

Vraagsturing met warmtepompen in lage-energiewijken

In lage-energiewijken met een groot aandeel fotovoltaïsche (pv) elektriciteitsproductie zal de netspanning regelmatig stijgen als gevolg van de gelijktijdige injectie van overtollige elektriciteit. Deze overspanningen kunnen aanleiding geven tot het afschakelen van de pv-omvormer, met een verlies aan groene stroomproductie als gevolg. Welk potentieel is er voor vraagsturing met warmtepompen in dergelijke wijken om de lokale overproductie op te vangen? Kan het afschakelen van omvormers voorkomen worden en weegt de daardoor bereikte winst op tegen het extra energiegebruik door thermische opslag?

R. (Roel) De Coninck, doctoraatsstudent KU Leuven en 3E, R. (Ruben) Baetens, doctoraatsstudent KU Leuven, A. (Achim) Woyte, onderzoeksingenieur 3E, prof. D. (Dirk) Saelens, KU Leuven, prof. L. (Lieve) Helsen, KU Leuven

De evolutie naar lage- en nul-energiewoningen leidt tot woonwijken waarin de huizen uitgerust zijn met een warmtepomp voor ruimteverwarming en sanitair warm water (SWW) en een pv-systeem dat het jaarlijkse elektriciteitsverbruik volledig dekt. Dergelijke wijken kunnen als nul-energiewijken beschouwd worden op basis van de jaarlijkse energiebalans. Echter, op kortere tijdschaal zal de wijk regelmatig elektriciteit 'importeren' of 'exporteren' via de transformator die het lokale distributienet verbindt met het middenspanningsnet.

Als de zon schijnt en de pv-systemen meer elektriciteit produceren dan het verbruik in de woning, wordt het overschot in het distributienet geïnjecteerd. Dit zal voor vele woningen tegelijkertijd gebeuren, waardoor de lokale netspanning toeneemt. Als de spanning groter wordt dan 253 V (230 V + 10%) moet de pv-omvormer wettelijk uitschakelen omwille van veiligheidsredenen. Dit geeft aanleiding tot een verlies aan groene stroomproductie en een inkomensverlies voor de betreffende

steeuemeigenaar.

De injectie van overtollige elektriciteit in het distributienet kan verminderd worden door het verbruik in de woning te vergroten. De uitdaging is om dit verbruik niet zomaar blindelings te verhogen, maar te verschuiven in de tijd zodanig dat het totale verbruik van de woning slechts minimaal toeneemt. Dit is het principe van vraagsturing. Vaak worden huishoudelijke toestellen (wasmachine, vaatwasser en droger) en elektrische voertuigen beschouwd als de makkelijkst te verschuiven elektriciteitsverbruikers. Dit artikel onderzoekt daarentegen of het zinvol is om het verbruik van warmtepompen voor de productie van SWW te verschuiven, en welke regelstrategie de beste resultaten geeft.

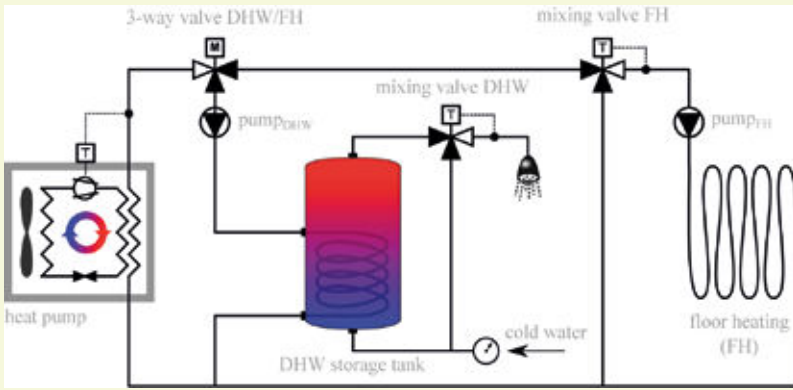
METHODOLOGIE

Een wijkmodel is opgesteld in Modelica, een open-source modelleertaal voor fysische systemen. Hiervoor is gebruik gemaakt van een aan de KU Leuven en 3E ontwikkelde bibliotheek (Ideas) met modellen voor

gebouwen, thermische systemen, pv-modules en elektrische netten. Het model bestaat uit 33 identieke nul-energiewoningen, gekoppeld aan een éénfasig laagspanningsdistributienet. Elke woning heeft vloerverwarming, balansventilatie met warmteterugwinning, een lucht/waterwarmtepomp en een pv-systeem dat het jaarlijkse verbruik van de woning dekt. Een schema van het verwarmingssysteem is weergegeven in figuur 1, meer informatie over de modellering is beschikbaar in [1]. Hoewel de woningen identiek zijn, is het energiegebruik voor elke woning verschillend. Dit komt door het stochastisch gebruikersgedrag voor zowel aanwezigheid, gebruik van toestellen als SWW verbruik. Hierdoor is ook voor elke individuele woning elke dag verschillend.

PROBLEEMSTELLING

In de referentiesituatie bedraagt het productieverlies door het afschakelen van omvormers 4.6% op jaarbasis. Voor individuele woningen kan het verlies echter oplopen tot 20%, afhankelijk van de positie in het net. Dit wordt



-Figuur 1- Hydraulisch schema van de verwarming en SWW

weergegeven in figuur 2.

Om een idee te geven van de gemiddelde elektriciteitsproductie, het verbruik van de warmtepomp en het resterend verbruik zijn de jaarprofielen geaggregeerd tot een gemiddeld dagprofiel. Dit is weergegeven in figuur 3 voor een woning met veel afschakelverliezen. Het afschakelen van de omvormers treedt uiteraard voornamelijk op tijdens de middaguren wanneer de elektriciteitsproductie het grootst is. Verder toont deze figuur dat het elektrici-

teitsverbruik verspreid over de dag plaatsvindt, echter met kleine pieken in de ochtend en avond. Die pieken in het warmtepompverbruik worden verklaard door de SWW-afname: die gebeurt voornamelijk 's ochtends en 's avonds, en kort na de afname zal de warmtepomp aanslaan om het opslagvat weer op temperatuur te brengen.

VRAAGSTURING

Het uitschakelen van de omvormers kan

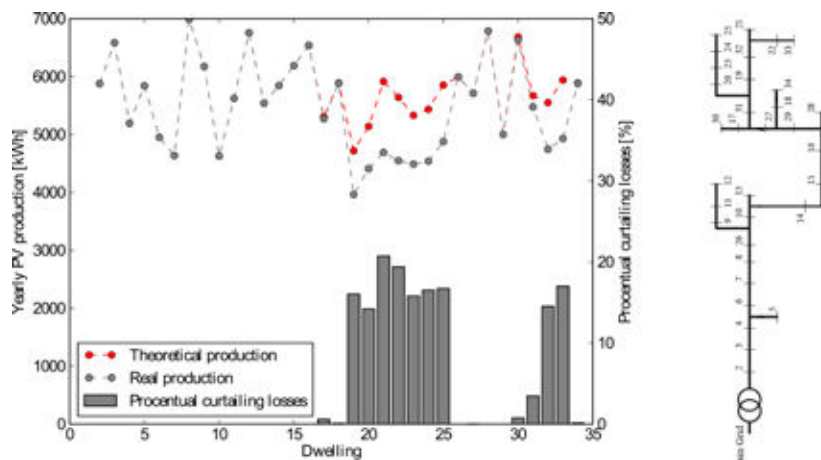
verhindert worden door de elektriciteitsvraag te verschuiven naar momenten van lokale productie (demand side management). In deze studie wordt enkel onderzocht wat het effect is van vraagsturing met de lucht/waterwarmtepompen in de wijk, en enkel met betrekking tot de productie van SWW (het potentieel van vraagsturing op ruimteverwarming is voor een vervolgstudie).

Uit figuur 1 blijkt dat het SWW wordt opgeslagen in een vat, met een volume van 300 liter. Door de gewenste temperatuur van het vat TSet te wijzigen kan de warmtepomp in- of uitgeschakeld worden. Het wijzigen van TSet kan gebeuren op basis van verschillende meetvariabelen. Dit leidt tot de verschillende regelstrategieën voor vraagsturing, die weergegeven zijn in tabel 1 op de volgende pagina. Voor elke regelstrategie worden verschillende varianten doorgerekend naargelang de verhoging van TSet op het moment van de vraagsturing.

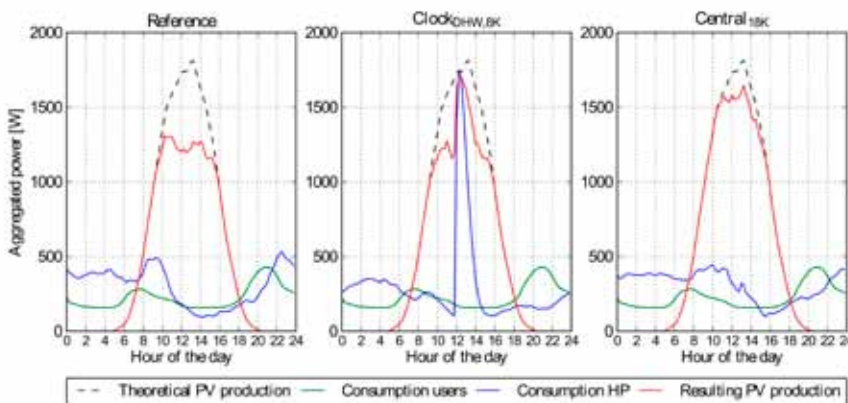
RESULTATEN

De simulatieresultaten worden enkel geanalyseerd op wijkniveau. Er worden twee grootheden berekend:

1. Vermindering van afschakelverliezen en ohmse verliezen in het net;
2. Extra elektriciteitsvraag van de woningen (door rendements- en opslagverliezen).



-Figuur 2- Overzicht van productieverlies in de referentiesituatie en topologie van het distributienet



-Figuur 3- Geaggregeerd gemiddeld dagprofiel voor woning 19

Beide grootheden worden relatief uitgedrukt ten opzichte van de totale netto elektriciteitsvraag van alle woningen samen voor het referentiegeval.

De resultaten van alle simulaties zijn gegroepeerd in figuur 4 op de volgende pagina. Op de horizontale as staat het extra verbruik ten opzichte van de referentie, op de verticale as de besparing. De referentiesituatie bevindt zich dus in de oorsprong. De netto besparing ΔE_{NBH} [%] wordt als volgt bepaald:

$$\Delta E_{NBH} = \text{besparing} - \text{extra verbruik} \quad (1)$$

Dit betekent dat alle resultaten die boven de bissectrice van de grafiek liggen resulteren in een netto besparing op wijkniveau, en de grootte van de besparing is de verticale afstand van het punt tot de bissectrice.

Uit de figuur komt een aantal resultaten naar boven:

- alle strategieën slagen erin het afschakelen van de pv-omvormers te verminderen, soms tot 75% minder;
- de meeste regelstrategieën resulteren in een netto energiebesparing van 1% - 3% op wijkniveau;
- door het verhogen van TSet binnen dezelfde regelstrategie kan het afschakelen sterker verminderd worden, echter met een toename van het energiegebruik als gevolg;

Naam	Meetvariabele	Beschrijving
PGrid	Uitgewisseld vermogen met distributienet	TSet wordt verhoogd als PGrid een grenswaarde overschrijdt (zelfde grenswaarde voor alle systemen).
VGrid _{fix}	Netspanning aan aansluitpunt van de woning	TSet wordt verhoogd als VGrid een grenswaarde overschrijdt (zelfde grenswaarde voor alle systemen).
VGrid _{var}	Netspanning aan aansluitpunt van de woning	TSet wordt verhoogd als VGrid een grenswaarde overschrijdt. Elke woning krijg een andere grenswaarde in functie van de positie in het net.
Central	Netspanningen aan aansluitpunten van alle woningen, temperaturen van alle opslagvaten	TSet van het koudste vat in de wijk wordt verhoogd als VGrid ergens in het net een vaste grenswaarde overschrijdt.
Clock _{DHW}	Tijd	Een kloksturing zorgt voor verhoging van TSet elke dag tussen 12h en 16h (ook bij weinig zon).

-Tabel 1- Regelstrategieën voor vraagsturing

- hierdoor zal er voor elke regelstrategie een optimale verhoging van TSet bestaan;
- regelstrategieën waarbij alle woningen betrokken zijn leveren de beste resultaten, ook als de netspanning aan het aansluitpunt niet in de gevarenzone komt;
- de allerbeste strategie is Clock_{DHW} met een verhoging van TSet van 4K;
- ondanks de centrale intelligentie die vereist is voor de Central-regeling, scoort deze slechts een klein beetje beter dan VGrid_{var};

Het goede resultaat van Clock_{DHW} is enigszins verrassend: het is de eenvoudigste strategie, die zelfs geen rekening houdt met netspanning of het pv-vermogen. De eigenlijke reden ligt in de sterke vermindering van de energievraag van de woningen, in combinatie met een beperkte besparing op de afschakelverliezen. De lagere energievraag is een gevolg van een hogere COP van de warmtepomp, aangezien die nu vaker in de namiddag zal werken, wanneer het buiten warmer is. Daarenboven resulteert de tijdelijke verhoging van TSet in een betere stratificatie van het opslagvat, én minder cycli van de warmtepomp. Dit alles komt de SPF van het volledige systeem sterk ten goede. Het is belangrijk op te merken dat dit positieve effect snel verdwijnt indien TSet te sterk verhoogd wordt. Uiteraard kan deze strategie gecombineerd worden met de andere strategieën, hetgeen tot een extra besparing zal leiden.

BESLUIT

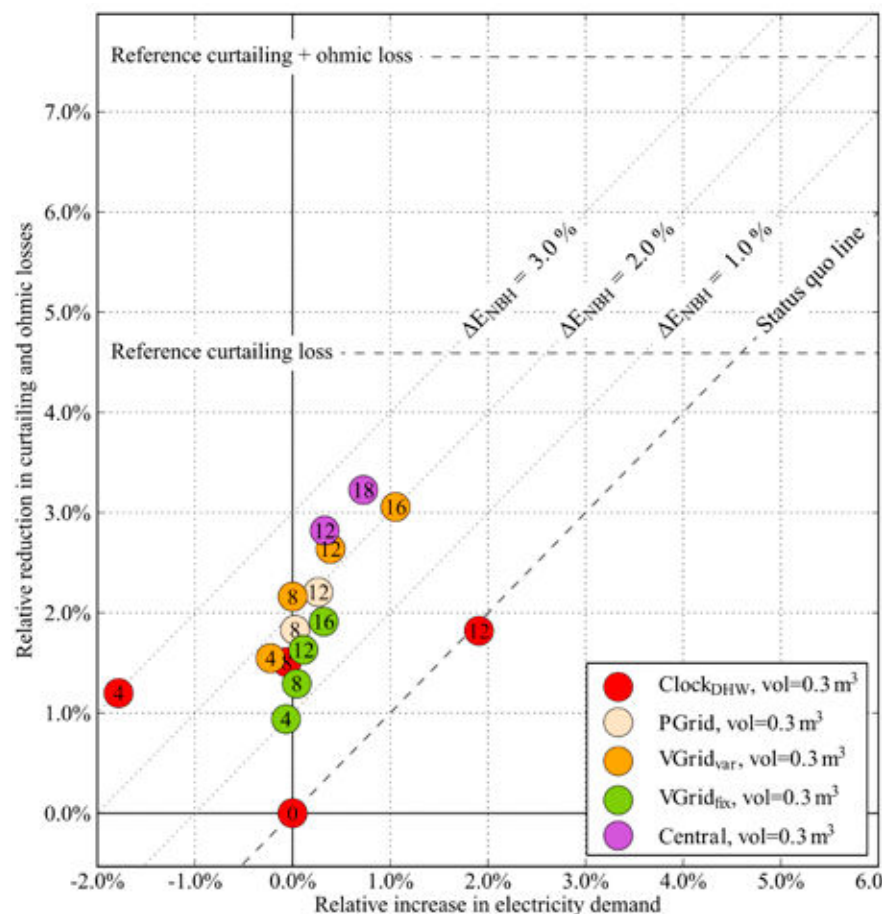
Deze studie heeft onderzocht in welke mate vraagsturing op warmtepompen het afschakelen van pv-omvormers in een lage-energiewijk kan verminderen. Hiertoe is een zeer gedetailleerd model opgesteld en zijn verschillende regelstrategieën getest. Uit de resultaten blijkt dat vraagsturing op warmtepompen zinvol kan zijn, ondanks de vaak hogere temperaturen en bijgevolg verliezen in het systeem als gevolg van thermische energieopslag.

De verliezen kunnen met 75% verminderd worden. Rekening houdende met de volledige energiebalans op wijkniveau kan een netto besparing tot 3% bereikt worden met een relatief eenvoudige vraagsturing. Daarnaast is ook vastgesteld dat een tijdelijke beperkte verhoging van de temperatuur in een SWW-opslagvat tot algemene rendementsverbetering kan leiden. Tot slot is vermeldenswaard dat de bestudeerde regelstrategieën voor de vraagsturing allemaal heuristisch waren. De auteurs verwachten grotere besparingen indien modelgebaseerde optimale controle

toegepast zou worden. Dit en een uitbreiding naar ruimteverwarming, zijn onderwerpen van huidig en toekomstig onderzoek aan KU Leuven en 3E.

REFERENTIES

1. De Coninck, R., Baetens, R., Saelens, D., Woyte, a., & Helsens, L. (2013). Rule-based demand-side management of domestic hot water production with heat pumps in zero energy neighbourhoods. Journal of Building Performance Simulation, (June 2013), 1–18. doi:10.1080/19401493.2013.801518



-Figuur 4- Winst-verliesruimte voor de verschillende regelstrategieën. Het cijfer in het centrum van het symbool staat voor de verhoging van TSet bij het activeren van de vraagsturing.