

Energiebesparing in schoolcomplexen: monitoring en interpretaties

15-04-2026

G. Masy
ATIC member



Het project REPEAT

Reliable Energy Performance and Environmental Analysis Tools

Wiskundige modellering van een gebouw om:

- De correcte werking van de systemen te verifiëren
- Besturingsstrategieën te verbeteren



Bedankt

SPW for the financial support to the REPEAT project

ECMWF for the provision of meteorological data:

« This document has been produced in the context of the Copernicus Climate Change Service (C3S). The activities leading to these results have been contracted by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, operator of C3S on behalf of the European Union (Delegation Agreement signed on 11/11/2014 and Contribution Agreement signed on 22/07/2021). All information in this document is provided "as is" and no guarantee or warranty is given that the information is fit for any particular purpose. The users thereof use the information at their sole risk and liability. For the avoidance of all doubt, the European Commission and the European Centre for Medium - Range Weather Forecasts have no liability in respect of this document, which is merely representing the author's view. »

ELIC department of UCLouvain for the export processing of meteorological data

CISM computing center of UCLouvain for the provision of storage space:

« Les ressources informatiques ont été fournies par les installations de calcul intensif de l'Université catholique de Louvain (CISM/UCL) et du Consortium des Équipements de Calcul Intensif en Fédération Wallonie Bruxelles (CÉCI) financé par le Fond de la Recherche Scientifique de Belgique (F.R.S.-FNRS) au titre de la convention 2.5020.11 et par la Région wallonne.

Overzicht

- Gegevens
- Testgevallen: schoolcomplexen
- Methodologische aanpak
- Uitsplitsing van het gasenergieverbruik
- Modellering
- Identificatie
- Validatie
- Comfort
- Conclusie

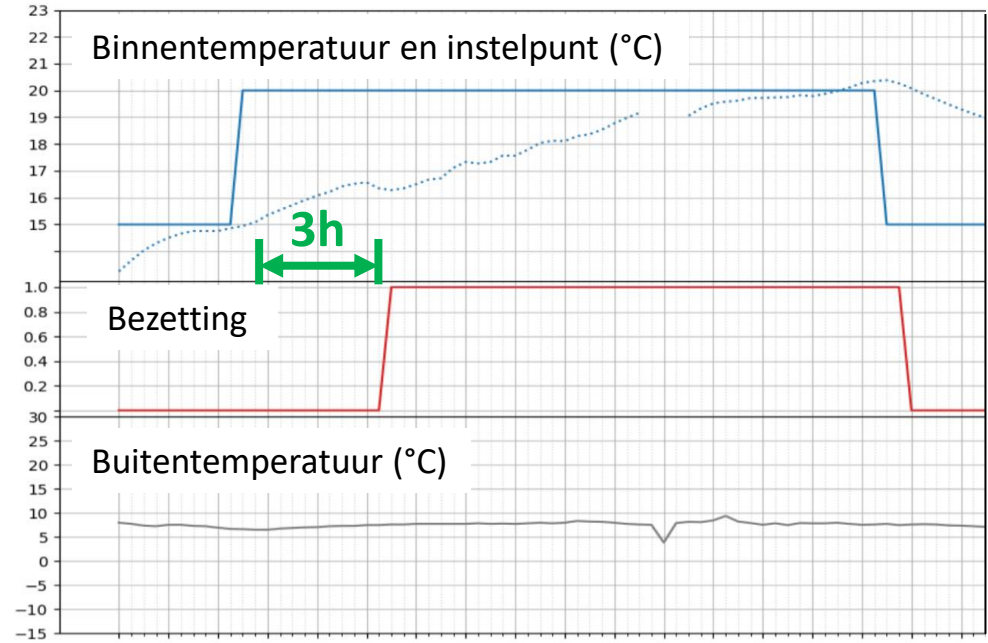
Gegevens

Metingen ter plaatse (onvolledig)

t_e	Buitemtemperatuur	°C
t_i	Binnentemperatuur	°C
t_{set}	Temperatuur instelpunt	°C
f_{occ}	Bezetting	0/1
V_g	Gasverbruik	m ³
$leave$	Verlofdagen	0/1

Metingen ter plaatse

09/01/2023 - 10/01/2023



Gegevens

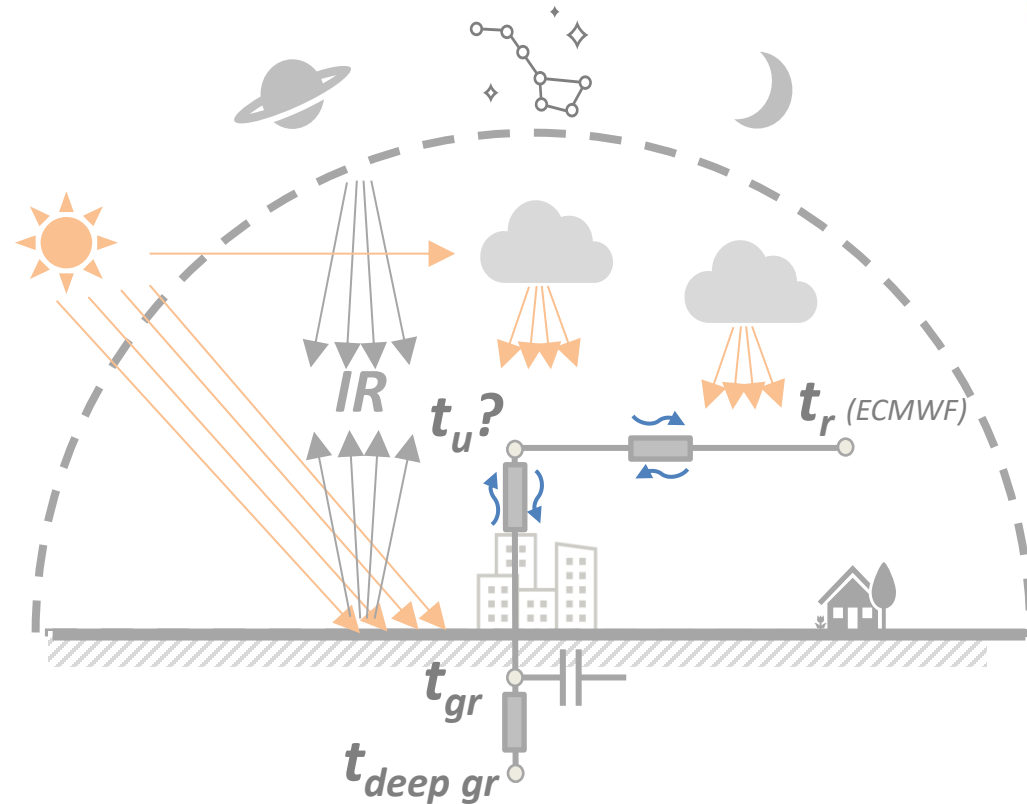
Metingen ter plaatse (onvolledig)

t_e	Buitentemperatuur	°C
t_i	Binnentemperatuur	°C
t_{set}	Temperatuur instelpunt	°C
f_{occ}	Bezetting	0/1
V_g	Gasverbruik	m ³
$leave$	Verlofdagen	0/1

Weergegevens (volledig)

$t_{e,we}$	Buitentemperatuur	°C
I_{th}	Totale zonne-intensiteit	W/m ²
I_{bh}	Directe zonne-intensiteit	W/m ²

Weergegevens



Gegevens

Metingen ter plaatse (onvolledig)

t_e	Buitentemperatuur	°C
t_i	Binnentemperatuur	°C
t_{set}	Temperatuur instelpunt	°C
f_{occ}	Bezetting	0/1
V_g	Gasverbruik	m ³
$leave$	Verlofdagen	0/1

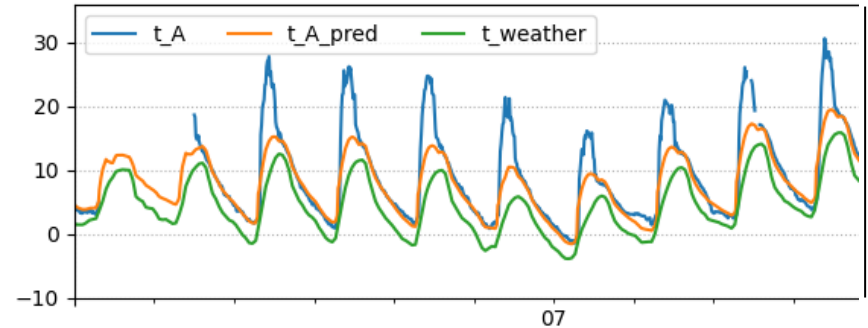
Weergegevens (volledig)

$t_{e,we}$	Buitentemperatuur	°C
I_{th}	Totale zonne-intensiteit	W/m ²
I_{bh}	Directe zonne-intensiteit	W/m ²

Berekende gegevens (volledig)

$t_{e,air}$	Buitentemperatuur	°C
$t_{set,def}$	Instelpunt op basis van bezetting	°C
$f_{occ,pred}$	Geplande bezetting	0/1
hhv	Gas HHV	kWh/m ³
$leave_{fwb}$	Officiële verlofdagen	0/1

Berekende gegevens



Mar
2022

Temperatuur van de aan de zon
blootgestelde sonde

Weergegevens Buitentemperatuur

Berekende buitentemperatuur

Gemiddelde waarden

januari 2022 - juni 2024:

Sonde : 15.5 °C

Weergegevens (ECMWF) : 11.4 °C

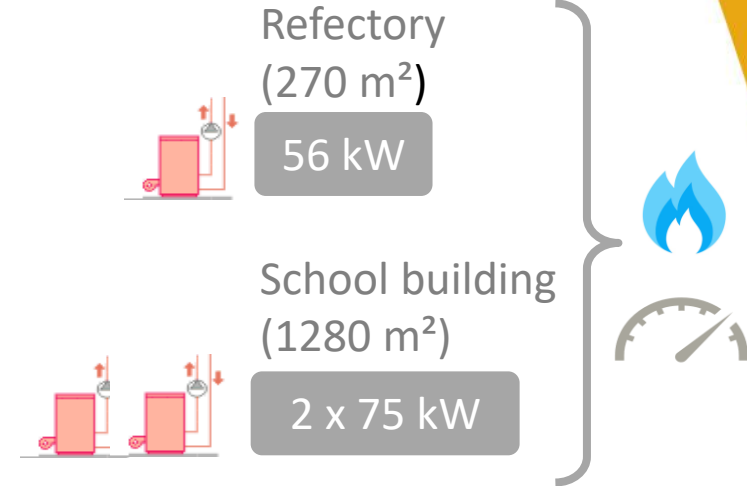
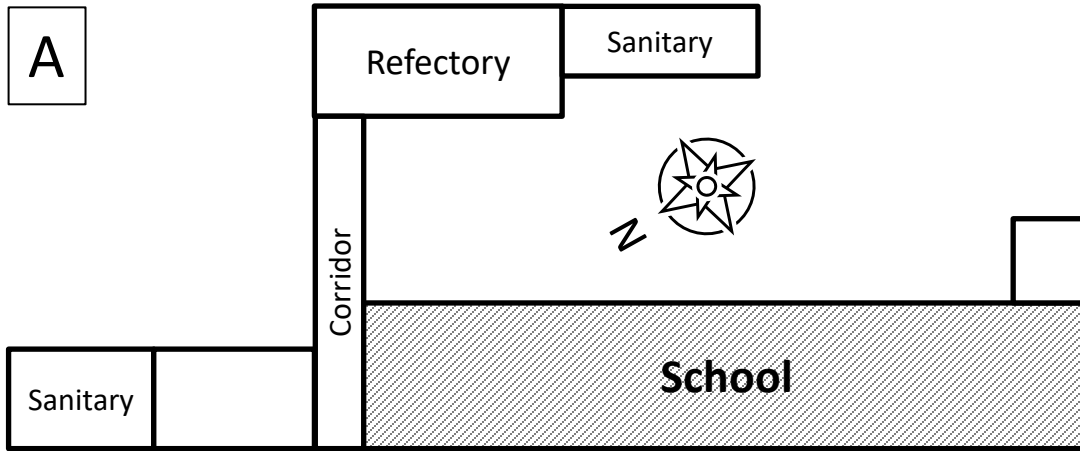
Overzicht

- ✓ Gegevens
 - Testgevallen: schoolcomplexen
 - Methodologische aanpak
 - Uitsplitsing van het gasenergieverbruik
 - Modellerings
 - Identificatie
 - Validatie
 - Comfort
 - Conclusie

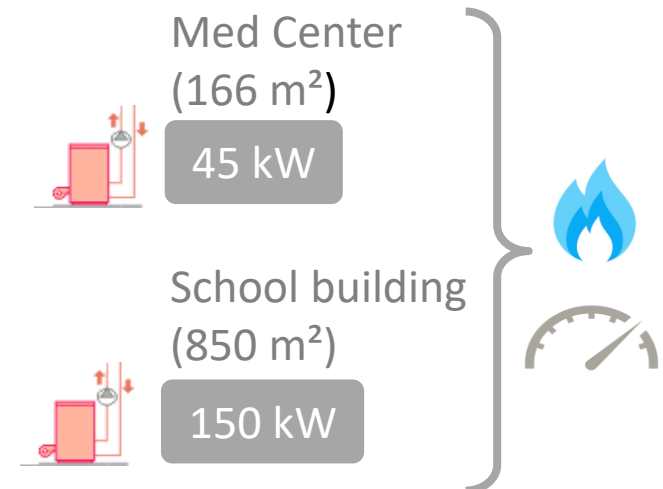
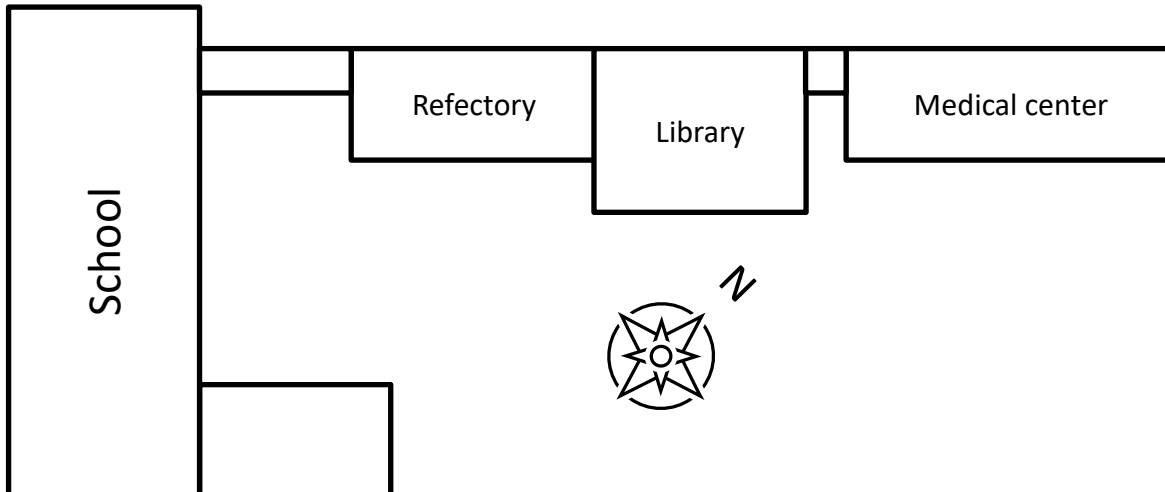
Testgevallen

Schoolcomplexen

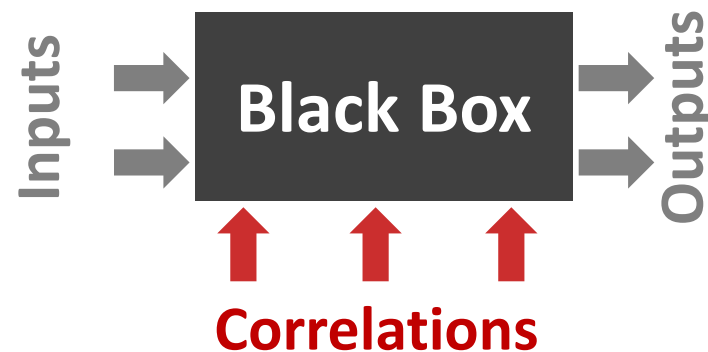
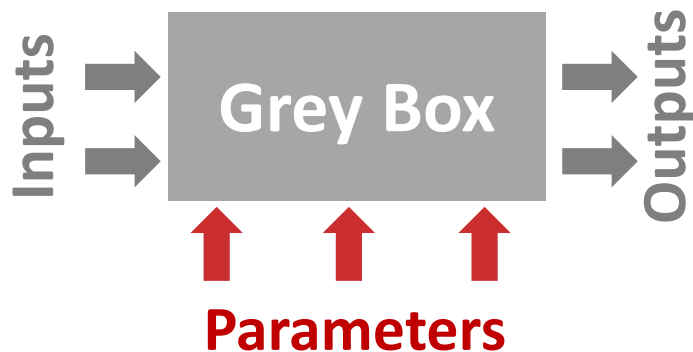
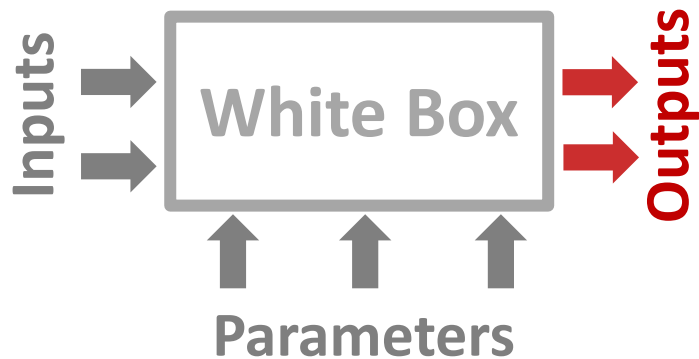
A



B



Methodologische aanpak



Multizone-aanpak :

Uitsplitsing van het gasenergieverbruik → Neuraal Netwerk

Modelidentificatie van elke zone → RC-model

Black Box

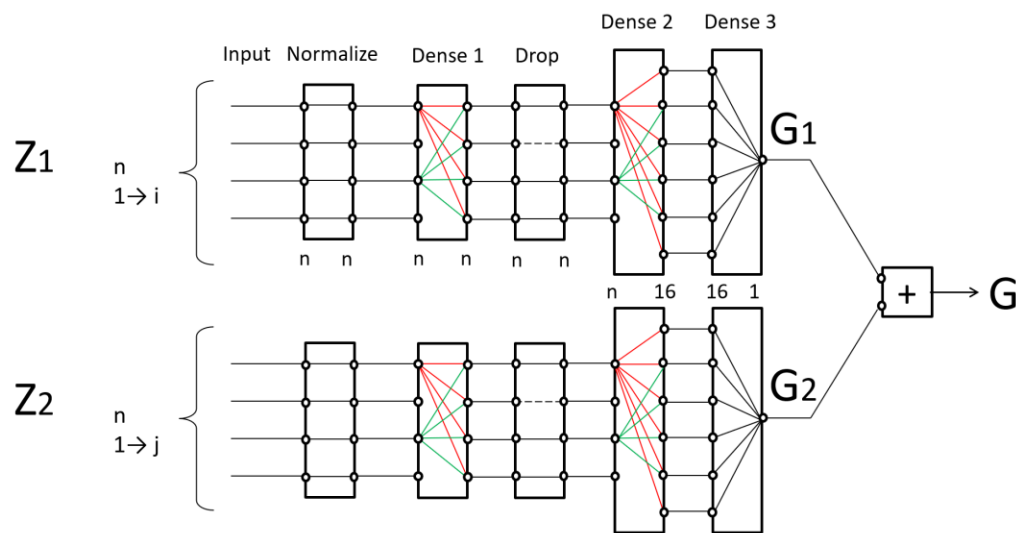
Grey Box

Overzicht

- ✓ Gegevens
- ✓ Testgevallen: schoolcomplexen
- ✓ Methodologische aanpak
 - Uitsplitsing van het gasenergieverbruik
 - Modellering
 - Identificatie
 - Validatie
 - Comfort
 - Conclusie

Uitsplitsing

Neuraal netwerk



$$s_i = \varphi \left(\sum w_{ij} e_j + b_i \right)$$

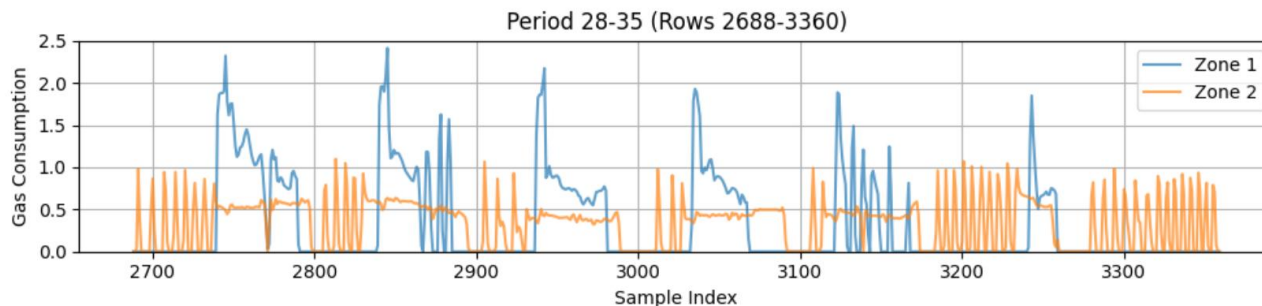
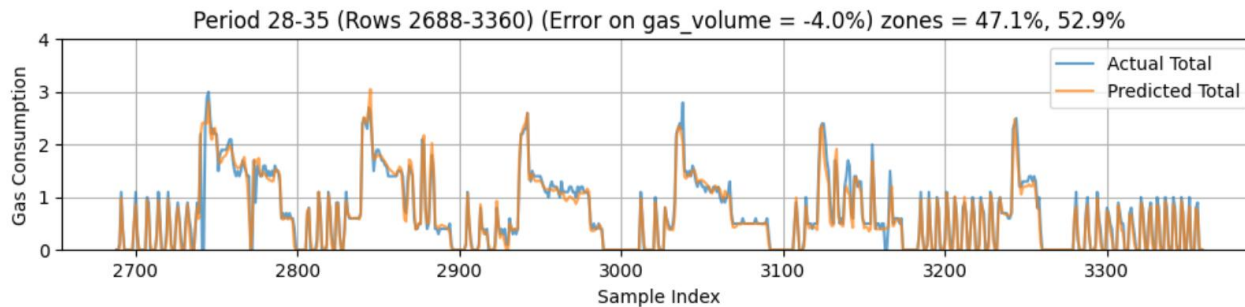
s_i : outputs

φ : activeringsfuncties (relu)

w_{ij} : gewicht

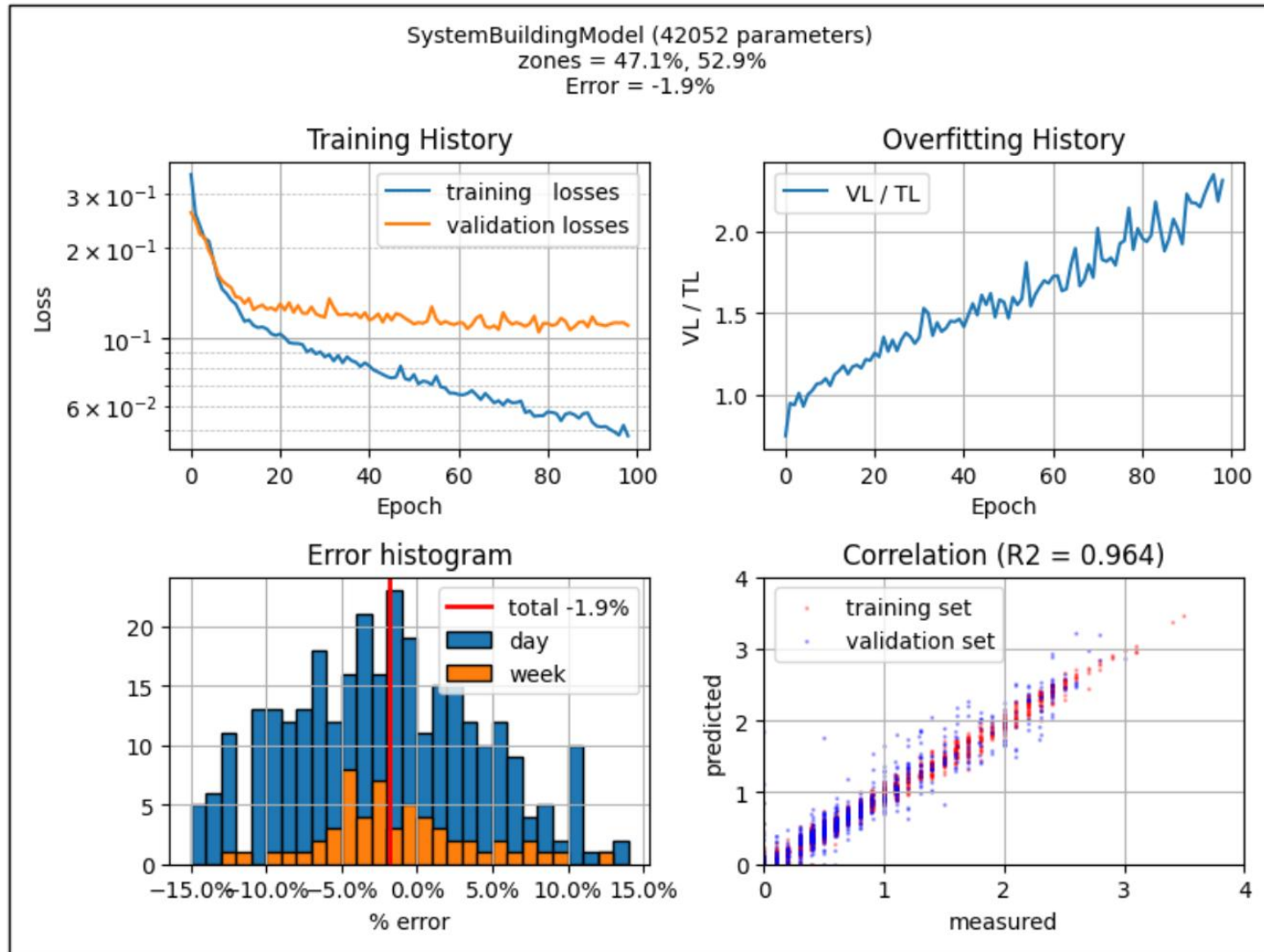
e_j : inputs

b_i : bias



Uitsplitsing

Validatie



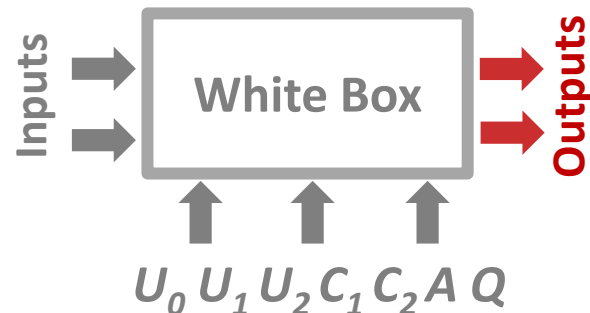
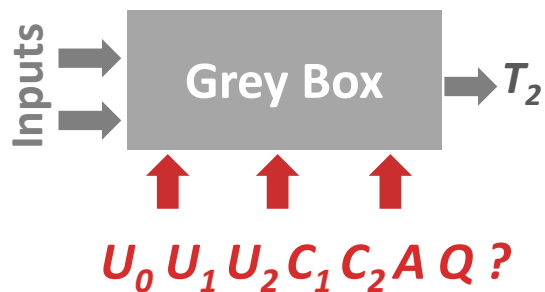
Overzicht

- Gegevens
 - ✓ Testgevallen: schoolcomplexen
 - ✓ Methodologische aanpak
 - ✓ Uitsplitsing van het gasenergieverbruik
- Modelling
- Identificatie
- Validatie
- Comfort
- Conclusie

Modelling

Identificatie & Validatie

2022				2023								2024								2025											
S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
2022 - 2023 Identificatie												2023 - 2024 Validatie								2024 - 2025 Validatie											



Outputs

Precision

Internal temperature

$\leq 1^\circ\text{C}$

Daily consumption

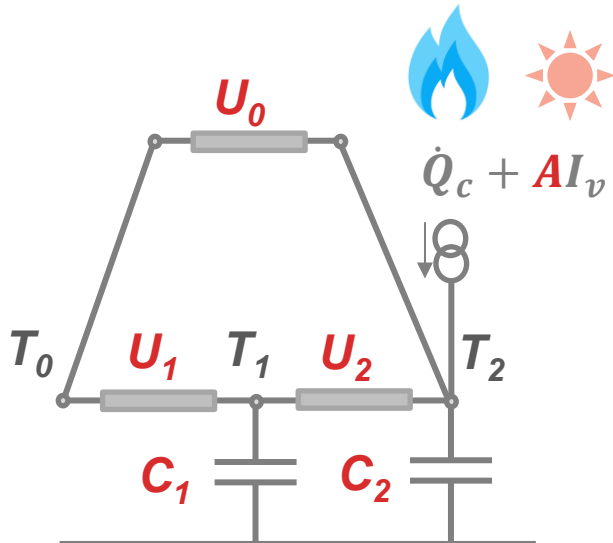
$\pm 20\%$

Annual consumption

$\pm 3\%$

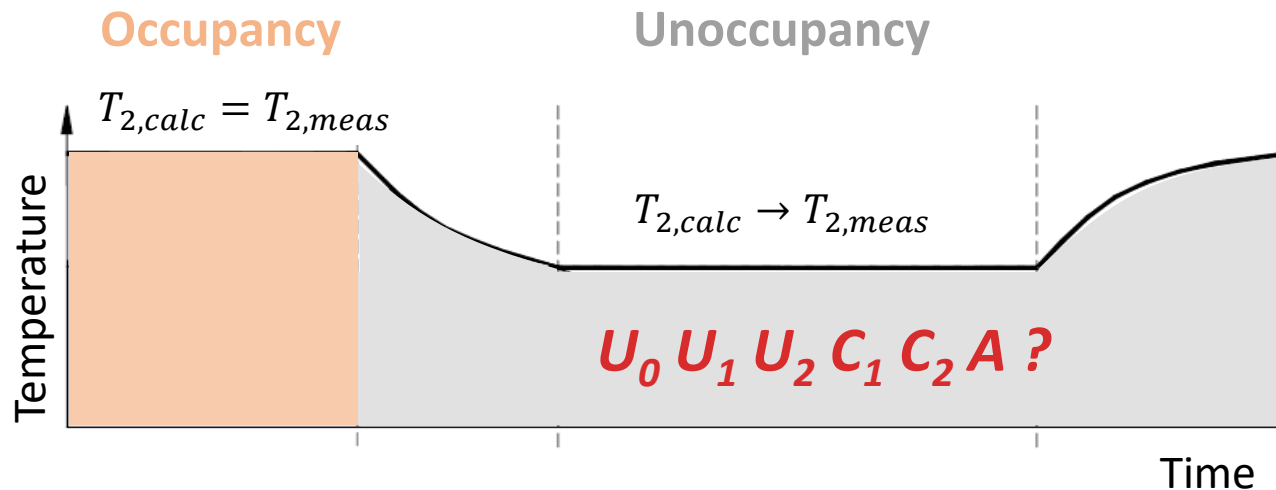
Modelling

Parameters



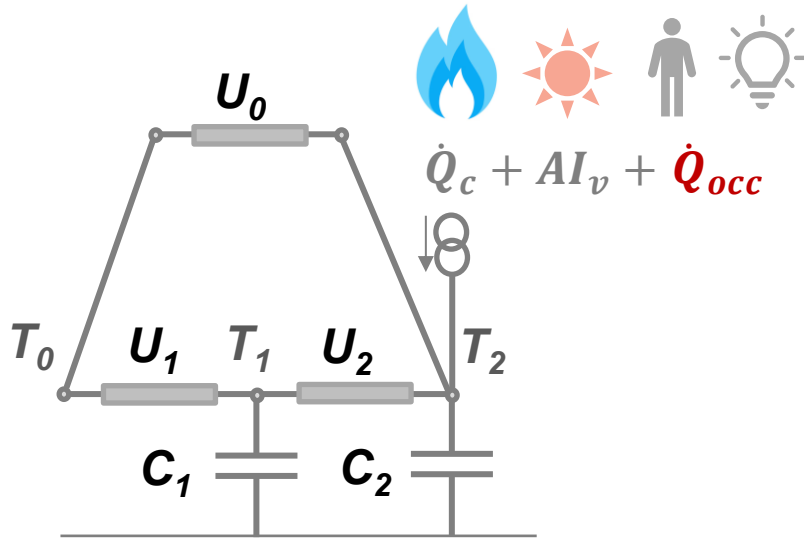
Perioden van niet-bewoning

T_0	Buitentemperatuur	°C
T_2	Binnentemperatuur	°C
\dot{Q}_c	Verwarmingsvermogen	W
AI_v	Zonnewarmtewinsten	W

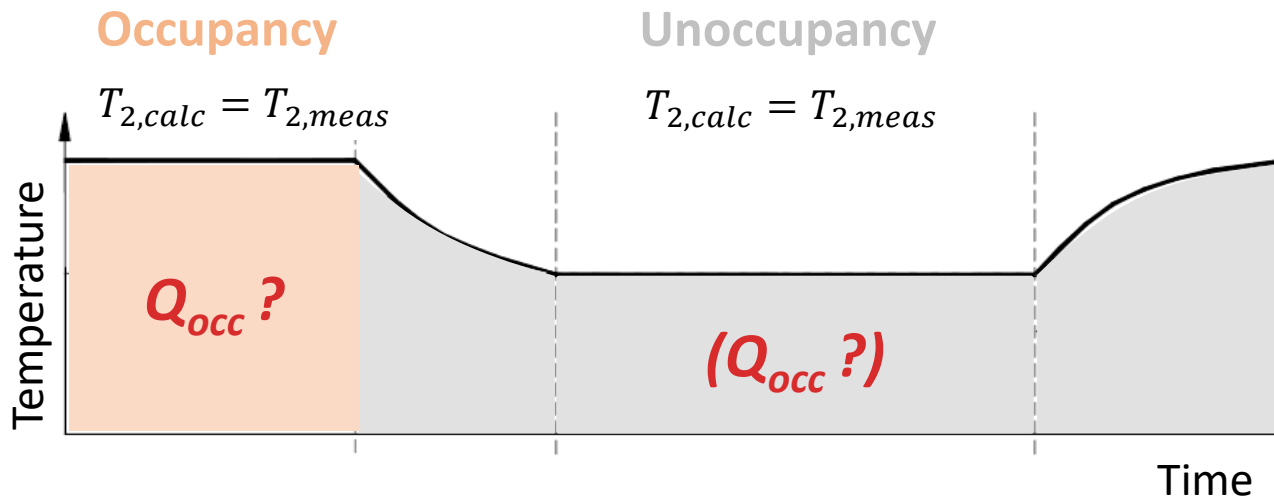


Modellering

Bewoning warmtewinsten



T_0	Buitentemperatuur	°C
T_2	Binnentemperatuur	°C
\dot{Q}_c	Verwarmingsvermogen	W
AI_v	Zonnewarmtewinsten	W
\dot{Q}_{occ}	Bewoning warmtewinsten	W



Overzicht

- ✓ Gegevens
- ✓ Testgevallen: schoolcomplexen
- ✓ Methodologische aanpak
- ✓ Uitsplitsing van het gasenergieverbruik
- ✓ Modellerings
 - Identificatie
 - Validatie
 - Comfort
 - Conclusie

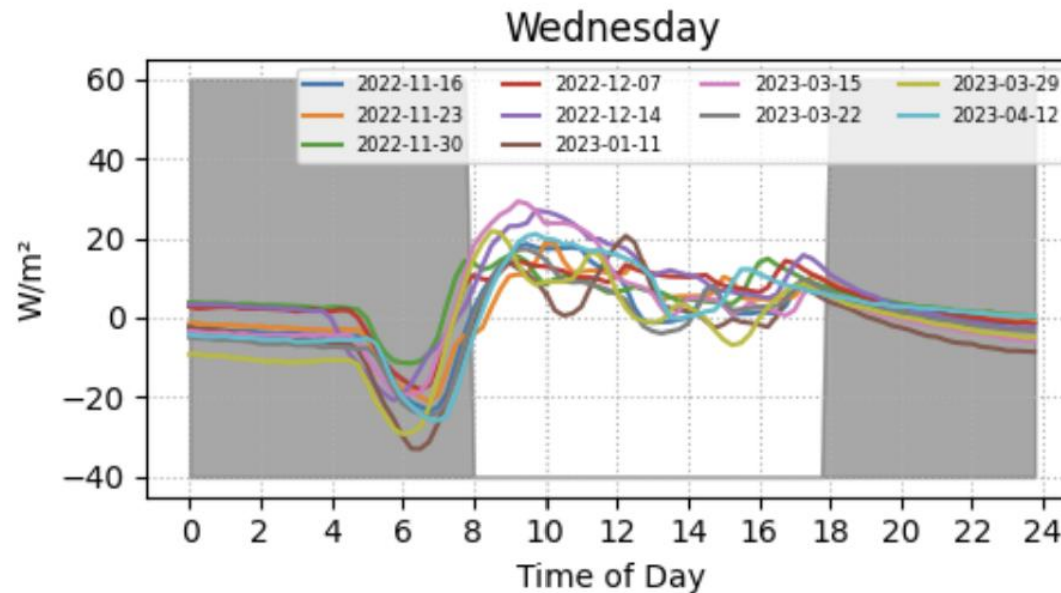
Identificatie

Parameters

Parameters

Testgevallen	U0 (W/K)	U1 (W/K)	U2 (W/K)	HTC (W/K)	tau1 (h)	tau2 (min)	Asol (m ²)
A School	65	1037	21352	1054	167	45	10
B School	1125	338	4530	1440	284	239	26

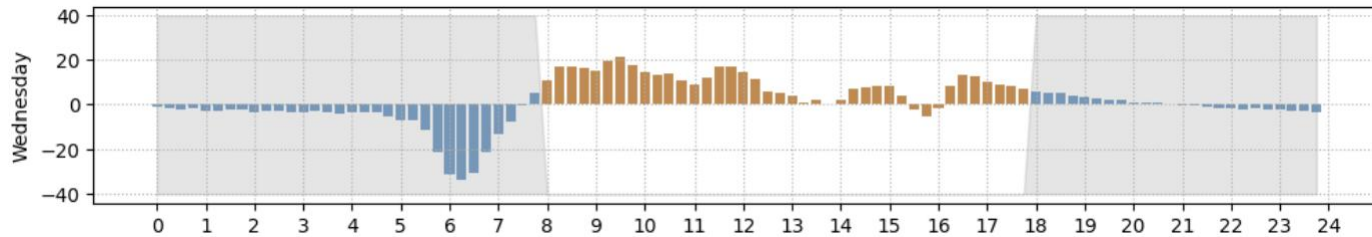
Thermische balanceringsflux (W/m²)



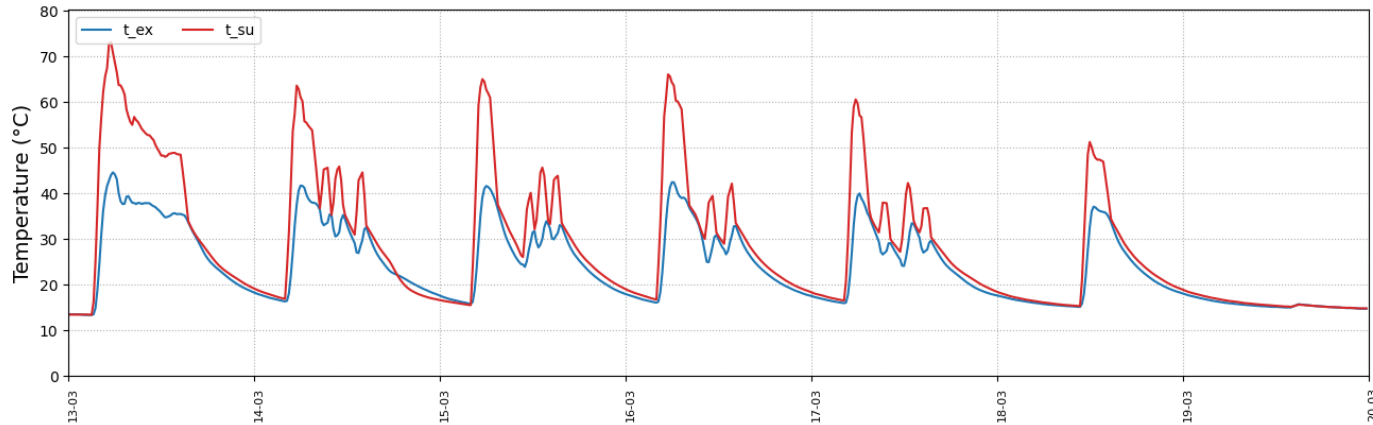
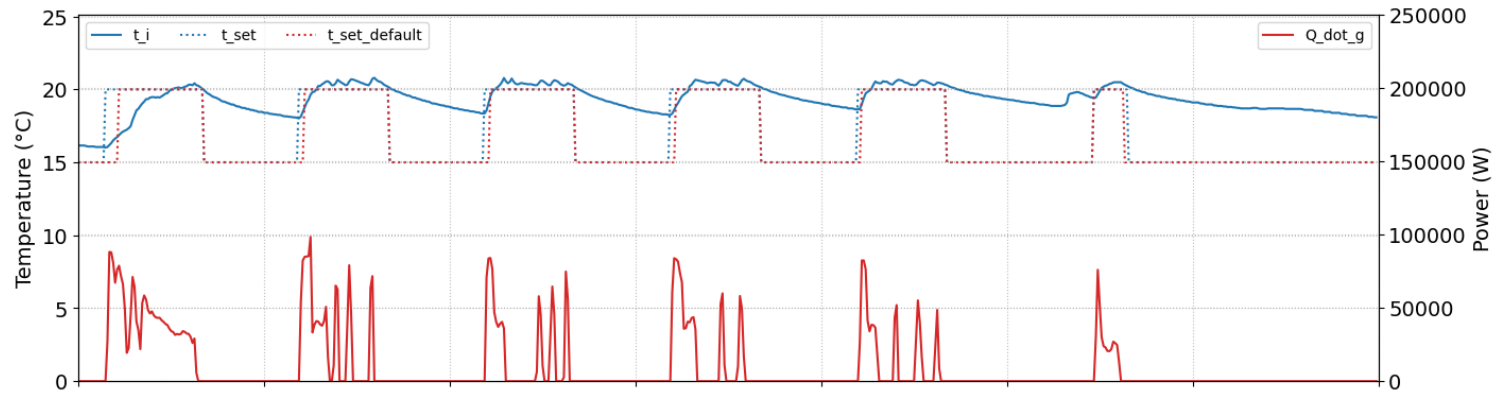
Identificatie

Balanceringsflux

Thermische balanceringsflux (W/m²)

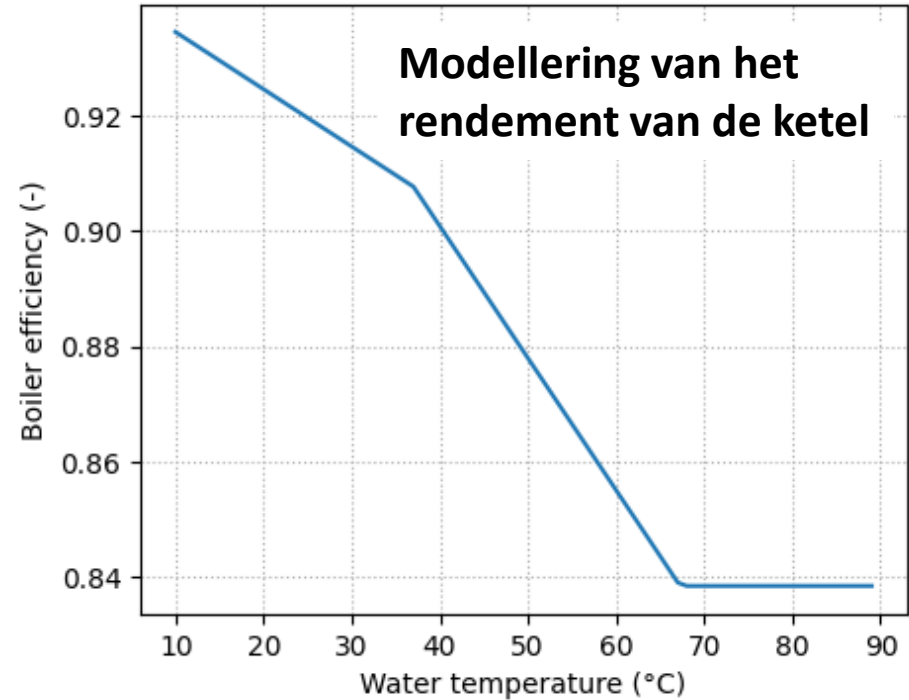
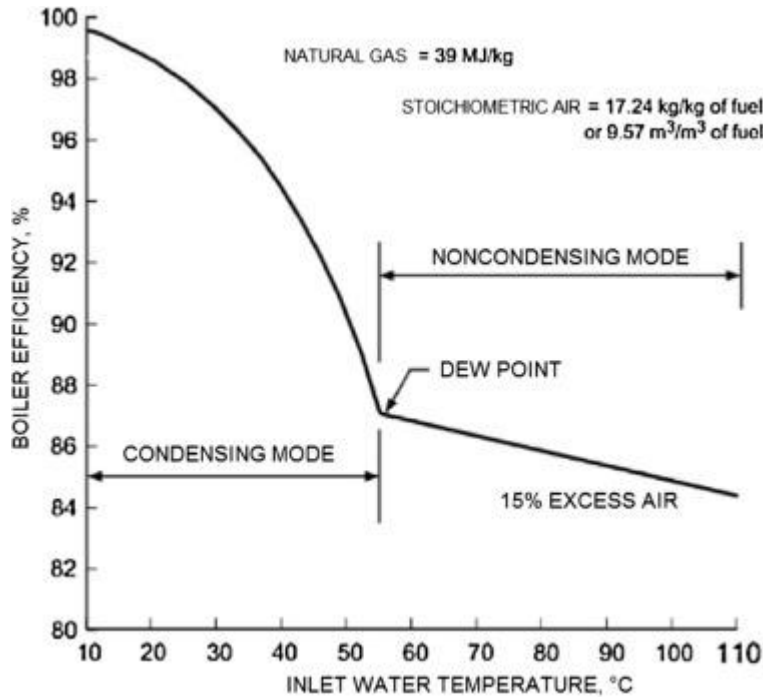


A : 13-03-2023 / 20-03-2023

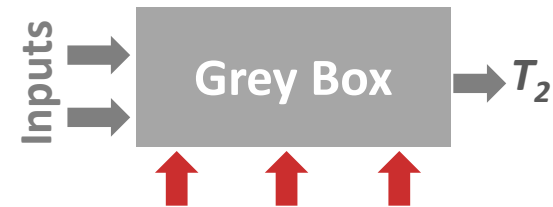


Identificatie

Productie-eenheden



Source : S. Baldi



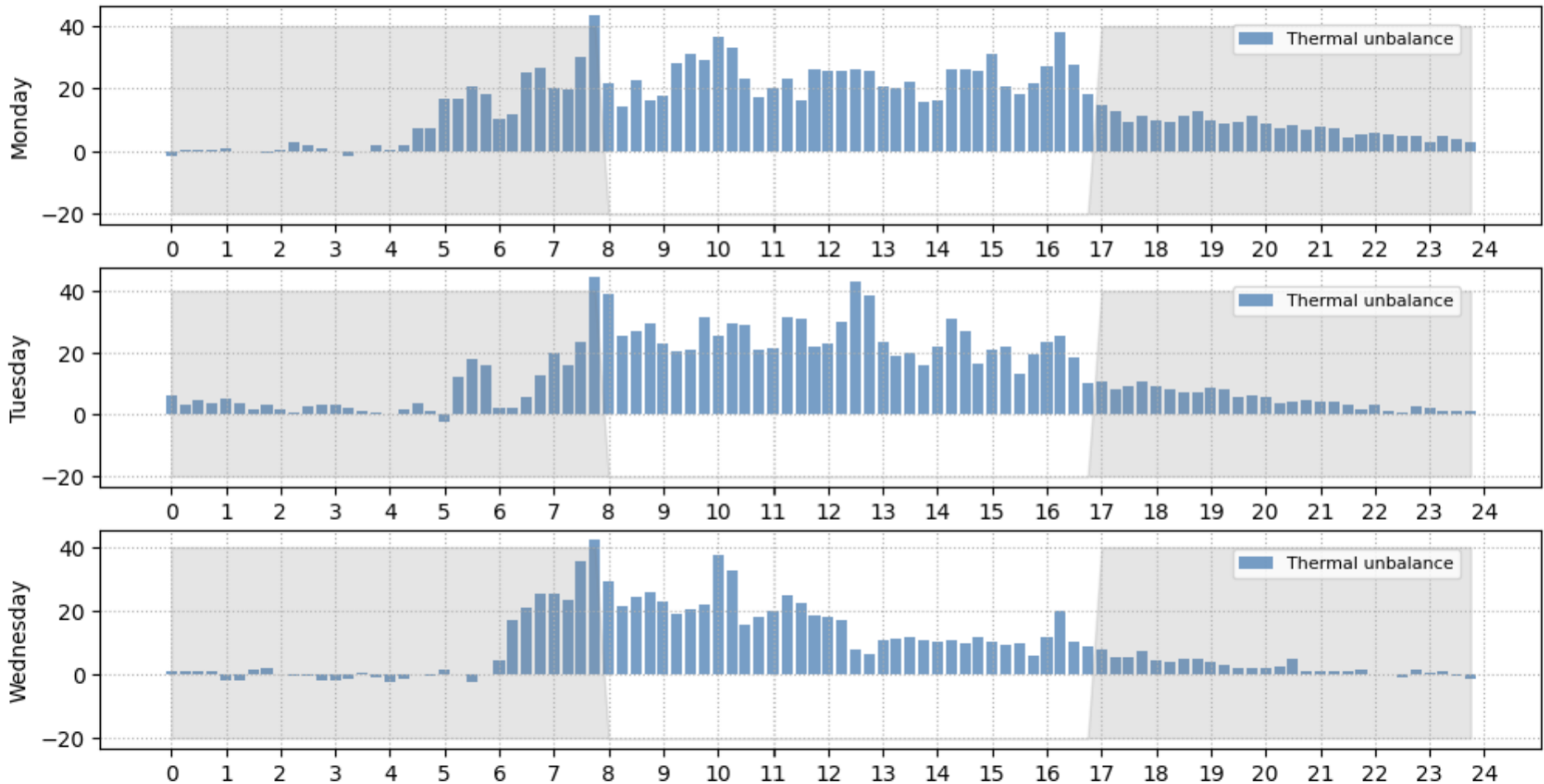
$U_0 U_1 U_2 C_1 C_2 A Q$
 $t_{w1} t_{w2} \eta_0 \eta_1 \eta_2 ?$

Parameters toevoegen aan het dynamische model →

Identificatie

Bewoning warmtewinsten

A1 - Quantile 0.805 thermal unbalance [W/m^2]



Overzicht

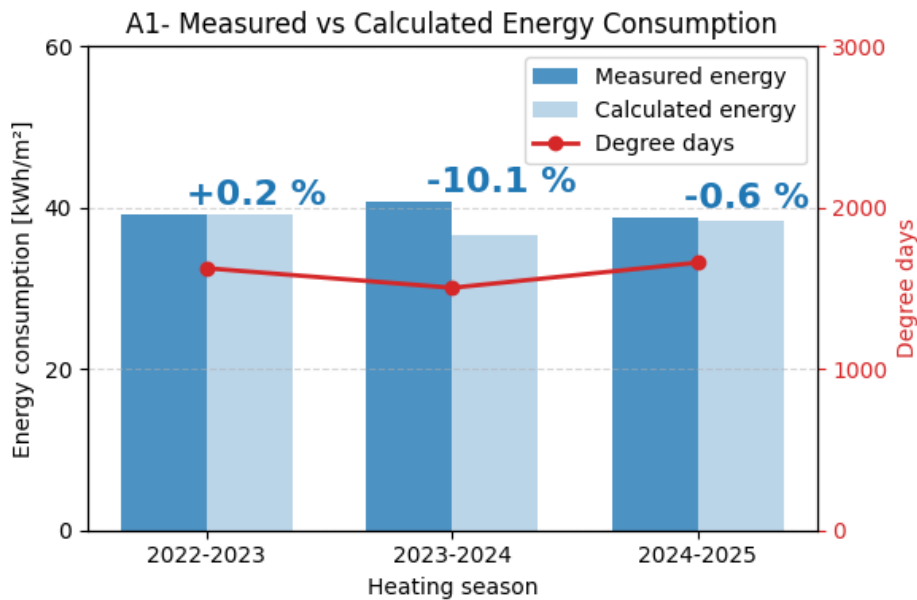
- ✓ Gegevens
- ✓ Testgevallen: schoolcomplexen
- ✓ Methodologische aanpak
- ✓ Uitsplitsing van het gasenergieverbruik
- ✓ Modellerings
- ✓ Identificatie
- Validatie
- Comfort
- Conclusie

Validatie

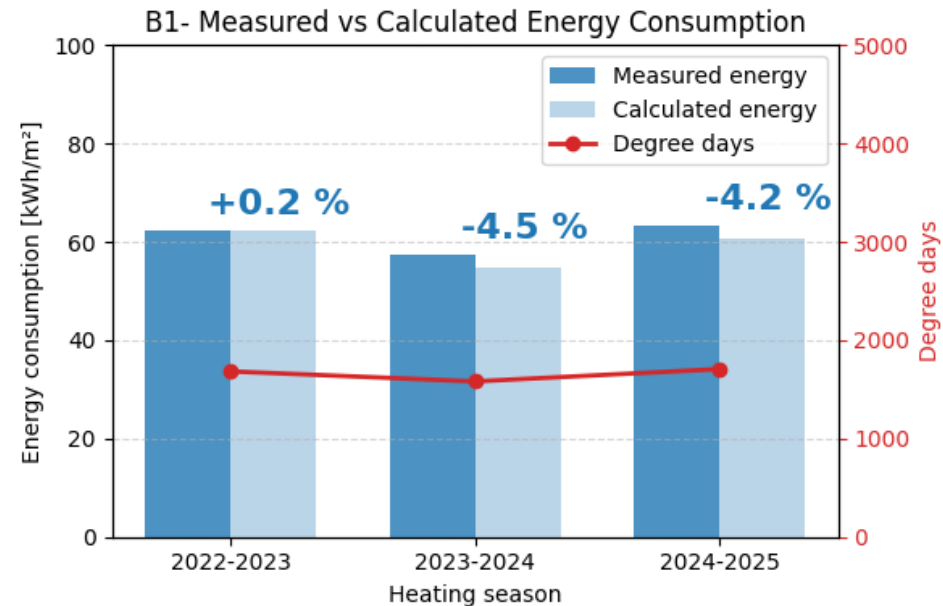
Jaarlijks energieverbruik

Outputs	Precision
Annual consumption	$\pm 3 \%$

A



B



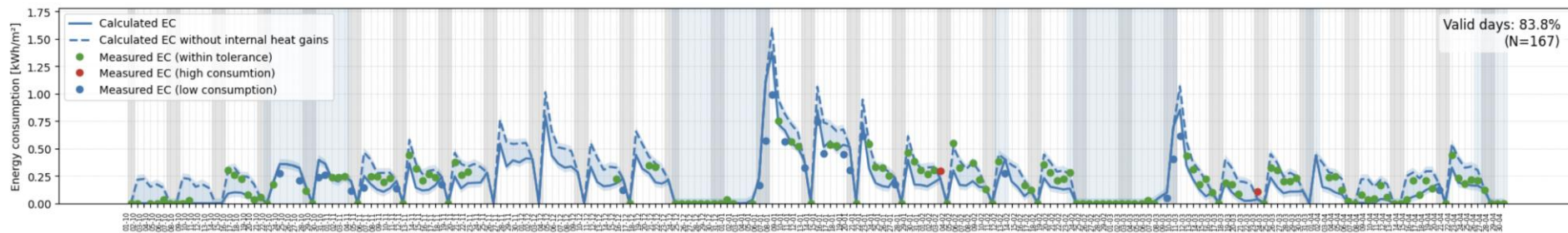
Validatie

Dagelijks energieverbruik

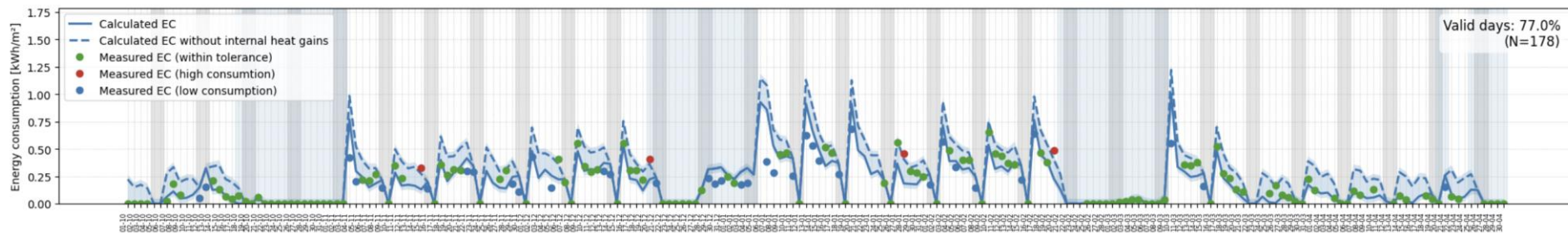
Outputs	Precision
Daily consumption	$\pm 20\%$



A1 - Zone - Energy Consumption by day (Oct 2023 - Apr 2024)



A1 - Zone - Energy Consumption by day (Oct 2024 - Apr 2025)



Validatie

Dagelijks energieverbruik

Outputs

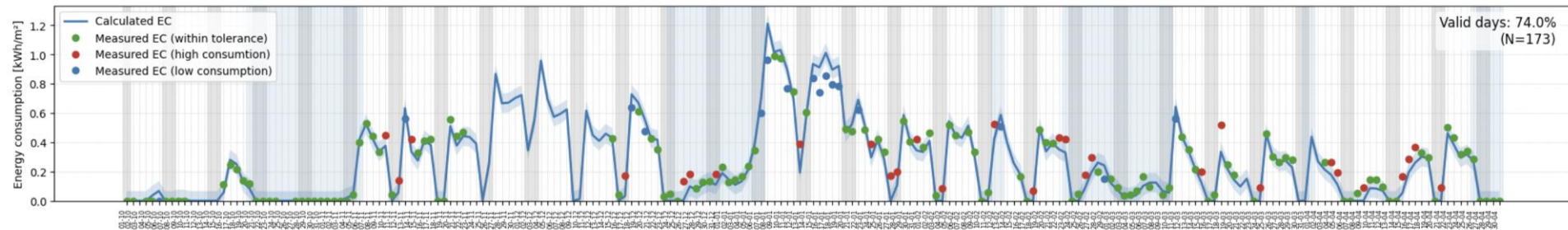
Precision

Daily consumption

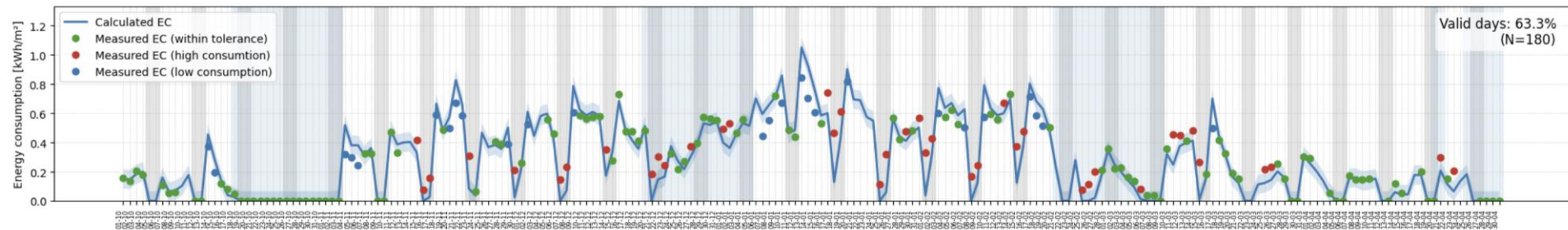
$\pm 20\%$

B

B1 - Zone - Energy Consumption by day (Oct 2023 - Apr 2024)



B1 - Zone - Energy Consumption by day (Oct 2024 - Apr 2025)



Validatie

Berekende binnentemperatuur

Outputs

Precision

Internal temperature

$\leq 1^\circ\text{C}$

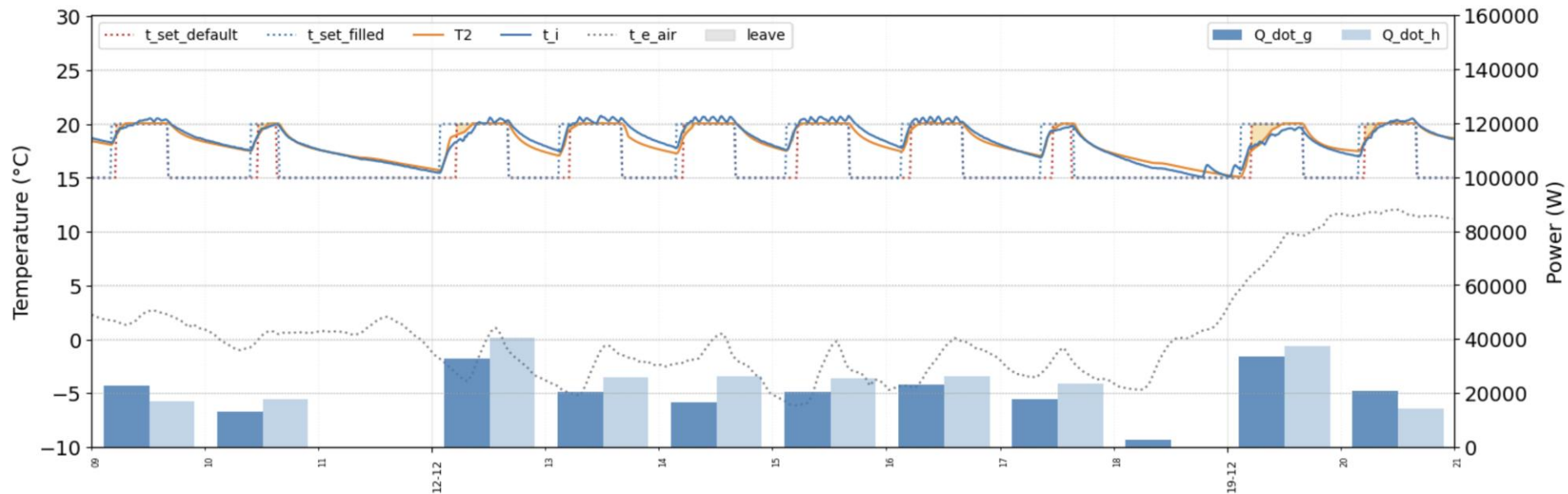
A

RMS 0.57 °C

B

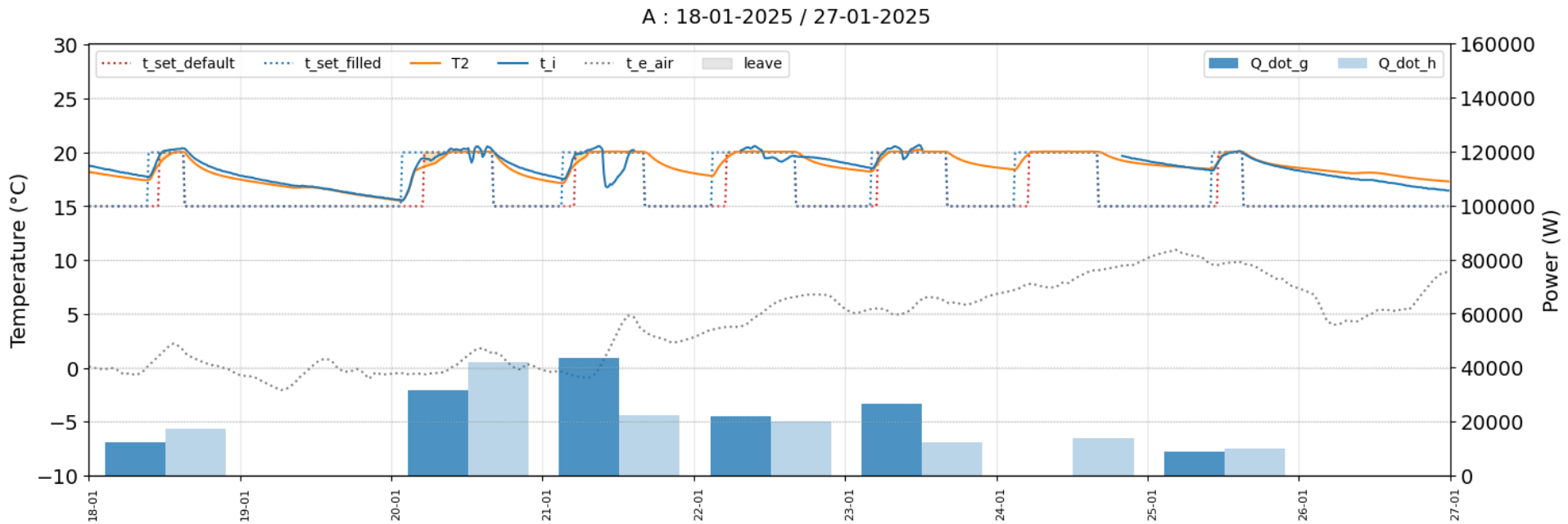
RMS 0.78 °C

A : 09-12-2022 / 21-12-2022



Validatie

Vergelijking van energieverbruik



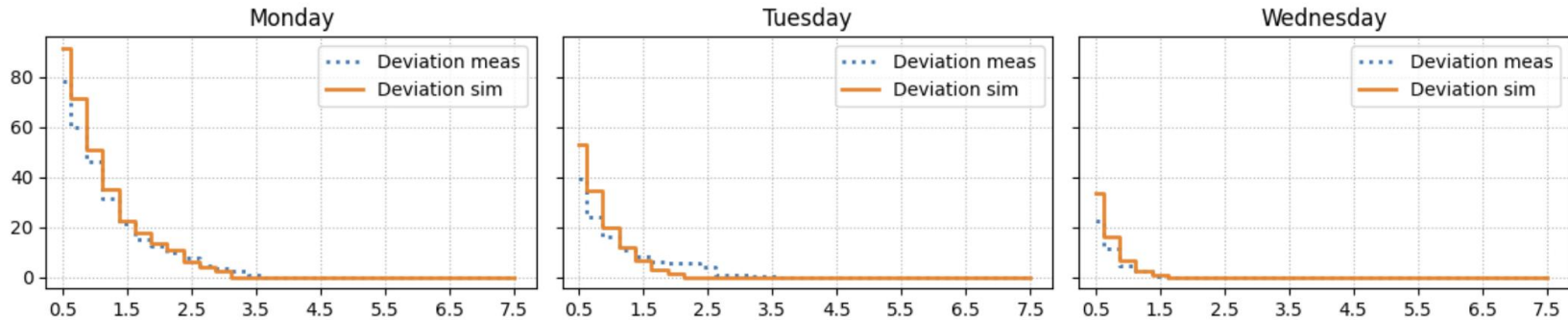
Overzicht

- ✓ Gegevens
- ✓ Testgevallen: schoolcomplexen
- ✓ Methodologische aanpak
- ✓ Uitsplitsing van het gasenergieverbruik
- ✓ Modellerings
- ✓ Identificatie
- ✓ Validatie
- Comfort
- Conclusie

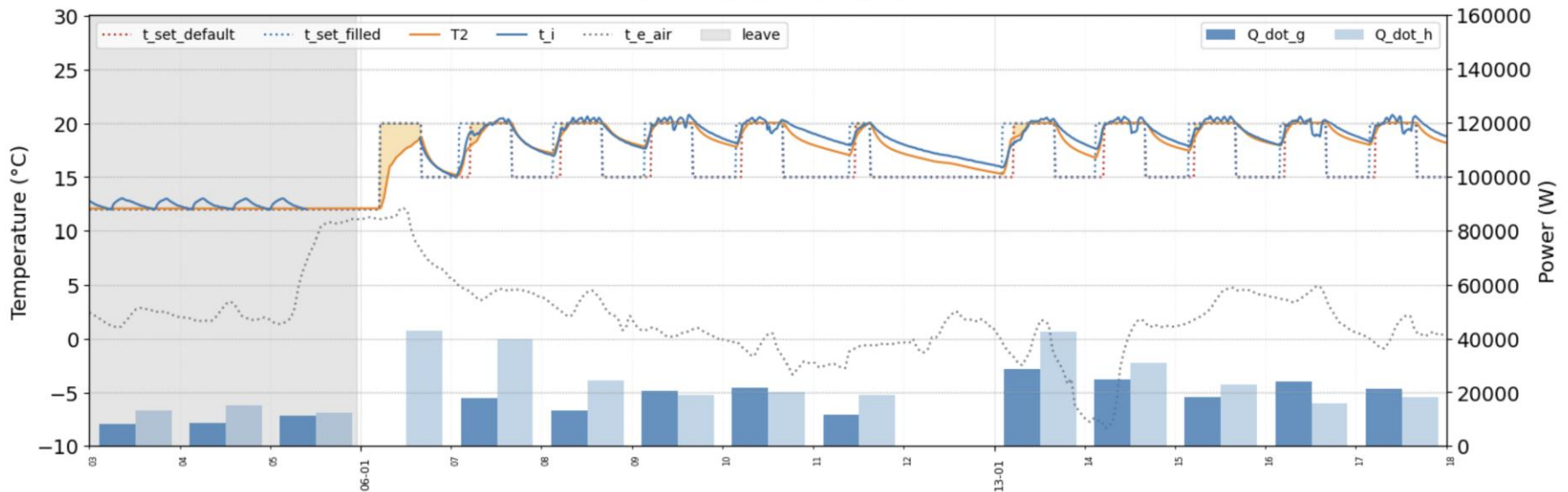
Comfort

Afwijkingen van de ingestelde t°

A



A : 03-01-2025 / 18-01-2025

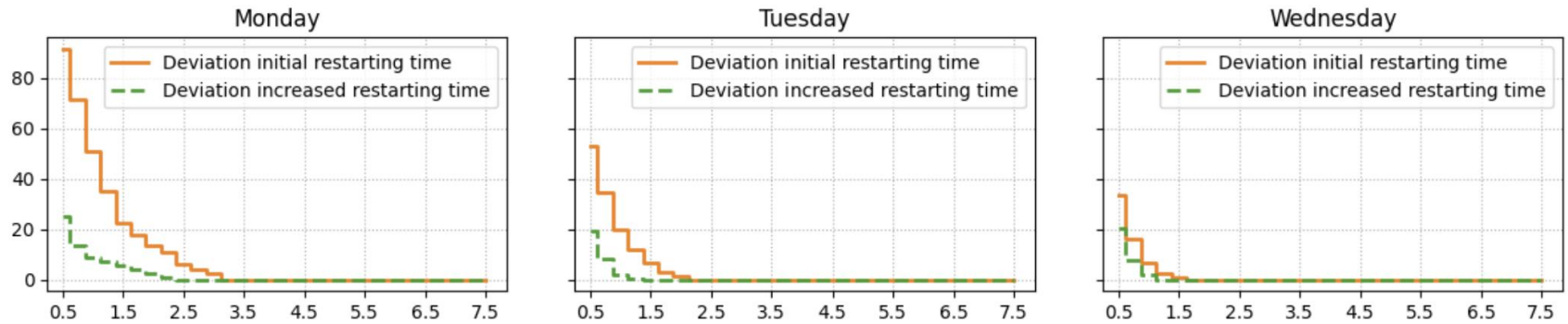


Comfort

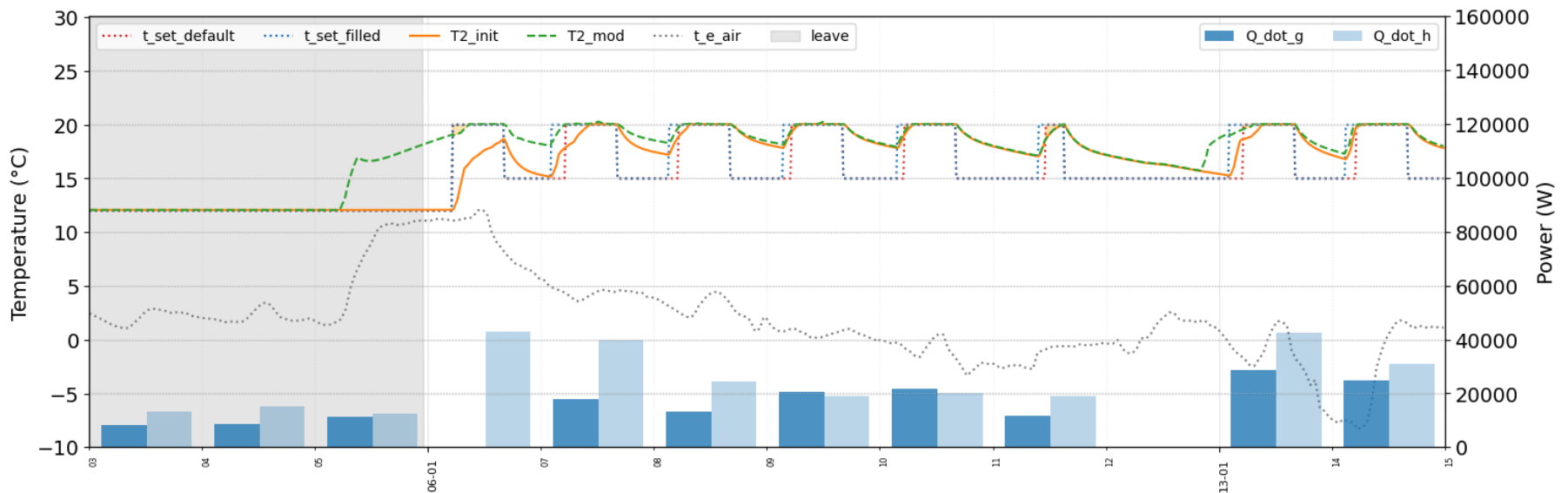
Opstarttijd van de verwarming

A

Verhoogd energieverbruik +3%



A : 03-01-2025 / 15-01-2025



Overzicht

- ✓ Gegevens
- ✓ Testgevallen: schoolcomplexen
- ✓ Methodologische aanpak
- ✓ Uitsplitsing van het gasenergieverbruik
- ✓ Modellerings
- ✓ Identificatie
- ✓ Validatie
- ✓ Comfort
- Conclusie

Conclusie

Gegevens :

Historische weergegevens versus voorspellende gegevens

Opschoning en aanvulling van de gegevens

Gegevensobservatie

Modelidentificatieproces:

Hydraulisch schema van de verwarmingsinstallatie met aanduiding van de temperatuursensoren

Technische fiches van verwarmingsapparatuur

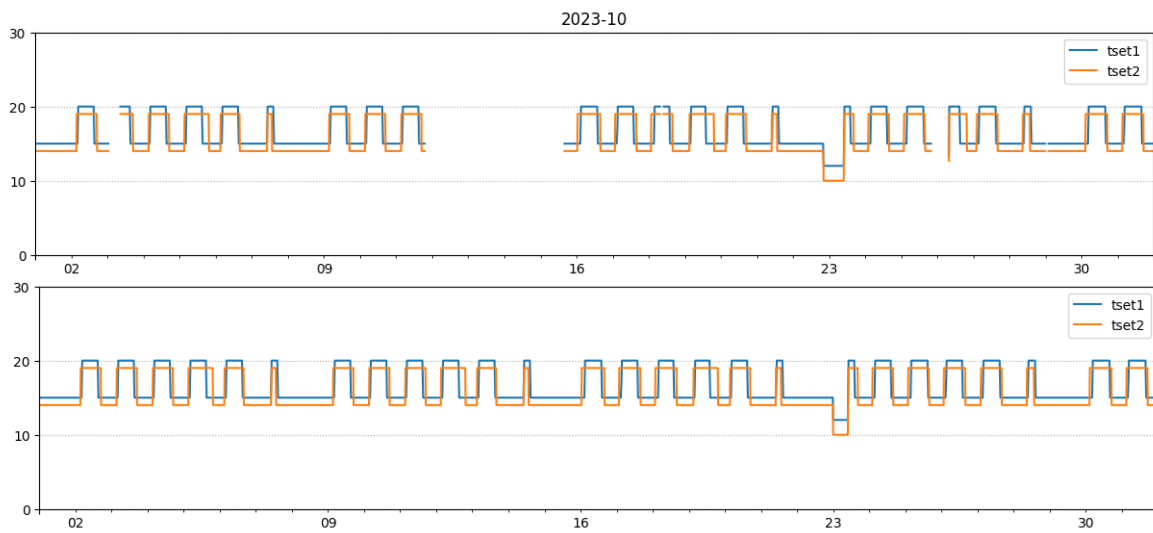
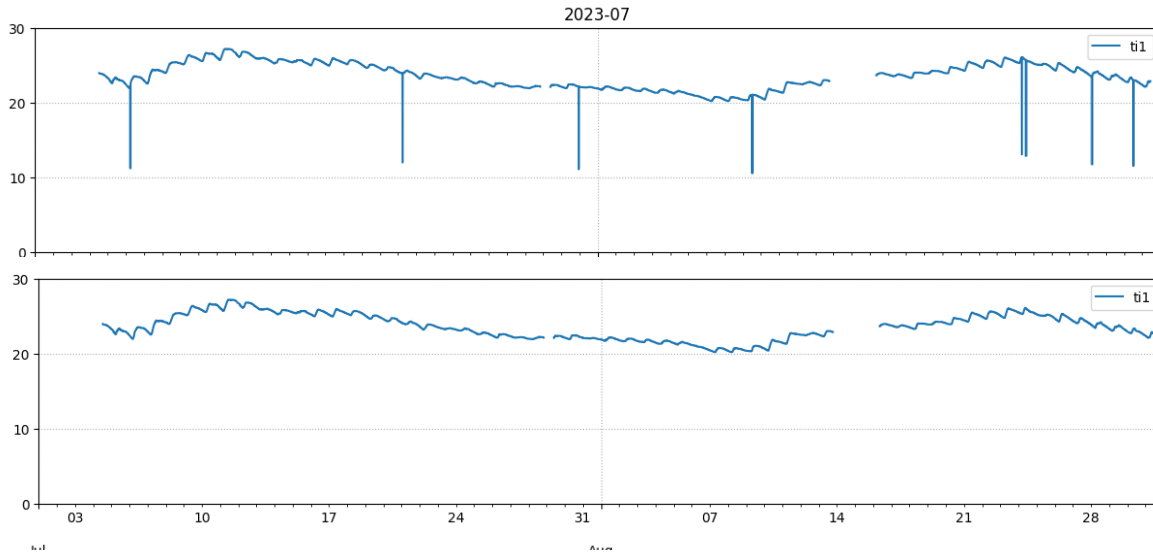
Regelstrategieën van het verwarmingssysteem

Sensorlocaties :

Plaatsing van de buitentemperatuursensor en binnentemperatuursensoren in de schaduw

A

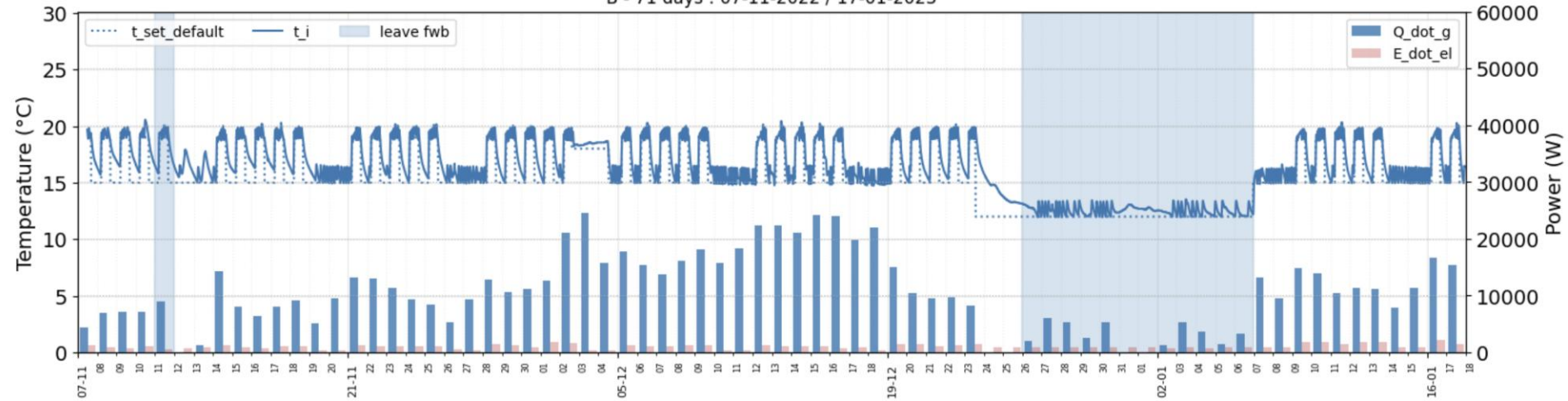
Opschoning en aanvulling van de gegevens



B

Gegevensobservatie

B - 71 days : 07-11-2022 / 17-01-2023

**B**

Plaatsing van de binnentemperatuursensor

B - 56 days : 09-09-2022 / 05-11-2022

