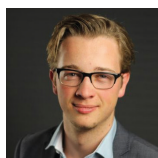


AFSTUDEERARTIKEL

ENERGIE-VLAKKE WONINGEN

OP NAAR CONTINUE BALANS TUSSEN ENERGIEVRAAG EN -AANBOD OP WONINGNIVEAU

Terwijl moderne ontwerpers en nieuwe bouwregelgeving zich focussen op energiezuinige gebouwen en veel PV, ontstaat er een nieuw probleem; de tijdsgebonden mismatch tussen het energievraag en hernieuwbaar energie-aanbod. Energie-neutrale woningen hebben een overschot aan energie in de zomer, en tegelijkertijd nog steeds een tekort aan energie in de winter. Ze zijn daarmee afhankelijk van energie-opslagsystemen of het terug leveren van energie aan het net. Dit afstudeeronderzoek analyseert welke architectonische middelen er zijn om de energievraag en het hernieuwbare energie-aanbod beter op elkaar af te stemmen, zodat de gebouwen beter bestemd zijn op het toekomstig energiesysteem.



V.R.M. (Vincent) Höfte
MSc, ABT, Delft

Zowel de wereldwijde energievraag als het aandeel duurzame energie daarin groeien. Als gevolg van een groeiende wereldpopulatie en verbeterde levensstandaarden voor meer mensen op de wereld, is de totale wereldwijde energievraag 1,5 keer zo groot in 2040 als de vraag in 2012. Tegelijkertijd is hernieuwbare energie de grootste groeiende energiebron ter wereld, met een gemiddelde groei van 2,6% per jaar in diezelfde periode [1].

HET PROBLEEM VAN DE ONAFHANKELIJKE FLUCTUATIES

De grootte van de energievraag op woningniveau en het hernieuwbare energie-aanbod zijn beide niet constant. De energievraag wordt bepaald door het klimaat, de eigenschappen van het gebouw en de gebruiker. Het energie-aanbod, daarentegen, wordt bepaald door de aanwezigheid van de zon, de kracht van de zon en de oriëntatie van de producerende oppervlakken. Met andere woorden, er zijn twee energiestromen die allebei fluctuerend zijn, maar de factoren die de fluctuaties beïnvloeden zijn verschillend voor beide stromen. Dit zorgt onvermijdelijk voor een zogenaamde 'mismatch'; een verschil in lokale energievraag en lokaal energieaanbod.

De mismatch kan worden opgevangen met een batterij of met het elektriciteitsnet. Echter, het is voor te stellen dat het in de meeste gevallen effectiever is om het lokale energieaanbod ook direct lokaal te gebruiken.

VRAAGSTELLING

Er is zeer weinig bekend over de rol die architectuur kan spelen in het verminderen van de mismatch tussen lokale energievraag en lokaal energieaanbod. De vraag die in dit onderzoek is beantwoord is dan ook:

"Hoe kan de mismatch tussen lokaal hernieuwbaar energieaanbod en lokale energievraag in een woning worden opgelost met architectonisch ontwerp?"

De rest van dit artikel geeft een indicatie van de methode van het onderzoek en de belangrijkste resultaten. Het beschrijven van alle onderzoeksresultaten in dit artikel zou niet haalbaar zijn, daarom verwijst ik u daarvoor graag door naar de thesis van dit onderzoek.

WAT IS ENERGIE-VLAKHEID?

Energie-vlakheid is een nieuw begrip en dus is het van belang om duidelijk in te kaderen hoe het gekwantificeerd wordt en waar het betrekking op heeft. Allereerst is het belangrijk om te weten dat er een verschil is in energie-vlakheid in de warmtebalans en energie-vlakheid in de elektriciteitsbalans. Vanuit de probleemstelling blijkt dat de energie-vlakheid gewenst is op het niveau van het elektriciteitssysteem. Echter, in dit onderzoek worden alleen de warmtevraag en koeltevraag van een woning beschouwd. De hoeveelheid elektriciteit die benodigd is om een bepaalde hoeveelheid warmte of koelte te bieden is sterk afhankelijk van de efficiëntie van en het type systeem dat gebruikt wordt. Om uiteindelijk energie-vlakheid te krijgen in de elektriciteitsbalans, zal men dus moeten beginnen met het verkrijgen van kennis over het beïnvloeden van de warmtebalans. Dit laatste is dan ook waar dit eerste onderzoek, over het onderwerp van energie-vlakheid op woningniveau, zich op richt. Om de energie-vlakke prestaties van verschillende ontwerpen onderling te kunnen vergelijken, zijn er drie key-performance indicators (KPI's) opgesteld.

KPI1 – absolute energievlakheid

De eerste KPI beschrijft de absolute energie-vlakheid. Het is gedefinieerd als het gecombineerde totale verschil tussen vraag en aanbod over een bepaalde tijd. In de grafiek waar het vraag- en aanbodprofiel zijn geplotted (figuur 1), is het gepresenteerd door de totale oppervlakte tussen de twee profielen.

Deze KPI resulteert altijd in een positieve waarde, of nul. Hoe dichter de waarde bij nul zit, hoe dichter het ontwerp bij complete energie-vlakheid zit. Het is te verwachten dat perfecte energie-vlakheid (dat wil zeggen $KPI1 = 0$) in geen enkel ontwerp gehaald kan worden. Daarom geven KPI2 en KPI3 inzicht in de karakteristiek van de mismatch.

KPI2 – maximale mismatch piekwaarde

De tweede KPI weergeeft het grootst optredende verschil op enig moment tussen vraag en aanbod dat gevonden kan worden binnen het totaal geanalyseerde tijdsinterval. In tegenstelling tot de eerste KPI, is KPI2 moment-gebon-

den en wordt dus weergegeven in vermogen [W] in plaats van een totale hoeveelheid energie [kWh] of [J]. In de grafische weergave (figuur 2) is het de grootste afstand tussen het vraag- en aanbodprofiel.

KPI3 – maximale cumulatieve mismatch

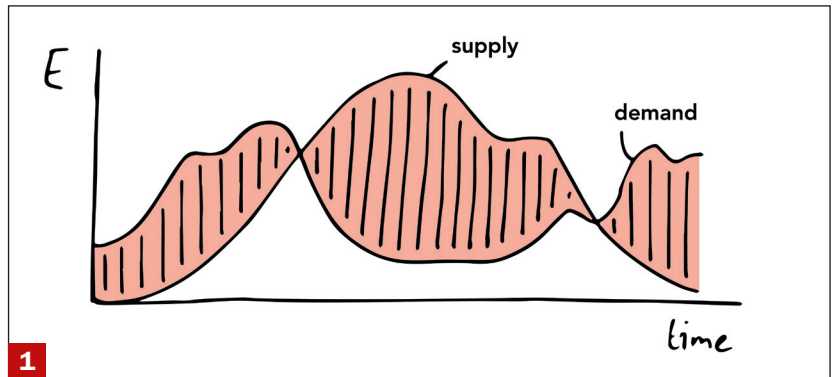
De derde KPI beschrijft de maximale cumulatieve mismatch tussen vraag en aanbod. Het weergeeft het grootste verschil tussen de cumulatieve overproductie en overconsumptie. Met andere woorden, het grootst mogelijke opeenvolgende energietekort dat niet gecompenseerd wordt door een energieoverschot. De grafische weergave (figuur 3) is het verloop van de mismatch; een daling betekent een opeenvolgend tekort en een stijging betekent een opeenvolgend overschot. Een energie-vlak ontwerp resulteert in dit geval dus letterlijk in een vlakke lijn. KPI3 weergeeft het verschil tussen het globale maximum en globale minimum van deze lijn, mits het een energie-neutrale situatie betreft.

HUIDIGE MISMATCH

Om energie-vlakheid te bereiken in een ontwerp, is het van belang te weten wat de karakteristieken van de huidige mismatch zijn. Deze zijn bepaald op basis van een referentieontwerp, de SenterNovem referentiewoning [2]. Dit referentie-ontwerp is onderworpen aan een dynamische energie-simulatie waaruit de uurlijkse waarden voor warmtevraag, koeltevraag en zonnepotentieel blijken. De mismatch is geanalyseerd op drie verschillende tijdsintervallen; maandelijkse waarden, dagelijkse waarden en uur waarden. De resultaten worden hieronder beschreven.

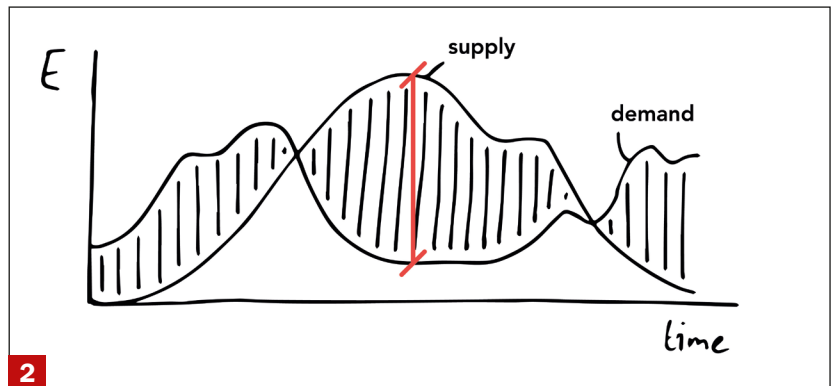
Mismatch per maand

Uit de mismatch-analyse van het jaar (figuur 4) blijkt dat de vraag een W-vorm heeft, gekarakteriseerd door een hoge warmtelast in de winter en een hoge koelbelast in de zomer. Het aanbod is een vloeiende overgang van veel aanbod in de zomer tot een factor 5 á 6 minder aanbod in de winter. Voor energie-vlakheid betekent dat dus dat er een energietekort in de winter opgelost moet worden, dat er een energie overschot in de lente en herfst is en dat er reeds ongeveer een match is in de late zomer.



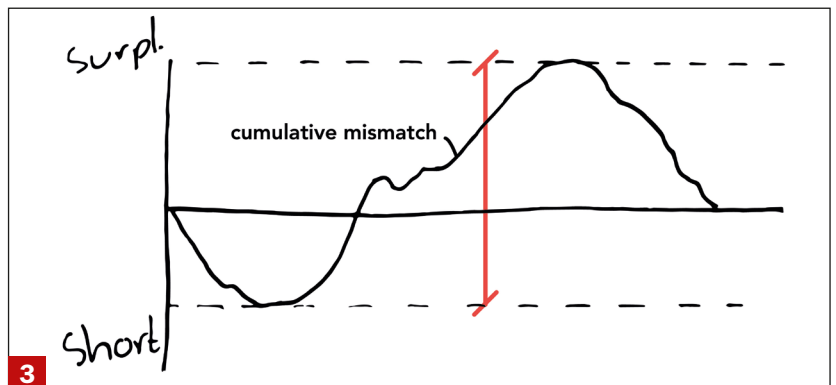
1

KPI1 - absolute energie-vlakheid



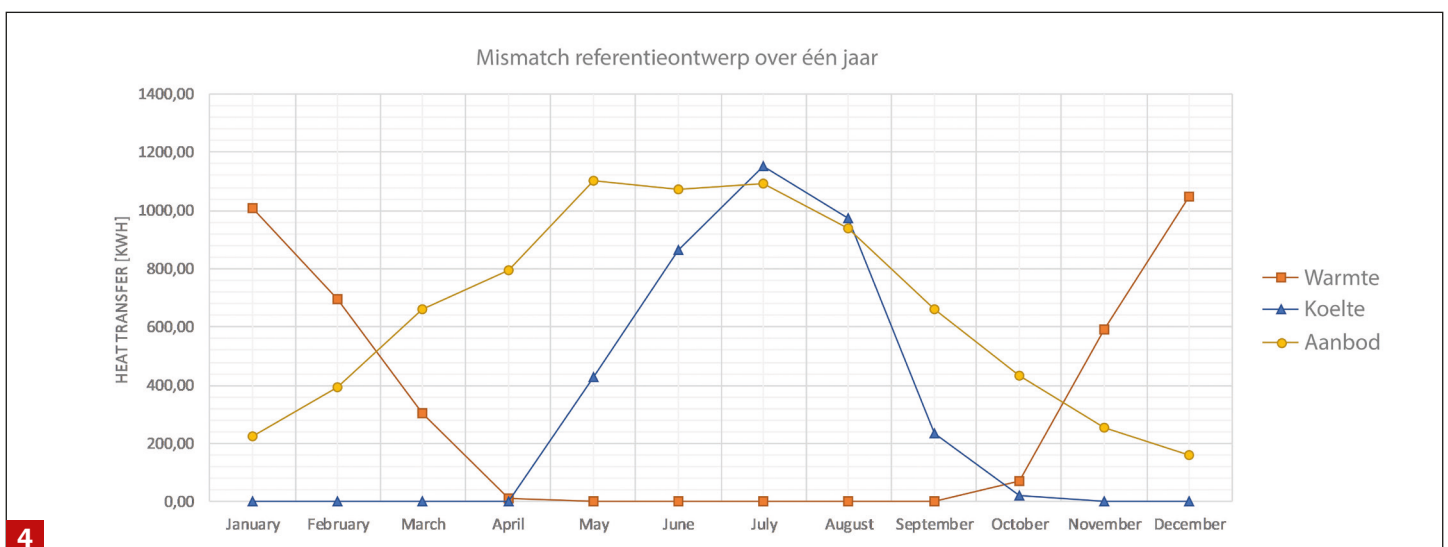
2

KPI2 - maximale mismatch piekwaarde



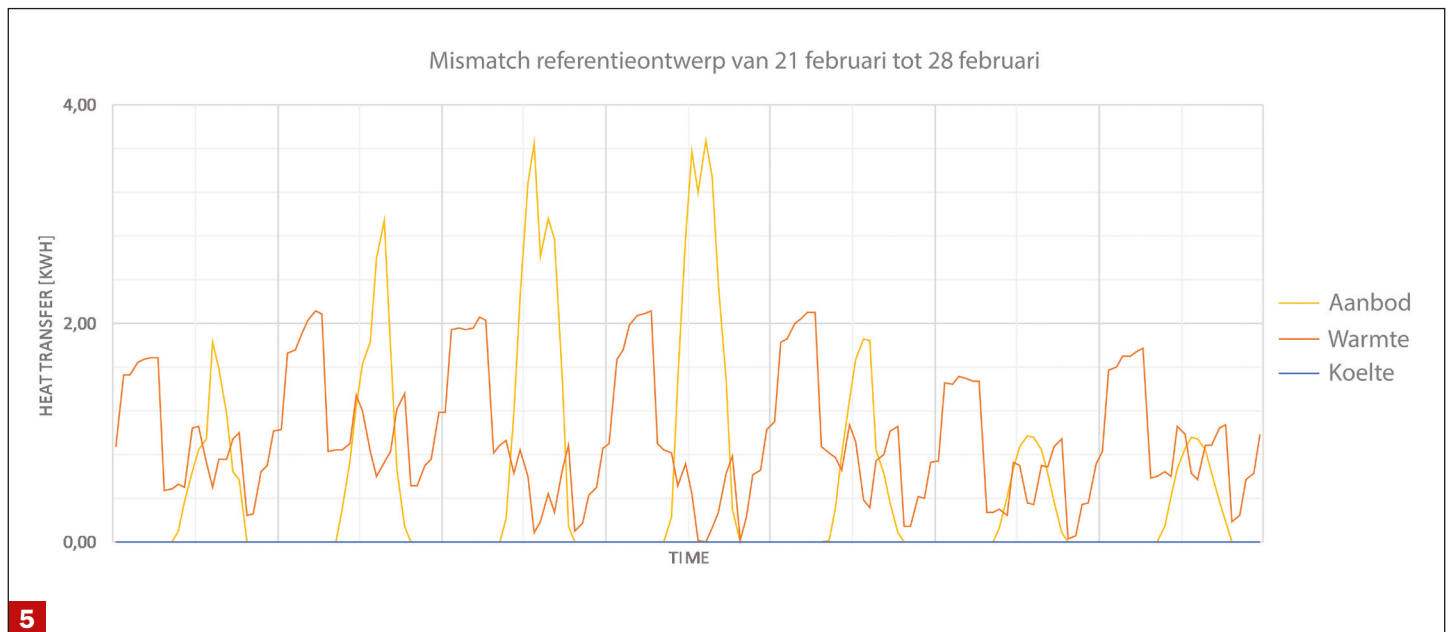
3

KPI3 - maximale cumulatieve mismatch



4

Mismatch referentieontwerp over één jaar met maandwaarden



5

Mismatch referentieontwerp met uurwaarden voor een winterse week

Mismatch per dag

De dag totalen van energievraag en -aanbod laten zien dat:

- Het energie-aanbod per dag veel verschilt als gevolg van wisselende bewolking en zonnekracht.
- De warmtevraag kent ook grote verschillen, alleen duurt het langer voordat de verschillen zichtbaar worden. Met andere woorden, een grote warmtevraag houdt vaak meerdere dagen aan.
- De dagelijkse koeltevraag lijkt op het dagelijkse aanbodprofiel. Immers, dagen met veel zon zorgen voor zowel een hoge koellast als een hoge energieproductie.

Voor energie-vlakheid betekenen bovenstaande conclusies een behoefte aan ófwel een constanter energie-aanbod ófwel een flexibelere energievraag.

Mismatch per uur

Wanneer een nog kleiner tijdsinterval wordt genomen, worden de verschillen per etmaal zichtbaar (figuur 5).

- In de winter is er een piek in warmtevraag midden in de nacht (uitgaande van een referentie-ontwerp dat altijd een minimumtemperatuur van 19°C behoudt).
- In de winter is er op zonnige dagen een energie-overschot midden op de dag en op bewolkte dagen is het totale energie-aanbod niet voldoende om aan de vraag van diezelfde dag te voorzien.
- In de zomer lopen de koeltevraag en het energie-aanbod ongeveer synchroon; van zonsopkomst tot zonsondergang, hoewel een groot energie-overschot midden op de dag aanwezig is als gevolg van een zeer hoge zonnekracht.

Voor energie-vlakheid betekent dit dat de energievraag 's nachts te allen tijde geminimaliseerd moet worden. Ook moet de totale energievraag omlaag om überhaupt een match mogelijk te maken op winterse dagen. Verder moet er een oplossing gezocht worden voor het energie-overschot midden op de dag in de zomer.

BOUWKUNDIGE DOELEN VOOR ENERGIE-VLAKHEID

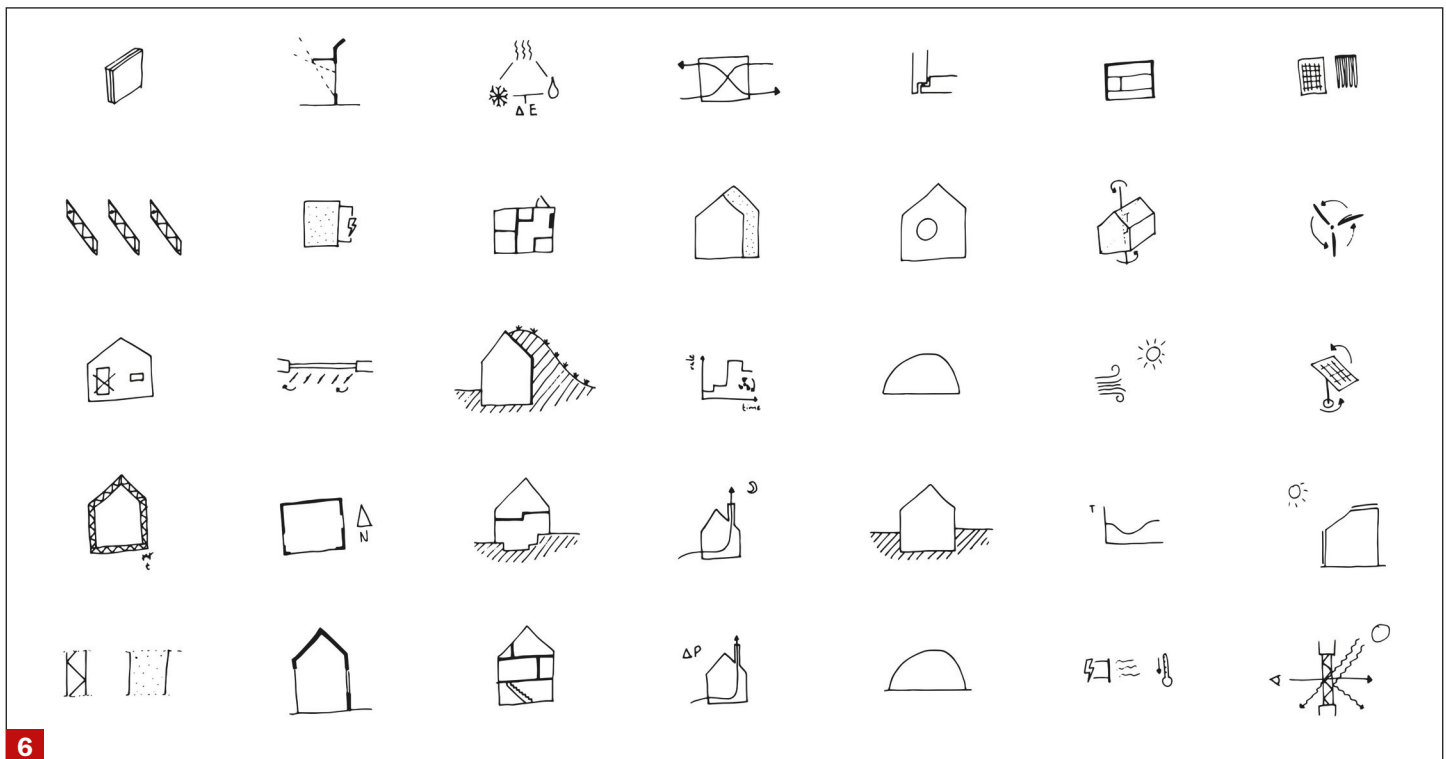
Na kennis over de huidige mismatch, is de volgende stap om kennis op te doen over de invloed van bouwkundige eigenschappen op de energie-vlakheid van een gebouw. Dit is bereikt met verschillende parameter studies, waarin het effect van het aanpassen van gebouw-eigenschappen op de energie-vlakke prestatie van een ontwerp wordt geanalyseerd. Uit deze studies blijkt een set aan regels die beschrijven welke bouwkundige aanpassingen er gedaan kunnen worden ten behoeve van energie-vlakheid. Hieronder wordt een aantal van de belangrijkste beschreven, met bijbehorende redenen.

Passieve zonne-energie en vermindering warmteverlies door ramen

Het gebruik van passieve zonne-energie is essentieel in energie-vlakke architectuur, omdat het de warmtevraag aanzienlijk kan verminderen. Dit betekent een behoefte aan grote, transparante vlakken op het zuiden. In combinatie met thermische massa zorgt dit voor veel 'gratis' warmte, met behoud van een comfortabele, constante binnentemperatuur. Op deze wijze wordt ook de nachtelijke energievraag verminderd, hetgeen van belang is voor energie-vlakheid. De relatief lage isolatiewaarde van ramen ten opzichte van dichte vlakken moet wel gecompenseerd worden, om grote energieverliezen te voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden met geïsoleerde luiken; een methode die een tijd geleden uit de mode is geraakt door verbeterde isolatiewaarden van glas, maar wellicht nu weer nieuw leven in geblazen kan worden door deze nieuwe behoefte.

Adaptieve systemen

Een constante balans tussen vraag en aanbod vraagt om een flexibelere warmtevraag. Voorverwarming en -koeling zijn effectief gebleken. Dit principe betekent letterlijk dat er meer dan nodig verwarmd en gekoeld wordt ten tijde van energie-overschot. In de winter kan dit bij-



6

Ontwerpprincipes ten behoeve van energie-vlakheid

voorbeeld zorgen voor opwarming tot 22°C midden op de dag. Het voordeel is dat er 's avonds en 's nachts dan minder verwarmd hoeft te worden. Hierbij moet comfort natuurlijk gewaarborgd blijven. Een andere adaptieve oplossing is een dynamisch ventilatievoud, waarbij de ventilatiestroom zich aanpast op het verschil in binnen en buitentemperatuur.

Zonne-energie op oost, west en zelfs noordelijke vlakken

Uit het onderzoek is gebleken dat het gebruik maken van de oost, west en noord-oriëntatie voor zonne-energie effectief is voor energie-vlakheid. Dit heeft twee redenen. Ten eerste zitten de pieken van energievraag in de ochtend en in de avond, een oriëntatie op respectievelijk de oost- en westzijde zorgt dus vanzelf voor een betere match. Ten tweede is een constanter energie-aanbod gunstig, omdat het minder flexibiliteit vanuit de vraagzijde verwacht. Het grotere aandeel van diffuus licht op noord, oost en west zorgt voor een constanter aanbod. De kritische noot hierbij is natuurlijk dat het PV-systeem effectief diffuus licht moet om kunnen zetten in energie.

Toolbox voor energie-vlak ontwerp [kop 2e niveau]

Om de bouwkundige doelen, zoals beschreven in het vorige kopje, effectief in praktijk te kunnen brengen is een toolbox bedacht met 35 ontwerp oplossingen die bijdragen aan energie-vlakheid. De variatie aan oplossingen geeft ontwerpers de kans om al in een vroeg stadium rekening te houden met het behalen van energie-vlakke doelstellingen. Schematisch zijn alle principes weergegeven in figuur 6. Twee principes zijn als voorbeeld hieronder uitgelicht, voor alle andere uitwerkingen verwijs ik u graag naar de thesis.

Voorbeeldprincipe 1: draaiende, geïsoleerde luiken

De lage isolatiewaarde van ramen kan gecompenseerd worden met geïsoleerde luiken bij afwezigheid van gebruikers of daglicht. Door de draaiende werking van de luiken kunnen ze op warme dagen effectief dienst doen als zonwering. Dit principe is met name essentieel wanneer grote glasoppervlakten worden toegepast voor passieve zonne-opwarming.

Voorbeeldprincipe 2: met aarde bedekte woning

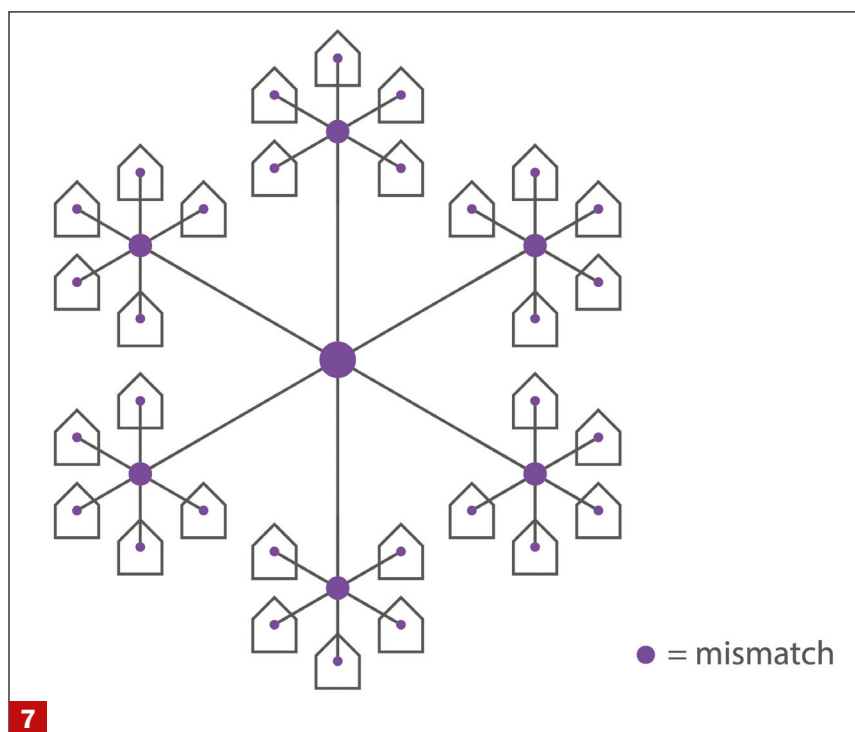
Door een woning te bedekken met aarde stijgt de thermische massa ervan aanzienlijk. Deze grote massa zal uiteindelijk een constante(re) temperatuur bereiken en werkt tot in zekere mate isolerend. Door de thermische traagheid geldt dat hoe groter de massa, hoe flexibeler men kan zijn met het moment van verwarmen. Dit ontwerp principe is natuurlijk niet overal toepasbaar, maar biedt een mooi voorbeeld over hoe energetische werking en architectuur samen kunnen werken.

Energie-vlakheid in het grotere systeem

De aanleiding voor het onderzoek naar energie-vlakke woningen is de groeiende uitdaging om balans tussen vraag en aanbod te krijgen in het Nederlandse energienet. Hoe deze balans bereikt moet worden geeft veel ruimte voor discussie; je kan je dan ook afvragen of energie-vlakke woningen wel dé oplossing zijn.

Figuur 7 geeft een schematisch overzicht van het Nederlandse energiesysteem. Iedere paarse stip is een woning, met haar eigen unieke mismatch. Meerdere woningen vormen samen een wijk, met haar eigen mismatch en alle wijken samen zijn het landelijke net. Uit dit schema blijkt de mismatch van de wijk de som is van de mismatches van de losse woningen. Een tekort van meerdere woningen tegelijk is dus onwenselijk, echter kan een





7 Schematische weergave energiesysteem Nederland

overschot van de ene woning ook het tekort van een andere woning compenseren. In het grotere systeem kan een mismatch dus zowel positief als negatief zijn. Theoretisch gezien is er perfecte energiebalans als alle gebouwen in het net energie-vlak zijn. Dit theoretisch optimum is echter niet haalbaar. In de eerste plaats omdat we simpelweg niet de mogelijkheid hebben om alle gebouwen perfect energie-vlak te maken. Maar zelfs als dat zou kunnen, zou het nog geen voorkeursoplossing zijn. Het onderzoek naar energie-vlakke woningen heeft aangetoond dat woningen relatief eenvoudig veel energie-vlakker gemaakt kunnen worden, maar dat perfecte energie-vlakheid extreem lastig te bereiken is. Het zou dus efficiënter zijn om alleen de efficiënte maatregelen toe te passen op woningniveau, en de resterende mismatch op andere schalen van het systeem met andere middelen op te lossen.

CONCLUSIE EN AANBEVELING

De hoofdvraag is op welke manier energie-vlakheid in een woning bereikt kan worden met alleen architectonische middelen. Energie-vlakheid betekent dat de energievraag en het lokale hernieuwbare energieaanbod op ieder uur van het jaar gelijk aan elkaar zijn. In dit onderzoek is energie-vlakheid gekwantificeerd middels drie key-performance indicators. Daarnaast zijn de karakteristieken van de huidige mismatch in kaart gebracht, het effect van bouwkundige eigenschappen op energie-vlakheid geanalyseerd en zijn er een ontwerp-toolbox en een voorbeeldontwerp gemaakt voor een energie-vlakke woning. Er is geconcludeerd dat architectuur significant kan bijdragen aan het bereiken van energie-vlakheid en dat het ook wenselijk is om dit na te streven. Echter, een perfect energie-vlakke woning is praktisch gezien niet haalbaar en niet effectief.

Energie-vlakheid is een onderwerp dat een steeds belangrijkere rol gaat spelen, naarmate het aandeel van hernieuwbare energie in het energiesysteem stijgt en de economische energiemarkt steeds dichterbij de consument komt te staan. Dit afstudeeronderzoek is slechts een eerste stap in de goede richting, en dient als een degelijke fundering voor verder onderzoek naar dit onderwerp. In mijn optiek zijn de eerste stappen om te onderzoeken wat het effect is van bouwkundige installaties op energie-vlakheid, hoe energie-vlakheid vorm krijgt wanneer meerdere woningen tegelijk worden beschouwd en hoe kunstmatige intelligentie kan bijdragen aan het effectiever maken van dynamische bouwkundige systemen in het belang van energie-vlakheid.

TOT SLOT

Dit afstudeeronderzoek was onderdeel van de MSc Architecture, Urbanism & Building Sciences aan de TU Delft, track Building Technology. Het begeleidende stagebedrijf was DPA Cauberg-Huygen en de hoofdmentor vanuit de TU Delft was Prof. dr. ir. Andy van den Dobbelsteen. Het volledige verslag is te vinden op de repository van de TU Delft. ■

BRONNEN

- [1] International Energy Agency (2016), *International Energy Outlook 2016*, Washington DC, United States of America: U.S. Department of Energy
- [2] DGMR (2016), *BENG Referentiegebouwen*, Den Haag, Nederland: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland