



# Technisch Rapport - KT51

## Praktijkexperimenten energieflexibiliteit





## INHOUDSOPGAVE

<b>VERANTWOORDING .....</b>	<b>3</b>
<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>4</b>
<b>HOOFDSTUK 1 - INLEIDING .....</b>	<b>5</b>
<b>HOOFDSTUK 2 - ENERGIEFLEXIBILITEIT .....</b>	<b>6</b>
2.1 Energieflexibiliteit en de duurzame energievoorziening .....	6
2.2 Energieflexibiliteit in gebouwen .....	6
<b>HOOFDSTUK 3 - PRAKTIJKONDERZOEK .....</b>	<b>7</b>
3.1 De gebouwen .....	7
3.2 Veolia .....	7
3.3 Auerhaan klimaattechniek .....	8
<b>HOOFDSTUK 4 - DE EXPERIMENTEN .....</b>	<b>10</b>
4.1 Veolia .....	10
4.2 Auerhaan klimaattechniek .....	12
4.3 Overig .....	14
<b>HOOFDSTUK 5 - CONCLUSIES .....</b>	<b>15</b>
5.1 Conclusies .....	15
5.2 Aanbevelingen .....	15
<b>BIJLAGE 1 - SCENARIO'S .....</b>	<b>16</b>



## VERANTWOORDING

Aan de totstandkoming van deze rapportage van de Expertgroep Sanitaire Technieken hebben meegewerkt:

### Klankbordgroep

Wobbe van den Kieboom	KWA Bedrijfsadviseurs, TVVL Expertgroep Klimaattechniek
Jos de Leeuw	ISSO, TVVL Expertgroep Klimaattechniek
Joep van der Velden	Kropman, TVVL Expertgroep Gebouwbeheer en -automatisering
Esmeralda Pondman	TVVL Kennisontwikkeling

### Werkgroep

Roy Titulaer	Auerhaan
Christiaan den Hertog	Auerhaan
Ronald Remijn	Veolia
Nick Tomassen	Veolia

Het project is financieel mede mogelijk gemaakt door



### Auteur

Michiel van Bruggen, De Energiemanager



## SAMENVATTING

Volgend op een bureaustudie naar energieflexibiliteit van gebouwen zijn bij 2 gebouwen praktijkexperimenten uitgevoerd waarbij de bevindingen van de bureaustudie zijn onderzocht. Uitgangspunt bij het ontsluiten van energieflexibiliteit was dat er geen specifieke additionele voorzieningen, zoals accu's of laadpalen, gebruikt worden om flexibiliteit te ontsluiten.

Bij een drietal verschillende scenario's is het aan- en uitschakelen van de comfortinstallatie koelen op basis van 'willekeurige' externe signalen geanalyseerd. Dit gebeurde bij weersomstandigheden waarbij er een koelbehoefte in het gebouw is.

Op basis van deze praktijkexperimenten is geconcludeerd dat de comfortinstallatie koelen een goede, relatief eenvoudige bijdrage kan leveren aan energieflexibiliteit, maar dat de beschikbaarheid van de energieflexibiliteit niet vanzelfsprekend is. Verder kan, door de aanwezigheid van koudebuffers, soms het signaal niet direct gevolgd worden door een respons in de vorm van vermogensreductie of vermogenstoename. Additionele regelsystematiek kan dit laatste verhelpen.



## HOOFDSTUK 1 - INLEIDING

In opdracht van TVVL, met medefinanciering van het Platform Duurzame Huisvesting, is een bureauonderzoek gedaan naar de energieflexibiliteit van gebouwen. Uitgangspunt daarbij was dat er geen specifieke voorzieningen voor energieflexibiliteit in het gebouw gebruikt werden.

In dit vervolgonderzoek wordt in een tweetal gebouwen in een zomersituatie onderzocht hoe het ontsluiten van energieflexibiliteit in de praktijk werkt.

Er zijn daarvoor 2 gebouwen geselecteerd met een koelinstallatie. Vervolgens is er geëxperimenteerd met min of meer willekeurig gekozen geforceerde aan- en uitschakelmomenten voor deze koelinstallaties. Op basis van de gedetailleerde energiegebruikspatronen is de impact van deze interventies onderzocht.

Eerst wordt in hoofdstuk 2 in dit rapport nog eens kort beschreven waarom energieflexibiliteit relevant is in de duurzame energievoorziening en op welke wijze een min of meer regulier gebouw energieflexibel gemaakt kan worden. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de 2 gebouwen beschreven en wordt de opzet van het experiment beschreven. In hoofdstuk 4 worden de resultaten en de analyse van de uitgevoerde experimenten beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 de conclusies en aanbevelingen gegeven.



## HOOFDSTUK 2 - ENERGIEFLEXIBILITEIT

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de belangrijkste bevindingen uit het rapport energieflexibiliteit van gebouwen.

### 2.1 Energieflexibiliteit en de duurzame energievoorziening

Er is een aantal redenen waarom energieflexibiliteit relevant is voor het realiseren van de duurzame energievoorziening.

- De meest prominente reden (op dit moment) is netcongestie. Met name door de gelijktijdigheid van de energieproductie door zon- en wind treden er pieken op die het energienet niet zonder meer aankan. Maar ook de elektrificering van vervoer en verwarming zorgen voor grotere belasting van het energienet. De pieken in het net kunnen verminderen door gelijktijdigheid van de belasting te verminderen. Dit doe je door het benutten van energieflexibiliteit.
- Er is een mismatch tussen het aanbod van duurzame energie en de energiebehoefte. Door de energiebehoefte te flexibiliseren kan optimaler gebruik gemaakt worden van de duurzame energieproductie.
- Het aanbod van duurzame energie kan zeer snel veranderen. De reguliere productiemiddelen kunnen deze veranderingen niet opvangen. Energieflexibiliteit kan een rol spelen bij het opvangen van deze zeer snelle fluctuaties.

Energieflexibiliteit heeft dus niet altijd betrekking op het voorkomen van pieken in de energiebehoefte. Er kan ook behoefte zijn aan tijdelijke extra afname voor het opvangen van de snelle verandering van de duurzame energieproductie of voor het op elkaar afstemmen van vraag en aanbod.

### 2.2 Energieflexibiliteit in gebouwen

Bij energieflexibiliteit wordt snel gedacht aan batterijen of slim laden van elektrisch vervoer. Maar ook zonder aanvullende voorzieningen zijn er mogelijkheden voor het flexibiliseren van de energiebehoefte van een gebouw:

- Een bepaalde bandbreedte in de acceptabele comforttemperatuur is een randvoorwaarde om energieflexibiliteit door middel van het schakelen van comfortinstallaties te realiseren.
- Door thermische massa, goede isolatie in samenhang met het accepteren van een bepaalde bandbreedte in de binnentemperatuur is er een bewegingsvrijheid in het aan- en uitschakelen van klimaatinstallaties.
- Bij een gebouw met een hybride installatie (c.v. ketel op aardgas en een warmtepomp) kan geswitcht worden tussen de verschillende opwekkers, afhankelijk van een flexibilitetsbehoefte.
- In het gebouw aanwezige thermische (water)buffers kunnen gebruikt worden als flexibele schakel tussen de energiebehoefte in het gebouw en de energieopwekking.

Elk gebouw met een koelinstallatie kan buiten het stookseizoen een bijdrage leveren aan energieflexibiliteit.

Elk gebouw met een verwarmingsinstallatie kan in het stookseizoen een bijdrage leveren aan energieflexibiliteit.



## HOOFDSTUK 3 - PRAKTIJKONDERZOEK

Het praktijkonderzoek speelt zich af in de zomer en heeft dus vooral betrekking op het benutten van de comfortinstallaties voor koelen voor energieflexibiliteit. Het praktijkonderzoek richt zich op de reguliere gebouwinstallaties en niet op laadpalen en accu's. In zijn algemeenheid hebben de experimenten betrekking op hoe het schakelgedrag van de comfortinstallatie koelen beïnvloed kan worden door gebruik te maken van de bandbreedte in de comforttemperatuur.

Van de betrokken gebouwen zijn eerst de klimaatinstallaties in kaart gebracht en is met de gebouweigenaar/gebruiker besproken op welke wijze energieflexibiliteit gerealiseerd kan worden. In zijn algemeenheid heeft dit dan betrekking op:

- De acceptabele bandbreedte van de comforttemperatuur.
- De manier waarop de koelinstallatie geschakeld kan worden.
- Bij welke weersomstandigheden de experimenten uitgevoerd kunnen worden.

Vervolgens zijn een drietal scenario's vastgesteld met fictieve externe signalen voor het af- of bijschakelen van vermogen. Deze scenario's zijn in bijlage 1 beschreven. De deelnemers aan de experimenten hebben geprobeerd deze scenario's te volgen.

Het praktijkonderzoek richt zich op proof of concept dat wil zeggen dat het praktijkonderzoek tot doel heeft aan te tonen dat de comfortinstallaties in te zetten zijn in het kader van energieflexibiliteit. Het onderzoek richt zich dus (bijvoorbeeld) niet op:

- Ontwerpregels voor het kwantificeren van de op enig moment beschikbare energieflexibiliteit.
- De beleving van gebouwgebruikers van de variërende binnentemperaturen ten gevolge van het inzetten comfortinstallaties voor energieflexibiliteit.

Dit zijn natuurlijk wel interessante aspecten voor eventueel vervolgonderzoek.

### 3.1 De gebouwen

Bij een tweetal gebouwen zijn de praktijkexperimenten uitgevoerd. Deze worden hier kort beschreven.

### 3.2 Veolia

Veolia levert aan hun klanten duurzame oplossingen met betrekking tot energie, water en secundaire grondstoffen.

Voor het praktijkonderzoek is het hoofdkantoor in Nederland van Veolia in Schiphol-Rijk gebruikt. Dit is een bedrijfsverzamelgebouw, waarvan Veolia een groot deel in gebruik heeft. Veolia doet zelf het beheer van de gebouwinstallaties, waardoor ze ook de mogelijkheden hebben instellingen van de gebouwinstallaties aan te passen.



<b>Algemeen Veolia</b>	
Locatie	Schiphol-Rijk
Gebruikstype	Kantoor
Gebruikstijden	Kantoortijden
Eigendom	Verhuurd, multi tenant
Oppervlakte	Totaal 5300 m <sup>2</sup>
Thermische massa	Betonconstructie, massieve gevel
<b>Energie</b>	
Netbeheerder	Liander
Aansluiting	630 kW
Contractvermogen	238 kW
Energiezuinig	Bouwjaar 2002, label B
WEii	113 kWh/m <sup>2</sup> , zuinig
<b>Verwarmen</b>	
Warmteopwekking	c.v. ketel
Warmte-afgifte	Radiatoren Toevoer luchtroosters
Setpoint verwarmen	21 °C
<b>Koelen</b>	
Koudeopwekking	Centrale Lucht-lucht koelmachine, condensor op dak, koelvermogen 136 kW
Koudeafgifte	Toevoer luchtroosters
Setpoint koelen	23 °C, sensor op afvoerlucht bij LBK
Thermische buffers	1,5 m <sup>3</sup> koudebuffer, gebruikt als schakelvat
<b>Overig</b>	
Lokale opwek	n.v.t.
Laadpalen	n.v.t.
Accu's	n.v.t.

### 3.3 Auerhaan Klimaattechniek

Auerhaan Klimaattechniek levert luchtbehandelingsoplossingen inclusief verwarmen, koelen en warmteterugwinning.

Het onderzoek is gedaan bij het gebouw van Auerhaan Klimaattechniek in Lelystad. De realisatie van dit gebouw was een uitdaging omdat voor elektriciteit alleen een kleinverbruikersaansluiting (maximaal aansluitvermogen 55 kW) mogelijk was. Auerhaan Klimaattechniek heeft dit gerealiseerd door het gebruik van veel lokale opwek door middel van zonnepanelen in combinatie met een fors accupakket. Het gebouw bestaat voornamelijk uit een magazijn en kantoren.





<b>Algemeen Auerhaan</b>	
Locatie	Lelystad
Gebruikstype	Kantoor/bedrijfshal
Gebruikstijden	Werkdagen 7:00 - 19:00
Eigendom	Eigenaar-gebruiker
Oppervlakte	3500 m <sup>2</sup> magazijn 1200 m <sup>2</sup> kantoren
Thermische massa	Staalconstructie, lichte gevels, betonnen vloeren
<b>Energie</b>	
Netbeheerder	Liander
Aansluiting	3x80A (55 kW) Geen gas of warmte
Energiezuinig	Bouwjaar 2023, zeer goed geïsoleerd warmterugwinning met warmtewiel
WEii	18 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Verwarmen</b>	
Warmteopwekking	4 x lucht-water warmtepomp à 28 kW E 1 x lucht-lucht warmtepomp in de LBK
Warmte-afgifte	Vloerverwarming primair Inductie-units secundair
Setpoint verwarmen	21 °C
<b>Koelen</b>	
Koudeopwekking	1 x water-water warmtepomp 15 kW E. Warmteafgifte condensordeel in hellingbaan indien overschot warmte. Overige warmtepompen reserve
Koudeafgifte	Vloerkoeling primair Inductieroosters secundair
Setpoint koelen	23 °C
Thermische buffers	1 m <sup>3</sup> koudebuffer 14 °C - 18 °C 1,5 m <sup>3</sup> warmtebuffer 25 °C - 35 °C Buffers worden gebruikt voor tijdelijke opslag in tussenseizoen. Buffers worden gebruikt als schakelvat.
<b>Overig</b>	
Lokale opwek	Circa 114 kWp
Laadpalen	6 stuks à 10 kW
Accu's	160 kWh



## HOOFDSTUK 4 - DE EXPERIMENTEN

Zowel bij Veolia als bij Auerhaan Klimatechniek zijn de experimenten 'handmatig' uitgevoerd. De basisregelingen van de installaties zijn daarbij tijdelijk overruled.

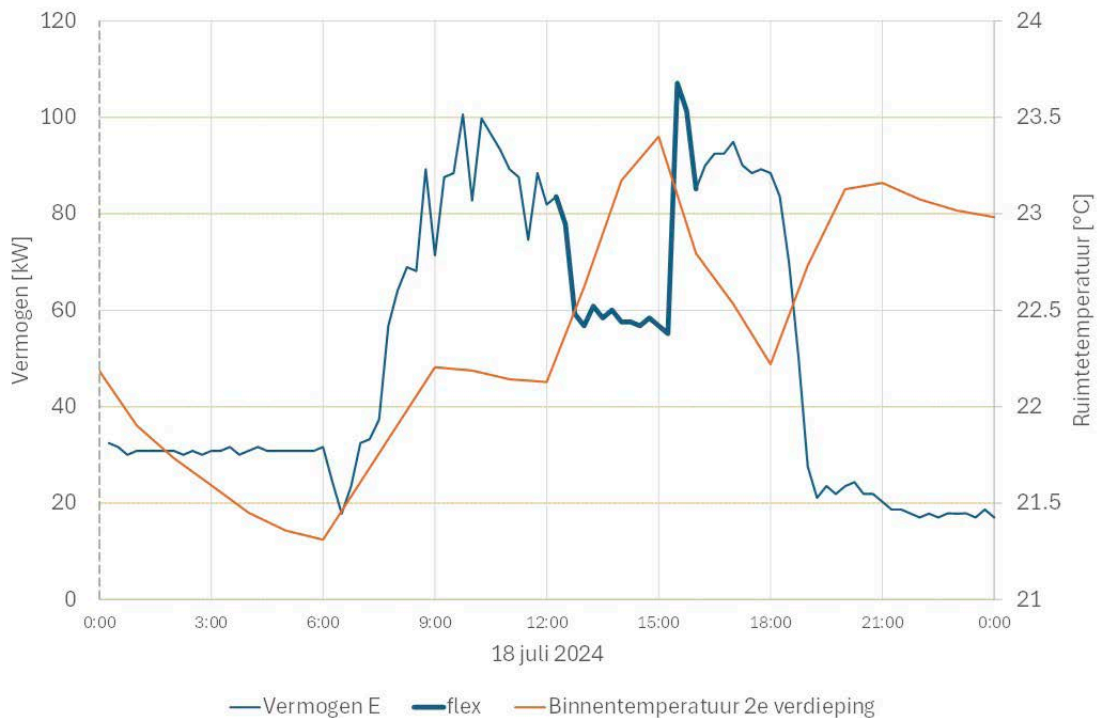
### 3.1 Veolia

#### Experiment 1

Hoeveel tijd kan overbrugd worden bij uitschakelen/inschakelen comfortinstallatie koelen?

Door de setpoints voor de binnentemperatuur te variëren tussen de 2 uitersten wordt inzicht gekregen in de periode die overbrugd kan worden zonder (of juist geforceerd met) de comfortinstallatie koelen.

Dit experiment is op 18 juli uitgevoerd. Op 18 juli 2024 werd het in de middag circa 25,5 °C. Om 15.00 uur is de comfortinstallatie koelen uitgeschakeld nadat eerst de binnentemperatuur verlaagd was tot circa 21,5 °C.



Figuur 1: Afname elektriciteit en binnentemperatuur (kantoren Veolia) bij experiment 1

De snelle toename van de binnentemperatuur tot rond de comfortgrens van 24 °C is in Figuur 1 te zien. Na het overschrijden van deze comfortgrens is de comfortinstallatie koelen weer aangeschakeld.

De reductie van het afgenomen vermogen door het uitschakelen van de comfortinstallatie koelen was circa 30 kW. De totale afschakelduur was 2:15 uur. Nadat de bovenste comfortgrens was bereikt is de normale setpoint-temperatuur weer hersteld. Dit zorgde voor een tijdelijk hogere piek in de elektriciteitsafname. De directe toename van het afgenomen vermogen voor het herstellen van de gewenste comforttemperatuur was 47 kW.



### Experiment 2

Hoofdvraag: Hoeveel tijd kan overbrugd worden bij het op een willekeurig moment uitschakelen/ inschakelen comfortinstallatie koelen?

Voor dit experiment zijn er 3 “willekeurige” signaalmomenten gekozen:

- 10.00 uur: Vermogen opvoeren. Comfortkoeling aan, koelen tot laagste comforttemperatuur (20 à 21 °C), daarna koelmachine uit.
- 12.30 uur: Vermogen opvoeren. Comfortkoeling aan, koelen tot laagste comforttemperatuur (20 à 21 °C), daarna koelmachine uit.
- 15.00 uur: Vermogen reduceren. Comfortkoeling uit, temperatuur op laten lopen tot hoogste comforttemperatuur (24°C).

Experiment 2 is op 29 juli 2024 uitgevoerd. Bij experiment 2 bleek op moment 1 en moment 2 geen ruimte om te reageren op de signalen (extra vermogen afnemen) omdat de comfortinstallatie koelen al volledig aan stond. Op signaalmoment 3 kon de comfortinstallatie koelen uitgeschakeld worden. Het verloop is te zien in Figuur 2. In Figuur 2 is van deze dag het verbruiksprofiel elektriciteit gegeven en de binnentemperatuur op de 2e verdieping (kantoor van Veolia).



Figuur 2: Afname elektriciteit en binnentemperatuur bij experiment 2. De impact van de flexibiliteitsingreep op de elektriciteitsafname is dik aangegeven.

De snelle toename van de binnentemperatuur tot boven de comfortgrens van 24 °C is in Figuur 2 te zien. Na het overschrijden van deze comfortgrens is de comfortinstallatie koelen weer aangeschakeld.

### Experiment 3

Hoofdvraag: In hoeverre kan de energiebehoefte van de comfortinstallatie koelen verplaatst worden naar de piekmomenten, bijvoorbeeld tussen 11.00 en 13.00 uur.

Bij experiment 3 bleek er geen ruimte om te reageren op de signalen omdat de koelmachine in de betreffende periode al aan stond.



### 3.2 Auerhaan Klimaattechniek

Omdat er bij het gebouw van Auerhaan Klimaattechniek sprake is van lokale opwek en een batterij, is de elektriciteitsafname van het net niet het daadwerkelijke energieverbruik van het gebouw. Voor de analyse is het werkelijke verbruik van het gebouw bepaald op basis van de interactie tussen gebouw, lokale opwek, batterij en het elektriciteitsnet. Het verbruikspatroom wordt daarbij nog verstoord door de 6 laadpalen voor elektrisch vervoer. Het effect van deze laadpalen (met een vermogen van 10 kW elk) kon niet eenvoudig uit het verbruikspatroom gefilterd worden. Dit maakt het verbruikspatroom wat lastig te interpreteren.

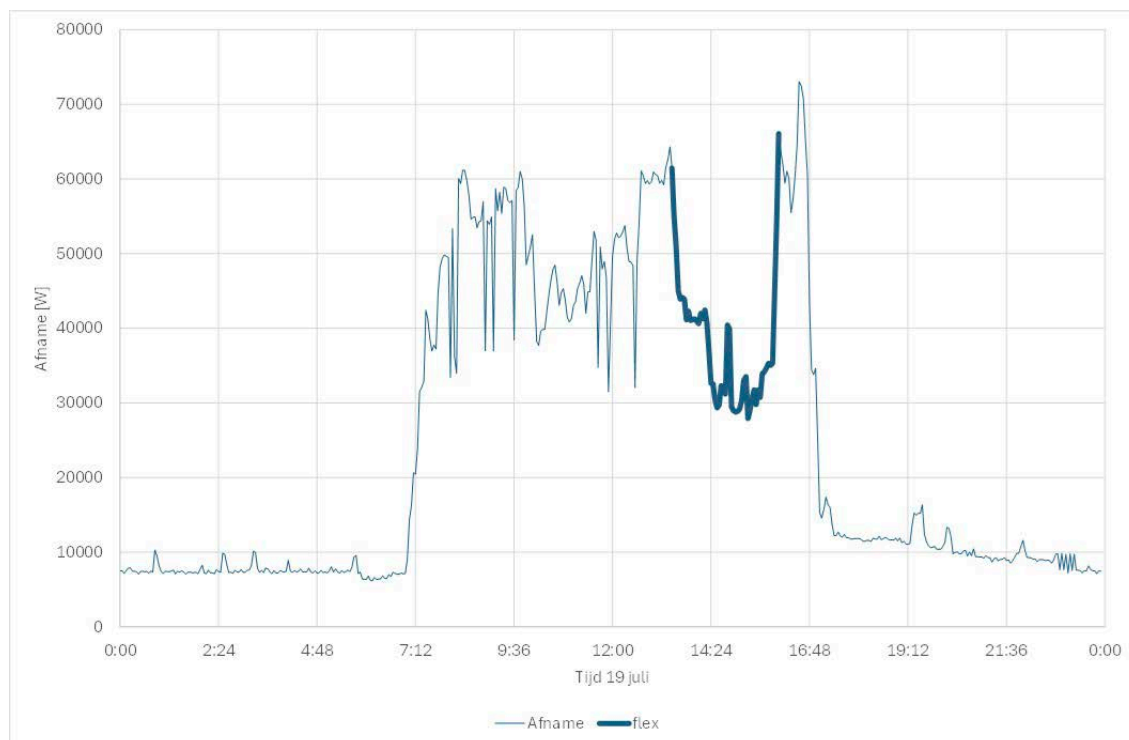
#### Experiment 1

Hoeveel tijd kan overbrugd worden bij uitschakelen/inschakelen comfortinstallatie koelen?

Door de setpoints voor de binnentemperatuur te variëren tussen de 2 uitersten wordt inzicht gekregen in de periode die overbrugd kan worden zonder (of juist geforceerd met) de comfortinstallatie koelen.

Dit experiment is op 19 juli 2024 uitgevoerd. De buitentemperatuur liep die middag op tot 27,6 °C. Het elektriciteitsverbruik van die dag is gegeven in Figuur 3.

De bemetering van binnentemperaturen en de diverse onderdelen van de klimaatinstallatie was nog niet gereed bij het eerste experiment.



Figuur 3: Verbruik elektriciteit bij experiment 1. De impact van de flexibiliteitsingreep op de elektriciteitsafname is dik aangegeven.

De vermogensreductie door het uitschakelen van de koelinstallatie is circa 30 kW gedurende 2,5 uur.



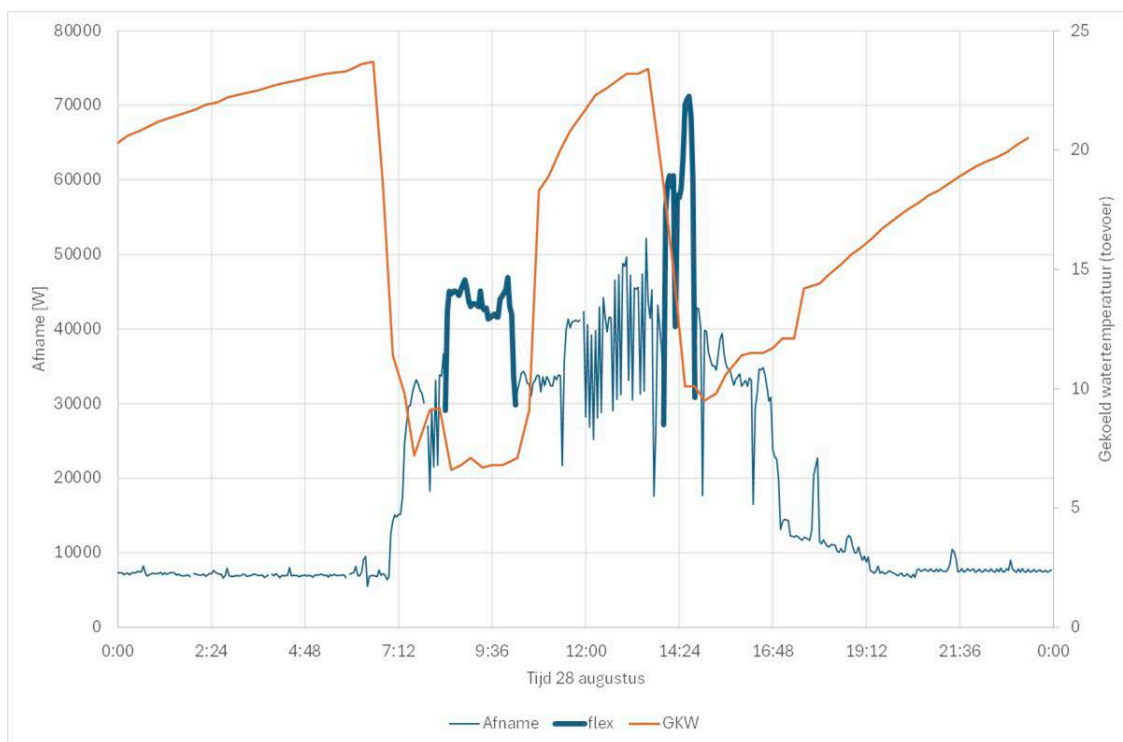
### Experiment 2

Hoofdvraag: Hoeveel tijd kan overbrugd worden bij het op een willekeurig moment uitschakelen/ inschakelen comfortinstallatie koelen?

Voor dit experiment zijn er 3 “willekeurige” signaalmomenten gekozen:

- 10.00 uur: Vermogen opvoeren. Comfortkoeling aan, koelen tot laagste comforttemperatuur (20 à 21 °C), daarna koelmachine uit.
- 12.30 uur: Vermogen opvoeren. Comfortkoeling aan, koelen tot laagste comforttemperatuur (20 à 21 °C), daarna koelmachine uit.
- 15.00 uur: Vermogen reduceren. Comfortkoeling uit, temperatuur op laten lopen tot hoogste comforttemperatuur (24°C).

Alhoewel niet helemaal de voorgeschreven schakelmomenten zijn gevolgd is de comfortinstallatie koelen tweemaal geforceerd aangezet. Dit is ook te zien in Figuur 4. In de figuur is ook de aanvoertemperatuur gekoeld water weergegeven. Hieraan zijn goed de aan- en uitschakelmomenten te zien.



*Figuur 4: Groter elektriciteitsverbruik door flex is in grafiek weergegeven. Ook is gekoeldwatertoevoertemperatuur in de grafiek gegeven (secundaire as). Hieraan is goed het aan- en uitschakelen van de comfortinstallatie koelen te zien.*

Opvallend in Figuur 4 de grotere elektriciteitsafname pas enige tijd na het inschakelmoment van de comfortinstallatie koelen plaats vindt. Dit wordt veroorzaakt door de koudebuffer.

De comfortinstallatie koelen is 3:45 uren ingeschakeld. Dit zorgt voor een afnamepiek gedurende 2 uren. Na het uitschakelen van de koelinstallatie loopt de temperatuur in 3:15 uur op tot de maximale comforttemperatuur van 24°C, waarna de comfortinstallatie koelen weer aangezet wordt.

### Experiment 3

Hoofdvraag: In hoeverre kan de energiebehoefte van de comfortinstallatie koelen verplaatst worden naar de piekmomenten, bijvoorbeeld tussen 11.00 en 13.00 uur.

Bij experiment 3 bleek geen ruimte om in het piekmoment extra afname te realiseren omdat de koeling al aan stond.



### 3.3 Overig

Het geforceerd aan- en uitzetten van de comfortinstallatie koelen gaat gepaard met verandering van de binnentemperatuur. Er is geen specifiek onderzoek gedaan naar comfortbeleving van de gebruikers van de gebouwen in relatie tot de veranderende binnentemperaturen. De deelnemers aan de experimenten, Veolia en Auerhaan Klimaattechniek, hebben echter aangegeven dat er geen klachten zijn geweest over de binnentemperaturen bij het uitvoeren van de experimenten.



## HOOFDSTUK 5 - CONCLUSIES

### 3.1 Conclusies

Met de uitgevoerde praktijkexperimenten kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

Een gebouw kan middels de comfortinstallatie koelen bijdragen een energieflexibiliteit bij zowel een behoefte aan vermogensreductie als een behoefte aan vermogenstoename. De beschikbare flexibiliteit is echter niet vanzelfsprekend.

Als de koelmachine uit staat, kan het afgenomen vermogen vanzelfsprekend niet gereduceerd worden. Als de koelmachine (volledig) aan staat kan er geen extra vermogen afgenomen worden. Deze situaties kwamen bij het uitvoeren van de experimenten ook voor.

Indien er een koudebuffer gebruikt wordt (en dat is regelmatig het geval) vindt de vermogensreductie/vermogenstoename mogelijk niet direct plaats na het signaal. Extra regelsystemen zouden er voor kunnen zorgen dat na het signaal de koelmachine direct reageert.

Soms wordt een periode van vermogensreductie gevolgd door een herstelpiek.

In zijn algemeenheid kan gezegd worden dat het flexibiliteitsaanbod op basis van het aan- en uit schakelen van de comfortinstallatie koelen een relatief eenvoudige manier is om flexibiliteit te realiseren. De beschikbaarheid van flexibiliteit is echter niet gegrandeerd.

### 3.2 Aanbevelingen

In deze studie is aangetoond dat de comfortinstallatie koelen goed inzetbaar is voor energieflexibiliteit van gebouwen. Om deze flexibiliteit in de markt te kunnen ontsluiten zijn nog wel verdere inzichten wenselijk op het gebied van:

- Financiële aspecten en businesscase. Welke prijsprikkels zijn er, hoe zijn deze optimaal te benutten?
- Gebruikersaspecten. Hoe worden de variaties in binnentemperatuur door de gebruikers ervaren?
- Regeltechniek. Hoe automatiseer je de flexibiliteit? Welke rol kunnen voorspellende systemen hierin spelen? Hoe zien de communicatieprotocollen er precies uit?
- De comfortinstallatie verwarmen. Is bij de comfortinstallatie verwarmen op dezelfde manier flexibiliteit te ontsluiten als bij de comfortinstallatie koelen?

**BIJLAGE 1: SCENARIO'S**

<b>Experiment 1</b>	
Hoofdvraag: Hoeveel tijd kan overbrugd worden bij uitschakelen/inschakelen comfortinstallatie koelen?	
Omschrijving	Door de setpoints voor de binnentemperatuur te variëren tussen de 2 uitersten wordt inzicht gekregen in de periode die overbrugd kan worden zonder (of juist geforceerd met) de comfortinstallatie koelen.
Doel	<ul style="list-style-type: none"><li>• Onderzoek comfortbandbreedte zomercomfort 24°C – 20 °C</li><li>• Inschakelduur en uitschakelduur bij overbruggen van bandbreedte zomercomfort</li><li>• Impact op afgenomen vermogen</li></ul>
Startomstandigheden	<ul style="list-style-type: none"><li>• Buitentemperatuur <math>\geq 24</math> °C</li><li>• Gedurende werktijd</li><li>• Binnentemperatuur 24°C, buffervat koude vrijwel vol.</li></ul>
Verloop	<ul style="list-style-type: none"><li>• Start met binnentemperatuur 24°C</li><li>• Temperatuur setpoint naar 20 °C, Koelen met koelmachine en buffervat. Buffervat bij voorkeur (vrijwel) leeg als setpoint 20°C bereikt wordt.</li><li>• Enige tijd op 20 °C</li><li>• Dan temperatuursetpoint naar 24 °C. Koelmachine uit.</li></ul>
Meten	<ul style="list-style-type: none"><li>• Binnentemperatuur</li><li>• Vulniveau buffervat</li><li>• Koelmachine aan/uit</li><li>• Energiegebruik totaal, koelmachine</li></ul>





<b>Experiment 2</b>	
Hoofdvraag: Hoeveel energieflexibiliteit is beschikbaar op willekeurige momenten bij normaal bedrijf van de comfortinstallatie koelen.	
Omschrijving	Door het op (min- of meer) willekeurige momenten een gefingeerd extern signaal voor het reduceren van vermogen of juist opvoeren van vermogen te gegeven wordt gekeken in hoeverre (en hoe lang) gereageerd kan worden op een dergelijk signaal.
Doel	Onderzoek de beschikbaarheid van energieflexibiliteit bij normaal bedrijf van de comfortinstallatie koelen.
Startomstandigheden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buitentemperatuur <math>\geq 24</math> °C</li> <li>• Gedurende werktijd</li> <li>• Comfortinstallatie koelen werkt in normaal bedrijf (setpoint 23°C, eventueel experiment ook uit te voeren bij standaard setpoint van 22°C).</li> <li>• De beschikbare bandbreedte voor comforttemperatuur is 24°C - 20°C</li> </ul>
Verloop	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Op een aantal (van te voren vastgestelde) willekeurige momenten op de dag is er een (gefingeerd) signaal: vermogen reduceren of vermogen opvoeren.</li> <li>• De comfortinstallatie koelen reageert op dit signaal door de warmtepomp te activeren (signaal vermogen opvoeren) of uit te schakelen (vermogen reduceren). De bandbreedte voor de binnentemperatuur is daarbij de randvoorwaarde.</li> </ul>
Meten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Binnentemperatuur</li> <li>• Vulniveau buffervat</li> <li>• Koelmachine aan/uit</li> <li>• Energiegebruik totaal, koelmachine</li> </ul>

<b>Experiment 3</b>	
Hoofdvraag: In hoeverre kan de energiebehoefte van de comfortinstallatie koelen verplaatst worden naar de piekmomenten, bijvoorbeeld tussen 11.00 en 13.00 uur.	
Omschrijving	Het afgenomen vermogen van de koelmachine wordt structureel zoveel mogelijk verplaatst naar de periode tussen 11.00 en 13.00 uur, het moment dat het aanbod aan zonne-energie het grootst is.
Doel	Energiebehoefte van koeling zo veel mogelijk laten samenvallen met de pieken van de productie van zonne-energie
Startomstandigheden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buitentemperatuur <math>\geq 24</math> °C</li> <li>• Gedurende werktijd</li> <li>• De beschikbare bandbreedte voor comforttemperatuur is 24°C - 20°C</li> </ul>
Verloop	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bij start van de dag is de comforttemperatuur ingesteld op de maximale waarde (24°C)</li> <li>• Om 11.00 uur wordt setpoint comforttemperatuur zodanig aangepast dat er een (niet te snelle) overgang is naar de minimale temperatuur van 20°C.</li> </ul>
Meten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Binnentemperatuur</li> <li>• Vulniveau buffervat</li> <li>• Koelmachine aan/uit</li> <li>• Energiegebruik totaal, koelmachine</li> </ul>



Korenmolenlaan 4  
3447 GG Woerden  
Telefoon: 088 401 06 00

[info@tvvl.nl](mailto:info@tvvl.nl) | [www.tvvl.nl](http://www.tvvl.nl)

