



Eindrapport focusproject: 'Optimalisatie van energiestromen'

Projectcode: 1/DWO/2016/TD/FR011 + 1/DWO/2016/TD/FO01

Startdatum: september 2016
Einddatum: september 2019

Promotor: Chris Hendrickx

Inhoudstafel

Deel 1. Publiek rapport (paper)

1. Abstract

‘Optimalisatie van energiestromen’ betekent in dit project het maximaliseren van de efficiëntie met behoud en zelfs verbetering van het comfort. Het doel was de meest voorkomende hernieuwbare energietechnieken, al dan niet samen, in te zetten om een maximaal rendement te realiseren gecombineerd met een zo laag mogelijk energieverbruik.

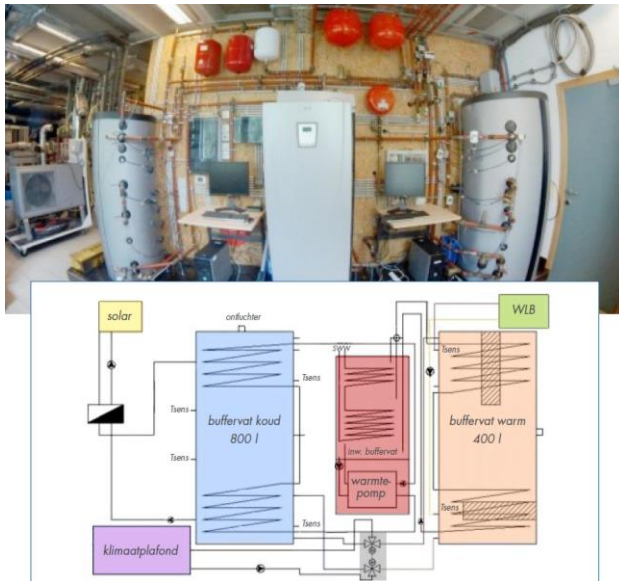
De hybride installatie is opgebouwd uit thermische zonnepanelen en een water/water-warmtepompsysteem met verschillende types van bronnen waaronder een energiebuffer van 800 liter en een ijsbuffer. Deze componenten zorgen voor de energieopwekking en het behoud ervan gedurende een langere periode. Voor de uitwerking van het aspect comfort zijn er diverse afgiftesystemen voorhanden, waarmee zowel verwarmd als gekoeld kan worden. De keuze bij de afgiftesystemen viel in dit project op radiatoren, ventiloconvectoren en een warmeluchtblazer. Daarnaast is de keuze gemaakt voor een klimaatplafond en dit zowel volgens een klassieke opzet als met ventiloconvectoren.

Door een goede afstemming van de energieopwekking, energieopslag en energieafgifte is gebleken dat beschikbare energie maximaal gebruikt kan worden. De energie is te stockeren in energieopslagvaten onder de vorm van koude- en warmteopslag. De energie kan zowel direct ingezet worden als op een later, gewenst moment.

Door in dit systeemconcept optimalisaties te voorzien is er een minimale hoeveelheid primaire energie nodig en is de CO₂-uitstoot zeer beperkt.

De uitgebouwde testfaciliteit maakt het mogelijk om onder verschillende omstandigheden (zoals verschillende seizoenen en aansturingen) metingen uit te voeren en de samenwerking van de deelsystemen (zonnepanelen, warmtepomp, warmtewisselaars in het systeem) te analyseren.

Kort samengevat, gaat dit project na hoe bestaande veelvoorkomende hernieuwbare energietechnieken kunnen samenwerken om tot een klimaatregeling te komen die het hele jaar door het gewenste comfort levert tegen een zo hoog mogelijk rendement. Dit project kadert in de stapsgewijze uitbouw van PXL-Green & Tech tot een duurzame campus.



2. Inleiding

Nieuwe gebouwen dienen performanter te zijn en worden voorzien van duurzame energietechnieken. Wanneer de huidige systemen van hernieuwbare energie elk op zichzelf worden bekeken, blijkt dat ieder systeem optimaal functioneert onder specifieke omstandigheden. De efficiëntie van iedere techniek is afhankelijk van de toepassing, gebruiksomstandigheden en klimaatinvloeden.

Dit project gaat na hoe bestaande veelvoorkomende hernieuwbare energietechnieken kunnen samenwerken tot een klimaatregeling die het hele jaar door het gewenste comfort levert tegen een zo hoog mogelijk rendement. Het project past in de verdere ontwikkeling van de duurzame campus PXL-Green & Tech. De gerealiseerde installatie laat toe de samenwerking van verschillende hernieuwbare technieken (warmtepompen, zonnepanelen, energievaten met koude- en warmteopslag) uit te testen, op te meten en te analyseren. De campus PXL-Green & Tech wordt daarbij als 'living lab' gebruikt. In verschillende lokalen zijn diverse technieken opgebouwd waaronder klimaatplafonds, 2W- en 4W-afgiftesystemen, ventilo's en CO₂-gestuurde ventilatie.

De doelstelling is antwoord te bieden op de centrale onderzoeksvraag: hoe kunnen we bestaande hernieuwbare energietechnieken combineren tot een optimaal werkende HVAC-installatie?

Op de ontwikkelde technische installatie worden met regel- en loggingapparatuur data verzameld over de efficiëntie. Verschillende scenario's worden bestudeerd waarbij het comfort optimaal dient te zijn en dit met een minimaal energieverbruik. Uit de diverse meetscenario's (meetcampagnes) werden regelingen tussen de verschillende componenten geoptimaliseerd om zo een maximale efficiëntie te realiseren.

3. Onderzoekopzet en methodologie en resultaten

In eerste instantie werden verschillende opties en technieken naast elkaar gelegd: warmteopwekking met behulp van warmtekrachtkoppeling (WKK), warmtepompen (lucht/lucht (L/L), lucht/water (L/W), water/water (W/W)), zonneboiler etc., maar ook energieopslagtechnologie, distributie als afgiftesystemen. Vanuit de kennis van deze technieken en na onderzoek van bestaande innovatieve onderzoeksprojecten werden diverse concepten geëvalueerd en delen ervan geselecteerd voor verder onderzoek.

Na diverse studiebezoeken aan gerealiseerde innovatieve HVAC-projecten en kennis van de do's-and-dont's werd de op elkaar af te stemmen hardware geselecteerd. Voor een eerste draft viel de keuze op warmtepomptechnologie van het type water/water (W/W). Op die manier werd het mogelijk om te werken met energieopslagsystemen waarbij technologisch de mogelijkheid bestaat tegelijkertijd warmte en koude te

produceren. Beide vormen van energie kunnen dan verder gebruikt worden. Dit is een essentieel element om inzetbaarheid van zowel koeling als verwarming mogelijk te maken.

Om deze warmte en koeling te kunnen opslaan, werd er geopteerd voor grote opslagsystemen. Door het grote gewicht van de installatie werd er voorafgaand een stabiliteitsonderzoek/-meting uitgevoerd i.s.m. de PXL-opleiding Bachelor Bouw, waarbij er meerdere meetpunten in het lokaal werden opgenomen om zo eventuele problemen in verband met de maximale belastbaarheid van de vloer te detecteren.

Verder werden de overige componenten geselecteerd om tot een volwaardige opstelling te komen. De bouw van de installatie verliep in verschillende fases, waarbij er na afronding van één academiejaar een volledige uitrol mogelijk was, om vervolgens het uitvoeren van deeltesten mogelijk te maken.

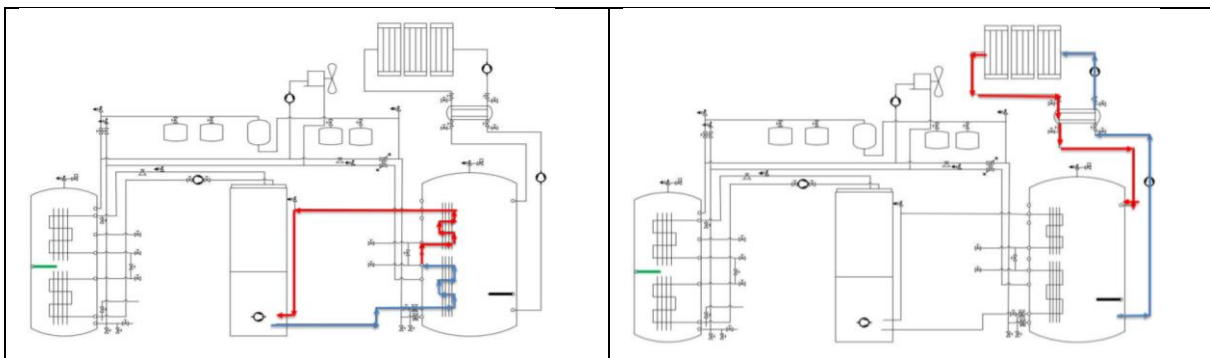


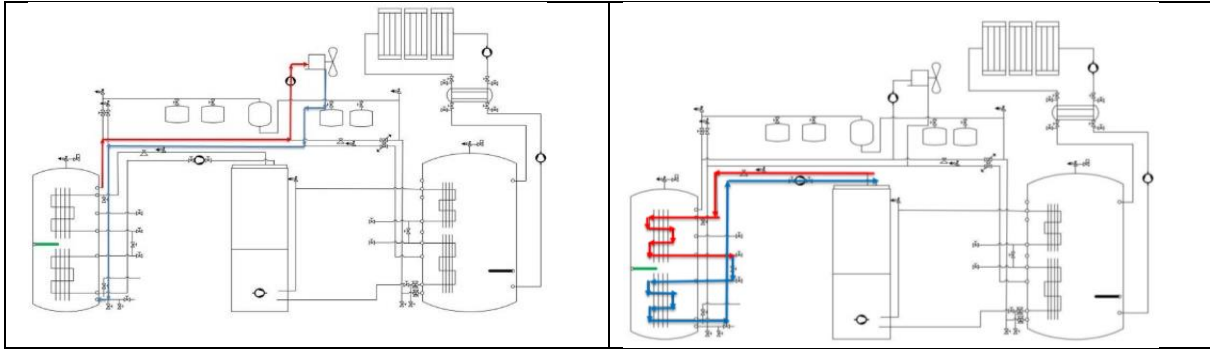
Startsituatie

Jaar 1:

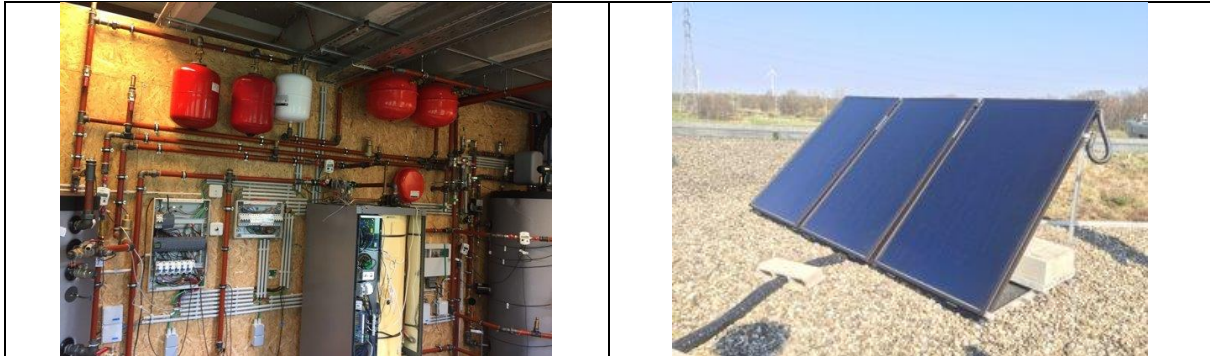
In jaar 1 werd de basis gelegd van de installatie waarbij het doel werd gesteld om tegen eind 2016 een opstelling gebouwd te hebben waarbij een water/water-warmtepomp gekoppeld wordt aan een systeem van 2 buffervaten op verschillende temperatuur. Na diverse runs en opstarttesten werd de installatie klaargemaakt, zodat het verzamelen van data over de efficiëntie van de verschillende componenten en hun aansturing mogelijk werd.

Aan de installatie werd een zonnestelsel gekoppeld, waardoor het al mogelijk werd de warmtepomp op zonnewarmte te laten werken. Ook hier werd een sturing ontwikkeld, zodat de temperatuur van het grootste buffervat via de zonnepanelen geregeld kon worden, om zo de efficiëntie van de overdracht te vergroten. Daarnaast werd een loggingsysteem ontwikkeld zodat data verzameld konden worden over de efficiëntie van het systeem.





Hydraulisch schema met diverse verschillende energiestromingen



Impressie na jaar 1

Jaar 2:

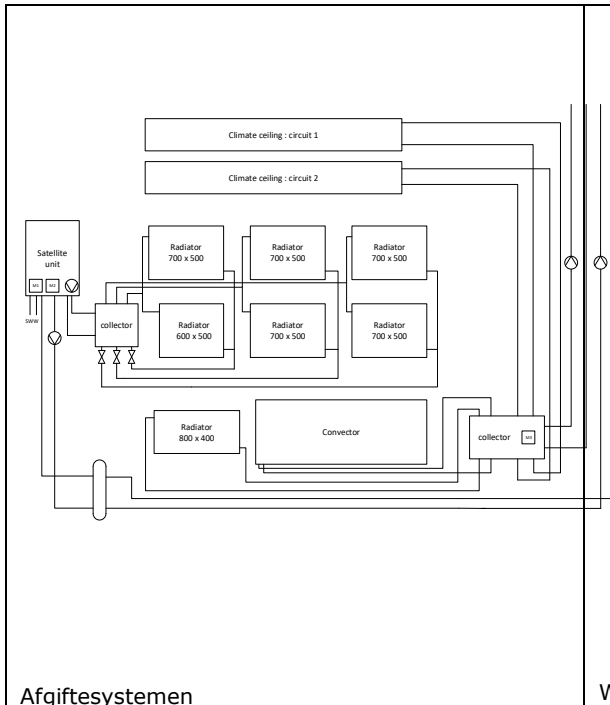
In jaar 2 werd de installatie verder uitgebreid met verschillende vormen van afgiftesystemen. De keuze bij de afgiftesystemen viel in dit project op radiatoren, ventiloconvectoren en een warmeluchtblazer. Daarnaast werd de keuze gemaakt voor een klimaatplafond en dit zowel volgens een klassiek opzet als met ventiloconvectoren.

Door de veelvoud aan afgiftesystemen is het mogelijk deze te vergelijken wat betreft afgifte bij verschillende afgifteredimes. Hierin werd een concept van hydraulische inregeling voorzien, waardoor elk afgiftesysteem zijn berekende ontwerpdebiet ook daadwerkelijk krijgt. Door deze inregeling is het mogelijk om op een maximale efficiëntie te werken.

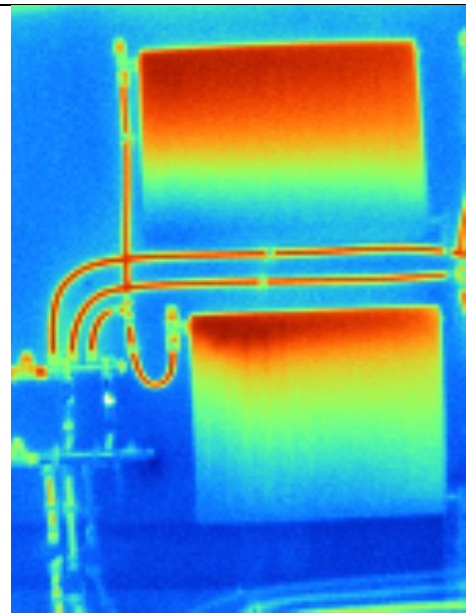
Diverse systemen zijn geschikt voor zowel koeling als verwarming. Er werden echter ook afgiftesystemen voorzien die enkel kunnen verwarmen, aangezien ze gekoppeld werden aan een satellietstelsel dat veelvuldig wordt ingezet bij warmtenetten.

De diverse systemen werden van sensoren voorzien, zodat de efficiëntie van het systeem en zijn componenten bepaald kon worden. Tijdens deze periode werd de sturing en de logging aanzienlijk uitgebreid en werden de 'bugs' verholpen, waardoor de sturing performanter/slimmer werd en de kwaliteit van de logging geoptimaliseerd werd.

Door de uitbreiding van de sensoriek en de logging is het mogelijk om de gelaagdheid van de energieopslagvaten te monitoren. De kwaliteit van de gelaagdheid is uitermate belangrijk in de energie-efficiëntie van het opslagsysteem. De al dan niet optimale belading en ontlading is zicht- en meetbaar binnen dit project, zowel door infraroodtechnologie als door sensortechnologie in de buffer.



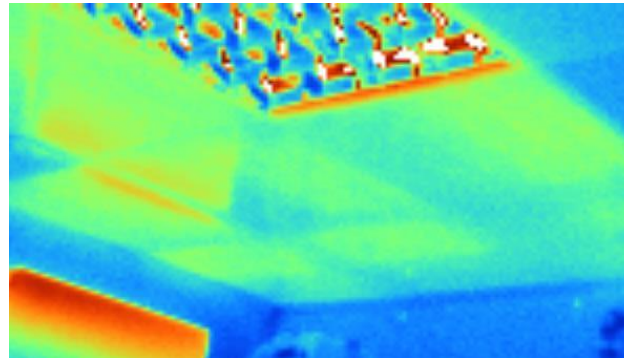
Afgiftesystemen



Warmtebeeld bij hydraulische inregeling



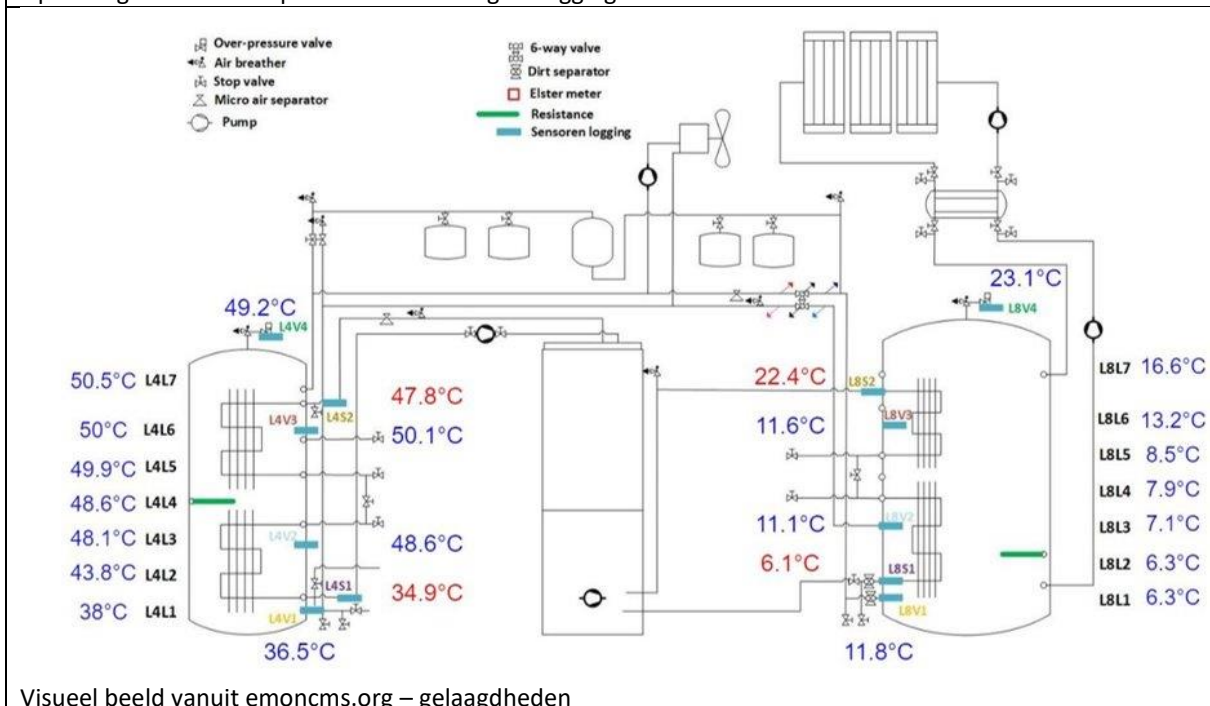
Hydraulische inregeling



Warmtebeeld van klimaatplafond



Opstelling voorzien van performante sturing en logging



Visueel beeld vanuit emoncms.org – gelaagdheden

De logging werdanschouwelijk gemaakt via MS Visio, die de lay-out geeft binnen de omgeving van emoncms.org.

Er is een brede waaier aan informatie voorhanden om de werking en alle gemeten data visueel aantrekkelijk te maken. Volgende visuals zijn beschikbaar:

- COP (rendement van de warmtepomp)
- Dely (energiemonitoring op de afgiftesystemen in lokaal E212)
- Dely ventilo (energiemonitoring op de afgiftesystemen in lokaal E108, inclusief gelaagdheid)
- Electric (elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en appendages)
- H-log P (temperatuurmetingen op warmtepompcyclus – verdampers en condensator)
- Prod (energiemonitoring op de productiesysteem in lokaal E212)

- Prod T (temperatuurmetingen op de productiesysteem in lokaal E212, inclusief gelaagdheid)
- Pumps Dely (status pompen afgiftesystemen in lokaal E212)
- Pumps Prod (status pompen productiesysteem in lokaal E212)
- Solar (energiemonitoring op het solarsysteem in lokaal E212/op het dak)
- Vent E007 (energiemonitoring op de afgiftesystemen in lokaal E007 en CO₂-gestuurde ventilatie)
- Vent E108 (energiemonitoring op de afgiftesystemen in lokaal E108 en CO₂-gestuurde ventilatie)

Deze data zijn vrij te raadplegen via de projectwebsite: <https://emoncms.org/Hybridsolarboiler/prod-t>

Van de verschillende systemen is ook een digitaal as-built dossier voorhanden en werden ook de diverse onderdelen van QR-codes voorzien, waardoor door een eenvoudige QR-scan de link gemaakt wordt naar de datasheets, handleidingen en/of gebruiksaanwijzingen.



Jaar 3:

In het laatste onderzoeksjaar werd een meetcampagne uitgevoerd en werden er vanuit het systeem zeer veel data gegenereerd. Op verschillende momenten en doorheen verschillende seizoenen werd de wisselwerking tussen de verschillende deelsystemen onderzocht en geanalyseerd.

De belangrijkste 5 aandachtspunten om de energiestromen te optimaliseren, zijn de volgende:

1. *Warmtepompen dienen het best met lange draai-/werkingstijden te werken.*

Het aantal 'start-stops' dient beperkt gehouden te worden. Het is dus belangrijk dat de juiste dimensionering van de warmtepomp zich richt op warmte-/koudevraag. Overdimensionering leidt tot veel 'start-stops', wat een aanzienlijke verkorting geeft van de levensduur. De fabrikant biedt tussenoplossingen aan door frequentiegestuurde warmtepompen op de markt te brengen. Bij de studie van een verwarmings-/koelinstallatie met warmtepompen is het wenselijk om een buffervat te voorzien dat de te veel geproduceerde warmte kan opvangen. Het buffervat heeft bij meer warmtevraag dan warmteproductie de capaciteit om bij te springen, waardoor er steeds een evenwicht blijft bestaan tussen vraag en aanbod.

2. *Zorg voor een goede 'gelaagdheid' in je buffervat(en).*

Streef een goede 'gelaagdheid' na, met een beredeneerde opbouw van verschillende temperaturen onderaan en bovenaan in je buffervat(en). Een fictief voorbeeld: stel dat je een warm buffervat van 1000 liter hebt. Wat is dan het beste? Eenzelfde temperatuur van 40°C in het hele vat? Of 60°C bovenaan en 20°C onderaan? Antwoord: het tweede, want met die gelaagde opbouw kun je veel beter voldoen aan de verschillende energiebehoeftes in je woning; denk maar aan verwarming, koeling, of warm douchewater. De energieopbouw gebeurt van bovenuit, het onttrekken van de energie van onderuit.

3. *Kies de hoogste isolatieklasse.*

Als je een buffervat kiest, kies er dan één met de hoogste isolatieklasse. Met andere woorden: A of – nog beter – A+, goed voor het laagste verbruik (kWh/24h).

4. Vermijd energieverlies door ongewilde stroming.

Ongewilde waterstroming leidt tot energieverlies en dat heb je liever niet. Als water stijgt omdat de dichtheid lager is, spreken we van het thermosifoneffect. Dat effect wil je vermijden en dus is het raadzaam om met 'loops' (lussen) te werken, anti-thermosifoneffectkleppen toe te voegen en/of een zwaartekrachtrem in te bouwen. Als het water niet meer ongewild stroomt, blijft de warmte en de energie daar waar ze thuishoort: in het buffervat.

5. Constante bron op hoge temperatuur, afgifte op lage temperatuur

Een maximale energieopbrengst met een minimaal elektrisch energieverbruik haal je als de bron voor je warmtepomp constant is en een zo hoog mogelijke temperatuur (doorgaans 20°C) heeft, én je afgifte op een zo laag mogelijke temperatuur geschiedt.

In het geval van onze demo-installatie is de maximaal toegelaten inlet (brontemperatuur) van de fabrikant 20°C. Het komt er dan op aan die 20°C continu zo dicht mogelijk te benaderen. Verwarmen – de afgifte – geschiedt dan op lage tot zeer lage temperatuur (30-35°C).

Voor sanitair warm water – bijvoorbeeld in de badkamer en keuken – heb je hogere temperaturen nodig (55-60°C) als je legionellabacteriën wil vermijden, maar dat resulteert vanzelfsprekend in een veel lager rendement. De oplossing is dan een buffervat volgens het concept van een combi/hygiënische boiler, een soort van 'au bain marie'-doorstroomsysteem op 40-45°C. Een ander alternatief is een verswaterstation gekoppeld aan een klassiek buffervat.

Extra resultaten:

De warmtepompinstallatie is verder geoptimaliseerd door het hydraulisch concept aan de bronzijde aan te passen, waardoor het mogelijk is om een variabele maar vrijwel constante bron te gebruiken (koppeling met aandachtspunt 5: werking met hoge brontemperaturen).

Ook werden voorzieningen getroffen om de uitbreiding/aankoppeling richting ijsbuffer mogelijk te maken (koppeling met aandachtspunt 5: beschikbaarheid constante bron). Aangezien de installatie en de verworven kennis ingezet moet kunnen worden bij een divers publiek (technici, beginnende technici en niet-technici) werd een veelvoud aan opdrachten uitgewerkt, waardoor het mogelijk is om expertise op verschillende niveaus op te doen. Volgende diverse technische topics/experimenten zijn uitgewerkt en kunnen afhankelijk van het kennisniveau ingezet worden:

- COP van de warmtepomp (efficiëntie van warmtepomp onder verschillende condities)
- Circulatiepompen (belang van inzetbaarheid van de juiste circulatiepomp)
- Mediumanalyse (belang van proceswater op de kwaliteit van het systeem)
- Afgiftesystemen (expertise van de verschillende afgiftesystemen)
- Gelaagdheid van buffervaten en van lokalen (belang van gelaagdheid inzake efficiëntie)
- Expansievaten (noodzaak van expansievaten om performantie van het systeem optimaal te houden)
- Rendement warmtewisselaar (expertise maximale warmteoverdracht)
- Zonnestation (expertise van thermische zonnepanelen)

Het gebouw van PXL-Green & Tech wordt ingezet als 'living lab'. De technieken die in dit project ontwikkeld werden, werden dan ook gekoppeld aan het gebouw. Door de beperkte bronopslag werd er een onderzoek gedaan naar systemen die de capaciteit van de bron konden verhogen. Dankzij de vruchtbare samenwerking met de industrie kreeg de hogeschool een schenking van een ijsbuffer (een zogenaamde 'Eisspeicher'). Door deze opportuniteit beschikt het onderzoek over een ideale en constante bron die ingezet zal worden in verder onderzoek in het kader van de opleiding.

Het inwerken en de uitwerking van de technische installatie van de ijsbuffer behoren niet tot de initiële onderzoeksvraag, maar zijn mee opgenomen in dit onderzoek. De installatie werd hydraulisch opgebouwd en gekoppeld aan de bestaande warmtepompinstallatie.

Deze realisatie werd volledig opgevolgd: de studie van de Grundlagen, de mogelijkheid tot droogzuiging, grondwerken, en piping in de grond als kelder en doorheen het gebouw. Ter vervollediging is de installatie voorzien van een 8-tal (4 dubbele) lucht-solar-absorbers.

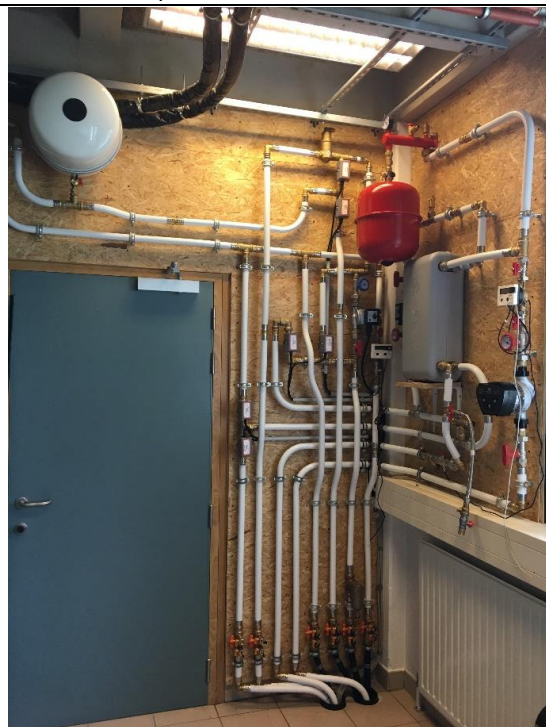
De installatie is voorzien van de nodige energiemeters en temperatuursondes waardoor het mogelijk is om de volgende jaren een vervolgonderzoek binnen de opleiding uit te voeren. In en rond de buffer/lucht-solar-absorbers zijn diverse temperatuursensoren ingewerkt die gemonitord worden. Er is al een eerste aanzet uitgewerkt om metingen uit te voeren.



Ijsbuffer/'Eisspeicher'



Lucht-solar-absorbers



Hydraulische uitwerking in E212



Monitoringsysteem ijsbuffer/absorbers

De optimalisatie van energiestromen bestaat erin om de installatie onder zo energie-efficiënt mogelijke condities te laten werken, waarbij zowel verwarming als koeling beschikbaar is. Dankzij de beschikbaarheid van

ijsbufferbron/lucht-solar-absorbers kan warmte onttrokken worden via de warmtepompinstallatie en is zowel 'natural cooling' als 'free cooling' mogelijk.

Vanuit de duurzaamheidsvisie van PXL-Green & Tech werd de interne vraag gesteld om de meest efficiënte en energiezuinige koeling als onderzoeksscenario uit te zoeken en uit te werken voor demolokaal E007. Als aanvulling op de klimatisatievraag werd een energie-efficiënte CO₂-gestuurde ventilatie uitgewerkt waardoor ook de luchtkwaliteit in beschouwing wordt genomen.

Door de uitwerking van de scenario's 'natural cooling' en 'free cooling' - waarin er op hoge temperatuur gekoeld kan worden met een optimale CO₂-regeling - wordt in dit demolokaal maximaal de beschikbare energie ingezet. Dit item was niet initieel in de onderzoeksvraag opgenomen, maar hier wordt verder onderzoek voor ingepland binnen de opleiding. Het concept van koeling kan uitgebreid worden naar verwarming, aangezien er bij de keuze steeds aan de toekomst werd gedacht.



Systeem voor 'free cooling' en 'natural cooling'



Ventilatie C met dampers en CO₂-sturing

4. Besluit

Mede dankzij dit project is de duurzaamheid van campus PXL-Green & Tech vergroot. Meerdere lokalen zijn voorzien van klimatisatie, met de mogelijkheid tot uitbreiding.

De installatie is een studieobject dat voor vervolgonderzoek en educatieve doelstellingen gebruikt zal worden. Ze toont aan dat energiestromen geoptimaliseerd kunnen worden door gebruik te maken van verschillende cleantech-systemen. De demo-opstelling bevordert het energiebewustzijn van leerling, student, medewerker,

onderzoeker, en mens en maatschappij door de vrij te raadplegen projectwebsite <https://emoncms.org/Hybridsolarboiler/prod-t>.

Binnen dit onderzoek is er steeds aan de toekomst gedacht, waardoor uitbreidingen mogelijk zijn. De installatie, die initieel een onderzoeks- en demo-opstelling was, wordt nu al door zijn duurzaamheid ook ingezet binnen PXL-Green & Tech. Op die manier zal de installatie dienst doen om op een grotere schaal een optimaal binnenklimaat te voorzien tegen het hoogste rendement. De installatie zal in de komende jaren nog verder als studieobject ingezet worden, aangezien ze gekoppeld is aan een nieuwe bron, een ijsbuffer. Door deze bron in combinatie met de opgebouwde en geoptimaliseerde hybride-installatie is het mogelijk om meerdere lokalen te verwarmen, te koelen en te ventileren met de hoogst mogelijke efficiëntie.

De intense samenwerking op hoog niveau met studenten ('junior-collega's') heeft het mogelijk gemaakt om dit project überhaupt te kunnen realiseren. Samenwerking, doorzetting en motivatie zijn doorslaggevend geweest voor het slagen van het project 'Optimalisatie van energiestromen'. Het project was alleen maar mogelijk dankzij de uitmuntende samenwerking van alle interne en externe partners en de positieve inbreng van de verantwoordelijken van Campusbeheer, de PXL-opleidingen Elektromechanica en Bouw, het departement PXL-Green & Tech en de stuurgroep.