

Auteur

C. (Christina) Papachristou, MSc. PDEng.^{1,2}; Dr.ir. P.J. (Pieter-Jan) Hoes¹;
Dr.ir. M.G.L.C. (Marcel) Loomans¹; D.T.A.J. (Dennis) van Goch, MSc. PDEng.²

1. Technische Universiteit, Eindhoven, Nederland

2. BAM Energy Systems, Bunnik, Nederland

Ontwerptool voor energie-flexibele kantoorgebouwen

In dit artikel presenteren we een tool die gebouwonwerpers helpt bij het ontwerpen van kantoorgebouwen met een hoge energie-flexibiliteit. De tool geeft hen de informatie die ze nodig hebben om bepaalde gebouw- en systeemp parameters zodanig te kiezen zodat een zo groot mogelijke mate van energie-flexibiliteit kan worden bereikt. Het effect daarvan op de kosten, productiviteit en jaarlijks energiegebruik kan daarin worden meegewogen. Het uitgangspunt is steeds dat thermisch comfort in alle gevallen wordt gegarandeerd.

Als we als samenleving een stap vooruit willen zetten in de richting van een groenere toekomst, moeten we ons richten op gebouwen. De groeiende behoefte aan het koolstofvrij maken van onze energievoorziening vraagt om de integratie van meer hernieuwbare energiebronnen, zoals zonne- en windenergie. Deze hernieuwbare energiebronnen zorgen voor fluctuaties in de elektriciteitsproductie, waardoor er een discrepantie kan ontstaan tussen vraag en aanbod van elektriciteit. Een manier om deze onbalans aan te pakken is door de vraagzijde actief in te laten spelen op het aanbod (ook wel vraagsturing genoemd of in het Engels 'Demand Side Management').

De zogenaamde energie-flexibiliteit van gebouwen kan hiervoor worden gebruikt. De energie-flexibiliteit van een gebouw is het vermogen van een gebouw om de energievraag aan te passen aan de lokale weersomstandigheden, de behoeften van de gebouwgebruikers en de eisen van het energienet [1]. Een voorbeeld van energie-flexibiliteit is het gebruik van de thermische massa van het gebouw om tijdelijk warmte of koude te bufferen zodat de energievraag van de verwarming- en koelinstallaties kan worden verschoven naar een moment waarop er een piek is in de elektriciteitsproductie. Energie-flexibiliteit wordt gezien als een belangrijke gebouw eigenschap die de energietransitie kan ondersteunen. Energie-flexibiliteit is daarom ook één van de gebouw eigenschappen

die worden gebruikt om de 'slimheid' van een gebouw te definiëren in de zogenaamde Building Smartness indicatoren [2]. Om een energiezuinig gebouw te kunnen ontwerpen en de energetische flexibiliteit te kunnen benutten, moet het flexibiliteitspotentieel ervan bekend zijn. De beschikbare flexibiliteit is in de ontwerpfase echter meestal niet eenvoudig te bepalen, evenals de manier waarop andere indicatoren zoals kosten en comfort worden beïnvloed door het benutten van dit potentieel. Kantoren worden daarom meestal niet ontworpen om flexibel om te kunnen gaan met energie.

Ontwerptool voor gebouw energie-flexibiliteit

Om daaraan tegemoet te komen presenteren we in dit artikel een ontwerptool voor gebouwonwerpers die informatie geeft over de energie-flexibiliteit van een gebouw. De tool ondersteunt ontwerpers bij het kiezen van waarden voor bepaalde ontwerpparameters (bijvoorbeeld Rc-waarden, U-waarden en raamgroottes) en bij de keuze voor regelstrategieën m.b.t. het thermisch comfort. Ze is ontwikkeld in samenwerking met BAM Energy Systems en is gericht op kantoorgebouwen in de Nederlandse markt, zowel nieuwbouw als renovatie. In een paar eenvoudige stappen kan de ontwerper aangeven welke ontwerpparameters al vastliggen in het ontwerpproces (bijvoorbeeld de raamgrootte) en welke ontwerpparameters onderzocht moeten worden. Vervolgens presenteert de ontwerptool de beste beschikbare ontwerp oplossingen. Deze oplossingen scoren het hoogste op zowel energie-flexibiliteit als productiviteit/comfort, tegen het laagste energiegebruik en de laagste kosten (investeringskosten en operationele kosten).

Met behulp van de tool kunnen gebouwonwerpers daardoor snel en eenvoudig informatie krijgen over de prestaties van verschillende ontwerpvarianten, en deze vergelijken en zo het gebouwonwerp optimaliseren. Er moet worden opgemerkt, dat de tool geen voorspellingen doet over de werkelijke energie- of comfortprestaties tijdens het gebruik. Een volledig functionele versie van de tool met een gebruiksvriendelijke interface is nog niet beschikbaar, maar is wel in ontwikkeling.

Ontwikkeling van de tool

De tool is gebaseerd op een database met simulatieresultaten van 839.808 kantoorgebouwvarianten. Elke gebouwvariant in de database bevat scores op verschillende relevante prestatie-indicatoren. Voor de ontwikkeling van de database is gebruik gemaakt van gebouwprestatiesimulatie (EnergyPlus) en machine learning methoden. De database is gevuld met gesimuleerde gebouwvarianten en varianten waarvan de resultaten worden voorspeld door middel van 'surrogate' modellen. De surrogate modellen zijn ontwikkeld met behulp van classificatie-algoritmen. De voorspelde resultaten van de surrogate modellen zijn gevalideerd en zijn voldoende nauwkeurig voor deze studie [3].

Vooraf zijn gesprekken gevoerd met de potentiële gebruikers van de tool om de vereisten van de tool, de relevante prestatie-indicatoren en de ontwerpparametervarianten die in de database moesten worden opgenomen, in kaart te brengen.

Prestatie-indicatoren

Op basis van de interviews zijn de volgende prestatie-indicatoren geselecteerd.

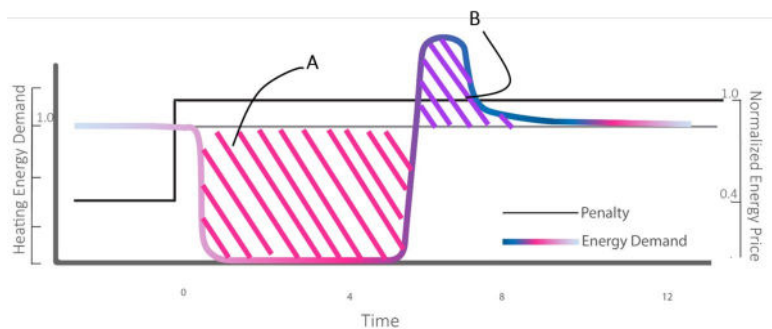
- **Kosten:** Verdeeld in operationele en investeringskosten.
- **Jaarlijks energiegebruik:** in elektriciteit, er wordt uitgegaan van een warmtepomp met een COP van 3.
- **Productiviteitsverlies:** Het productiviteitsverlies wordt berekend op basis van het thermisch comfort (PMV) en de luchtkwaliteit (CO_2 -concentratie). Verschillende methoden zijn beschreven in de literatuur [4-14]. Meer informatie over de gebruikte methode is te vinden in [15].
- **Energie-flexibiliteit:** De energie-flexibiliteit wordt gekwantificeerd met behulp van twee methodes en bijbehorende indicatoren: de *energie-flexibiliteitskarakteriseringsmethode* [1] en de *zelf-consumptie methode* [16].

Karakterisering van energie-flexibiliteit

De methode om de energie-flexibiliteit te karakteriseren is gebaseerd op de methode zoals voorgesteld in IEA Annex 67 [1] (zie ook artikel op pagina 26-31). Deze methode gaat uit van een gebouw in *steady state* toestand en gebruikt een standaard gedefinieerd controlesignaal gebaseerd op de energieprijs. Het signaal is bedoeld om de energievraag te sturen. Vóórdat het signaal (bijvoorbeeld een hogere energieprijs; op basis van een model kan dit van tevoren worden ingeschat) wordt gegeven worden de temperaturen in het gebouw verhoogd zodat het thermisch comfort zich bevindt

in de bovengrens van de acceptabele comfortrange (voor de wintersituatie bijvoorbeeld een PMV van 0,7; op vergelijkbare wijze voor een koelsituatie). Wanneer het controlesignaal wordt ontvangen door het gebouw, dan zal de verwarming worden uitgeschakeld om zo de energievraag en de operationele kosten te verlagen (zie Figuur 1). De verwarming wordt weer ingeschakeld als de ondergrens van de acceptabele comfortrange wordt bereikt (voor de wintersituatie bijvoorbeeld een PMV van -0,7).

Het rood gekleurde oppervlak in Figuur 1 is de genormaliseerde hoeveelheid energie die wordt verschoven als gevolg van het controlesignaal. Deze energiehoeveelheid wordt gebruikt als indicator voor het energie-flexibili-



Figuur 1: Gebouwrespons als reactie op een controlesignaal, aangepast volgens [16].

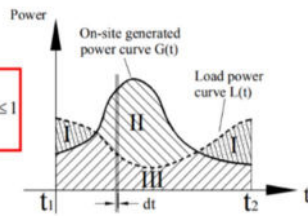
teitspotentieel van het gebouwontwerp. Om dit te bepalen wordt een (fictief) weerbestand met een constante temperatuur en geen zonnestraling gebruikt, waardoor het effect van de weersomstandigheden wordt geëlimineerd. De temperatuur is gekozen op basis van een gevoeligheidsanalyse waarbij de effecten op de verschillende parameters het meest duidelijk zichtbaar waren. Dit biedt de mogelijkheid om verschillende gebouwontwerpvarianten eenvoudig met elkaar te vergelijken en om zo te onderzoeken welke varianten (in potentie) de grootste hoeveelheid energie kunnen verschuiven. Merk op dat de oriëntatie van het gebouw nu ook geen rol speelt in de vergelijking van verschillende gebouwontwerpvarianten.

Zelf-consumptie

Uiteraard kunnen weersinvloeden een sterk effect hebben op de werkelijke energieflexibiliteit die een gebouw kan bieden. Om dit effect te onderzoeken wordt de zelf-consumptie berekend. Voor deze berekening is per ontwerpvariant een tweede simulatie nodig, nu wel met een realistisch weerbestand.

On-site energy fraction (OEF) Section III/ Sections I and III

$$OEF = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \text{Min}[G(t); L(t)]dt}{\int_{t_1}^{t_2} L(t)dt} ; 0 \leq OEF \leq 1$$



Figuur 2: On-site Energy Matching (OEM) and On-site Energy Fraction (OEF) indices [17].

Voor de beoordeling van de zelf-consumptie worden de On-site Energy Matching (OEM) en de On-site Energy Fraction (OEF) gebruikt (zie Figuur 2). De OEM is het percentage van de energieopwekking ter plaatse, bijvoorbeeld door PV, dat direct gebruikt wordt door het gebouw, gerekend over een jaar. De OEF is het percentage van de jaarlijkse energievraag van het gebouw dat wordt gedekt door de jaarlijkse energieopwekking ter plaatse [17].

Gebouwvariaties

De gebouwvariaties in dit project zijn zodanig gekozen dat zij, zo goed als mogelijk, de typische Nederlandse kantoorvariaties representeren (nieuwbouw, danwel renovatie met minimaal label C). De gebouwvariaties omvatten verschillende gevelparameters, zoals de Rc-waarde van de buitenmuur (bijv. Rc-waardes van 3,5 tot 9 m²K/W), U-waardes (e.g. 0,8 tot 3 W/m²K) en ZTA-waardes. Bovendien is het indelingstype van het kantoor (kantoortuin of cellenkantoor) meegenomen, maar ook de thermische massa van het gebouw (bijvoorbeeld zwaargewicht, lichtgewicht), de raam/gevel verhouding (bv. van 0,4 tot 1), de oriëntatie en verschillende afgiftesystemen. Daarnaast zijn verschillende bezettingsscenario's en comfortregelstrategieën toegepast. De comfortstrategieën worden hierna besproken.

Thermische comfortregelstrategieën

De eisen die gebouwgebruikers stellen aan het thermische comfort beïnvloeden in sterke mate het energiegebruik (voor verwarming/koeling) in gebouwen. In deze tool worden de typische regelstrategieën toegepast zoals deze nu in Nederland worden gebruikt. Daarnaast worden verschillende strategieën toegepast die gebaseerd zijn op resultaten uit voorafgaand onderzoek, aan de TU/e, naar heterogene en dynamische condities ten behoeve van het thermisch comfort. In dit onderzoek, onderdeel van het iCARE-project [18], is aangetoond dat het thermisch comfort van de gebouwgebruikers tot minstens

20 minuten na binnenkomst in een gebouw nog wordt beïnvloed door de buitentemperatuur. Verder wordt gesteld dat een dagvariatie van 3 °C niet merkbaar is in een kantooromgeving. Tot slot blijkt dat de temperatuur in een verkeersruimte een verschil kan hebben van 2 °C met de andere ruimtes zonder het thermisch comfort negatief te beïnvloeden. Deze resultaten zijn gebruikt om verschillende thermische comfortregelstrategieën op te stellen. In totaal zijn er in dit project 27 strategieën gedefinieerd en toegepast, gebaseerd op het iCare onderzoek. Meer informatie over de aannames en ontwerpparameters is te vinden in [15].

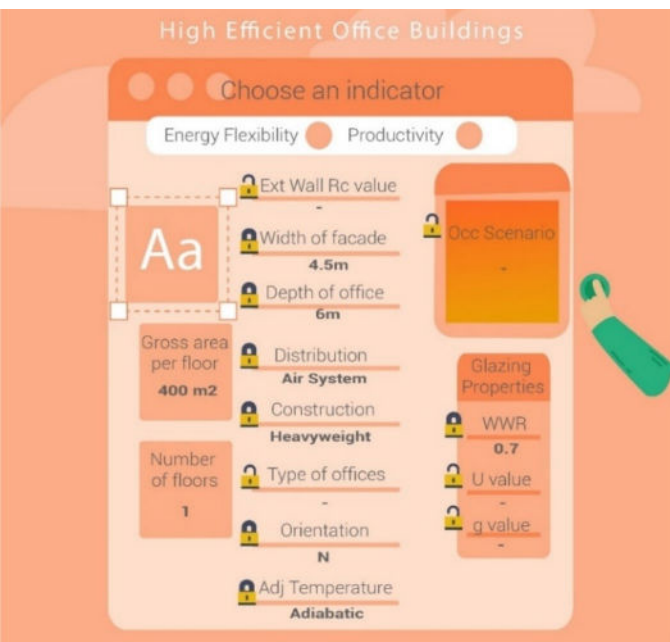
Demonstratie van de tool. Een casestudy

Hieronder wordt een voorbeeld gegeven van een casestudy gebouw en de mogelijke ontwerpvarianten die daarvoor kunnen worden gevonden met behulp van de ontwikkelde tool.

Stap 1: Eerste analyse van de ontwerpvarianten

Het casestudy gebouw dat wordt gebruikt om de tool te demonstreren is een gebouw dat gerenoveerd moet worden. Het gebouw lijkt op één van de BAM-gebouwen op de BAM campus in Bunnik. Hierbij zijn aannames gemaakt voor vaste parameters en voor parameters die kunnen worden aangepast. Verondersteld wordt dat de tool-gebruiker geïnteresseerd is in de operationele kosten van het kantoorgebouw. Figuur 3 toont de invoerpagina van de tool. De parameters die de gebruiker kan invoeren zijn afgebeeld. Bepaalde parameterwaardes kunnen worden vastgezet. Dit wordt aangegeven met het gesloten slotje; de resultaten met de vergrendelde parameterwaardes worden vervolgens weergegeven in het tabblad resultaten. De parameters die nog niet vastliggen in het ontwerp, worden aangegeven met het open slotje; de ontwerper wil verschillende waardes voor deze parameters onderzoeken. In dit voorbeeld zijn de vergrendelde parameterwaardes:

• Zware constructie • Breedte kantoorruimte: 4,5 m • Diepte kantoorruimte: 6 m	• Ratio gevel-raam: 0,7 • Aangrenzende ruimten hebben dezelfde temperatuur • Luchtverwarming en -luchtkoeling
Gebouwparameters die nog niet vastliggen:	
• U-waarde glas • ZTA-waarde glas • Soort kantoor	• Bezettingsscenario • Comfortregelstrategieën



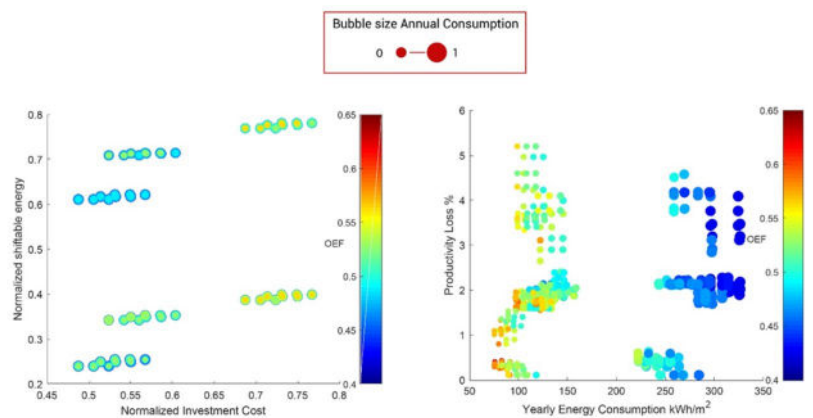
Figuur 3: Mock-up van de invoerpagina van de tool.

De database bevat veel data (informatie) per gebouwvariant. Het is daarom van belang om deze data op een geschikte manier aan de gebruiker van de tool aan te bieden. Door middel van interviews en een literatuuronderzoek [15] is gezocht naar de meest bruikbare manier om de resultaten weer te geven. Uiteindelijk is er voor gekozen om 2D-scatterplots te gebruiken. In de scatterplots worden de gefilterde ontwerpvarianten weergegeven als cirkels met op de assen twee (conflicterende) prestatie-indicatoren. De gebruiker kan in de scatterplots één ontwerpvariant kiezen en alle informatie over die variant krijgen (ontwerpparameters, resultaten van de prestatie-indicatoren, etc.).

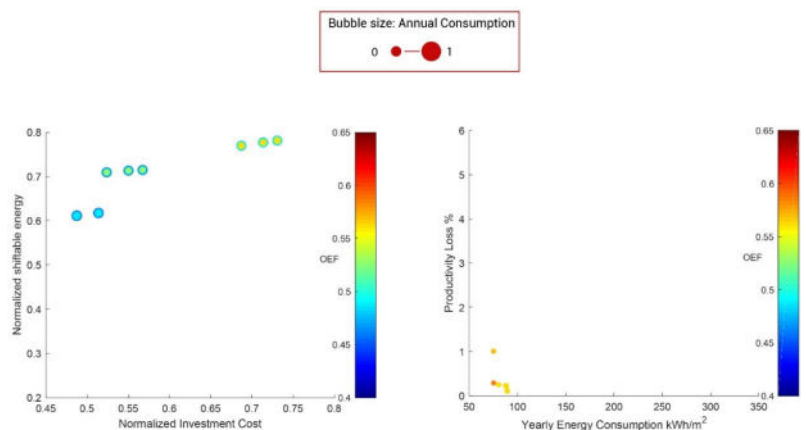
Voor de casestudy levert het filteren van de database 5800 mogelijke ontwerpvarianten op. Alle ontwerpvarianten en de relevante prestatie-indicatoren zijn weergegeven in Figuur 4. Elke cirkel staat voor één gebouwvariant. In de linker grafiek staat op de x-as de genormaliseerde investeringskosten en op de y-as de genormaliseerde *shiftable* energie (de energie die kan worden verschoven, berekend met de energie-flexibiliteitskarakteriseringsmethode). In de rechter grafiek staat op de x-as het jaarlijkse energieverbruik en op de y-as het productiviteitsverlies. De grootte van de cirkels geeft het jaarverbruik weer en de

kleur staat voor de OEF. Aangezien in de energie-flexibiliteitskarakteriseringsmethode geen weers- en gebruikersinvloeden worden meegenomen, presteren veel ontwerpvarianten bijna hetzelfde. Vandaar dat er veel cirkels overlappen in de linker grafiek en de kleinere cirkels minder goed zichtbaar zijn. In de linker grafiek is ook te zien dat veel varianten vergelijkbaar scoren op de energie-flexibiliteit (*shiftable* energie), maar dat die een verschillend jaarverbruik hebben (grootte van de cirkel) en een andere OEF (kleur).

Niet alle ontwerpvarianten in Figuur 4 zijn even relevant; sommige varianten hebben bijvoorbeeld hogere investeringskosten dan andere varianten, terwijl de *shiftable* energie en productiviteit niet groter worden. In Figuur 5 worden daarom alleen de Pareto optimale ontwerpvarianten weergegeven. Dit levert verschillende resultaten wanneer verschillende parameters worden vergeleken. De informatie van iedere variant is echter te allen tijde beschikbaar, bijvoorbeeld door op een cirkel te klikken. Dit zijn de beste compromis oplossingen bij conflicterende prestatie-indicatoren. De tool-gebruiker kan nu een ontwerpvariant kiezen die het beste past bij zijn wensen. Alvorens tot een beslissing te komen kan men echter nog dieper in de resultaten duiken om zo meer informatie over de ontwerpvarianten te krijgen. Dit wordt besproken in de volgende stap.



Figuur 4: Resultaten voor de casestudy.



Figuur 5: Resultaten voor de casestudy – alleen de Pareto oplossingen zijn weergegeven.

Stap 2: Gedetailleerde informatie per ontwerpvariant

Als tweede stap wordt de optie gegeven om een specifieke ontwerpparameter te kiezen (bijvoorbeeld de Rc-waarde of de U-waarde). De gebruiker ziet nog steeds de Pareto-oplossingen, maar de parameterwaarden van de geselecteerde ontwerpparameters worden gepresenteerd door de kleuren van de cirkels. De gebruiker krijgt zo meer inzicht in hoe deze ontwerpparameters de gebouwprestaties beïnvloeden.

In Figuur 6 worden bijvoorbeeld nog steeds dezelfde prestatie-indicatoren weergegeven als in de vorige figuren, maar de kleuren van de cirkels geven de Rc-waarden en de U-waarden weer. Uit de figuren kan nu worden afgeleid hoe de Rc-waarden en de U-waarden het productiviteitsverlies en de energie-flexibiliteit beïnvloeden. De resultaten laten bijvoorbeeld zien dat de Rc-waarde van de buitenmuur niet erg dominant is in deze casestudy. Alle onderzochte Rc-waarden zijn namelijk verspreid terug te vinden op het Pareto-front. De relatief lage Rc-waarden (blauwe kleur) leiden tot bijna dezelfde energie-flexibiliteit als de hogere Rc-waarden (rode kleur). Ook is te zien dat de

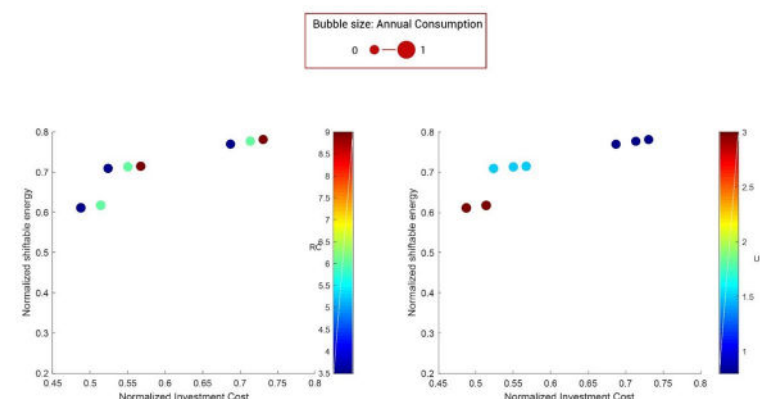
U-waarde een grotere invloed heeft op de energie-flexibiliteit voor deze casestudy. Een lage U-waarde (donker blauwe kleur) leidt tot een hogere energie-flexibiliteit, dan een hoge U-waarde (rode kleur), echter tegen hogere investeringskosten. In Figuur 7 wordt het jaarlijkse energiegebruik afgezet tegen het productiviteitsverlies. Ook hier kan worden gezien dat de Rc-waarde weinig invloed heeft op deze prestatie-indicatoren, terwijl de U-waarde meer invloed heeft.

Als de tool-gebruiker geïnteresseerd is in een bepaalde ontwerpvariant, dan kan hij alle ontwerpparameterwaarden van de variant bekijken door op de ontwerpvariant te klikken. De parameterwaarden worden dan weergegeven voor de geselecteerde variant (zie een voorbeeld in Figuur 7 –rechts).

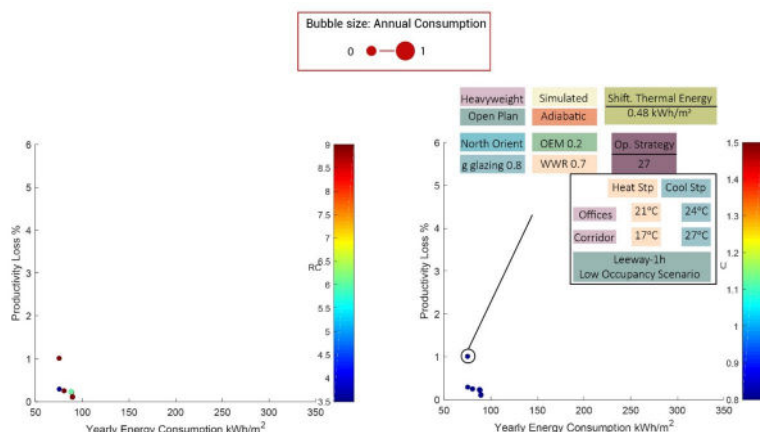
Stap 3: Gevoeligheidsanalyse

Als derde stap kan de gebruiker, door middel van een gevoeligheidsanalyse, nog meer gedetailleerde informatie over een specifieke ontwerpvariant krijgen. Deze informatie wordt weergegeven door middel van boxplots. De boxplots laten zien hoe veranderingen in één ontwerpparameter de prestatie-indicatoren kunnen beïnvloeden voor de gekozen ontwerpvariant. Figuur 8 toont bijvoorbeeld de boxplots voor de gekozen oplossing uit Figuur 7. De figuur laat bijvoorbeeld zien dat een verandering in de U-waarde (tweede boxplot van rechts) leidt tot een verandering in de potentiële energie-flexibiliteit. De figuur laat ook zien dat een verandering in de thermische massa van het gebouwontwerp leidt tot een grotere verandering in de potentiële energie-flexibiliteit, dan een verandering in de U-waarde. In het type kantoor is de thermische massa impliciet ook opgenomen, kantoortuin versus cellenkantoor. Door het verschil in het aantal wanden, lees thermische massa, leidt dit ook tot een grotere verandering.

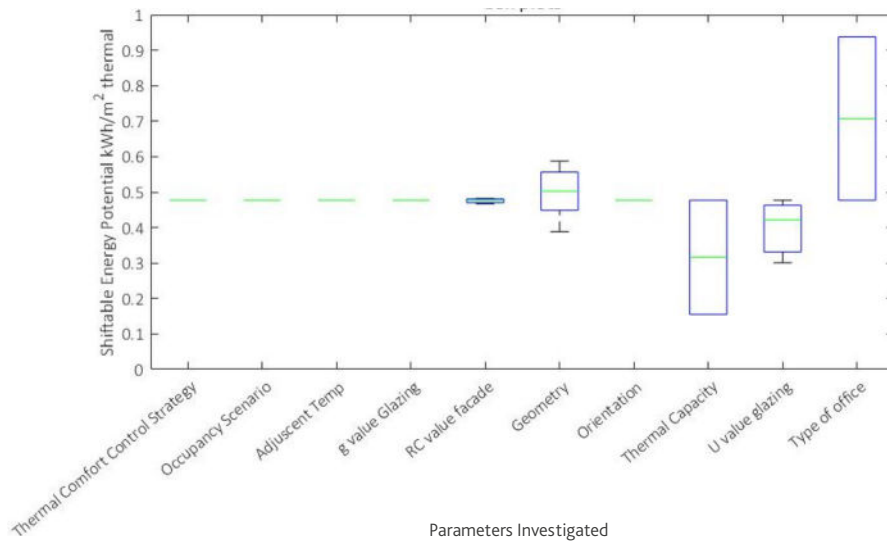
De tool-gebruiker kan kiezen welke prestatie-indicator wordt weergegeven. Op deze manier kan de gebruiker een volledig overzicht krijgen van de manier waarop elke parameter invloed heeft op de prestatie-indicatoren.



Figuur 6: Resultaten voor de casestudy – de Pareto oplossingen zijn weergegeven voor de genormaliseerde shiftable energie (energie-flexibiliteit) en de genormaliseerde investeringskosten. De kleuren geven de Rc-waarde (linker grafiek) en de U-waarde (rechter grafiek) weer.



Figuur 7: Resultaten voor de casestudy – de Pareto oplossingen zijn weergegeven voor productiviteitsverlies en jaarlijkse energiegebruik – de Rc-waarde en U-waarde zijn weergegeven met kleuren.



Figuur 8: Boxplots voor elke onderzochte gebouw-variantie voor het energie-flexibiliteitspotentieel; elke box toont de prestatievariantie die wordt verwacht bij het wijzigen van de corresponderende gebouw-parameter binnen de gedefinieerde ranges.

De tool-gebruiker kan één stap of alle drie de stappen gebruiken, afhankelijk van de tijd die de ontwerper kan en wil investeren. Op deze manier kan waardevolle informatie ontsloten worden over de ontwerpvarianten. Daarmee is er een betere basis om weloverwogen ontwerpbeslissingen nemen.

Samenvattend

De ontwikkelde tool wil bijdragen aan het ontwerpen van kantoorgebouwen met meer aandacht voor de energie-flexibiliteit van het gebouw. Daarmee biedt de tool een ondersteuning om de potentiële waarde van kantoren als actief onderdeel van de energie-infrastructuur te vergroten.

De doelgroep voor de tool is ontwerpers met kennis van installatie- en/of energietechniek. Het gebruik van de tool neemt niet meer dan een paar minuten

in beslag, vereist (voor de doelgroep) geen speciale training of kennis en geeft waardevolle informatie en suggesties voor het optimaal benutten van de energie-flexibiliteit mogelijkheden van een gebouw.

De tool kan ook worden gebruikt om de energie-flexibiliteit te onderzoeken die een reeds bestaand gebouw kan bieden. Het kan eventueel ingezet worden om de energie-flexibiliteit van een cluster van gebouwen te beoordelen. Daarnaast kan de tool ook worden gebruikt om de invloed van verschillende comfortregelstrategieën op de prestatie-indicatoren en de energie-flexibiliteit te onderzoeken.

Dankwoord

In dit project werd C. Papachristou (50%) ondersteund door de Nederlandse Technologiestichting STW (onder projectnummer 11854; i-Care), die deel uitmaakt van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), en die mede wordt gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken. Verdere financiële steun (50%) werd verleend via de Technische Universiteit Eindhoven. De in-kind ondersteuning van de medewerkers van BAM bij het ontwerpproces van de tool wordt zeer gewaardeerd. Contact: p.hoes@tue.nl

Referenties

1. S. J. Østergaard, "Position Paper of the IEA Energy in Buildings and Communities Program (EBC) Annex 67 "Energy Flexible Buildings", 2017.
2. S. Verbeke, Y. Ma, P. Van Tichelen, S. Bogaert, V. Gómez Oñate, P. Waide and J. ... & Groezinger, "Support for setting up a Smart Readiness Indicator for buildings and related impact assessment: final report for EC DG Energy," EC DG Energy, 2018.
3. A. Sretenovic, R. Jovanovic, V. Novakovic, N. Nord and B. Zivkovic, "Support vector machine for the prediction of heating energy use," Thermal Science, pp. 22(4) S1171-S1181, 2018.
4. D. J. Clements-Croome, "Work performance, productivity and indoor air," Scandinavian Journal of Work Environment & Health, pp. 69-78, 2008.
5. P. Fanger, J. Lauridsen, P. Bluyssen and G. Clausen, "Air Pollution Sources in Offices and Assembly Halls, Quantified by the olf Unit," Energy and Buildings, pp. 7-19, 1988.
6. L. Gunnarsen and P. Fanger, "Adaptation to indoor air pollution," Environment International, pp. 18(1) 43-54, 1992.
7. K. Jensen, J. Toftum and P. Friis-Hansen, "A Bayesian Network approach to the evaluation of building design and its consequences for employee performance and operational costs," Building and Environment, pp. 44(3) 456-462, 2009.
8. R. Kosonen and F. Tan, "Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index," Energy and Buildings, pp. 987-993, 2004.
9. P. Roelofs, "Modelling relationships between a comfortable indoor environment, perception and performance change, PhD Thesis," Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 2016.
10. C. Dai, L. Lan and Z. Lian, "Method for the determination of optimal work environment in office buildings considering energy consumption and human performance," Energy and Buildings, vol. 2014, nr. 76, pp. pp. 278-283, June 2014.
11. P. Wargocki, H. Knudsen and J. Krzyzanowska, "Some methodological aspects of sensory testing of indoor air quality," in Proceedings of the CLIMA, 10th REHVA World Congress Sustainable Energy Use in Buildings, Antalya, Turkey, 2010.
12. H. M. J. Thoen, P. Roelofs, A. K. Mishra, M. G. L. C. Loomans, P. Hoes and J. L. M. Hensen, "Monitoren van werknemersproductiviteit in kantoren," TVVL Magazine, pp. (01), 30-34, 2019.
13. O. Seppänen, W. Fisk and Q. Lei, "Effect of temperature on task performance in office environment," Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, US, 2006.
14. P. Wargocki, D. Wyon, Y. Baik, G. Clausen and P. Fanger, "Perceived Air Quality, Sick Building Syndrome (SBS) Symptoms and Productivity in an Office with Two Different Pollution Loads," Indoor Air, pp. 9(3) 165-179, 1999.
15. C. Papachristou, "Designing a decision support tool for high performance office buildings focusing on energy flexibility: supporting decisions on thermal comfort control strategies and building design parameters," Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2019.
16. J. R. Grønborg, A. G. Azar, R. A. Lopes, K. B. Lindberg, G. Reynders, R. Relan and H. Madsen, "Characterizing the energy flexibility of buildings and districts," Applied Energy, Volume 225, pp. 175-182, 2018.
17. C. Sunliang, A. Hasan and K. Siren, "On-site energy matching indices for buildings with energy conversion, storage and hybrid grid connections," Energy and Buildings, pp. 64, 423-438, 2013.
18. A. Mishra and M. Loomans, "Project iCARE report on the work done in TU/e, 2015-2017," 2017.