



# UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM

## EINDRAPPORT

### Project Koelmachines vervangen door Hoog Temperatuur Warmtepompen Roeterseilandcampus Universiteit van Amsterdam Roeterstraat 1018 WD Amsterdam

<b>Projectnummer</b>	DEI 119021
<b>Projectnaam</b>	Koelmachines vervangen door Hoog Temperatuur warmtepompen in een centrale energievoorziening en aanpassen van de inpassing van deze machines
<b>Penvoerders</b>	hr. R. Boeters Programma manager Duurzaamheid UvA – HvA hr. Z.R.M. Pattinaja projectmanager werktuigkunde UvA
<b>Projectperiode</b>	1 augustus 2019 t/m 1 februari 2020
<b>Datum rapport</b>	28 april 2020
<b>Status</b>	Definitief
<b>Gedistribueerd aan</b>	mw. B. Bakx procescoördinator RVO, mw. C. Rakestraw hoofd huisvesting UvA, hr. M. Kircadag teamleider onderhoudsmanagement UvA, hr. G. Teitsma technisch clustermanager UvA, hr. A. van Grunsven adviseur Ates Control
<b>Bijlagen</b>	Zijn in dit document opgenomen
<b>Versie</b>	2.0

## **INHOUDSOPGAVE**

<b><u>PROJECT INFORMATIE</u></b> .....	<b>3</b>
<u>Subsidie</u> .....	3
<u>Contactpersonen</u> .....	3
<u>Bestelwijze eindrapport</u> .....	3
<b><u>INHOUDELIJK EINDRAPPORT</u></b> .....	<b>4</b>
<u>Samenvatting</u> .....	4
<u>Doelstelling</u> .....	5
<u>Werkwijze</u> .....	5
<u>Resultaten</u> .....	8
<u>Discussie</u> .....	9
<u>Conclusie en aanbevelingen</u> .....	10
<b><u>UITVOERING VAN HET PROJECT</u></b> .....	<b>11</b>
<u>Technische en organisatorische problemen en oplossingen</u> .....	11
<u>Wijzigingen ten opzichte van het projectplan</u> .....	12
<u>Verschil begroting en werkelijk gemaakte kosten</u> .....	12
<u>Kennisverspreiding</u> .....	12
<u>PR project en PR mogelijkheden</u> .....	13
<b><u>BIJLAGEN</u></b> .....	<b>14</b>
<u>Bijlage 1 Principeschema installatie centrale energievoorziening</u> .....	14
<u>Bijlage 2 Opstelling hoge temperatuur warmtepompen</u> .....	15

## **PROJECT INFORMATIE**

### **Subsidie**

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Per 14 oktober 2019 is subsidie verleend aan de Universiteit van Amsterdam, faculteit Economie en Bedrijfskunde, ten bedrage van € 88.797,= inclusief BTW.

### **Contactpersonen**

Informatie betreffende energie en duurzaamheid  
hr. R. Boeters Programma manager Duurzaamheid UvA  
06-39847898  
[r.boeters@uva.nl](mailto:r.boeters@uva.nl)

Informatie betreffende engineering en ontwerp  
hr. A. van Grunsven Ates Control  
06-27979939  
[grunsven@atescontrol.nl](mailto:grunsven@atescontrol.nl)

Informatie betreffende uitvoering  
hr. Z.R.M. Pattinaja projectmanager werktuigkunde UvA  
06-46992744  
[z.r.m.pattinaja@uva.nl](mailto:z.r.m.pattinaja@uva.nl)

### **Bestelwijze eindrapport**

Universiteit van Amsterdam  
Facility Services  
Servicedesk  
020-5251403  
[Servicedesk-fs@uva.nl](mailto:Servicedesk-fs@uva.nl)

## **INHOUDELIJK EINDRAPPORT**

### **Samenvatting**

Dit project betreft de verduurzaming van de centrale energiecentrale op de Roeterseilandcampus (REC) van de Universiteit van Amsterdam.

De doelstelling van de Universiteit van Amsterdam is, om in lijn met de ambitie van de gemeente van Amsterdam en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, een voorbeeldfunctie te vervullen in de energietransitie. In totaal zijn twaalf gebouwen op deze campus aangesloten op de centrale energiecentrale. De energiedragers zijn gas, water, elektra.

De aanleiding tot deze verduurzaming is het vervangen van twee defecte koelmachines, temperatuurtraject 6°C - 12°C. Eerst is vastgesteld wat de uitgangspunten moeten zijn, op basis waarvan een installatieconcept is uitgewerkt gevolgd door engineering en inpassing van dit installatieconcept in de centrale energiecentrale.

Het innovatieve aspect van deze verduurzaming is het hydraulisch en regeltechnisch inpassen van drie hoge temperatuur warmtepompen in de centrale energiecentrale, waardoor een veelzijdige functionaliteit ontstaat en een hoge coëfficiënt of performance (COP) kan worden behaald.

De engineering is gestart in het eerste kwartaal van 2019. De uitvoering in het vierde kwartaal 2019. De installatie is 6 januari 2020 in bedrijf gesteld en wordt sindsdien continu gemonitord.

De resultaten aan het einde van het eerste kwartaal 2020 zijn de volgende:  
Aardgas besparing 185.513 m<sup>3</sup>, CO2 reductie 232.512 kg, energie besparing € 20.476, verbetering van de energiebalans van de warmte koude opslag systeem (WKO) en vergroten van de bedrijfszekerheid van de centrale energiecentrale.

Begrote installatiekosten € 324.604,=, toegewezen subsidie RVO € 88.797,= inclusief BTW.

Dit project geeft een positieve impuls aan verder onderzoek en uitvoering verduurzamen van installaties in de overige gebouwen op deze campus en andere campussen van de Universiteit van Amsterdam.

## **Inleiding**

Hoe verduurzaam je een centrale energievoorziening welke warmte, koude en elektra levert aan een verzameling van gebouwen, die zowel hoge als lage temperatuur verwarming en koeling vereisen, om het gewenste klimaatcomfort te kunnen garanderen?

Op welk moment moet de verduurzaming van installaties worden aangepakt?

Wat zijn de benodigde investeringen en wat zijn de te behalen besparingen?

De noodzakelijke vervanging van de lage temperatuur koelmachines in 2019, is aanleiding tot het uitwerken van verschillende scenario's om zowel de koude en warmte op een duurzame manier op te wekken, als het gasverbruik te reduceren en op die manier energie te besparen en tegelijkertijd de energiebalans van de WKO te verbeteren en de bedrijfszekerheid te vergroten.

In het hoofdstuk Werkwijze wordt de inzet van hoge temperatuur warmtepompen uitgewerkt en verschillende bedrijfssituaties beschreven.

In het hoofdstuk Resultaten worden de vooraf berekende besparingen en CO2 reducties afgezet tegen de behaalde resultaten na 3 maanden bedrijf.

Het rapport sluit af met een advies voor inzet van dit verduurzamingsconcept in kantoren en onderwijsgebouwen van voor 1993 met hoge temperatuur verwarmingsinstallaties toepasbaar binnen en buiten de Universiteit van Amsterdam.

## **Doelstelling**

De doelstelling van de Universiteit van Amsterdam is, om in lijn met de ambitie van de gemeente van Amsterdam en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, een voorbeeldfunctie te vervullen in de energietransitie.

Concreet betekent dit ten eerste het reduceren van het energieverbruik, en in het bijzonder het gasverbruik van het vastgoed van de Universiteit, waarbij het comfort en leefbaarheid voor medewerkers en studenten behouden blijven. Ten tweede het reduceren van de uitstoot CO2. Ten derde het verhogen van de bedrijfszekerheid van de centrale energiecentrale.

## **Werkwijze**

De op de centrale energievoorziening aangesloten gebouwen en monumenten op de Roeterseilandcampus, zijn voorzien van conventionele of duurzame installaties, of een combinatie van beide. Dat betekent dat zowel lage als hoge temperatuur warmte en koude moeten worden geleverd door de centrale energie voorziening. De temperatuurtrajecten zijn respectievelijk 90-70°C, 55-35°C, 6-12°C en 11-18°C.

De warmteopwekking geschiedt door gasgestookte ketels, gasgestookte warmtekrachtinstallaties (WKK's), elektrische lage temperatuur cv warmtepompen (LT-CV) en een warmte koude opslagsysteem (WKO). De koude opwekking geschiedt door elektrische koelmachines, elektrische warmtepompen en een WKO. Met een koeltoren kan koude worden geladen en overtollige warmte worden afgefakkeld.

De twee koelmachines, welke bij buitentemperaturen hoger dan 20°C worden ingezet om te voorzien in gekoeldwater met een temperatuurtraject 6°C - 12°C, zijn defect en moeten worden vervangen. Totaal koelvermogen 1.420 kW bij een temperatuurtraject 6-12°C. Als tijdelijke oplossing worden de bestaande warmtepompen als koelmachine ingezet, waarbij afvoeren van de condensorwarmte in de warme bron van het warmte koude opslag systeem (WKO) de enige mogelijkheid is. Dit resulteert in een toenemend warmteoverschot in de energiebalans van de WKO.

Voor het verduurzamen van de energievoorziening is de gehele centrale energie voorziening beschouwd en zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

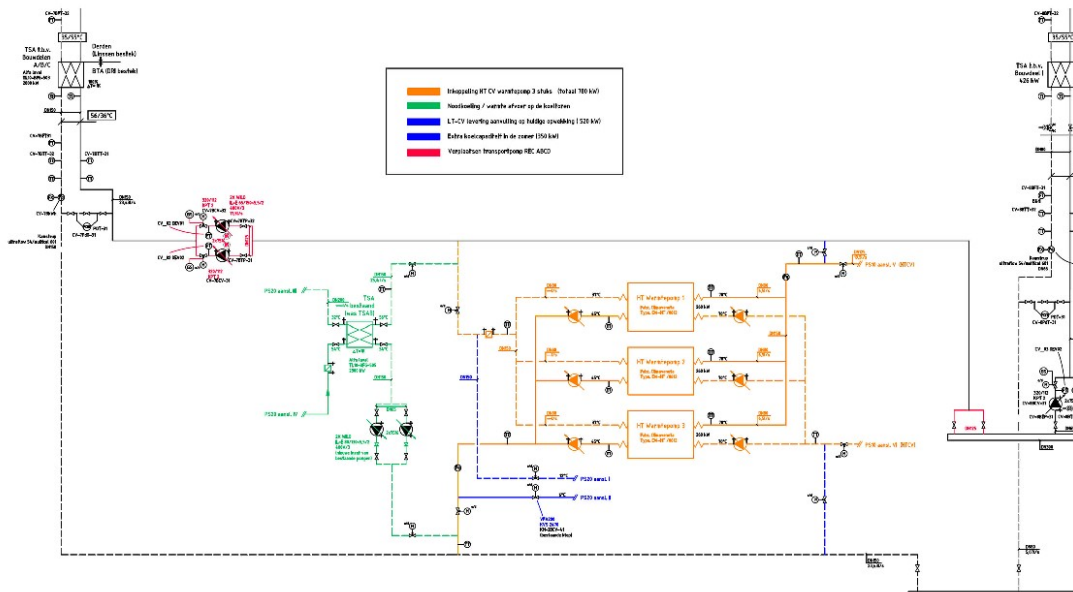
- koude met temperatuurtraject 6°C - 12°C
- koude met temperatuurtraject 11°C - 18°C
- warmte met temperatuurtraject 55°C - 35°C
- warmte met temperatuurtraject 90°C - 70°C
- gasverbruik te reduceren
- CO2 uitstoot reduceren
- energiebalans van de WKO te verbeteren.
- vergroten van de bedrijfszekerheid van de centrale energie voorziening
- opstelplaats en elektrische voedingen van de koelmachines hergebruiken voor de nieuw in te zetten installaties.

Dit vertaalt zich naar het toepassen en inpassen van drie stuks hoge temperatuur warmtepompen met een gezamenlijk koelvermogen van 310 kW en verwarmingsvermogen van 780 kW.

Het verwarmingsvermogen is op een derde van het totaal verwarmingsvermogen gekozen, om het aantal vollasturen van de drie stuks hoge temperatuur warmtepompen te maximaliseren. Met een warmtepomp kunnen in tegenstelling tot een koelmachine, warmte en koude worden opgeslagen in de WKO.

De onderscheiden bedrijfssituaties hoge temperatuur warmtepompen zijn de volgende:

1. Bij buitentemperaturen hoger dan 20°C: inzet als koelmachine, temperatuurtraject 6°C - 12°C, waarbij de condensor warmte wordt gebruikt om de warme bron te laden of door de koeltoren wordt afgefakkeld. (waarborgen energie balans WKO).
2. Bij buitentemperaturen 0°C – 10°C: Inzet als hoge temperatuur verwarmingsinstallatie, temperatuurtraject 78°C - 70°C. Dit wordt bereikt door serieschakeling met de bestaande warmtepomp verwarmingsinstallatie, temperatuurtraject 55°C - 35°C, waarbij de condensorwarmte wordt opgewaardeerd. In deze configuratie is 78°C de maximaal haalbare temperatuur.
3. Bij buitentemperaturen lager dan 0°C: Inzet als lage temperatuur verwarmingsinstallatie, temperatuurtraject 55°C - 35°C, waarbij de verdamperwarmte wordt gebruikt om in eerste instantie de koude bron te laden en zo de energiebalans WKO te herstellen.
4. Bij buitentemperaturen lager dan -5°C: bij extreme situaties waarbij het verwarming vermogen ontoereikend blijkt, wordt een gasgestookte WKK en/of ketel ingezet, temperatuurtraject 90°C - 70°C, volgend op stooklijn. De hoge temperatuur warmtepompen krijgen het koudste retour water van de gebouwen zodat deze zo lang mogelijk in bedrijf kunnen blijven.
5. Bij noodbedrijf (uitval WKO systeem): inzet als koelmachine, temperatuurtraject 11°C - 18°C, voor koeling kritische processen hoofdzakelijk MER en SER. De condensor warmte wordt door de koeltoren afgefakkeld. (elektralevering door noodstroomaggregaat en warmtekrachtinstallatie).



Figuur 1

In figuur 1 zijn in een hydraulisch prinseschema de verschillende bedrijfssituaties weergegeven. (zie bijlage 1 voor prinseschema van de volledige hydraulische installatie centrale energie voorziening).

Op basis van dit technisch concept zijn de theoretische energiebesparingen in m<sup>3</sup> gas, in euro's en is de CO<sub>2</sub>-reductie in kg berekend.

Energiebesparing (theoretisch)

Graaduren	05:00 uur tot 23:00 uur
Bij buitentemperatuur 0°C - 10°C	2.789 uur
Vermogen hoge temperatuur warmtepompen	780 kW
COP hoge temperatuur warmtepompen	3
Opgewekte warmte	2.175 MWh
Elektraverbruik	725 MWh
Verbrandingswaarde aardgas	8,8 kWh/m <sup>3</sup>
Aardgas besparing	247.207 m <sup>3</sup>
Kosten elektra bij € 49,= / MWh	€ 35.532
Besparing gas bij € 0,19 / m <sup>3</sup>	€ 46.969
Totale kostenbesparing inzet warmtepompen	€ 11.437
CO <sub>2</sub> reductie aardgas bij 1,79772 kg/m <sup>3</sup>	444.409 kg
CO <sub>2</sub> toename elektra bij 335 kg/MWh	242.922 kg
Totale CO <sub>2</sub> reductie	201.487 kg

Deze cijfers zijn gehanteerd bij de subsidie aanvraag.

## Resultaten

De drie hoge temperatuur warmtepompen zijn 6 januari 2020 in bedrijf genomen. Dankzij de relatief zachte winter, buitentemperaturen 0°C – 10°C, was de gewenste aanvoertemperatuur 70°C en zijn de warmtepompen gedurende het eerste kwartaal 2020 ingezet als hoge temperatuur verwarmingsinstallatie, temperatuurtraject 78°C - 70°C, bedrijfssituatie no.2.

Energiebesparing (op basis van gemeten E waarden eerste kwartaal 2020)

Graaduren	05:00 uur tot 23:00 uur
Bij buitentemperatuur 0°C - 10°C	1.781 uur
Vermogen warmtepompen	810 kW
COP warmtepompen	4,8
Opgewekte warmte	1.447 MWh
Elektraverbruik	302 MWh
Verbrandingswaarde aardgas	8,8 kWh/m <sup>3</sup>
Aardgas besparing	185.513 m <sup>3</sup>
Kosten elektra bij € 49,= / MWh	€ 14.771
Besparing gas bij € 0,19 / m <sup>3</sup>	€ 35.247
Totale kostenbesparing inzet warmtepompen	€ 20.476
CO2 reductie aardgas bij 1,79772 kg/m <sup>3</sup>	333.500 kg
CO2 toename elektra bij 335 kg/MWh	100.989 kg
Totale CO2 reductie	232.512 kg

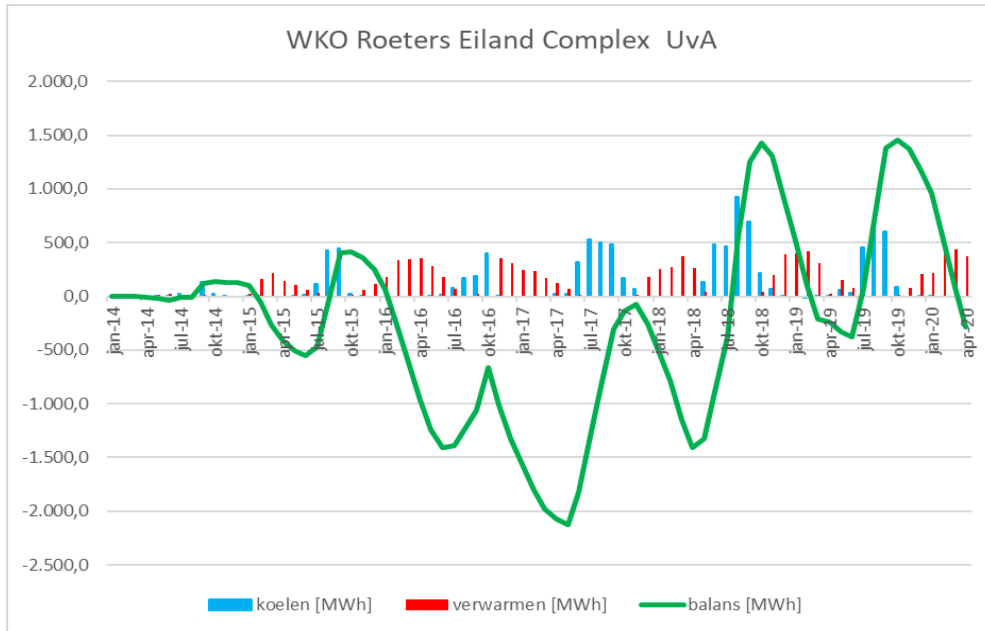
Vergelijking energiebesparingen werkelijk ten opzichte van theoretisch:

- Aardgas besparing: 185.513 m<sup>3</sup> gas ten opzichte van theoretisch 247.207m<sup>3</sup> gas
- CO2 reductie: 232.512 kg ten opzichte van theoretisch 247.207 kg
- Kostenbesparing inzet warmtepompen: € 20.476 ten opzichte van theoretisch € 11.437

De resultaten op basis van de gegevens van slechts een kwartaal (januari tot en met maart 2020) zijn veelbelovend. Met name de hoge COP draagt hier in sterke mate aan bij.



## Energiebalans warmte koude opslag



Figuur 2 energiebalans warmte koude opslag

In figuur 2 is de energiebalans warmte koude opslag systeem (WKO) weergegeven. De negatieve trend, dat wil zeggen de toename van het warmteoverschot in de bodem, wordt weer hersteld. Met de inpassing van de hoge temperatuur warmtepompen in de centrale energie voorziening kan de energiebalans jaarlijks rond de nul-lijn worden gehouden en kan de opgeslagen warmte van het voorgaande zomer seizoen worden gebruikt in herfst- winter- lente seizoen.

### Discussie

Extrapolatie van de cijfers.

De gerealiseerde gas besparing ten opzichte van het totaal gemiddeld jaarlijks gasverbruik a  $1.032.447 \text{ m}^3$  is  $185.513 \text{ m}^3$ . Als het gasverbruik wordt geëxtrapolerd naar een volledig winterseizoen van 2.789 uur en daarbij een COP van 3 wordt aangehouden, is de gasbesparing  $274.858 \text{ m}^3$ .

De geëxtrapolerde CO2 reductie en financiële besparing zijn dan 305.333 kg CO2 respectievelijk € 24.610.

Deze cijfers zijn net iets hoger dan de theoretisch berekende cijfers. Vanwege de hoge COP is de financiële besparing twee keer zo hoog.

De terugverdientijd bij de begrote installatiekosten a € 324.604 is 13 jaar. Dit is acceptabel gezien de relatief lage energietarieven. (vervangingskosten koelmachine en begeleidingskosten zijn niet meegerekend). Het project is dus alleen levensvatbaar als dit op een natuurlijk vervangingsmoment van de installaties wordt uitgevoerd.

Om een volledig beeld te krijgen van resultaten zullen de parameters gedurende een heel jaar worden gemonitord en de regeltechnische besturing van de bedrijfssituaties worden geoptimaliseerd. Streven is de inzet van de koeltoren te beperken en bij voorkeur alleen in te zetten voor het laden van de koude en/of warme bron.

Hydraulische kennis en inzicht bedrijfssituaties en regelstrategieën van de totale installatie is noodzakelijk voor bedienend personeel en onderhoud firma's om adequaat te kunnen monitoren en in te grijpen bij afwijkingen en analyseren en verhelpen van storingen.

Uit faseren van synthetische koudemiddelen naar aanleiding van aangescherpte wetgeving, kan tot een verhoging van de investering kosten leiden wat toekomstige projecten kan belemmeren.

### **Conclusie en aanbevelingen**

#### Conclusies

De doelstelling van de Universiteit van Amsterdam, om in lijn met de ambitie van de gemeente van Amsterdam en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, een voorbeeldfunctie te vervullen in de energietransitie is behaald.

Extrapolatie van de cijfers van het eerste kwartaal naar een volledig winterseizoen leiden tot een significante reductie van gasverbruik en CO<sub>2</sub> uitstoot, 275.000 m<sup>3</sup> gas respectievelijk 305.000 kg CO<sub>2</sub> per jaar. In geld uitgedrukt een gemiddelde besparing van ongeveer € 25.000 per jaar bij een investering van € 335.000.

Het project is levensvatbaar als dit op een natuurlijk vervangingsmoment van de installaties wordt uitgevoerd.

#### Aanbevelingen

De voorlopige resultaten zijn aanleiding tot verder onderzoek tot implementeren van duurzame oplossingen in andere gebouwen op deze campus en andere campussen van de Universiteit van Amsterdam.

Als eerste vervolgstap zullen de regelstrategieën van de op deze centrale energievoorziening aangesloten gebouwen worden beoordeeld en aangepast.

De begroting zal op basis van nacalculatie worden aangepast om investeringen in de toekomst nauwkeuriger te kunnen vast stellen.

Voor uitvoering van projecten van deze complexiteit moeten alle partijen uit de keten – producent, leverancier en eindgebruiker – worden ingeschakeld.

## UITVOERING VAN HET PROJECT

### Technische en organisatorische problemen en oplossingen

#### Technisch

Inzicht in de werking en bedrijfssituaties van de gehele centrale energievoorziening en aangesloten gebouwen is noodzakelijk. Hiertoe zijn de principeschema's van de onderscheiden installaties samengevoegd tot een totaal principeschema. Daarmee is de overzichtelijkheid van de hydraulische koppeling tussen de installaties vergroot. In bijlage 1 is het volledige hydraulisch principeschema van de centrale energievoorziening weergegeven.

De complexe regeltechnische besturing is complex en onduidelijk en is bij de start van dit project vertaald naar de verschillende vereiste bedrijfssituaties.

Vanwege ernstige corrosie van het stalen leidingnet van de koelwaterinstallatie en koeltoren is dit leidingnet door een kunststof leidingnet. In het vooronderzoek was reeds een kanttekening gemaakt betreffende het hergebruik van componenten zoals onder andere de leidingen van het open koelwatersysteem.

De twee defecte koelmachines waren aangesloten op drie velden in de laagspanning-verdeelinrichting. Deze velden zijn hergebruikt ten behoeve van de drie hoge temperatuur warmtepompen.

De defecte koelmachines zijn afgevoerd en de koudemiddelen zijn afgepompt en opgeslagen.

Vanwege vervuiling van de leidingnetten, wat bij de bestaande warmtepompen tot hogere waterzijdige weerstand en dus hoger elektraverbruik heeft geleid, zijn preventief fijnmazige filters in de leidingen naar condensor en verdamperzijde van de drie hoge temperatuur warmtepompen gemonteerd.

#### Organisatorisch

Tijdens de uitvoering van dit project is een 24/7 regeltechnische bewaking op afstand nodig geweest om de centrale energie voorziening te monitoren en zo nodig bij te sturen.

Vanwege de beperkte toegankelijkheid naar begane grond en kelder van de centrale energievoorziening voor transport van materialen en componenten, is de inzet van een specialistisch bedrijf verticaal en horizontaal transport nodig geweest. Uitvoerende partijen moesten veelal volgtijdig werken.

In bijlage 2 is de opstelling en aansluiting van de drie hoge temperatuur warmtepompen in de kelder weergegeven.

Omdat de centrale energievoorziening is ingebed op een locatie midden in de Roeterseiland campus en om overlast door geluid, trillingen, transportbewegingen te voorkomen, zijn de werktijden regelmatig aangepast. Uitvoerende partijen zijn flexibel ingezet.

### **Wijzigingen ten opzichte van het projectplan**

Er is technisch niet afgeweken van het projectplan.

De oplevering en inbedrijfstelling van de warmtepompen is een maand vertraagd.

De overschrijding is € 60.000 incl. BTW.

De aanvang doelstelling – voorbeeld project energietransitie – is bereikt.

### **Vershil begroting en werkelijk gemaakte kosten**

Op basis van dit technisch concept is een begroting opgesteld. Totaal bedrag € 444.649 incl. BTW.

#### Begroting

Omschrijving	Budget incl. BTW
Machinekosten	€ 76.230
Installatiekosten	€ 324.604
Begeleiding	€ 43.815
Totaal	€ 444.649

#### Uitgaven (realisatie)

Omschrijving	Budget incl. BTW
3 stuks HT warmtepompen	€ 76.000
Installatiekosten	€ 333.626
Software aanpassing (raming)	€ 50.000
Begeleiding	€ 48.400
Totaal	€ 508.026

Omdat de regelinstallatie tijdens schrijven van dit eindrapport nog volledig niet gereed is, is een bedrag van € 50.000 aangehouden. De verwachte overschrijding van het project komt uit op ruim € 60.000. Dat is voor een project van deze complexiteit aanvaardbaar.

#### Subsidie

Omschrijving	Budget incl. BTW
Aangevraagd bedrag	€ 324.604 *
Verleende subsidie bedrag	€ 88.797

\* de vervangingskosten van de defecte koelmachines en begeleidingskosten vallen onder reguliere onderhoudskosten en zijn voor rekening Universiteit van Amsterdam. Deze kosten zijn derhalve niet meegenomen in de subsidieaanvraag.

### **Kennisverspreiding**

Dit rapport zal worden gedeeld binnen het netwerk van energie en duurzaamheid coördinatoren van de hoger onderwijs sector en daarbuiten.

Er is geen sprake van specifieke kennisbescherming.

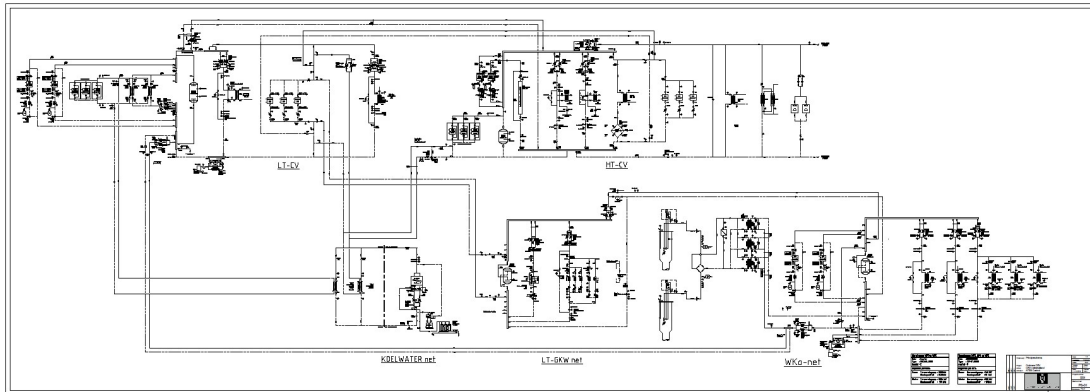
### **PR project en PR mogelijkheden**

Toepassen van hoge temperatuur warmtepompen is met name interessant als deze worden ingezet in een integrale gebiedsontwikkeling in oudere stadsgedeelten met een mengvorm van gerenoveerde oude gebouwen die met een WKO systeem worden gevoed en niet gerenoveerde gebouwen voorzien van een hoge temperatuur verwarming systeem, bijvoorbeeld bouwblokken met wooneenheden in oude steden.

Brede communicatie door publicatie in vaktijdschriften zoals TVVL magazine en lezingen op installatie vakbeurzen en gebruiker platform bodemenergie.

## **BIJLAGEN**

### **Bijlage 1 Principeschema installatie centrale energievoorziening**



## Bijlage 2 Opstelling hoge temperatuur warmtepompen



