

OptiRec Project report

Topsector Energiestudies

Project referentie: TESN118132

Projecttitel : Sustainable Data center cooling Technologies and their optimised implementation for heat recovery and reuse (OptiRec)

Penvoerder: Synano B.V.

Deelnemer: Deerns B.V.

Datum: 18 November 2019

Deerns



Inhoudsopgave

1	Samenvatting	1
2	Bedrijfsbeschrijving	2
2.1	Algemeen Deerns Nederland B.V.	2
	2.1.1 Afdeling Datacenters	2
2.2	Synano B.V.	2
2.3	Samenwerking	2
2.4	Toekomstige projecten	2
3	Introductie	3
3.1	Probleemstelling	3
3.2	Doelstelling	3
3.3	Werkwijze	4
4	Datacenters	5
4.1	Type datacenters	5
4.2	Warmteterugwinnings	5
4.3	Type koelsystemen	6
	4.3.1 Direct / Indirect air	7
	4.3.2 Liquid(water) cooling	7
4.4	PUE, EUE en ERF	8
5	Model	9
5.1	Pilotproject van Deerns	9
	5.1.1 Restwarmte afgifte	11
	5.1.2 Thermische modellering	15
5.2	Business case model	15
6	Resultaten	17
6.1	Bestaand datacenter zonder restwarmte hergebruik (scenario A)	17
6.2	Bestaand datacenter met restwarmte hergebruik (scenario B)	18
	6.2.1 Bestaande datacenter met restwarmte hergebruik en nanofluids	19
6.3	Toekomstige datacenter met restwarmte hergebruik (scenario C)	20
	6.3.1 Bestaande datacenter met restwarmte hergebruik en nanofluids (Scenario C)	22
6.4	Economische resultaten van Datacenter versies	24
6.5	ERF waarden	27
6.6	Optimized EUE waarden.	27
7	Conclusies en aanbevelingen	29

7.1	Conclusies	29
7.2	Aanbevelingen	30
8	Literatuur	31
9	Appendix-1	33
10	Contact information	35

1 Samenvatting

De Europese Unie is een van de pioniers geworden om actie te ondernemen om de opwarming van de aarde te beteugelen door hernieuwbare energie te gebruiken, afvalwarmte terug te winnen en te hergebruiken, alsook CO2 af te vangen. Nederland is het op één na grootste Europese land op het gebied van datacentercapaciteit [1]. Dit feit maakt hergebruik van restwarmte uit datacenters in Nederland een zeer aantrekkelijke optie.

Het doel van dit project is het onderzoeken en selecteren van de meest optimale manier om datacenters te koelen, warmte terug te winnen en opnieuw te gebruiken voor de gemeenschap. Verschillende technische oplossingen voor koeling en warmteterugwinning van datacenters en het gebruik van nanovloeistoffen als koelmedium en hun economische impact op belanghebbenden worden bestudeerd.

Uit de resultaten van deze studie blijkt dat bestaande datacenters die laag temperatuur koelsystemen gebruiken, een klein restwarmte potentieel hebben. Om de restwarmte hergebruik uitvoerbaar voor bestaande datacenters te maken, moeten subsidies worden toegepast. Een andere mogelijkheid is als datacenters rechtstreeks warmte leveren aan gebruikers en dit niet via energieleveranciers laten distribueren.

Voor nog te bouwen datacenters met een koelsysteem dat water van hoog temperatuur levert kan restwarmte niet alleen voor ruimteverwarming worden gebruikt maar ook voor sanitair warm water. Op deze wijze is restwarmte hergebruik mogelijk tijdens het gehele jaar en zou het datacenter meer inkomsten genereren. In vergelijking tot een bestaande datacenter met een water to air koelsysteem, zullen de CAPEX en de OPEX van dit toekomstige datacenter lager kunnen zijn.

Concluderend uit deze studie blijkt dat het beste potentieel voor hergebruik van restwarmte bestaat wanneer een koelmedium met hoge temperatuur aan de servers wordt geleverd. In dit geval kan het ook economisch aantrekkelijk zijn voor de stakeholders van het datacenter. De haalbaarheid van warmtehergebruik is echter sterk afhankelijk van de belasting van de IT-apparatuur en tarieven voor energie.

Het gebruik van nanovloeistoffen kan helpen bij het verder optimaliseren van de prestaties van de koeling van het datacenter en de warmteterugwinning ervan. Het heeft ook economische haalbaarheid aangetoond wanneer een koelsysteem op hoge temperatuur voor de servers wordt gebruikt.

2 Bedrijfsbeschrijving

2.1 Algemeen Deerns Nederland B.V.

Deerns is een internationaal onafhankelijk opererend technisch adviesbureau opgericht in 1928 [1]. Naast het ontwerpen van technische installaties biedt Deerns oplossingen op het gebied van bouwfysica, energie, assetmanagement en communicatienetwerken. Deerns levert aansprekende installatieontwerpen voor alle marktsegmenten waarin het bedrijf actief is, zoals kantoren en woongebouwen, theaters, musea, ziekenhuizen, clean-rooms, onderzoekslaboratoria, datacenters, luchthavens en infra.

2.1.1 Afdeling Datacenters

Deerns is al tientallen jaren een toonaangevende ontwerper van datacenters. Het bureau speelt een leidende rol in de ontwikkeling van datacenters [2]. Er zijn meerdere betrouwbare innovaties ontwikkeld door Deerns die vandaag worden gezien als bewezen koelingsoplossingen in meerdere datacenter projecten. Ook zijn er nieuwe beheer- en controleconcepten ontwikkeld door het bureau waarbij er op kosten bespaard kan worden en de betrouwbaarheid verbeterd wordt.

2.2 Synano B.V.

Dit project wordt samen met Synano gevoerd. Synano is een startup opgericht in 2017 die nanofluid koelmiddelen ontwikkelen waarbij het bedrijf bij dit project voornamelijk daarop richt. Met een klein jong en internationaal team bestaande uit ervaren chemici, natuurkundigen en thermische ingenieurs is het doel om de huidige koelingstechnologie te veranderen [3]. Synano wordt ondersteund door het ondernemerscentrum YES!Delft dat technische ondernemerschap uitdraagt en startups in alle levensfase ondersteunt [4]. De startup opereert vanuit een lab en heeft mede door YES!Delft toegang tot bepaalde laboratoria en apparatuur van de TU Delft.

2.3 Samenwerking

De samenwerking tussen de organisaties werd beheerd door de projectleiders, Richard Roos (Deerns) en Sana Fateh (Synano). Maandelijks vergaderingen werden gehouden met projectleiders en ingenieurs die aan het project werkten. Beide partijen bereikten de haalbaarheidsresultaten volgens hun werkpakketten. Een voortdurende uitwisseling van ideeën en werkmethoden maakte het partnerschap sterker.

2.4 Toekomstige projecten

Deze haalbaarheid geeft inzicht in de warmteterugwinmogelijkheden van datacenters met verschillende koeltechnologieën. Op basis van deze haalbaarheidsstudie hebben de partners besloten om de meest optimale (Direct-to-chip koeling) technologie te selecteren, zowel in termen van warmteterugwinning als nanovloeistofgebruik, om een toekomstig project te plannen. Partners zijn van plan een consortium te vormen met andere belanghebbenden, zoals leverancier van koelinghardware, eigenaren van datacenters en energieleveranciers om de theoretisch bestudeerde concepten toe te passen op toepassingen in de praktijk. Voor dit doel zullen andere partners worden geïdentificeerd en benaderd. Het consortium is dan van plan om DEI + of soortgelijke subsidie van RVO aan te vragen.

3

Introductie

3.1 Probleemstelling

In de huidige samenleving zijn diensten zoals de Cloud, Internet of Things, social media en Big Data niet meer weg te denken. Zonder datacenters is dit niet mogelijk en de behoefte aan datacenters stijgt. Hierdoor stijgen niet alleen de energievraag en operationele kosten maar ook de impact op het milieu door deze datacenters [5]. Een groot datacenter verbruikt al snel net zoveel energie als een kleine stad [6].

3.2 Doelstelling

Beide partners van dit project richten zich op het verbeteren van EUE (Energie Usage Effectiveness) van datacenters. De EUE is de verhouding tussen het totale jaarlijks energiegebruik van het complete datacenter en het energiegebruik van ICT-apparatuur, waarbij 1 ideaal is. Er wordt bij dit project voornamelijk gericht op het hergebruik van teruggewonnen restwarmte. Naast het energiegebruik van ICT-apparatuur gebruikt de klimaatbeheersing het meeste energie in een datacenter [7] na installaties benodigd voor de energielevering. De klimatisering van de servers is één van de belangrijkste voorzieningen van een datacenter. Dit is noodzakelijk om de apparatuur optimaal te laten presteren.

Datacenters genereren veel warmte: theoretisch wordt 100% van de elektriciteit, die de server wordt verbruikt, wordt omgezet in warmte [8]. Het doel van dit onderzoek is het optimaliseren van de koelprestaties van datacenters om warmteterugwinning mogelijk te maken en de potentiële voordelen van het gebruik van 'Nanofluids' voor koeling en warmteterugwinning te onderzoeken. De teruggewonnen warmte kan vervolgens gebruikt worden om bijvoorbeeld een ziekenhuis danwel hotel en/of woningen van warm tapwater of ruimteverwarming te voorzien. Met warmteterugwinning kan de EUE-waarde theoretisch zakken tot onder de 1 doordat dit kan worden gezien als duurzame energievoorziening.

De belangrijkste onderzoeksvragen die moeten worden beantwoord, zijn:

- ▶ *Wat moet er binnen de datacentermarkt aangepast worden om warmteterugwinning mogelijk te maken bij datacenters?*
- ▶ *Kunnen nanovloeistoffen worden gebruikt om de warmteterugwinprestaties van de datacenters te optimaliseren?*

Om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden wordt deze opgesplitst in deelvragen:

- ▶ *Is warmteterugwinning mogelijk bij een bestaand datacenter met bestaande installaties?*
 - *Welke oplossingen zijn nodig om externe warmtelevering mogelijk te maken?*
- ▶ *Wat is de beste technologie voor klimatisering van ICT-apparatuur om herbruikbare warmteterugwinning mogelijk te maken?*
- ▶ *Wat zijn de minimale behoeften om een ziekenhuis, hotel en/of woningen van warmte of energie te voorzien en hoe kan dit worden behaald?*
- ▶ *Is er een duurzame businesscase?*
- ▶ *Welke concessies moeten worden gedaan om het terugwin potentieel te verbeteren?*
- ▶ *Verbeteren nanovloeistoffen de koel- en warmteterugwinprestaties van het datacenter?*

- ▶ *Is het economisch haalbaar om nanovloeistoffen te gebruiken in deze toepassing van datacenters?*

3.3 Werkwijze

Er is een methode ontwikkeld om deze vragen te beantwoorden. De eerste stap is het berekenen van de hoeveelheid restwarmte die kan worden teruggewonnen en hergebruikt. De CAPEX en OPEX voor het bestaande datacenter met warmteterugwinning en installaties en nanovloeistoffen worden berekend. De, EUE en ERF voor verschillende ICT belasting scenario's voor het datacenter worden ook bepaald. Soortgelijke berekeningen worden uitgevoerd om deze waarden te berekenen voor de andere bestudeerde datacenters.

4 Datacenters

Een datacenter is uitgerust met ICT-apparatuur zoals servers, opslag en switches. Er kan een enorme hoeveelheid data opgeslagen worden. Het belangrijkste doel van een datacenter is dat ICT-apparatuur veilig is opgeslagen en dataverkeer veilig verloopt. Daarom is beschikbaarheid vaak in de vorm van redundantie in koeling, power en communicatiesystemen essentieel.

4.1 Type datacenters

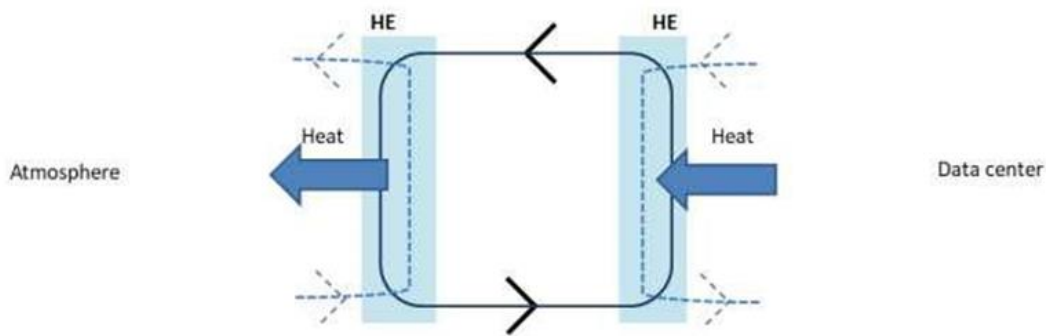
Er kunnen drie verschillende typen datacenters worden onderscheiden:

- ▶ **Bedrijfsdatacenters**
Bedrijven die hun eigen interne datacenter/serverruimte hebben voor het beheren en opslaan van bedrijfsgegevens (ook wel single tenant genoemd) [7].
- ▶ **Colocatie datacenters**
Deze datacenters bieden aan meerdere externe klanten geconditioneerde ruimten voor servers (multi tenant).
- ▶ **Hyperscale datacenters**
Zeer grote datacenters, waarbij zowel datacenter als servers in eigen beheer zijn. Voor het bieden van onlinediensten op eigen platforms. Het zijn voornamelijk grote bedrijven die voor deze optie kiezen.

4.2 Warmteterugwinnings

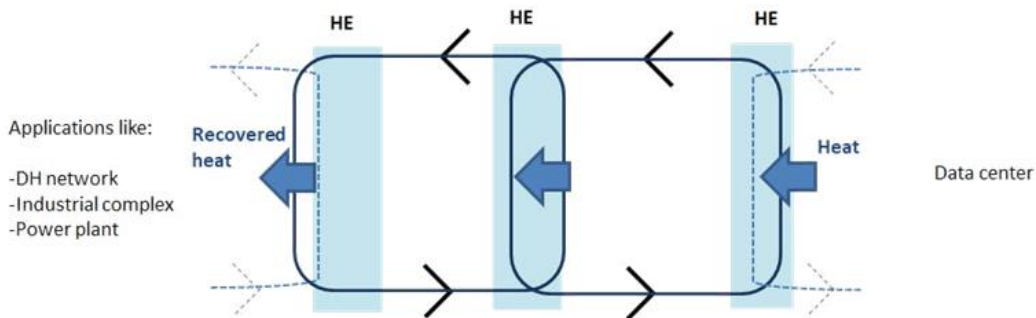
In een typisch datacenter wordt alle elektrische stroom die aan de CPU / GPU-eenheden wordt geleverd, omgezet in warmte. Omdat ze continu bewerkingen uitvoeren, is warmteontwikkeling onvermijdelijk. Ze moeten koel worden gehouden om te voorkomen dat de chips oververhit raken en uiteindelijk storingen veroorzaken.

De warmte van het datacenter wordt via een warmtewisselaar overgedragen op een koud medium (lucht, water, olie). Het nu verwarmde koelmedium dat in een gesloten lus loopt (Figuur 1) brengt de warmte via een tweede warmtewisselaar over naar de omgeving of naar een koelsysteem. Na de tweede warmtewisseling is het koele medium koud genoeg om naar het datacenter te worden gevoerd.



Figuur 1. Warmteoverdracht in Data Centers

In een systeem met warmteterugwinning wordt deze lus aangepast. In plaats van deze warmte over te dragen naar de open lucht (of warmteblaas), wordt de warmte overgedragen aan een andere gesloten lus van een vloeistof (meestal water). De gesloten lus is verbonden met het datacenter en verbonden met een afzonderlijk warmtenetwerk (Figuur 2). Dit leidt ook tot een verandering in de apparatuur die wordt gebruikt om warmte af te geven, zoals koelmachines / ventilatoren. De restwarmte kan worden geleverd aan verschillende soorten gebruikers als in district heating (DH) netwerken, industriële campussen enz.



Figuur 2. Warmteterugwinning mogelijkheid voor datacenters

De restwarmte van bestaande datacenters leveren een temperatuur oplopend tot 24 °C. Met immersed cooling kan dit verhoogd worden tot 65 °C. Het wordt aanbevolen om een warmtepomp te gebruiken voor warmteterugwinning. Warmtepompen zijn in staat met toevoeging van een beperkte hoeveelheid elektrische energie laagwaardige warmte (bijna 24°C) om te zetten in hoogwaardige energie geschikt voor o.a. het verwarmen van woningen of verwarmen van drink water.

4.3 Type koelsystemen

Binnen datacenters worden grote hoeveelheden warmte gegenereerd. Voor het koelen van datacenters zijn in de loop der jaren diverse koelprincipes ontwikkeld. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de meest toegepast technieken.

4.3.1 Direct / Indirect air

High-efficiency koelunits voeren warmte van de servers af via indirect air naar de buitenlucht. Buitenlucht wordt door een ventilator met filter aangezogen. De warmtewisselaar onttrekt het warme lucht of water uit het datacenter. Hierdoor wordt de lucht afkomstig van buiten warm. Deze warme buitenlucht wordt door een ventilator weer naar buiten geblazen. Deze techniek is minder geschikt voor hergebruik.

4.3.2 Liquid(water) cooling

CRAH units

De warmte wordt onttrokken aan het datacenter door luchtrecirculatie. Deze warmte wordt uitgewisseld op airconditioningunits genaamd CRAH (Computer Room Air Handling). Dit zijn lucht-water warmtewisselaars. De warmte uit de lucht wordt afgevoerd naar water en dit water (nu verwarmd) wordt weggepompt uit de IT-omgeving en warmte wordt afgevoerd naar bijvoorbeeld de omgevingslucht.

Direct-to-chip koeling

Het is een technologie vergelijkbaar met CRAH units, waarbij de warmte in een gesloten lus op water wordt overgedragen voordat deze de warmte naar buiten afvoert.

Er is echter een cruciaal verschil. In deze technologie is elke serverchip rechtstreeks verbonden met een koellichaam op metaalbasis waarin de vloeistof kan stromen. Hoewel de vloeistof niet in direct contact staat met de chip, wordt de meeste warmte van de chip overgedragen van het koellichaam (via geleiding) naar de vloeistof.

Immersie koeling

Bij immersie koeling worden de servers volledig ondergedompeld in een vloeistof en blijft de vloeistof in een gesloten lus. Aangezien de vloeistof in direct contact staat met de elektronica, moet deze elektrisch niet-geleidend van aard zijn. Gewoonlijk worden verschillende vormen van minerale oliën of andere koolwaterstofverbindingen gebruikt. Immersie koeling, heeft 2 versies:

a) Single-fase immersie koeling: hier stijgt de niet-geleidende vloeistof in temperatuur terwijl deze de warmte van de servers afneemt en deze warmte afgeeft aan water (zonder te mengen) door het gebruik van een vloeistof-vloeistof warmtewisselaar. Na afkoeling keert de immersievloeistof terug naar de servers.

b) Twee-fase immersie koeling: Bij 2-fase immersie koeling hebben de onderdompelingsvloeistoffen een zeer lage kooktemperatuur. Ze ondergaan een faseverandering en worden bij verhitting omgezet in damp. Deze damp dissipeert vervolgens warmte door te condenseren op een warmtewisselaar (waardoor het koude water intern stroomt en de warmte afvoert).

De afgiftecomponenten die voor de omvang van dit project worden bestudeerd zijn de water to air units, Direct to chip cooling en Immersie fase 1 en 2 koeling.

Nanofluids

Bij alle 3 hierboven beschreven vormen van warmteoverdracht is water als tussenmedium betrokken bij de koeling van de datacenters. De inherente eigenschappen van water spelen een cruciale rol bij het bepalen van het warmtetransportvermogen van een technologie. Het werk van Synano in dit project draait hierom, door het water te vervangen door nanofluids vanwege hun verschillende eigenschappen.

Nanofluids zijn suspensies van deeltjes van nanometerformaat in basisvloeistoffen zoals water, ethyleenglycol en andere organische / anorganische vloeistoffen. Deze nanodeeltjes kunnen worden gemaakt van metaal (Al, Cu, Ti), metaaloxiden (Al₂O₃, CuO, TiO₂), grafeen of koolstofnanobuisjes. Deze nanokoelmiddelen bieden verbeterde warmteoverdrachtmogelijkheden dankzij een verhoogde thermische geleidbaarheid in vergelijking met basisvloeistof.

In het bestaande project is gekeken naar nanofluids op waterbasis (met aluminiumoxide en grafeen). De nanovloeistoffen van aluminiumoxide zijn al intern ontwikkeld en getest. Nanovloeistoffen van aluminiumoxide hebben een 20% verbeterde warmteoverdracht in vergelijking met water. De grafeen nanofluids worden momenteel onderzocht en ontwikkeld in het Synano lab met als doel een verbetering van de warmtegeleiding met 60% ten opzichte van water.

4.4 PUE, EUE en ERF

Om aan te geven hoe efficiënt de gebruikte elektriciteit van een datacenter benut wordt zijn er verschillende indicatoren bedacht door The Green Grid. Eén daarvan is de internationaal meest geaccepteerde term 'Power Usage Effectiveness' ook wel PUE genoemd [11]. Deze waarde bestaat uit de verhouding tussen het totale vermogen en het vermogen gebruikt door de ICT-apparatuur. Er geldt:

$$PUE_{piek} = \frac{P_{Totaal}}{P_{ICT\text{ apparatuur}}}$$

waarbij:

P_{Totaal}	:	Totaal afgenomen vermogen	[MW]
$P_{ICT\text{ apparatuur}}$:	Afgenomen vermogen ICT-apparatuur	[MW].

Doordat het in de praktijk het opgenomen vermogen gedurende jaar varieert gebruikt men een eenheid die zich richt op het jaarlijkse energiegebruik. Deze waarde wordt EUE (Energy Usage Effectiveness) genoemd [12]. Er geldt:

$$EUE = \frac{E_{Totaal}}{E_{ICT\text{ apparatuur}}}$$

waarbij:

E_{Totaal}	:	Totaal jaarlijks energiegebruik	[MWh]
$E_{ICT\text{ apparatuur}}$:	Jaarlijks energiegebruik ICT-apparatuur	[MWh].

Er wordt gestreefd naar een zo laag mogelijke PUE en EUE waarbij in een ideale situatie alle vermogen of energie opgaat aan ICT-apparatuur. De EUE van een gemiddeld datacenter bedraagt 1,4. Dit betekent dat 70% van de gebruikte elektrische energie aan de ICT-apparatuur wordt besteed [12].

Een andere factor die bijzonder belangrijk wordt, vooral voor het nieuwe datacenter, is de Energy Reuse Factor (ERF). ERF wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de energie die wordt geleverd door het datacenter en die buiten wordt gebruikt, gedeeld door het totale energieverbruik van het datacenter. ERF varieert van 0 als er geen energie wordt hergebruikt tot 1, wat betekent dat alle energie die aan het datacenter wordt geleverd, over zijn grenzen wordt hergebruikt. Er geldt:

$$ERF = \frac{E_{Reuse}}{E_{DC}}$$

waarbij:

E_{Reuse}	:	Totaal jaarlijks energie hergebruikt	[MWh]
E_{DC}	:	Jaarlijks datacenter energiegebruik	[MWh].

5 Model

5.1 Pilotproject van Deerns

Om de optimale koelingstechnologie te bepalen, wordt gebruik gemaakt van een pilot project. Het pilotproject is een datacenter in Amsterdam waar gebruik is gemaakt van CRAH vloeistofkoelingstechnologie. Deze technologie met CRAH is veel te vinden in bestaande datacenters.

Dit pilotproject dient als nullijn voor de studie waar op basis diverse alternatieven vergeleken kunnen worden.

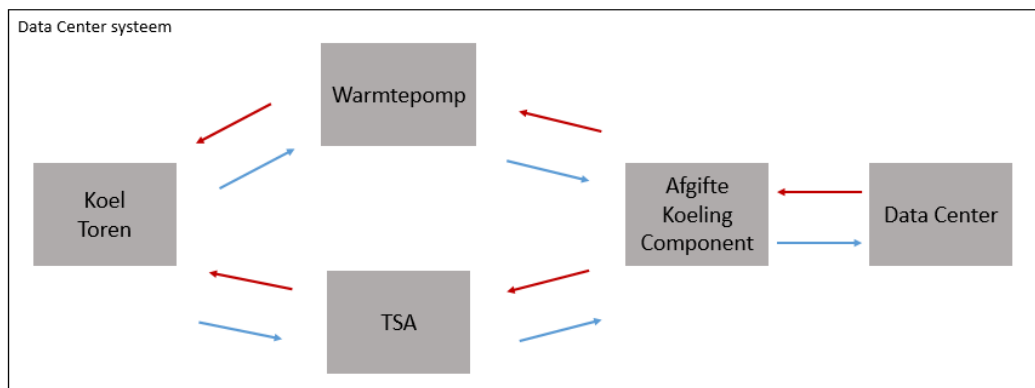
Het onderzoek is gebaseerd op het modelleren van hetzelfde pilot datacenter met de verschillende koelingstechnologieën en vervolgens het effect van nanofluids op elk systeem te meten, in termen van de verhoogde warmteoverdrachts en de economische winst. Drie verschillende versies van de het pilotproject zijn gesimuleerd:

- A. De eerste is de situatie van een huidig datacenter (CRAH) zonder warmteterugwinning,
- B. de tweede van een CRAH datacenter met warmteterugwinning
- C. de laatste is van een toekomstig optimaal ontworpen datacenter.

De belangrijkste parameters van het pilotproject zijn:

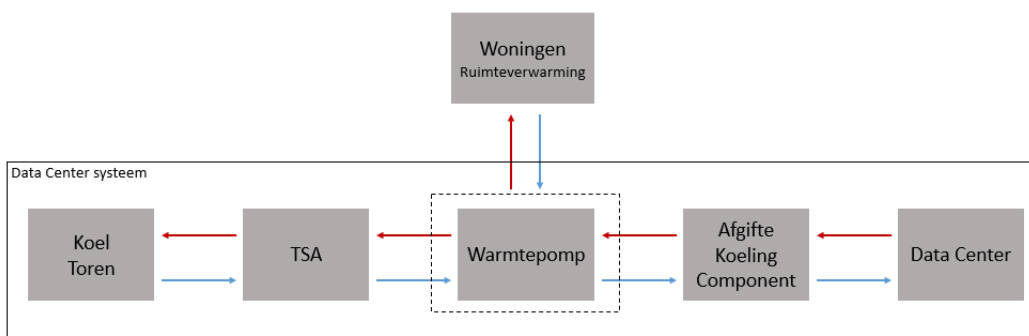
- ▶ Piek ICT-belasting: 1650 kW
- ▶ ICT-belasting te verwachten in normaal bedrijf: 660 kW
- ▶ Vermogensdichtheid: 1,5 kW / m²
- ▶ Bedrijf omgevingstemperaturen (droge bol): -13 tot 35 ° C
- ▶ Chiptemperatuur: 80-85 ° C

In de onderstaande figuren (Figuur 3,4,5) staan blocschema's van de drie versies van een datacenter die zullen worden bestudeerd. Voor het huidige datacenter met restwarmterecuperatie wordt besloten om een warmtepomp voor ruimteverwarming te gebruiken, terwijl in het geval van een optimaal toekomstig datacenter een warmtepomp wordt toegevoegd om de temperatuur van tapwater voor huishoudelijk gebruik verder te verhogen.



Figuur 3. Bestaand Datacenter zonder warmteterugwinning (scenario A)

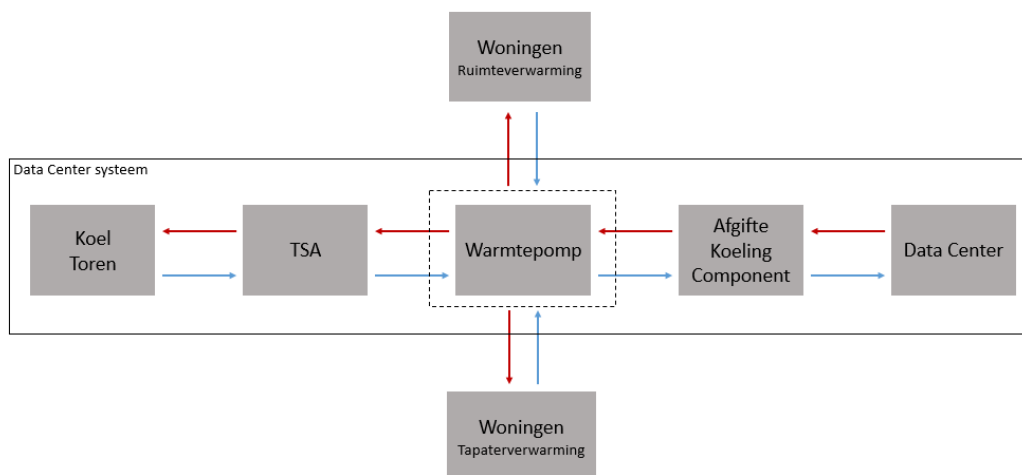
In de bovenstaande figuur (Figuur 3) wordt het koelgeneratie- en distributiesysteem van een datacenter gepresenteerd. De warmtepomp wordt alleen gebruikt wanneer de koeltoren niet voldoende gekoeld water kan leveren.



Figuur 4. Bestaand Datacenter met warmteterugwinning (scenario B)

In het geval van een bestaand datacenter wordt de warmtepomp aangesloten op de leveringscomponenten voor ruimteverwarming die buiten het datacenter worden toegepast. Op deze manier wordt energie bespaard omdat het koelsysteem niet het hele jaar door hoeft te werken. Hoe meer warmte buiten het datacenter wordt geleverd, hoe minder energie wordt gebruikt voor koeling en hoe minder bijvoorbeeld woningen hoeven te voorzien hun eigen warmtebehoefte.

Op basis van dit idee is het concept gecreëerd voor een toekomstig datacenter waar restwarmte ook wordt gebruikt voor waterverwarming. Dit is om op te zien in het volgende schema.

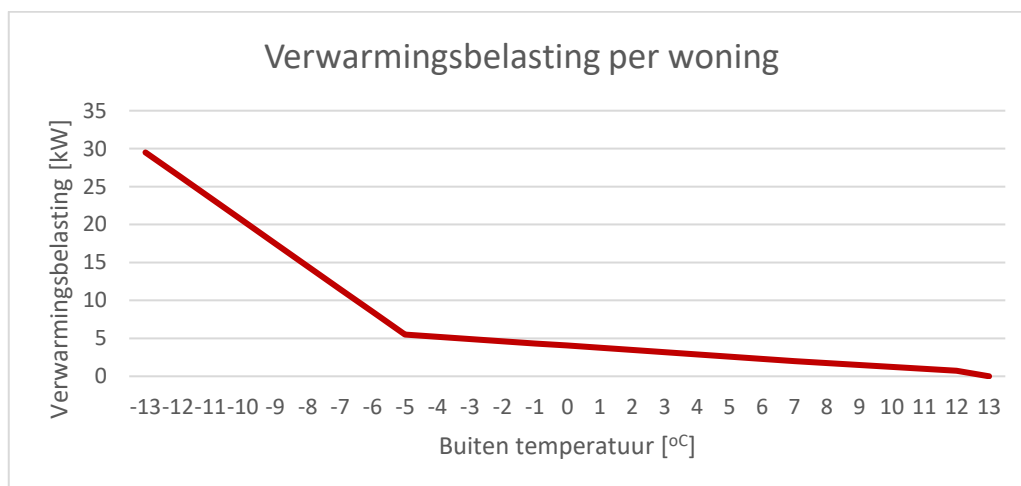


Figuur 5. Toekomstig Datacenter met warmteterugwinning (scenario C)

In een nog niet gebouwd datacenter zijn er meer mogelijkheden om restwarmte te hergebruiken (Figuur 5). Op basis van het idee om het energieverbruik te verminderen, kan een koelsysteem met een hogere bedrijfstemperatuur worden gekozen. Als gevolg hiervan zal de retourtemperatuur hoger zijn en kan dit leiden tot een efficiënter gebruik van restwarmte, omdat minder verwarming nodig is om dit aan de consument te leveren. Een voorbeeld van een dergelijk datacenter wordt in de bovenstaande blok weergegeven. In dit geval wordt de restwarmte direct gebruikt voor ruimteverwarming, terwijl na enige voorverwarming wordt geleverd door een warmtepomp voor warm tapwater.

5.1.1 Restwarmte afgifte

De schatting van een warmtevraag voor een Nederlandse woning is de eerste stap om de hoeveelheid restwarmte te bepalen die vanuit het datacenter in de verschillende scenario's kan worden geleverd. Om de verwarming te bepalen, wordt de volgende figuur (Figuur 6) gemaakt op basis van de onderzoek van Mortelmans (2018) en Veldman et. al. (2010) [9] [10].

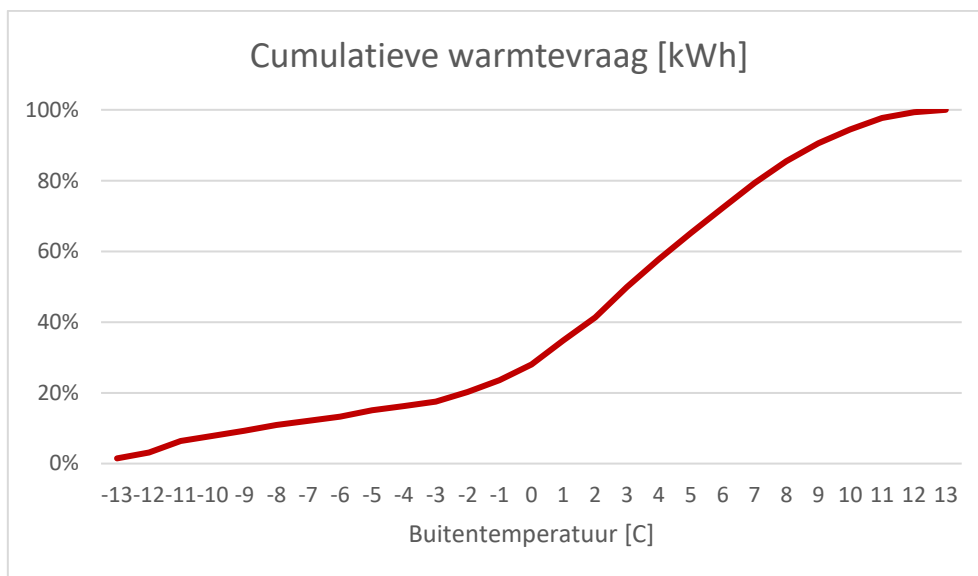


Figuur 6. Profiel verwarmingsbelasting per woning

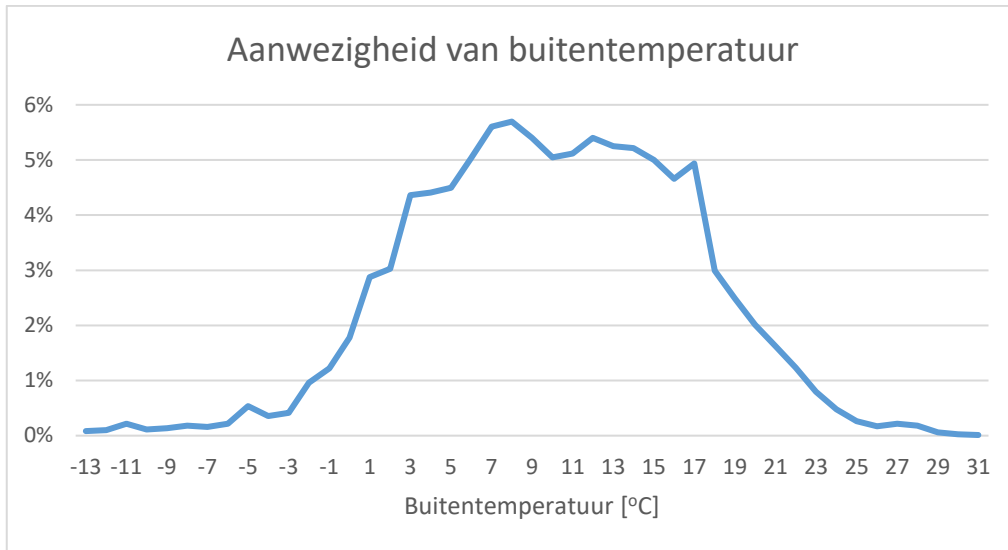
De volgende stap om de hoeveelheid hergebruikte restwarmte te bepalen, is om te berekenen hoeveel uur per jaar elke temperatuur optreedt. Dit wordt berekend door het percentage van elke temperatuur per jaar te vermenigvuldigen met het totale aantal uren per jaar.

Ten slotte moet de beschikbare hoeveelheid restwarmte die kan worden hergebruikt en het daadwerkelijke hergebruik worden geschat. Het totale energieverbruik van het datacenter wordt beschouwd als de maximale potentiële restwarmte. Voor de berekening van de daadwerkelijk teruggewonnen restwarmte wordt ervan uitgegaan dat hetzelfde aantal huizen ruimte en waterverwarming moet hebben in scenario's B en C. Een andere parameter die de werkelijke hergebruikte energie beperkt, is dat de hoeveelheid geleverde energie hetzelfde moet blijven gedurende normale belastingen. Het wordt daarom belangrijk geacht om dezelfde hoeveelheid restwarmte te leveren en om de afgegeven warmte niet te fluctueren vanwege verschillende beschikbaarheid veroorzaakt door veranderingen in de belasting van het datacenter. **Datacenters werken meestal ook met 25-40% van hun ontwerpbelasting, gezien deze beperking is de hoeveelheid hergebruikte warmte gebaseerd op 25% belasting om ervoor te zorgen dat warmte wordt geleverd in gebruikelijke belastingsscenario's.**

Om te bepalen hoeveel warmte kan worden geleverd en hoeveel huizen hiermee kunnen worden voorzien, wordt de volgende afbeelding gebruikt. Het volgende toont de cumulatieve warmtevraag voor een typisch Nederlands huis op basis van de buitentemperatuur en het aantal uren dat elke temperatuur per jaar optreedt. Het is te zien (Figuur 7) **dat ongeveer 30% van de totale warmtevraag wordt verbruikt voor externe temperaturen tot 0 °C, terwijl de rest 70% wordt verbruikt van 0 tot 13 °C.** Dit gebeurt omdat, hoewel de verwarmingsbelasting hoger is wanneer de buitentemperatuur lager is (Figuur 6), temperaturen van 0 tot 13 °C optreden gedurende een grotere periode van het jaar (Figuur 8).

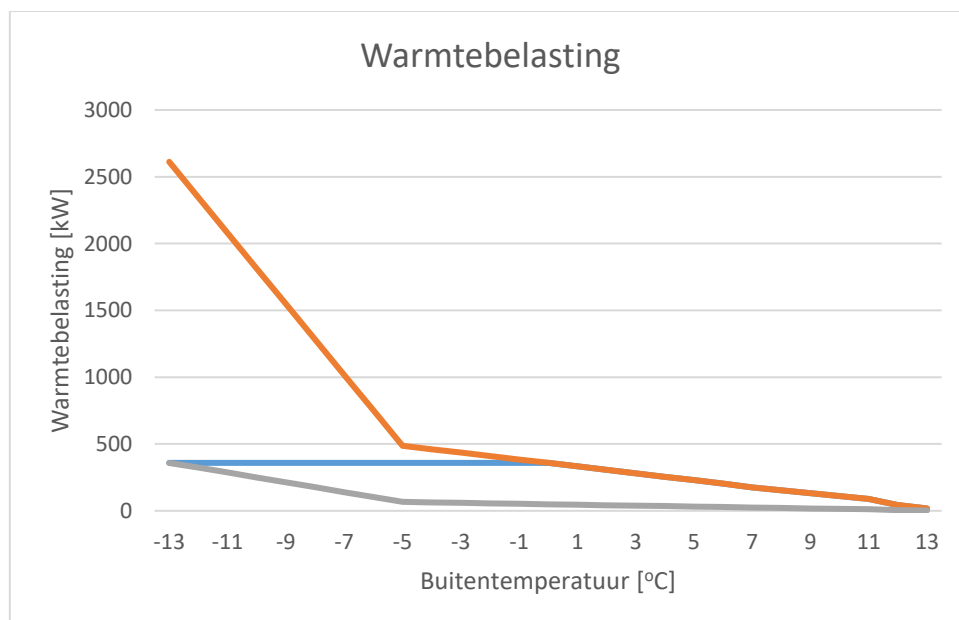


Figuur 7. Cumulatieve warmtevraag



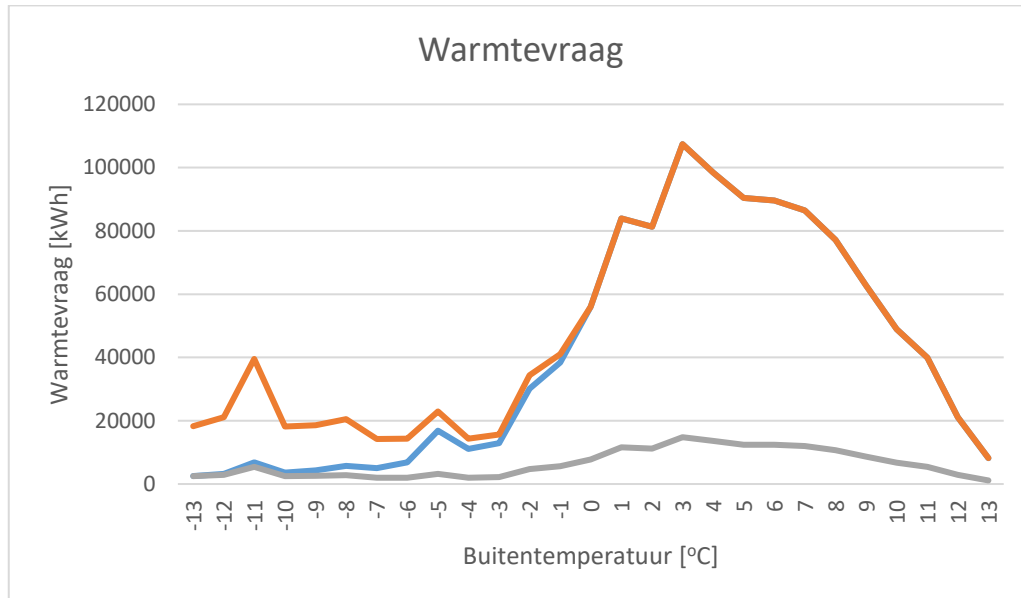
Figuur 8. Percentage van aanwezigheid van buitentemperatuur per jaar

Er wordt besloten dat de energie die extern wordt geleverd in de verschillende scenario's hetzelfde moet blijven en niet moet fluctueren op basis van de verschillende IT-belasting van het datacenter. **Als een resultaat wordt de maximaal mogelijke geleverde verwarmingsbelasting geschat wanneer de IT-belasting 25% is en goed is voor 358 [kW]. Met deze aannames is het mogelijk om de 88% van de warmtevraag voor 110 huizen te dekken.** Als wordt gekozen om de warmtevraag volledig te dekken, zou het mogelijk zijn om slechts 185 MWh verwarming te leveren, wat voldoende is om de warmtevraag van 16 huizen volledig te dekken. Voor temperaturen van 0 tot 13 °C wordt de warmtevraag volledig gedekt door het datacenter. Als de temperatuur lager is dan 0 °C en tot -13, wordt de warmtevraag gedeeltelijk gedekt door het datacenter en moet de rest worden geleverd door verwarmingsapparatuur die in elk huis is geïnstalleerd.



Figuur 9. Warmtebelasting. De grijze lijn toont de verwarmingsbelasting als de verwarmingsvraag 100% wordt gedekt voor 16 huizen, de blauwe lijn toont de verwarmingsbelasting als de verwarmingsvraag 88% gedekt is voor 110 huizen en de oranje lijn toont de verwarmingsbelasting als de verwarming 100 is % gedekt voor 110 huizen.

De vorige figuur (figuur 9) toont de verwarmingsbelasting voor huizen in drie verschillende gevallen. De grijze lijn geeft de verwarmingsbelasting weer die kan worden geleverd aan 16 huizen vanwege belastingbeperkingen vanwege de werking van het datacenter. De blauwe lijn toont de verwarmingsbelasting met 110 huizen als het verwarmingsvermogen beperkt is tot de waarde van de verwarmingsbelasting wanneer de buitentemperatuur 0°C is. Ten slotte vertegenwoordigt de oranje lijn de verwarmingsbelasting voor 110 huizen zonder enige beperking.



Figuur 10. Warmtevraag. De grijze lijn vertegenwoordigt de 100% warmtevraag voor 16 woningen, de blauwe lijn vertegenwoordigt de 88% warmtevraag voor 110 woningen en de oranje lijn vertegenwoordigt de 100% warmtevraag voor 110 woningen.

De warmtevraag in de drie verschillende gevallen kan worden berekend op basis van de twee voorgaande cijfers (Figuur 8,9) (Figuur 10). In het ideale geval is de warmteafgifte vanuit het datacenter gelijk aan het gebied onder de oranje lijn dat de warmtevraag van 100% voor 110 huizen vertegenwoordigt. Dit zou echter vereisen dat een zeer hoge verwarmingsbelasting vanuit het datacenter wordt geleverd, wat niet mogelijk is vanwege de vermindering van de IT-belasting. **Daarom is gekozen om de 88% van de warmtevraag voor 110 huizen te dekken, wat wordt geïllustreerd door de blauwe lijn.** Als de warmtevraag volledig wordt geleverd op basis van de beperkingen van de IT-belasting, zouden er minder woningen worden geleverd en zou er minder energie extern worden geleverd (gebied onder de grijze lijn).

Voor de vorige berekeningen wordt ervan uitgegaan dat een typisch Nederlands huis 1600 m³ gas per jaar gebruikt en hieruit wordt 73% gebruikt voor ruimteverwarming en de 23% voor warm tapwater [11].

Tabel 1. Afvalwarmtepotentieel

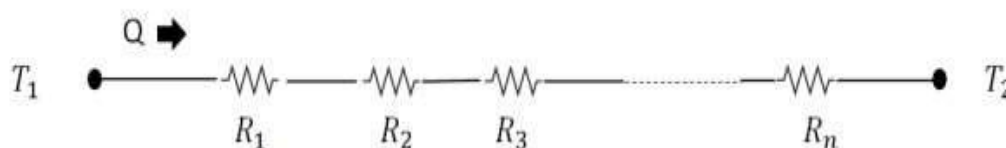
	Load	Total power [MWh/year]	Useful energy recovered [MWh/year]
Scenario A	100%	17900	0
	40%	7200	0
	25%	4600	0
Scenario B	100%	18000	1100
	40%	7300	1100
	25%	4800	1100

Scenario C	100%	16500	1500
	40%	6600	1500
	25%	4300	1500

Tabel 1 geeft de maximale energie weer die kan worden hergebruikt en die welke daadwerkelijk wordt hergebruikt in de verschillende scenario's wanneer verschillende belastingen op het datacenter worden toegepast. Voor scenario A wordt geen restwarmte hergebruikt, omdat dergelijke technologie niet wordt toegepast. Hoewel het mogelijk is om meer restwarmte te hergebruiken bij een belasting van 100%, is dit eigenlijk niet mogelijk, omdat het datacenter zelden met dergelijke hoge belastingen werkt.

5.1.2 Thermische modellering

Om de technische prestaties van de koeling te bepalen, wordt het pad van de warmtestroom vanuit de bron (chip) gemodelleerd. Dit model is analoog aan een elektrisch circuit, waar warmte doorheen stroomt. Deze warmte stroomt in 2 vormen van mechanismen: geleiding en convectie.



Figuur 11. Weergave van warmteoverdracht als elektrisch circuit

Terwijl de warmteflux (Q) uit de chip (T_1) stroomt, is er weerstand tegen de warmteoverdracht, zoals weergegeven in de afbeelding. Door deze warmteoverdracht zal er altijd een temperatuurverschil bestaan ($T_1 > T_2$). Maar door de weerstand te verlagen, kan warmte worden teruggewonnen met een hogere waarde van T_2 , wat waardevol is voor hergebruik van warmte.

$$Q = (T_1 - T_2) / \sum R_i$$

Of: $Q = U * A * LMTD$

$$LMTD = (\Delta T_i - \Delta T_o) / \ln (\Delta T_o / \Delta T_i)$$

Met $\Delta T_i = T_{in,hot} - T_{out,cold}$; $\Delta T_o = T_{out,hot} - T_{in,cold}$

Deze vergelijking wordt gebruikt in water koeling, Direct-to-chip koeling en immersie koeling. De prestaties worden gekwantificeerd op basis van de vermindering van de cumulatieve weerstand (R) en worden gemeten op basis van een constante waarde van Q , waarbij temperaturen en andere parameters worden onderzocht op basis van bestaande projecten van het type.

Door water in de huidige vloeistofgekoelde datacenters (scenarios B en C) te vervangen door nanofluis, wordt de algehele thermische weerstand verminderd vanwege de verbeterde warmteoverdrachtsprestaties van nanovloeistoffen. Dit zal leiden tot hogere temperaturen van uitlaatvloeistof, waardoor het algehele potentieel voor warmteterugwinning wordt verbeterd.

5.2 Business case model

Naast de technische prestaties moet ook de economische haalbaarheid van de oplossing worden berekend. Verschillende scenario's zijn onderzocht waarin besparingen / hogere opbrengsten voor het datacenter mogelijk waren met behulp van nanovloeistoffen. Ze werden breed gekenmerkt in:

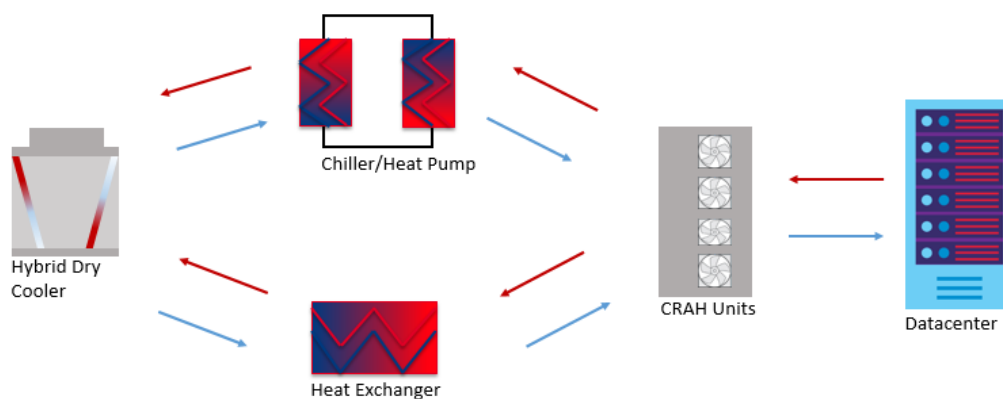
- OPEX - Elektrisch verbruik om de mechanische koelapparatuur van het datacenter te laten functioneren en extra energie (via warmtepomp) te leveren aan de restwarmte om de temperatuur van water dat wordt aangevoerd voor ruimteverwarming te verhogen wanneer de IT-belasting lager is.
- CAPEX - Het omvat mechanische systemen die betrokken zijn bij de koeling van het datacenter en de daaropvolgende warmteterugwinning zoals koelunits, warmtewisselaars, pompen, kleppen, ventilatoren, warmtepompen en meer. De kosten van IT-apparatuur, elektrische installaties, ruimteverhuur en civiele infrastructuurkosten worden niet meegenomen, omdat het project zich concentreert op optimalisatie van het koelsysteem, dat voor het grootste deel mechanische installaties in de HVAC-componenten omvat.
- Inkomsten uit hergebruik van restwarmte: Extra inkomsten kunnen worden gegenereerd door de extra warmteterugwinning uit datacenters te verkopen. Deze energie kan worden gekocht door energiebedrijven / stadsverwarmingsnetwerken of rechtstreeks door eindgebruikers zoals huizen, hotels, ziekenhuizen etc.

6 Resultaten

De vergelijking van de drie datacenters zal worden gemaakt op basis van de energieprestaties van de datacenters door gebruik te maken van de PUE-factor en economisch door middel van CAPEX, OPEX en Payback Period voor de investeringen in het geval van hergebruik van restwarmte.

6.1 Bestaand datacenter zonder restwarmte hergebruik (scenario A)

Het eerste datacenter dat wordt onderzocht, is een bestaand datacenter zonder hergebruik van restwarmte. Dit voorbeeld van een datacenter is bestudeerd om te worden gebruikt als een startpunt voor de beoordeling van de resultaten van de andere versies van datacenters. Het koelsysteem bestaat uit een hybride koeltoren, een warmtewisselaar, een koelmachine die werkt wanneer de koeltoren niet voldoende gekoeld water kan leveren vanwege de hoge omgevingstemperatuur. Ten slotte zijn de CRAH-gekoeld unit verantwoordelijk voor de levering van koeling en warmteafvoer uit de datahall.



Figuur 12. Principeschema van bestaand Datacenter zonder restwarmte hergebruik (Scenario A)

Het bovenstaande principeschema presenteert de componenten die in dit fictief datacenter opgesteld staan. Op basis van de buitentemperatuur levert de hybride droge koeler koude lucht aan de CRAH-units door de warmtewisselaar. Als de omgevingstemperatuur hoog is, begint de koelmachine te werken en levert koude lucht aan de CRAH-units. De CRAH-units leveren koude lucht aan de datacenterhal terwijl ze de warme lucht afvoeren.

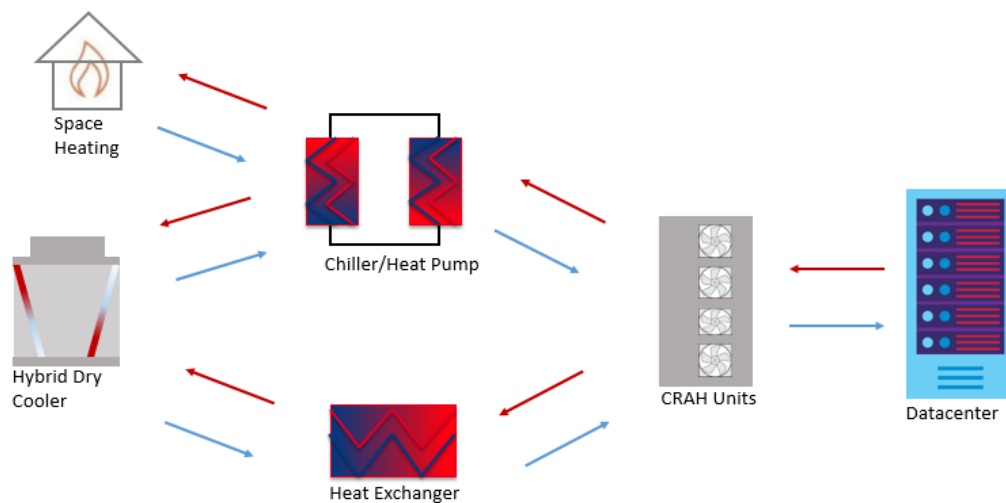
Tabel 2. EUE en ERF resultaten voor Bestaand Datacenter zonder restwarmte hergebruik (Scenario A)

Load [%]	100	40	25
EUE	1,23	1,23	1,28

Voor de EUE-berekeningen wordt rekening gehouden met het energieverbruik van elke component die onderdeel uitmaken van de productie en levering van koeling, evenals het energieverbruik van de IT-apparatuur. De variaties in de EUE-waarden bij verschillende belastingsscenario's zijn te wijten aan het verschillende energieverbruik van de koelgeneratie- en leveringscomponenten wanneer verschillende belasting wordt toegepast.

6.2 Bestaand datacenter met restwarmte hergebruik (scenario B)

De volgende stap is het bestuderen van de impact van de toepassing van hergebruik van restwarmte op het huidige datacenter. In dit geval wordt warmte die normaal wordt naar buiten wordt afgeleverd, gebruikt voor ruimteverwarming via een verbinding met het stadsverwarmingsnetwerk. **De afgifte van restwarmte is beperkt tot wanneer de buitentemperatuur 13°C of lager is [10]. Deze periode is in totaal 6020 uren voor het weer in Nederland.** Op basis van de dagelijkse profielen van de warmtevraag voor verschillende omgevingstemperaturen en de cumulatieve jaarlijkse warmtevraag (Figuur 6,7), wordt de verwarmingsbelasting voor huishoudens in Nederland berekend voor een temperatuurbereik tot 13°C. Om deze restwarmte te kunnen leveren, wordt ervan uitgegaan dat de operatie van de bestaande koelmachine is aangepast. Als de buitentemperatuur is hoger dan 13°C functioneerd het is zoals in Scenario A is weergegeven en is er geen hergebruik van restwarmte.



Figuur 13. Principeschema van bestaand Datacenter met restwarmte hergebruik (Scenario B)

In vergelijking met de vorige versie van het bestaande datacenter is de werking van de warmtepomp nu aangepast voor hergebruik van restwarmte. Met deze aanpassing wordt een deel van de restwarmte die wordt onttrokken aan de CRAH-units meer verwarmd door de warmtepomp en aan een stadsverwarmingsnetwerk geleverd voor ruimteverwarming. De rest van het koelsysteem werkt zoals eerder.

Er wordt berekend dat het mogelijk zou zijn om 1100 MWh/year warmte te leveren aan 110 huizen. Als de laadcapaciteit van het datacenter echter daalt tot 25%, is de restwarmte niet voldoende om aan externe consumenten te leveren en wordt de levering doorgezet maar zullen de woningen ook gebruik moeten maken van aanvullende verwarming in de woning. Indien de warmtebehoefte vanuit de woningen wegvalt of kleiner is dan de beschikbare warmte zal de installatie het warmte naar buiten affakkelen. In dit geval werkt het datacenter zonder wijzigingen zoals het bestaande (Scenario-A), maar dit gebeurt bijna nooit in een echt datacenter.

Tabel 3. EUE resultaten voor Bestaand Datacenter met restwarmte hergebruik (Scenario B)

Load [%]	100	40	25
EUE	1,24	1,25	1,32

De EUE-waarden stijgen naarmate de belasting van het datacenter afneemt als gevolg van het energieverbruik van de warmtepomp die wordt gebruikt voor hergebruik van afval. De warmtepomp werkt op dezelfde manier in de verschillende belastingsgevallen, maar het energieverbruik van de IT-apparatuur daalt en als gevolg daarvan stijgen de EUE-waarden.

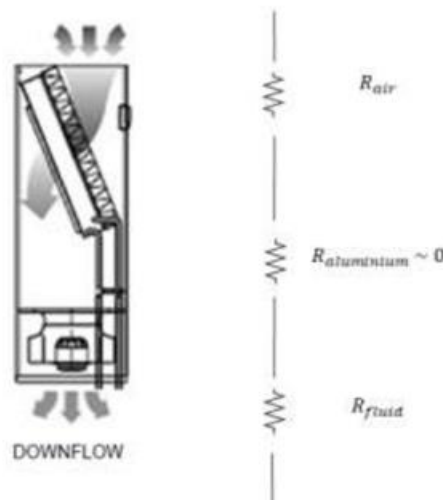
6.2.1 Bestande datacenter met restwarmte hergebruik en nanofluids

In opstellingen voor vloeistofkoeling zijn de uitlaattemperaturen voor hete lucht van in datacenter opgestelde ICT apparatuur 36 ° C, terwijl de inlaattemperaturen voor koude op 24 ° C worden gehouden. Het koelwater komt binnen op 18 ° C en verlaat na verwarming op 24 ° C.

In deze opstelling zijn de 3 belangrijkste vormen van warmteoverdracht:

- convectieve warmteoverdracht van stromende lucht
- geleiding van warmte door pijp
- convectieve warmteoverdracht van stromend water

Gezien de hoge thermische geleidbaarheid van aluminium, wordt de weerstand ($R_{aluminium}$) als te verwaarlozen beschouwd.



Figuur14. CRAH unit

De convectieve warmteoverdracht is een functie van zowel de thermische eigenschappen van de lucht en het water maar ook van hun stroomomstandigheden (Reynolds-nummer).

Bij het voltooiën van de berekeningen werden de weerstanden berekend als:

$$R_{air} = 5.73 \cdot 10^{-3} \text{ K / W}$$

$$R_{water} = 0.1056 \cdot 10^{-3} \text{ K / W}$$

$$R_{total} = 5.83 \cdot 10^{-3} \text{ K / W}$$

De weerstand tegen warmteoverdracht wordt sterk gedomineerd door de kleine convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt van lucht (Figuur 14). Deze logica is geldig wanneer de lage

soortelijke warmte en thermische geleidbaarheid van lucht worden vergeleken met water. Dit maakt lucht de echte beperkende factor voor elke toename in warmteoverdracht.

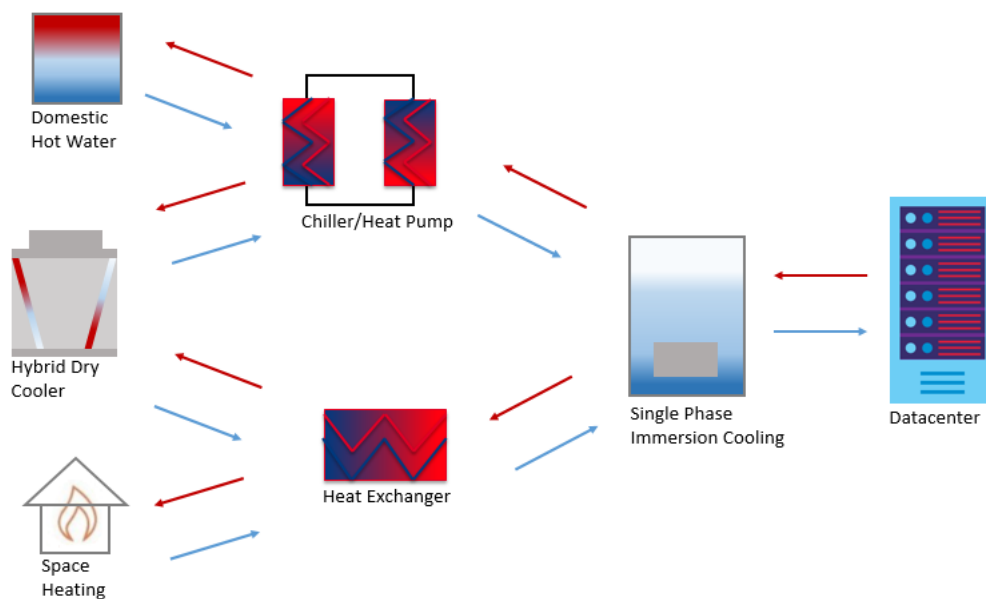
Warmteterugwinning: vanuit het perspectief van het gebruik van de restwarmte maakt de introductie van nanofluids geen verschil. Het geëxtraheerde 'warme' water blijft op 24 °C. Dit is een laagwaardige warmte en is niet geschikt voor toepassingen zoals ontzilting, absorptiekoeling, ruimteverwarming en waterverwarming etc.

Onder dergelijke omstandigheden is met Deerns besproken dat nanofluids bij vloeistofkoeling geen haalbare oplossing zijn voor implementatie in datacenters

6.3 Toekomstige datacenter met restwarmte hergebruik (scenario C)

Scenario C1: Single phase immersion koelsysteem

In scenario C-1 wordt een datacenter geëvalueerd waarin een single phase immersion koelsysteem wordt gebruikt voor het koelen van de servers. Deze verandering zorgt voor een hogere aanvoeren retourtemperatuur van respectievelijk 40 en 50°C. Daarom is een kleine koeler nodig, omdat een droge koeler het hele jaar door kan koelen. In dit geval wordt aangenomen dat restwarmte ook middels warmtepomp wordt gebruikt voor tapwaterverwarming. Omdat warm tapwater het hele jaar door wordt gebruikt, is het mogelijk om meer afvalwarmte te leveren en tegelijkertijd koud water te verkrijgen dat geschikt is voor serverkoeling. Om dit te bereiken, moet de warmtepomp anders worden geselecteerd. Door ruimteverwarming en tapwaterverwarming te combineren, is het mogelijk om het hele jaar door verwarming te leveren, omdat de vraag naar warm tapwater niet afhankelijk is van de omgevingstemperatuur.



Figuur 15. Principeschema van toekomstige Datacenter met restwarmte hergebruik (Scenario C1)

Net als in scenario B wordt restwarmte voor ruimteverwarming geleverd vanaf een buitentemperatuur tot 13°C. De warmte die voor ruimteverwarming wordt geleverd, komt in dit geval echter rechtstreeks van de servers via een warmtewisselaar. De restwarmte die wordt gebruikt voor waterverwarming wordt verwarmd door de warmtepomp tot 68°C. De afvalwarmte

die niet wordt gebruikt voor ruimteverwarming of waterverwarming wordt geleverd aan de hybride droge koeler en wordt afgegeven aan de omgeving.

Op deze manier is het mogelijk om ca. 1.500 MWh/year warmte te leveren aan 110 huizen (1100 MWh ruimteverwarming voor de 88% van de jaarlijkse warmtevraag en 400 MWh waterverwarming). De impact op de ERF en EUE door de aanpassing van de warmtepomp operatie wordt weergegeven in de volgende tabel.

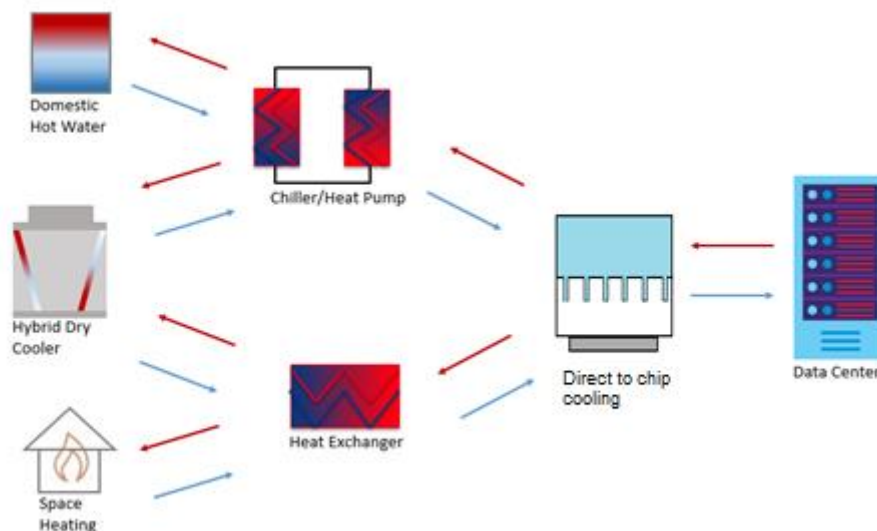
Tabel 4. EUE resultaten voor Toekomstig Datacenter met restwarmte hergebruik (Scenario C1)

Load [%]	100	40	25
EUE	1,13	1,14	1,19

De EUE-waarden veranderen zoals in scenario B. Het energieverbruik van de warmtepomp voor restwarmte blijft constant, terwijl het totale energieverbruik van het datacenter kleiner wordt door de lagere IT-belasting.

Scenario C2: Direct-to-chip koelsysteem

Ten slotte wordt het datacenter geëvalueerd waarin een direct-to-chip koelsysteem wordt gebruikt om de servers te koelen. Afgezien van de component die wordt gebruikt voor koeling op de servers, blijft de rest van het systeem hetzelfde. De aanvoer- en retourtemperatuur blijven respectievelijk op 40 en 50° C. De restwarmtetoevoer blijft op wordt gebruikt voor tapwaterverwarming en ruimteverwarming.



Figuur 16. Principeschema van toekomstige Datacenter met restwarmte hergebruik (Scenario C2)

Net als de Scenario C1 wordt de toevoerwarmte constant gehouden op 1500 MWh/year warmte aan 110 huizen (1100 MWh ruimteverwarming voor de 88% van de jaarlijkse warmtevraag en 400 MWh voor waterverwarming). De EUE waarden zijn ook vergelijkbaar met de EUE waarden van scenario C1.

Tabel 5. EUE resultaten voor Toekomstig Datacenter met restwarmte hergebruik (Scenario C2)

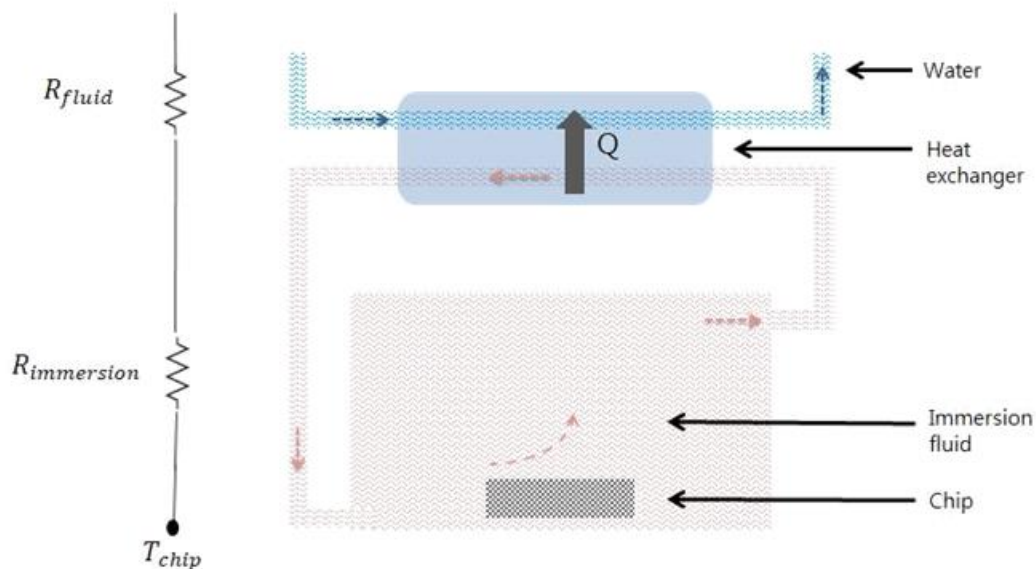
Load [%]	100	40	25
EUE	1,13	1,14	1,19

6.3.1 Bestande datacenter met restwarmte hergebruik en nanofluids (Scenario C)

Scenario C1: Single phase immersion koelsysteem met nanofluids

Het illustratieve thermische model voor een immersiekoelsysteem is hieronder weergegeven (Figuur 17). Voor eenfase-immersie koeling werden de modellen en waarden bepaald op basis van een bestaande commerciële oplossing. Het is mogelijk om 25 kW warmte te koelen met een koelmodule. De olie die wordt gebruikt voor onderdamping is meestal een standaard witte minerale olie, met relatief lage kosten.

In de opstelling neemt de onderdampingsolie de warmte van de servers en bereikt een temperatuur van 63 °C. Nadat de warmte is verzameld, gaat de olie door een warmtewisselaar waar het gekoelde water wordt toegevoerd bij 40 °C. De warmte wordt overgedragen, het water komt naar buiten met een temperatuur van 50 °C, terwijl de olie terugkeert naar de opstelling bij een (nu lagere) temperatuur van 45 °C. In een dergelijke opstelling vervangen de nanofluids het water in de secundaire lus.



Figuur 17. Single phase immersion cooling

De berekende weerstanden waren:

$$R_{\text{immersion}} = 7.1 \cdot 10^{-4} \text{ K / W},$$

$$R_{\text{water}} = 0.727 \cdot 10^{-4} \text{ K / W}$$

$$R_{\text{total}} = 7.827 \cdot 10^{-4} \text{ K / W}$$

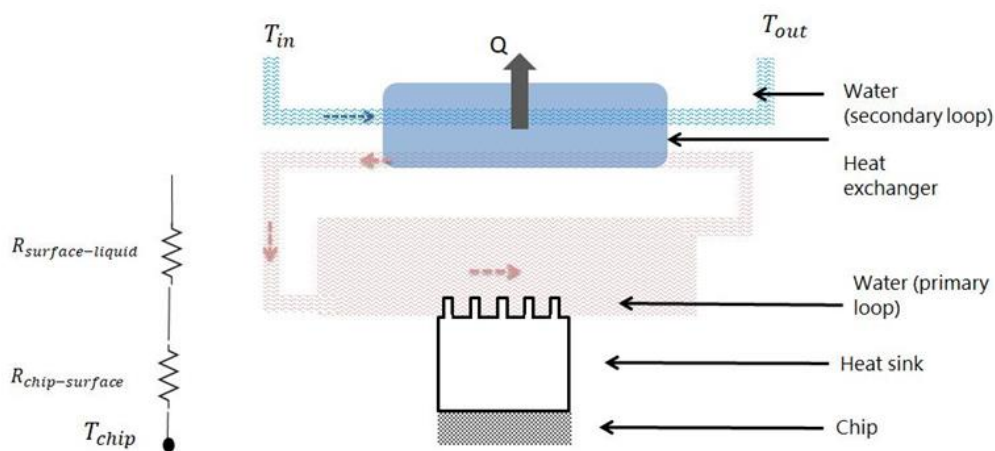
Men ziet dat dit vergelijkbaar is met het geval van vloeistofkoeling, waarbij het water zelf niet in grote mate bijdraagt aan de algehele weerstand van het systeem. De weerstand van het water is ongeveer 10 keer minder dan die van de onderdampingsolie.

De toevoeging van nanofluids in een dergelijk systeem heeft een beperkt positief effect. Een afname van de weerstand met 20% (met de nanovloeistoffen van aluminiumoxide) zou alleen resulteren in een totale afname van de weerstand met 1,5%. Dit vertaalt zich in een verwaarloosbare toename van de vermogensdichtheid en de daaropvolgende potentiële besparingen in de CAPEX or OPEX van het datacenter.

Warmtegebruik met tweefasige onderdompelingskoeling met nanofluids in de secundaire lus wordt weergegeven in bijlage-1.

Scenario C2: Direct-to-chip koelsysteem met nanofluids

Bij direct-to-chip koeling wordt het representatieve thermische model van de warmtestroom in het diagram getoond (Figuur 19). Dit diagram is representatief voor een enkele chip en er zouden 8250 van dergelijke chips zijn in een datacenter van 1650 kW.



Figuur 18. Direct to chip cooling

Zoals vermeld in het vorige hoofdstuk, wordt de warmte van de chip overgedragen aan de vloeistof zonder dat er een luchtlus tussen zit. Dit zorgt voor een lagere algehele thermische weerstand. Dit wordt gezien in de vloeistoftemperaturen, die nu tot 50 ° C kunnen bereiken [12].

Onderzoek toonde aan dat er een hoge weerstand bleef op de chip zelf. Hoewel de kerntemperatuur van de chip 80 ° C was, is het oppervlak van de chip (dat wordt blootgesteld aan de vloeistof) 60 ° C. De weerstand van het oppervlak ten opzichte van het water is lager, waarbij het water in deze lus een temperatuur van 53 ° C bereikte (een temperatuurverschil van 7 ° vanaf het oppervlak). Ten slotte wordt het water in de laatste lus (voor warmteterugwinning) 'gezonden' met 50 ° C en teruggevoerd bij 40 ° C.

In een dergelijke opstelling werden de nanofluids gemodelleerd in de primaire waterlus, die in contact staat met het koellichaam. Het beïnvloedt de weerstand tussen het oppervlak en de vloeistof. Een vermindering van 20% in deze thermische weerstand - (vanwege de introductie van aluminiumoxide nanofluids) resulteert in een algemene afname van de weerstand met 7,63%. Dit zou in de secundaire waterlus een verhoging van de uitlaattemperaturen met 2,05 ° C betekenen.

Deze temperatuurstijging zou waardevol kunnen zijn voor toepassingen van warmteterugwinning. Om de haalbaarheid van de oplossing te bepalen, moest echter worden gekeken naar de economische aspecten van het vervangen van water door de nanofluids.

Dankzij de verbeterde thermische weerstand kunnen nanovloeistoffen efficiënter warmte uit de servers verwijderen, wat resulteert in hogere uitlaatwatertemperaturen voor hergebruik van warmte. **Met 189 MWh/jaar extra warmte verwijderd met nanovloeistoffen, kunnen nog 14 huizen (naast 110 voor ruimte en waterverwarming) worden voorzien van de teruggewonnen restwarmte zonder extra externe energie (tabel 6).** Deze waarden worden berekend op basis van 25% IT-belasting van het datacenter.

Tabel-6: Vergelijking van warmteterugwinningspotentieel tussen water en nanofluïde koelsystemen (Scenario C2 - direct to chipkoeling)

Load	Water cooling		Alumina nanofluid cooling	
	Ruimteverwarming	Waterverwarming	Ruimteverwarming	Waterverwarming
25%	110 huizen	110 huizen	124 huizen	124 huizen

6.4 Economische resultaten van Datacenter versies

In het volgende deel worden de CAPEX, OPEX en jaarinkomsten uit de verkoop van restwarmte gepresenteerd op basis van 40% IT-belasting van het piek ontwerp vermogen. De terugverdiendtijd wordt berekend uit het verschil van elke waarde tot de respectieve waarde voor Scenario A.

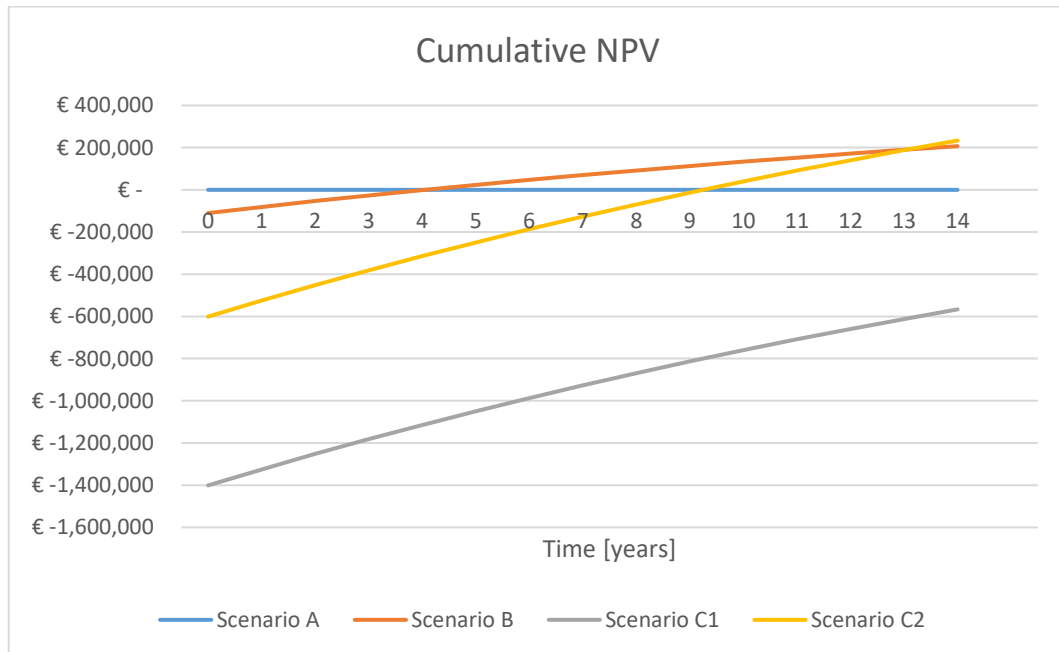
Het datacenter is meestal ontworpen voor piekbelastingen en daarom wordt de **CAPEX overwogen voor een datacenter met een capaciteit van 1650 kW die op 100% belasting werkt**. Het werkt echter meestal op 25-40% IT-belasting, **daarom wordt een 40% (hogere) limiet verondersteld voor het berekenen van OPEX**. Om het hele jaar door een constante hoeveelheid restwarmte te bieden, ongeacht de IT-belasting, wordt uitgegaan van een conservatieve waarde van warmteterugwinning bij een belasting van 25%, zelfs als deze in sommige delen van de jaren kan toenemen. **De inkomsten uit warmteterugwinning worden dus berekend op basis van 25% IT-belasting.**

De CAPEX en OPEX van het bestaande datacenter zonder hergebruik van restwarmte (Scenario A) worden berekend als basis voor de andere scenarios. De CAPEX wordt berekend op basis van de kosten van het pilotproject, terwijl de OPEX de operationele kosten van alle apparatuur zonder IT (bij. Warmtepomp, hybrid koeltoren, pompen, kleppen) vertegenwoordigt wanneer een prijs van €0,05/kWh op basis van marktonderzoek wordt overwogen. Als gevolg hiervan is de CAPEX €2.420.000, terwijl de OPEX €40.000 is.

Bij de berekening van de CAPEX en de OPEX zijn alleen de kosten inbegrepen voor het aanschaffen en bedienen van de mechanische apparatuur die wordt gebruikt voor de werking van de HVAC-apparatuur (koelunits, warmtewisselaars, pompen, kleppen, warmtepompen etc.) en niet de totale kosten van het datacenter, b.v. kosten van eigendom, kosten van IT-apparatuur en onderhoud.

Als hergebruik van restwarmte wordt toegepast op het bestaande datacenter (Scenario B), is de CAPEX €2.560.000. Anderzijds zullen inkomsten uit de verkoop van energie worden toegevoegd. Op basis van marktonderzoek kan de beste prijs voor verkoop aan een energieleverancier €0,036 / kWh zijn. Op basis van de mogelijke energie die aan de energieleverancier kan worden geleverd, zal het jaarinkomen voor het datacenter €40.000/year bedragen. De OPEX voor dit scenario stijgt naar €50.000 vanwege een hoger extern vermogen dat wordt gebruikt voor het bedienen van warmtepomp om ruimteverwarming te bieden.

In het geval van een datacenter (Scenario C1) dat nog niet is gebouwd, zal de installatie van dampkoelapparatuur de CAPEX verhogen tot € 3.900.000. Warmteafwijzing bij hogere temperaturen en hergebruik van restwarmte zal de OPEX echter verminderen naar € 16.000. Het jaarinkomen voor het datacenter zal ook toenemen naar ongeveer € 55.000. In scenario C2 is de CAPEX vanwege de lagere kosten van chipkoelmodules relatief lager met € 3.100.000, met vergelijkbare OPEX en jaaromzet met warmteterugwinning.



Figuur 19. Cumulatieve NPV voor Scenario A,B,C

In de bovenstaande Figuur 19 wordt de netto contante waarde over een periode van 15 jaar weergegeven voor de drie typen datacenters. Voor de gevallen met hergebruik van restwarmte worden de kosten van de aanpassingen aan het HVAC-systeem in vergelijking met het bestaande datacenter beschouwd als de kapitaalinvestering. De terugverdientijd voor elke investering wordt bereikt wanneer de respectieve lijn boven het nulpunt gaat. Zoals verwacht vanwege lagere CAPEX en hogere omzet, heeft het datacenter aan Scenario B de kortste terugverdientijd van ongeveer 5 jaren.

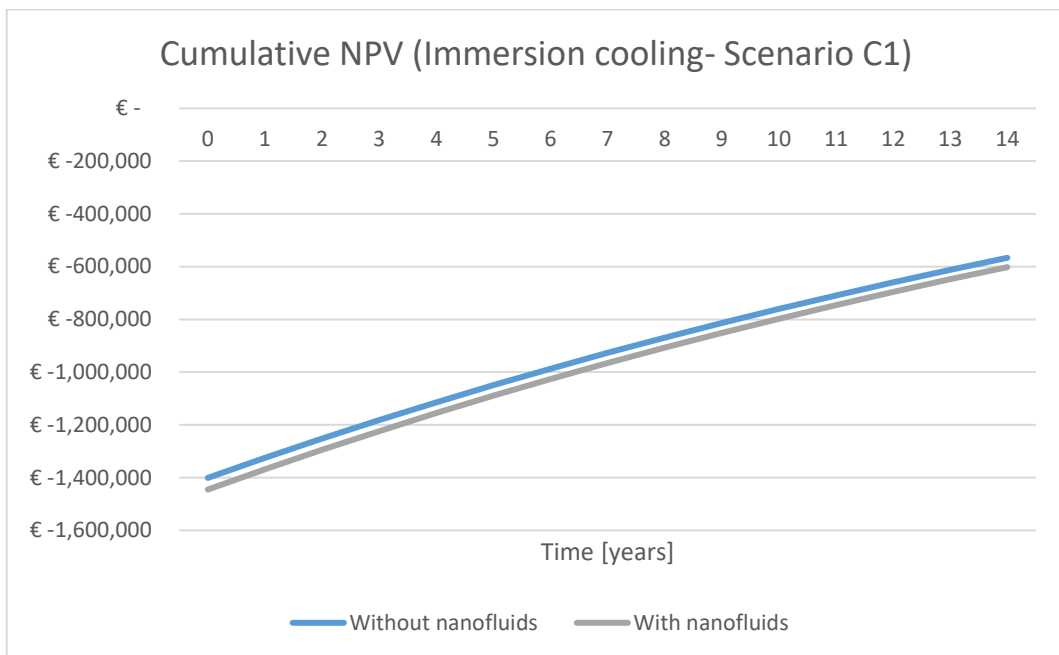
Voor Scenario C1 lijkt de terugverdientijd langer dan de andere. Dit komt door 2 factoren:

1. Onderdompelingskoelingsstechnologieën zullen enorme infrastructuurbesparingen opleveren, die in deze berekening niet worden meegenomen
2. onderdompelingskoelapparatuur is relatief duurder dan traditionele koelapparatuur

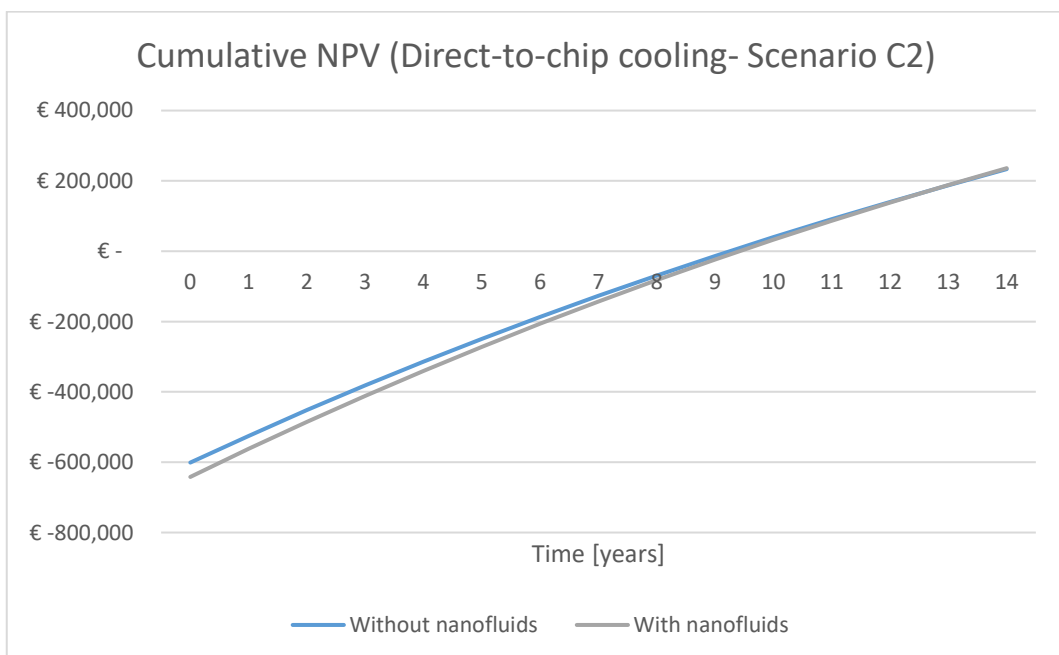
Voor scenario C2 is de terugverdientijd ongeveer 9 jaar, met een sterke stijging waardoor het tegen het 13e jaar winstgevend is dan scenario-B. Scenario-C2 zal ook leiden tot besparingen op de infrastructuur (hier niet inbegrepen), waardoor de terugverdientijd nog meer wordt verkort.

De economische haalbaarheid van het gebruik van nanofluids wordt bepaald op basis van de terugverdientijd (met behulp van de netto contante waarde). Er wordt een vergelijking gemaakt van het datacenter dat is uitgerust voor hergebruik en terugwinning van warmte. Dit wordt als basis genomen voor een vergelijking met het scenario van het gebruik van nanovloeistoffen van aluminiumoxide.

In de onderstaande figuren (Figuur 20,21) wordt de NPV uitgezet tegen de tijd en de terugverdientijd is gedefinieerd op het punt waarop de krommen de horizontale as doorkruisen. Dit betekent een netto positieve kasstroom.



Figuur 20: Cumulative NPV comparing water and nanofluid koeling for immersion cooling system



Figuur 21: Cumulative NPV comparing water and nanofluid koeling for direct-to-chip cooling system

De terugverdientijd wordt weergegeven in de bovenstaande grafieken wanneer nanovloeistoffen worden toegepast op de voorgestelde datacenters. In het geval van nanovloeistoffen is de enige winstgevende optie die van een toekomstig Direct to chip-gekoeld datacenter (Scenario C2). Het onderzoek van Synano heeft aangetoond dat de optimale koelingoptie voor serverracks bij gebruik van nanovloeistoffen directe koeling op chips is. Hoewel de terugverdientijd bijna hetzelfde is,

neemt de uiteindelijke Return On Investment toe wanneer nanovloeistoffen worden geïntroduceerd voor de Direct-to-chip koelingstechnologie.

6.5 ERF waarden

Energy Reuse Factor (ERF) is een belangrijke factor die het percentage van de energie aangeeft dat extern door het datacenter wordt geleverd in vergelijking met het totale energieverbruik van het datacenter. De ERF-waarden variëren van 0 tot 1 en waarden dicht bij 1 een grotere externe afgifte van restwarmte aangeven. Op basis van de resultaten van de scenario's die in dit rapport worden bestudeerd, wordt de volgende tabel met de ERF-waarden gemaakt.

Tabel 7. ERF waarden voor Scenario A, B en C

Load	Scenario A	Scenario B	Scenario C
100%	0%	6%	9%
40%	0%	15%	23%
25%	0%	23%	34%

De bovenstaande tabel (Tabel 7) laat zien hoe de ERF-waarde verandert wanneer het datacenter verschillende belastingen gebruikt voor de verschillende scenario's. Zoals verwacht voor Scenario A, is de ERF-waarde altijd 0 omdat afvalwarmte niet wordt hergebruikt. In scenario B zijn de ERF-waarden kleiner dan in scenario C omdat restwarmte alleen wordt hergebruikt voor ruimteverwarming en niet voor waterverwarming, zoals in scenario C. De waarden voor zowel scenario B als C nemen toe naarmate datacenterbelasting afneemt omdat de restwarmte die wordt hergebruikt hetzelfde blijft terwijl het energieverbruik afneemt als gevolg van een lagere IT belasting.

6.6 Optimized EUE waarden.

De EUE-waarden voor de verschillende scenario's via verschillende IT-belasting zijn in een vorige tabel gepresenteerd. EUE is echter niet zo representatief voor de efficiëntie van een datacenter wanneer restwarmte wordt hergebruikt vanwege de manier die wordt gebruikt voor de EUE-berekening. In dit deel wordt een andere definitie voor de EUE genoemd EUEopt wordt gepresenteerd.

ERF wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de energie die wordt geleverd door het datacenter en die buiten wordt gebruikt, gedeeld door het totale energieverbruik van het datacenter. De EUEopt kan niet lager dan zijn. Waarden lager dan 1 zijn mogelijk wanneer de geleverde restwarmte het energieverbruik van de IT-apparatuur overschrijdt. Hoe lager de waarde, hoe groter het hergebruik van externe energie. Er geldt:

$$EUE_{opt} = \frac{E_{DC} - E_{Reuse}}{IT}$$

waarbij:

E_{Reuse}	:	Totaal jaarlijks energie hergebruikt	[MWh]
E_{DC}	:	Totaal jaarlijks datacenter energiegebruik	[MWh]
IT	:	Totaal jaarlijks energiegebruik van IT-apparatuur	[MWh]

De EUEopt waarden voor de verschillende scenario's worden weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 8. EUEopt. warden

	<i>Scenario A</i>	<i>Scenario B</i>	<i>Scenario C</i>
100%	1,23	1,16	1,03
40%	1,23	1,07	0,88
25%	1,28	1,02	0,78

De EUEopt waarden voor scenario A zijn hetzelfde als EUE-waarden omdat hergebruik van restwarmte niet wordt toegepast in dit scenario. De EUEopt. waarden voor scenario B en C zijn lager dan de respectieve EUE-waarden vanwege de nieuwe definitie. In het geval van een IT-belasting van 40% en 25% voor scenario C zijn de EUEopt. waarden kleiner dan 1, wat betekent dat het energieverbruik van het datacenter minus de externe warmteafgifte kleiner is dan het energieverbruik van de IT-apparatuur.

7 Conclusies en aanbevelingen

In het laatste hoofdstuk van dit rapport worden de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd.

7.1 Conclusies

De volgende algemene en gerichte conclusies voor nanofluids kunnen uit dit project worden getrokken:

Algemene conclusies

- Koeling van datacenters met lucht vereist lagere temperaturen, wat leidt tot een hoger energieverbruik. Er zijn ook minder mogelijkheden voor het hergebruik van restwarmte.
- Door gebruik te maken van koeltechnologieën die hogere toevoer- en retourtemperaturen naar de servers mogelijk maken, is meer afvalwarmte beschikbaar voor hergebruik, wat kan tot hogere inkomsten voor het datacenter leiden.
- Restwarmterugwinning uit bestaande datacenters met luchtkoelsystemen kan economisch aantrekkelijk zijn.
- De hoeveelheid van restwarmte leveren is afhankelijk van de operationele belasting van de IT apparatuur.

Nanofluid toepassing conclusies

- Het vooruitzicht om nanofluids te gebruiken voor direct-to-chip koeling lijkt momenteel de meest veelbelovende optie zowel technisch als economisch.
- Eenfase-onderdompelingskoeling is een snelgroeiende markt die technologische volwassenheid bereikt. De onderdompelingsolie zelf is de grootste barrière voor efficiëntere warmteoverdracht. Er zijn mogelijkheden om nanovloeistoffen te maken met oliën, glycolen en andere vloeistoffen die worden gebruikt in koelsystemen.
- Tweefasige immersiekoeling is de nieuwste technologie, met de meest efficiënte serverkoeling en een groot potentieel voor warmterugwinning. Dit maakt het een zeer aantrekkelijke optie, niet alleen voor het gebruik van nanovloeistoffen, maar ook voor warmterecuperatiesystemen in het algemeen. Het blijft echter een zeer klein segment met slechts enkele organisaties die momenteel commerciële oplossingen verkopen.

7.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten van het project kunnen enkele aanbevelingen worden gedaan om het onderzoek naar dit onderwerp verder te brengen:

- Er moet meer onderzoek worden gedaan naar de verkoopprijs van energie aan de energieleverancier. Verder onderzoek moet worden gedaan naar de hoeveelheid energie die aan de energieleverancier wordt geleverd.
- Verder onderzoek moet worden gedaan om gebruikers met een hogere en constantere warmtevraag gedurende het jaar te vinden, zodat hogere ERF-waarden worden bereikt.
- De prijs van verkochte energie is gebaseerd op energieleveranciers als het datacenter indirect energie zou verkopen. Maar als datacenters hun eigen warmteoverdrachtssystemen opzetten om warmte rechtstreeks aan een klant te leveren, zou deze prijs kunnen stijgen.
- Het ontstaan van op olie gebaseerde nanofluids kan een aanzienlijk effect hebben op het hergebruik van datacenter-energie als geheel. Een extra uitdaging blijft echter bestaan, omdat de oliën in direct contact staan met de elektronische componenten. Alle gemaakte nanofluids moeten ook de vereiste elektrische isolerende eigenschappen hebben. Verder onderzoek en experimenten naar dit soort vloeistoffen zijn van het grootste belang.
- Om het hergebruik van restwarmte voor toekomstige datacenters aantrekkelijker te maken, moet een subsidie worden verstrekt. Op deze manier zijn de opbrengsten van het datacenter hoger en kan de investering in een kortere tijd worden terugverdiend. Het is ook mogelijk dat technologieën zoals immersion koeling steeds bekender worden en door meer bedrijven worden geleverd, hun kapitaalkosten zullen dalen en een subsidie niet nodig zal zijn.
- Verder onderzoek naar de resterende kosten van het datacenter (bijvoorbeeld bouwkosten, onroerend goed, elektrische componenten) moet worden voltooid om nauwkeurige economische haalbaarheid te verkrijgen.

8 Literatuur

Literatuurlijst

- [1] „Over Deerns,” [Online]. Available: www.deerns.nl/over-deerns/deerns-in-cijfers/. [Geopend 24 januari 2019].
- [2] „Data centers,” Deerns, [Online]. Available: www.deerns.nl/markten/datacenters/. [Geopend 24 januari 2019].
- [3] „About Us,” Synano, [Online]. Available: www.synano-cooling.com/about-us/. [Geopend 24 januari 2019].
- [4] „About Us,” YES!Delft, [Online]. Available: www.yesdelft.com/about-us/. [Geopend 24 januari 2019].
- [5] J. Glanz, „Power, Pollution and the Internet,” *The New York Times*, 22 september 2012.
- [6] K. Schneider, „An Oregon Mill Town Learns To Love Facebook and Apple,” *The New York Times*, 6 maart 2018.
- [7] R. v. O. Nederland, „Rijksdienst voor Ondernemend,” 2 februari 2018. [Online]. Available: www.rvo.nl/sites/default/files/2018/03/Restwarmte-uit-datacenters.pdf. [Geopend 5 februari 2019].
- [8] N. Sijpheer, „Energiebesparing in datahotels,” *ECN-E-08-019*, februari 2008.
- [9] K. Mortelmans, „<https://www.fluxenergie.nl/nederlanders-starten-stookseizoen-bij-139-c/?gdpr=accept>,” 10 Oktober 2018. [Online].
- [10] E. G. M. G. M. S. J. a. K. W. Veldman, „Modelling Future Residential Load Profiles,” in *Innovation for Sustainable Production 2010*, 2010.
- [11] D. Majcen, „Predicting energy consumption and savings in the housing stock A,” 2016.
- [12] Enersion, „Water water cooling for data centers,” February 2017. [Online]. Available: <http://enersion.com/warm-water-cooling-for-data-centers/>.
- [13] D. Moss, „Guidelines for Assessing Power and Cooling Requirements in the Data Center,” *Dell*, 2005.
- [14] „Datacenters,” Dutch Data Centers, [Online]. Available: www.dutchdatacenters.nl/datacenters/. [Geopend 1 februari 2019].
- [15] „Integrated solutions for Data Center Cooling,” The Galletti Group, [Online]. Available: www.gallettigroup.com/en/solutions-and-systems/technological-air-conditioning/data-center. [Geopend 4 februari 2019].
- [16] M. Vollebregt, „Koelinstallatie componenten,” Deerns, Rijswijk, 2015.

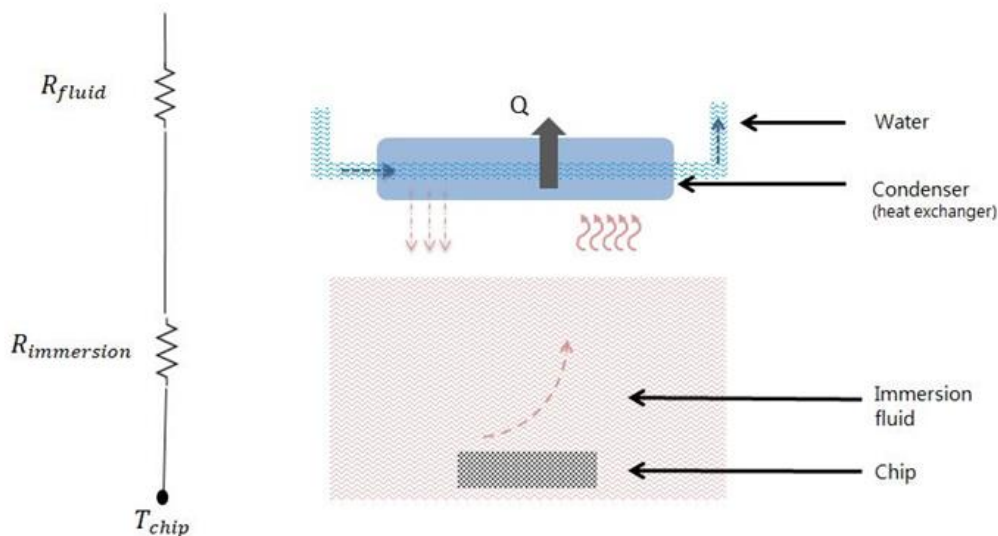
- [17] H. Rechnagel, E. Sprenger en E. Schramek, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Vulkan-Verlag GmbH, 2012.
- [18] „Colocation America,” [Online]. Available: <https://www.colocationamerica.com/data-center/tier-standards-overview.htm>. [Geopend 24 februari 2019].
- [19] „Power Knot,” 1 maart 2011. [Online]. Available: <http://www.powerknot.com/2011/03/01/cops-eers-and-seers/>. [Geopend 24 februari 2019].
- [20] „March 1880: The Curie Brothers Discover Piezoelectricity,” *American Physical Society*, maart 2014.
- [21] E. A. J. Burke, Piëzo-elektrische kwarts: een swingend mineraal, Amsterdam: Vrije Universiteit, 1989.
- [22] T. Ikeda, „Fundamentals of Piezoelectricity,” *New York: Oxford University press*, 1990.
- [23] R. Metselaar, „Nieuwe inzichten in het sinterproces,” *KGK*, 1991.
- [24] P. F. H. M. v. d. Eijnde, in *Meettechniek en Meetsystemen*, ThiemeMeulenhoff bv, 2003, pp. 203-208.
- [25] J. Curie en P. Curie, „Développement, par pression, de l'électricité polaire dans les cristaux hémihédres à,” 1880.
- [26] E. K. Akdogan en A. Safari, „Piezoelectric and Acoustic Materials for Transducer Applications,” Springer US, 2008, pp. 17-22.
- [27] B. Stochove, „SiePlex,” 28 september 2016. [Online]. Available: <http://sieplex.com/article/thermo-elektrisch-effect>. [Geopend 25 3 2019].
- [28] Condair, „Mollier diagram,” [Online]. Available: <https://www.condair.nl/nieuws/mollier-diagram>. [Geopend 25 3 2019].
- [29] T. Air. [Online]. Available: https://www.thermoair.nl/userdata/file/Mollier_diagram.pdf. [Geopend 23 3 2019].
- [30] D. Bulletin, „Impact on Dutch Economy from carbon taxation,” Oktober 2018. [Online]. Available: <https://www.dnb.nl/en/news/news-and-archive/DNBulletin2018/dnb379743.jsp>.

9 Appendix-1

Immersie koeling - Twee fasen, met nanofluids

Zoals vermeld in het vorige hoofdstuk, lijkt dit erg op de eenfase-immersie koeling, met exact hetzelfde thermische stroompad. Wat verandert is het mechanisme van warmteoverdracht van de olie naar het water.

De immersievloeistof verdampt en mag alleen condenseren op de warmtewisseling, waar het zijn latente warmte overdraagt naar de buis (waar het water stroomt) alvorens terug te transformeren naar een vloeibare toestand waarin de servers worden ondergedompeld. Dit condensatieproces is een uiterst efficiënte methode voor het overdragen van warmte met hoge warmteoverdrachtscoëfficiënten. In dergelijke omstandigheden maakt de vervanging van water door nanofluids een groot verschil, omdat dit het grootste knelpunt is.



Figuur 11. Two phase immersion cooling

In de opstelling bestaat de onderdompelingsmodule uit de onderdompelingsolie met een kookpunt van 56°C . De damp bij 56°C komt in contact met de condensor, waar water binnenkomt bij 41°C en verlaat bij 51°C .

De berekende weerstanden zijn:

$$R_{immersion} = 5.36 * 10^{-5} \text{ K / W},$$

$$R_{water} = 1.77 * 10^{-4} \text{ K / W}$$

Met de vervanging van water door nanofluids, verminderde de algehele thermische weerstand met 14,6% voor de nanovloeistoffen van aluminiumoxide. Dit betekent een potentiële besparing van 12% in CAPEX. Vanuit het perspectief van warmteterugwinning kan dit leiden tot een stijging van de wateruitlaattemperaturen met 1,4°C, wat een kwantificeerbare verbetering is voor warmteterugwinning.

Technische haalbaarheid van nanofluids in het systeem kan worden bereikt. Helaas is er niet voldoende informatie (vooral over de economie) over tweefasige immersiekoelsystemen beschikbaar, openbaar of via contact met fabrikanten. Het aantal bedrijven dat deze technologie commercieel implementeert, is veel te klein en kan binnen dit tijdsbestek slechts beperkte toegang bieden tot extern onderzoek.

Daarom wordt een aanbeveling gedaan om het onderzoek naar tweefasige koelsystemen met onderdompeling voort te zetten, met bijzondere aandacht voor samenwerking met een bedrijf dat deze technologie implementeert.

10 Contact information

<i>Company name</i>	<i>Synano B.V.</i>	<i>Deerns B.V.</i>
<i>Address</i>	10, Molengraaffsingel 2629JD, Delft, The Netherlands	125, Philiteaan 5617AB, Eindhoven, The Netherlands
<i>Website</i>	www.synano-cooling.com	https://www.deerns.nl/markten/datacenters
<i>Contact person</i>	Sana Fateh	Richard Roos
<i>Designation</i>	Founder	Technical Project lead
<i>Phone number</i>	0626247115	088 374 0220
<i>Email address</i>	s.fateh@synano-cooling.com	Richard.roos@deerns.com