

# Interactie van warmtepompen met elektriciteitsproductie

Warmtepompen kunnen de CO<sub>2</sub>-uitstoot gerelateerd aan de verwarming van residentiële gebouwen significant laten dalen. Deze daling hangt echter sterk af van hoe de elektriciteit wordt geproduceerd. In dit artikel wordt onderzocht hoe de elektriciteitsvraag van residentiële warmtepompen interageert met een toekomstig productiepark (horizon 2030), op het vlak van aardgasvraag en piekvraag naar elektriciteit.

Ir. D. (Dieter) Patteeuw, doctoraatsstudent KU Leuven, en prof.dr.ir. L. (Lieve) Helsen, hoogleraar KU Leuven

In Europa zijn gebouwen verantwoordelijk voor 36% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en leveren deze dus een significante bijdrage aan de opwarming van de aarde. Een groot deel van het energiegebruik, en dus ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot, in deze sector gaat naar verwarming in residentiële gebouwen. Om dit energiegebruik te verminderen, worden typisch ingrepen aan de gebouwschil of aan het verwarmingssysteem naar voor geschoven. Qua verwarmingssysteem wint de warmtepomp de laatste jaren aan bekendheid en populariteit. Deze wordt algemeen als een energie-efficiënt systeem gezien, maar de hogere investeringskosten vergeleken met die van een condensatieketel vormen momenteel een belangrijke drempel voor consumenten. Er zijn twee mogelijkheden om de warmtepomp voor consumenten financieel aantrekkelijker te maken: door in te spelen op de investeringskosten of op de operationele kosten. In de laatstgenoemde kosten is er onzekerheid voor de consumenten, aangezien het moeilijk te voorspellen is wat de toekomstige elektriciteitsprijs zal zijn. De steeds grotere toename van het gebruik van intermitterende hernieuwbare energiebronnen aan de productiezijde van elektriciteit, voornamelijk windturbines en PV-panelen, zal een significante factor zijn in deze elektriciteitsprijs. In deze context ligt er een belangrijke

oortuiging voor warmtepompen, aangezien deze met behulp van actieve vraagsturing (AVS) bepaalde diensten aan zowel de productiezijde van elektriciteit als aan het elektriciteitsnet kunnen leveren. Door AVS op de warmtepomp toe te passen, namelijk door voorverwarming van het gebouw of sanitair warmwatervat, kan de elektriciteitsvraag van warmtepompen in de tijd verschoven worden. Dit kan bijvoorbeeld toegepast worden om meer energie te gebruiken als de windturbines veel produceren of om elektriciteitsgebruik te vermijden op momenten dat de vaste vraag naar elektriciteit al zeer hoog is. Op deze manier kan een voordeliger elektriciteitstarief voor warmtepompeigenaren worden verkregen, waardoor de warmtepomp een aantrekkelijker alternatief wordt.

In dit artikel wordt het potentieel van AVS in kostenbesparing voor de elektriciteitsproductie onderzocht, die dan gedeeltelijk kan worden doorgerekend aan de consumenten. Deze kosten bestaan uit operationele kosten en mogelijke investeringen in piekcentrales. Om deze kosten correct te bepalen, is een dynamische en geïntegreerde simulatie van zowel gebouwen met warmtepompen als de elektriciteitsproductie noodzakelijk. In dit artikel worden de mogelijke besparingen door diensten aan te bieden op de onbalansmarkt

aan het elektriciteitsnet niet in rekening gebracht. Er worden wel meerdere gebouwtypes en warmtepompinstallaties beschouwd, om in te schatten in welke gevallen de combinatie van een warmtepomp met AVS het interessant is. Een uitgebreidere versie van de resultaten is te vinden in [1].

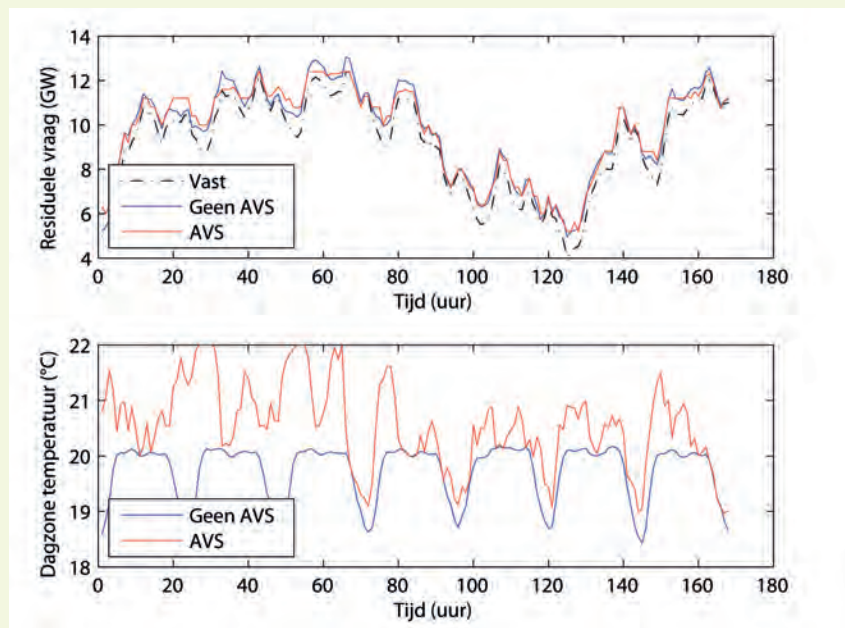
## ■ GEÏNTEGREERDE SIMULATIE

Om de impact van de extra elektriciteitsvraag van warmtepompen op de elektriciteitsproductie in te schatten, wordt het centrale productiepark expliciet gemodelleerd in een optimale-controleprobleem (OCP) waarin de totale productiekosten geminimaliseerd worden. De impact van de elektriciteitsvraag van de warmtepompen wordt bepaald als het verschil in productiekosten wanneer deze vraag al dan niet wordt opgeteld bij de traditionele elektriciteitsvraag (zonder warmtepompen). In het geval er geen AVS is, kan een vraagprofiel van de warmtepomp gebruikt worden. In het geval van AVS, is er een dynamisch model nodig van zowel gebouw als verwarmingssysteem. De verwarmingssystemen worden dan zo aangestuurd dat thermisch comfort steeds bereikt wordt en de kosten aan productiezijde minimaal zijn. Een uitgebreide bespreking van deze methodologie is te vinden in [2]. Om een toekomstige energievoorzie-

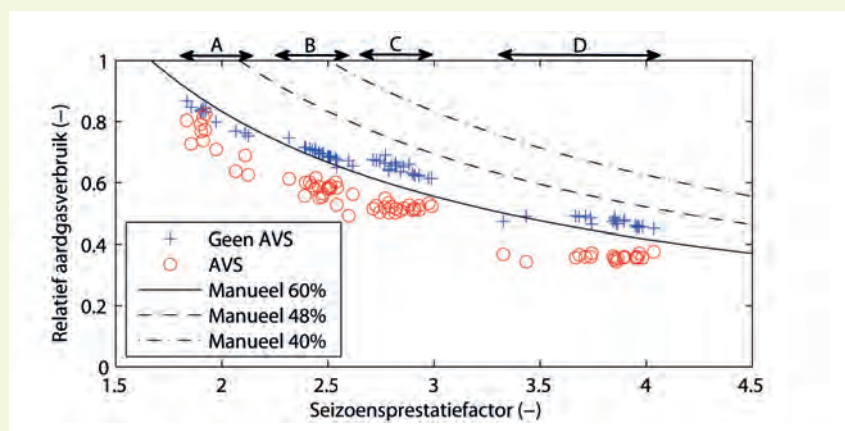
ning te beschouwen, wordt verondersteld dat de elektriciteitsproductie enkel bestaat uit hernieuwbare energie en gasgestookte centrales. Zonnepanelen (10%) en windturbines (30%) worden verondersteld grote bijdragen te leveren op jaarbasis. De gasgestookte centrales worden gemodelleerd met minimale en maximale output en de bijhorende rendementen. Qua gebouwen worden verschillende types beschouwd, namelijk zes bouwjaar-categorieën, twee renovatiegraden en drie typologieën. Het dynamisch model van deze gebouwen wordt opgebouwd als een netwerk van thermische weerstanden en capaciteiten. Voor de verwarmingssystemen worden de drie in België meest courante warmtepomp-systemen beschouwd: luchtgekoppelde warmtepomp met ofwel vloerverwarming ofwel radiatoren en een grondgekoppelde warmtepomp met vloerverwarming. In alle gevallen is er steeds een opslagvat voorzien voor sanitair warmwater. De warmtepompen worden telkens gedimensioneerd om 80% van de piekwarmtevraag te voorzien. De rest van de warmtevraag wordt gedekt met een back-up elektrische weerstandsverwarming. Alle data in het model worden voor hetzelfde jaar en land genomen, België 2013, om de juiste correlaties te behouden.

## RESULTATEN

De typische output van het optimale-controlprobleem gedurende een winterweek is te zien in figuur 1. De bovenste figuur toont de residuele elektriciteitsvraag, namelijk de elektriciteitsvraag waarvan de productie door hernieuwbare energiebronnen is afgetrokken. De vraag van de warmtepompen wordt hierbij opgeteld. Indien er geen AVS is, blijft de gemiddelde dagzonetemperatuur in de huizen (onderste figuur) zo laag mogelijk om comfort te garanderen tegen minimaal energiegebruik. De warmtepompen zorgen op deze manier wel voor een verhoging van de piekvraag voor de elektriciteitscentrales. In het geval van AVS wordt de woning voorverwarmd om de piekvraag voor de centrales (uur 56 tot 67) te verlagen en zo de kosten voor het productiepark te drukken. Op andere tijdstippen zorgt AVS ervoor dat de draaiende centrales op maximaal vermogen, en dus efficiënter, werken. Er werd aangenomen dat er in de toekomstige productie van elektriciteit enkel gasgestookte centrales en hernieuwbare energiebronnen aanwezig zijn. Aangezien deze productie expliciet gemodelleerd is, kan men het (extra) aardgasverbruik door de elektriciteitsvraag van warmtepompen exact bepalen. De verhouding tussen dit aardgasverbruik en het aardgasverbruik in het referentiegeval, namelijk condensatieketels, is te zien in figuur 2. Allereerst



-Figuur 1- Typische output van het optimale-controlprobleem



-Figuur 2- Het relatief aardgasverbruik wanneer een warmtepomp wordt geïnstalleerd in plaats van een condenserende gasketel. Het aardgasverbruik van de warmtepomp wordt bepaald aan de productiezijde van elektriciteit.

kan men opmerken dat het aardgasverbruik, binnen de randvoorwaarden van deze studie, steeds daalt door een warmtepomp te installeren. De mate waarin dit aardgasverbruik, en dus ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot, daalt, hangt sterk af van de seizoensprestatiefactor (SPF) van de warmtepomp. Deze seizoensprestatiefactor is de verhouding tussen de warmte die een warmtepomp gedurende een jaar levert en de bijhorende jaarlijkse elektriciteitsvraag. In de resultaten zijn er vier duidelijke clusters, naargelang het verwarmingssysteem en het isolatieniveau van de gebouwen. In het eerste

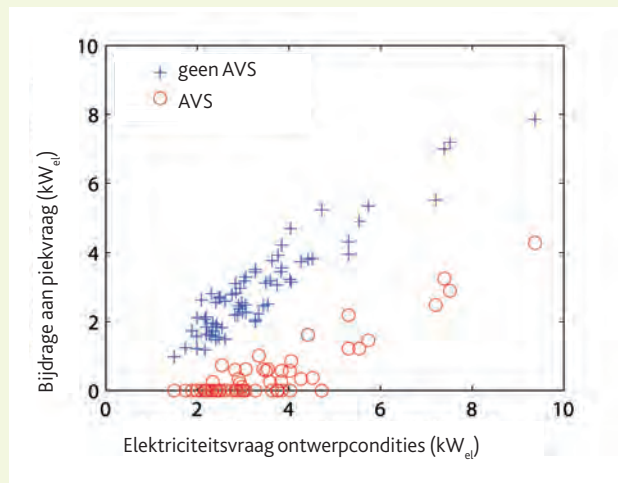
cluster (A) vallen de gebouwen die slechts een milde renovatie, namelijk vervanging van ramen en plaatsing van dakisolatie, hebben ondergaan. In deze gebouwen is het door de relatief hoge toevoertemperatuur van de radiator enkel mogelijk om een hogetemperatuurwarmtepomp te plaatsen. In dit cluster daalt het aardgasverbruik 10 tot 25%. Actieve vraagsturing kan dit verbruik verder doen dalen met 5 tot 10%. In de clusters B, C en D vallen alle nieuwe gebouwen alsmede de gebouwen die een zware renovatie, namelijk vervanging van

ramen en plaatsing van dak-, vloer- en buitenmuurisolatie, hebben ondergaan. Het blijkt dat voor deze gevallen de karakteristieken van de gebouwschil niet veel impact hebben op de relatieve reductie in aardgasverbruik. Het verschil is vooral te wijten aan het verwarmingssysteem. De drie beschouwde systemen zijn de luchtgekoppelde warmtepomp met radiatoren (B) of vloerverwarming (C) en de grondgekoppelde warmtepomp met vloerverwarming (D). In deze drie clusters hangt de relatieve besparing sterk af van de SPF van de warmtepomp, vooral wanneer er geen actieve vraagsturing wordt toegepast. Wordt AVS wel toegepast, dan wordt de besparing in cluster C en D nagenoeg onafhankelijk van de SPF. De grondgekoppelde warmtepomp zorgt duidelijk voor de grootste besparing in aardgasverbruik en dus ook de grootste reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot, tot 65% met AVS. Over het algemeen zorgt AVS voor een verdere daling in aardgasverbruik van 5 tot 15%. Ten slotte is er een zekere trend te zien in de relatieve besparing op aardgasverbruik. Deze trend in de verhouding tussen het jaarlijkse aardgasverbruik door de elektriciteitsvraag van de warmtepomp  $P_{gas,tot,WP}$  en de condensatieketel  $P_{gas,tot,CK}$  kan geschat worden met behulp van de volgende formule:

$$\frac{P_{gas,tot,WP}}{P_{gas,tot,CK}} \sim \frac{1/(\bar{\eta}_{prod} \cdot SPF)}{1/\eta_{CK}}$$

Hierin is  $\eta_{CK}$  het rendement van de gasketel en  $\bar{\eta}_{prod}$  het gemiddelde rendement van het productiepark is. Veronderstellen we  $\eta_{CK}$  gelijk aan 100%, dan kan de relatieve brandstofbesparing manueel geschat worden aan de hand van een  $\bar{\eta}_{prod}$  van 40, 48 of 60%. 40% wordt momenteel gebruikt als typische waarde voor de gemiddelde efficiëntie van het productiepark en is duidelijk niet in staat om de resultaten in figuur 2 te benaderen. Nemen we het laagste (48%) en hoogste (60%) rendement van de stoom en gascentrale, dan worden de resultaten beter benaderd. Door de gevallen zonder AVS kan men een curve fitten en verkrijgt men een gemiddeld rendement van 56%. In het geval van toepassing van AVS, is dit gemiddeld rendement 71% wat betekent dat er voor 1 kWh elektriciteit voor de warmtepomp gemiddeld 1,4 kWh aardgas nodig is. De waarde van 71% ligt boven het maximale rendement van stoom- en gascentrales, aangezien de warmtepompen met AVS veel gebruik maken van elektriciteit uit hernieuwbare energie die anders beperkt zou worden.

Ten slotte wordt in figuur 3 de bijdrage per warmtepomp aan de piekvraag naar elektriciteit uitgezet in functie van de elektriciteitsvraag in ontwerpcndities. Indien er geen



-Figuur 3- Bijdrage van de warmtepompen aan de piekvraag van het centrale elektriciteitspark in functie van de elektriciteitsvraag in ontwerpcndities

AVS wordt toegepast, is het duidelijk dat de warmtepompen op vol vermogen werken wanneer de vraag naar elektriciteit het hoogst is. Deze piekvraag komt typisch voor op koude dagen met weinig zonlicht, de dagen waarop de warmtevraag van woningen en dus ook de elektriciteitsvraag van de warmtepompen het hoogst is. Indien er dus op grote schaal warmtepompen geïnstalleerd worden, zullen deze significant bijdragen aan de piekvraag naar elektriciteit en zodoende voor grote kosten zorgen voor het productiepark en indirect voor de consument. Zoals te zien is in figuur 3 is het door actieve vraagsturing mogelijk om de bijdrage aan de piekvraag significant te verminderen. De gebouwen met vloerverwarming presteren hierin het beste. Deze zijn in staat hun volledige elektriciteitsvraag te verschuiven en op deze manier niet bij te dragen aan de piekvraag. De gebouwen met radiatoren zijn niet volledig in staat om de elektriciteitsvraag van de piekvraag weg te verschuiven. Naarmate deze gebouwen beter geïsoleerd zijn, lukt deze verschuiving ook beter.

## BESLUIT

In dit artikel wordt geïllustreerd hoe actieve vraagsturing van warmtepompen de kosten van de elektriciteitsvraag van residentiële warmtepompen in een toekomstig elektriciteitspark kan drukken. Enerzijds is AVS in staat om het extra aardgasverbruik dat gepaard gaat met de stijging in elektriciteitsvraag te drukken, door elektriciteitsvraag te verschuiven naar momenten wanneer hernieuwbare

energiebronnen te veel produceren. Op deze manier stijgt de besparing in aardgasverbruik van een warmtepomp tegenover een condensatieketel. Anderzijds kan AVS de verhoging van de piekvraag naar elektriciteit door de warmtepompen verminderen, door deze elektriciteitsvraag te verschuiven. Om deze effecten te bestuderen werd er gebruik gemaakt van een optimale-controleprobleem dat dynamische modellen voor elektriciteitsproductie, gebouwen en verwarmingssystemen integreert.

## DANKWOORD

De auteurs danken de KU Leuven voor de financiële ondersteuning van dit werk in het kader van het GOA project 'Fundamentele studie van een energiesysteem zonder emissie van broeikasgassen'.

## REFERENTIES

1. Patteeuw D., Reynders G., Bruninx K., Protopapadaki C., Delarue E. Prof., D'haeseleer W. Prof., Saelens D. Prof., Helsen L. Prof., CO<sub>2</sub> abatement cost of residential heat pumps with active demand response: demand and supply side effects, 2015, ingediend voor Applied Energy
2. Patteeuw D., Bruninx K., Arteconi A., Delarue E. Prof., D'haeseleer W. Prof., Helsen L. Prof., Integrated modeling of active demand response with electric heating systems coupled to thermal energy storage systems, 2015, Applied Energy, vol. 151, 1 augustus 2015, pagina 306-319