

Titel: Interactie van warmtepompen met elektriciteitsproductie

Intro: Warmtepompen kunnen de CO₂ 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.

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

Samenvatting: Heat pumps can significantly lower the CO₂ emissions of residential space heating. This highly depends on the considered electricity production park. This paper investigates how the electricity demand of residential heat pumps interacts with a future production park (horizon 2030), in terms of natural gas demand and peak electricity demand.

Trefwoord: Gebouwsimulatie

Keywords artikel: Actieve vraagsturing; warmtepompen; condensatieketel; piekvraag; hernieuwbare energie;

Contact: dieter.patteeuw@kuleuven.be; lieve.helsen@kuleuven.be;

Tekst artikel:

In Europa zijn gebouwen verantwoordelijk voor 36% van de CO₂ uitstoot en leveren dus een significante bijdrage aan de opwarming van de Aarde. Een groot deel van het energiegebruik, en dus ook de CO₂ 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 aanzien, maar de hogere investeringskost tegenover een condensatieketel vormt 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 investeringskost 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 opportuniteit voor warmtepompen, aangezien deze met behulp van actieve vraagsturing (AVS) bepaalde diensten aan zowel productiezijde van elektriciteit alsook aan het elektriciteitsnet kunnen leveren. Door AVS op de warmtepomp toe te passen, namelijk door voorverwarming van het gebouw of sanitair warm water vat, kan de elektriciteitsvraag van warmtepompen in de tijd verschoven worden. Dit kan bijvoorbeeld toegepast worden om meer energie te gebruiken wanneer de windturbines veel produceren of om elektriciteitsgebruik te vermijden op momenten wanneer de vaste vraag naar elektriciteit al zeer hoog is. Op deze manier kan een voordeliger elektriciteitstarief voor warmtepompeigenaars

bekomen worden, waardoor de warmtepomp een aantrekkelijker alternatief wordt. In dit artikel wordt het potentieel van AVS in kostenbesparing voor de elektriciteitsproductie onderzocht, welke dan gedeeltelijk kan doorgerekend worden 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 en 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 meer uitgebreide versie van de resultaten is te vinden in [1].

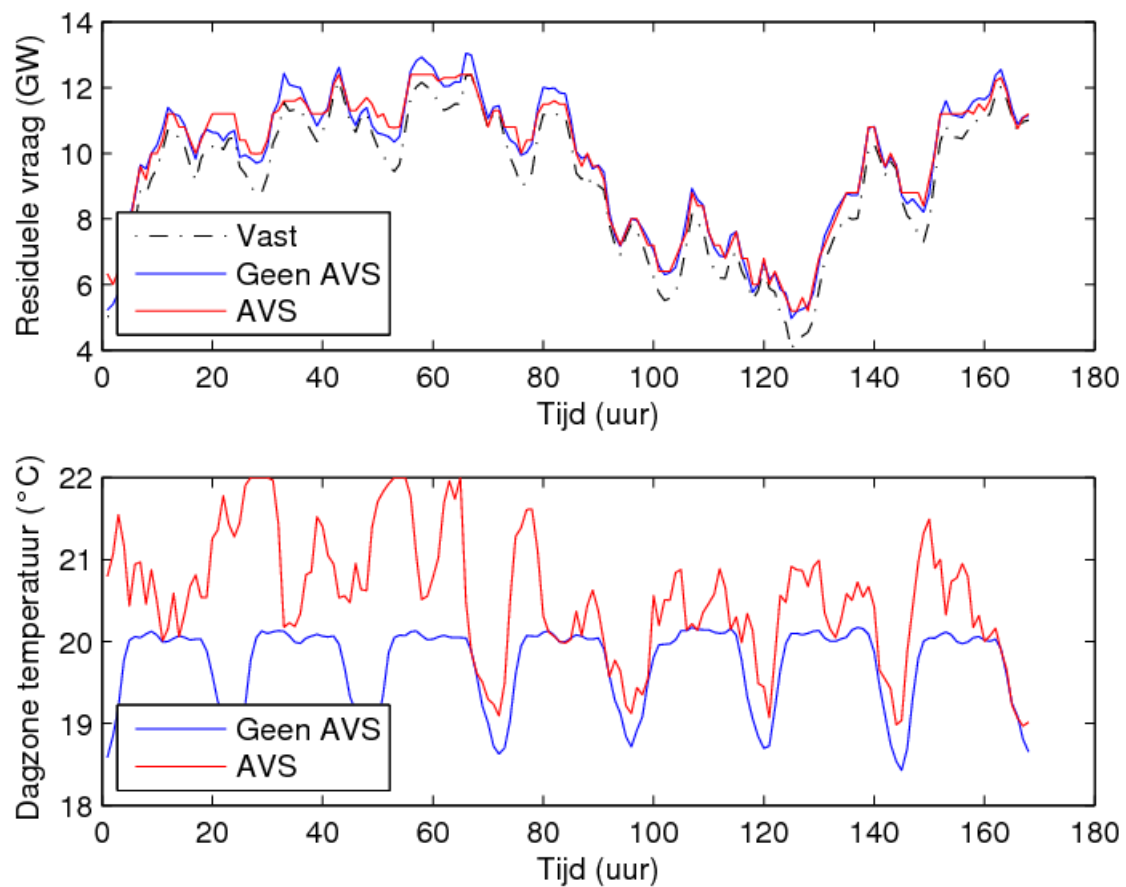
Geïntegreerde simulatie van gebouwen en elektriciteitsproductie

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 productiekost geminimaliseerd wordt. De impact van de elektriciteitsvraag van de warmtepompen wordt bepaald als het verschil in productiekost wanneer deze vraag al dan niet wordt bijgeteld 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 nood aan een dynamisch model 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 energievoorziening te beschouwen, wordt verondersteld dat de elektriciteitsproductie enkel bestaat uit hernieuwbare energie en gasgestookte centrales. Zonnepanelen (10%) en windturbines (30%) worden verondersteld grote bijdrages 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 6 bouwjaarcategorieën, twee renovatiegraden en 3 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 warmtepompsystemen 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 warm water. 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

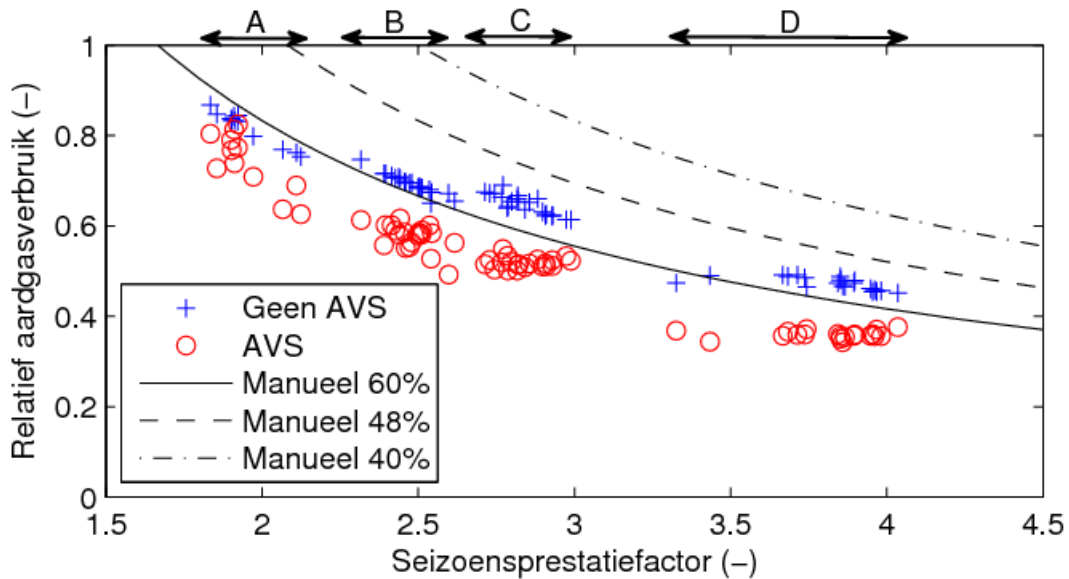
De typische output van het optimale-controleprobleem gedurende een winterweek is te zien in figuur 1. De bovenste figuur toont de residuele elektriciteitsvraag, namelijk de elektriciteitsvraag waarvan de productie door hernieuwbare energiebronnen is afgetrokken. De vraag van de warmtepompen wordt hier bij opgeteld. Indien er geen AVS is, blijft de gemiddelde dagzone temperatuur in de huizen (onderste figuur) zo laag mogelijk om comfort te garanderen aan 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.



-Figuur 1- Typische output van het optimale-controleprobleem.

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 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 CO₂ 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 de 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 hoge temperatuur warmtepomp te plaatsen. In deze cluster daalt het aardgasverbruik 10 tot 25%. Actieve vraagsturing kan dit verbruik verder doen dalen met 5 tot 10%.



-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.

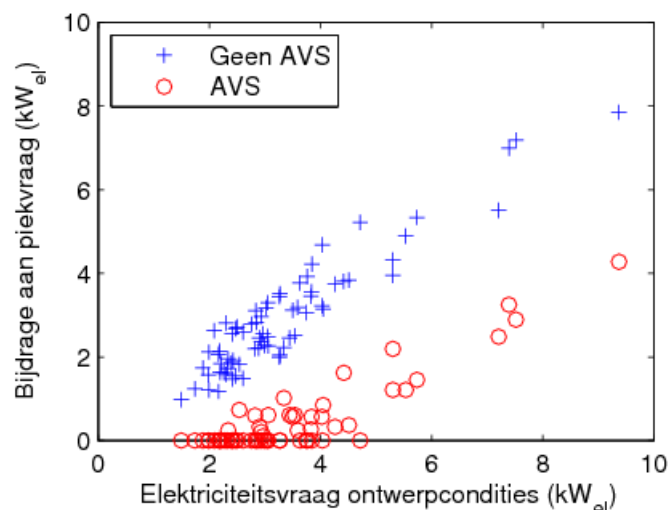
In de clusters B,C en D vallen alle nieuwe gebouwen alsook de gebouwen die een zware renovatie, namelijk vervanging van ramen en plaatsing van dak-, vloer- en buitenmuurisolatie, hebben ondergaan. Het blijkt dat voor deze gevallen, de karakteristieken van de gebouwschil niet veel impact hebben op de relatieve reductie in aardgasverbruik. Het verschil is vooral te wijten aan het verwarmingssysteem. De drie beschouwde systemen zijn de lucht gekoppelde 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 CO₂ uitstoot, tot 65% met AVS. Over het algemeen zorgt AVS voor een verdere daling in aardgasverbruik van 5 tot 15%. Tenslotte is er een zekere trend te zien in de relatieve besparing in 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 afgeschat worden door het volgende verband:

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

waarin η_{CK} het rendement van de gasketel is en $\bar{\eta}_{prod}$ het gemiddelde rendement van het productiepark is. Veronderstellen we η_{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 bekomt 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.

Tenslotte wordt in figuur 3 de bijdrage per warmtepomp aan de piekvraag naar elektriciteit uitgezet in functie van de elektriciteitsvraag in ontwerpcondities. Indien er geen 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 onrechtstreeks voor de consument. Zoals te zien 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.



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

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., *CO₂ 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, aanvaard voor Applied Energy;