

Ksandr Live XL 2026



ksandr

Het collectieve brein voor de instandhouding
van het Nederlandse elektriciteitsnet.



Van buitentemperatuur tot stationstemperatuur: nauwkeuriger dynamisch belasten van distributietransformatoren

KSANDR LIVEXL – 11 SEPTEMBER 2026

Niek Brekelmans, PhD-onderzoeker

Opbouw van deze workshop

Opening

Introductie project ORKEST

Motivatie

Waarom de binnen-
temperatuur ertoe doet

Wat bepaalt de
temperatuur?

Factoren, model
en resultaten

Conclusie

Interactief: korte blokken wisselen af met inventarisaties en discussie → stel je vragen direct!



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



ORKEST

Tot aan de rand, of net eroverheen?

Netbeheer
Nederland



PHASE TO PHASE

STEDIN^{NET}

TU/e
EINDHOVEN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Technolution



SUNROCK



Project ORKEST

Optimale integratie van flexibiliteit en intelligentie in assets om de **grootschalige integratie van hernieuwbare energiebronnen** (RES) te vergroten, terwijl de betrouwbaarheid gewaarborgd blijft.



Maximaal benutten van de capaciteit van het elektriciteitsnet

- Afweging met betrouwbaarheid / veroudering van componenten
- Assetmanagement combineren met netexploitatie
- Model- en softwareontwikkeling
- Componentbewust ontwerp van het net



Disclaimers



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

ORKEST wordt mede gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. ORKEST valt onder de regeling Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie (MOOI) van de Rijksoverheid.



Dit is een werkdocument en vertegenwoordigt derhalve onderzoek in uitvoering. Dit document geeft de meningen van de auteurs weer en is het resultaat van professioneel onderzoek. Het is niet bedoeld om het standpunt of de meningen van ORKEST of haar leden weer te geven, noch het officiële standpunt van medewerkers. Eventuele fouten zijn de verantwoordelijkheid van de auteurs.



De resultaten in dit bestand kunnen nog veranderen en nader onderzoek vereisen. Sommige informatie is mogelijk nog niet (wetenschappelijk) gepubliceerd en valt onder het auteursrecht van de onderstaande organisaties.

Waarom stationstemperatuur modelleren?

Opening

Waarom modelleren?

Wat bepaalt de
temperatuur?

Conclusie

- Motivatie van temperatuurmodellen
- Thermisch model transformatoren
- Thermische veroudering



Temperatuurmodellen: motivatie



Dynamische belasting



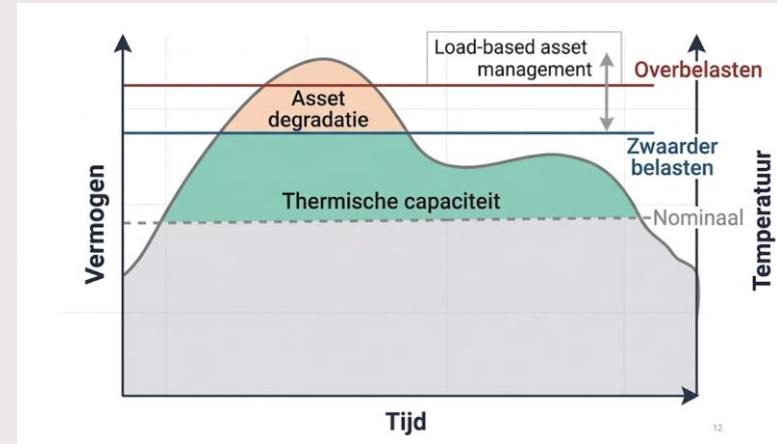
Inzicht in veroudering



Risicomanagement



Verbeterd netontwerp



Wat is de belastingsgraad van jullie transformatoren?

Korte inventarisatie!

0 - 25 %

25 - 50 %

50 - 75 %

75 - 100%

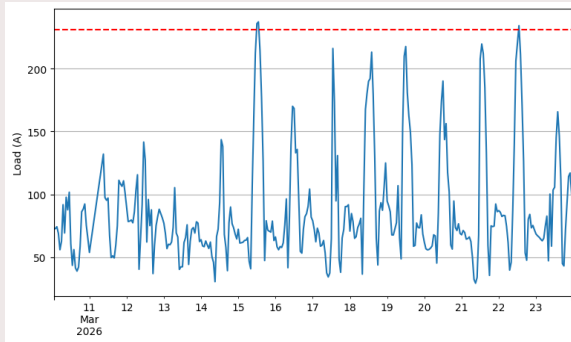
> 100 %

De warmteverliezen zijn pas significant vanaf ongeveer 75%

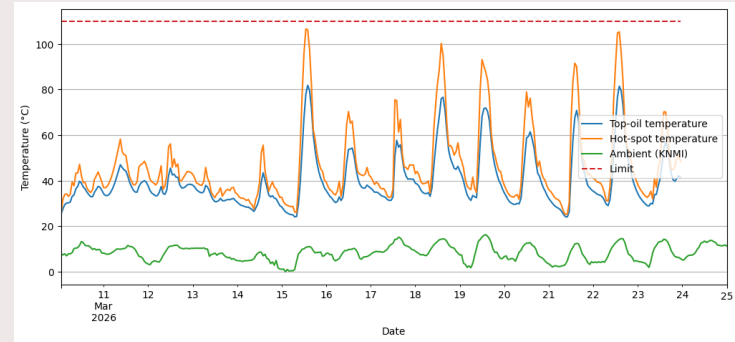
Temperatuur van transformatoren

- IEC 60076-7
- Verliezen schalen met P^2
- Exponentieel response
- Alliander Transformer Thermal Model
 - *tot 30 graden*

Belastingsprofiel



Berekende temperaturen



De prijs van een verkeerd model

Te laag ingeschat

De hot-spot wordt warmer dan het model simuleert

Gevolg: versnelde veroudering

Te hoog ingeschat

Een vaste worst-case marge verkleint de thermische ruimte op ieder moment

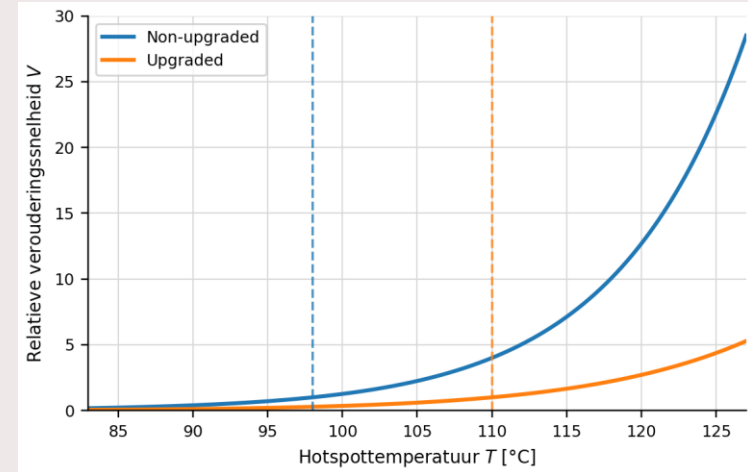
Gevolg: minder ruimte om dynamisch te belasten

Beide fouten zijn kostbaar. De vraag is welke je bewust wilt maken en met hoeveel risico.

Hogere temperatuur, snellere veroudering

Relatieve verouderingssnelheid van het isolatiepapier volgens IEC 60076-7.

Veroudering	non-upgraded	upgraded
Nom. min 15	17%	20%
Nominaal	100%	100%
Nom. plus 15	560%	430%



Vijftien graden erbij is vier a vijf keer zo snelle veroudering

Hoeveel graden warmer is het binnen dan buiten?

Korte inventarisatie

0 - 5 °C

5 - 10 °C

10 - 15 °C

15 - 20 °C

> 20 °C

Wordt stationtemperatuur of transformatortemperatuur gemeten bij jullie?

Drie keuzes voor de omgevingstemperatuur

1

Buitentemperatuur (KNMI)

Het weerstation gaat rechtstreeks het thermische model in als omgevingstemperatuur.

Underschatting → versnelde veroudering

2

Buiten + vaste marge

Een vaste worst-case opslag bovenop de buitentemperatuur, in de praktijk tot 30 °C.

Veilig, maar kost thermische ruimte

3

Model van de stationstemperatuur

De binnentemperatuur volgt uit weer, belasting en de eigenschappen van het station zelf.

Betere benutting, gecontroleerd risico

Wat bepaalt de temperatuur in stations?

Opening

Waarom modelleren?

**Wat bepaalt de
temperatuur?**

Conclusie

- Welke factoren zijn van belang?
- Het model stap voor stap, met de meetdata ernaast



Welke factoren bepalen de temperatuur binnen?

Welke factoren zijn het meest invloedrijk?

Weer

?

Gebouw

?

Transformator

?

Omgeving

?

We vergelijken straks deze lijst met wat er in het model zit

Parameters van het model

WEER

Buitentemperatuur
uit KNMI-data

WEER

Zonnestraling op
dak en gevel

WEER

Regen op de
buitenschil

WEER

Windsnelheid en
windrichting

GEBOUW

Ventilatie

GEBOUW

Materiaal en dikte
van de muren/dak

GEBOUW

Absorptie van
zonnestraling

TRANSFORMATOR

Verliezen van de
transformator

TRANSFORMATOR

Ontwerp van de
transformator

OMGEVING

Schaduw op het
gebouw

Samen vormen ze een RC-netwerk: weerstanden voor de warmtestromen, capaciteiten voor de massa die vertraagd opwarmt.

Wat warmt het station het meeste op?



De zon

Straling op dak en gevel, sterk wisselend over de dag en het seizoen.

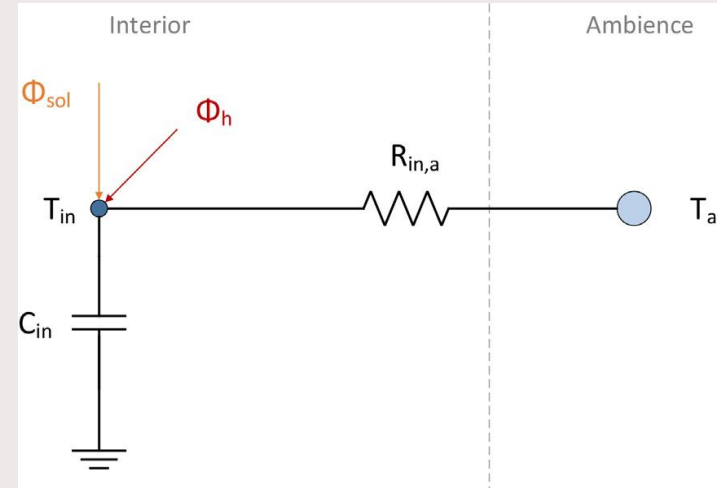


De transformator

Eigen verliezen, die met het kwadraat van de belasting meeschalen.

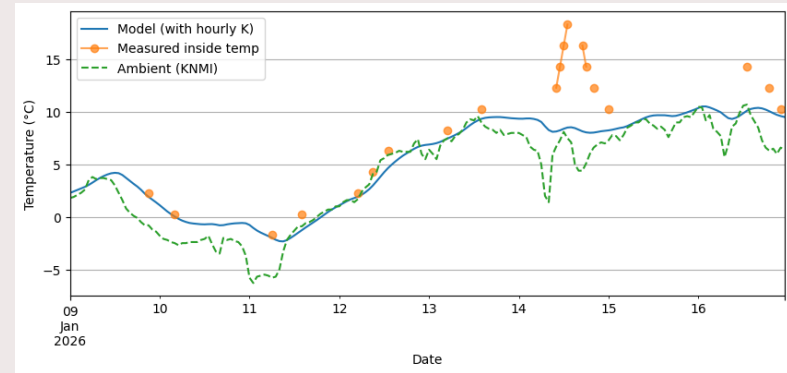
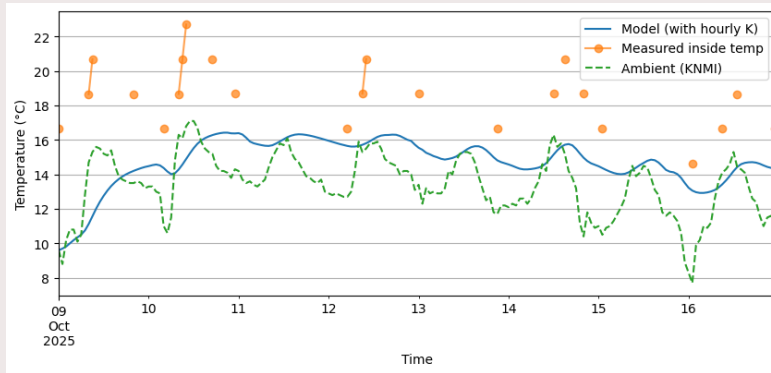
De dominante factor is afhankelijk van de belastinggraad en het weer

Het model: van trafohuisje naar RC-netwerk



Stap 1: Een simpel model

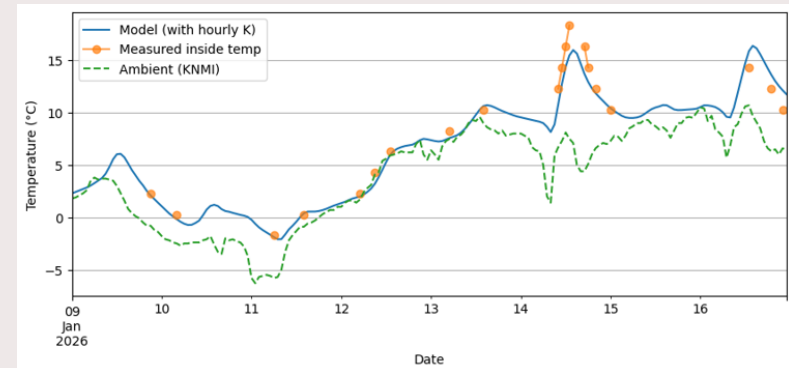
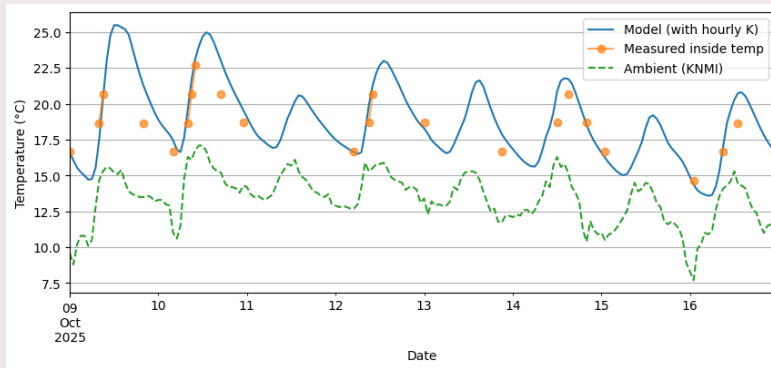
1R1C, inputs van KNMI-buitentemperatuur en de verliezen van de trafo. Links oktober, rechts januari.



Wat mist er hier? Kijk naar de oranje meetpunten ten opzichte van de blauwe lijn.

Stap 2: toevoeging van zonnestraling

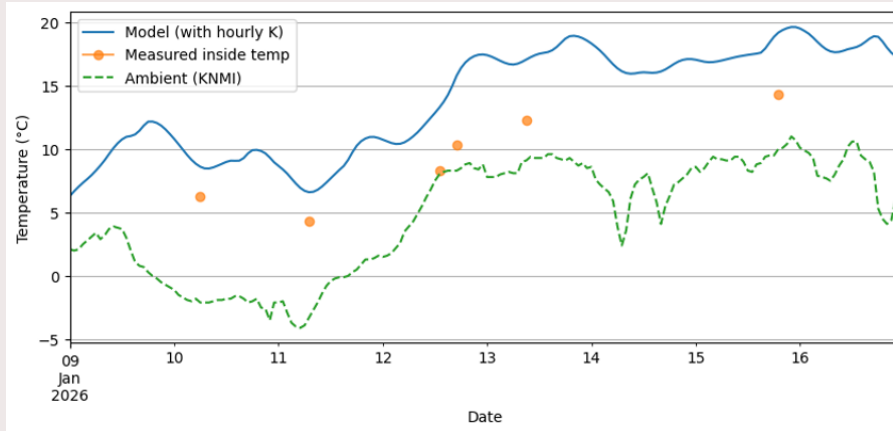
Zelfde model en dezelfde periodes, nu met straling op dak en gevel. Links oktober, rechts januari.



De dagelijkse pieken komen terug. Wat blijft er over aan afwijking?

Stap 3: de invloed van regen

Een natte buitenschil koelt sneller af; zonder die term overschat het model de binnentemperatuur.

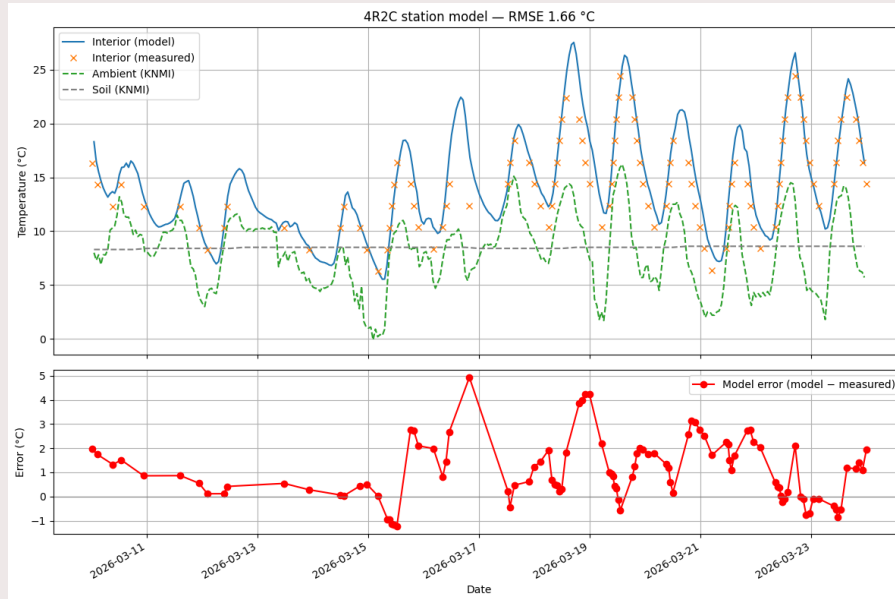


- Blauw loopt structureel boven de meting
- Verdamping op dak en gevel ontbreekt in het model
- Effect is het grootst bij langdurige neerslag
- Richting is gunstig: het model zit aan de veilige kant

Hoe erg is een paar graden afwijking na een regenbui?

Stap 4: het volledige model

Buitentemperatuur, zonnestraling, regen & wind



1,66 °C

RMSE over de hele meetperiode

- Dagcyclus goed gevolgd
- Aantal uitschieters

Het model: van trafohuisje naar RC-netwerk

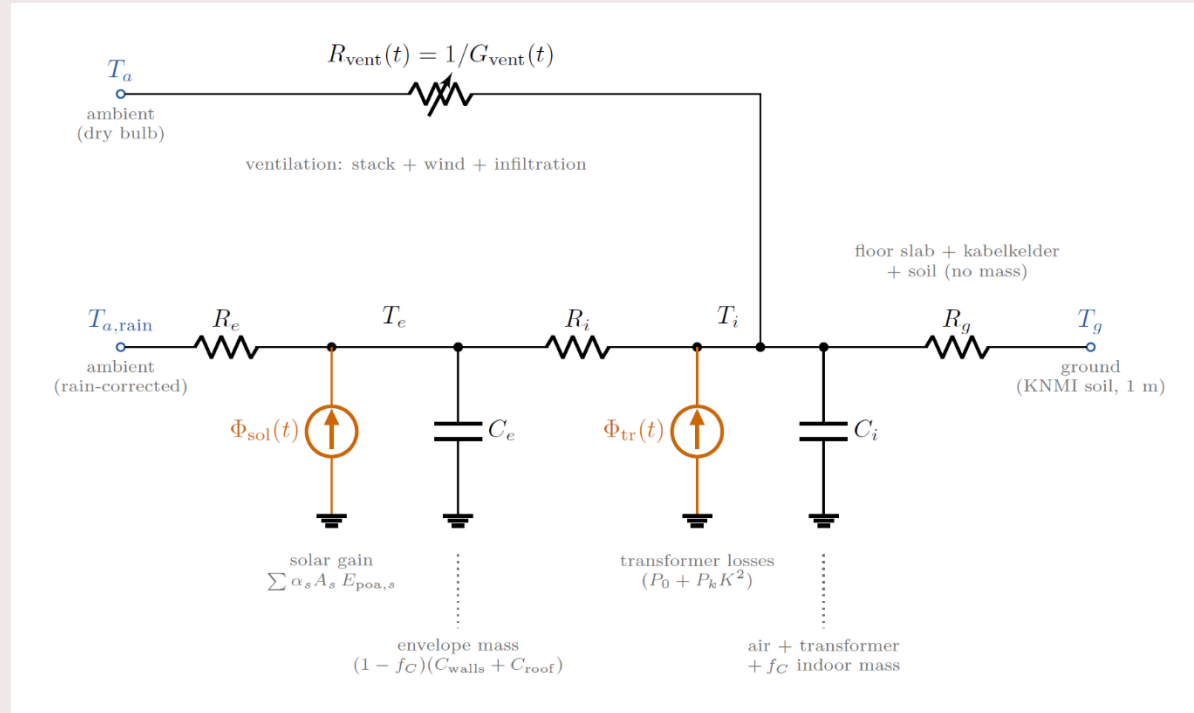
Vier weerstanden, twee capaciteiten

R_{vent} : ventilatie

R_e, C_e : buitenschil met zonwinst en massa

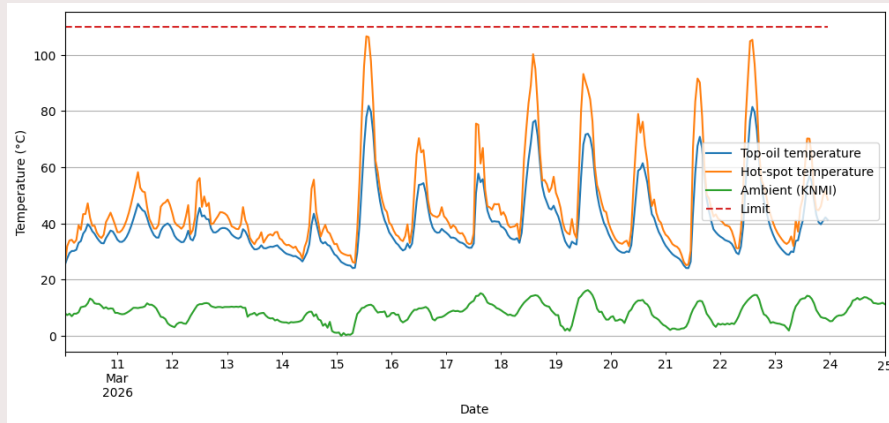
R_i, C_i : binnenlucht en trafo, verliezen als bron

R_g : vloer, kabelkelder en bodem

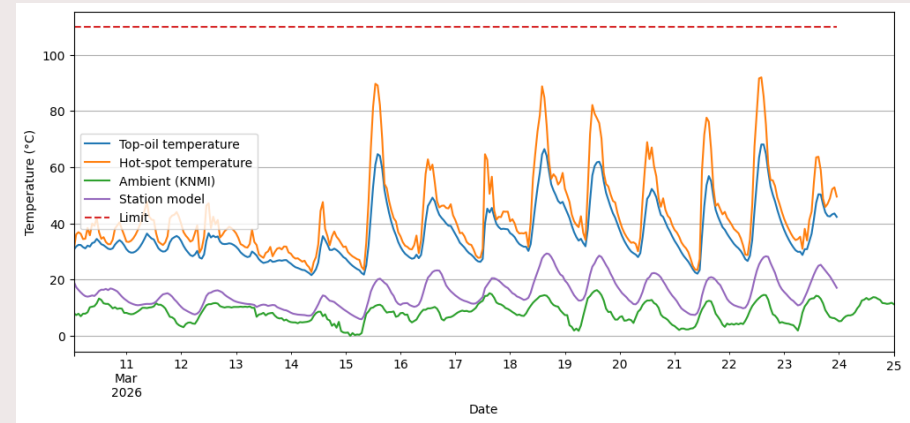


Vergelijking

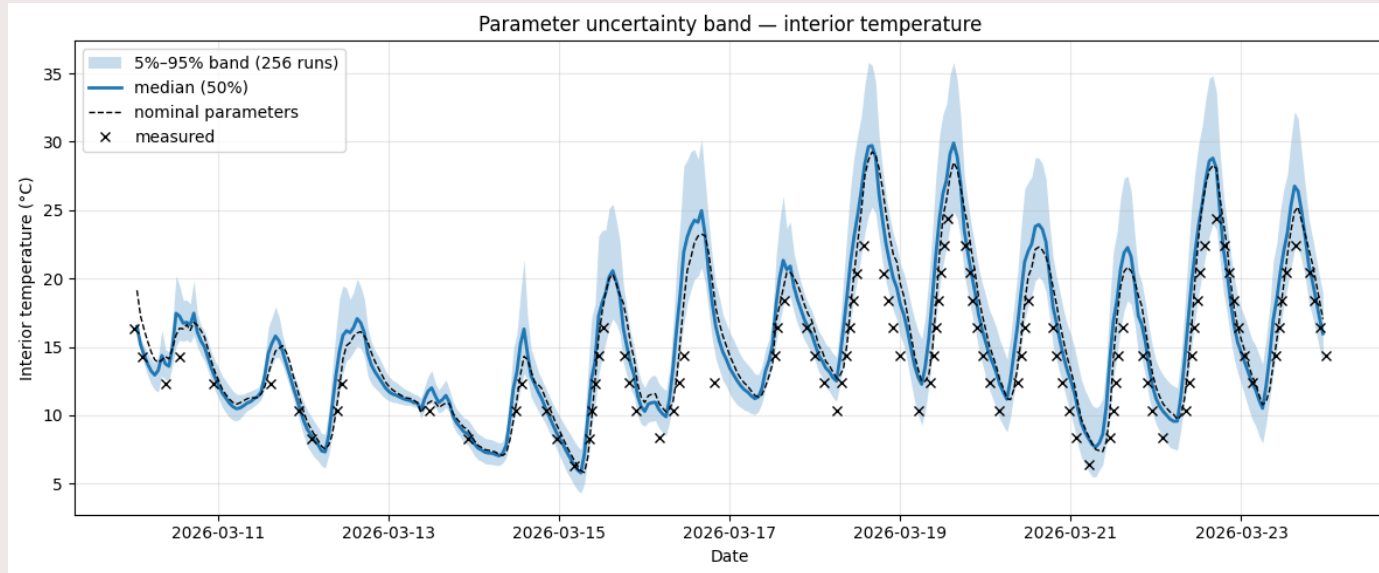
Transformer + amb. temp. surcharge



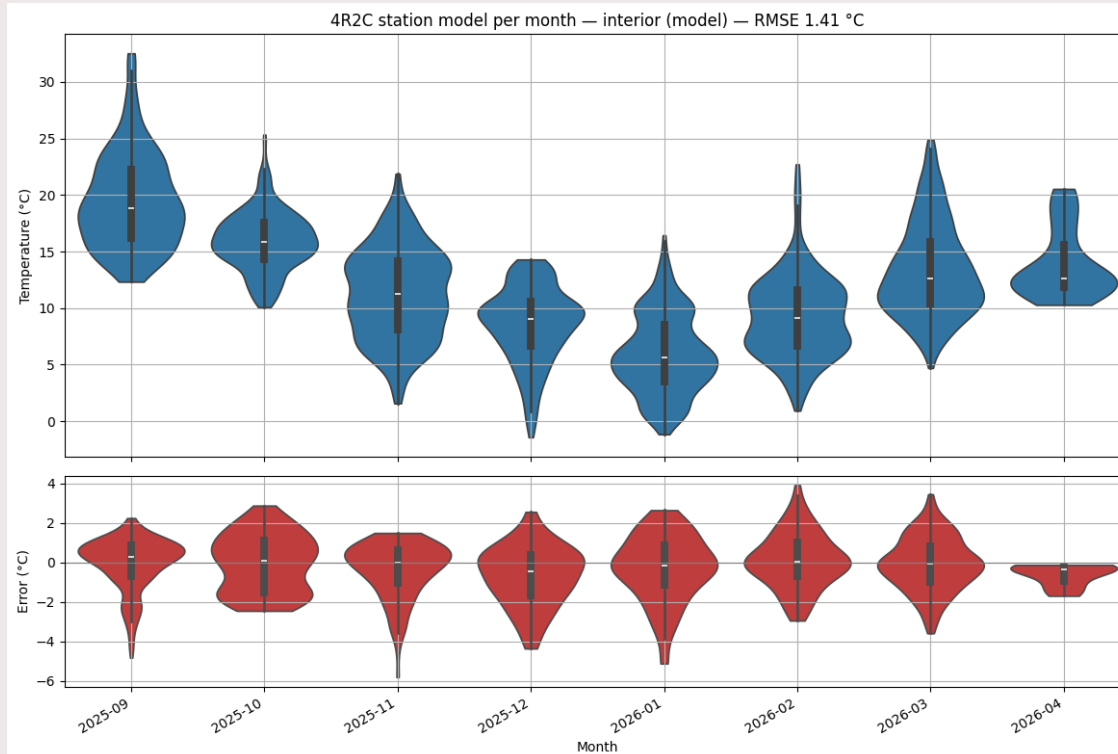
Station + Transformer



Onzekerheidsband van het model



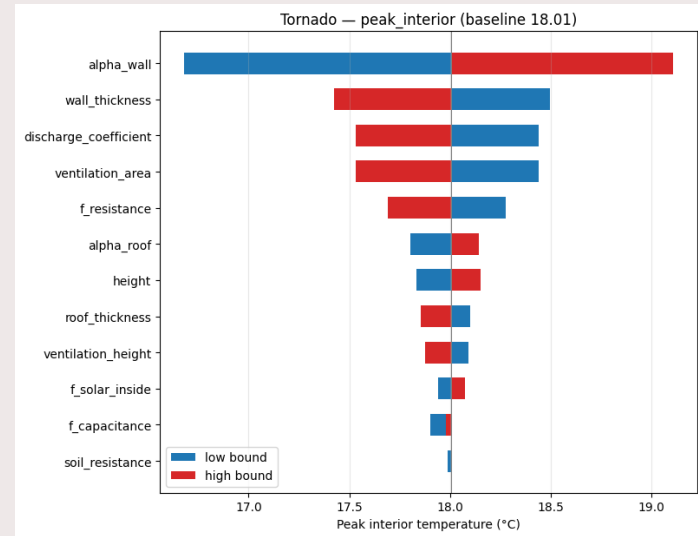
Resultaat over langere periode



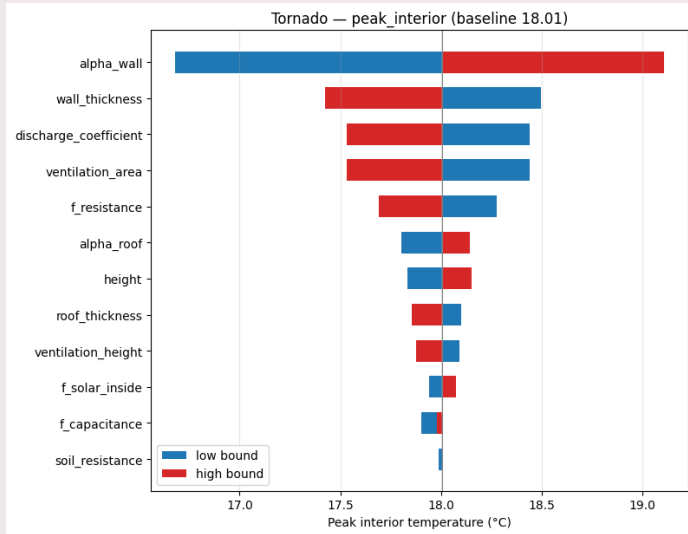
Sensitiviteit: welke parameter doet er echt toe?

Wat we variëren

- Absorptie van zonnestraling
- Ventilatie-openingen
- Thermische massa van muren



Aanbevelingen stationsontwerp



Aanbevelingen

- Witte muren / groene daken
- Schaduw
- Groter ventilatie-oppervlak

Conclusie



Gedetailleerder model



Aanbevelingen stationsontwerp



Meer gebruik van thermische ruimte



Quantificatie onzekerheid voor risicomanagement

We zijn er nog niet...



Validatie

bij hogere belastingsgraad



Opschaling

toepassing op andere
stationtypes



Meer metingen

top-olie, station, etc.

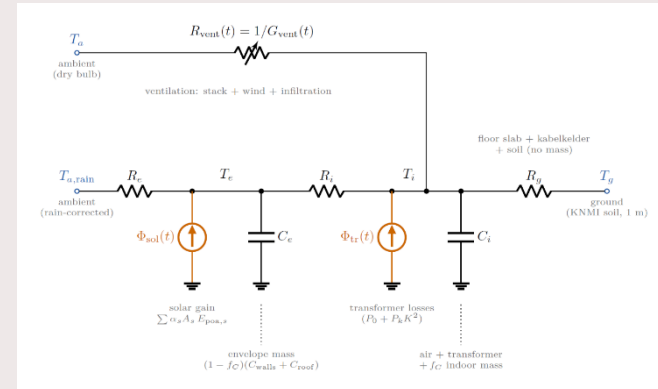
Meer metingen = meer inzicht → samenwerkingen welkom!

Bedankt!

Niek Brekelmans

PhD-onderzoeker · Electrical Energy Systems · Technische Universiteit Eindhoven

n.brekelmans@tue.nl



Ksandr Live XL 2026



Het collectieve brein voor de instandhouding
van het Nederlandse elektriciteitsnet.