

Auteurs

Zahra Tabatabaei Mirhosseini[1], Rick Kramer [1], Jan-Fokko Haan [2], Kevin de Bont [3], Paul Noom [2]

1) Faculteit Bouwkunde, TU Eindhoven

2) Kropman Installatietechniek

3) OpenToControl

Verhoging van het eigen gebruik van PV-energie met Load Shifting door slimme regeling van de binnentemperatuur

In moderne gebouwen met PV-panelen komt het regelmatig voor dat er een overschot aan geproduceerde elektriciteit ontstaat. Deze overtollige elektriciteit wordt in veel gevallen teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. Wanneer de netcapaciteit echter onvoldoende is – wat steeds vaker voorkomt in Nederland – leidt dit tot netcongestie. Zowel de export van teveel opgewekte stroom als de import van elektriciteit op momenten dat het elektriciteitsnet zijn maximum bereikt, zijn problematisch. In dit kader is Demand-Side Management (DSM), ofwel vraaggestuurd energiebeheer, een veelbelovende strategie. Door middel van – het verplaatsen van de energievraag in de tijd, oftewel load shifting kan het elektriciteitsgebruik beter worden afgestemd op de momenten van hoge pv-productie in de zomer, of kan helpen om piekbelastingen in de winter te verminderen. Dit vergroot de flexibiliteit van gebouwen en draagt bij aan de oplossing voor netcongestie.

Het ASR-kantoor in Utrecht, een gebouw met een volledig elektrische energievoorziening, ervaart momenteel knelpunten in de netcapaciteit. Hierdoor is het gebouw aangewezen op innovatieve methoden om vraag en aanbod van elektriciteit beter op elkaar af te stemmen. Dit onderzoeksproject heeft de mogelijkheden van load shifting in kaart gebracht. Daarbij is specifiek gekeken naar het verminderen van de piekvraag in de winter én het verhogen van het eigen gebruik van PV-energie in de zomer. Het onderzoek is uitgevoerd met een combinatie van praktijktesten in het gebouw en simulaties met behulp van een gebouwssimulatiemodel in MATLAB-Simulink. De focus ligt op het slim aansturen van de binnentemperatuur via het gebouwbeheersysteem.

De toepassing van zonne-energie in de gebouwde omgeving is in de afgelopen decennia sterk toegenomen. Dit komt niet alleen voort uit de wens om fossiele brandstoffen te vervangen, maar ook uit de noodzaak om gebouwen energie-efficiënter en duurzamer te maken. Zonnestroom (PV-energie) is bij uitstek geschikt om lokaal in de elektriciteitsbehoefte van gebouwen te voorzien.

[1] Toch blijkt in de praktijk dat er vaak sprake is van een mismatch tussen productie en gebruik. Overdag, wanneer de zon volop schijnt, is de vraag naar elektriciteit in kantoren vaak relatief laag, zeker tijdens het weekend of vakantieperiodes. Dat leidt tot momenten van overproductie, waarbij het gebouw meer stroom opwekt dan verbruikt. [2]

In situaties waarin het gebouw is aangesloten op een elektriciteitsnet met beperkte capaciteit, zoals het geval is bij het ASR-hoofdkantoor in Utrecht, kan die overproductie niet altijd worden teruggeleverd. Netbeheerders hanteren dan import- en exportlimieten om verstoringen van het regionale of landelijke elektriciteitsnet te voorkomen. Wanneer deze limieten worden bereikt, ontstaat netcongestie. [3] Dat is problematisch, omdat het de energietransitie vertraagt en investeringen in PV-panelen minder rendabel maakt.

Een mogelijke oplossing is het verhogen van het eigen gebruik van opgewekte zonne-energie en het verminderen van piekbelastingen. Dit houdt in dat het gebouw meer stroom gebruikt op de momenten dat er veel wordt geproduceerd en



minder wanneer er piekbelastingen is. Dit kan door energie-intensieve processen, zoals verwarmen of koelen, te verplaatsen. Het verplaatsen van energieverbruik in de tijd – ook wel load shifting genoemd – is daarmee een sleutelstrategie binnen Demand-Side Management. Daarbij wordt gebruikgemaakt van de thermische massa van het gebouw als een vorm van kortetermijnopslag: het gebouw wordt bijvoorbeeld alvast verwarmd voordat de werkdag begint of gekoeld tijdens periodes met te veel PV-productie.

De centrale onderzoeksvraag in deze studie luidt dan ook: hoe kan load shifting bijdragen aan het verhogen van het eigen gebruik van PV-energie in de zomer en het reduceren van piekbelastingen in de winter?

Het ASR-gebouw als casestudy

Het ASR-hoofdkantoor is een representatief voorbeeld van een duurzaam gerenoveerd kantoorgebouw. Het oorspronkelijke pand dateert uit 1970, maar onderging tussen 2012 en 2016 een ingrijpende renovatie om te voldoen aan de nieuwste energie-eisen.[4] Het gebouw beschikt over een aanzienlijke PV-installatie, waarvan circa 88 procent van de opgewekte elektriciteit direct wordt verbruikt. De overige 12 procent wordt beschouwd als overtollige productie, waarvan een deel vanwege netbeperkingen niet kan worden geëxporteerd.

Het gebouw is verdeeld in vier hoofdzones, met meerdere subzones per verdieping. De onderzoekslocatie betreft drie specifieke verdiepingen: de achtste, negende en tiende. Daarin zijn verschillende regelstrategieën geïmplementeerd.

De negende verdieping is bij uitstek geschikt voor analyse: deze wordt omringd door andere geteste verdiepingen. De zevende verdieping draait op het standaardgebruikersprofiel van het gebouw en heeft een vergelijkbare indeling als de gecontroleerde verdiepingen. Deze verdieping fungeert daarmee als referentie voor vergelijking de resultaten van de test.

Belangrijk te vermelden is dat het ASR-gebouw volledig elektrisch is en gebruikmaakt van lagetemperatuur-warmteopslag (LT-ATES) direct voor koeling, maar verwarming vindt plaats met behulp van warmtepompen.

Onderzoeksmethode

Om de potentie van load shifting binnen het ASR-gebouw goed te kunnen beoordelen, is gekozen voor een combinatie van praktijkexperimenten en simulaties. De kern van het onderzoek bestaat uit het aanpassen van de temperatuursetpoints voor verwarming en koeling over de tijd. De momenten van aanpassingen zijn zodanig gekozen dat ze passen binnen de operationele en comfortgrenzen van het gebouw, maar tegelijkertijd inspelen op de momenten waarop er overtollige zonne-energie beschikbaar is.



Foto 1: Het ASR-hoofdkantoor is een representatief voorbeeld van een duurzaam gerenoveerd kantoorgebouw. Foto: ASR.

De methodische aanpak kent drie hoofdonderdelen:

Analyse van het energieverbruik

In eerste instantie is het elektriciteitsverbruik van het gebouw geanalyseerd om inzicht te krijgen in de piekbelasting en in het dagelijks en seizoensgebonden gebruikspatroon. Dit heeft geholpen om specifieke verdiepingen te selecteren voor de experimenten en om referentieperiodes vast te stellen.

Praktijktests met load shifting

Vervolgens zijn meerdere scenario's voor voorverwarming en voorkoeling geïmplementeerd in het gebouwbeheersysteem. Deze scenario's zijn afgestemd op momenten van lage bezetting (zoals het weekend of de nachtelijke uren), met als doel om het thermisch vermogen te verschuiven naar periodes met overtollige PV-productie, en in de winter ook naar periodes met minder consumptie. Gedurende de testperioden zijn verschillende parameters gemeten, zoals de kamertemperatuur, de opening van verwarmingskleppen en het thermisch stroomverbruik per verdieping.

Simulaties met een dynamisch gebouwmodel

Parallel aan de praktijktests zijn dynamische HVAC-scenario's ontwikkeld in Matlab Simulink op basis van het white-boxmodel HAMbase.

Bijzondere aandacht is besteed aan het thermisch comfort van de gebruikers. Hiervoor is gebruikgemaakt van de ATG-methode, waarmee wordt geëvalueerd of de temperatuur gedurende de dag binnen aanvaardbare grenzen blijft. Ten slotte is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, om te achterhalen welke parameters het meest van invloed zijn op het verhogen van het eigen gebruik.

Experimentele test voor energieflexibiliteit

Twee verschillende scenariosets worden gebruikt om de invloed van voorverwarming op de piekbelastingsreductie te evalueren; één set voor weekenden en één voor onbezette uren op werkdagen, zoals weergegeven in tabel 1.

Volgens tabel 2 geven de voorkoelscenario's aan dat het gebouw tijdens werkdagen 's ochtends vroeg en 's middags wordt voorgekoeld. In het weekend wordt de voorkoeling alleen in de middag toegepast om het eigen gebruik van overtollige PV-opwekking te verhogen. Op werkdagen wordt de kamertemperatuur gemeten op de testdag en op de daaropvolgende maandag voor de weekendstrategie, om te controleren of de temperatuur tijdens de verwarmingsperiode minimaal 20 °C en tijdens de koelperiode maximaal 23 °C bereikt door middel van load shifting.

Modelontwikkeling

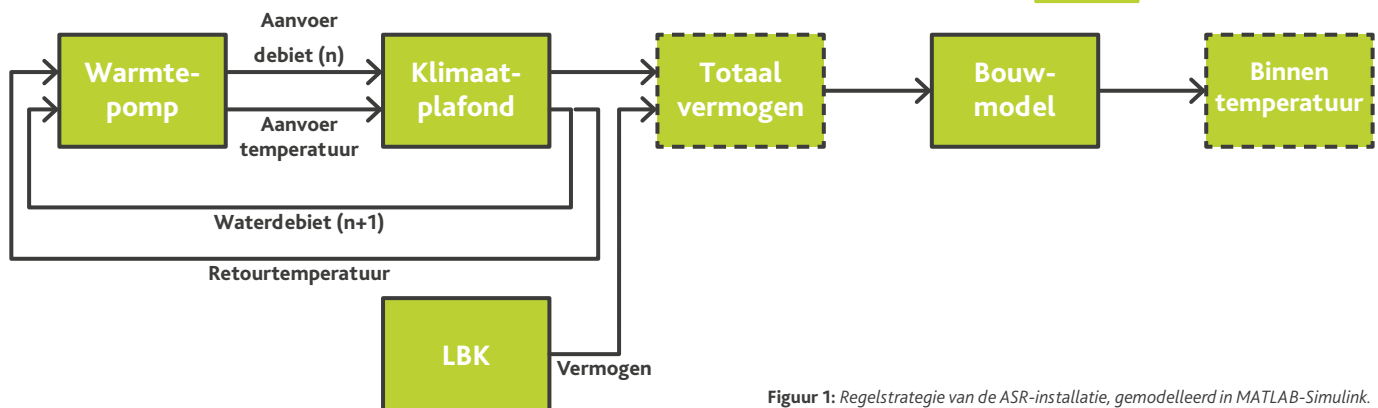
Het HAMbase white-boxmodel in MATLAB Simulink [5] is geconfigureerd aan de hand van de specifieke kenmerken van de ASR-casestudy. Dit model wordt gebruikt voor het simuleren van dynamische HVAC-regelingen (zie tabel 3). Vanwege de dynamische veranderingen in temperatuurinstellingen tijdens het voorverwarmen en voorkoelen worden de gebouwssystemen gemodelleerd in Simulink en gekoppeld aan het HAMbase-model. Volgens figuur 1 genereert het dynamische systeemmodel het verwarmings- en koelvermogen, en deze vermogensproductie wordt door het gebouwmodel gebruikt om de binnentemperatuur te simuleren.

Weekendstrategie			
Scenario ID	SC 01	SC 02	
Duur	13-31 mrt. 2024	01-27 apr. 2024	
Dag	Sunday		
Starttijd	10:00	11:00	
Eindtijd	16:00	17:00	
Setpoint (°C)	22	22	
Werkdagstrategie			
Scenario ID	SC 01	SC 02	SC 03
Duur	13-31mrt. 2024	01-07apr. 2024	08-27apr. 2024
Dag	Dinsdag tot Vrijdag		
Starttijd	00:00	00:00	02:00
Eindtijd	04:00	04:00	04:00
Setpoint (°C)	22	21.5	21

Tabel 1: Twee verschillende scenariosets van voorverwarming.

Weekendstrategie				
Scenarios ID	SC 01			
Duur	20 Mei – 07 juli 2024			
Dag	Zondag			
Starttijd	14:00			
Eindtijd	19:00			
Setpoint (°C)	21			
Werkdagstrategie				
Scenarios ID	SC 01			
Duur	20 Mei – 07 juli 2024			
Dag	Maandag	Dinsdag tot Donderdag		Vrijdag
Starttijd	16:00	05:00	16:00	05:00
Eindtijd	19:00	07:00	19:00	07:00
Setpoint (°C)	21	21		21

Tabel 2: Twee verschillende scenariosets van koeling.



Figuur 1: Regelstrategie van de ASR-installatie, gemodelleerd in MATLAB-Simulink.

Eigen gebruik

Relatief eigen gebruik (1) definieert de verhouding tussen het eigen gebruik (C) en de totale hoeveelheid eigen gebruik en overtollige PV-opwekking (B), zoals beschreven in [6].

$$\text{Relatief eigen gebruik} = C / (B+C)$$

Gegevenspresentatie

Figuur 2 laat zien dat het piekverbruik plaatsvindt tijdens de winterse werkuren tussen 6:00 en 8:00 uur. Het grootste deel van het totale energieverbruik en de totale piekbelasting in de winter is afkomstig van verwarming via een warmtepomp. Daarom is er een groot potentieel om de totale piekbelasting te verlagen door de piekbelasting voor verwarming te verlagen door deze te verschuiven naar de daluren.

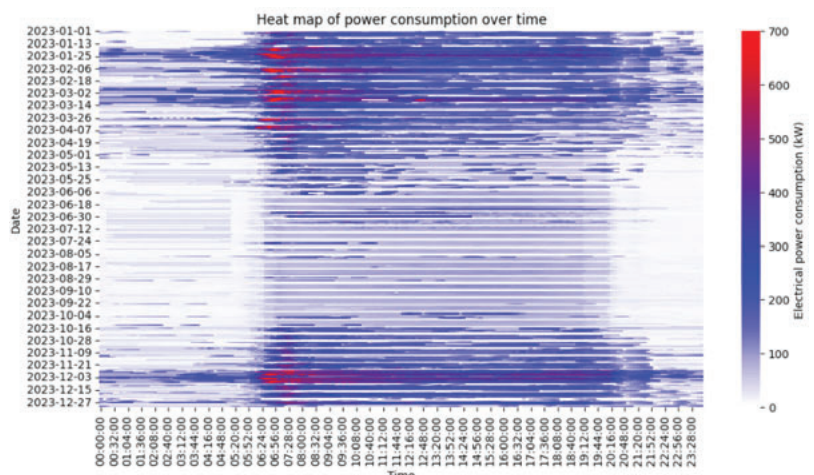
De bijdrage van koelvermogen aan het totale elektriciteitsverbruik en de piekbelasting is lager. Dit komt doordat het koelvermogen grotendeels rechtstreeks door het WKO-systeem wordt geleverd. In de zomer kan de overtollige PV-productie echter worden gebruikt voor verkoeling door de koelvraag te verschuiven naar daluren in de vroege ochtend, avond en weekenden.

Experimentele test met load shifting

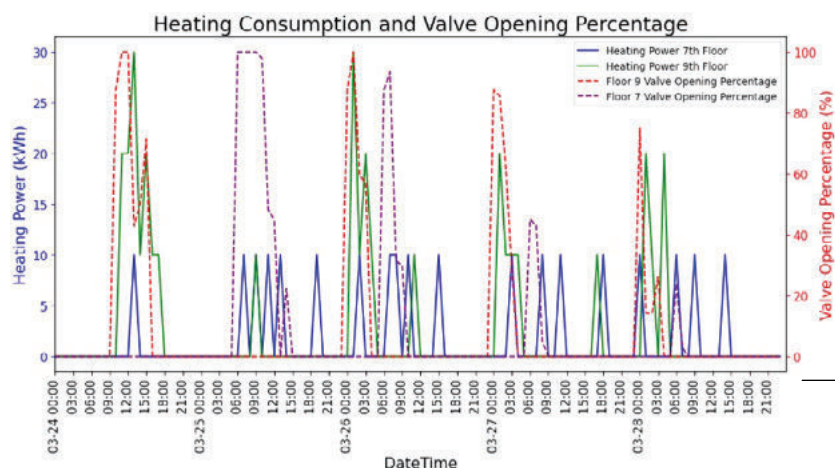
Het onderzoek in de winter richt zich op het verlagen van de piekbelasting in de verwarming door deze te verschuiven naar de daluren. De potentiële HVAC-flexibiliteit is bestudeerd door

de gegevens over het percentage geopende kleppen en de activering van het verwarmings- en koelsysteem van elke verdieping te controleren. Figuur 3 laat zien dat het percentage geopende kleppen en het thermische stroomverbruik van de negende verdieping (de voorverwarmde verdieping) zijn verschoven naar daluren, vergeleken met de zevende verdieping, die niet is voorverwarmd [7]. Bovendien is er op maandagochtend geen verwarmingssysteem geactiveerd en is er geen thermisch stroomverbruik op de negende verdieping vanwege de verschuiving van de verwarmingslast naar zondag.

Het voorkoelproces voorkomt ook dat het koelsysteem wordt geactiveerd tijdens de piekuren tussen 7:00 en 8:00 uur, terwijl een maximumtemperatuur van 23 °C wordt bereikt om 7:00 uur. Het is daarom mogelijk om de gewenste comforttemperatuur te handhaven tijdens de piekuren zonder het koelsysteem te activeren door middel van load shifting, wanneer de buitentemperatuur lager is dan 23 °C.



Figuur 2: Heatmap van het elektriciteitsverbruik.



Figuur 3: Verschuiving van de piekbelasting op de 9^e verdieping van het ASR-gebouw.

Wanneer de buitentemperatuur eind juni stijgt tot 23 °C, zijn de binnentemperaturen om 7:00 uur iets hoger dan 23 °C (comforttemperatuur), waardoor het koelsysteem wordt geactiveerd. Om de binnentemperatuur op 7:00 uur in de comfortzone te houden door alleen voor te koelen, kan de voorcoelperiode worden verlengd tot 22:00 uur 's avonds. Er is een constant koelvermogen gedurende de dag voor de 7e verdieping, die niet wordt voorgekoeld. Tijdens het voorcoelen wordt overtollige PV-opwekking in niet-bezette uren verbruikt om het verschoven koelvermogen te leveren. De totale energiebehoefte van de 9e verdieping neemt met 4,1% toe voor voorcoeling en verdubbelt ongeveer voor voorverwarming als gevolg van load shifting, vergeleken met de 7e verdieping.

Simulatie van load shifting

Tabel 3 schetst de dynamische temperatuursetpointscenario's, ontwikkeld om de experimenteel geteste load shift-strategieën te optimaliseren afhankelijk van de buitentemperaturen.

De dynamische scenario's gebruiken verschillende temperatuurinstellingen voor verschillende buitentemperatuurdrempels en worden gesimuleerd met behulp van het ontwikkelde model. In de simulatiefase wordt de voorverwarmingsperiode beschouwd van oktober 2023 tot en met maart 2024. Volgens figuur 4 daalt de warmtevraag tot 67% tijdens piekuren in warmere maanden en tot 37% in koudere maanden ten opzichte van de referentie. De totale vraag neemt maximaal toe met 37% in warmere maanden en 15% in koudere maanden. De hoogste percentages van totale belastingtoename en piekbelastingafname doen zich voor in de warmere

SCE	Voorverwarming					
	Buitentemperatuur-drempel (°C)	STP Buitentemp.> buitentemperatuurdrempel (°C)	Buitentemp.< buitentemperatuurdrempel (°C)	Periode (uur)		
1	-5	21	22	2		
2	5	21	22	2		
3	10	21	22	2		
4	5	20.5	22	2		
5	5	20.5	21	2		
ATG	ATG class B			2		
SCE	Voorkoeling					
	Buitentemperatuur-drempel (°C)	STP Buitentemp.> buitentemperatuurdrempel (°C)	Buitentemp.< buitentemperatuurdrempel (°C)	ma.	middag	zo.
1	14	21	20	06:00-07:00	16:00-19:00	10:00-19:00
2	14	21	20	-	16:00-19:00	14:00-19:00
ATG	ATG class B			06:00-07:00	16:00-19:00	10:00-19:00

Tabel 3: Dynamische temperatuursetpoint-scenario's.

maanden maart en oktober. Door de hogere absolute warmtevraag in koudere maanden, vergeleken met oktober en maart, zijn de absolute veranderingen in de vraag groter in koudere maanden. De analyse van de verschoven belasting geeft aan dat het benodigde vermogen voor voorverwarming aanzienlijk hoger is dan de piekvraag in oktober. Dit komt door het beperkte aantal verwarmingsdagen en de lagere piekvraag in oktober.

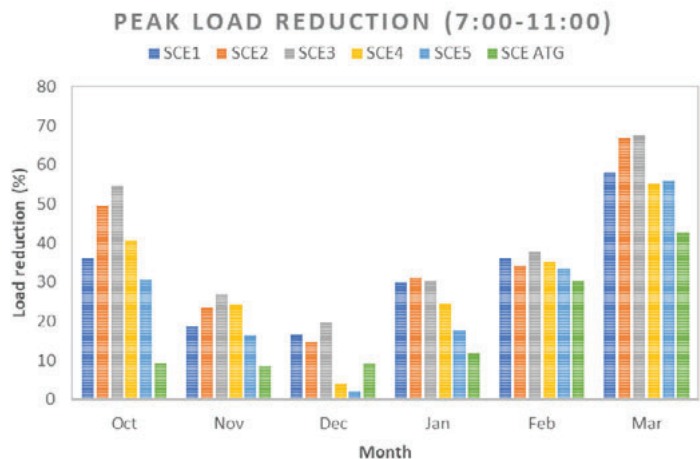
Figuur 5 laat zien dat er geen significante verandering is in het relatieve eigen gebruik na toepassing van voorcoeling. Er is een minimale afname van het overtollige vermogen na voorcoeling. Dit komt door de grote hoeveelheid overtollig vermogen in de zomer en de hoge COP van 20 voor koeling rechtstreeks vanuit het WKO-systeem. Om de reductie van overtollig vermogen door voorcoeling te verbeteren, wordt ervan uitgegaan dat de koeling wordt geleverd door een warmtepomp om de COP te verlagen naar 4. De toename van het eigen gebruik door de verlaging van de COP blijft echter minimaal vanwege de hoge PV-productie in de zomer.

Gevoeligheidsanalyse

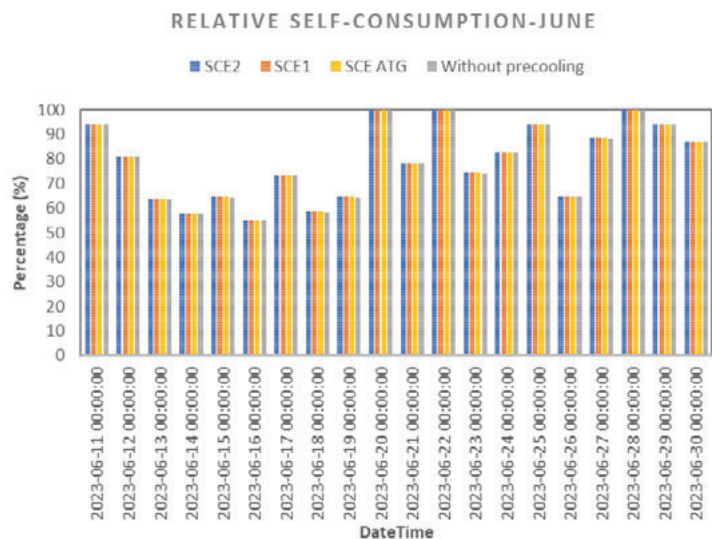
De gevoeligheidsanalyse bestudeert de impact van twee variabelen gerelateerd aan gebouwenkenmerken, PV-opwekking en dynamische insteldrempel, op de effectiviteit van de methodologie voor het verhogen van het eigen gebruik. De ontwikkelde scenario's met verschillende PV-opwekking en drempelwaarden worden weergegeven in tabel 4.

Figuur 6 laat zien dat bij een constant stroomverbruik het eigen gebruik afneemt naarmate de PV-opwekking toeneemt, dit vanwege een lager stroomverbruik en een hogere hoeveelheid resterend overtollig vermogen. De grootste daling van het eigen gebruik vindt plaats in maart tijdens de verwarmingsperiode, en in augustus tijdens de koelperiode, omdat de PV-productie in deze maanden hoger is. Ook is het verwarmingsverbruik in maart lager.

Volgens figuur 7 is het totale effect van variaties in de drempelwaarde voor het wijzigen van de instelwaarden voor voorverwarming en voorcoeling op het eigen gebruik onbeduidend. Dit kan te wijten zijn aan de lagere schommelingen in de buitentemperatuur en het minimale verschil tussen de instelwaarden voor temperaturen onder en boven de drempelwaarde. Tijdens de koelperiode wordt het relatieve eigen gebruik vrijwel niet beïnvloed door het



Figuur 4: De resultaten tonen aan dat de warmtevraag afneemt tijdens piek- en bezettingsuren (7:00-18:00), terwijl de totale vraag toeneemt. Analyse van de afname van de bezettingslast geeft aan dat de totale vraag toeneemt tijdens niet-bezettingsuren.



Figuur 5: Relatief eigen gebruik voor de 9^e verdieping na en vóór toepassing van voorcoelingscenario's.

wijzigen van de drempelwaarden vanwege de hoge stabiliteit van het eigen gebruik in de zomer.

Discussie

Naarmate de buitentemperatuur in april stijgt, voorkomt de warmteopslag in de thermische massa van het gebouw de activering van de verwarming gedurende meerdere opeenvolgende dagen. Dit toont het potentieel aan van de thermische massa van het gebouw voor energieopslag op korte termijn. Verschuiving van de belasting verhoogt het stroomverbruik door warmteverliescompensatie. Dynamische setpoints kunnen deze toename optimaliseren door het juiste setpoint te kiezen op basis van de buitentemperatuur. Hogere setpoints zorgen ervoor dat de

PV opwekking	
SCE	Voorverwarming & voorcooling
SA 1	Bestaande PV opwekking * 2
SA 2	Bestaande PV opwekking * 3
SA 3	Bestaande PV opwekking * 5
Temperatuurdrempel (°C)	
SCE	Voorverwarming
Basislijn	10
SA 1	-5
SA 2	5
SCE	Voorkoeling
Basislijn	10
SA 1	18
SA 2	23

Tabel 4: Scenario's voor gevoeligheidsanalyse.

binnentemperatuur in de vroege uren van de werkdag binnen de comfortzone blijft, maar veroorzaken een grotere toename van het stroomverbruik. Flexibeler setpoints leiden tot minder piekbelastingsreductie, maar tot een kleinere toename van het stroomverbruik. Tijdens de verwarmingsperiode in het weekend zijn scenario's met een hoog stroomverbruik geschikt, omdat er overtollig stroom wordt verbruikt voor voorverwarming, rekening houdend met de bestaan van een overtollige PV-productie. Doordeweeks wordt de toename van het stroomverbruik door voorverwarming echter niet gecompenseerd door overtollige PV-productie. Daarom moet er een evenwicht zijn tussen de drempelwaarde voor de buitentemperatuur en de setpoints om het stroomverbruik te optimaliseren. Beoordeling van het gebruikerscomfort binnen dynamische temperatuurgrenzen maakt een flexibeler regeling van de binnentemperatuur mogelijk, wat de energieflexibiliteit en -efficiëntie kan verhogen.

De 9e verdieping beslaat slechts ongeveer 4% van het totale gebouwoppervlak en door deze strategie

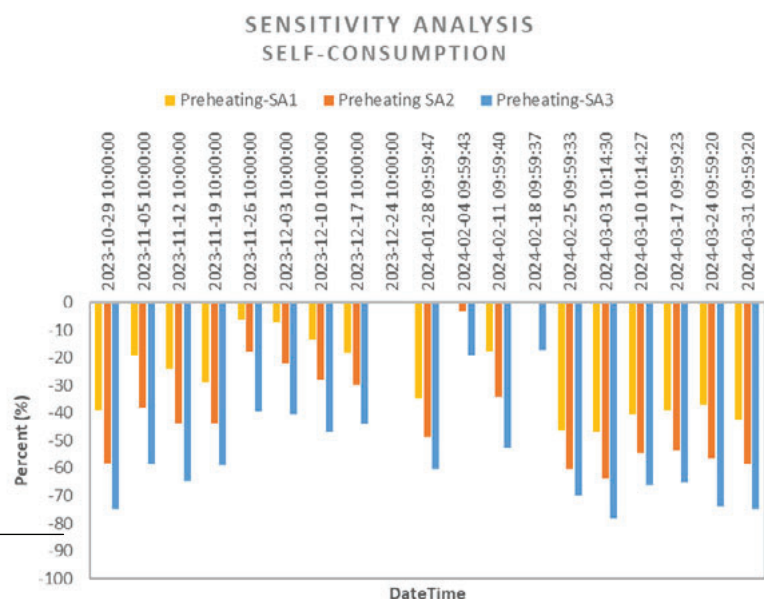
uit te breiden naar andere zones van het gebouw, kan in de zomer een hoger eigen gebruik en in de winter een meer piekbelastingsreductie worden bereikt. De totale drempelwaarde bij het ASR-gebouw voor het importeren van stroom van het elektriciteitsnet in de winter bedraagt op elk moment ongeveer 2000 kW. Ongeveer 1/3 van deze drempelwaarde, zo'n 667 kW, is bestemd voor verwarming. Wanneer de netlimiet in de winter wordt bereikt, kan tot 37% van de piekvraag in koudere maanden (ongeveer 246 kW) flexibel worden gemaakt door deze strategie toe te passen. Het verhogen van het overtollige eigen gebruik van elektriciteit wordt lastiger tijdens warmere zomermaanden vanwege de hogere PV-productie.

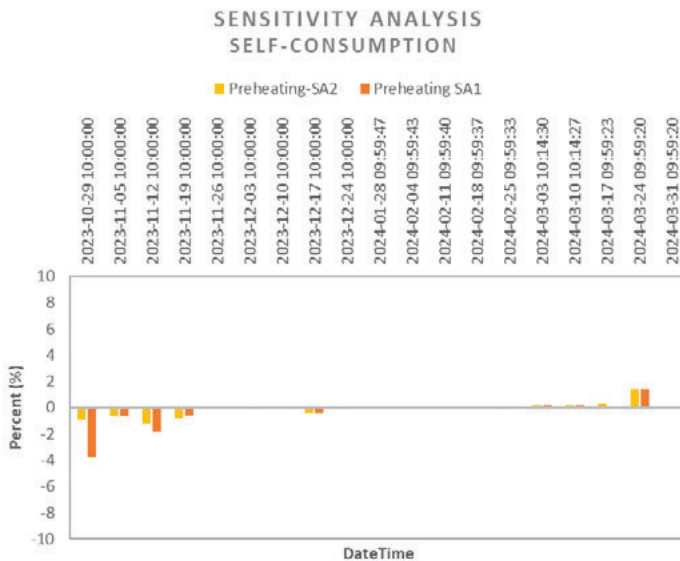
Volgens het scenario voor COP-reductie bij koeling en de resultaten van de gevoeligheidsanalyse is de hoge hoeveelheid PV-opwekking de meest dominante factor die een succesvolle verhoging van het overtollige eigen gebruik van PV-opwekking verhindert. De effectiviteit van deze strategie varieert voor gebouwen met hetzelfde energieverbruik voor verwarming en koeling, maar met een verschillende PV-productie. Het effect van veranderingen in de temperatuurdrempel is onbeduidend, maar dit kan anders zijn als er meer variaties zijn in de buitentemperatuur of als de temperatuursetpoints onder of boven de drempel liggen.

Conclusie

Deze studie richt zich op het beoordelen van de effectiviteit van vraagsturing door middel van load shifting om piekbelastingen te verminderen en het PV-stroomverbruik te verhogen als oplossing voor het congestieprobleem. De resultaten geven aan dat het voorverwarmen van het gebouw helpt om het relatieve eigen gebruik op zondag te verhogen. Het verlaagt het piekverbruik tijdens werkdagen tot een maximum van ongeveer 67% in het stookseizoen maanden en 37% in koudere maanden in het stookseizoen ten opzichte van de basislijn. Het verhoogt echter de warmtevraag tot maximaal 37%. Deze toename vindt plaats tijdens niet-gebruiksuren en de totale vraag tijdens gebruiksuren neemt

Figuur 6: Gevoeligheidsanalyse van de PV-opwekking voor voorverwarming.





Figuur 7: Gevoeligheidsanalyse van de insteldrempelwaarde voor voorverwarming.

af. In het ASR-gebouw kan deze strategie, afhankelijk van hoe vaak congestieproblemen in de winter voorkomen, een flexibele netimportdrempel van maximaal 240 kW mogelijk maken.

Voorkoeling is minder effectief in het verminderen van overtollige PV-productie vanwege de hoge PV-productie in de zomer en de hoge COP van koeling rechtstreeks via een WKO-systeem (overigens bleek de effectiviteit ook beperkt bij een COP van 4 zoals geldt voor een warmtepomp). De hoeveelheid PV-productie speelt een belangrijke rol in de effectiviteit van load shifting om het eigen gebruik te verhogen, terwijl de impact van verschillende temperatuurdrempels minimaal is, vooral bij een hogere PV-productie. De installatiekenmerken van het gebouw en de hoeveelheid PV-productie zijn belangrijke factoren voor de effectiviteit van deze strategie. Het gebruik van het HAM-gebaseerde model in deze studie biedt een eerste beoordeling van de strategie voor het casestudygebouw wanneer er geen historische gegevens beschikbaar zijn.

Huidige status en toekomstige aanbevelingen

Deze studie biedt een eerste inzicht in de effectiviteit van de lastverschuivingsstrategie om de energieflexibiliteit te vergroten.

Kropman breidt deze strategie momenteel uit naar andere zones van het ASR-gebouw om de uitgebreide impact van voorverwarming op de verlaging van de piekbelasting, de economische voordelen en de CO₂-uitstoot te beoordelen. In het OpenToControl-platform is een controleschermin geïmplementeerd om de voorverwarmingstest te rapporteren, waarmee controle wordt verkregen over het geïmplementeerde voorverwarmingsscenario en informatie wordt verstrekt, waaronder gecontroleerde zones en verdiepingen, setpoints, de voorverwarmingsperiode, de status van de verdieping en het stroomverbruik van de verdieping. Vervolgens wordt black-boxmodellering ontwikkeld met een geautomatiseerde controller voor dynamische setpoints, gebruikmakend van een Model Predictive Control (MPC) systeem, waarbij wordt Demand-side flexibility van EV's, batterijen en thermische flexibiliteit in een centrale controller geïntegreerd.

Ook is er nog een onderzoeksonderwerp onontgonnen: het beoordelen van de effectiviteit van het oververwarmen van de warme bronnen van het WKO-systeem door de overtollige warmte van de warmtepomp te gebruiken bij het integreren van de warmtepomp in het koelproces. Dit voorstel kan de vermindering van de koelcoëfficiëntie potentieel compenseren door een toename van het verlagen van de temperatuur van de warme bronnen. Dit kan worden beoordeeld voor gebouwen die hoge-temperatuur opslag (HTO) mogen gebruiken. ■

Over de auteur:

Zahra Tabatabaei Mirhosseini is werkzaam bij Kropman. Ze heeft met dit onderzoek haar master gehaald aan de TU Eindhoven, en eerder dit jaar won ze er de TVVL Student Competition 2025 mee. Ze mocht Nederland vertegenwoordigen tijdens de Europese REHVA Student Competition 2025 op 4 en 5 juni in Milaan. Deze competitie werd gewonnen door de Italiaanse inzending, Beniamino Fambri, die uiteindelijk ook de HVAC World Student winnaar werd.

Referenties

1. T. Ang, M. Salem, M. Kamarol, H. S. Das, M. A. Nazari en N. Prabakaran, "Een uitgebreide studie naar hernieuwbare energiebronnen: Classificaties, uitdagingen en suggesties", Energy strategy review, vol. 43, september 2022.
2. S. Di Turi, L. Ronchetti en R. Sannino, "Op weg naar de doelstelling van Net ZEB: Gedetailleerde energieanalyse en kostenraming voor nieuwe kantoorgebouwen in Italië", Energy and Building, vol. 279, januari 2023.
3. K. Kamil, K.H. Chong, H. Hashim, "Omleiding van overtollige energie in het elektriciteitsnet tijdens hoge penetratie van fotovoltaïsche zonne-energie", Electric Power Systems Research, vol. 214, januari 2023.
4. a.s.r. hoofdkantoor Utrecht (z.d.). Dutch Green Building Council. <https://www.dgbc.nl/projecten/asr-hoofdkantoor-utrecht-3>
5. R.J. Wasman, "Computationale beoordeling van de haalbaarheid van een WKO-tripletsysteem Casestudy: Mijnbouwstraat 120, Delft". MSc-scriptie, Technische Universiteit Eindhoven, april 2023.
6. R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson en J. Palm, "Fotovoltaïsch zelfverbruik in gebouwen: een review", Applied Energy, vol. 142, pp. 80-94, maart 2015.
7. InsiteView (asr.nl)