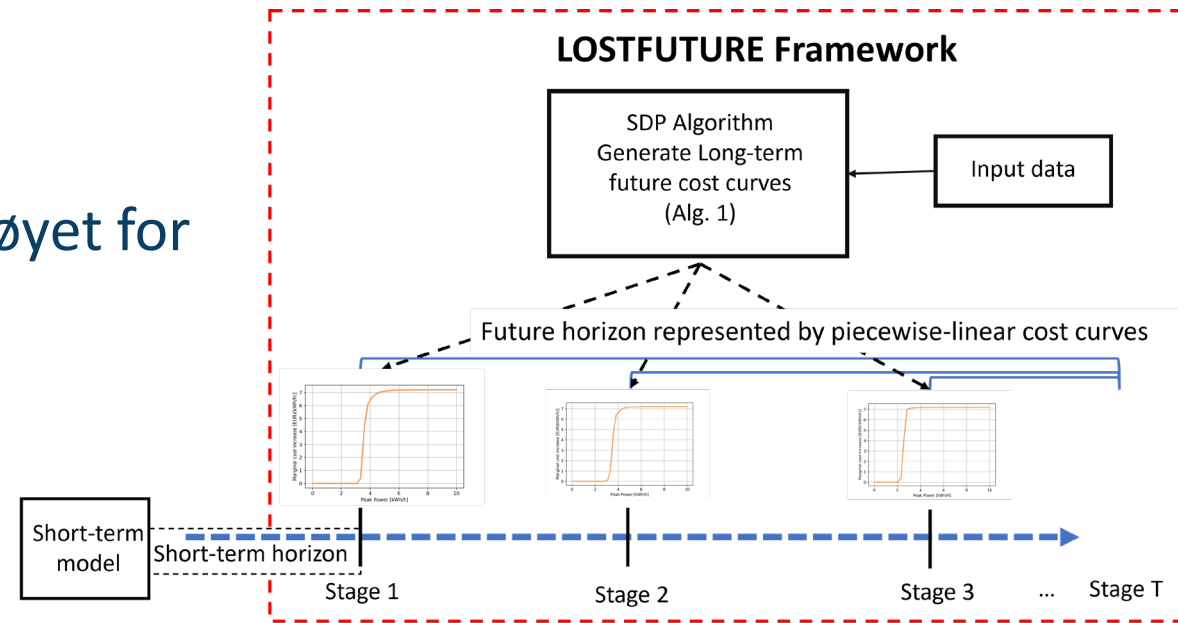
Drift av bygninger – Langsiktige prissignal

- Flere prissignal kan ha en varighet over lengre perioder:
 - Målt effekttariff (1 måned)
 - Sesonglager (1 år)
- Vannkraften et godt eksempel: Hvordan best dra nytte av vann i magasin for fremtidig bruk? (tips: vannverdi)



Hva har jeg sett på i min doktorgrad?

- Lagd et langsiktig driftsstrategiverktøy
 - Representere langsiktig verdi av fleksibilitet i bygninger
 - “Hvordan kan vi gjøre gode kortsiktige beslutninger samtidig som vi tenker langsiktig?”
-
- Sett nærmere på dette driftstrategiverktøyet for langsiktige prissignaler:
 - Månedlig målt effekttariff
 - Utslippsfokus ved drift av nullutslippsbygninger
 - Drift av langsiktige sesonglager



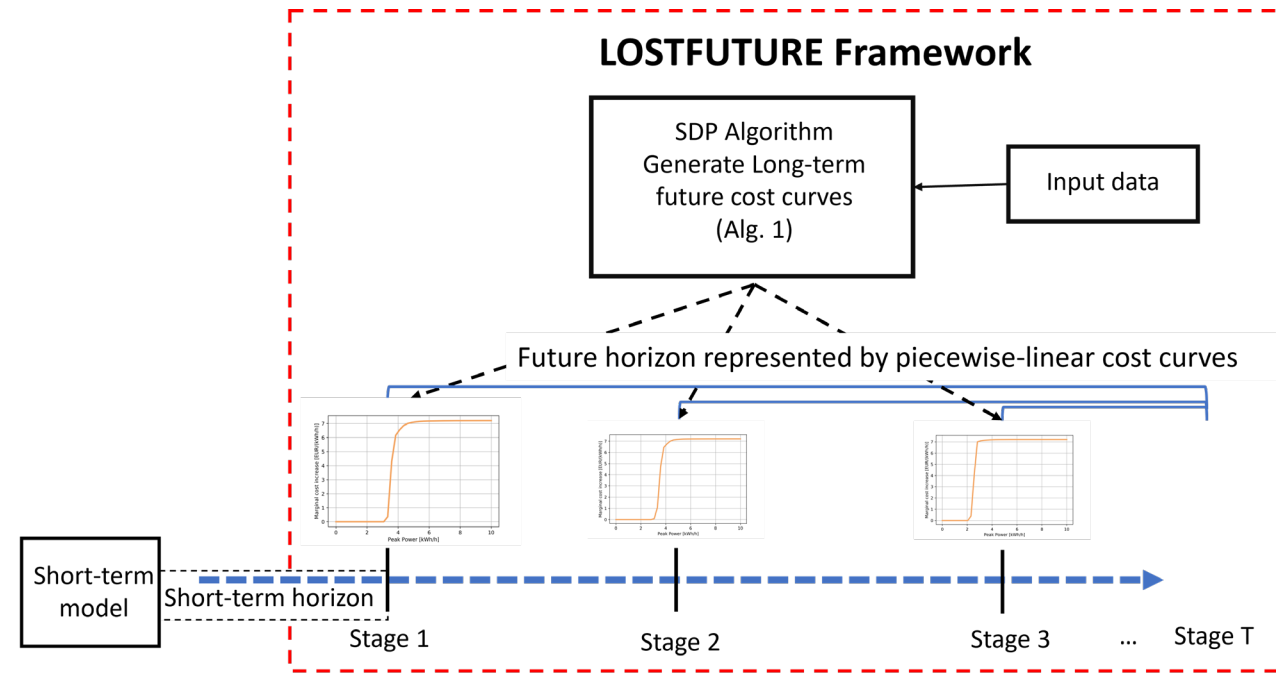
Agenda

- Bakgrunn og motivasjon
- **Metode – Hvordan regne ut langsiktig verdi av fleksibilitet**
- Hovedresultater – mine bidrag fra doktorgraden
- Konklusjon



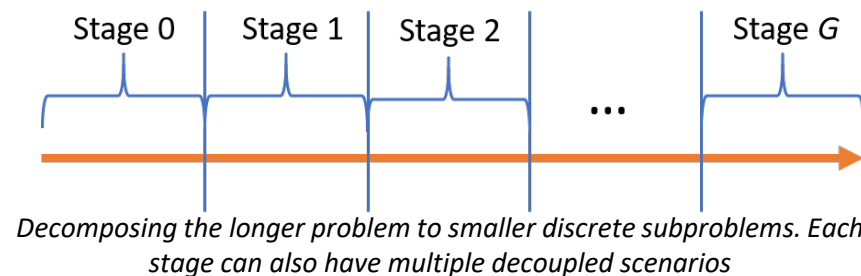
Min PhD – Fange den langsiktige verdien av fleksibilitet (LOSTFUTURE)

- LOSTFUTURE – Long-term Strategy Framework for Future Building Operation
- Driftsstrategiverktøy for å fange langsiktig verdi av drift av bygninger
- Muliggjør det å inkludere langsiktige prissignaler i kortsiktige driftsmodeller



LOSTFUTURE – Strategirammeverk

- Analyseperiode brytes ned til mindre steg
 - Normalt ned til dagsproblemer (24-timersanalyse)
- Tilstandsvariabler som kobles mot langsiktige prissignaler
 - Hvordan er fremtidens kostnader påvirket av å endre denne variabelen?
- Analysere **her-og-nå** mot **fremtiden**



$$\min \left\{ \sum_{t \in \mathcal{T}} [C_t^{spot} \cdot (y_t^{imp} - y_t^{exp}) + C^{grid} \cdot y_t^{imp}] + \alpha_{g+1}^{future} \right\}$$

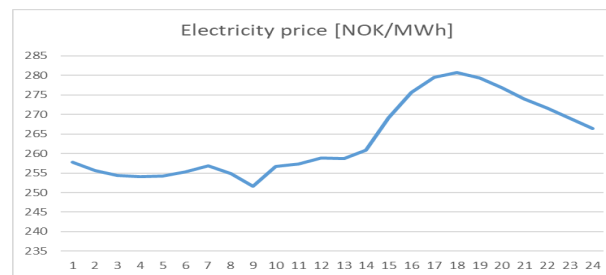
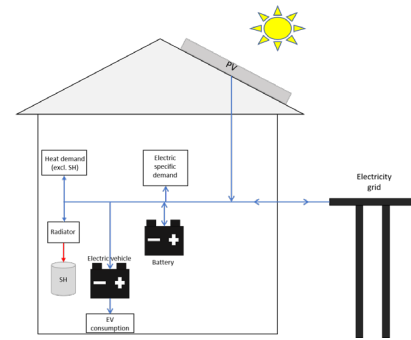
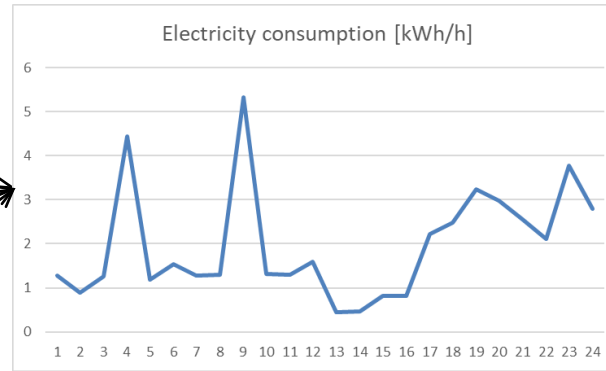


SDP Solution Procedure (Example)

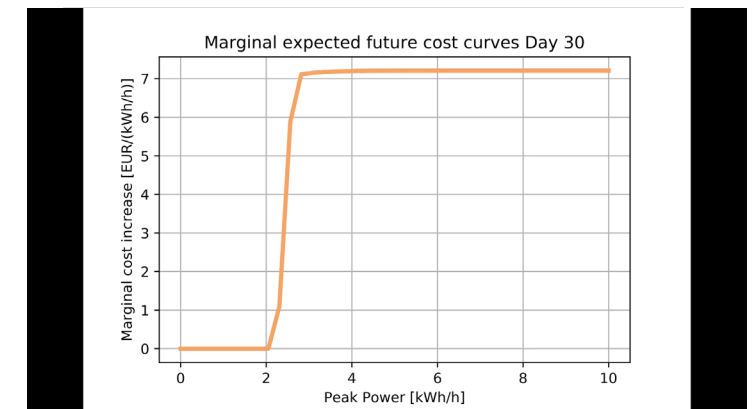
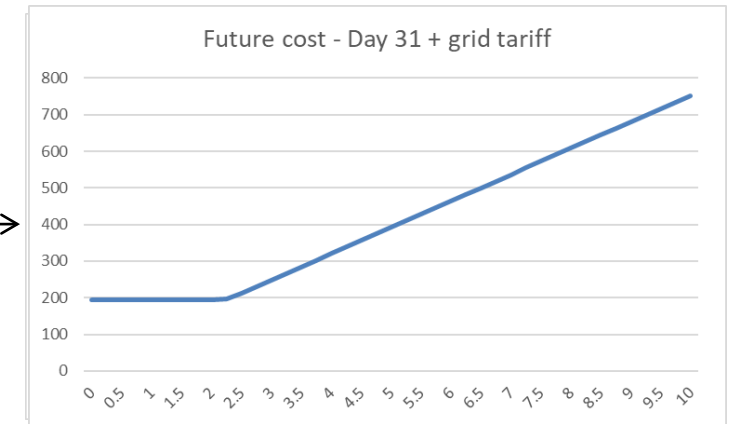
Historical
(assumption)

Peak power: 0
Peak power: 3.5
Peak power: 6
Peak power: ...

Day 30
Present

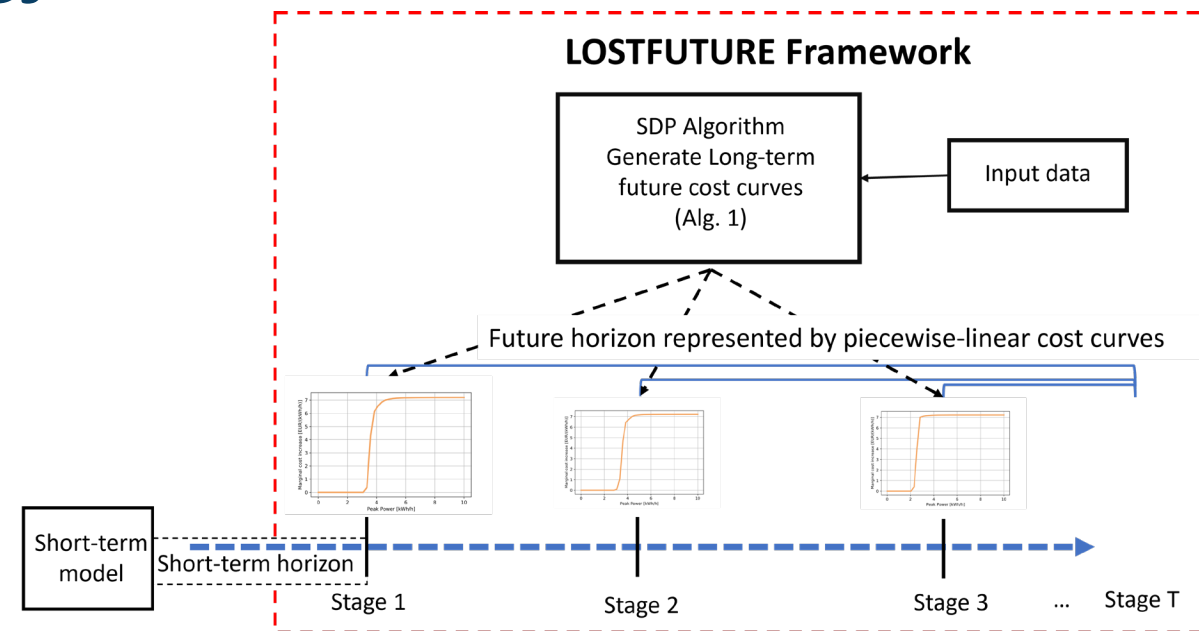


Future



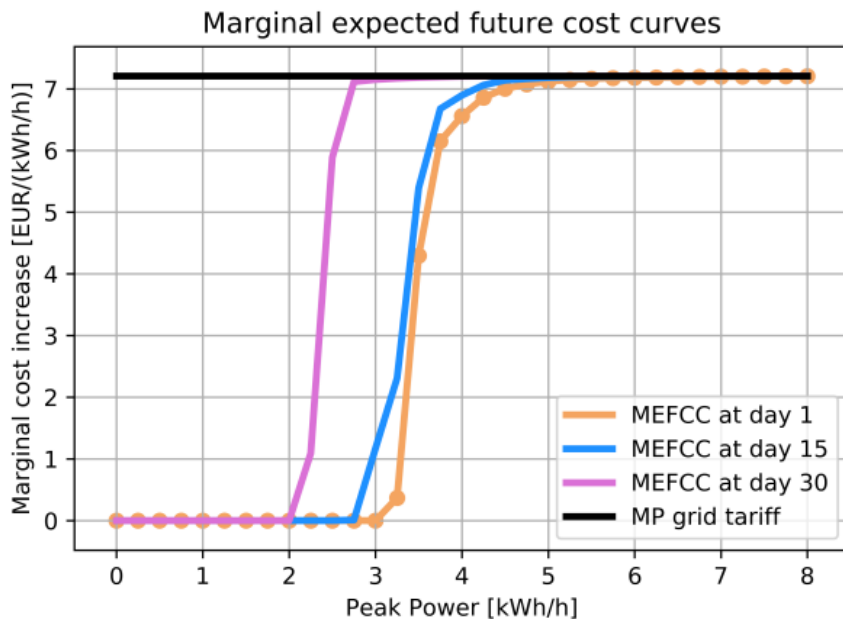
LOSTFUTURE – Hva gjør den?

- Forventede fremtidige kostnadskurver (EFCCs) blir generert kontinuerlig over perioden
- Input til korttids driftsmodeller, gir informasjon **forbi driftshorisonten**

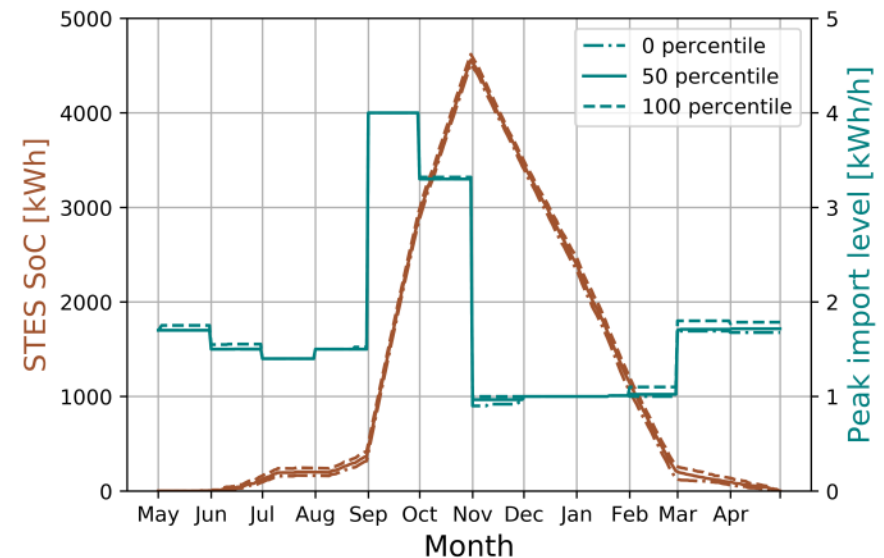


LOSTFUTURE – Analyseoppsett

Driftsstrategi – Lage kostnadskurvene



Driftssimulering – analysere nøyaktigheten



Merknad: Alle kjøringene ser kun 24 timer frem i tid; resten er representert av kostnadskurvene



Resultater – Mine bidrag

- **Paper I:**
K. E. Thorvaldsen, S. Bjarghov, and H. Farahmand. **Representing Long-term Impact of Residential Building Energy Management using Stochastic Dynamic Programming**, in 2020 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), IEEE, Aug 2020.
- **Paper II:**
K. E. Thorvaldsen, M. Korpås, and H. Farahmand.
Long-term Value of Flexibility from Flexible Assets in Building Operation, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 138, June 2022.
- **Paper III:**
K. E. Thorvaldsen, M. Korpås, K. B. Lindberg, and H. Farahmand. **A stochastic operational planning model for a zero emission building with emission compensation**, Applied Energy, vol. 302, Nov 2021.
- **Paper IV:**
K. E. Thorvaldsen, and H. Farahmand.
Long-term strategy framework for residential building operation with seasonal storage and capacity-based grid tariffs, A Working-paper.



Målt effekttariff – optimalt effektnivå

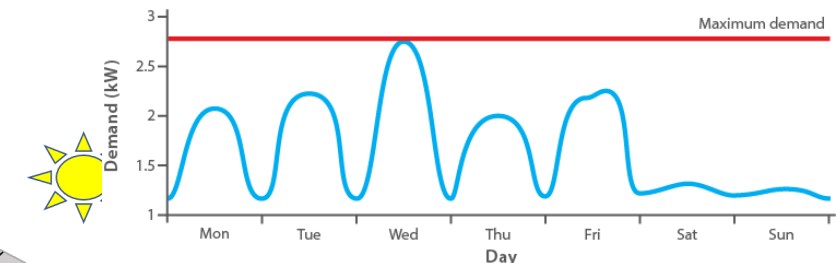
- **Mål:** Driftsstrategi ved å ta hensyn til langsiktig prissignal for bygninger
- **Prissignal:** Månedlig målt effekttariff
- **Spørsmål:**
 - Hvordan ta hensyn til langsiktige prissignal?
 - Hva er kostnadmessig optimal effektledd å gå for?



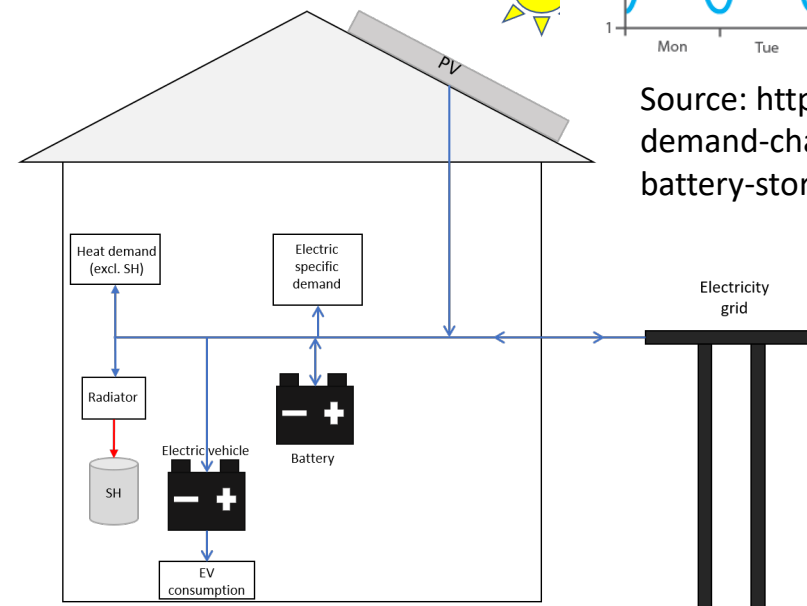
Representing Long-term Impact of Residential Building Energy Management using Stochastic Dynamic Programming

Kasper Emil Thorvaldsen*, Sigurd Bjarghov, Hossein Farahmand
Department of Electric Power Engineering
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
Trondheim, Norway

kasper.e.thorvaldsen@ntnu.no, sigurd.bjarghov@ntnu.no, hossein.farahmand@ntnu.no



Source: <https://www.gses.com.au/residential-demand-charges-what-is-it-and-can-solar-and-battery-storage-help/>



CINOLDI

Paper I: Hovedresultater

- **Strategifasen:** Kostnadskurver som viser verdi av fleksibilitet
 - Fremtidig verdi for effektøkning
- Kurvene gir et estimat på hva som er kostnadmessig optimalt effekteledd å starte måneden med
- **Simuleringsfasen:** SDP-testen har best resultat av de dekomponerte testene

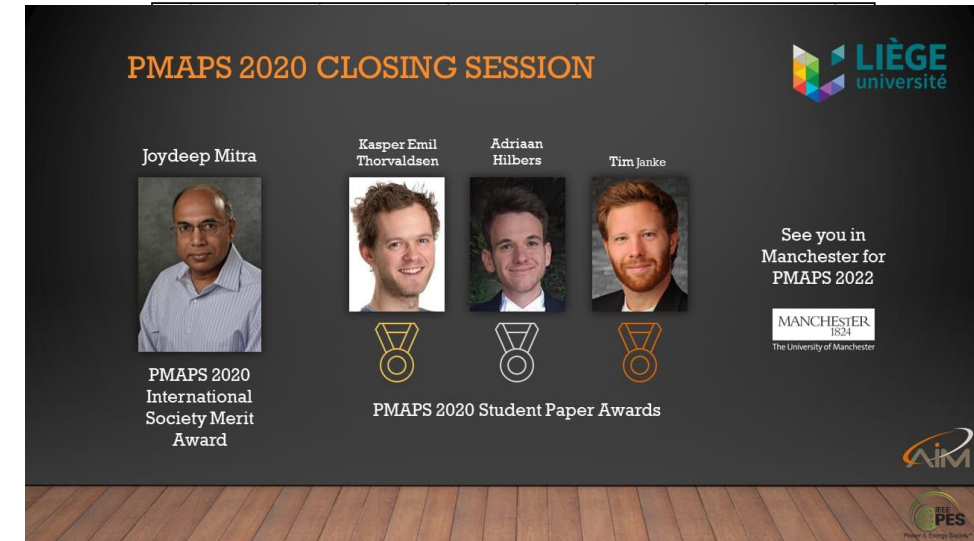
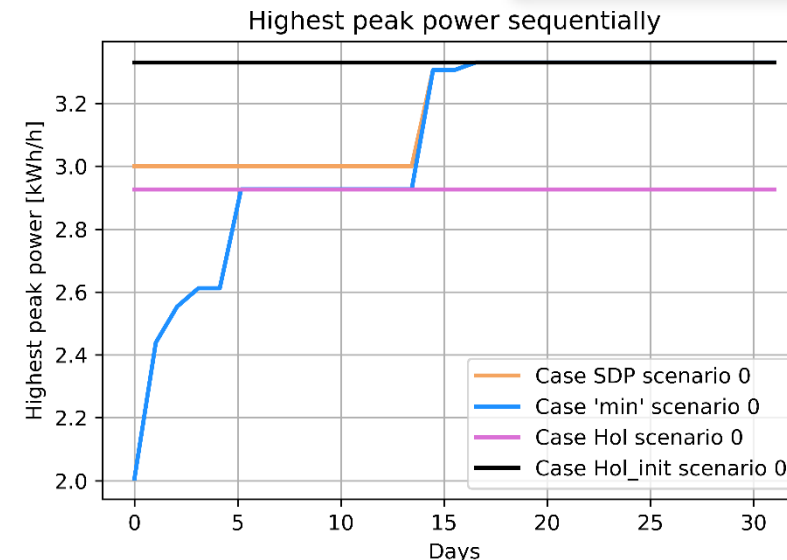


TABLE I
AVERAGE TOTAL COST AND PEAK POWER FOR THE 5 CASES.

Cases	P_{SPD}	P_{no}	P_{min}	P_{Hol}	$P_{Hol,init}$
Total cost [EUR]	131.2	178.6	131.6	126.5	130.4
Peak [$\frac{kWh}{h}$]	3.24	10.0	3.23	2.69	3.22



Målt effekttariff – Fleksible ressursers bidrag

- **Mål:** Analysere fleksible ressursers påvirkning på langsiktige prissignal
 - Hvordan kan fleksible ressurser bidra med effekttoppreduksjon?
- **Prissignal:** Månedlig målt effekttariff
- Tester påvirkning fra tre ressurser:
 - Batteri (BESS)
 - Elbilladning
 - Kontrollere romoppvarming
- Hver fleksible ressurs er kun fleksibel innenfor hver driftsdag
 - Samme start/stopp-kriterier (midnatt)

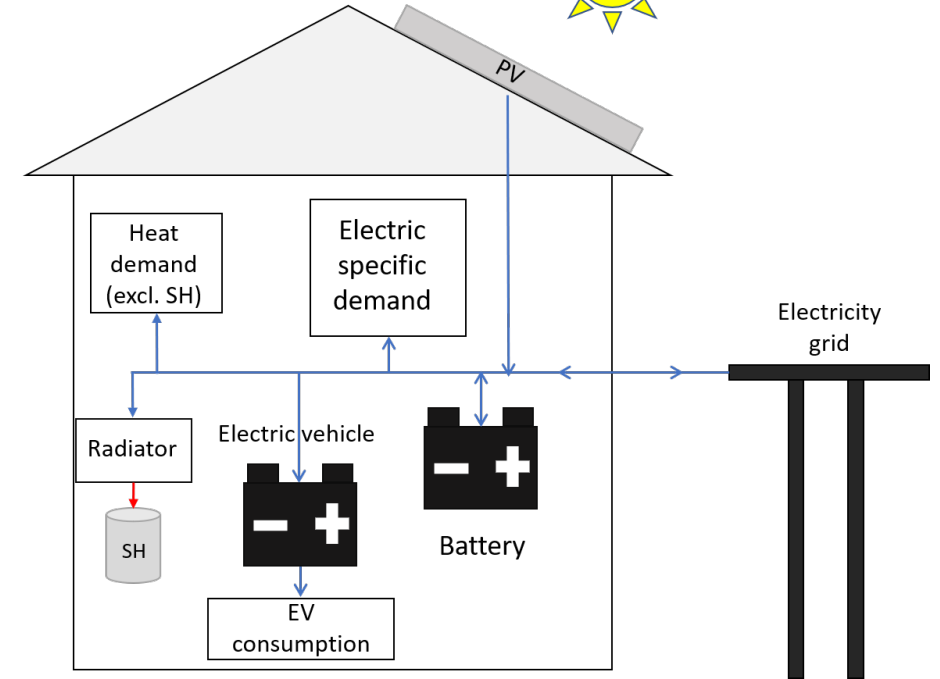


Table 1

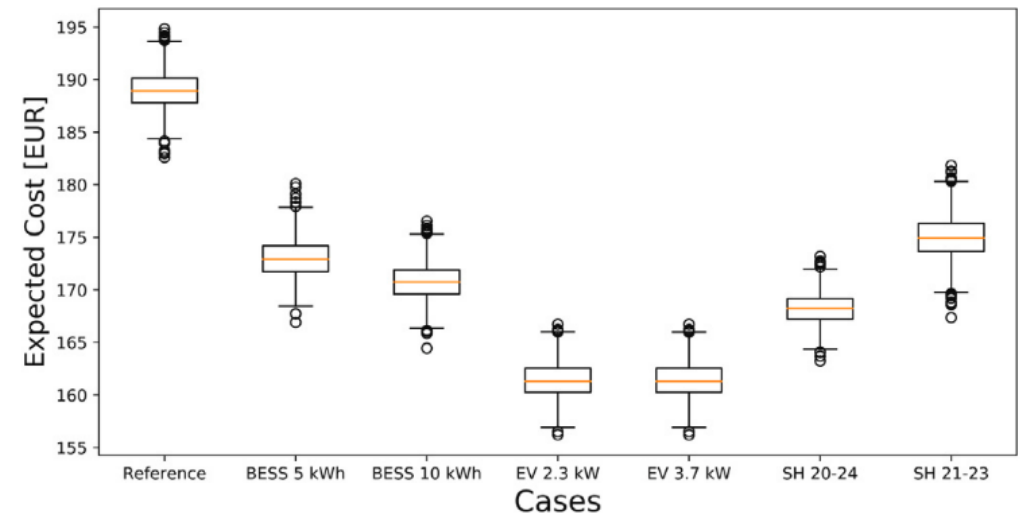
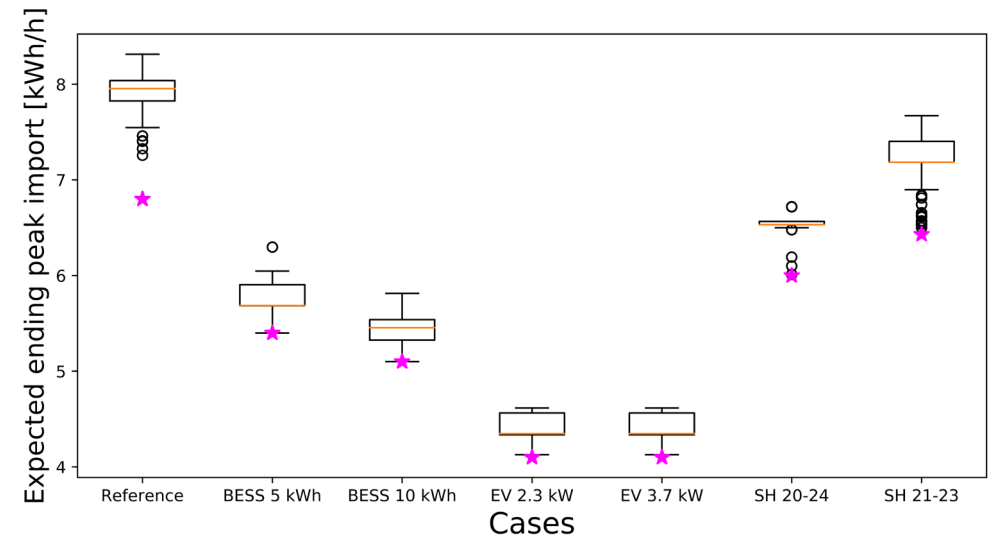
Flexible asset parameters for the different cases. Values in bold are default values when considering the asset as passive.

Component	Parameter(s)	Cases
Battery energy storage system	$E^{B,Cap}$	5 kWh , 10 kWh
Space heating	$T^{in,min}, T^{in,max}$	[20 , 24], [21, 23]
Electric Vehicle	\dot{E}^{Max}	2.3 kW, 3.7 kW



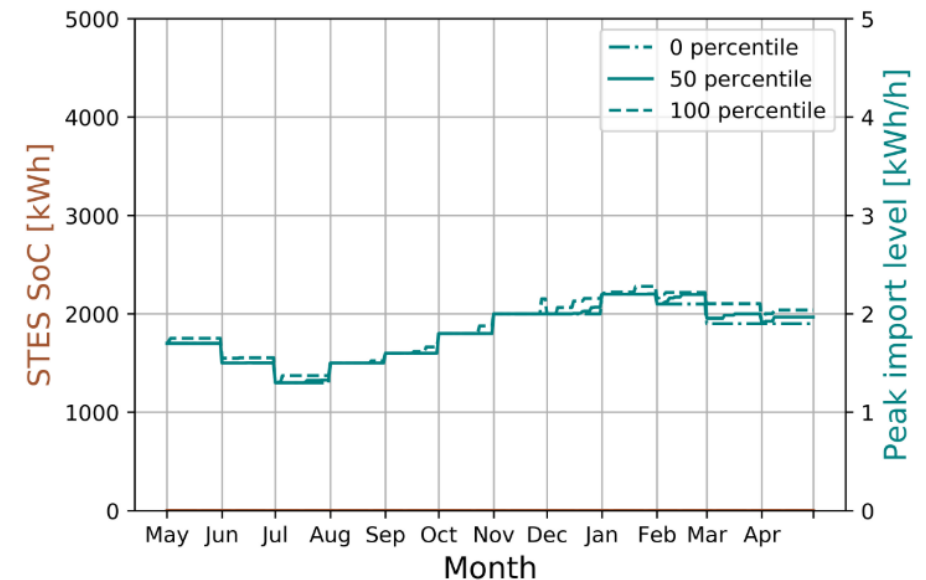
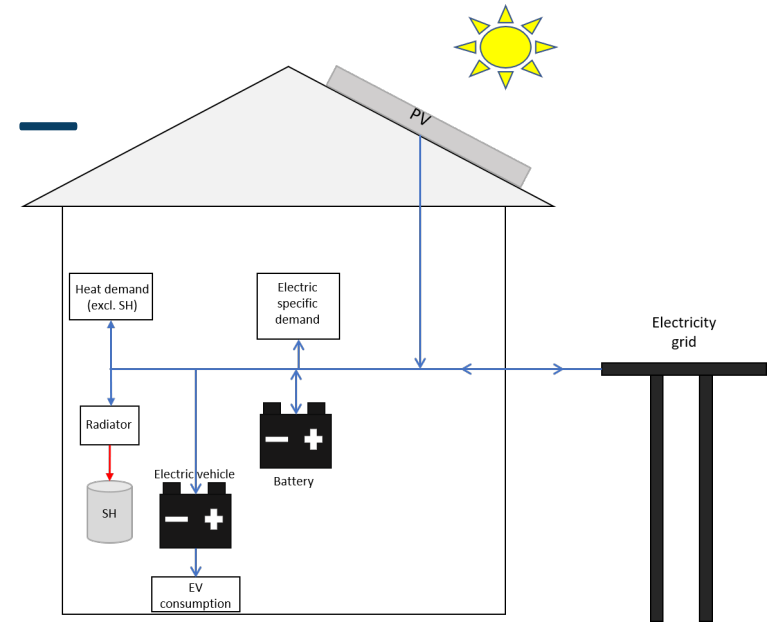
Paper II: Key Results

- Boksplott viser oppnådd effekttopp for hver ressurs (stjerne er initial-nivået)
- **BESS:** Reduserer tilsvarende omformer-kapasiteten, økt lagring gir litt bidrag
- **EV:** Stor effektutjevning (mye grunnet referanse-case som har lading kl 5)
- **Romoppvarming:** Effektreduksjon påvirket av innetemperatur
- **Økonomisk:** Romoppvarming bedre enn BESS, til tross for lavere effektreduksjon (spotpris-utjevning)



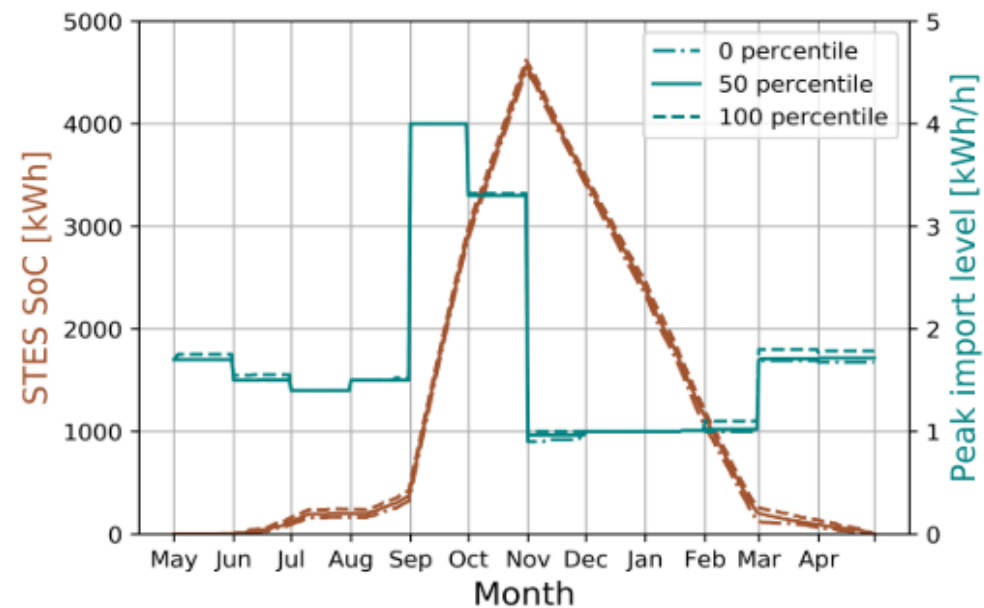
Sesonglager og effekttariff – Synergisk samarbeid

- **Mål:**
 - Se på flere prissignal samtidig
 - Se på termisk sesonglager
- **Prissignaler:**
 - Månedlig målt effekttariff
 - Termisk sesonglager (STES)
- Tredobbel effekttariff på vinter; økt verdi på effektreduksjon under vinteren
- Sesonglager – Hva er optimal oppladingsstrategi gjennom året?



Paper IV: Hovedresultater

- Vi får strategisk bruk av prissignalene og fleksibilitet
- Sesonglager:
 - Lades opp på sensommer, lades ut gjennom vinteren
- Effekttariff:
 - Økt effekt på sensommer -> For å lade sesonglager
 - Lavere effekt på vinter -> mindre termisk behov pga sesonglager
- Lagring mot ikke-lagring:
 - 23.9% effekttariffreduksjon over året
 - 4.6% årlig kostnadsreduksjon



Oppsummering fra min PhD

- LOSTFUTURE kan brukes for å bedre kortsiktig drift av bygninger
- Skaper et mer helhetlig bilde av fleksibilitetsverdien under drift
- Kan utvides til å fange verdien av fleksibilitet som en systemtjeneste (kortsiktig og langsiktig)

