

# A digital twin of a district heating substation for reducing operation temperatures

**Kevin Michael Smith**

Associate Professor

DTU Construct,  
Section for Energy and Services

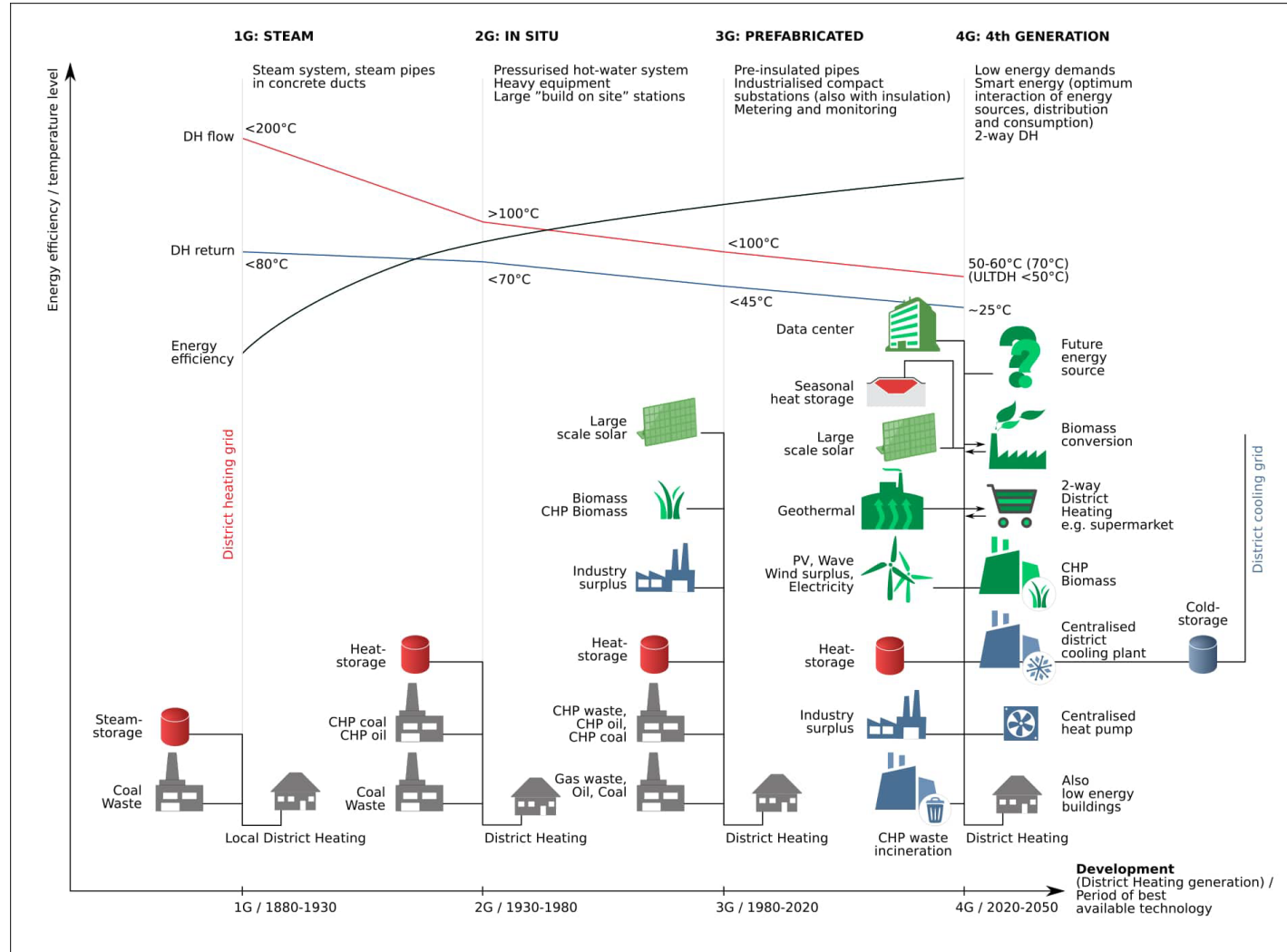




# 1. Introduction

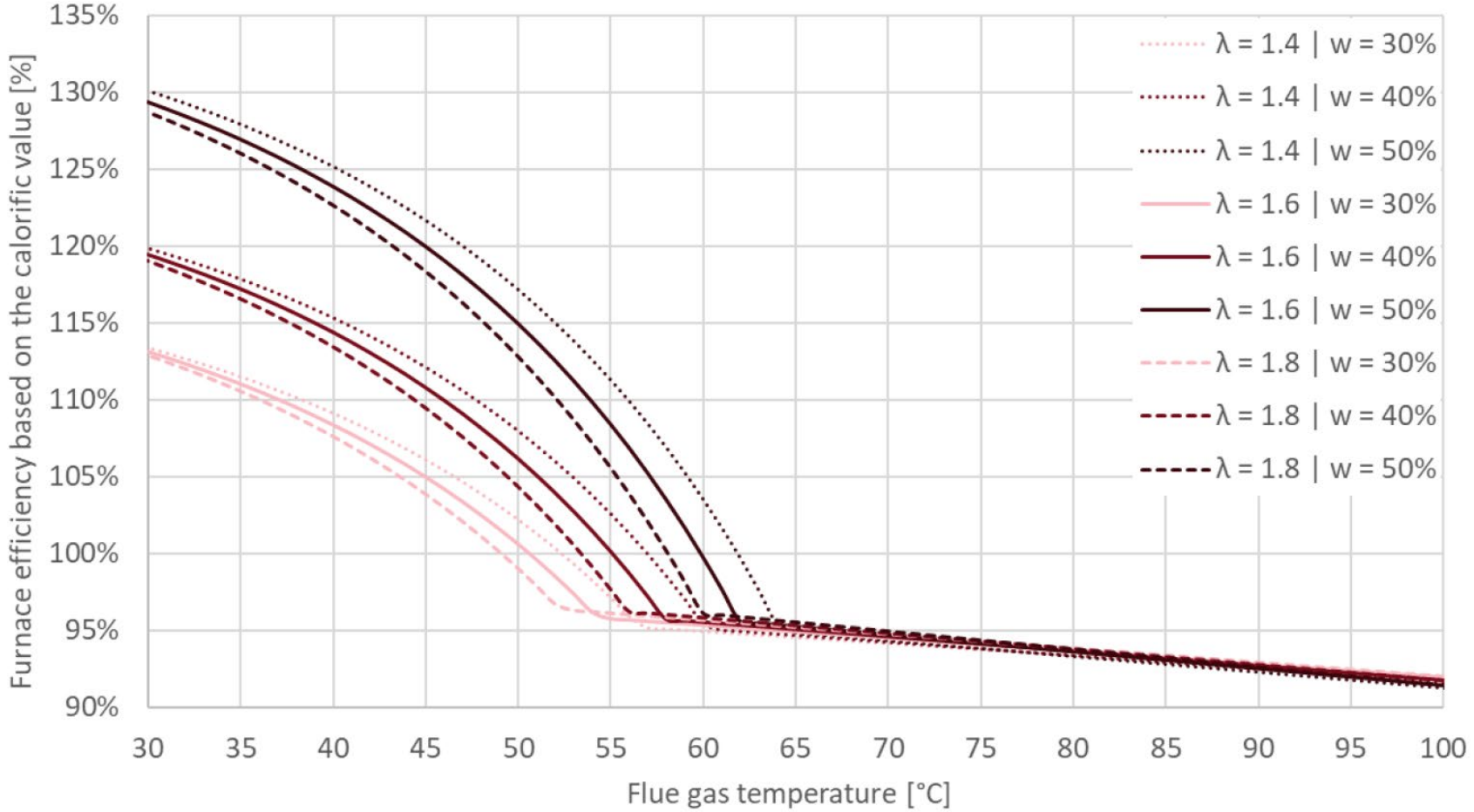
Objectives of the project

# Motivation: Low-Temperature District Heating



Source: Lund et al., "4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems," 2014.

# Effect of flue gas condensation



## Sådan indregnes returtemperaturen på din varmeregning

Din returtemperatur bliver indregnet i din varmeregning med det såkaldte **incitamentsbidrag**.

Hvis du har en lav returtemperatur, fratrækker vi incitamentsbidraget. Har du en høj returtemperatur, lægges incitamentsbidraget til din regning.



Incitamentsbidraget fungerer således:

- Du får refunderet 1% af forbruget pr. grad, som returtemperaturen er lavere end 33° C i afregningsperioden.
- Du betaler 1% af forbruget pr. grad, som returtemperaturen er højere end 33° C i afregningsperioden.

Sådan beregnes incitamentsbidraget for afregningsperioden: *Forbrugt MWh i kr. x Forskel i % af returløb x incitamentsbidrag (kr.)*

## Incitamentsafgift vedr. returtemperatur

Areal > 0 m <sup>2</sup>	2023 ekskl. moms	2023 inkl. moms
<b>Returtemperatur* &gt; 43 °C</b>		
Tillæg/merudgift pr. grad (kr. pr. MWh)	8,00 kr./MWh/år	10,00 kr./MWh/år
<b>Returtemperatur* &lt; 43 °C</b>		
Frdrag/bonus pr. grad (kr. pr. MWh)	8,00 kr./MWh/år	10,00 kr./MWh/år

\* Beregnes på baggrund af den gennemsnitlige års returtemperatur og forbruget af MWh.

## Afkøling – bonus eller ekstra udgift

For at fjernvarmenettet kan drives så effektivt som muligt, er det vigtigt at den fjernvarmevand, som ejendommen modtager, og det som sender fjernvarme til ejendommen, har en afkøling.

Afkølingskravet for 2023 er 30°C. For lavtemperaturområdet ved Vestervej 10 er kravet 25°C.

Hvis afkølingen i ejendommen er op til 5°C højere eller lavere end den gennemsnitlige afkøling (25°C), betales der en betaling eller udbetales bonus. Er afkølingen over året i gennemsnit højere end 5°C (20°C for lavtemperaturområdet ved Vesterbro), udbetales der bonus. Omvendt, hvis afkølingen i gennemsnit har været under 25°C (20°C for lavtemperaturområdet ved Vesterbro), betales der en betaling.

## Priser på fjernvarme pr. 1. januar 2023

Fjernvarme	Uden moms
Effektbetaling (kr. pr. kW)	185,99
Energipris inkl. afgifter (kr. pr. MWh)	522,50
Korrektion for afkøling – bonus/merudgift pr. °C (kr. pr. MWh)*	4,18

## Varmaefregning



Fra den 1. januar 2022 har vi ændret den måde, vi afregner fjernvarme på. Det har vi gjort for, at vi sammen kan udnytte fjernvarmen endnu bedre – og bidrage til den grønne omstilling.

## Øget fokus på varmeudnyttelse

Det har både en positiv effekt på din varmeregning, vores produktion og miljøet, hvis du sørger for at udnytte varmen bedst muligt. Derfor vil du, som det fremgår af eksemplet ovenfor, fremover få et fradrag eller et tillæg på 2 % pr. grad, du enten udnytter fjernvarmen bedre eller dårligere end forventet. Taksten er baseret på den årlige gennemsnitlige temperatur, fjernvarmevandet har, når det kommer ind i din ejendom, og temperaturen når det sendes retur til os. Det kommer til at fremgå på din årsopgørelse.

Hvis du rammer den forventede returtemperatur, får du hverken tillæg eller fradrag. For hver grad du enten udnytter varmen dårligere eller bedre end forventet, vil du få et tillæg eller et fradrag på 2 % af det beløb, du skal betale for dit fjernvarmeforbrug (antal brugte kWh).

## Hvad er returvarme?



### Send koldt vand retur til dit varmekværk – og spar på varmeregningen

Returvarme – også kaldet afkøling. Returvarme er forskellen på vandets temperatur, når det kommer ind i din bolig, og når det bliver sendt retur til fjernvarmekværket igen. Hvis returtemperaturen er lav, har du udnyttet varmen godt. Jo bedre du udnytter varmen, jo mindre vand skal vi varme op og sende igennem fjernvarmerørene. På den måde driver vi bæredygtige fjernvarmekværker sammen.

**AffaldPlus**  
GENBRUG & ENERGI

Borger Virksomhed Besøg os

Om Sorø Fjernvarme Bliv kunde Værd at vide Selvbetjening

## Returtemperatur

Dit fjernvarmeanlægs returtemperatur indgår i afregningen - jo lavere temperatur, jo lavere regning.

Returtemperaturen er den temperatur, fjernvarmevandet har, når du sender det retur til Sorø Fjernvarme. Det vil sige, efter at fjernvarmevandet har kølet af i din bolig.



## Regler for incitamentstarif 2023

Viborg 2023

Frdraget er 1 % pr. grad lavere end den ideelle returtemperatur ved den gennemsnitlige årsfremløbstemperatur, dog ikke lavere end Viborg Varmes indkøbspris. I områder med en gennemsnitlig årlig fremløbstemperatur lavere end eller lig med 57 °C hæves fradraget til 2 %, således at forbrugeren tilgodeses for hvad angår distributionstabet i fremløbet, dog fortsat ikke lavere end Viborg Varmes indkøbspris.

I 2023 kan det maximale fradrag udgøre 18.286 %

Tillægget er 1 % pr. grad returtemperaturen er over 38 °C ved en gennemsnitlig årsfremløbstemperatur højere end 65 °C. Ved en gennemsnitlig årsfremløbstemperatur lavere end eller lig med 65 °C forøges grænsen for tillæg gradvist til 48 °C. Grænsen svarer til den optimale returtemperatur + 1 °C. Tillægget kan ikke overstige 25 %

**Fjernvarme Horsens**

Driftstatus: Klik her for at se aktuelle meldinger

Forside Nyheder Om Fjernvarme Horsens Økonomi Selvbetjening Om fjernvarme Fjernvarmeplanen Kontakt

Du er her: Forside > Økonomi > Motivationstarif

Søg på fjernvarmehorsens.dk

Søg

Du skal tillade marketing cookies for at bruge søgemaskinen.

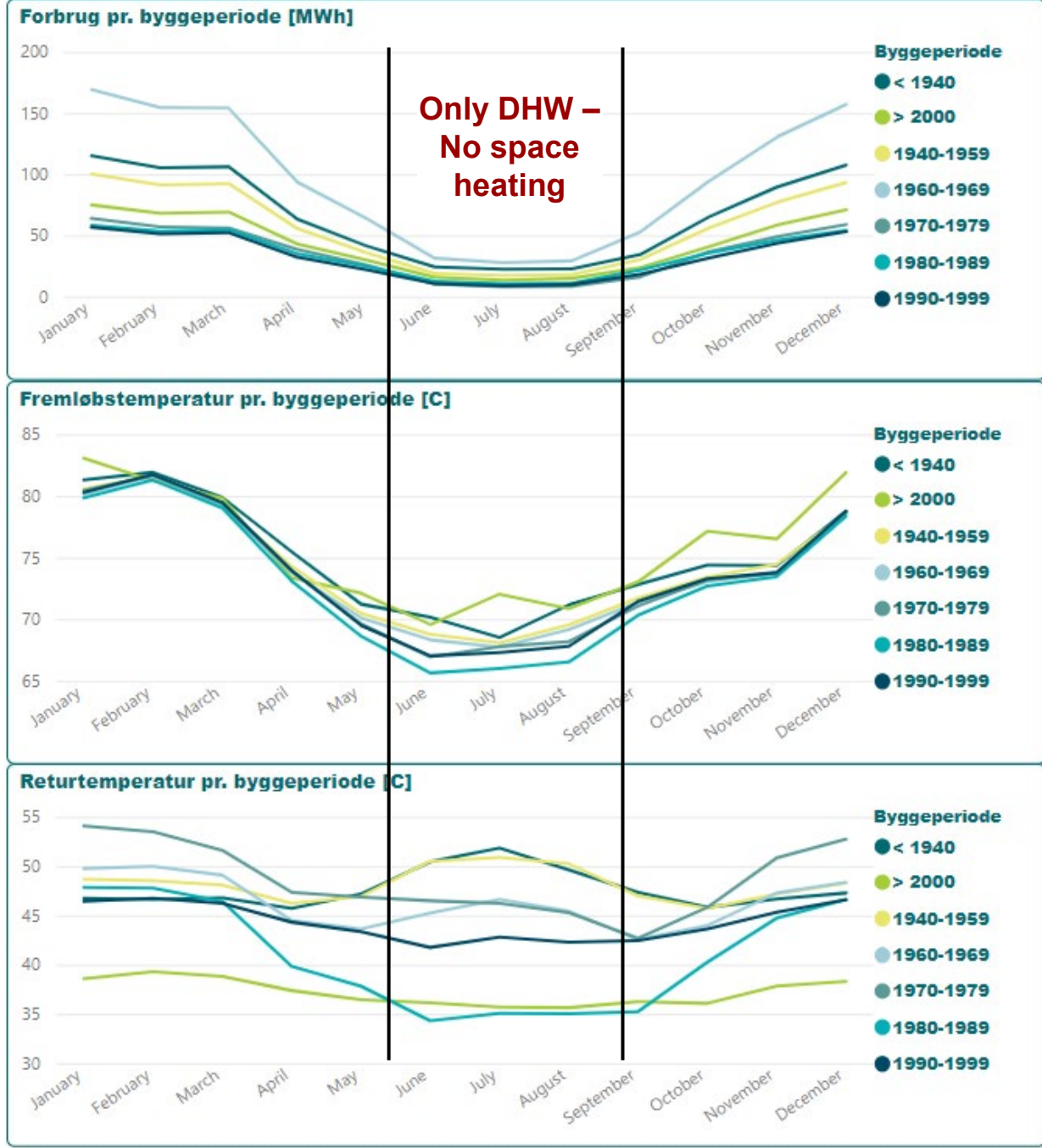
## Motivationstarif

Skal varmeregningen være mindre? Det har du som bevidst fjernvarmebruger selv indflydelse på.

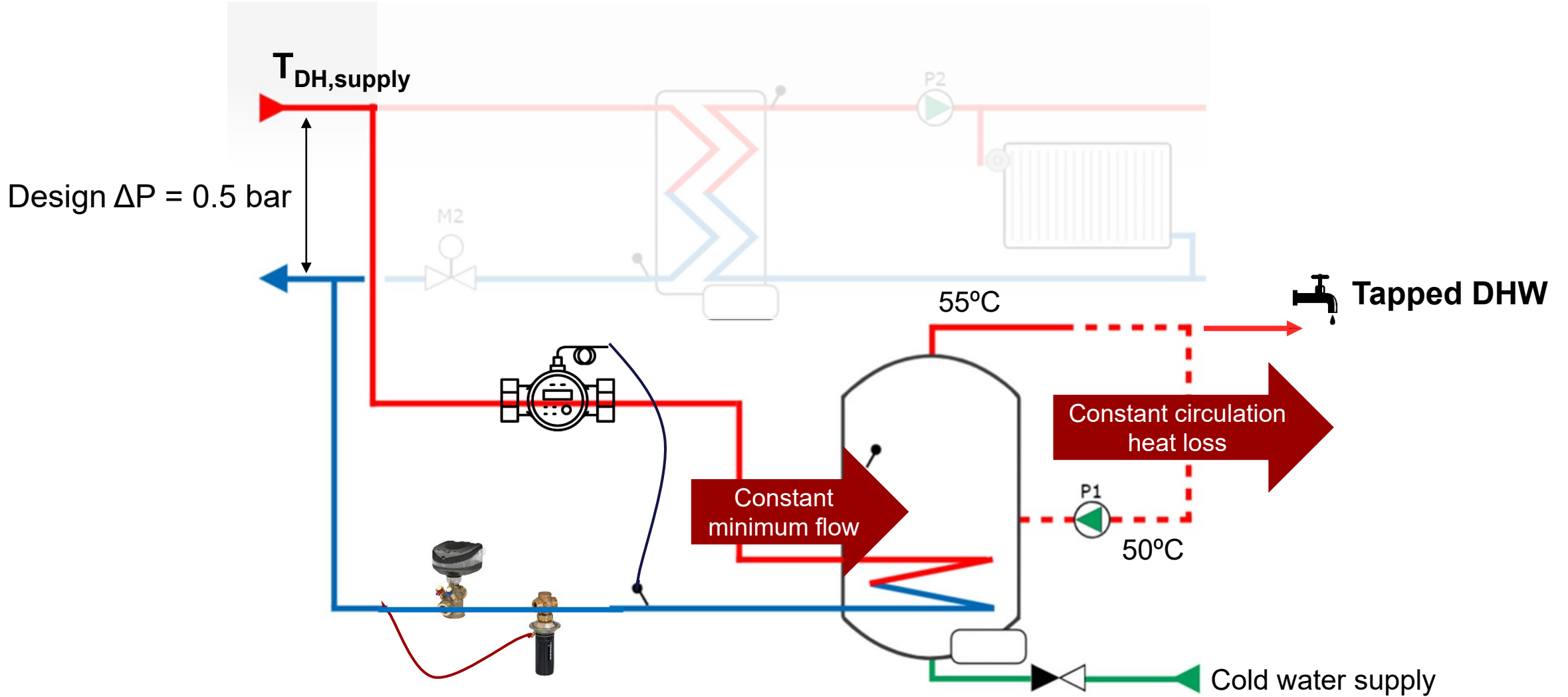
Motivationstariffen er et tillæg eller et fradrag på forbrugsbidraget, altså prisen for din forbrugte fjernvarme uden faste bidrag.

- For hver grad, dit fjernvarmevands returtemperatur ligger **over** den forventede, **stiger** prisen på den forbrugte energi med 1%.
- For hver grad returtemperaturen ligger **under** den forventede, **falder** prisen på den forbrugte energi med 1%.

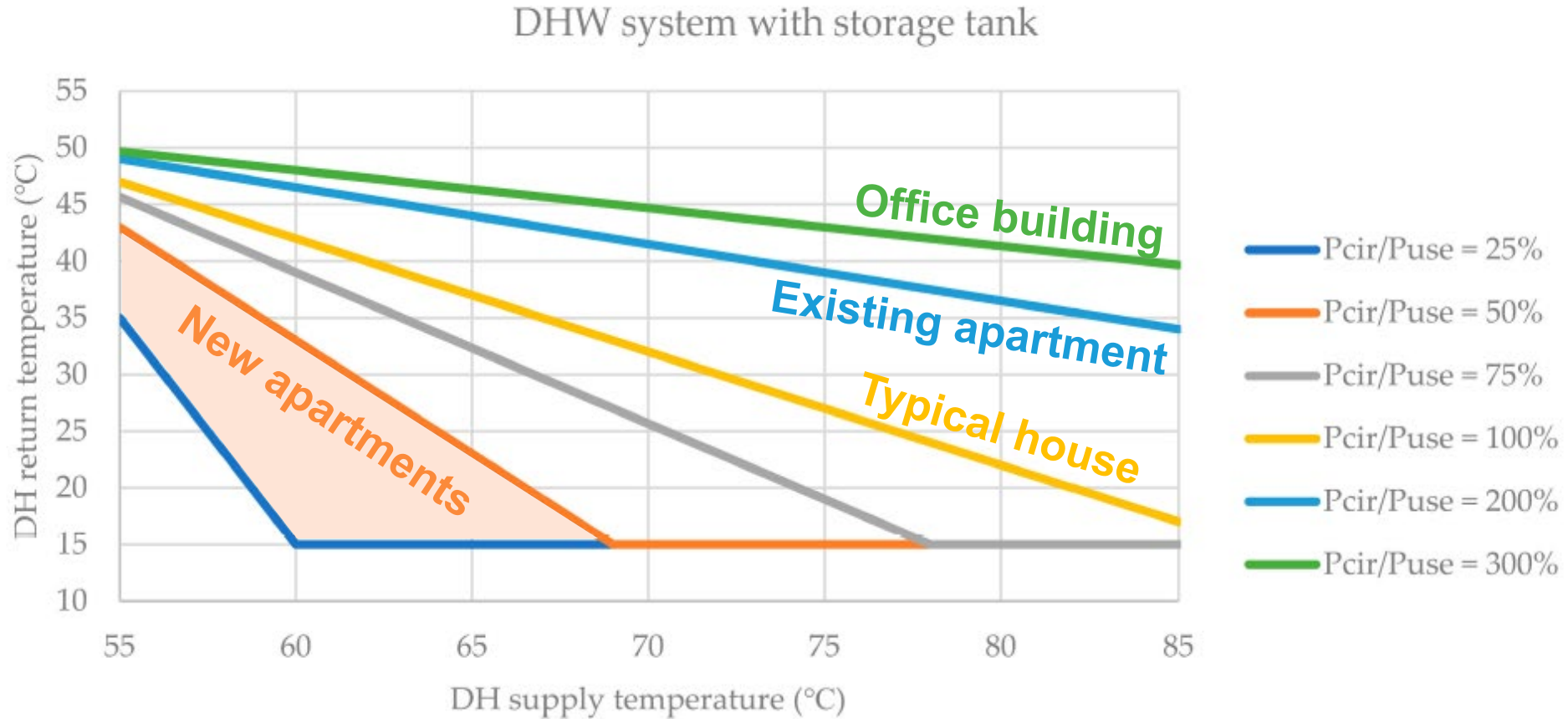
Tariffen skal motivere dig til at blive mere bevidst om at udnytte fjernvarmen bedre, primært ved at sørge for, at fjernvarmeanstaltningen, din el-installation er indreguleret korrekt og fungerer optimalt.



# Common DHW set-up – Perhaps half of Danish DH installations



Source: Danfoss Application Handbook

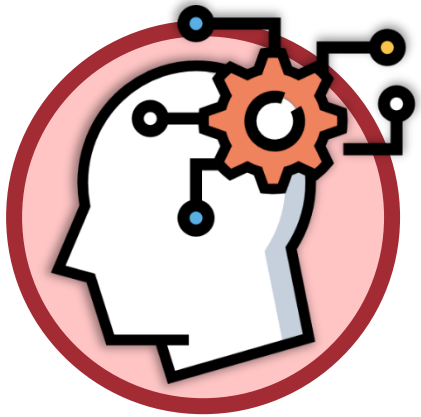


**Figure 12.** Combinations of operating temperatures for the DHW system with a storage tank for different ratios of circulation heat loss in the actual use of hot water.

(Source: <https://doi.org/10.3390/en14113350>).



# Objectives



Develop a digital twin of a common heating substation



Validate the model



Analyse system performance



Identify solutions and predict improvements

Package this process and make it publicly available within the HeatCheck project



## 2. Case study

Building description and information used

# Description of the building



Lundtoftevej, 162  
2800 Kongens Lyngby  
(Denmark)



8 buildings



491 accommodations



# Description of the building



Building H

Photo 1. Location of building H



●●REDAN

AKVA THERM LV

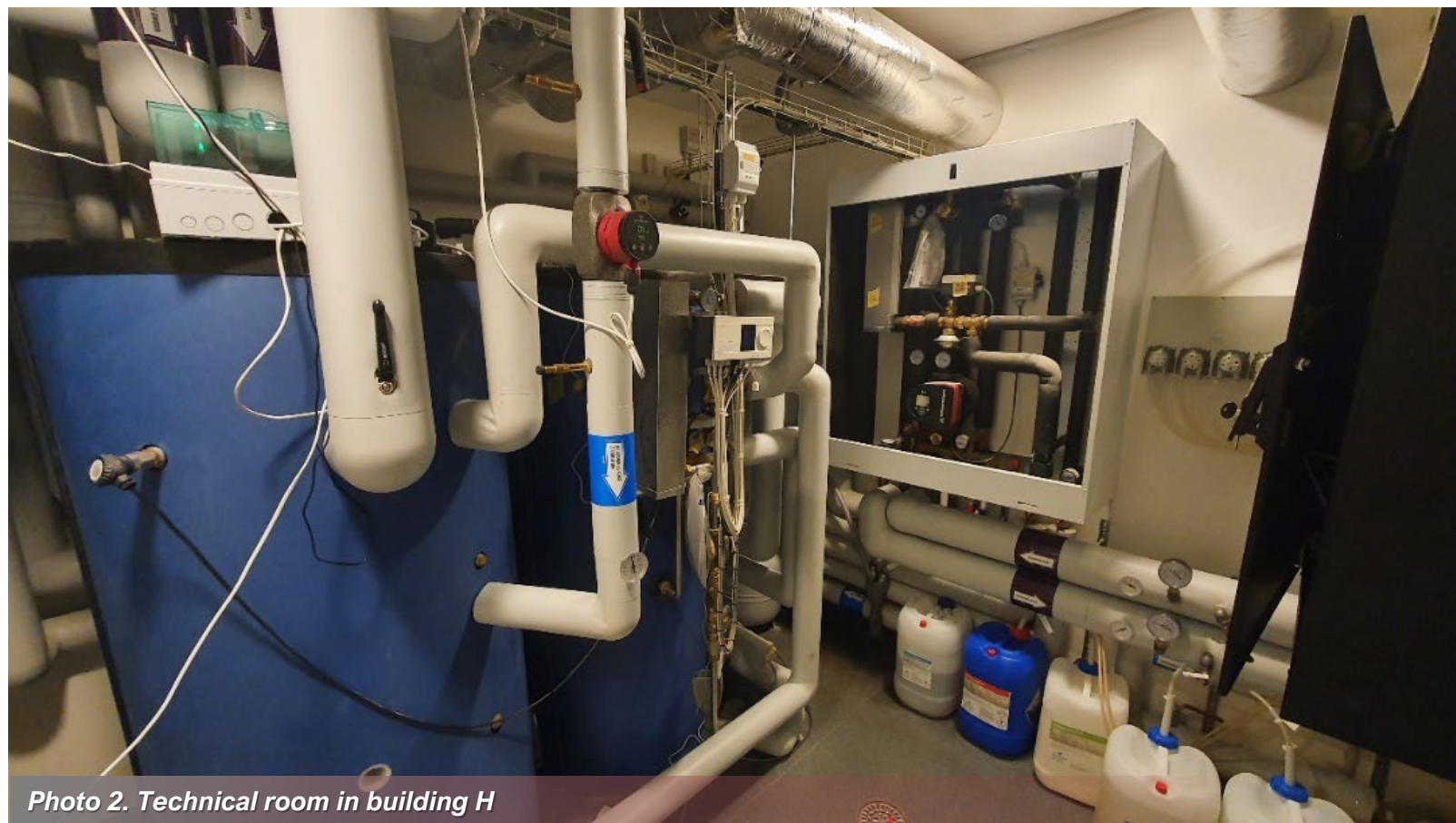
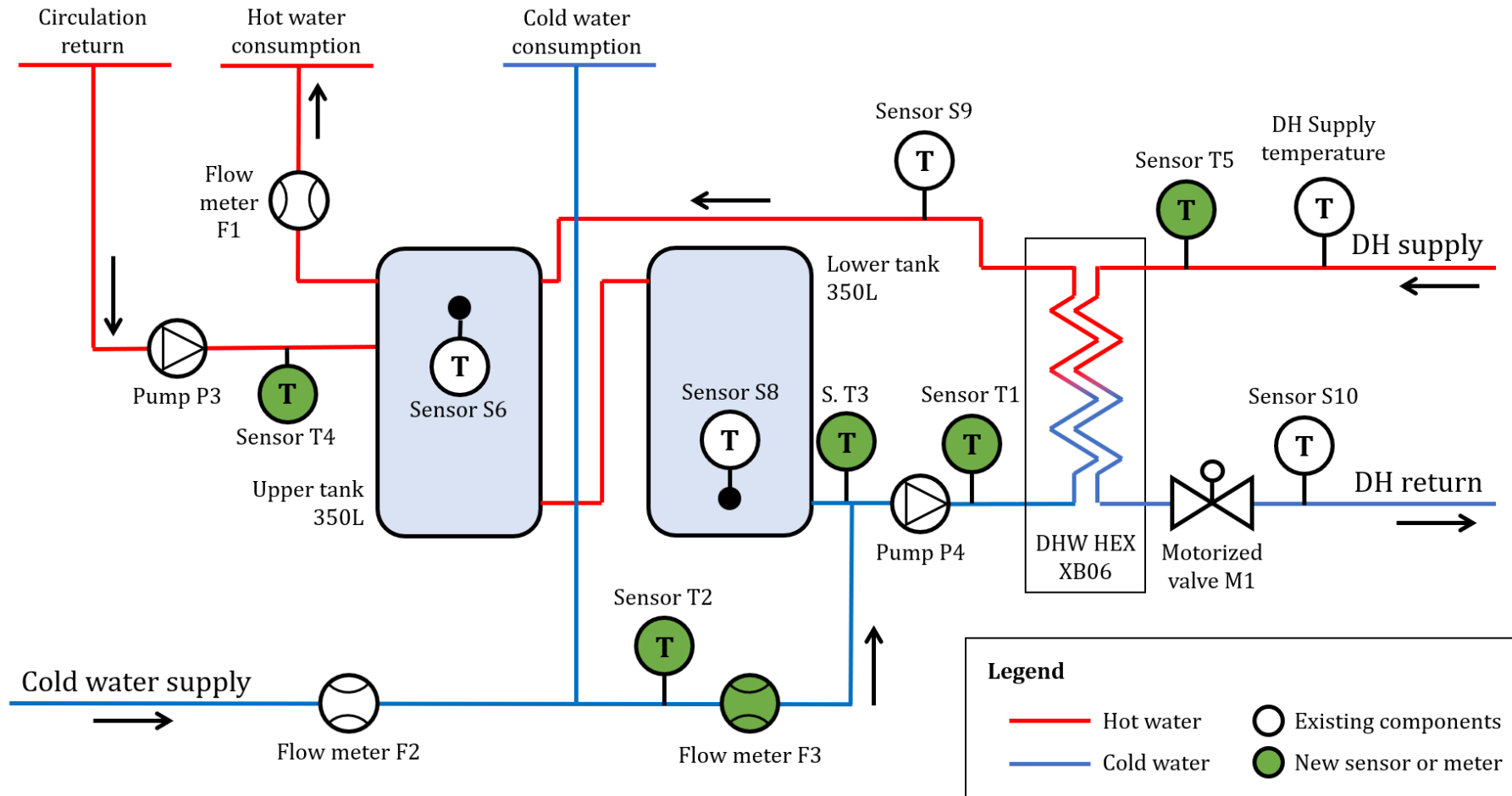


Photo 2. Technical room in building H



# Data Sources

## Danfoss ECL platform

### ECL COMFORT 310 PORTAL

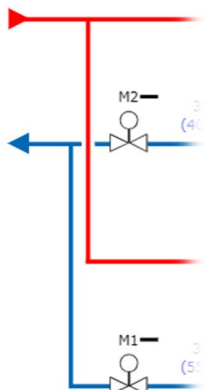
Home ECL Settings Graph Meters

2800 Kgs. Lyngby ▶ Lundtoftevej 162H ▶ Lundtoftevej 162H (A377.1)

### Choose ECL

17.4 °C S1

- 
- Lundtoftevej 162
  - Show time schedules
  - Show on map
  - Lundtoftevej 162A (A377.1)
    - Lundtoftevej 162A
  - Lundtoftevej 162B (A377.1)
    - Lundtoftevej 162B
  - Lundtoftevej 162C (A377.1)
    - Lundtoftevej 162C
  - Lundtoftevej 162D (A377.1)
    - Lundtoftevej 162D
  - Lundtoftevej 162H (A377.1)
    - Lundtoftevej 162H
- Show all ECLs on map



## Neogrid platform

Home / Visualisation  
TRELLEBORGGGADE (2) | Box #0200000

NEOGRID CONTROLLER CO:A8:0:32:BA



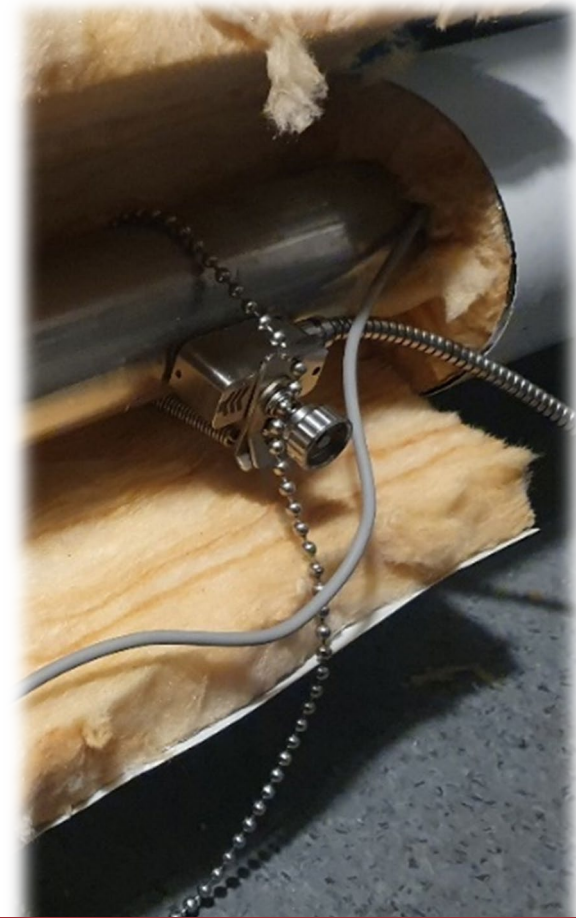
LIVE 5MIN HOUR DAY

Sensor name

## Ista meters

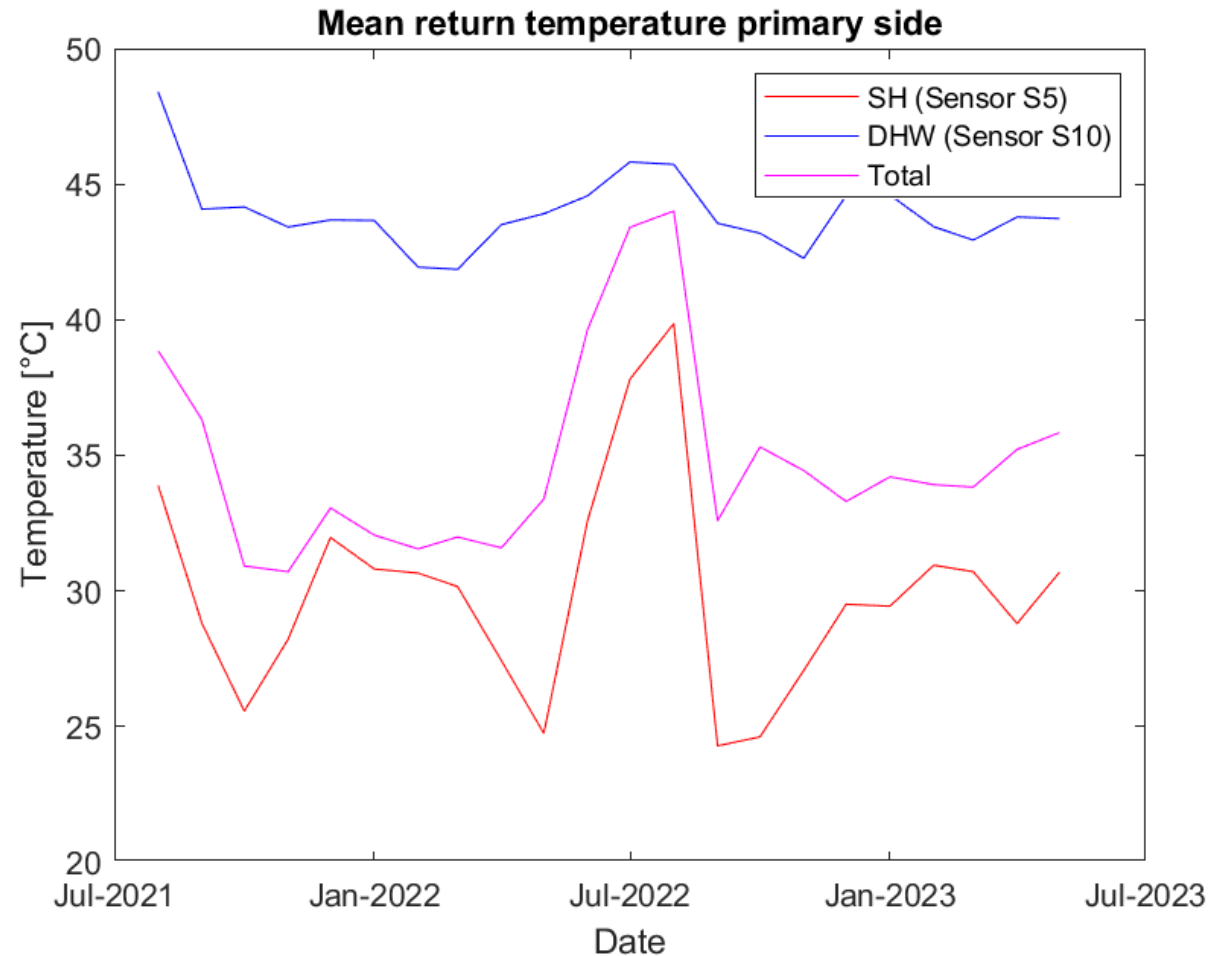
Date	Room number				
	H001	H002	H003	H004	H005
1/7/2022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2/7/2022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/7/2022	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000
4/7/2022	0.000	0.118	0.000	0.000	0.000
5/7/2022	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000
6/7/2022	0.000	0.148	0.000	0.000	0.000
7/7/2022	0.000	0.055	0.000	0.000	0.000
8/7/2022	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000
9/7/2022	0.000	0.102	0.000	0.000	0.000
10/7/2022	0.000	0.093	0.000	0.000	0.000
11/7/2022	0.000	0.078	0.000	0.000	0.000
12/7/2022	0.000	0.047	0.000	0.000	0.000
13/7/2022	0.000	0.086	0.000	0.000	0.000
14/7/2022	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000
15/7/2022	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000
16/7/2022	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000
17/7/2022	0.000	0.211	0.000	0.000	0.000
18/7/2022	0.000	0.180	0.000	0.000	0.000
19/7/2022	0.000	0.156	0.000	0.000	0.000
20/7/2022	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000
21/7/2022	0.000	0.110	0.000	0.000	0.000
22/7/2022	0.000	0.172	0.000	0.000	0.000
23/7/2022	0.000	0.093	0.000	0.000	0.000
24/7/2022	0.000	0.118	0.000	0.000	0.000
25/7/2022	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000
26/7/2022	0.000	0.234	0.000	0.000	0.000
27/7/2022	0.000	0.086	0.000	0.000	0.000
28/7/2022	0.000	0.109	0.000	0.000	0.000
29/7/2022	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000
30/7/2022	0.000	0.196	0.000	0.000	0.000
31/7/2022	0.000	0.140	0.000	0.000	0.000
1/8/2022	0.000	0.227	0.000	0.000	0.000
2/8/2022	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000
3/8/2022	0.000	0.086	0.000	0.000	0.000
4/8/2022	0.000	0.086	0.000	0.000	0.000
5/8/2022	0.000	0.133	0.000	0.000	0.000
6/8/2022	0.000	0.117	0.000	0.000	0.000
7/8/2022	0.000	0.063	0.000	0.000	0.000
8/8/2022	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000
9/8/2022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10/8/2022	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000
11/8/2022	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000
12/8/2022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13/8/2022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14/8/2022	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000

## Added meters/sensors



# Preliminary analysis of collected data

Comparison SH and DHW

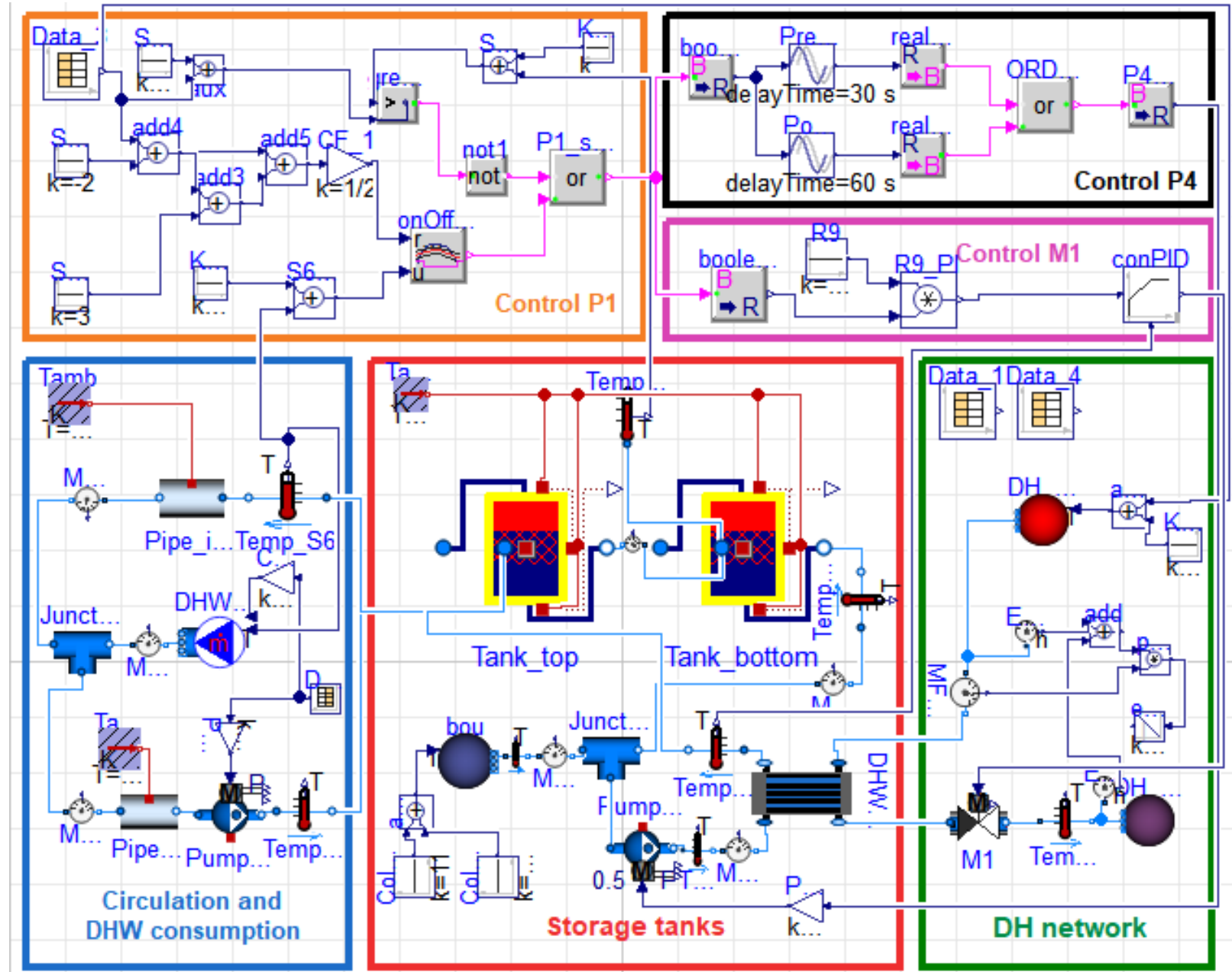




# Digital twin

## Model description

- Software: Dymola
- Language: Modelica
- Libraries: Modelica Buildings Library



# Validation

Tank top temperature (S6)

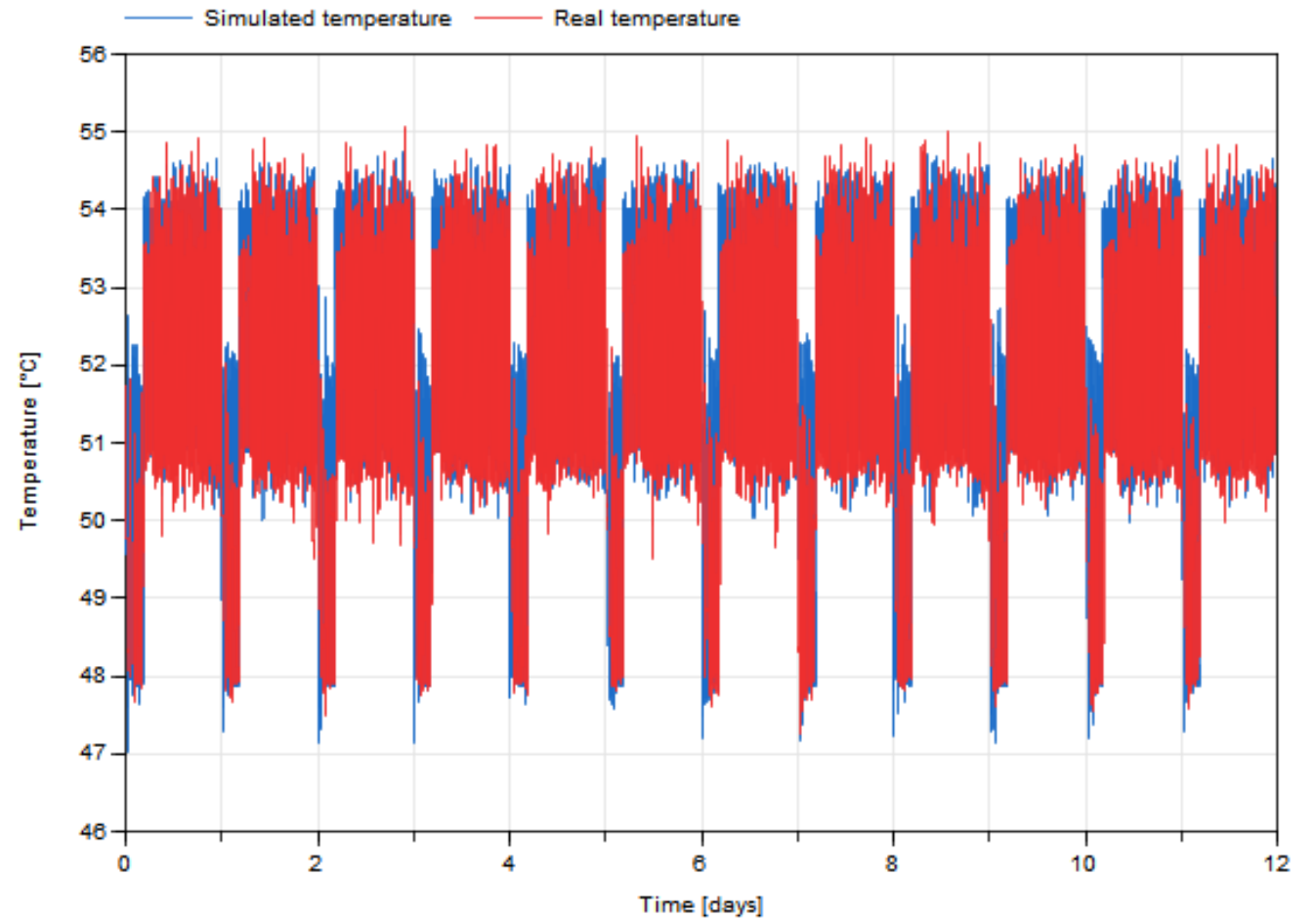
Real time-  
averaged  
temperature

**51.7 °C**

Simulated  
time-averaged  
temperature

**51.4 °C**

## Second tank top temperature (S6)



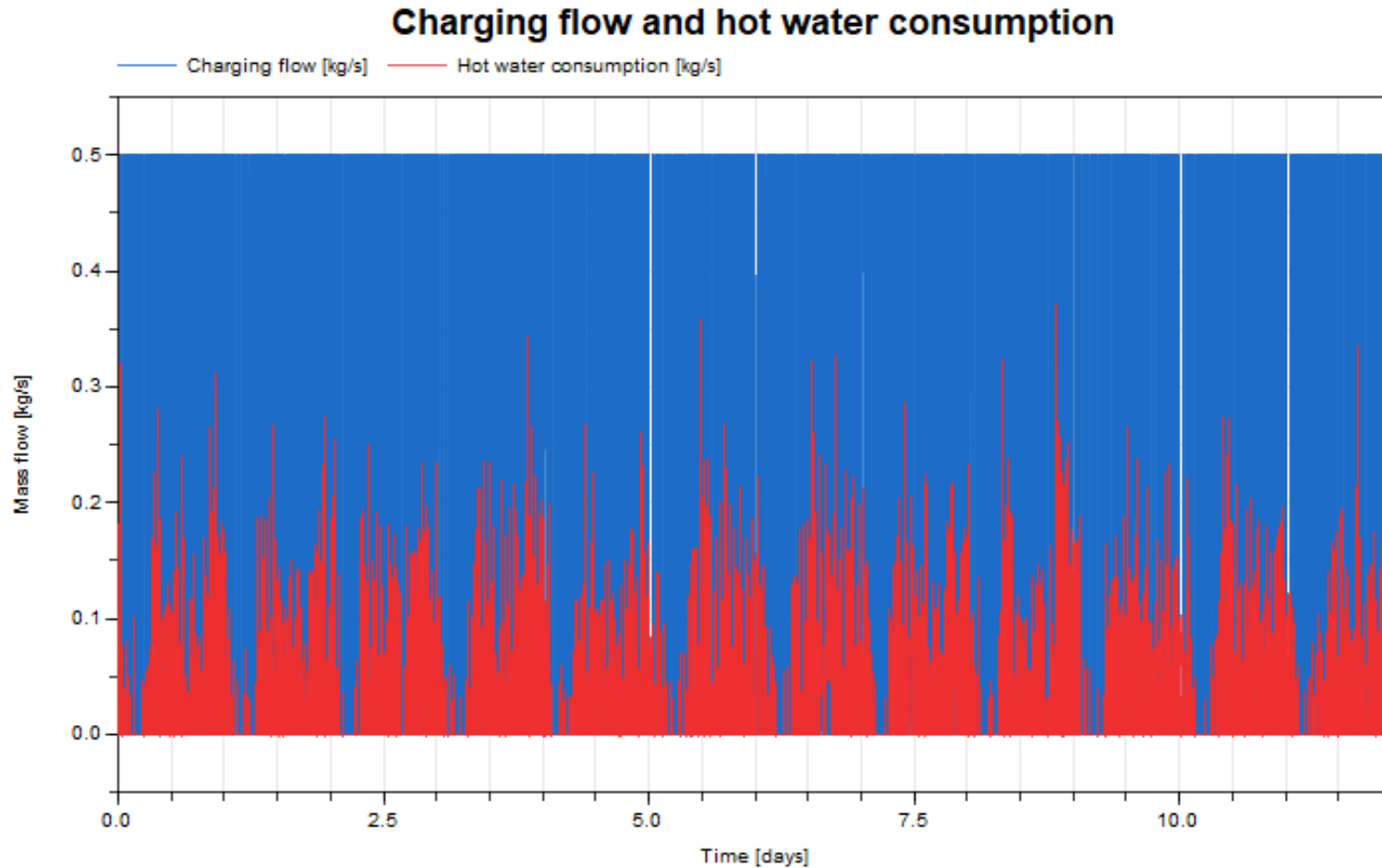


## 4. Results

Analysis of the problems and simulation of improvements

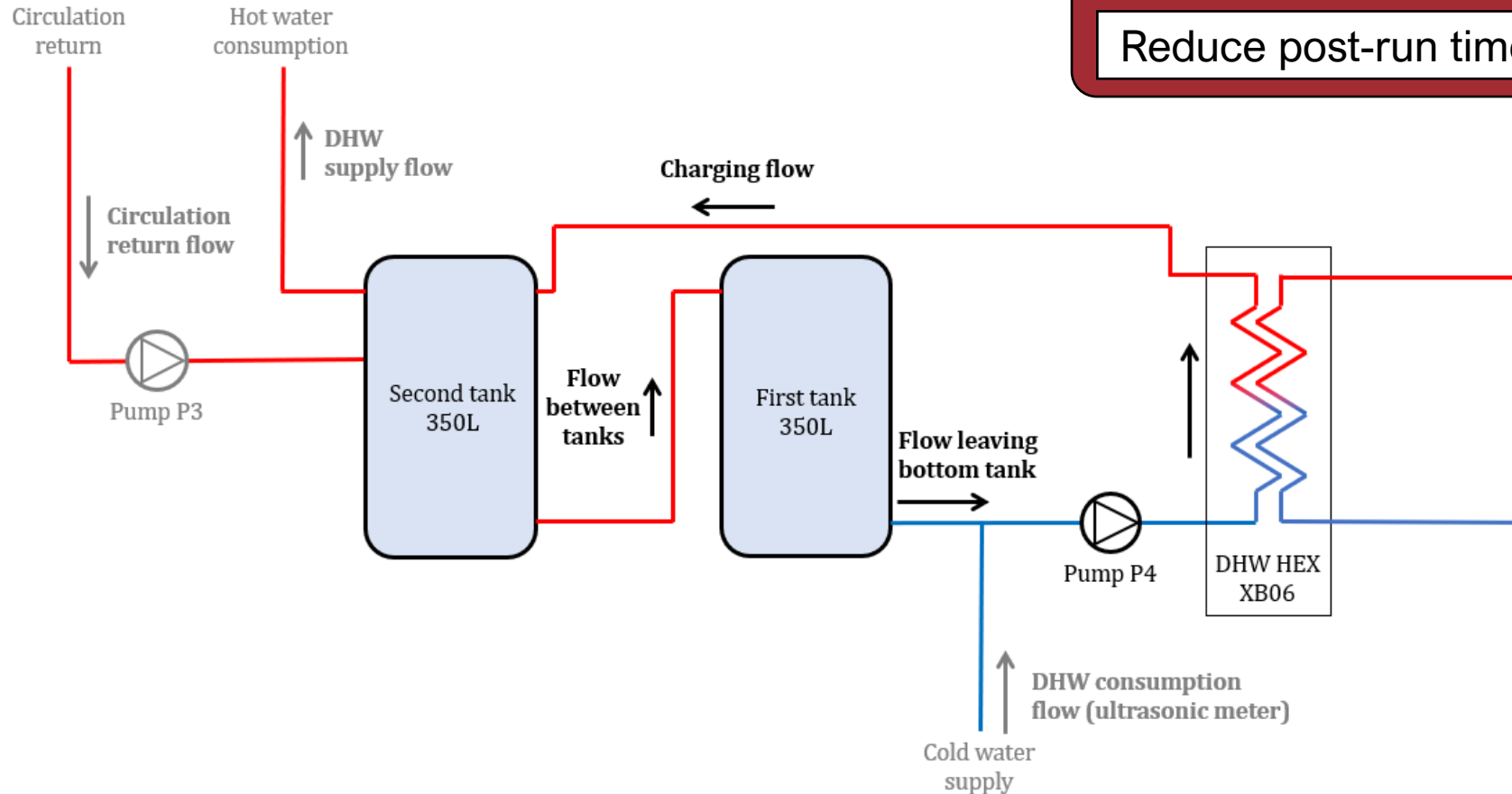
# Analysis of the problems

Too high charging flow



# Analysis of the problems

Too high charging flow and limiting stop difference parameter



**Charging flow**

Reduce charging flow from 0.50 kg/s

**Post-run time**

Reduce post-run time from 1 min to 0 min

# Results of the simulated improvements

SIMULATION 4: Application of all the improvements

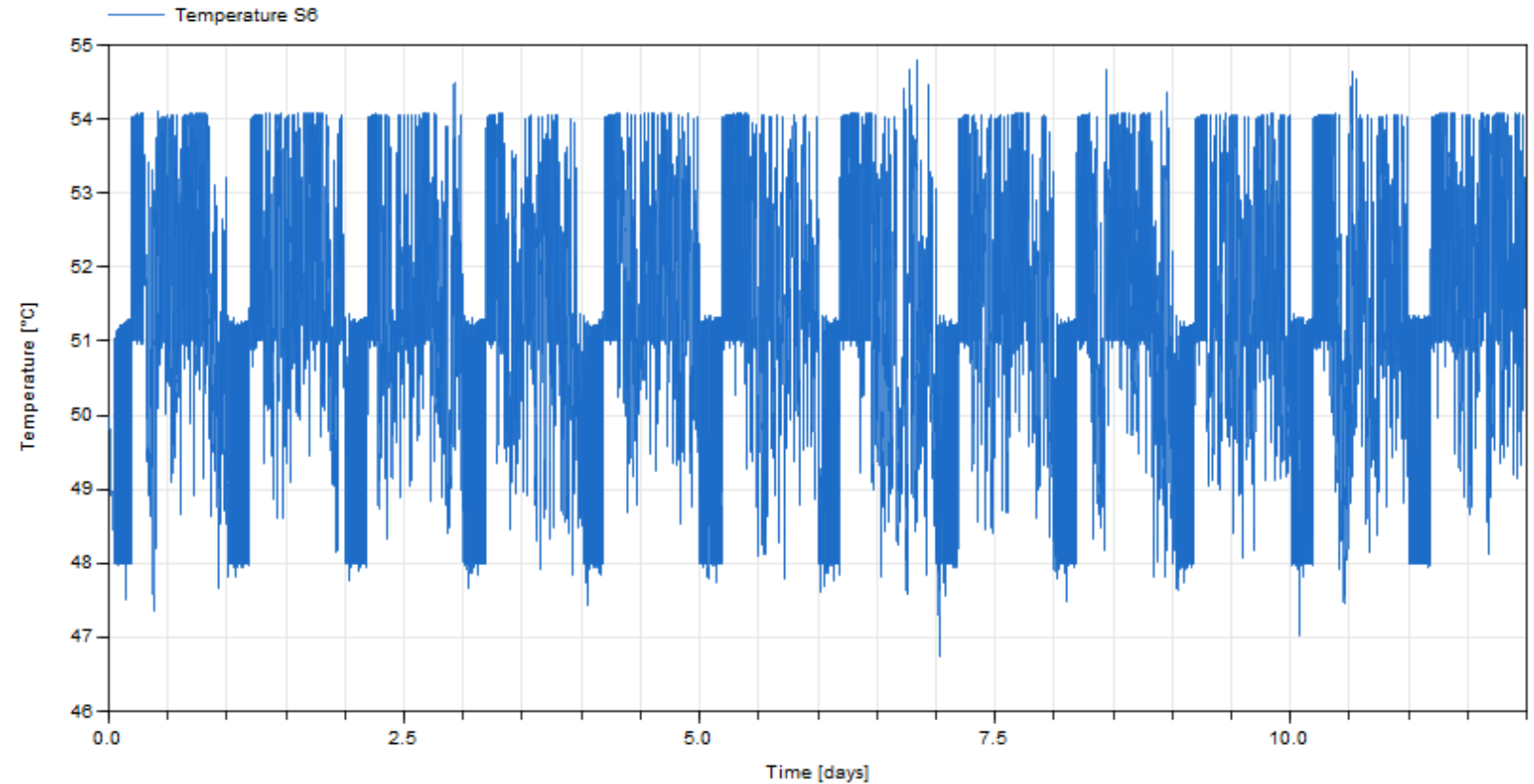
Charging flow

0.05 kg/s

Post-run time

0 min

Top tank temperature (S6) with charging flow at 0.05 kg/s



# Results of the simulated improvements

SIMULATION 4: Application of all the improvements

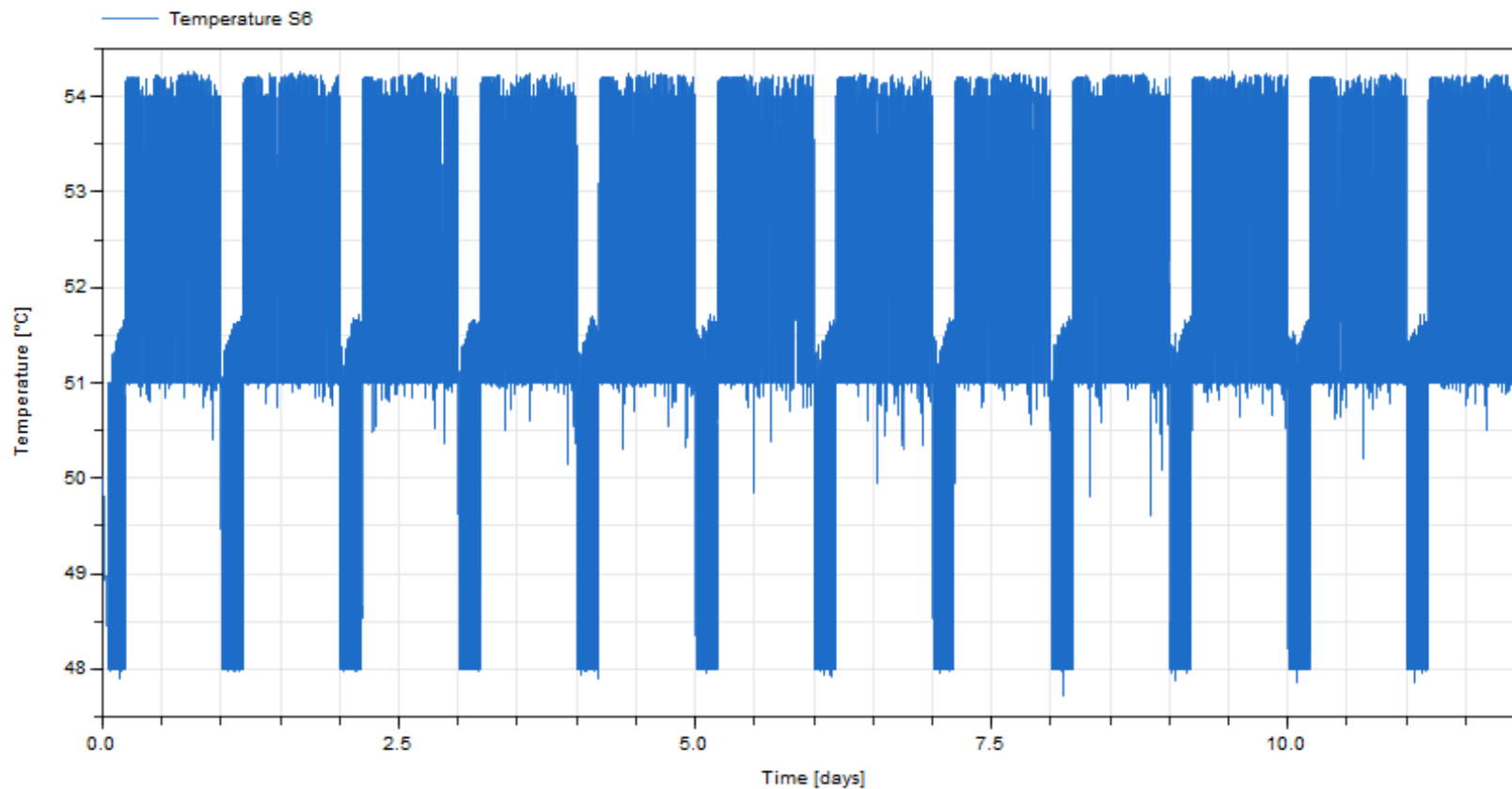
Charging flow

0.10 kg/s

Post-run time

0 min

Top tank temperature (S6) with charging flow at 0.10 kg/s



# Results of the simulated improvements

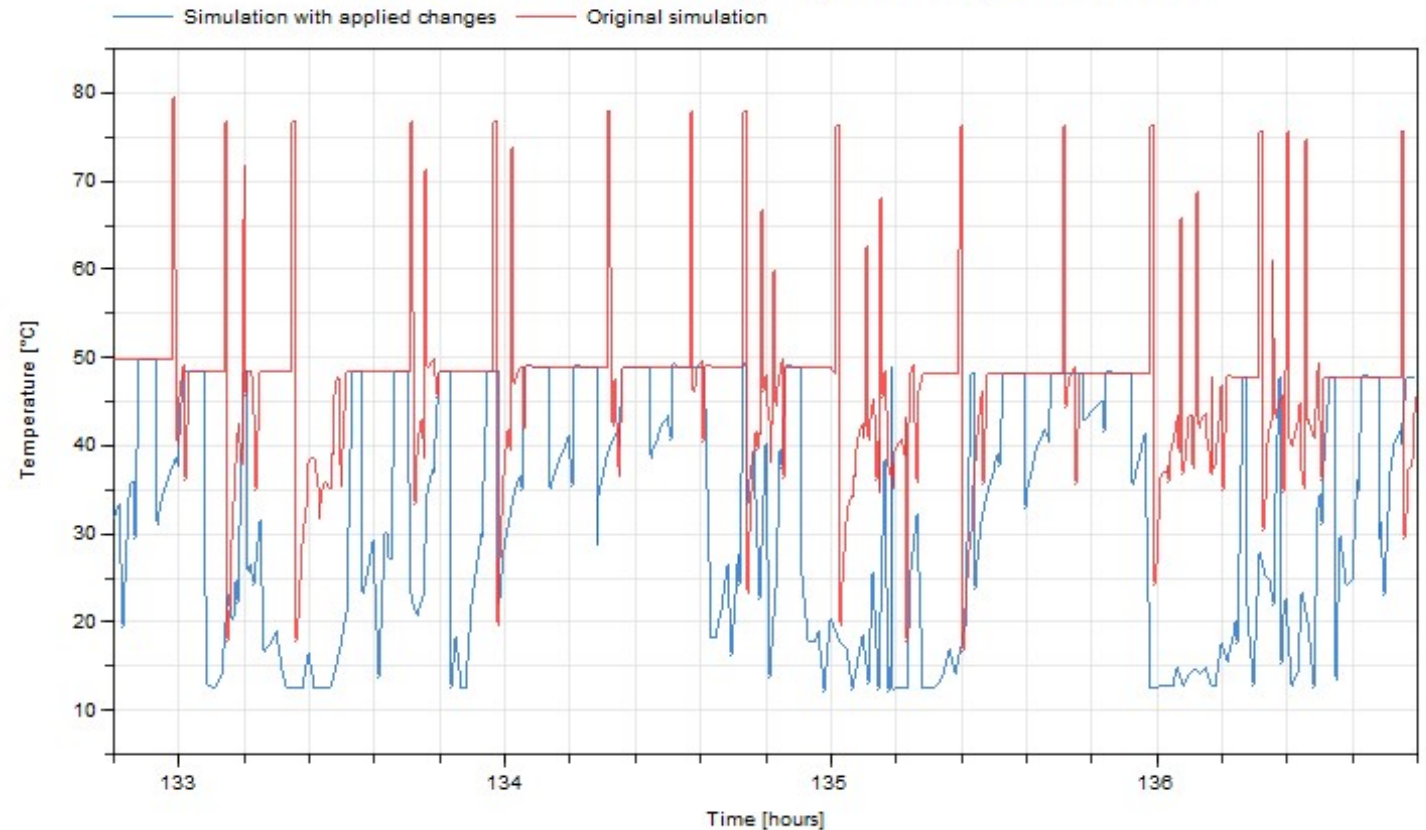
Analysis of the results with reduced charging flow and 0 min post-run time

## Average return temperature

Base case flow-weighted  
**44.1 °C**

Improved case flow-weighted  
**24.9 °C**

DH return temperature (S10) after improvements







## 5. Conclusions and future outlook

Discussion and future actions to take

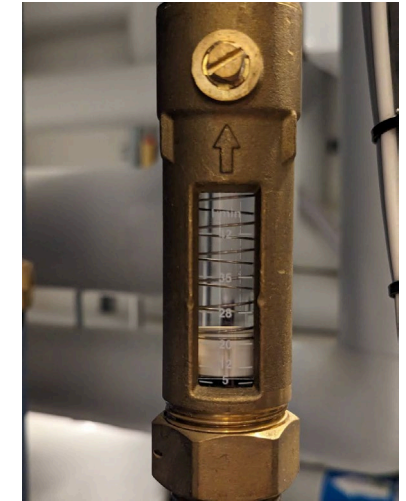
# Current work

Automatic optimisation of ECL parameters using digital twin

- Truly minimal return temperatures

Field tests (ongoing)

- Results seem to confirm expectations
- Not final due to discovered fault (incorrectly mounted sensor)



# Future work within the HeatCheck project

More models of common heating configurations

- Just insert your data
- Automatic fault detection
- Automatic identification of optimal ECL control parameters

Enable what-if analysis for buildings with high minimal return temperatures

- Predict the impact of...
  - Circulation heat pump
  - Cascade solution  
(from a circulation heat exchanger to low-temperature space heating)
  - Reduced circulation heat loss

# What you can do to prepare

Connect your controller to the internet (e.g. Leanheat Monitor)

Install a dedicated energy meter on the DHW heating

Install energy meters with...

- Hourly data
- Flow and temperature recordings – not just energy

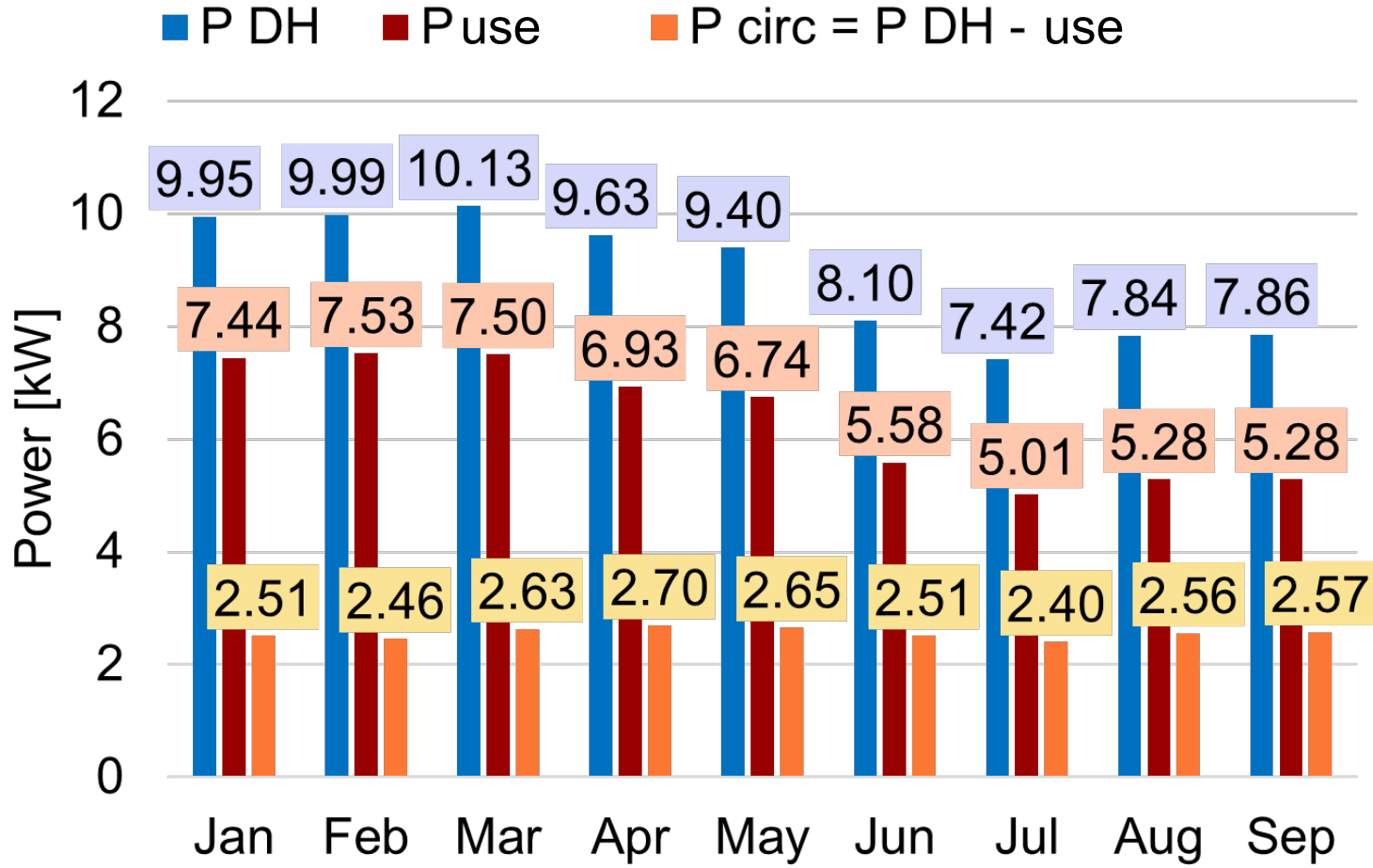
Install a digital volume meter and temperature sensor on the cold-water flow into the DHW system

Look out for the results and releases of HeatCheck – <https://heatcheck.dtu.dk/>



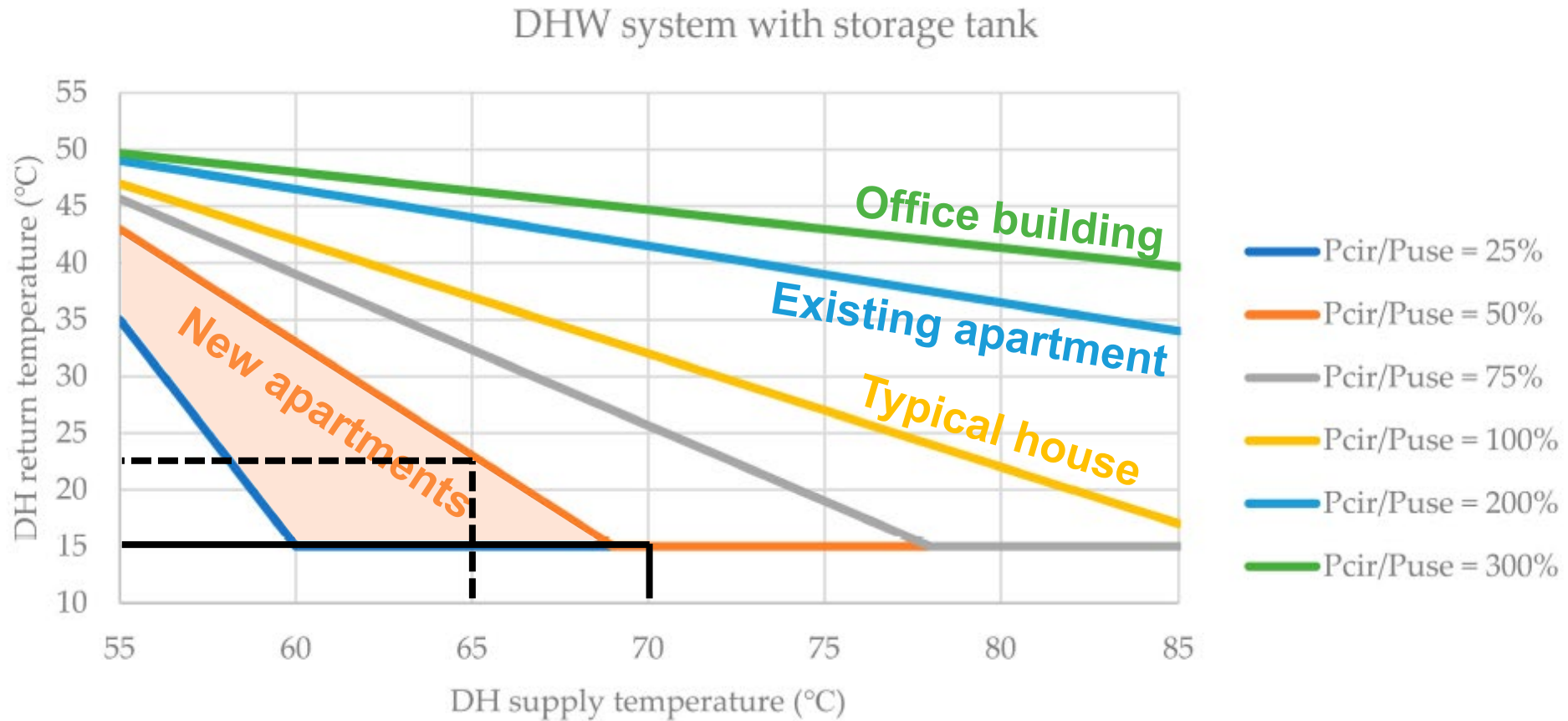
# Thank you for your attention

Acknowledgements: Thank you to the Bjarne Saxhof Fund & Digital Lead



$$\frac{P_{\text{circ}}}{P_{\text{use}}} = 35-50\%$$

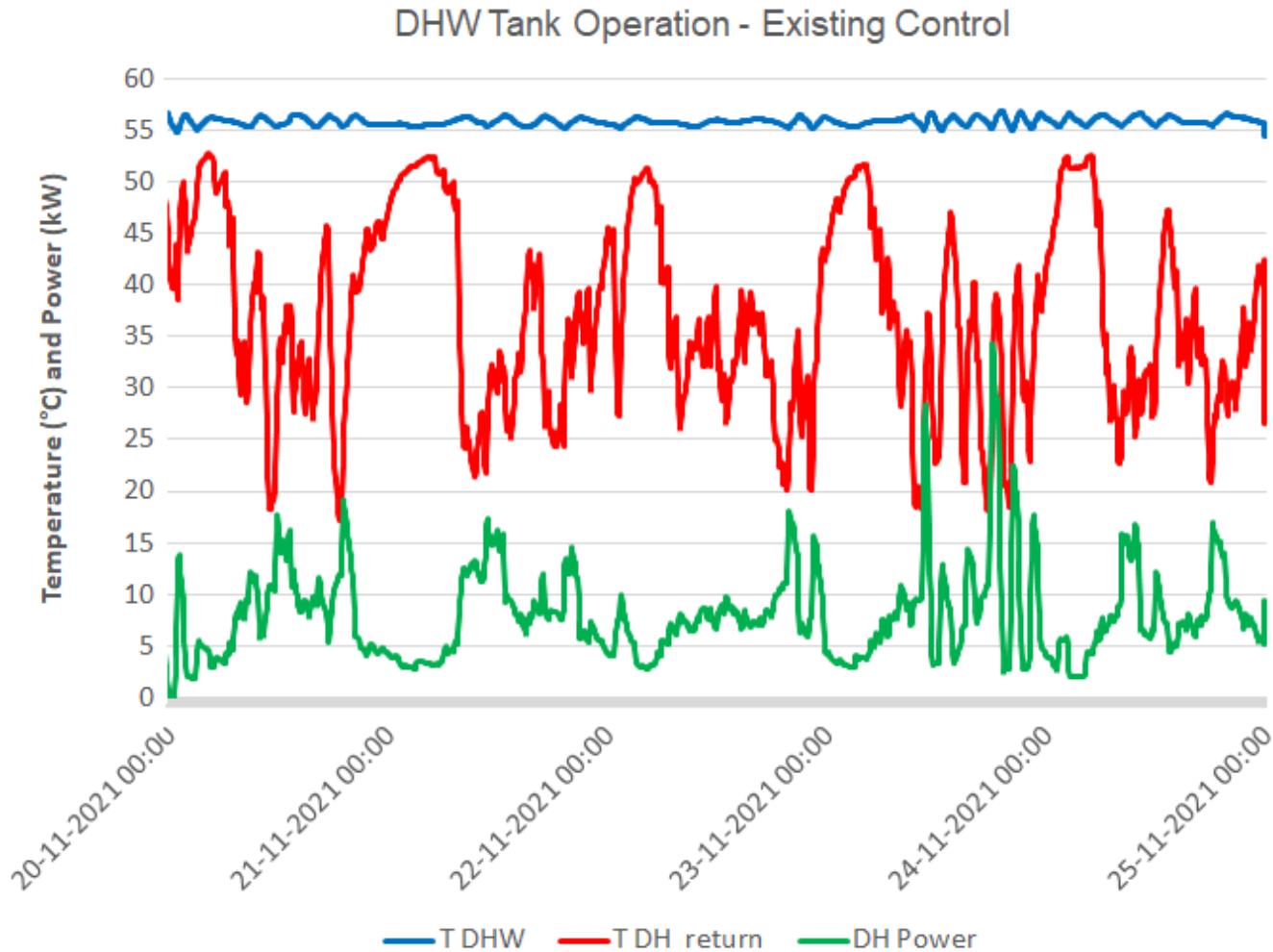
Figure 8. Charging DH power, DHW demand and circulation heat loss in Hillerød 2 (2021).



**Figure 12.** Combinations of operating temperatures for the DHW system with a storage tank for different ratios of circulation heat loss in the actual use of hot water.

(Source: <https://doi.org/10.3390/en14113350>).

# Field tests: Reference ECL control



**Figure 5.** Actual DHW supply temperature, DH return temperature and DH power supplied to the tank with the conventional control.

- **Return temperature: 37.2 °C.**

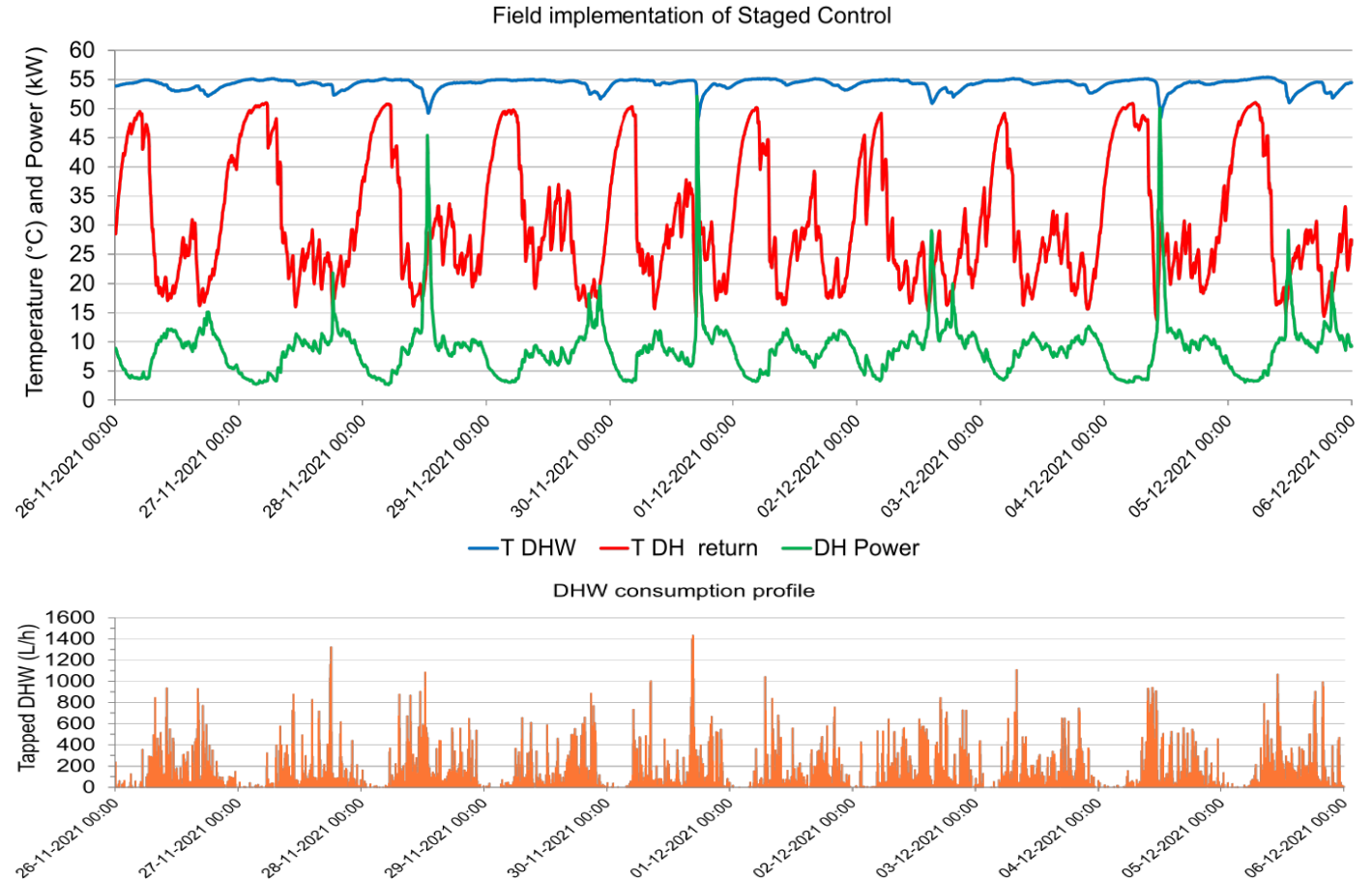


# Field tests: Improved ECL control

- 55 °C secured nearly all the time.
- 50 °C secured during extraordinary consumption.
- **Return temperature: 29.7 °C**



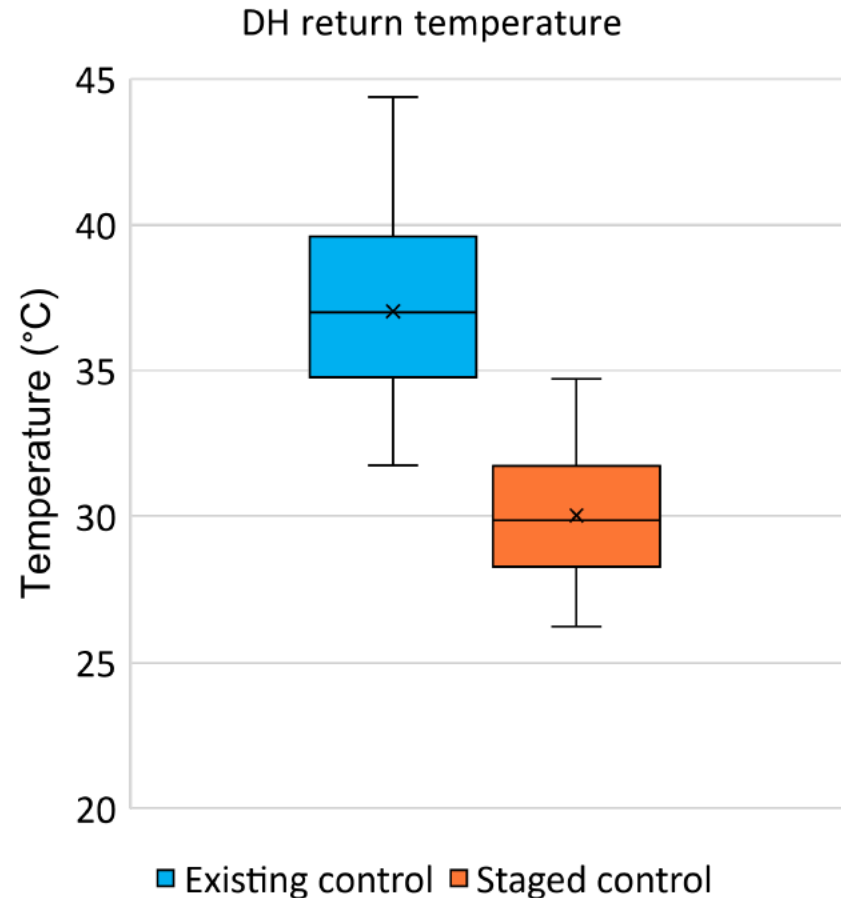
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125493>



**Figure 4.** Actual DHW supply temperature, DH return temperature and DH power supplied to the tank with the new staged control.

# Field tests

- 90-days dataset: 45 days with each control.
- Performance normalized by four factors:
  1.  $P_{cir}/P_{use}$
  2. DH supply temperature
  3. DHW supply temperature
  4. Cold water temperature
- **Reduction of 7.5 °C in DH return temperature.**  
**(24% savings in DH water volume)**



**Figure 7.** Comparison between normal and staged control by statistical analysis of flow-weighted DH return temperatures measured in Hillerød, Denmark.