

TNO PUBLIEK

Mobility & Built Environment
Molengraaffsingel 8
2629 JD Delft

TNO-rapport

www.tno.nl

TNO 2023 R10379

AI for Renovation (AI4R)

Datum	6 maart 2023
Auteur(s)	Rogier Donkervoort Behrouz Eslami Missallam Paolo de Heer Pim van der Helm Stan Klerks Marco Bakker

Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	8
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	
Projectnaam	
Projectnummer	060.46723

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2023 TNO

TNO PUBLIEK

Openbare samenvatting

Introductie

Het volledige Nederlandse woningbestand in korte tijd aanpassen tot goed geïsoleerde en duurzaam verwarmde woningen. Dat is de grote opgave waar de gebouwde omgeving voor staat. Oplossingen hiervoor zijn beschikbaar en toegepast in veel pilotprojecten of op projectbasis. De praktijk leert dat energetische renovaties simpelweg vaak een (te) grote diversiteit aan projectafhankelijke/-specifieke oplossingen vragen waardoor deze lastig tot niet herhaalbaar blijken in een volgend project. Die werkwijze biedt onvoldoende potentieel voor opschaling om de woningvoorraad in de komende decennia te verduurzamen. Het proces (van acquisitie tot oplevering) is te arbeidsintensief wat een negatief effect heeft op de betaalbaarheid van de oplossingen maar ook op de capaciteit van de sector om voldoende woningen te verduurzamen.

TNO is een ontwikkeling gestart waarmee het opschalingspotentieel van verduurzamingsoplossingen gemaximaliseerd kan worden¹; de zogenaamde contingentenaanpak. Een contingent, of cluster, is een verzameling van woningen waarop een (eerder succesvol geïmplementeerde) verduurzamingsoplossing kansrijk herhaalbaar kan worden toegepast. Dit resulteert per verduurzamingsoplossing in een eigen contingent, die mogelijk overlappen. Het betreft een AI-gebaseerde aanpak waarin op basis van openbare datasets inzicht wordt verkregen in de overeenkomsten en verschillen binnen de woningvoorraad.

Met dit AI4R project wordt beoogd om het opschalingspotentieel van een concrete verduurzamingsoplossing van Plegt-Vos te maximaliseren. Hiermee wil Plegt-Vos, bij toekomstige toepassing van dit concept, de voorbereidingskosten en productiekosten (voor onderdelen uit eigen fabriek) met respectievelijk 50% en 20% reduceren. Parallel wordt de contingentenaanpak doorontwikkeld om hiermee (parallel aan en/of na afloop van dit project) ook andere concepten te ondersteunen bij het opschalen van de toepassing van renovatieoplossingen.

Gebouwclustering

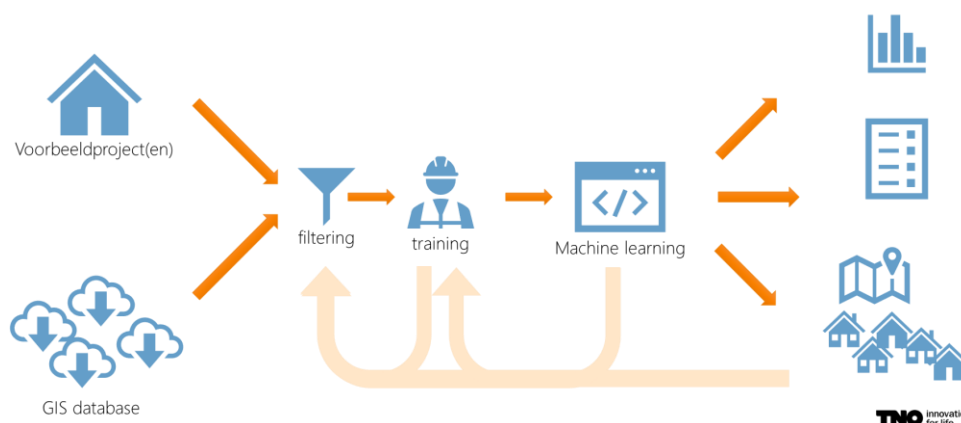
De methode van gebouwclustering gaat uit van een overzicht van woningen (straat + huisnummer + toevoeging) waarop een renovatieconcept door de betreffende aanbieder van het concept eerder succesvol is toegepast; zie 'Voorbeeldprojecten' in Figuur 1. Dit wordt label-data genoemd. Welke woningen in deze label-data als wel en welke als niet toepasbaar worden geormerkt, wordt bepaald door de aanbieder van de betreffende verduurzamingsoplossing. Hierbij spelen naast eigenschappen van het gebouw (bijvoorbeeld archetype of bouwjaar) ook aanbieder-specifieke aspecten een rol (bijvoorbeeld productie- of uitvoeringsmethode).

Aan de hand van beschikbare data van de woningvoorraad worden 'vergelijkbare' woningen geïdentificeerd. TNO heeft hiertoe een dataset van gebouweigenschappen van alle gebouwen in Nederland opgebouwd uit openbare databronnen zoals kadaster, CBS, BAG, energielabel, startanalyse warmte, ...etc.; zie 'GIS database' in Figuur 1. De individuele datapunten in deze dataset worden features genoemd. Vervolgens wordt een AI algoritme getraind om te bepalen welke combinaties van features, en in welke mate, bepalend zijn voor het wel en

¹ Zie ook <http://publications.tno.nl/publication/34637810/LIRIXX/mulder-2021-in.pdf>

niet toepasbaar zijn van de verduurzamingsoplossing; zie 'Machine Learning' in Figuur 1.

Aangezien de dataset voor de gehele Nederlandse woningvoorraad beschikbaar is, kan m.b.v. dit getrainde algoritme tenslotte een graduele inschatting (of voorspelling) worden gemaakt van de toepasbaarheid van het renovatieconcept op alle andere woningen in Nederland. De verzameling van woningen waarbij de betreffende oplossing als toepasbaar wordt ingeschat vormen samen een contingent.



Figuur 1 methode van gebouwclustering

Contingent Woning 2050

Het Woning 2050 verduurzamingsconcept is door Plegt-Vos samen met Reimarkt ontwikkeld voor bestaande corporatiewoningen met een verwachte einde exploitatie rond 2050. De woningen die tot nu toe onderhanden zijn genomen zijn rijwoningen gebouwd in de periode van 1930 tot en met 1976. Kern van het concept is de woning verduurzamen naar energielabel B of A, afhankelijk van de staat van de woning, met inachtneming van een resterende exploitatie tijd van 30 jaar. In totaal zijn er op deze manier vanaf 2019 tot op heden 183 woningen verduurzaamd.

Het implementeren en genereren van het contingent voor dit concept is in drie iteraties uitgevoerd, waarbij bij latere iteraties meer data of features zijn toegevoegd om het model te trainen, en verbeteringen zijn gemaakt aan de algoritmiek. De eerste iteratie is gedaan op basis van het overzicht met 103 succesvol en 74 niet succesvol door Plegt-Vos gerenoveerde woningen met het Woning 2050 concept. De 'testscore' van de eerste iteratie bedraagt 0.60 wat wil zeggen dat grofweg 40% van de voorspellingen (of het concept wel of niet toepasbaar is) foutief zijn.

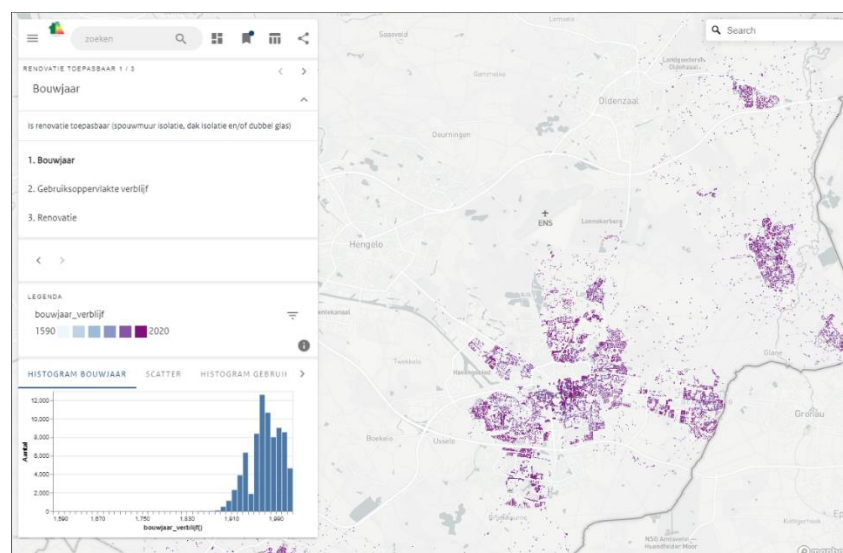
Om de betrouwbaarheid te verbeteren zijn 100 woningen geselecteerd die het algoritme uit de eerste iteratie met de grootste onzekerheid heeft voorspeld. Plegt-Vos heeft deze voorspellingen vervolgens 'handmatig' gecontroleerd en eventueel gecorrigeerd. Vervolgens is het algoritme opnieuw getraind met i.p.v. 177 label datapunten 277 datapunten.

Naast een controle van de 100 meest onzekere voorspellingen uit de eerste iteratie is Plegt-Vos tevens gevraagd om voor onjuist voorspelde woningen aan te geven waarom het concept, in tegenstelling tot de voorspelling, toch niet toepasbaar is. Op basis hiervan is een wensenlijst opgesteld met features die idealiter toegevoegd

worden; features die het mogelijk maken om meer gericht een onderscheid te maken binnen de woningvoorraad en daarmee meer betrouwbare voorspellingen te doen. Op basis hiervan is de data set van de woningvoorraad uitgebreid met de feature 'wel of geen Rijksmonument'. Hiermee is tenslotte in een derde iteratie een algoritme getraind. Met een 'testscore' van 0.71 is het aantal incorrecte voorspellingen t.o.v. de eerste iteratie gedaald van 40% naar 29%.

Gebruik clustertool

Samen met Plegt-Vos is onderzocht op welke wijze het gevormde contingent bruikbaar is richting opschaling van het Woning 2050 concept. Hierbij is het eenvoudig kunnen benaderen van het contingent inclusief inzicht in de achterliggende gebouwddata waardevol gebleken. Op basis hiervan is een web-interface gemaakt waarin woningen zijn aan te klikken en visueel (met groen/rode kleurcodering) getoond wordt of het concept op een woning wel of niet toepasbaar is. Ook is via een tabblad een tabel met alle featuredata en voorspellingen in te zien en te downloaden; zie Figuur 2.



Figuur 2: Webinterface (clustering) op basis van Common Sense

Opschaling

Met het vormen van een contingent voor het Woning 2050 concept heeft Plegt-Vos de eerste stappen gezet richting het opschalen van verduurzaming. Specifiek wordt het gebruik van contingenten als relevant gezien voor:

a. Procesoptimalisatie

Het binnen dit project ontwikkelde gebouwcluster is direct toepasbaar voor dagelijks gebruik binnen Plegt-Vos. Bij een projectaanvraag kan direct de haalbaarheid van het maatregelenpakket worden beoordeeld; of de betreffende woningen binnen of buiten het contingent vallen is nu immers direct inzichtelijk. Ingeschat wordt dat met de huidige resultaten uit dit project al een besparing van 10% gerealiseerd kan worden in het projectvoorbereidingsproces.

b. Productoptimalisatie

Het voorspellen van de toepasbaarheid van de individuele maatregelen (die samen met Woning 2050 concept vormen) geeft een wisselend resultaat. Voor sommige maatregelen lijkt voorspellen van de toepasbaarheid met een hoge mate van betrouwbaarheid mogelijk daar waar dat voor andere maatregelen duidelijk niet het geval is. TNO schat in dat het zeker mogelijk is om deze betrouwbaarheid te verbeteren. Hiermee is een perspectief ontstaan voor het maken van onderbouwde keuzes m.b.t. de onderdelen / maatregelen die wel en/of juist niet op industriële schaal geproduceerd kunnen gaan worden. Concreet kan beoordeeld worden hoeveel marktaandeel gewonnen of verloren wordt door varianten op het verduurzamingsconcept te ontwikkelen. Door deze toekomstige productrationalisatie wordt een reductie in productiekostprijs van ca. 20% verwacht.

c. Marktbenadering

Inzicht in waar het verduurzamingsconcept toepasbaar is biedt de mogelijkheid om proactief woningeigenaren te benaderen. Bijvoorbeeld eigenaren van woningen in de nabijheid van een binnenkomende aanvraag of gebieden met een hoge toepassingsgraad. Dit kunnen dan zowel corporatie woningen zijn als die van particuliere woningeigenaren. Het bundelen en benaderen van woningeigenaren draagt positief bij aan het aantal woningen en de efficiency waarmee verduurzaamd wordt.

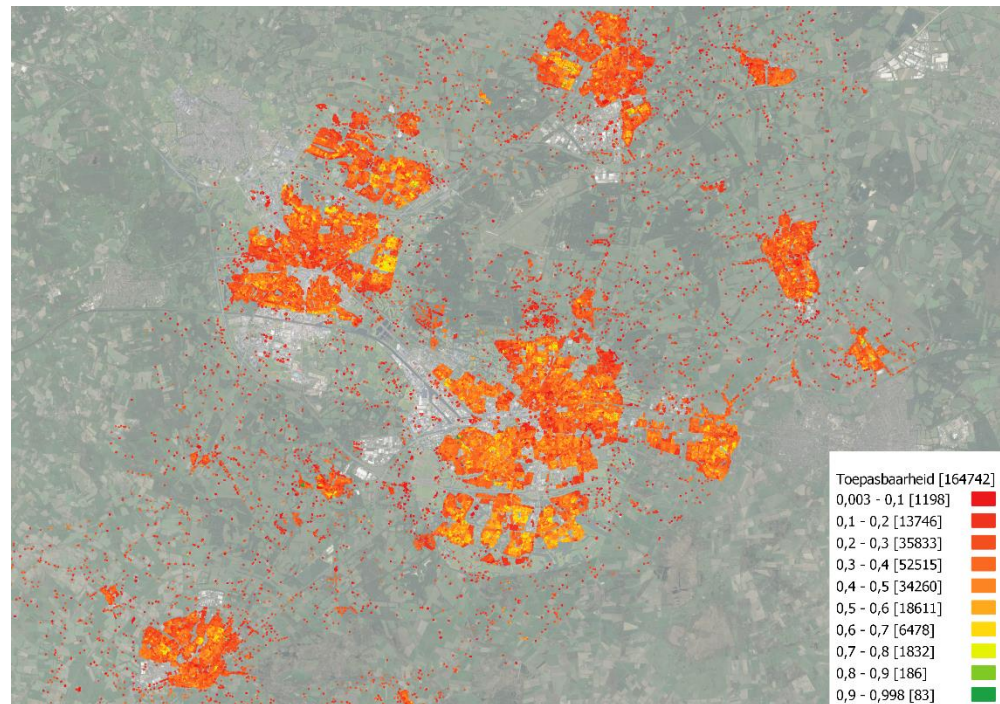
d. Productieoptimalisatie

Vooralsnog is er met dit project onvoldoende inzicht ontstaan in welke maatregelen (of vaste combinaties van maatregelen) in het overgrote deel van de renovatieprojecten toepasbaar zijn. Zodra deze productoptimalisatie (of rationalisatie) heeft plaatsgevonden kan de bijbehorende industriële productie worden ingericht.

Cruciaal in het realiseren van de beoogde besparingen is het verbeteren van de betrouwbaarheid van de gevormde contingenten. Met name het toevoegen van een aantal visuele kenmerken van woningen aan de gebouwvoorraad database lijkt een kansrijke route om deze betrouwbaarheid te verbeteren. Plegt-Vos en TNO hebben hiervoor recent (samen met 2 andere partners) een gezamenlijk PPS toeslag voorstel ingediend.

Conclusies

Het is mogelijk gebleken om op basis van 177 praktijktoepassingen van het Woning 2050 renovatieconcept door Plegt-Vos een machine learning algoritme te trainen. Met dit algoritme is succesvol een voorspelling gedaan van de toepasbaarheid van het renovatieconcept op alle woningen in de regio Enschede; zie Figuur 3.



Figuur 3. Predictie op kaart voor regio Enschede - schaal loopt van 0 (zeer waarschijnlijk niet toepasbaar) tot 1 (zeer waarschijnlijk wel toepasbaar).

Op basis van het gebruik van de 177 praktijklabels is een testscore van 0.60 gebalanceerde nauwkeurigheid gerealiseerd. Dat wil zeggen dat grofweg 60% van de voorspellingen met dit algoritme correct zullen zijn. Door het toevoegen van (i) 100 handmatige gegenereerde labels, en (ii) het uitbreiden van de data set van de woningvoorraad met de feature 'wel of geen Rijksmonument' is een trainingsscore van 0.75 en testscore van 0.70 gerealiseerd. Hiermee is het aantal incorrecte voorspellingen t.o.v. de eerste iteratie gedaald van 40% naar 30%. Indien de woningen die in de 20% meest onzekere voorspellingswaarde vallen worden weggelaten, komt de score van de test set uit op een gebalanceerde nauwkeurigheid van 0.85, dus 15% incorrecte voorspellingen.

Bij het toepassen van deze drempelwaarde van weglaten van woningen met de 20% meest onzekere voorspellingswaarde, resulteert dit in een markt waar het Woning 2050 concept toepasbaar is van 12.786 woningen voor de regio Enschede en omstreken.

Op basis van het handmatig controleren en beoordelen van 100 geselecteerde woningen uit de voorspelling voor de regio Enschede kan geconcludeerd worden dat de toepasbaarheid van het Woning 2050 concept mede bepaald wordt door een aantal specifieke kenmerken van de gebouwschil. Voorbeelden zijn de materialisatie van de kozijnen, aanwezigheid van een spouwmuur, oppervlaktes van het glas en de aanwezigheid van zelf aangebrachte voorzieningen. Door het toevoegen van deze van beelddata is de kwaliteit van de voorspellingen van het algoritme te verbeteren.

Door het ontsluiten van de gevormde contingenten via een web-interface zijn de resultaten bruikbaar binnen het primaire proces van Plegt-Vos. Hiermee kan direct de toepasbaarheid van het Woning 2050 concept op een gegeven woning worden beoordeeld en kan de achterliggende gebouwdata worden geraadpleegd. In de praktijk zal moeten blijken hoeveel besparing het werken a.d.h.v. het ontwikkelde gebouwcluster zal opleveren. Ingeschat wordt dat met de huidige resultaten uit dit project al een besparing van 10% gerealiseerd kan worden in het projectvoorbereidingsproces, zowel op urenbesteding als op kosten.

Het voorspellen van de toepasbaarheid van de individuele maatregelen (die samen met Woning 2050 concept vormen) geeft een wisselend resultaat. Voor sommige maatregelen lijkt voorspellen van de toepasbaarheid met een hoge mate van betrouwbaarheid mogelijk daar waar dat voor andere maatregelen duidelijk niet het geval is. Hiermee is een perspectief ontstaan voor het maken van onderbouwde keuzes m.b.t. de onderdelen / maatregelen die wel en/of juist niet op industriële schaal geproduceerd kunnen gaan worden. Door deze toekomstige productierationalisatie wordt een reductie in productiekostprijs van ca. 20% verwacht.

Ondertekening

Delft, 24 februari 2023

TNO

Ir. R.M.A. Kroeze
Afdelingshoofd

Drs. M. Bakker
Projectleider