



Ministerie van Volkshuisvesting en
Ruimtelijke Ordening



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

TU/e EINDHOVEN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

TNO innovation
for life

Smart  Twin

De Renovatieverkenner

Demo Congres | 13 februari 2026

Vragen rondom woningverduurzaming

- ... Moet mijn woning naar NOM? Label B? De Standaard? Hoe ver moet ik dan isoleren?
- ... Bij een warmtenet van 50 graden, hoe ver moeten de woningen van die wijk dan geïsoleerd worden?
- ... Wanneer is mijn woning klaar voor een warmtepomp? Moet ik de radiatoren dan vervangen?
- ... Wat zijn kosten optimale oplossingen? Zowel op investering als op TCO?
- ... En hoe zit het dan met het comfort in de winter én in de zomer?
- ... En gezondheid van het binnenklimaat?
- ... En belasting van het elektriciteitsnet?
- ... En hoe gaat de bouw standaardiseren en gaan we grootschalig / collectief isoleren?

Vier onderscheidende kenmerken

- klimaat o.b.v. maandgemiddelde
- gemiddelde bewoner
- gemiddelde woning
- paar renovatie-opties
- dynamisch & toekomstig klimaat
- grote variatie gebruikersprofielen
- grote variatie woningkenmerken
- optimaal advies o.b.v. alle renovatie-opties

Wat levert dat op?

op basis van **Dynamisch Rekenmodel**, voor grote **variatie woningen en gebruikers**, vaststellen van een **integraal palet KPI's** (waaronder wintercomfort, zomercomfort, gezond binnenklimaat, warmtevraag, CO₂-uitstoot, TCO, investeringskosten, belasting net, etc.) voor grote **variatie renovatie-oplossingen** (zowel installaties als isolatie)

op basis waarvan we:

- op **woningniveau** de optimale renovatieoplossing(en) kunnen bepalen
- op **clusterniveau** van een aantal woningen de optimale renovatieoplossing van woningen kunnen bepalen (denk aan woningclassificatie / contingentenaanpak)
- op **maatregel- en pakkettenniveau** van aanbieders kunnen bepalen welke renovatieproducten en concepten bij welke woningen en clusters toepasbaar en optimaal zijn
- tot **generaliseerbare inzichten** kunnen komen dankzij integrale parametrische aanpak

Wat levert dat op?

op basis van **Dynamisch Rekenmodel**, voor gro
een **integraal palet KPI's** (waaronder wintercorr
warmtevraag, CO₂-uitstoot, TCO, investeringsko
oplossingen (zowel installaties als isolatie)

op basis waarvan we:

- op **woningniveau** de optimale renovatieoplos
- op **clusterniveau** van een aantal woningen de
bepalen (denk aan woningclassificatie / conti
- op **maatregel- en pakkettenniveau** van aank
concepten bij welke woningen en clusters toe
- tot **generaliseerbare inzichten** kunnen kome

Energy & Buildings 337 (2025) 115611

Contents lists available at ScienceDirect

Energy & Buildings

journal homepage: www.elsevier.com/locate/enbuild

In-depth sensitivity analysis of heating demand and overheating in Dutch terraced houses using interpretable machine learning

Alexis Cvetkov-Iliev^{b,*}, Vasilis Soulios^a, Luyi Xu^a, Günsu Merin Abbas^a, Evangelos Kyrrou^a, Lisanne Havinga^a, Pieter Jan Hoes^a, Roel Loonen^a, Joaquin Vanschoren^b

^a Eindhoven University of Technology, Department of Mathematics and Computer Science, the Netherlands
^b Eindhoven University of Technology, Department of Built Environment, the Netherlands

ARTICLE INFO

Keywords:
Sensitivity analysis
Building performance
Machine learning
Surrogate model

ABSTRACT

Sensitivity analyses are often performed to facilitate the design or modeling of complex building systems by focusing on the most influential parameters. However, the insights they produce are generally limited to a ranking of the parameters' impact. Instead, many applications could benefit from more advanced insights, such as how these impacts vary across different parameter values and scenarios. In addition, sensitivity analysis results should be easily interpretable to facilitate subsequent decision making. With these goals in mind, this paper introduces a novel sensitivity analysis method based on partial dependence (PD) plots. PD plots are further combined with dictionary learning, advanced visualizations, and surrogate models to facilitate their analysis and reduce their computational cost. Using this method, the effect of 26 parameters on heating demand and overheating in Dutch terraced houses is investigated. Two surrogate models are trained on 66,000 EnergyPlus simulations to predict the annual heating demand and percentage of overheating hours with excellent precision ($\approx 3-4\%$ of percentage error). The benefits of our approach are demonstrated through 3 use cases: 1) a comparison of the impact and energy-overheating trade-off of insulation measures across various scenarios, 2) improving the design of parametric simulations by eliminating redundant parameter values, and 3) uncovering complex behaviors in simulation or surrogate models, to build trust in them and diagnose potential modeling or training errors. Finally, our results suggest that surrogate models can be trained on much less data (1000-3000) without compromising sensitivity analysis results.

1. Introduction

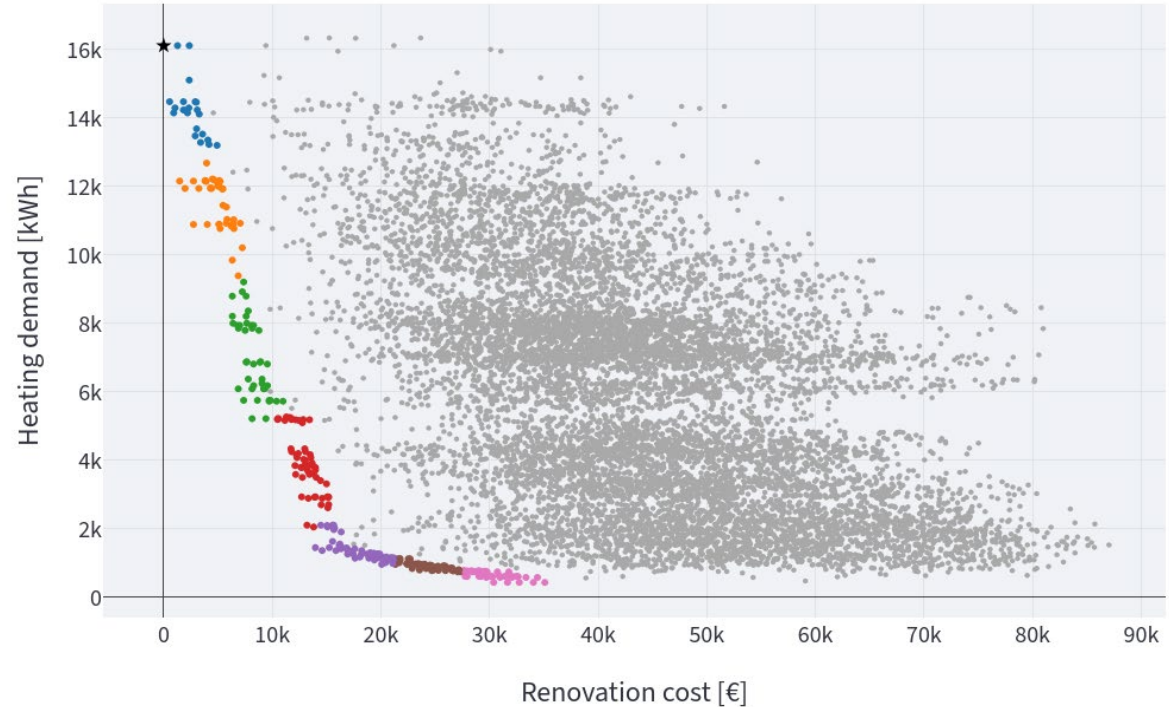
Building energy simulation tools such as EnergyPlus, ESP-r, or TRN-SYS [1] are widely used to assess building performance and evalu-

dictions [14,15], prioritize data collection efforts [16], or identify robust building designs [17].

4. Building trust and comprehension in the model, as well as diagnosing potential modeling errors.

Optimalisaties

Trade-off optimalisatie



Optimalisaties

Maar **dezelfde soort trade-offs bestaan ook tussen andere KPI's...**

- investering en netbelasting
- oververhitting en warmtevraag
- luchtkwaliteit en warmtevraag
- (operationele en materiaal emissies)

Die kan je toepassen als **'filter' op basis van harde eisen of 'klassen'**

Of **integraal kan meenemen in de optimalisatie**

... van 2D pareto naar **8D pareto?**

Demo

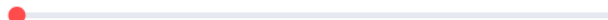
[About](#)[Housing
characteristics](#)[Renovation
measures](#)[Occupant
behavior and
future scenarios](#)[Optimization](#)[Results](#)[Report a bug](#)

House geometry

Huisbreedte [m] (NIET
GEÏMPLEMENTEERD)

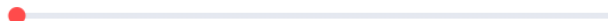


4.00



Huislengte [m] (NIET GEÏMPLEMENTEERD) ?

6.00



Daktype (NIET GEÏMPLEMENTEERD)

Pitched



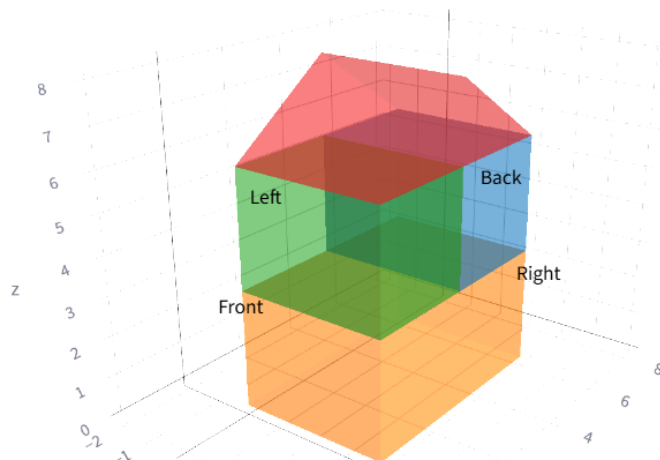
Dakoriëntatie (NIET GEÏMPLEMENTEERD)

Front-Back



Dakhoogte [m] (NIET GEÏMPLEMENTEERD)

Visualization



 About Housing
characteristics Renovation
measures **Occupant
behavior and
future
scenarios** Optimization Results Report a bug☐ Gebruik geavanceerde modus voor het instellen van het gedrag van bewoners

[Huidig] Aantal bewoners

2



[Huidig] Bewonersprofiel

Energie bewust



[Toekomstig] Bewonersprofiel

Niet energie bewust



Weerscenario

Jaar 2018



 About Housing
characteristics Renovation
measures Occupant
behavior and
future scenarios **Optimization** Results Report a bug

Simulate renovation packages

Run simulations

Simulated 1,555,200 renovation packages in 1m 44s.

Run optimization

☐ Gebruikt geavanceerde modus voor optimalisatie-instellingen

Run optimization

☐ Gebruikt geavanceerde modus voor optimalisatie-instellingen

Comfortniveau vereiste

Good



TCO-bereik (in jaren)

30



KPI om te optimaliseren

CO2 emissions [kgCO2]



Run optimization

Run optimization

☐ Gebruikt geavanceerde modus voor optimalisatie-instellingen

Comfortniveau vereiste

Good



TCO-bereik (in jaren)

30



KPI om te optimaliseren

CO2 emissions [kgCO2]



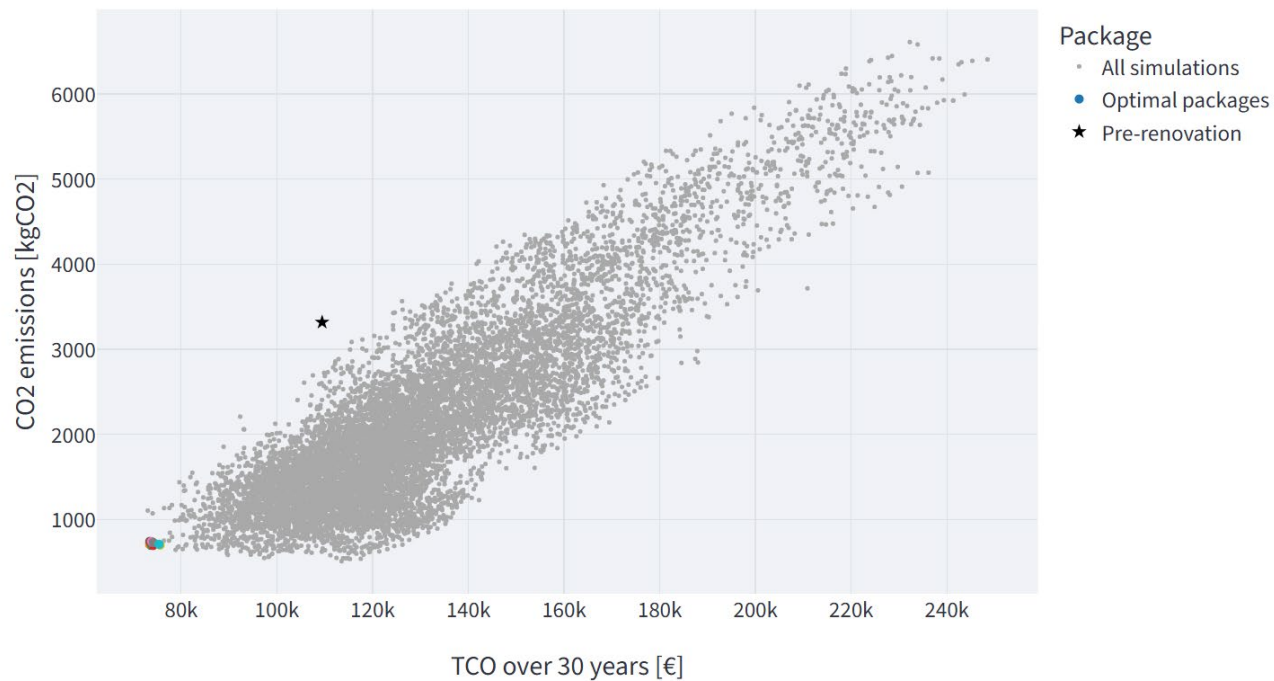
Run optimization

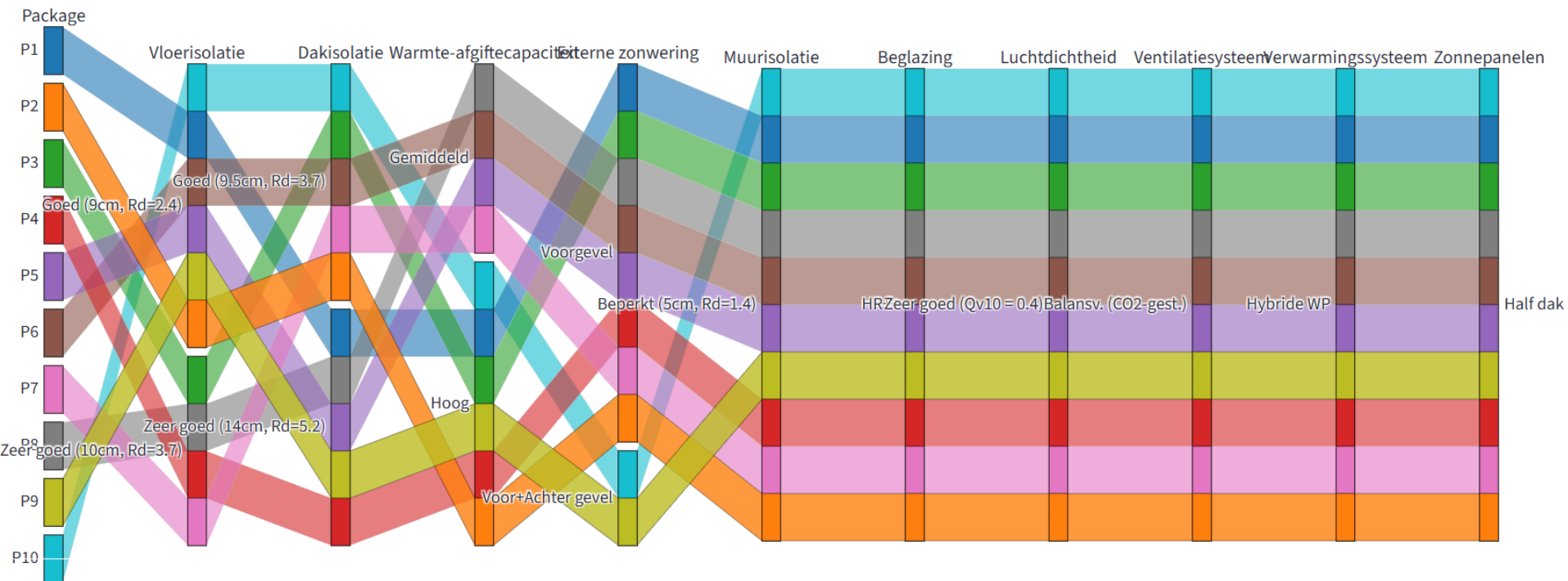
- 67% of renovation packages meet summer comfort.
- 69% of renovation packages meet winter comfort.
- 56% of renovation packages meet air quality.
- 25% of renovation packages meet all requirements.

Found 10 optimal renovation packages.

[About](#)[Housing
characteristics](#)[Renovation
measures](#)[Occupant
behavior and
future scenarios](#)[Optimization](#)[Results](#)[Report a bug](#)

⋮

CO₂ emissions [kgCO₂] vs TCO over 30 years [€]

[About](#)[Housing
characteristics](#)[Renovation
measures](#)[Occupant
behavior and
future scenarios](#)[Optimization](#)[Results](#)[Report a bug](#)

Demo

Meer informatie?

- Spreek ons aan op dit event!
- Ga naar onze website, tue.nl en zoek naar Renovatieverkenner
- **4 juni congres** aan de TU Eindhoven : **open source lancering** van de Renovatieverkenner
Aanmelden? Mail naar: renovatieverkenner@tue.nl