



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



Het functioneren van uw WKO in een oogopslag vastgesteld

*In opdracht van de ministeries van Economische Zaken en Klimaat,
Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties en het ministerie van
Infrastructuur en Waterstaat.*

*>> Duurzaam, Agrarisch, Innovatief
en Internationaal ondernemen*

Inhoudsopgave

1. Op een makkelijke manier een WKO-installatie monitoren	4
1.1 Inleiding	4
1.2 Leeswijzer	4
2. Achtergronden WKO-bodemenergiesystemen	6
2.1 Open-bodemenergiesystemen	6
2.2 Vergunningen	6
2.3 Energiebalans	7
2.4 Seasonal Performance Factor (SPF)	7
2.5 Functioneren WKO-installaties	8
3. Monitoring WKO-installaties	9
3.1 Wat wordt gemeten?	9
3.2 Energiebalans bewaken	9
4. WKO-monitoring met energieprofielen	11
4.1 Meetdata	11
4.2 Data-analyse en energieprofielen	11
4.3 WKO energieprofiel	11
4.4 Energiebalans bodem	14
4.5 Energielevering versus buitentemperatuur	14
5. Korte samenvatting	18
Bijlage 1: Pendelgedrag van warmtepompen	19
Bijlage 2: Prestatie analyse WKO - Jupyter Notebook	20

1. Op een makkelijke manier een WKO-installatie monitoren

1.1 Inleiding

Een WKO-installatie is een systeem waarbij de warmte- en koudeopwekking plaatsvindt met een bodem-energiesysteem en warmtepomp. WKO-installaties worden steeds vaker gebruikt in gebouwen. Een WKO-installatie functioneert niet altijd optimaal, net als andere klimaatinstallaties. In deze publicatie maken we het monitoren van een WKO-systeem makkelijker en inzichtelijker. We beschrijven een methode waarbij makkelijk gezien kan worden of een WKO-installatie goed functioneert. Dit wordt gedaan met behulp van meetdata en buiten het GBS systeem om. Op deze manier wordt ook het rapporteren aan niet-specialisten toegankelijker.

Waarom een aparte methode? Uit de praktijk blijkt dat de meeste standaard gebouwbeheersystemen (GBS) niet voldoen aan de eisen voor een specifieke WKO-monitoring. Met de standaard GBS wordt het functioneren niet inzichtelijk en kan het functioneren ook niet verbeterd worden. Deze standaard systemen werken alleen met geautomatiseerde foutdiagnose- en een vorm van geautomatiseerde optimalisatie. Deze systemen signaleren voornamelijk fout gedrag en verschillende “vals positieven”. Dat geeft geen inzicht en werkt uiteindelijk demotiverend. Het is beter om te monitoren en laten zien wat wel goed is aan de werking en waar verbeteringen kunnen worden doorgevoerd. Dan weten monteurs wat ze moeten doen. Deze methode helpt daarbij. Dit stimuleert en zorgt vaak voor een steeds beter resultaat.

Het doel van deze publicatie is om te laten zien dat het met eenvoudige middelen mogelijk is om beter inzicht te krijgen of een WKO-installatie goed functioneert en goed blijft functioneren. Een voorbeeldbestand dat direct bruikbaar is voor deze analyse is als bijlage toegevoegd. De publicatie beperkt zich tot het monitoren van de warmtepomp en de grondwaterpompen en gaat uit van een installatie zonder gasketels of koelmachines.

WKO-installaties zijn complex, maar hebben veel voordelen

Een WKO-installatie vraagt een andere manier van ontwerpen, realiseren en beheer & onderhoud in vergelijking met een standaard ketel en koelmachine. Goed beheer is heel belangrijk, omdat het een seizoengebonden installatie is. Fouten in het beheer, zoals geen of te weinig warmte laden, leiden vaak tot hoge extra onkosten. Daarnaast duurt het vaak weer een seizoen of zelfs jaren om fouten te herstellen. Aan de andere kant: een goed werkende WKO-installatie is de goedkoopste, en duurzaamste wijze om warmte en koude op te wekken. Daarom is inzicht hebben in het functioneren van de WKO-installatie enorm belangrijk. WKO-installaties hebben dus duidelijke voordelen. De warmte- en koude opwekking gaat op een veel energiezuinigere manier dan met standaard opwekkers, zoals ketels en koelmachines. Voor warmteopwekking wordt gebruik gemaakt van elektrische warmtepompen, die de geproduceerde warmte afgeven aan het gebouw. De koude komt rechtstreeks uit de bodem, zonder tussenkomst van een koude opwekker. Warmte en koude uit de bodem wordt als duurzaam aangemerkt, als er sprake is van een hernieuwbare bron. Met de WKO-installaties is dat het geval. Door ook elektriciteit te gebruiken uit een hernieuwbare bron, is het gebouw fossielvrij.

1.2 Leeswijzer

Met de informatie uit dit document en de bijlagen kan zelfstandig inzicht worden verkregen in het functioneren van een WKO-installatie. Dit gaat met behulp van programmeertaal [Python](#) en [Jupyter Notebooks](#). Daarbij wordt gebruik gemaakt van meetgegevens per uur die vanuit elk type GBS geëxporteerd kunnen worden naar het standaard bestandsformaat met extensie csv (comma separated values). Dit gaat over meetgegevens die al vanuit de vergunningsverplichting gemeten moeten worden. Zowel Microsoft Windows als Mac Os ondersteunen Python en Jupyter Notebooks. Om deze analyses te kunnen maken is enige kennis nodig van Python en Jupyter Notebooks. Dit is eenvoudig online te vinden.

De resultaten van de analyse worden via Jupyter Notebooks zichtbaar gemaakt in de internetbrowser, desgewenst kunnen ook andere ontwikkelomgevingen voor Python worden gebruikt om het script uit te voeren.

Het volledige Python-script is te vinden in de aparte bijlage. Om de analyse voor uw systeem uit te kunnen voeren is een dataexport met de meetgegevens vanuit het gebouwbeheersysteem nodig. De (gecertificeerde) onderhoudspartij die de WKO jaarrapportage verzorgt en het technisch beheer uitvoert kan deze dataexport makkelijk maken. De grafieken in deze notitie kunnen eventueel toegevoegd worden aan de jaarrapportage.

2. Achtergronden WKO-bodemenergiesystemen

2.1 Open-bodemenergiesystemen

Een algemene omschrijving van bodemenergiesystemen vind je in [ISSO publicatie 39](#). Hierin staan de basisconcepten beschreven. Voor deze publicatie wordt als leidraad gebruik gemaakt van basisconcept drie "Energiecentrale met warmtepomp" en specifiek voor de open bodemenergiesystemen.

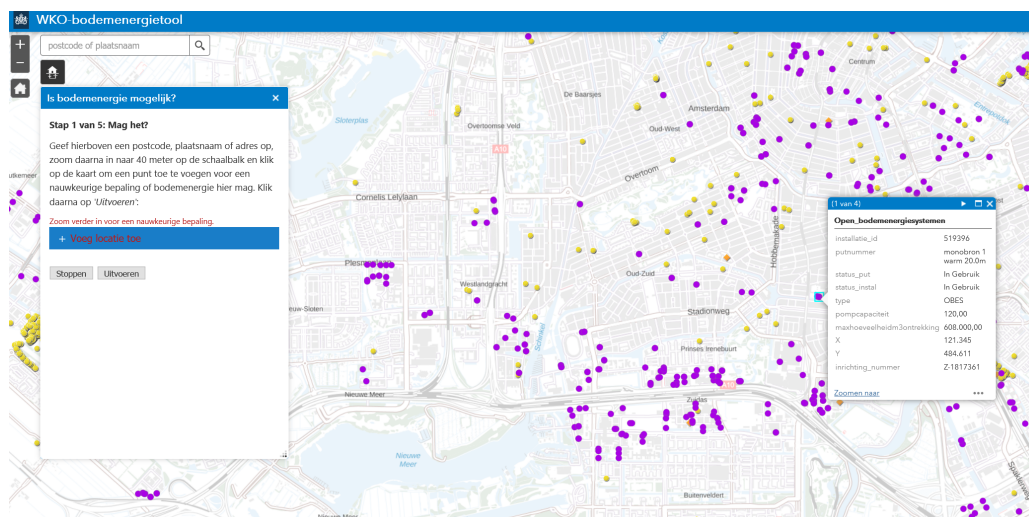
2.2 Vergunningen

Om gebruik te mogen maken van de bodem als opslag voor warmte en koude is voor WKO-systemen een vergunning nodig. Binnen deze vergunning worden eisen gesteld aan (het functioneren van) deze installaties. De vergunning wordt grofweg verleend op:

- de capaciteiten
- de energievraag
- verplaatste waterhoeveelheden

Met het verkrijgen van deze vergunning wordt ook een recht gevestigd. Dit zorgt ervoor dat toekomstige te realiseren systemen in de buurt er rekening mee moeten houden dat de werking van het systeem niet verstoord wordt. Deze regelgeving zorgt er dus voor dat het systeem nu en in de toekomst kan blijven functioneren binnen de randvoorwaarden van de verleende vergunning.

Er is één belangrijk onderscheid in de vergunningsplicht: systemen die voor 2013 zijn gerealiseerd en systemen die na 2013 zijn gerealiseerd. In 2013 is de regelgeving namelijk aangepast. De zogenaamde Seasonal Performance Factor (SPF) is toegevoegd. De SPF is een vereenvoudigde indicator om de energieprestatie van de WKO uit te drukken. De SPF geeft aan de verhouding tussen de hoeveelheid gas en elektriciteit die nodig is om de totale hoeveelheid warmte en/of koude te maken. Dat kan per seizoen of over een bepaalde periode. Deze periode kan kort of lang zijn, maar meestal per jaar.



Figuur 1 Bodemenergiesystemen als zichtbaar in de WKO-bodemenergietool (wkotool.nl)

Figuur 1 laat de geregistreerde open- en gesloten bodemenergiesystemen in een deel van Amsterdam zien.

Kijk voor [meer informatie](#) over vergunningen en de nodige certificeringen op [de website van bodemplus](#).

2.3 Energiebalans

Voor een goed functionerende WKO moet de bodem in balans blijven. Dit betekent dat de bodem evenveel warmte krijgt toegevoerd als er uit de bodem wordt gehaald. In de vergunning worden eisen gesteld over:

- Hoeveel water er maximaal verplaatst mag worden per uur en per jaar;
- Het temperatuurverschil tussen onttrekken en infiltreren, de zogenaamde "Delta T";
- De hoeveelheid energie die wordt weggehaald en toegevoegd;
- De injectietemperaturen.

Deze gegevens moet u jaarlijks verstrekken aan de provincie om aan te tonen dat u aan de vergunningsvoorwaarden voldoet. Een keer in de vijf jaar moet u een gedetailleerde rapportage meesturen. In deze rapportage moet u over een langere periode de energiebalans aantonen. De wetgeving stelt dat er minimaal eens in de 5 jaar een energiebalans moet zijn, d.w.z. de onttrokken hoeveelheid warmte is gelijk aan de toegevoerde hoeveelheid warmte.

Meestal bepaalt de energiebehoefte van het gebouw en hoe daarop klimaatsystemen zijn ontworpen wat de energiebalans van het systeem wordt. Een grote loods met daarnaast een klein kantoor heeft bijvoorbeeld een veel grotere warmtebehoefte dan koude behoefte. Om ervoor te zorgen dat de wettelijke energiebalans gehaald kan worden zijn er extra voorzieningen nodig om aan de bodem voldoende warmte te kunnen toevoeren.

Ook de manier waarop het gebouw gebruikt wordt heeft veel invloed op de energiebalans. De koudevraag van een ziekenhuis dat 24/7 wordt gebruikt is bijvoorbeeld heel anders dan de koudevraag van een schoolgebouw dat tijdens de zomervakantie bijna niet wordt gebruikt. Dit terwijl bij beide voorbeelden de klimaatinstallaties voor ventilatie en koeling bijna hetzelfde kunnen zijn.

Het ontwerp van een WKO-installatie die aansluit op de (dynamische) warmte- en koude behoefte van het gebouw, is dus altijd maatwerk. Omdat er meer installaties zijn die met elkaar moeten samenwerken en elkaar beïnvloeden is het ontwerp ook complexer dan een ontwerp met conventionele installaties (ketels/koelmachines).

Bij conventionele installaties worden de verwarmings- en koelcapaciteit bijvoorbeeld los van elkaar ontworpen en er wordt niet met een SPF gewerkt. Ook hoeft de warmte- en koude behoefte niet met elkaar in balans te zijn.

2.4 Seasonal Performance Factor (SPF)

Met SPF is het mogelijk om over een langere periode het energierendement van een WKO-installatie te meten. De definitie is: *"De SPF is de door het systeem geleverde hoeveelheden warmte en koude per jaar, gedeeld door het gemeten of berekende gas en elektriciteitsgebruik van het systeem"*. Voor rapportage verplichtingen wordt er een meetperiode van één jaar aangehouden.

Kijk voor [meer informatie over de SPF op de website van bodemplus](#)

De SPF is geen uniforme maat voor de kwaliteit van een WKO-systeem

De SPF omvat namelijk de hele warmte- en koude opwekkingsinstallatie die per situatie erg kan verschillen. Warmte wordt bijvoorbeeld nooit rechtstreeks vanuit een bodemenergiesysteem gebruikt om het gebouw te verwarmen. Hiervoor is bijvoorbeeld een warmtepomp nodig, die bijvoorbeeld 1 deel elektriciteit [MWh] omzet naar 4 delen warmte [MWh]. Koude uit het WKO-systeem kan vaak wel direct worden gebruikt voor het koelen van een gebouw. In dit geval vraagt de koudelevering alleen pompenergie en kunnen er bijvoorbeeld met 1 deel elektriciteit [MWh] wel 25 delen koude [MWh] geleverd worden. De SPF heeft dus veel voordelen bij een grotere koudebehoefte. Als de koude- en warmtebehoefte van het gebouw meer in balans zijn dan is er ook minder energie nodig voor herstel van de energiebalans (regeneratie). Het energiegebruik van eventuele piekverwarming (gas/warmte) wordt daarnaast soms wel en soms niet meegenomen bij bepaling van de SPF.



Figuur 2 SPF berekening als opgenomen in een gebouwbeheersysteem

SPF bepaling

De Seasonal Performance Factor (SPF) van het bodemenergiesysteem te worden berekend.

De berekening ziet er in hoofdlijnen als volgt uit. $SPF = (\text{nuttig geleverde koude} + \text{nuttig geleverde warmte}) / (\text{elektraverbruik grondwatersysteem} + \text{elektraverbruik warmtepompen} + \text{elektraverbruik regeneratiesysteem} + \text{hulpenergie})$. De aannemer dient in overleg met directie vast te stellen of de SPF berekend wordt in het GBS van de gebouw gebonden installatie of in het automatiseringsstation van het grondwatersysteem.

De op deze manier berekende waarde zal moeten worden opgeslagen in de trendregistratie.

2.5 Functioneren WKO-installaties

Een WKO-installatie is in principe een energiezuinige installatie. Ook als deze matig functioneert is de installatie in bijna alle gevallen nog steeds veel energiezuiniger dan een installatie met conventionele koude- en warmteopwekking. Net als conventionele klimaatinstallaties functioneren WKO-installaties meestal niet optimaal. Het is daarom belangrijk dat het functioneren van de WKO-installatie goed wordt gemonitord en dat alle installatie-onderdelen goed met elkaar samenwerken vanaf afgifte tot aan opwekking. Alleen al het matig functioneren van bijvoorbeeld het distributie- en afgifte-systemen kan tot gevolg hebben dat het bodemenergiesysteem niet goed kan functioneren.

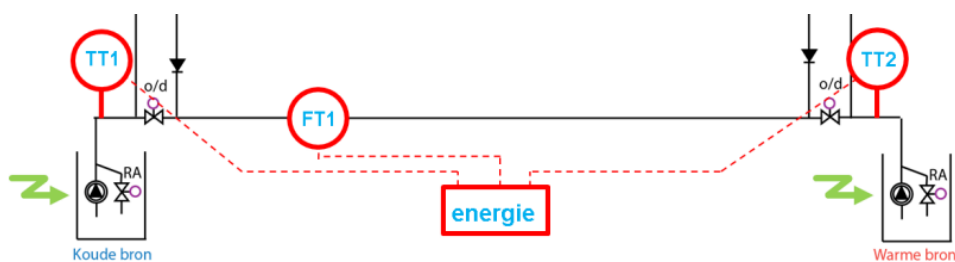
WKO-installaties zijn installaties die per situatie kunnen verschillen in uitwerking en opzet. Dat vraagt dus meer aandacht en deskundigheid voor beheer en onderhoud. Inmiddels hebben veel partijen deze deskundigheid in huis en is de wet- en regelgeving hierop afgestemd.

Zo brengt de verplichte monitoring van WKO-installaties het werkelijk functioneren goed in beeld. Dit is voor conventionele klimaatinstallaties nog niet verplicht waardoor het werkelijk functioneren vaak niet zichtbaar is. Er kan dus veel energie bespaard worden door klimaatinstallaties goed te laten functioneren. Deze inspanningen worden ruim terugverdiend op de energierekening. Daarnaast wordt het binnenklimaat in de meeste gevallen ook nog verbeterd.

3. Monitoring WKO-installaties

3.1 Wat wordt gemeten?

In de simpelste monitoringsvorm van een WKO worden de temperaturen van het onttrokken en geïnfilterde grondwater gemeten en hoeveel grondwater er wordt verplaatst. Met deze gegevens kan de aan de bodem onttrokken en toegevoegde hoeveelheid warmte of koude worden bepaald. Ook wordt het koelvermogen en het verwarmingsvermogen bepaald, die de bronnen leveren aan de energiecentrale in het gebouw.



Figuur 3 Meten aan een WKO-systeem [bron: DWA SPF publicatie]

In Figuur 3 is deze monitoring schematisch weergegeven. Met de temperatuuropmeter TT1 wordt de temperatuur van het verpompte grondwater gemeten voor de koude bron. Met temperatuuropmeter TT2 wordt dit gemeten voor de warme bron.

Met de volumestroommeter FT1 wordt de volumestroom van het water gemeten. Het geleverde koel- of verwarmingsvermogen kan met deze gegevens worden berekend. Door het geleverde vermogen over de tijd bij elkaar op te tellen wordt de energiehoeveelheid berekend voor warmte- en koudelevering aan het gebouw. In vaktermen noemen we dit respectievelijk (koude)laden en (warmte)ontladen.

	Code	Uur	Dag	Maand	Cumm.	
Ontladen*						
Gem. onttrekking temperatuur koudebron		-	-	-	x	°C
Gem. injectie temperatuur warmtebron		-	-	-	x	°C
Grondwaterverplaatsing		-	-	-	-	m ³
Energie ontladen		x	-	-	-	MWh
Gemiddeld vermogen		-	x	x	x	kW
Maximale injectietemperatuur		-	-	-	x	°C

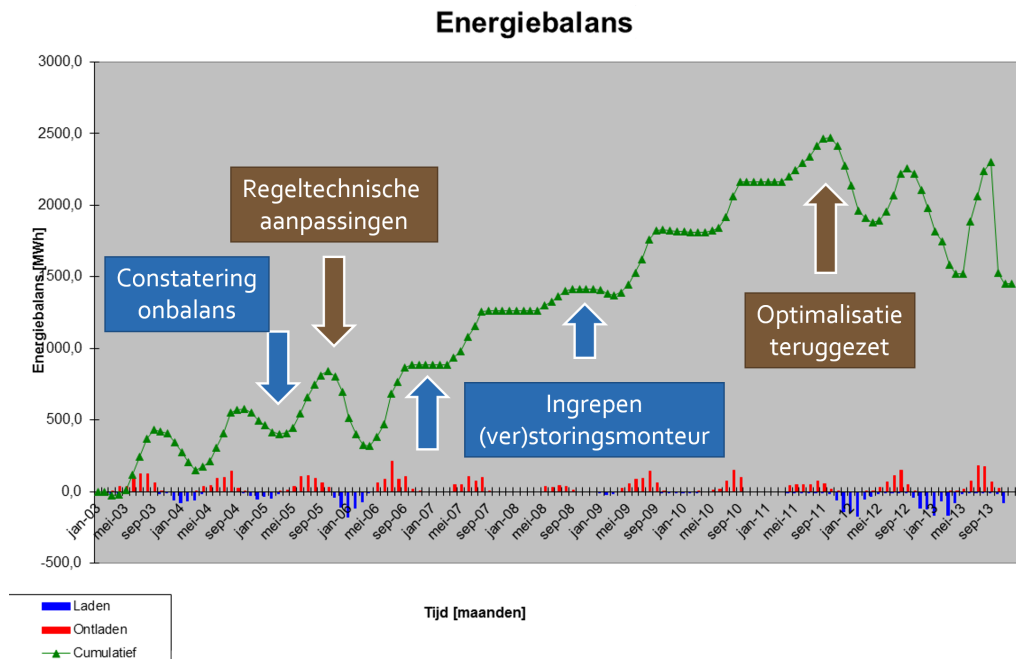
Figuur 4 Voorbeeld tabel in GBS voor WKO-monitoring

Met deze gegevens worden de eisen die in de vergunning zijn vastgesteld bewaakt. Deze gegevens worden voor de rapportage aan de provincie gebruikt, zie figuur 4.

3.2 Energiebalans bewaken

Voor het bewaken van de energiebalans is het overzichtelijk om te laten zien hoe dit eruit ziet. Figuur 5 is een grafiek van een WKO-systeem met daarin de energiebalans over ongeveer 10 jaar tijd.

Laden betekent dat er warmte aan het gebouw wordt geleverd en ontladen betekent dat er koude aan het gebouw wordt geleverd. In de grafiek van de energiebalans zijn duidelijk het functioneren van de WKO en het effect van instellingen te zien.



Figuur 5 Energiebalans van een WKO-systeem over ca. 10 jaar

Dergelijke visualisaties zijn niet voor iedereen bekend. Ze zitten vaak verstopt in (te) technische onderhoudsrapportages of in het GBS en hebben een teveel aan informatie voor gebouwbeheerders. Een simpelere manier om WKO-systemen te monitoren die past bij een regie-organisatie voor technisch beheer is daarom gewenst. In deze publicatie is dit verder uitgewerkt.

Aanbevolen wordt om deze informatie in een apart dashboard met een eenvoudige gebruikersinterface op te nemen of op een andere manier aan de beheerder te rapporteren. Deze monitoring wordt dus niet voor de technisch beheerder in het gebouwenbeheersysteem gezet. Het doel is om direct te kunnen zien wanneer een WKO-systeem of gebouwinstallatie minder goed gaat functioneren. Dit in het verlengde van de zogenaamde performance monitoring¹ en monitoring met energieprofielen.

In het staafdiagram onderin figuur 5 is te zien wat de maandelijkse energiestromen zijn van en naar de bodem. De groene lijn laat de energiebalans na een bepaalde periode zien. Met dit figuur is makkelijk te zien wat het verloop van de energiebalans is. De vlakke plateaus in de groene lijn en de afwezigheid van blauwe staven onder in het diagram laten zien dat er na enkele jaren te weinig koude geladen wordt. Dit werd onder andere veroorzaakt door verkeerde instellingen bij de ventilatie-installatie. Deze instellingen zijn hersteld tijdens een jaar gemonitord door de ontwerpers. Vervolgens heeft de onderhoudspartij ongewenste verstellingen gedaan met als gevolg dat er meerdere jaren geen koude is geladen. Pas na tussenkomst van de oorspronkelijk ontwerpers zijn de juiste instellingen van zowel de WKO als gebouwinstallatie hersteld.

¹ Zie hierbij bijvoorbeeld de paragraaf 8.4.1 “Performance Monitoring” uit ISSO publicatie 107 “Opleverprocedure klimaatinstallaties en de overdracht naar beheer” en de [RVO-publicatie “Gebouwmonitoring met energieprofielen”](#).

4. WKO-monitoring met energieprofielen

4.1 Meetdata

De meetgegevens uit figuur 3 geven informatie over het functioneren van het bodemenergiesysteem en een indicatie van het functioneren van de daarop aangesloten gebouwinstallatie. Voor de analyses die hierna komen worden alleen de volgende informatiebronnen (meetdata) gebruikt:

- De in- en uitgaande watertemperaturen vanuit de broninstallaties;
- De volumestroom tussen de broninstallaties (flow);
- De richting van de stroming;
- Het tijdstip van meten (datum + tijd);
- Actuele buitentemperatuur op dat tijdstip.

Dit zijn meetpunten die in elke WKO-installatie aanwezig zijn en minimaal elk uur worden gemeten en geregistreerd. Deze data kan geanalyseerd worden door de meetgegevens uit het gebouwbeheersysteem te exporteren (uurwaarden). Hierbij kan een databestand worden gemaakt, bijvoorbeeld op basis van de indeling 'comma-separated values (csv)'. Voor een goede analyse moeten alle uurwaarden worden geëxporteerd, dus geen gemiddelde dagwaarden.

4.2 Data-analyse en energieprofielen

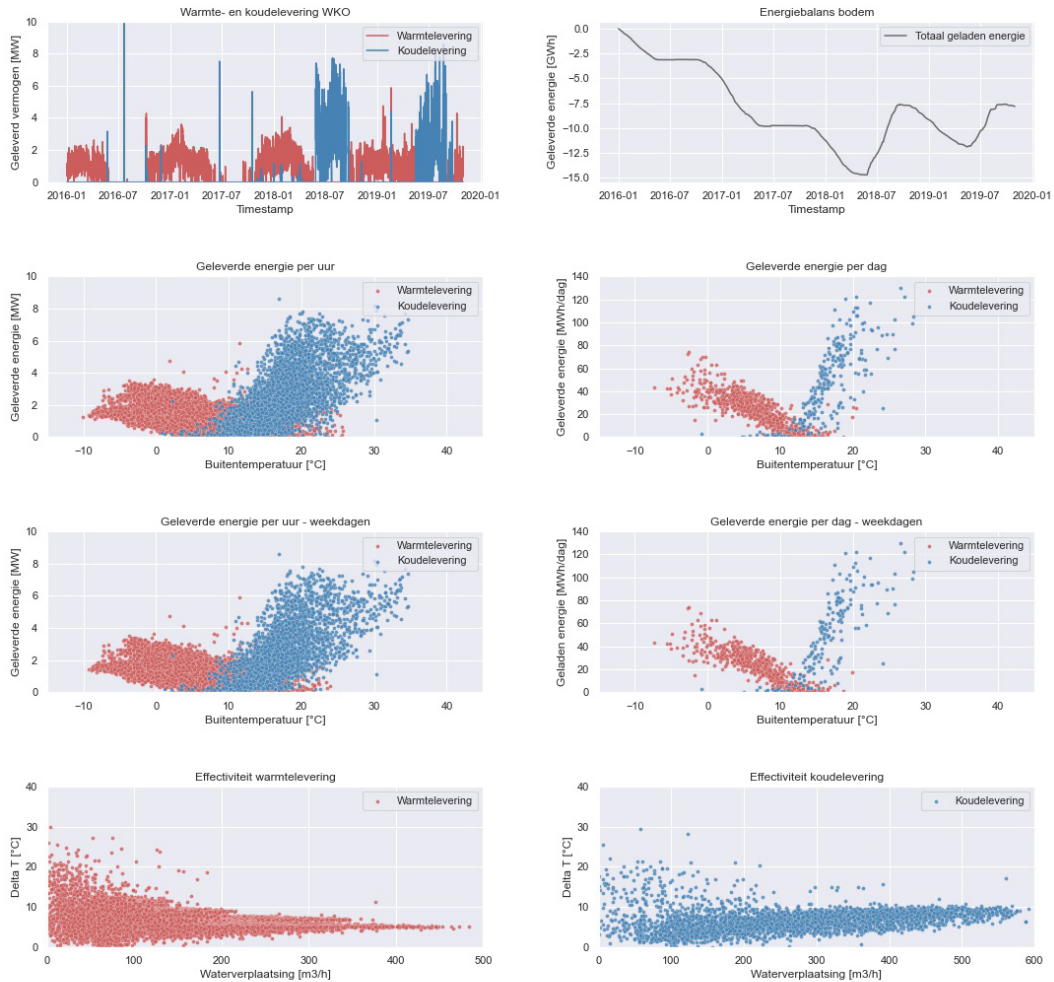
Met de beschikbare csv-data kunnen specifieke grafieken (energieprofielen) worden gemaakt om een precieze analyse te maken. Hiervoor moet eerst de kwaliteit van de meetdata gecontroleerd worden. Hierbij wordt bijvoorbeeld gekeken of de datareeks compleet is en er geen perioden ontbreken. Ook wordt er gekeken of de verzamelde data geen verkeerde waarden (zoals uitschieters) heeft. Dit kan relatief eenvoudig gedaan worden door gebruik te maken van bestaande (open source) pakketten met de bibliotheken die daarbij horen.

Voor deze publicatie is Python gebruikt. Dit is een sterke en veel gebruikte programmeertaal op het gebied van data-analyse. In bijlage 2 is een voorbeeld Python script (Jupyter Notebooks) opgenomen waarin wordt uitgelegd hoe deze analyse gemaakt kan worden. Dit voorbeeld is direct te gebruiken voor uw eigen data.

4.3 WKO energieprofiel

In het Jupyter Notebooks van bijlage 2 is een dashboard opgenomen met het template 'Energieprofiel van WKO-installaties'. Dit dashboard leggen we verder uit. Figuur 6 laat een voorbeeld van het dashboard zien met de 8 verschillende grafieken.

Energieprofiel WKO-installatie



Figuur 6 Dashboard 'Energieprofiel WKO-installatie'

In het dashboard zijn de volgende grafieken opgenomen:

- **Grafiek 1^e rij links**

De y-as geeft de geleverde energie in [MW] voor verwarming of koeling aan het gebouw aan. De x-as geeft de tijd aan. Het is direct te zien is of er koude of warmtelevering door het bodemenergiesysteem plaatsvindt.

- **Grafiek 1^e rij rechts**

De y-as geeft de cumulatief geladen energie hoeveelheid in [GWh] verwarming of koeling aan het gebouw aan. De x-as geeft de tijd aan. Het verloop van de energiebalans over de tijd is direct af te lezen.

- **Grafieken 2^e/3^e rij links/rechts**

De y-as geeft het geleverde vermogen in [MW] per uur/dag aan (links) of de geleverde energie hoeveelheid in [MWh] per dag aan (rechts). Dit wordt afgezet tegen de (daggemiddelde) buitenluchttemperatuur wat de x-as aangeeft. Vooral in de daggrafieken geeft dit een beeld voor het functioneren van de gebouw klimaatinstallatie.

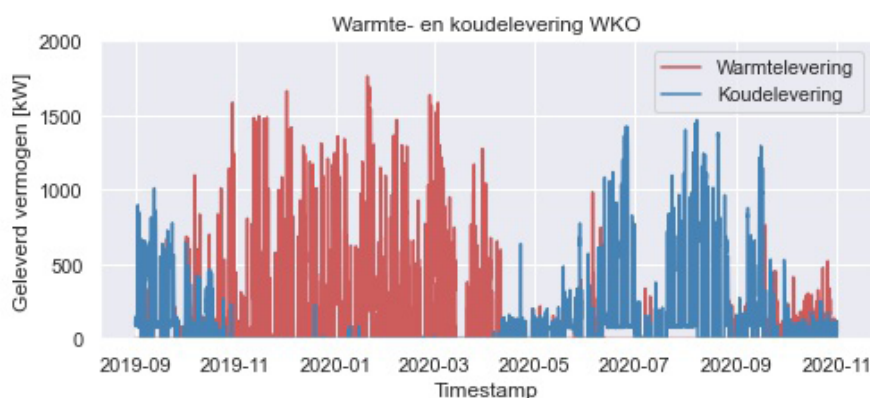
- **Grafieken 4e rij links en rechts**

De y-as geeft het temperatuurverschil (Delta T) tussen warme- en koude bron aan. Dit wordt afgezet tegen de waterverplaatsing op de x-as. Deze grafiek geeft de benutting van het opgepompte grondwater weer en daarmee of de WKO effectief wordt ingezet.

De grafieken worden uitgelegd in de volgende hoofdstukken.

Warmte- en koudelevering

De bovenste rij in Figuur 6 gaat over de geleverde warmte- en koude met daarnaast de energiebalans van de bodem.



Figuur 7 Gemeten warmte- of koudelevering [kW] vs de tijd

Beoordeling grafiek

- ✓ er is zowel warmte- als koudelevering
- ✓ de warmte- en koudelevering vindt onafgebroken plaats, er zijn geen grote storingen zichtbaar

Figuur 7 laat het gemeten vermogen voor warmte- en koudelevering zien. In het rood zijn de momenten van warmtelevering aan het gebouw aangegeven. In het blauw is de koudelevering aangegeven. De figuur laat zien dat vanaf oktober 2019 tot en met april 2020 er vooral warmte uit de bodem is geleverd aan de energiecentrale. Vanaf april 2020 tot en met november 2020 wordt er vooral koude geleverd. Er is balans als de hoeveelheid geleverde warmte (rood) gelijk is aan de hoeveelheid geleverde koude (blauw) in de periode van een jaar.

De verwarming van het gebouw gebeurt met een warmtepomp. Het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp is afhankelijk van de warme bron temperatuur. Hoe warmer, des te minder het elektriciteitsverbruik. Een goed beheerde WKO heeft een warme bron temperatuur tussen de 16-18 °C. Na de warmte uitwisseling wordt het afgekoelde grondwater in de koude bron geïnjecteerd. Als de warmte uitwisseling effectief verloopt dan wordt het grondwater met ongeveer 6-8°C in de koude bron geïnjecteerd. Een effectieve warmte uitwisseling en koude uitwisseling zorgt voor een lager elektriciteitsverbruik van de bronpompen. Goed beheer resulteert dus in een hoge SPF.

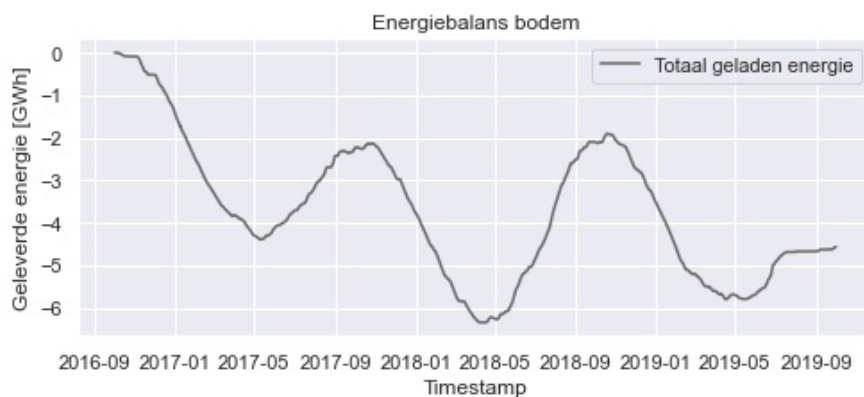
Figuur 7 laat zien of de broninstallatie de ontwerpcapaciteit haalt voor warmte- en/of koudelevering, of de bronnen in bedrijf zijn (geen verstoppingen of kapotte bronpompen) en er geen (langdurige) storingen zijn. Wanneer de piekwaarden voor geleverd vermogen over de jaren teruglopen is dit een aandachtspunt. Het kan zijn dat de broninstallatie minder water kan verpompen of dat de temperaturen van koude en/of warme bron niet meer juist zijn. Dit is ook een signaal dat de installatie niet meer goed werkt.

4.4 Energiebalans bodem

Figuur 8 laat zien hoeveel koude en warmte er totaal uit de bodem wordt onttrokken of wordt toegevoerd. Dit is over een periode gemeten. Dit is de energiebalans van de bodem. Als alles goed gaat, beweegt deze rond de 0. In dit geval koelt de bodem dus per saldo af.

Technisch gezien is dit geen nadeel, maar het is vanuit de regelgeving niet toegestaan. Het negatieve saldo heeft uiteraard ook met de start van de meting te maken (najaar), maar het is wel opvallend dat er in de zeer warme zomer van 2019 niet meer koude door het bodemenergiesysteem is geleverd. Dit is een aandachtspunt.

Uit dezelfde grafiek in figuur 6 is af te leiden dat er een storing is geweest op de broninstallatie. Hierdoor is er tijdens een aantal seizoenen geen koudelevering uit het bodemenergiesysteem geweest. Dit is zichtbaar door de horizontale plateau's in de grafiek.



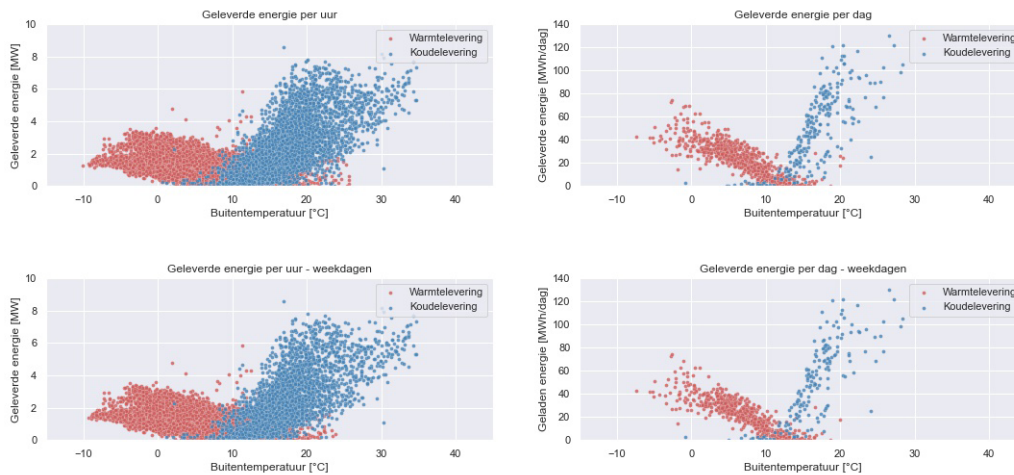
Figuur 8 Energiebalans van de bodem

Beoordeling grafiek

- ✓ er is een continue sinusbeweging zichtbaar in de grafiek
- ! de bodem koelt per saldo iets af

4.5 Energielevering versus buitentemperatuur

Figuur 9 laat een andere manier zien om inzicht te krijgen in het functioneren van de installatie. Dit is door de geleverde warmte- en koude af te zetten tegen de buitentemperatuur. Deze figuren geven vooral informatie over het functioneren van de klimaatinstallatie die is aangesloten op het bodemenergiesysteem. Dit wordt in 4 gelijksoortige figuren weergegeven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen informatie per uur en gemiddeld per dag. Hierin wordt weer een onderscheid gemaakt tussen de volledige periode of alleen tijdens werkdagen (ma-vrij).



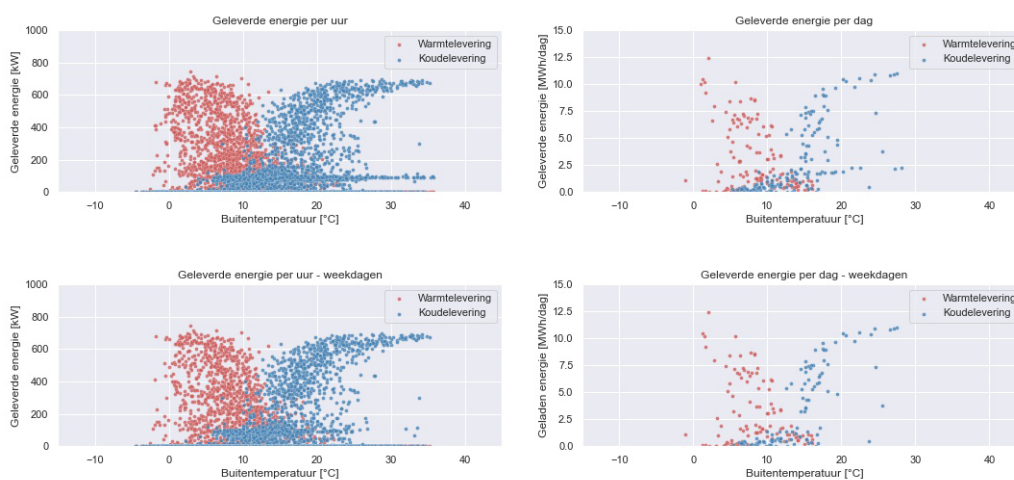
Figuur 9 geleverde vermogen warmtelevering of koudelevering versus de buitenluchttemperatuur

Beoordeling grafieken

- ✓ de bandbreedte rondom een denkbeeldige trendlijn in de daggrafieken is smal
- ✓ er is een beperkte overlap tussen warmte- en koudelevering
- ✓ er vindt geen warmte- of koudelevering plaats bij ongewone temperaturen

Er is altijd een spreiding van metingen in deze grafiek, omdat het gebouw niet altijd even intensief gebruikt wordt. Ook hebben de zonbelasting en het tijdstip op de dag invloed hierop. In het algemeen heeft een beter functionerende klimaatinstallatie smallere bandbreedtes waarbinnen de meetpunten vallen. Dit geldt vooral voor de daggrafieken. Daarnaast is er zo min mogelijk overlap gewenst tussen de koude- en warmtelevering bij gemiddelde temperaturen. Bij een goed ontworpen en goed functionerende installatie kan de energie bij gelijktijdige koude- en warmtevraag direct binnen het gebouw worden uitgewisseld en kunnen de bronpompen uit, dit bespaart elektriciteit en slijtage aan de bronpompen.

Figuur 10 laat dezelfde meting als figuur 9 zien. Deze keer van een slecht functionerende gebouwinstallatie. In deze grafieken zie je veel onnodig hoge capaciteiten bij gematigde buitentemperaturen en veel overlap tussen koude- en warmtelevering.



Figuur 10 Voorbeeld slecht functionerende gebouwinstallatie

Beoordeling grafieken

- ✓ er vindt geen warmte- of koudelevering plaats bij ongewone temperaturen
- ✗ de bandbreedte rondom een denkbeeldige trendlijn in de daggrafieken is erg groot
- ✗ er is een veel overlap tussen warmte- en koudelevering
- ✗ er vinden ongewoon hoge capaciteiten plaats bij gematigde buitentemperaturen

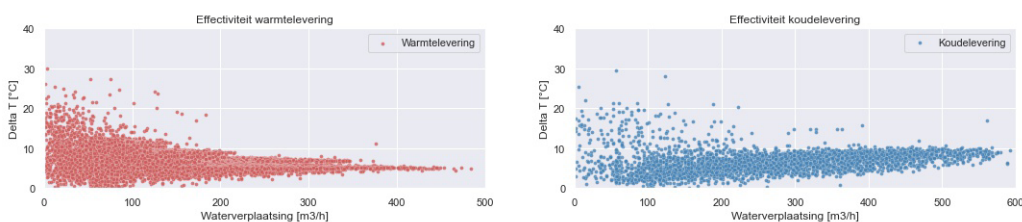
Energiezuinigheid

Een ander inzicht dat deze grafieken geven is een maat voor de energiezuinigheid van het gebouw. Vergelijk de warmtelevering uit figuur 9 met de warmtelevering uit figuur 10. Zetten we een trendlijn in de warmtelevering dan is de hoek die de trendlijn maakt met de x-as een indicator voor de energiezuinigheid van het gebouw. Hoe flauwer de helling van deze trendlijn hoe energiezuiniger het gebouw. Het gebouw in figuur 9 is dus energiezuiniger dan het gebouw in figuur 10.

Deze indicator is simpel en doeltreffend, want de indicator is niet afhankelijk van verschillen in klimaat tussen de jaren, een flauwere lijn is altijd beter. Deze indicator kan ook prima gebruikt worden in energieprestatiecontracten.

Delta T en waterverplaatsing

In de vergunning staan eisen over het maximale watervolume en debiet dat per jaar verplaatst mag worden van de warme- naar de koude bron en andersom. Dit betekent dat als het temperatuurverschil tussen oppompen en weer injecteren zo groot mogelijk is het bodemenergiesysteem per m³ verplaatst bronwater optimaal wordt gebruikt. Er is dan namelijk minder pompenergie nodig in vergelijking met de geleverde hoeveelheid warmte- en/of koude. Dit temperatuurverschil wordt ook wel de 'Delta T' genoemd. Het ligt in werkelijkheid iets genuanceerder, maar de 'Delta T' geeft wel inzicht in het functioneren en de effectiviteit van het bodemenergiesysteem. In Figuur 11 is de gemeten 'Delta T' voor respectievelijk warmtelevering en koudelevering weergegeven als functie van de waterverplaatsing. In deze situatie functioneert het bodemenergiesysteem relatief goed, hoge gemeten waarden van de 'Delta T' bij lagere waterverplaatsingen zijn normaal. Dit komt deels door opstartgedrag en door wisselingen in de bedrijfs-toestanden van de bronnen, maar ook door kleine veranderingen in de stroming. Het kader legt dit uit.



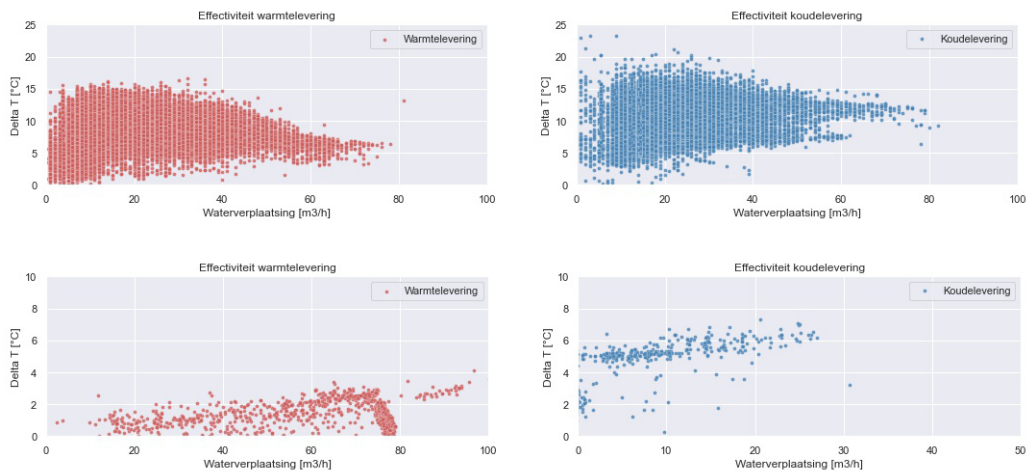
Figuur 11 Delta T versus de waterverplaatsing

Beoordeling grafieken

- ✓ bij een hoge waterverplaatsing is de bandbreedte relatief smal
- ✓ bij een hoge waterverplaatsing gaat de Delta T naar ca. 6K

In het algemeen geldt dat een smallere bandbreedte van de meetpunten staat voor een betere prestatie van het bodemenergiesysteem. De grafieken leiden uiteindelijk naar een 'Delta T' van ca. 6K. Dit is vaak de ontwerpwaarde.

Het continu vasthouden aan een gemaximaliseerd temperatuurverschil tussen het opgepompte water en het weer te infiltreren water is niet in alle gevallen de juiste keuze. Waarom? Pompen maken uiteindelijk een drukverschil en geen stroming. Door het door de pomp gemaakte drukverschil gaat het water stromen. WKO-bronnen vragen een bepaalde voordruk voordat het water gaat stromen van warme naar de koude bron of andersom. Het energiegebruik van de pompen is hierdoor dus niet lineair met de waterverplaatsing. Kleine waterhoeveelheden vragen in verhouding veel pompenergie. Daarbij is de regelbaarheid van de (bron)pompen in de onderkant van het regelbereik matig. Dit zorgt voor een minder stabiele stroming. Technisch gezien biedt het dus voordelen om bij lagere warmtevraag of koudevraag minder strikt de 'Delta T' te maximaliseren. Het zorgt voor een stabielere systeem en een stabielere regeling van de gebouwinstallatie (minder aan/uit schakelingen en omschakelingen).



Figuur 12 slecht functionerende bodemenergiesystemen

Beoordeling grafieken rij 1

- ✓ bij een hoge waterverplaatsing gaat de Delta T naar ca. 6K
- ! er is een grote verticale spreiding in meetwaarden

Beoordeling grafieken rij 2

- ! er vindt bijna geen lage waterverplaatsing plaats (warmte)
- ! er is een zeer lage Delta T bij hoge waterverplaatsing (warmte)

In figuur 12 staan dezelfde grafieken van 2 slecht functionerende systemen. De bovenste 2 grafieken duiden op pendelgedrag van een warmtepomp die steeds in- en uitschakelt. Hierdoor wordt de levensduur van de warmtepomp veel korter. Bij rustig regelgedrag gaat een warmtepomp ongeveer 20 jaar mee. Door pendelgedrag kan de warmtepomp al na 6 tot 8 jaar defect raken.

In bijlage 1 meer informatie over het pendelgedrag van warmtepompen en wat er tegen te doen is.

De onderste 2 grafieken in figuur 12 laten vooral bij warmtelevering een veel te grote flow zien, met een heel lage 'Delta T'. Het gevolg kan zijn dat er meer water verplaatst wordt dan door de vergunning is toegestaan en het geeft een veel hoger energiegebruik en dus een lagere SPF.

5. Korte samenvatting

De voorgestelde methode met een analyse aan de hand van grafieken biedt:

1. Inzicht in het functioneren van een WKO-installatie;
2. Inzicht in de energiezuinigheid van het gebouw;
3. Een meerwaarde voor het toetsen van WKO-installaties;
4. Geen nieuwe meetpunten nodig.

Met de informatie en meetpunten die al voorhanden zijn kan op deze manier meer inzicht worden verkregen in de prestatie van de installatie.

Aandachtspunt: Het ontwerp van bodemenergiesystemen is voor (bijna) alle situaties maatwerk. Dit komt, omdat de capaciteiten, warmte- en koudevraag van gebouwen heel erg verschillen. Daarbij komt ook dat alle zomers anders zijn en het gebruik van gebouwen altijd kan veranderen. Voorzichtigheid is daarom geboden bij het interpreteren van de grafieken.

Bij twijfel over het interpreteren van de grafieken, vraag de hulp van specialisten.

Bijlagen:

1. Pendelgedrag van warmtepompen
2. Prestatie analyse WKO - Jupyter Notebook
3. [Bestanden Jupyter Notebook](#)

Geschreven in opdracht van RVO, team Duurzame Energie Decentraal.

Auteurs:

Dave Baas, Renor



Ed Rooijackers, Halmos Adviseurs

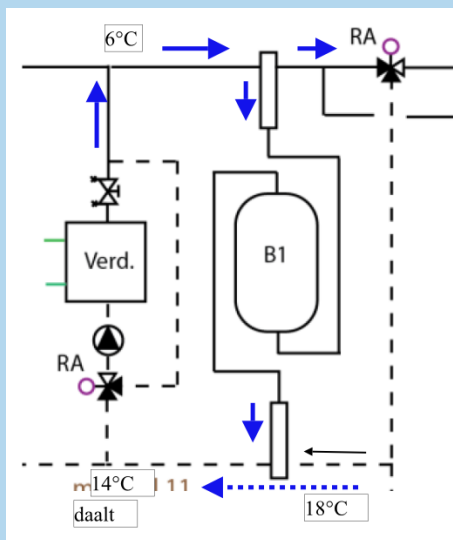


Datum: 14-10-2021

Redactie: RVO

Bijlage 1: Pendelgedrag van warmtepompen

Een veel voorkomende oorzaak van pendelende warmtepompen heeft te maken met de ingestelde nadraaitijden van de circulatiepomp in de warmtepomp. Een warmtepomp is maar beperkt (traploos) regelbaar, waardoor schakelbuffers nodig zijn om de juiste temperatuur en volumestroom voor de gebouwinstallatie te kunnen maken. Bodemenergiesystemen hebben meestal parallel geschakelde buffers, zie het principe schema hieronder.



Hoe ontstaat pendelen? Voorbeeld: Bij koudelevering door de warmtepomp, zorgt de warmtepomp bijvoorbeeld dat het water 6°C wordt. De pijlen in het prinseschema laten zien dat een deel naar de gebouwinstallatie en een deel door het buffervat B1 gaat. Het buffervat wordt daardoor kouder en wordt uiteindelijk 6°C. Het retourwater vanuit de gebouwinstallatie heeft bijvoorbeeld een temperatuur van 18°C en achter de buffer ontstaat een mengtemperatuur, die lager wordt als de buffer zich met 6°C water vult. Als de mengtemperatuur laag genoeg is schakelt de compressor van de warmtepomp uit. Deze maakt geen koude meer, maar de circulatiepomp loopt door op een zogenaamde nadraaitijd. De gebouwinstallatie moet nu eigenlijk functioneren op het koude water van 6°C uit het buffervat B1, maar bij doordraaien van de waterpomp (terwijl de compressor uit staat) wordt het retourwater van 18°C ook aangezogen. Hierdoor loopt de mengtemperatuur snel op, omdat dit retourwater ook weer de buffer instroomt, daardoor slaat de compressor weer te snel aan. Maar aangezien het buffervat B1 nog een mengtemperatuur heeft, daalt de mengtemperatuur ook weer snel, waardoor de compressor weer uit schakelt.

Twee oplossingen om dit probleem op te lossen:

1. Verkort de nadraaitijden. En let er op dat deze na onderhoudswerkzaamheden nog steeds juist staan ingesteld. Meestal worden ze door de monteur op de oude waarden terug gezet.
2. Laat met behulp van de gebouwregeltechniek de driewegklep RA bij de warmtepomp snel omlopen. Zo loopt er wel water over de warmtepomp, maar dit verstoort niet het gebouwcircuit/buffer. Hiervoor zijn snelle regelkleppen nodig. Houd hier rekening mee in het ontwerp.

Bijlage 2: Prestatie analyse WKO - Jupyter Notebook

1 Algemeen

In dit Jupyter Notebook wordt een voorbeeld gegeven van een data-analyse op WKO systemen. Met behulp van deze analyse is het mogelijk snel inzicht te krijgen in de prestaties van de WKO. Voor het uitvoeren van de analyse wordt uurlijkse meetdata van de WKO en buitentemperatuur gebruikt.

Om de analyses uit te kunnen voeren laden we een aantal benodigde libraries van Python in.

```
In [1]: import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
```

2 Data inladen en controleren

2.1 Data inladen

Voor het uitvoeren van de analyse maken we gebruik van de dataset 'WKOdata.csv', een dataset gevuld met uurlijkse meetdata van een WKO. Als eerste stap laden we het CSV bestand in en slaan we de data op in een nieuwe dataframe genaamd 'data'.

```
In [2]: data = pd.read_csv("WKOdata.csv", sep=",")
```

2.2 Data bekijken

Om inzicht te krijgen in de data die we hebben ingeladen, bekijken we het dataframe met de functies info() en head().

```
In [3]: data.info()
```

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 33534 entries, 0 to 33533
Data columns (total 6 columns):
#   Column                Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Timestamp              33534 non-null  object
1   Flow [m3/h]            33534 non-null  float64
2   Tkoude bron [°C]      33293 non-null  float64
3   Twarme bron [°C]      33293 non-null  float64
4   Pomp signaal [0,1,2]  33534 non-null  float64
5   Tbuiten [°C]          33534 non-null  float64
dtypes: float64(5), object(1)
memory usage: 1.5+ MB
```

```
In [4]: data.head()
```

```
Out[4]:
```

	Timestamp	Flow [m3/h]	Tkoude bron [°C]	Twarme bron [°C]	Pomp signaal [0,1,2]	Tbuiten [°C]
0	2016-01-01 00:00:00	59.0	13.125000	20.300000	2.0	6.9
1	2016-01-01 01:00:00	59.0	15.414286	20.328571	2.0	6.3
2	2016-01-01 02:00:00	59.0	15.412500	20.400000	2.0	6.2
3	2016-01-01 03:00:00	59.0	14.485715	20.400000	2.0	5.4
4	2016-01-01 04:00:00	60.0	12.912500	20.350000	2.0	3.6

Met het inzien van de data valt op de dataset uurlijkse meetdata bevat over een periode van totaal bijna vier jaar. De data bestaat uit een timestamp, flow, temperatuur van de bronnen, pompsignaal (stromingsrichting) en een buitentemperatuur. De waarden lijken te corresponderen met de eenheden genoemd in de namen van de variabelen.

2.3 Index instellen

Voor we verder gaan met de dataset, stellen we de Timestamp in als index. Dit maakt het uitvoeren van verdere bewerkingen handiger.

```
In [5]: #Converteer timestamp naar datetime variabele
data['Timestamp'] = pd.to_datetime(data['Timestamp'], format='%Y-%m-%d %H:%M:%S')

#Stel in als index en gooi oude variabele weg
data = data.set_index(data['Timestamp'])
data = data.drop(columns=['Timestamp'])
```

2.4 Datakwaliteit controleren

Om inzicht te verkrijgen in de kwaliteit van de dataset plotten we de data in een grafiek.

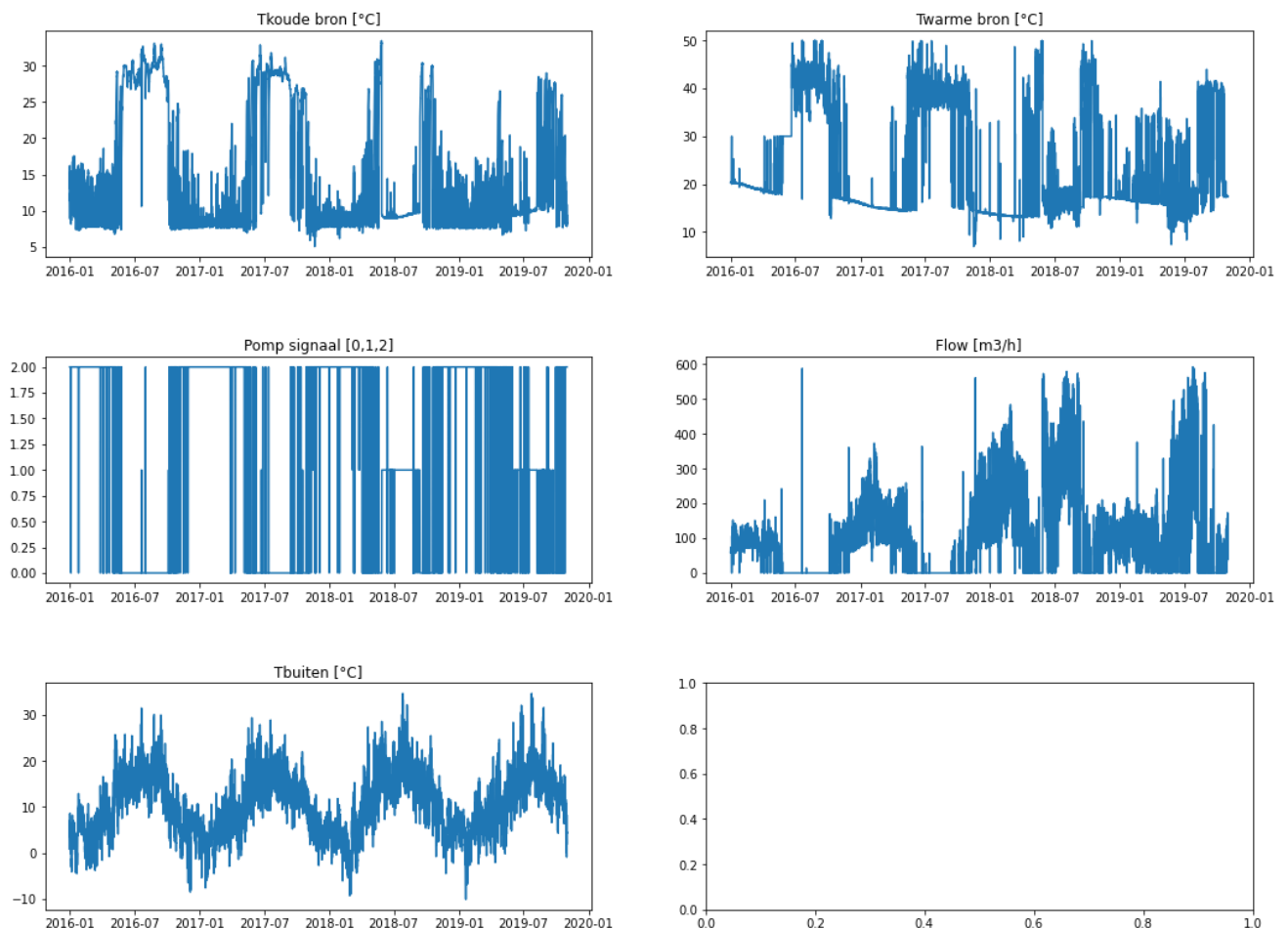
```
In [6]: #Maak een figuur met subplots aan
fig, axs = plt.subplots(3, 2, figsize=(16, 12))

#Plot de grafieken
axs[0, 0].plot(data['Tkoude bron [°C]'])
axs[0, 1].plot(data['Twarme bron [°C]'])
axs[1, 0].plot(data['Pomp signaal [0,1,2]'])
axs[1, 1].plot(data['Flow [m3/h]'])
axs[2, 0].plot(data['Tbuiten [°C]'])

#Voeg titels toe
axs[0, 0].set_title('Tkoude bron [°C]')
axs[0, 1].set_title('Twarme bron [°C]')
axs[1, 0].set_title('Pomp signaal [0,1,2]')
axs[1, 1].set_title('Flow [m3/h]')
axs[2, 0].set_title('Tbuiten [°C]')

#Voeg witruimte tussen grafieken toe
fig.tight_layout(pad=5.0)

plt.savefig('Controle datakwaliteit.png')
```



Uit het plotten van de data blijkt in dit geval dat de dataset vrij compleet is, en zitten weinig gaten in de data. Wel blijkt uit de grafieken 'Flow' en 'Pomp signaal' dat er in de eerste jaren lange perioden zijn zonder flow (pomp signaal = 0 en Flow = 0).

Tevens blijkt uit de data de volgende betekenis van de pompsignalen:

0 = geen flow

1 = warmte laden (vindt plaats bij hoge buitentemperaturen)

2 = koude laden (vindt plaats bij lage buitentemperaturen)

3 Data aanvullen en bewerken

3.1 Data aanvullen met laadvermogen

Allereerst vullen we de dataset aan door het laadvermogen te berekenen. Dit doen we voor de bedrijfssituaties 'warmte laden' en 'koude laden'.

```
In [7]: data.loc[data['Pomp signaal [0,1,2]'] == 1, 'Warmte laden [kW]'] = data["Flow [m3/h]"] / 3.6 * 1.2 * 4.2 * (data["Twarme bron [°C]"] - data["Tkoude bron [°C]"])
data.loc[data['Pomp signaal [0,1,2]'] == 2, 'Koude laden [kW]'] = data["Flow [m3/h]"] / 3.6 * 1.2 * 4.2 * (data["Twarme bron [°C]"] - data["Tkoude bron [°C]"])
```

3.2 Data aanvullen met dT en V per bedrijfssituatie

Vervolgens bepalen we voor beide bedrijfssituaties de delta T en volumestroom.

```
In [8]: #Bepaal delta T bij warmte laden
data.loc[data['Warmte laden [kW]'] > 0, 'Warmte laden dT [°C]'] = (data['Twarme bron [°C]'] - data['Tkoude bron [°C]'])

#Bepaal volumestroom bij warmte laden
data.loc[data['Warmte laden [kW]'] > 0, 'Warmte laden flow [m3/h]'] = data['Flow [m3/h]']

#Bepaal delta T bij koude laden
data.loc[data['Koude laden [kW]'] > 0, 'Koude laden dT [°C]'] = (data['Twarme bron [°C]'] - data['Tkoude bron [°C]'])

#Bepaal volumestroom bij koude laden
data.loc[data['Koude laden [kW]'] > 0, 'Koude laden flow [m3/h]'] = data['Flow [m3/h]']
```

3.3 Data op dagniveau

Om ook een analyse op dagniveau te kunnen doen definiëren we een aparte dataframe met de data op dagniveau.

```
In [9]: #Maak een niveau dataframe waarin de gemiddelde dagtemperatuur wordt berekend
data_dag = pd.DataFrame(data['Tbuiten [°C]'])
data_dag = data_dag.resample('d').mean()

#Vul het dataframe vervolgens ook met de geladen energie, ditmaal een sommatie
data_dag['Warmte laden [kWh]'] = data['Warmte laden [kW]'].resample('d').sum()
data_dag.loc[data_dag['Warmte laden [kWh]'] == 0, 'Warmte laden [kWh]'] = np.nan
data_dag['Koude laden [kWh]'] = data['Koude laden [kW]'].resample('d').sum()
data_dag.loc[data_dag['Koude laden [kWh]'] == 0, 'Koude laden [kWh]'] = np.nan
```

3.4 Filter data op weekdays

Filter beide datasets op enkel weekdays, deze informatie slaan we op in nieuwe dataframes.

```
In [10]: #Filter uurdata op weekdays en sla op in nieuwe df
data_weekday = data[data.index.weekday < 5]

#Filter dagdata op weekdays en sla op in nieuwe df
data_dag_weekday = data_dag[data_dag.index.weekday < 5]
```

3.5 Bereken totaal geladen energie

Tot slot berekenen we ook de totale energie die in de bodem is geladen.

```
In [11]: #Bereken het totale laadvermogen
data['Totaal energie laden [kWh]'] = data['Warmte laden [kW]'].sub(data['Koude laden [kW]'], fill_value=0)

#Vervang alle 0-waarden voor NaN
data['Totaal energie laden [kWh]'].fillna(0, inplace=True)

#Maak een cumulatieve sommatie
data['Totaal energie geladen [kWh]'] = data['Totaal energie laden [kWh]'].cumsum()
```

4 Grafieken plotten

Tot slot plotten we de resultaten in een totaaloverzicht met acht grafieken.

In [12]:

```
fig, axs = plt.subplots(4, 2, figsize=(16, 16))

axs[0, 0].plot(data['Koude laden [kW]']/1000, color='red', label='Warmtelevering')
axs[0, 0].plot(data['Warmte laden [kW]']/1000, color='blue', label='Koudelevering')
axs[0, 0].set_title('Warmte- en koudelevering WKO')
axs[0, 0].set_ylim(0, 10)
axs[0, 0].set_ylabel('Geleverd vermogen [MW]')
axs[0, 0].legend(loc='upper right')

axs[0, 1].plot(data['Totaal energie geladen [kWh]']/1000000, color='black', label='Totaal geladen energie')
axs[0, 1].set_title('Energiebalans bodem')
axs[0, 1].set_ylabel('Geleverde energie [GWh]')
axs[0, 1].legend(loc='upper right')

axs[1, 0].scatter(data['Tbuiten [°C]'], data['Koude laden [kW]']/1000, s=5, color='red', label='Warmtelevering')
axs[1, 0].scatter(data['Tbuiten [°C]'], data['Warmte laden [kW]']/1000, s=5, color='blue', label='Koudelevering')
axs[1, 0].set_title('Geleverde energie per uur')
axs[1, 0].set_xlim(-15, 45)
axs[1, 0].set_ylim(0, 10)
axs[1, 0].set_xlabel('Buitentemperatuur [°C]')
axs[1, 0].set_ylabel('Geleverde energie [MW]')
axs[1, 0].legend(loc='upper right')

axs[1, 1].scatter(data_dag['Tbuiten [°C]'], data_dag['Koude laden [kWh]']/1000, s=5, color='red', label='Warmtelevering')
axs[1, 1].scatter(data_dag['Tbuiten [°C]'], data_dag['Warmte laden [kWh]']/1000, s=5, color='blue', label='Koudelevering')
axs[1, 1].set_title('Geleverde energie per dag')
axs[1, 1].set_xlim(-15, 45)
axs[1, 1].set_ylim(0, 150)
axs[1, 1].set_xlabel('Buitentemperatuur [°C]')
axs[1, 1].set_ylabel('Geleverde energie [MWh/dag]')
axs[1, 1].legend(loc='upper right')

axs[2, 0].scatter(data_weekday['Tbuiten [°C]'], data_weekday['Koude laden [kW]']/1000, s=5, color='red', label='Warmtelevering')
axs[2, 0].scatter(data_weekday['Tbuiten [°C]'], data_weekday['Warmte laden [kW]']/1000, s=5, color='blue', label='Koudelevering')
axs[2, 0].set_title('Geleverde energie per uur - weekdagen')
axs[2, 0].set_xlim(-15, 45)
axs[2, 0].set_ylim(0, 10)
axs[2, 0].set_xlabel('Buitentemperatuur [°C]')
axs[2, 0].set_ylabel('Geleverde energie [MW]')
axs[2, 0].legend(loc='upper right')

axs[2, 1].scatter(data_dag_weekday['Tbuiten [°C]'], data_dag_weekday['Koude laden [kWh]']/1000, s=5, color='red', label='Warmtelevering')
axs[2, 1].scatter(data_dag_weekday['Tbuiten [°C]'], data_dag_weekday['Warmte laden [kWh]']/1000, s=5, color='blue', label='Koudelevering')
axs[2, 1].set_title('Geleverde energie per dag - weekdagen')
axs[2, 1].set_xlim(-15, 45)
axs[2, 1].set_ylim(0, 150)
axs[2, 1].set_xlabel('Buitentemperatuur [°C]')
axs[2, 1].set_ylabel('Geladen energie [MWh/dag]')
axs[2, 1].legend(loc='upper right')

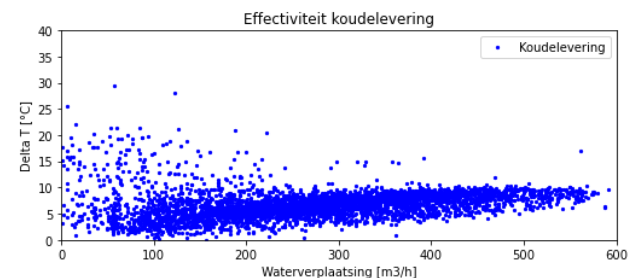
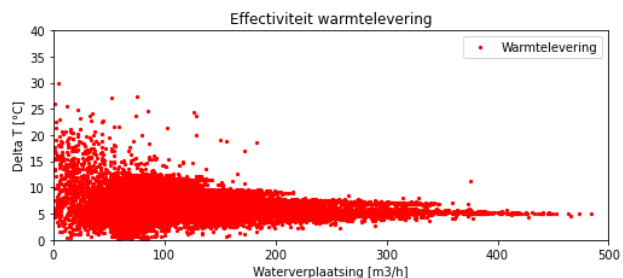
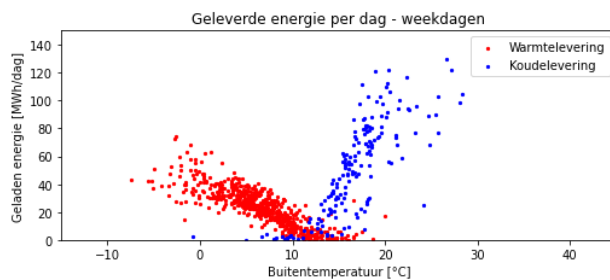
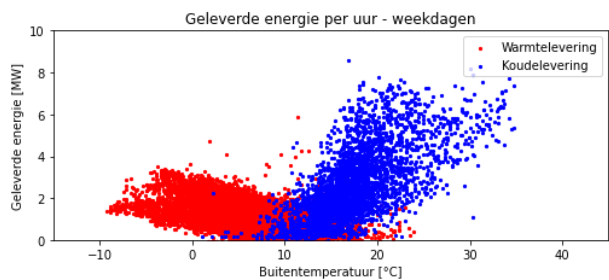
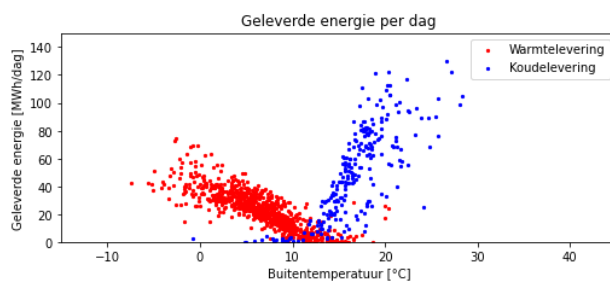
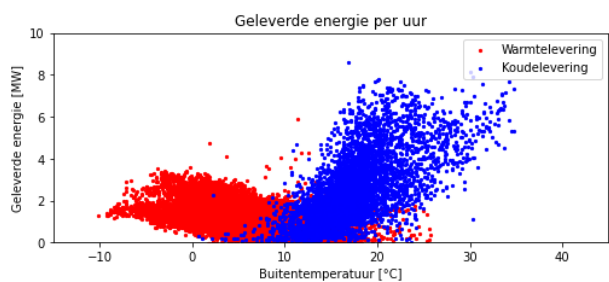
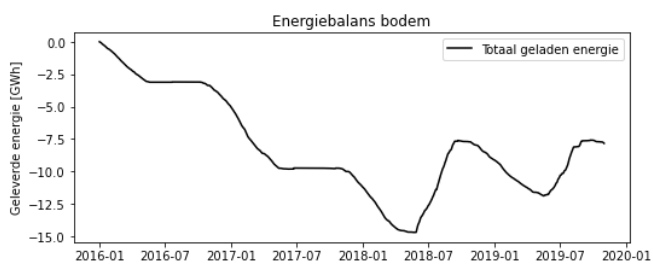
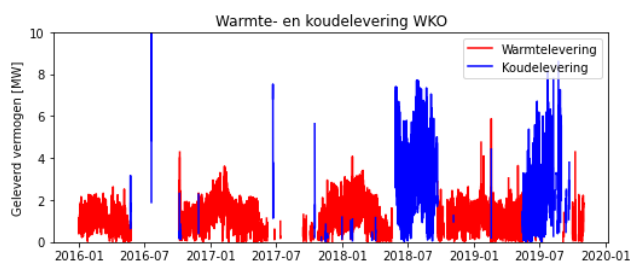
axs[3, 0].scatter(data['Koude laden flow [m3/h]'], data['Koude laden dT [°C]'], s=5, color='red', label='Warmtelevering')
axs[3, 0].set_title('Effectiviteit warmtelevering')
axs[3, 0].set_xlim(0, 500)
axs[3, 0].set_ylim(0, 40)
axs[3, 0].set_xlabel('Waterverplaatsing [m3/h]')
axs[3, 0].set_ylabel('Delta T [°C]')
axs[3, 0].legend(loc='upper right')

axs[3, 1].scatter(data['Warmte laden flow [m3/h]'], data['Warmte laden dT [°C]'], s=5, color='blue', label='Koudelevering')
axs[3, 1].set_title('Effectiviteit koudelevering')
axs[3, 1].set_xlim(0, 600)
axs[3, 1].set_ylim(0, 40)
axs[3, 1].set_xlabel('Waterverplaatsing [m3/h]')
axs[3, 1].set_ylabel('Delta T [°C]')
axs[3, 1].legend(loc='upper right')

fig.suptitle('Prestatieanalyse WKO', fontweight="bold", fontsize=16)
fig.tight_layout(rect=[0, 0.03, 1, 0.97], pad=4.0)

plt.savefig('Prestatieanalyse WKO.png')
```

Prestatieanalyse WKO



Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht

Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht

T +31 (0) 88 042 42 42

F +31 (0) 88 602 90 23

E klantcontact@rvo.nl

www.rvo.nl/energie-innovatie

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van de ministeries van Economische Zaken en Klimaat, Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | juli 2021

Publicatienummer: RVO-200-2021/BR-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen.

Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Hoewel deze publicatie met de grootste zorg is samengesteld, kan RVO geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele fouten. De teksten zoals gepubliceerd in het Staatsblad en de Staatscourant zijn leidend.